Rapport de Monaco: La gestion des déchets et la mer

Recherche et développement: études sur l'environnement menées au Laboratoire international de radioactivité marine de l'AIEA

par R. Fukai

La mer recouvre environ 70% de la surface du globe et sa protection est jugée capitale pour la vie humaine. On sait de plus que les océans sont l'ultime dépotoir des déchets de l'activité humaine et notamment des radionucléides artificiels qui s'y déposent directement ou sont évacués sur la terre ou dans l'atmosphère.

Pour arrêter des méthodes de gestion de déchets applicables aux océans, il importe de connaître le comportement complexe et le sort des radionucléides en milieu marin si l'on veut en déterminer leurs effets radiologiques sur les populations. Or, la majorité des mers étant des eaux internationales, la collaboration de tous les pays est, à cette fin, indispensable.

Méthodes de surveillance de l'environnement

Pour appliquer un programme scientifique quel qu'il soit il faut, comme condition préalable, disposer de méthodes appropriées pour faire les mesures indispensables à sa réussite. Cette condition vaut tout particulièrement pour la surveillance de certains radionucléides de longue période que l'on trouve dans l'environnement. Par exemple, l'extrême importance des isotopes de plutonium en radioprotection pour l'évacuation des déchets en mer n'a pas été bien comprise, aussi longtemps qu'il n'existait pas de méthode (spectrométrie alpha) permettant de les mesurer dans des échantillons prélevés dans l'environnement.

Il est difficile de prédire le comportement de nombreux radionucléides en milieu marin à partir de simples expériences de laboratoire, les phénomènes régissant leur comportement étant trop complexes pour qu'on puisse les y reproduire. Le mieux à faire est donc de procéder à des mesures sur des échantillons de l'environnement et d'établir des modèles représentatifs à partir des résultats ainsi obtenus. Dans ces échantillons, les concentrations de radionucléides sont généralement faibles (sauf pour certaines régions particulières), de sorte qu'il faut mettre au point des méthodes suffisamment fines.

Depuis plus de 10 ans, le Laboratoire de Monaco met au point des méthodes analytiques de mesure des transuraniens et autres radionucléides de longue période que l'on trouve en faibles quantités dans les échantillons prélevés dans l'environnement. Vers la fin des années 70, le Laboratoire a mis au point une méthode qui permet de mesurer de faibles concentrations d'américium 241 dans l'eau de mer, dans les sédiments marins et dans les matières biologiques par exemple. Cette méthode a été appliquée à divers échantillons prélevés notamment dans l'océan Pacifique, la Méditerranée, la Baltique et les mers arctiques. Les résultats des mesures ont permis au Laboratoire de déduire le comportement spécifique de cet isotope dans diverses régions marines.

Aujourd'hui, le Laboratoire reste encore un des rares qui soient capables de faire des mesures sérieuses de l'américium 241 à partir d'échantillons à faible teneur prélevés dans le milieu marin. Ces travaux ont par ailleurs permis de mettre au point une méthode d'estimation du plutonium 241 qui s'est avérée très utile pour identifier les sources des isotopes du plutonium que l'on trouve dans certaines régions océaniques.

Ces dernières années, le Laboratoire s'est attaché à trouver des méthodes pour d'autres radionucléides de longue période présents en faibles quantités, notamment le technétium 99 (période égale à 2,1 10^5 années) et le neptunium 237 (période égale à 2,14 10^6 années). Ces radionucléides sont présents dans les mers depuis les années 50 mais leur existence et leur comportement n'avaient pas appelé l'attention, vu qu'il n'existait aucune méthode pour les mesurer.

Pour le technétium 99, on a appliqué la méthode de mesure à divers échantillons marins recueillis dans différentes régions. Il ressort des résultats que ce radionucléide se trouve spécifiquement concentré dans certaines espèces d'algues brunes et que l'on peut suivre les rejets d'effluents radioactifs de Sellafield, au Royaume-Uni, jusqu'à la côte norvégienne ou au Groenland, à plus de 5000 km de là.

