

Travaux du Laboratoire international de radioactivité marine

par A. Walton*

Il n'y a guère que trois décennies que la nécessité de gérer et entretenir l'une de nos ressources les plus précieuses — les océans — retient l'attention internationale. Et en dépit d'une sensibilisation croissante à ce problème, il a fallu attendre les dix dernières années pour voir s'instaurer un accord international sur la réglementation de l'évacuation de déchets (y compris les déchets nucléaires) en mer.

Le Laboratoire international de radioactivité marine a été créé en 1961, bien avant l'entrée en vigueur de cet accord international. Il est né en fait de la prévoyance de l'Agence internationale de l'énergie atomique qui a su discerner la nécessité de s'attaquer au problème du comportement des matières radioactives dans les océans — sujet dont on savait peu de choses avant les années 50. Le Laboratoire a été installé dès 1961 au Musée océanographique de Monaco, avec le concours du Gouvernement de la Principauté et de l'Institut océanographique. Il paraît approprié qu'il ait été accueilli dans les locaux d'un établissement fondé par l'un des pionniers les plus éminents de l'océanographie: le prince Albert 1er de Monaco.

Depuis 1961, son programme et ses activités se sont élargis et modifiés à mesure qu'évoluaient l'importance attachée aux différents problèmes de la pollution marine. Pourtant, au travers des multiples changements de priorité intervenus au cours des 20 dernières années, il n'est probablement pas inexact de dire que ses objectifs généraux sont demeurés les mêmes. Sa raison d'être reste donc:

- d'étudier l'apparition et le comportement des matières radioactives et autres formes de pollution dans le milieu marin;
- d'assurer, par des comparaisons interlaboratoires, des travaux d'étalonnage et la normalisation des méthodes, la qualité et la comparabilité des études réalisées par les laboratoires nationaux sur les matières radioactives et autres formes de pollution du milieu marin;
- d'aider les Etats Membres à faire face aux problèmes de la radioactivité marine et de la pollution de l'environnement, en formant du personnel, en établissant des programmes de recherche coordonnée et en dispensant conseils et assistance.

On aura remarqué que le Laboratoire ne consacre pas tous ses travaux à la radioactivité. De fait, il est convenu qu'avec la coopération et le soutien du Programme des Nations Unies pour l'environnement (PNUE) et de l'UNESCO, il effectue, outre son programme normal de recherches sur la radioactivité, des études sur les "polluants non nucléaires". Ce programme est logique et rationnel vu la similitude des recherches sur le terrain et en laboratoire menées dans les deux domaines.

Pour réaliser ces objectifs, le personnel et les activités du Laboratoire sont organisés en trois grandes sections:

* Directeur du Laboratoire international de radioactivité marine, Monaco.

Chimie marine, Biologie marine et Sédimentologie/géochimie marines — cette dernière section a remplacé à la fin de l'année 1980 celle des Etudes sur l'environnement.

Chimie marine

Éléments transuraniens dans l'environnement marin:

L'un des principaux programmes de la Section de chimie marine consiste à étudier le comportement des éléments transuraniens dans l'environnement marin. Dernièrement, cette section a procédé à des mesures de Pu-238, Pu-239, Pu-240 et Am-241 dans de l'eau de mer, de l'eau fluviale, des matières en suspension, de l'eau de pluie et des sédiments prélevés dans toute la région méditerranéenne. Les données obtenues permettent de suivre le comportement des éléments transuraniens depuis leur apport à la mer par les cours d'eau et les retombées atmosphériques jusqu'à leur élimination éventuelle par des processus de sédimentation qui les transportent jusqu'à la couche limite benthique. Contrairement aux attentes, les résultats de ces mesures ont démontré que le plutonium provenant de retombées atmosphériques en Méditerranée se présente sous une forme relativement soluble, tandis que l'américium a tendance à s'associer plus facilement aux particules solides, de sorte que son transport vertical par chute des particules au fond de l'océan est plus rapide que celui du plutonium. On poursuit à l'heure actuelle l'étude des mécanismes précis de cette séparation du plutonium et de l'américium dans les couches supérieures de la Méditerranée. L'amélioration des connaissances sur la vitesse et l'ampleur du transport d'éléments transuraniens vers les sédiments des fonds est évidemment d'une importance considérable pour l'évaluation des conséquences de l'évacuation de déchets radioactifs en mer.

