

LA BALTIQUE, MER DYNAMIQUE

DES PROJETS DE L'AIEA AIDENT À ÉVALUER LE MILIEU MARIN

IOLANDA OSVATH, MASSOUD SAMIEI,
L. VALKUNAS ET JOZEF ZLATNANSKY

La protection de l'environnement revêt une importance croissante pour divers programmes de l'AIEA, en particulier dans la région européenne. De nombreux pays de la région souffrent d'une grave détérioration de l'environnement. Les projets de coopération technique de l'AIEA traitant de l'environnement représentent près de 15 % de l'ensemble du programme consacré à l'Europe.

À la demande de ses États Membres, l'AIEA a participé à d'importants projets d'évaluation des environnements terrestre, atmosphérique et marin ainsi qu'à la mise en œuvre, dans plusieurs parties d'Europe, d'activités de remise en état et de réhabilitation :

- Développement des moyens;
- Évaluation, suite à l'accident de Tchernobyl, d'une éventuelle contamination par les radionucléides en priorité parmi d'autres polluants ainsi que du risque lié à d'autres installations nucléaires;
- Coordination accrue avec (et participation à) des projets internationaux axés sur l'environnement.

La région de la mer Baltique ne fait pas exception et bénéficie depuis plusieurs années de l'attention de l'AIEA. Cette attention fait suite à la prise de conscience et aux préoccupations croissantes des pays riverains de la Baltique concernant l'environnement de cette dernière, problème qui a pris de

l'importance au cours des trois dernières décennies.

Bassin presque fermé drainant, par un grand nombre de fleuves, près d'un cinquième de la région européenne, la Baltique est la plus importante masse d'eau saumâtre (faiblement salée) du monde. Le lent échange d'eau avec la mer du Nord par les détroits danois peu profonds et étroits se solde, pour l'eau de la Baltique, par un temps de séjour de 25 à 40 jours favorable à l'accumulation de polluants.

En hiver, la Baltique est largement couverte de glace, ce qui ralentit encore la faible circulation d'eau provoquée par le vent et réduit les possibilités de dispersion des polluants. Les conditions hydrographiques particulières, l'échange d'eau restreint avec les océans de la planète et l'important apport d'eau douce favorisent la persistance d'eaux de fond pauvres en oxygène peu propices à la vie marine. Contrairement aux eaux des hauts-fonds, qui se renouvellent lentement mais de

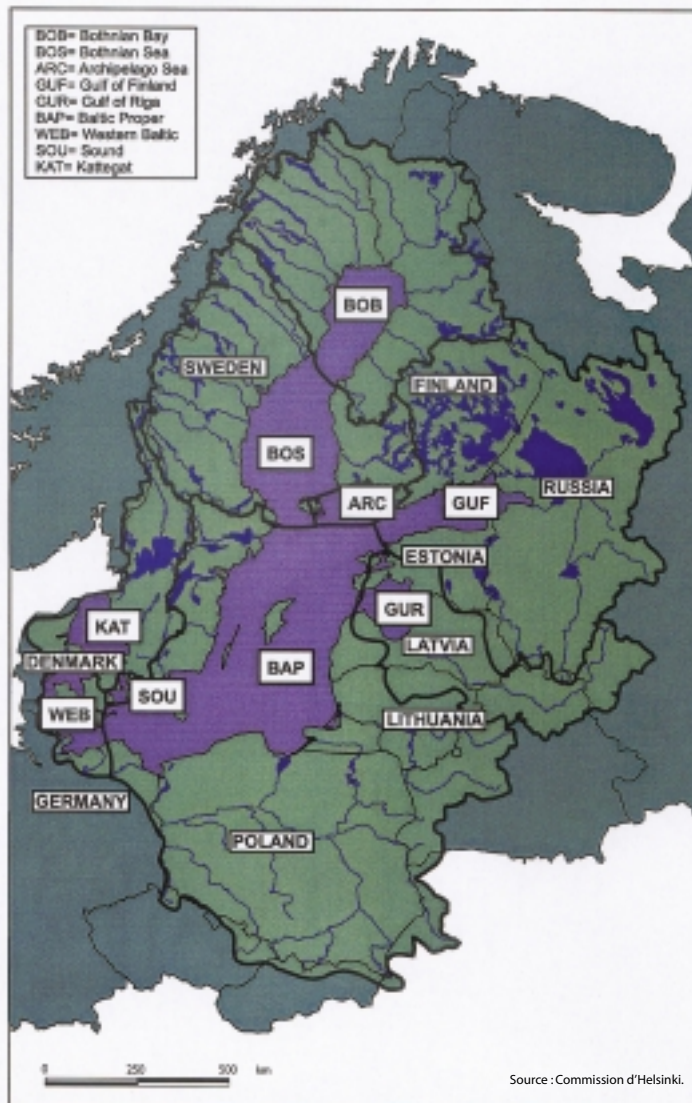
façon continue, les eaux profondes de la Baltique ne se renouvellent que périodiquement, à une fréquence variable déterminée par des processus météorologiques complexes. Au cours de ce siècle, d'importants apports d'eau de la mer du Nord ont eu lieu tous les 11 ans environ, mais on sait que ce cycle a varié au cours des dernières décennies. Entre ces apports, il peut survenir dans les eaux profondes de la Baltique une absence d'oxygène entraînant la formation de sulfure d'hydrogène toxique pour les organismes. Ainsi peuvent se développer des zones de "fonds morts" exempts de toute forme de vie benthique ou supérieure couvrant parfois un tiers du fond de la mer.