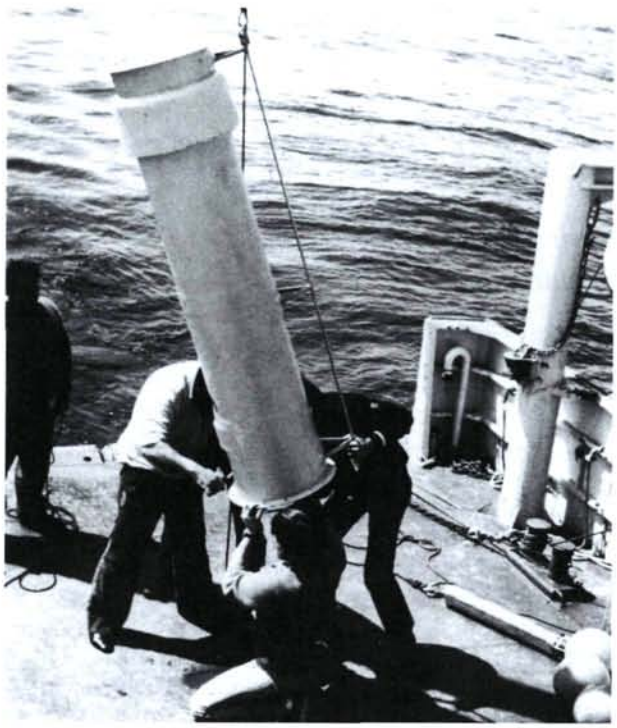
Le Laboratoire a également trouvé une méthode séquentielle pour mesurer les radionucléides naturels, et plus spécialement les isotopes du radium. Les résultats aident à comprendre des phénomènes géochimiques tels que la dissolution et la formation de particules.

Les plans pour l'avenir prévoient la mise au point de méthodes applicables aux radioisotopes de longue période tels que le nickel 63 (période 100 ans) qui provient des opérations de déclassement des installations nucléaires et l'iode 129 (période: 1,51 10^7 ans) qui provient des déchets de retraitement.

Précision des mesures

En étroite collaboration avec le Laboratoire de Seibersdorf que l'Agence possède en Autriche, le Laboratoire de Monaco participe également, depuis 1968, à un programme d'assurance de la qualité des résultats de mesures faites dans l'environnement que commu-

M. Fukai est Chef du Laboratoire international de radioactivité marine de l'AIEA, Musée océanographique, Principauté de Monaco.



Préparatifs à bord pour poser un piège à sédiments.

niquent les laboratoires des Etats Membres. La majeure partie des mers étant eaux internationales, assurer la précision des mesures du milieu marin est important non seulement sur le plan scientifique mais encore sur le plan politique.

Le programme comprend deux volets: 1) organisation, évaluation et comptes rendus des mesures d'étalonnage et 2) fournitures d'étalons de référence. Dans la pratique, ces deux domaines sont étroitement liés: on prépare en grande quantité un échantillon homogène du milieu marin que l'on distribue d'abord aux laboratoires qui se sont déclarés prêts à participer à l'opération d'étalonnage. Les résultats des mesures de tel ou tel radionucléide faites par les laboratoires qui participent au programme sont alors l'objet d'une étude statistique et l'on calcule quelles sont les concentrations les plus probables pour chaque radionucléide. On estime ensuite que ce sont là les meilleures estimations des concentrations réelles dans l'échantillon. Les quantités restantes de l'échantillon peuvent alors être considérées comme un étalon dont on connaît les concentrations les plus probables de plusieurs radionucléides.

Depuis le début du programme, qui est la contribution la plus directe aux institutions spécialisées des Etats Membres, quelque 20 étalons ont été distribués dont les matrices contiennent de l'eau de mer, des sédiments et des échantillons biologiques marins. La liste indique les concentrations probables de plutonium 238, 239 et 240, d'américium 241 ainsi que de cobalt 60, de strontium 90, de caesium 137 et d'autres radionucléides naturels.