Éléments présents à l'état de trace dans la Méditerranée:

Dans le cadre du programme du PNUE sur la géochimie des métaux présents à l'état de trace dans la Méditerranée, le Laboratoire a étudié la distribution de certains de ces éléments afin d'obtenir des données de base permettant de dégager éventuellement des tendances à long terme. Au cours de plusieurs campagnes récentes, des échantillons d'eau de mer et de sédiments ont été prélevés en haute mer dans diverses régions de la Méditerranée. A des fins de comparaison, on a également procédé à des échantillonnages dans un nombre limité de stations côtières. Les dosages de cuivre, zinc, cadmium et mercure ont été effectués par voltamétrie (redissolution anodique) pour les échantillons d'eau de mer et par spectrométrie d'absorption atomique pour les sédiments. Si dans les zones côtières de la Méditerranée il existe bien quelques «points chauds» de pollution par les métaux en trace, en haute mer, les concentrations de ces éléments se révèlent assez peu différentes de celles observées dans d'autres zones océaniques et sont généralement plus faibles que celles signalées pour d'autres mers fermées comme la Mer du Nord, la Mer d'Irlande et la Mer Baltique.

Programme d'étalonnage comparé: Du fait qu'il est le seul établissement international de cette nature, le Laboratoire est devenu l'organisme reconnu de coordination d'un certain nombre de programmes mondiaux visant à améliorer la qualité des données relatives à l'environnement par l'organisation de comparaisons entre laboratoires, ainsi que la préparation et la diffusion de matières de référence.

C'est ainsi qu'une centaine de laboratoires de plus de 30 pays ont participé à des mesures comparées de radionucléides portant sur trois échantillons d'eau de mer, trois échantillons de sédiments et quatre échantillons d'organismes marins. Des échantillons homogènes, préparés par le Laboratoire de Monaco, ont été distribués aux organisations participantes. L'examen critique des résultats de cette étude a fait ressortir que si la comparabilité des mesures de produits de fission s'est considérablement améliorée ces dernières années, probablement à la suite du perfectionnement du matériel de spectrométrie gamma, celle des mesures de faibles concentrations d'éléments transuraniens laisse à désirer. Aussi, au cours des toutes dernières années, a-t-on axé davantage les efforts sur la mesure des éléments transuraniens. Il est devenu évident qu'il faut que les laboratoires aient accès facilement à des matières de référence pour lesquelles les concentrations des radionucléides considérés sont connues avec exactitude, de façon à pouvoir tester l'efficacité des méthodes de mesure en les appliquant à ces matières de référence. On prépare actuellement de gros échantillons homogènes de sédiments pour répondre à ce besoin.

Les travaux d'étalonnage comparé ont été étendus à l'analyse quantitative des éléments en trace et des hydrocarbures chlorés. Quelque 120 laboratoires de 35 pays ont participé jusqu'à présent aux exercices portant sur les éléments en trace. Entre 1976 et 1980, on a mené à bien des mesures relatives à quatre échantillons d'organismes vivants (huîtres, copépodes, végétaux marins et chair de poisson); il en est ressorti que si l'on excepte le cas du plomb, la comparabilité des résultats des analyses est généralement bien meilleure qu'on ne le pensait.