À cette fragilité naturelle se sont ajoutées des influences humaines qui ont encore modifié et dégradé l'environnement. Plus de 16 millions d'individus vivent sur le littoral et quelque 80 millions dans la zone du bassin versant. La côte est partagée par neuf pays :

Mme Osvath est fonctionnaire au Laboratoire de l'environnement marin de l'AIEA (Monaco). M. Samiei dirige la Section de l'Europe de la Division pour l'Europe, l'Amérique latine et l'Asie de l'Ouest au Département de la coopération technique. M. Zlatnansky est fonctionnaire de cette section. M. Valkunas dirige l'Institut de physique de Vilnius (Lituanie). Note : Le présent article s'inspire en partie de publications de la Commission d'Helsinki – la Convention sur la protection de l'environnement marin dans la région de la mer Baltique, le Programme d'action intégré commun pour l'environnement de la mer Baltique, le Recueil de données sur la pollution de la mer Baltique et le Rapport sur la radioactivité dans la mer Baltique 1984-91 (BSEP 61, 1995).

LA MER BALTIQUE ET SON BASSIN VERSANT

La Baltique est une mer semi-fermée peu profonde ayant une superficie de 415 000 kilomètres carrés et une profondeur maximale de 460 mètres. Le bassin versant s'étend sur plus de 1,7 million de kilomètres carrés, et 480 kilomètres cubes d'eau douce sont rejetés en moyenne dans la mer chaque année. Près de la moitié de cet apport est imputable aux sept grands fleuves suivants : Néva, Vistule, Daugava, Nemunas, Kemijoki, Oder et Göta älv.



Allemagne, Danemark, Estonie, Finlande, Lettonie, Lituanie, Pologne, Russie et Suède. Le bassin versant s'étend cependant aussi à certaines régions du Bélarus, de la Norvège, de la République slo-

vaque, de la République tchèque et de l'Ukraine. Les rejets de déchets industriels et agricoles et d'eaux usées mal ou non traitées de collectivités par les fleuves tributaires ou directement dans la mer ont grave-

ment détérioré l'environnement de nombreuses régions de la Baltique.

La pollution due aux navires et aux accidents maritimes, aux pratiques halieutiques et aquacoles et, surtout, aux apports atmosphériques de polluants a également contribué à perturber davantage l'équilibre écologique. Les substances nocives ou toxiques et persistantes (PCB, DDT, HAP, composés polychlorés, pesticides, mercure), les nutriments (composés phosphorés et azotés facteurs d'eutrophisation), les métaux lourds, les radionucléides et les hydrocarbures sont les principales causes de préoccupation.

Le type et la quantité de polluants atteignant la Baltique et l'ampleur des zones touchées ont varié dans le temps. Au début des années 90, cependant, des experts ont compris que la pollution de la mer commençait à menacer son biote et, finalement, la santé et le bien-être de la population humaine vivant de ses ressources.