Transferts de technologie et formation

Un autre domaine de participation est la formation de scientifiques de pays en développement à la mesure des radionucléides et aux expériences sur les traceurs. En collaboration avec la Division de l'assistance et de la coopération techniques de l'Agence, le Laboratoire a, depuis 1981, accepté, pour formation en cours d'emploi, des boursiers d'Etats Membres, notamment l'Espagne, la Grèce, la Hongrie, les Philippines, le Portugal et la Turquie à raison de deux par an, en moyenne. (Le stage dure normalement une année.) On forme les scientifiques à des méthodes, nouvelles pour eux, en les faisant travailler avec le personnel du Laboratoire sur des sujets bien précis. Dans de nombreux cas, des membres du Laboratoire se rendent en consultation auprès des instituts dont relèvent les stagiaires afin de s'assurer que les méthodes y sont correctement appliquées.

Evaluation des incidences sur l'environnement

Pour permettre de mieux comprendre le comportement et la répartition de certains radionucléides à différents niveaux des colonnes d'eau océaniques, des études importantes sont consacrées à leur flux de transport vertical. Ces études visent avant tout à évaluer quantitativement les flux verticaux descendant des radionucléides et autres polluants produits par l'homme entraînés vers le fond par des particules d'origine biologique (telles que matières fécales, moisissures, cadavres, etc.) provenant des couches supérieures de la mer. Pour déterminer les flux verticaux, on analyse les matières recueillies dans des pièges à sédiments que l'on place à diverses profondeurs dans les océans. On peut estimer la libération ou l'élimination des radionucléides par les particules d'origine biologique descendantes en combinant les résultats des mesures des matières contenues dans les pièges à sédiments avec ceux des mesures, au terme source, des éléments biologiques particulaires libérés dans les eaux de surface.

Il ressort des résultats de l'étude que les particules d'origine biologique, qui descendent verticalement, ont une forte teneur en radionucléides et que, partant, on considère que, dans leur transport vertical, elles entraînent divers radionucléides et autres matières polluantes, des couches de surface de l'océan vers les profondeurs*.

Biocinétique et transfert par la chaîne alimentaire

Le Laboratoire a acquis une grande expérience dans l'emploi des indicateurs pour mesurer l'absorption et l'élimination de radionucléides dans divers types d'organismes marins (notamment le phytoplancton, le zooplancton, les crustacés et les mollusques). Récemment, la recherche a surtout porté sur la biocinétique et le transfert par la chaîne alimentaire des transuraniens et autres nucléides de longue période. Parmi les indicateurs employés pour ces études, nous citerons le technétium 95m, le neptunium 235, le plutonium 237, l'américium 241, le curium 244 et le californium 252.

Les résultats de ces travaux sont importants car ils permettent d'estimer les facteurs de concentration des transuraniens et d'autres radionucléides dans de très nombreux organismes marins ainsi que de comprendre

* Pour réaliser ce programme, le Laboratoire a participé à des programmes nationaux (tels que VERTEX aux Etats-Unis et ECOMARGE en France) qui ont pu bénéficier de son expérience. Cette participation a élargi le cadre du projet car elle a permis d'étendre des méthodes de recherche mises au point au Laboratoire à diverses masses d'eau de l'océan Pacifique et de la mer Méditerranée.

leur biocinétique dans les transferts spécifiques de la chaîne alimentaire. Il est en particulier indispensable de connaître les facteurs de concentration des radionucléides dans divers organismes marins pour évaluer les effets radiologiques que chacun des radionucléides émis dans la mer peut avoir sur l'homme. C'est ainsi que la Division du cycle du combustible nucléaire de l'Agence a entrepris d'établir, avec l'aide d'un groupe de consultants, un recueil des valeurs connues des facteurs de concentration. Le Laboratoire a prêté son concours en fournissant les valeurs de facteurs de concentration que ses travaux lui avaient permis d'établir.

Outre les études expérimentales faites sur des radionucléides artificiels, le Laboratoire a étudié la répartition et le transfert par la chaîne alimentaire de certains radionucléides naturels, compte tenu notamment des concentrations très élevées de polonium 210 constatées dans les tissus de certains organismes marins. Les données ainsi obtenues sont utiles pour comparer la dose due au fond naturel de rayonnement avec celle qui provient des radionucléides artificiels libérés en milieu marin.