Les exercices d'étalonnage comparé portant sur les hydrocarbures chlorés présents dans l'eau de mer, les organismes marins et les sédiments ont été conduits jusqu'à présent par une cinquantaine de laboratoires répartis dans le monde entier. L'examen des résultats a montré que si la dispersion des valeurs indiquées pour les hydrocarbures chlorés est généralement plus forte que pour les métaux lourds, les mesures des hydrocarbures chlorés étant par nature moins facilement reproductibles, la comparabilité des résultats signalés par différents laboratoires est néanmoins meilleure que prévue, sauf pour quelques composés comme l'alpha-hexachlorobenzène, le gammahexachlorobenzène, etc. Etant donné qu'un certain nombre des laboratoires participants viennent seulement de lancer leur programme de mesures de la pollution de l'environnement, la comparabilité des résultats devrait s'améliorer très sensiblement à l'avenir. Comme ceux relatifs aux éléments en trace, les exercices d'étalonnage comparé portant sur les hydrocarbures chlorés occupent une place essentielle parmi les projets patronnés par le PNUE.



Le Musée océanographique de Monaco, qui abrite le Laboratoire international de radioactivité marine de l'Agence.

Les travaux d'étalonnage comparé sont appelés à s'étendre à la radioactivité naturelle, aux radionucléides provenant des activités industrielles et aux polluants d'origine non nucléaire. On accordera aussi une attention accrue aux avantages de la normalisation des techniques d'échantillonnage.

Pour pouvoir prendre la tête de ces importants travaux internationaux, le Laboratoire de Monaco doit conserver dans ce domaine une compétence scientifique et technique inégalée. Du simple point de vue administratif et organisationnel, l'expérience qu'il a acquise ces dernières années en distribuant des échantillons à divers laboratoires de nombreux pays différents et en assurant le suivi des résultats des mesures, est d'une valeur inappréciable.

Biologie marine

Les travaux de la Section de biologie portent également à la fois sur les matières radioactives et sur d'autres substances. Beaucoup de techniques d'utilisation des radioindicateurs mises au point initialement en vue de l'étude de la radioactivité se sont révélées particulièrement précieuses pour celle des métaux lourds.

Transport vertical des polluants: L'objectif principal de ce projet est l'évaluation quantitative des flux verticaux descendants de polluants comme les radionucléides, les métaux lourds, les hydrocarbures chlorés, etc., qui sont liés à la chute de particules solides organiques vers le fond. Les flux verticaux des polluants contenus dans les débris organiques tels que les pelotes fécales, mues, carcasses, etc., sont déterminés grâce à l'analyse des matières recueillies dans des collecteurs de sédiments immergés à différentes profondeurs. Parallèlement à ces opérations de collecte de sédiments, des navires procèdent par des techniques spécialement étudiées au recueil des mêmes matières fraîchement rejetées par le zooplancton et d'autres organismes marins — matières où l'on recherche ensuite la présence des mêmes polluants. La détermination des concentrations de polluants dans les débris organiques prélevés à différentes profondeurs ainsi que dans les mêmes matières rejetées dans les eaux de surface ("premiers termes") permet d'estimer la mesure dans laquelle ces polluants sont libérés et/ou



L'un des chercheurs du Laboratoire se préparer à disséquer un spécimen biologique pour des études de la radioactivité.

entraînés par les débris organiques lorsque ceux-ci s'enfoncent dans la mer. Pour compléter ces études menées sur le terrain, on mesure en laboratoire, par analyse au moyen de radioindicateurs et d'éléments stables, la décomposition et la libération ultérieure des polluants présents dans ces matières. Cette information sert à tester des modèles du mouvement des polluants injectés en surface vers la couche limite benthique. Les résultats obtenus à ce jour indiquent que les particules organiques qui s'enfoncent dans la mer contiennent souvent des concentrations extrêmement élevées de polluants divers et contribuent à l'élimination des couches de surface et au transport vers le fond de beaucoup de ces polluants.

Ces travaux seront étendus à la circulation des éléments transuraniens dans le cadre du programme VERTEX (Transport vertical et échange de matières dans les couches supérieures des océans) proposé au nom de plusieurs organismes par le National Science Foundation Office des Etats-Unis dans le contexte de la Décennie internationale de l'exploration des océans (1980-1990).