COLLABORATION RÉGIONALE

Comme suite à la Conférence des Nations Unies sur l'environnement humain (1972), les gouvernements des États riverains de la Baltique ont signé, en 1974, la Convention sur la protection de l'environnement marin dans la mer Baltique, dite Convention d'Helsinki, entrée en vigueur en 1980. L'organe directeur de la Convention est la Commission d'Helsinki – Commission pour la protection du milieu marin dans la zone de la mer Baltique. Sont Parties à la Convention les neuf pays rive-

rains de la Baltique et l'Union européenne.

La Déclaration de la mer Baltique – dont l'objectif à long terme est d'assurer la réhabilitation écologique de la Baltique et la préservation de son équilibre écologique – a été adoptée par les premiers ministres lors de la Conférence sur l'environnement de la mer Baltique tenue à Ronneby (Suède) en 1990. Deux ans plus tard, la Conférence diplomatique sur la protection du milieu marin de la Baltique a donné lieu à l'adoption de la Déclaration sur l'environnement de la mer Baltique. Les participants ont approuvé la démarche et les principes du Programme d'action intégré commun pour l'environnement de la mer Baltique.

De nombreuses organisations internationales dont l'AIEA et des institutions financières ont été invitées à assister, en qualité d'observateurs, à cette importante conférence diplomatique. C'est alors qu'a été signée la nouvelle Convention d'Helsinki, entrée en vigueur au début de 2000 une fois ratifiée par toutes les Parties contractantes. La Convention a été élargie pour inclure les eaux intérieures des Parties contractantes et les concepts de principe de précaution, de meilleures pratiques environnementales et de meilleures techniques disponibles. Elle traduit la ferme détermination des Parties contractantes à assurer la réhabilitation écologique de la Baltique et reconnaît que la protection et l'amélioration du milieu marin de la Baltique sont des tâches qui ne peuvent s'accomplir efficacement que grâce à une étroite coopération régionale, et non au seul niveau national.

La Convention définit le cadre de l'adoption de mesures législatives, administratives et autres visant à prévenir et à éliminer toute pollution afin de rétablir et de promouvoir l'équilibre écologique de la région de la Baltique. Le Programme d'action recense les problèmes et les mesures prioritaires à prendre dans tous les pays du bassin versant de la Baltique. Il englobe des mesures aussi bien préventives – visant à promouvoir une utilisation durable de l'environnement de la Baltique – que correctrices – visant à pallier la détérioration de l'environnement causée par la pollution émanant de sources ponctuelles et diffuses. Il repose sur l'élaboration de politiques et de législations environnementales appropriées, sur une réforme de la réglementation, sur la promotion d'incitations économiques visant à encourager les technologies respectueuses de l'environnement, sur le renforcement des moyens institutionnels et humains, et sur l'accroissement des moyens locaux de financement de l'action environnementale. Il comprend enfin des éléments de soutien à la recherche appliquée et de sensibilisation et d'éducation à l'environnement.

Dans la collaboration régionale, la surveillance et l'évaluation de l'environnement jouent un rôle important. Elles fournissent à la Commission d'Helsinki des données fiables lui permettant d'élaborer sa politique environnementale et d'évaluer l'efficacité des mesures prises pour atténuer la pollution. Un important programme de surveillance et d'évaluation a été lancé dès le début. Régulièrement, la Commission publie des rap-

ports complets et des recueils de données sur l'environnement et la pollution de la Baltique. La quatrième Évaluation périodique de l'environnement de la mer Baltique (1994-1998) a été préparée et sera prochainement publiée.

En mars 2001, la Commission a présenté dans un communiqué de presse les résultats de cette dernière étude. Celle-ci montre que les mesures prises par les pays riverains de la Baltique pour protéger le milieu marin vont dans le bon sens, mais que les efforts doivent être poursuivis et intensifiés en veillant, notamment, à instaurer une croissance économique durable.