Etudes comparatives

En comparant les résultats des mesures de radionucléides faites sur diverses matrices recueillies en divers emplacements, on a pu déduire le comportement particulier de certains radionucléides libérés dans différentes régions marines. Des études ont été faites en étroite collaboration avec les établissements nationaux du Canada, du Danemark, de la Finlande, de la France, de la République fédérale d'Allemagne et de la Suède par exemple; elles ont porté sur des régions de l'océan Atlantique Nord ainsi que de l'océan Arctique, de la Baltique, de la mer du Nord et de la Méditerranée.

De nombreux échantillons d'eau de mer, de sédiments et d'organismes marins ont été recueillis en divers emplacements et l'on a fait des mesures notamment du strontium 90, du technétium 99, du caesium 134 et 137, du plutonium 238, 239 et 240 et de l'américium 241.

Les résultats ont fait apparaître plusieurs particularités intéressantes. Par exemple, alors que les quantités de plutonium 239 et 240 libéré dans la Méditerranée et dans la Baltique sont comparables, les concentrations en surface sont, dans la Méditerranée, cinq fois supérieures à ce qu'elles sont dans la Baltique. Quelque 60 à 80% du plutonium libéré dans la Méditerranée reste encore dans la colonne d'eau tandis que, dans la Baltique, 90% est déposé dans les sédiments. Cette différence s'explique par les différences des profondeurs moyennes de ces deux mers. (Les études ont également montré que le technétium 99 est un excellent traceur pour l'étude du transfert des radionucléides en suspension dans l'eau.)

Les radionucléides dans les sédiments

De nombreux radionucléides libérés dans le milieu marin s'associent à des particules d'origine minérale et biologique. Ces particules s'enfonçant sous l'effet de la pesanteur, les radionucléides en font de même et tôt ou tard atteignent le fond de la mer. S'ils y restaient sans plus se déplacer, on aurait là une solution idéale pour se débarrasser de ces isotopes. Malheureusement, divers facteurs (par exemple les caractéristiques chimiques des radionucléides, la nature des sédiments, les mouvements

Collecte d'algues au large de la côte de Thule, au Groenland.

de l'eau, la faune benthique) ont pour effet de les réintroduire dans le circuit et de les soumettre à des phénomènes géochimiques et biogéochimiques qui se produisent tant dans les sédiments qu'au niveau où l'eau se trouve en contact avec le fond de la mer. Les études faites dans ce domaine ont pour but d'élucider ces phénomènes de manière systématique.

Jusqu'à présent, on a étudié la répartition géochimique des divers radionucléides sur différents types de sédiments marins et une série d'expériences en laboratoire a permis de déterminer les facteurs de transfert des sédiments aux animaux. Des études séparées sont en cours pour déterminer l'importance de l'effet bioperturbateur sur la répartition de certains radionucléides naturels dans les sédiments marins, et sur la détermination chimique d'espèces de radionucléides métalliques tels que le cobalt 60 et le nickel 63 dans les eaux interstitielles. Vu la complexité des phénomènes en cause, on estime que les résultats obtenus lors des expériences en laboratoire n'ont qu'un intérêt limité pour expliquer les phénomènes qui ont lieu *in situ*. Il semble particulièrement important que l'on continue à donner des directives en vue d'orienter correctement les recherches et d'aboutir à des résultats utilisables.

Inventaire des radionucléides marins

Des travaux sont également en cours pour faire un inventaire et une évaluation des radionucléides qui pénètrent dans le milieu marin*. Ils doivent permettre

* Ces travaux font suite à la recommandation du comité scientifique qui s'est réuni en mars 1984. Elle a été réexaminée en juillet 1985 par un groupe de consultants qui ont conclu qu'une telle tâche serait utile tant pour l'AIEA que pour la communauté scientifique tout entière et qu'elle pourrait contribuer à une étude future du Comité scientifique des Nations Unies pour l'étude des effets des rayonnements ionisants (UNSCEAR).

de faire des estimations des flux de radionucléides qui pénètrent dans le milieu marin ou en ressortent et des inventaires des radionucléides établis à partir de mesures dans l'environnement. Des examens ultérieurs permettront de vérifier si ces inventaires sont compatibles avec les estimations des flux et de déceler les incohérences éventuelles.