Accumulation dans les organismes vivants et transfert par la chaîne alimentaire des éléments transuraniens: On réalise actuellement des expériences fondées sur l'utilisation des radioindicateurs afin de mesurer les coefficients de transfert du plutonium, de l'américium, du curium et du neptunium provenant de l'eau, des sédiments et des aliments dans toute une série d'organismes marins. Il s'agit surtout d'étudier les espèces pélagiques, comme le zooplancton, qui jouent un rôle dans le transport vertical de ces éléments ainsi que les espèces benthiques qui vivent en contact étroit avec les sédiments. Les données tirées des études sur les espèces benthiques doivent servir de paramètres de base pour l'évaluation de l'incidence des rejets en haute mer. Par ailleurs on étudie au niveau des organes et des constituants cellulaires l'évolution et le comportement d'éléments transuraniens circulant dans des chaînes alimentaires simulées. Les résultats obtenus à l'heure actuelle indiquent que l'eau et la nourriture jouent un rôle plus important que les sédiments comme vecteurs de transfert des éléments transuraniens aux organismes marins. En outre, certains invertébrés benthiques

conservent pendant de longues périodes d'importantes fractions de ces radionucléides qu'ils ont absorbés dans l'eau ou les aliments. Les travaux expérimentaux ont été grandement facilités par la présence de l'émetteur gamma Pu-237 qui permet d'effectuer de mesures *in vivo*.

Distribution des émetteurs alpha naturels dans les organismes marins: Le polonium 210, radionucléide naturel qui se concentre intensément dans les organismes marins, est responsable des plus fortes doses d'irradiation reçues par de nombreuses espèces.

Dans les poissons entiers, les concentrations de polonium 210 peuvent atteindre 7000 pCi/kg (poids humide) et on a signalé pour le concentré de protéines de poisson (concentré d'anchois) une valeur exceptionnellement élevée de 26 000 pCi/kg (poids sec). La dose d'irradiation interne du zooplancton par du plutonium 210 a été évaluée à environ 400 mrem par an, tandis que chez certaines espèces la dose aux organes critiques peut atteindre environ 10 rem par an. Les taux de fixation du polonium 210 peuvent être de 10 à plus de 10 000 fois plus élevés que ceux de certains nucléides transuraniens.

Un programme de recherche en cours tend à déterminer la distribution de Po-210 dans les tissus de différents organismes marins. Les résultats montrent que les plus fortes concentrations de Po-210 se situent ordinairement dans l'hépatopancréas ou le foie d'espèces très diverses; c'est pourquoi on s'attache plus particulièrement à mettre en évidence les sites de liaison de Po-210 à l'intérieur de cet organe. Les travaux futurs viseront à élucider par des techniques biochimiques la distribution intracellulaire de ce radionucléide. On utilisera les données obtenues pour déterminer les débits de dose de rayonnement naturel et évaluer les doses d'irradiation dues à d'autres radionucléides libérés dans l'environnement. Ces travaux pourraient contribuer dans une mesure importante à éclairer la question controversée des effets des faibles doses d'irradiation sur les organismes vivants.

Etudes biocinétiques des métaux lourds: Ces études constituent un bon exemple de la manière dont les techniques d'application des traceurs radioactifs se sont développées pour s'étendre à l'analyse du comportement et du sort des métaux lourds polluants dans la biosphère marine. En utilisant les traceurs émetteurs gamma que sont le cadmium 109, le mercure 203, le sélénium 75, l'arsenic 74 et le vanadium 48, on peut étudier *in vivo* l'incorporation et la perte de ces métaux par les organismes marins, sans avoir à tuer ces organismes ni à les soumettre à la procédure d'extraction et d'analyse chimique normalement employée dans l'étude des métaux stables. L'accumulation biologique et le transfert des métaux lourds par la chaîne alimentaire sont examinés aussi bien pour les espèces pélagiques que pour les espèces benthiques. Il s'agit en particulier d'évaluer l'influence exercée par les paramètres du milieu ambiant, comme la température, la salinité et la charge en métaux, sur les cycles biogéochimiques de ces éléments. Par ailleurs, on a confronté ces analyses expérimentales à des dosages analogues effectués *in situ* afin de déterminer dans

quelle mesure les résultats obtenus en laboratoire rendent bien compte du déroulement effectif des processus naturels. A ce jour, il ressort de ces travaux que certaines caractéristiques du milieu influent fortement sur la circulation des métaux entre de multiples espèces marines et que les cycles biogéochimiques de ces métaux varient par conséquent en fonction de la modification de ces facteurs. Les comparaisons entre les recherches en laboratoire et les recherches sur le terrain ont mis en évidence les nombreuses difficultés que soulève la conception d'expériences de laboratoire propres à fournir une information sûre sur les processus naturels.