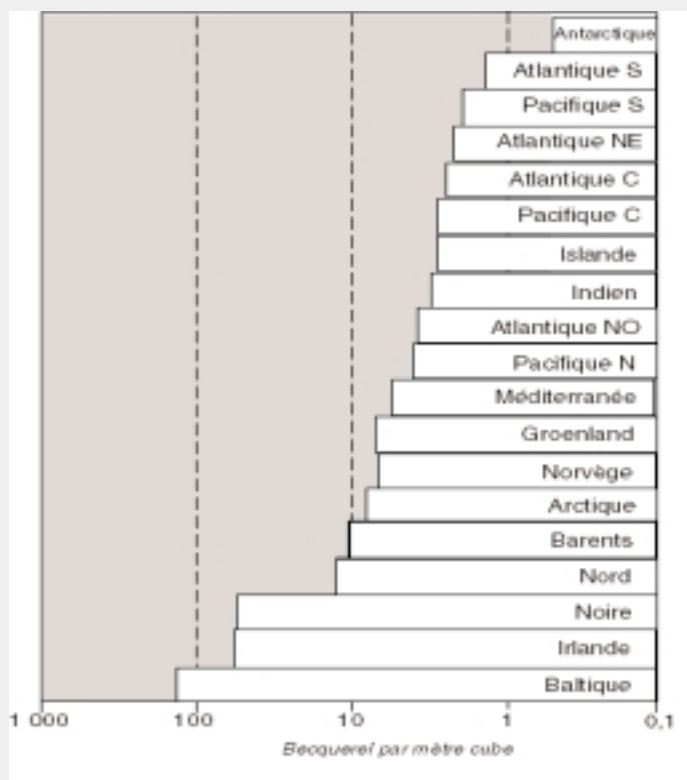
ÉTUDE DE LA RADIOACTIVITÉ EN MER BALTIQUE

Les radionucléides artificiels présents dans la Baltique proviennent essentiellement des retombées mondiales des essais d'armes nucléaires, des rejets des usines de retraitement de Sellafield (Royaume-Uni) et de la Hague (France), et des retombées de l'accident de la centrale nucléaire de Tchernobyl survenu en 1986.

Par comparaison, les apports des neuf centrales nucléaires et des centres de recherche, hôpitaux et autres installations situés dans le bassin versant sont extrêmement faibles. Une ancienne décharge côtière ouverte située à Sillamäe (Estonie) – utilisée pour l'évacuation de résidus de traitement de minerais contenant de l'uranium et du thorium et ultérieurement transformée en dépôt de déchets – a été jugée n'avoir qu'un impact radiologique négligeable. Parmi les autres sources relativement



CONCENTRATION MOYENNE DE CÉSIMUM 137 DANS LES EAUX DE SURFACE DES OCÉANS



(ÉCHELLE LOGARITHMIQUE, 1990)

Source: Estimations du programme de recherche coordonné de l'AIEA sur les sources de radioactivité dans le milieu marin et leurs contributions relatives aux doses globales liées à la radioactivité marine (MARDOS). Résultats publiés dans le document TECDOC-838 (1995).

insignifiantes ou potentielles de radioactivité figurent les rejets de faible ampleur opérés par la Suède (TECDOC-1105, 1999) et par l'ex-Union soviétique (rapport Yablokov, 1993), ainsi que les rejets autorisés d'effluents liquides provenant du déclassement d'une ancienne base de formation de la marine soviétique située à Paldiski (Estonie).

La source de loin la plus importante de contamination de la Baltique par des radionucléides artificiels a été l'accident de Tchernobyl, survenu en 1986. Les apports les plus importants ont été ceux liés au césium 137 et au césium 134, relativement faciles à quantifier et à suivre en raison de

leur ratio isotopique initial bien établi d'environ 2:1 dans les retombées de Tchernobyl. Suite à l'accident, l'inventaire de césium 137 dans l'eau est passé de 325 TBq en 1985 à 4 300-5 000 TBq en 1986.

D'autres radionucléides de courte période ont été détectés dans le milieu marin pendant les jours et mois qui ont suivi la contamination. Cependant, ni ces radionucléides, ni les isotopes de strontium 90 ou les isotopes de plutonium de longue période n'ont été jugés, en raison de leur décroissance rapide ou du très faible accroissement de leur niveau, avoir d'incidence sur le milieu marin.