Dans un premier temps, conformément aux recommandations du groupe de consultants, on étudiera les radionucléides suivants: carbone 14, caesium 134, 135 et 137, les radionucléides de la famille de l'uranium 238, en accordant la priorité au polonium 210 et au plomb 210, suivis du radium 226; enfin les isotopes du plutonium.

Programme de recherche coordonnée

Pour la période 1986–1988, le Laboratoire exécute un programme de recherche coordonnée (PRC) sur les méthodes et stratégies permettant de surveiller la présence de nouveaux radionucléides dans le milieu marin côtier; à cette fin, il s'intéressera particulièrement à l'emploi de bio-indicateurs. Plusieurs instituts de pays en développement participent à ce programme. C'est par le mécanisme des PRC que les données scientifiques nécessaires à l'évaluation des incidences que les radionucléides libérés dans la mer peuvent avoir sur l'environnement sont obtenues, rassemblées et publiées*.

Autres formes de coopération internationale

Indépendamment des travaux scientifiques directement liés au programme de l'Agence sur la gestion des déchets, le Laboratoire coopère avec d'autres organisations internationales à des travaux de surveillance et de recherche sur la pollution du milieu marin, notamment avec l'Organisation de l'alimentation et de l'agriculture (FAO), le Programme des Nations Unies pour l'environnement (PNUE) et la Commission océanographique internationale de l'Organisation des Nations Unies pour l'éducation, la science et la culture (UNESCO).

Le Laboratoire a en particulier prêté son concours au programme du PNUE sur l'océan et les zones côtières en lui fournissant un appui scientifique et technique. Son aide a porté notamment sur la mise au point d'appareils, des essais, la publication de directives et de documents de référence pour la mesure des éléments polluants, une aide pour ces mesures, l'organisation d'opérations d'étalonnage et la formation de personnel scientifique. Les travaux se sont étendus au bassin de la Méditerranée, au Koweït, ainsi qu'à l'Afrique occidentale, centrale et orientale. Le Laboratoire avait acquis les connaissances nécessaires pour fournir cette assistance à l'occasion de travaux analogues dans le domaine des études sur la radioactivité marine.

* Le Laboratoire a organisé d'autres programmes de recherche coordonnée, notamment sur le comportement cyclique des transuraniens en milieu marin (1978–1981) et sur le comportement des radionucléides de longue période associés à l'évacuation des déchets radioactifs dans les grands fonds marins (1981–1984). Il a également participé à deux programmes organisés par d'autres divisions de l'Agence, l'un sur les matières radioactives dans la Baltique et l'autre sur le rôle des sédiments dans le transport et l'accumulation des radionucléides dans les voies navigables.

Le Laboratoire de Monaco

L'AIEA est chargée d'établir des directives et de recommander des méthodes de gestion des déchets internationalement acceptables et qui protègent l'environnement humain. Pour accomplir sa mission, l'Agence a créé en 1961 le Laboratoire international de radioactivité marine en vertu de l'accord tripartite conclu avec le Gouvernement de Monaco et l'Institut océanographique de Monaco. Depuis lors, l'accord a été plusieurs fois renouvelé pour que le Laboratoire puisse poursuivre son programme. Un nouvel accord de siège, assurant une assise plus solide à leur collaboration, devrait être conclu sous peu entre l'AIEA et le Gouvernement de Monaco.

Les programmes scientifiques du Laboratoire sont examinés à intervalles réguliers par un groupe composé d'experts particulièrement compétents dans le domaine des études de la radioactivité marine. Les modifications apportées aux programmes s'inspirent de leurs recommandations. La dernière réunion du groupe d'experts a eu lieu en mars 1984.

Le Laboratoire a continué à axer ses recherches sur des sujets ayant trait aux problèmes de radioprotection que soulève la gestion des déchets radioactifs dans le milieu marin. Les domaines scientifiques qui se rattachent au programme général de l'Agence pour la gestion des déchets comprennent l'appui technique aux travaux de surveillance et de recherche sur la radioactivité marine et la collecte de données pour évaluer les effets que la libération de radionucléides dans le milieu marin peut avoir sur l'environnement.

Le Musée océanographique de Monaco, siège du Laboratoire.