Etudes de référence sur la contamination des espèces méditerranéennes de haute mer par les métaux en trace:

Plusieurs campagnes de recherche océanographique ont été entreprises récemment dans le but de recueillir et d'analyser des organismes pélagiques très divers et d'y déterminer les concentrations de certains métaux en trace. On s'est attaché à bien séparer et analyser les différentes espèces de façon à éviter les nombreux problèmes que pose l'interprétation des concentrations de métaux dans des échantillons de plancton mélangé. Les résultats montrent que, d'une manière générale, les concentrations de métaux en trace dans les espèces pélagiques de haute mer en Méditerranée ne diffèrent pas de celles observées dans des organismes analogues provenant d'autres régions océaniques. La contamination par le mercure se révèle particulièrement faible chez de nombreuses espèces méditerranéennes de haute mer.

Etudes biocinétiques des hydrocarbures chlorés: On a conçu diverses expériences afin d'analyser quantitativement l'accumulation, la distribution tissulaire et la dépuration de certains composés d'hydrocarbures chlorés chez toutes sortes d'espèces marines. On étudie également l'intensité des transferts effectués par la chaîne alimentaire ainsi que le rôle des sédiments dans cette contamination biologique. Il s'agit en particulier de déterminer la mesure dans laquelle les données obtenues en laboratoire sur la biocinétique des hydrocarbures chlorés peuvent être extrapolées à l'analyse des situations réelles dans la nature. L'information tirée de ces comparaisons entre les conditions naturelles et les systèmes conçus en laboratoire sert à guider des expériences de simulation tendant à fournir des données réalistes sur les phénomènes qui se produisent *in situ*.

Sédimentologie marine

L'étude de ce domaine doit constituer une extension importante des activités du Laboratoire. Les sédiments océaniques sont généralement considérés comme l'ultime réceptacle de la plupart des éléments chimiques qui ont subi divers processus géochimiques en milieu marin comme en milieu terrestre. Mais on sait aussi que différents éléments peuvent se trouver recyclés par suite de réactions entre l'eau et les sédiments ou encore d'une interaction biologique avec des organismes marins. Les mécanismes et l'ampleur de ces éventuels phénomènes de recyclage demandent à être mieux connus. Le programme entrepris à ce sujet présente une importance particulière pour l'étude des effets à très long terme des polluants, ainsi que du sort final des matières rejetées dans l'environnement marin, sort qui dépend des réactions s'opérant au contact entre les sédiments et l'eau. Du point de vue géochimique, cette question mérite une attention spéciale.

Coopération internationale

Le Laboratoire de Monaco accueille des chercheurs en congé sabbatique, ainsi que des stagiaires venant principalement de pays en développement. La formation occupe une place importante parmi les activités patronnées par le PNUE dans la région méditerranéenne et ailleurs dans le cadre du Programme des mers régionales.

Cet effort du PNUE qui représente environ 20% de l'activité du Laboratoire est mené en collaboration étroite avec d'autres organismes de pays du bassin méditerranéen et d'autres régions. Dans le cadre de ce programme de collaboration, un ingénieur électronicien a été affecté au Laboratoire pour s'occuper de l'installation et de l'entretien des instruments de mesure comme les chromatographes en phase gazeuse, les spectrophotomètres d'absorption, les compteurs de courant, etc. Les pays en développement qui participent aux travaux attachent une importance particulière à cette activité. En outre, le Laboratoire a monté en 1975, en collaboration avec le Centre scientifique de Monaco, une unité de maintenance électronique qui assure l'entretien de l'équipement électronique complexe des deux organismes.