Le césium 137 s'est réparti inégalement à la surface de la

Baltique, ce qui a été attribué au dépôt direct des retombées de Tchernobyl lorsque le panache radioactif a traversé la mer dans les premiers jours suivant l'accident, et à l'écoulement de fleuves ayant traversé des terres contaminées adjacentes. En mai-juin 1986, ses concentrations dans l'eau allaient de 50 Bq par mètre cube dans le sud à plus de 5 000 Bq par mètre cube dans le Golfe de Finlande.

Des enquêtes réalisées en 1989 et 1994 montrent que des valeurs maximales étaient encore mesurées dans les eaux de surface.

Cependant, la contamination avait largement pénétré les couches profondes et une partie importante de l'inventaire s'était transférée vers les sédiments. Il ressort des enquêtes que ce sont la mer de Bothnie et le nord de la Baltique proprement dite qui présentent les plus fortes concentrations, même si les niveaux sont repassés, huit ans après l'accident, au-dessous de 140 Bq par mètre cube. Bien que ces niveaux ne posent pas de problèmes radiologiques, la Baltique reste, en termes relatifs, le milieu marin présentant la plus forte contamination au césium 137 du monde (voir graphique).

La mesure/évaluation de la radioactivité de la Baltique, qui intéresse l'ensemble de la région, a fait l'objet de nombreux programmes de recherche nationaux et internationaux. Dès 1980, l'AIEA a lancé un programme de recherche coordonnée (PRC) sur l'étude des matières radioactives présentes dans la Baltique. Ce programme, qui visait à évaluer le comporte-

ment à long terme des radionucléides pénétrant dans la Baltique, y compris leur transfert vers les humains, a été exécuté avec la participation de chercheurs de tous les pays riverains de la Baltique et du Laboratoire de l'environnement marin de l'AIEA à Monaco (alors connu sous le nom de Laboratoire international de radiologie marine). Ce PRC a fourni de précieuses données sur les niveaux et le devenir des radionucléides artificiels dans la Baltique ainsi qu'une évaluation de référence de la situation antérieure à Tchernobyl.

En 1985, la Commission d'Helsinki a décidé de poursuivre les travaux lancés par l'AIEA et a créé un Groupe d'experts chargé de la surveillance des substances radioactives présentes en mer Baltique (MORS). L'AIEA a continué de participer à ces travaux en assurant un important programme d'assurance-qualité. Le Groupe MORS a publié des rapports complets sur les niveaux et l'évolution des radionucléides artificiels dans l'eau de mer, les sédiments et le biote, les inventaires de radionucléides dans l'eau de mer, les rejets d'installations nucléaires dans le bassin versant, la modélisation du transport des radionucléides et l'évaluation des doses radiologiques reçues par les humains du fait de l'exposition à l'eau de mer.

Ces questions ont aussi été étudiées de façon approfondie par le projet MARINA BALT (1996-1998) de la Commission européenne, qui avait pour objet d'estimer la radioexposition de la population de l'Union européenne à la radioactivité de la Baltique.



COOPÉRATION TECHNIQUE DE L'AIEA

En 1998, le Gouvernement lituanien a sollicité l'aide de l'AIEA pour développer les moyens requis pour évaluer la radioactivité de la partie lituanienne de la Baltique. L'intérêt était notamment de comprendre la dynamique des concentrations de radionucléides dans le milieu marin en fonction des apports et les processus océanographiques clés propres à cette zone de la Baltique. L'objectif ultime était d'optimiser la surveillance et de mettre au point des outils de prédiction fiables reposant sur des modèles validés. Il fallait pour cela élaborer et appliquer

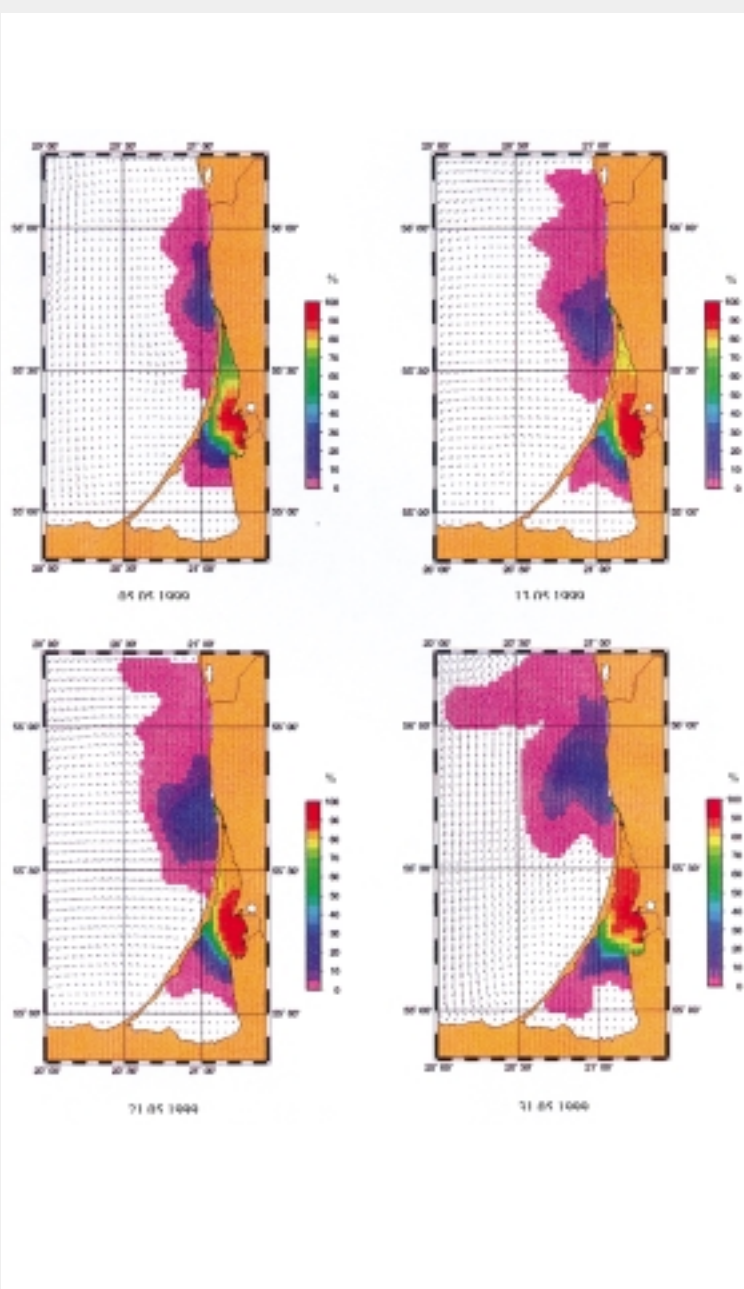
des modèles de circulation hydrodynamiques 3D haute-résolution, des modèles de dispersion validés et des modèles validés de calcul de doses.

Un projet de coopération technique doté d'un budget de 360 000 dollars, conçu en 1999, vise à élaborer, en s'appuyant sur la surveillance de sites, un modèle d'évaluation de la dispersion des radionucléides dans la partie lituanienne de la Baltique, les affluents du fleuve Nemunas et le lagon de Courlande. Ce projet bénéficie d'un solide engagement des pouvoirs publics et

Photo : Vue du détroit de Klaipėda, qui relie le lagon de Courlande et la Baltique. (Crédit: Valkunas/Lituanie)

SUIVI DE L'ÉCOULEMENT DES FLEUVES DANS LA BALTIQUE

La séquence de relevés ci-dessous illustre la modélisation de l'évolution dans le temps des concentrations d'un traceur neutre relâché de façon continue et constante à l'embouchure du fleuve Nemunas, qui présente un intérêt particulier dans l'étude de la pollution transfrontalière de la Baltique. L'expérience numérique s'est déroulée du 1^{er} avril au 1^{er} juin 1999. Les clichés datés montrent le cheminement du traceur et indiquent la direction et la vitesse du courant. (Crédit : L. Davulienė)



a été déclaré priorité nationale dans le cadre du programme de coopération technique de l'AIEA pour 2001-2002.

Collaborent à ce projet, qui est coordonné avec d'autres programmes nationaux et internationaux consacrés à la Baltique, quatre institutions lituaniennes – l'Institut de physique, l'Université technique Gediminas de Vilnius, des laboratoires du Ministère de l'environnement et l'Institut de géographie – et des personnels du Centre de radioprotection du Ministère lituanien de la santé.

Les partenaires de l'AIEA ont collaboré à la conception du projet et à la définition du plan de travail. Dès le début, des conseils avaient été prodigués par des experts du Laboratoire national de Risø (Danemark) et de l'Agence maritime et hydrographique fédérale allemande. Ces instituts, qui participent depuis longtemps à l'étude de la radioactivité de la Baltique et au programme MORS, ont également accueilli huit visites d'étude et de recherche de spécialistes lituaniens. La formation a principalement visé à améliorer les compétences en matière de radioanalyse et de modélisation. Le thème de la gestion de l'assurance-qualité dans les applications environnementales des techniques d'analyse nucléaires a également été abordé dans le cadre d'un cours de l'AIEA

accueilli par le Centre de formation technologique et environnementale avancée de Karlsruhe (Allemagne). La mise en œuvre du projet a été en outre soutenue par l'offre de matériel d'échantillonnage et de radiométrie et d'une assistance à l'organisation de croisières scientifiques.

Pendant la première phase du projet, il a été lancé une étude approfondie de l'impact du fleuve Nemunas sur la partie lituanienne de la Baltique. Le Nemunas est le troisième fleuve tributaire de la Baltique, s'y écoulant à travers le lagon de Courlande et le détroit de Klaipėda (*voir photo*).

Ce fleuve revêt pour la Lituanie un intérêt particulier dans le contexte de l'évaluation de la pollution transfrontalière, car la partie supérieure du fleuve et près de 60 % de son bassin hydrographique se situent en dehors du territoire lituanien. Il présente aussi un intérêt plus vaste pour les pays Baltes, plus de 45 % du bassin hydrographique du fleuve se situant en dehors de la zone de la Commission d'Helsinki, et n'étant donc pas soumis à la politique environnementale de la Commission.

De nombreuses industries polluantes (transformation d'aliments, textile, tanneries, raffineries, usines chimiques, pâte à papier) ont vu le jour dans le bassin et l'on s'emploie à mettre sur pied des installations de traitement des eaux usées et de rejet des déchets industriels dans les systèmes d'égouts municipaux.

Comme le fleuve draine les écoulements provenant du Bélarus, on surveille également l'afflux de radionucléides liés aux retombées de Tchernobyl.

La région du lagon de Courlande, zone de mélange eau douce/eau de mer, abrite diverses transformations des contaminants pénétrant la Baltique. Parallèlement aux mesures hydrographiques, hydrochimiques et géochimiques, on peut utiliser les données relatives aux radionucléides naturels pour suivre ces processus et vérifier ou valider des modèles de transport et de transfert.

Deux croisières d'échantillonnage et plusieurs campagnes de terrain ont été organisées dans les régions côtières et le lagon de Courlande en collaboration avec les instituts lituaniens participant au projet de modélisation. Des échantillons d'eau et de sédiments ont été prélevés et envoyés aux laboratoires pour analyse. Les méthodes d'échantillonnage, de traitement des échantillons et de radioanalyse ont été évaluées et harmonisées. Des comparaisons ont été effectuées entre les instituts pour assurer la comparabilité des données finales.

À partir du modèle opérationnel de circulation à l'échelle du bassin produit par l'Agence allemande, un modèle haute-résolution (unité de trame : un mile nautique) a été élaboré pour la partie lituanienne de la Baltique et le lagon de Courlande. Ce modèle a été soumis à des études de sensibilité, testé en mode diagnostique avec des données réelles et vérifié à l'aide de mesures effectuées aux périodes respectives. On a simulé divers scénarios d'introduction d'un traceur neutre par le fleuve Nemunas et étudié sa dispersion sur des périodes de plusieurs mois (*voir graphiques page 14*).

Les plans et résultats du projet ont été présentés lors de réunions des groupes MORS et HIROMB (Modèle opérationnel haute-résolution de la mer Baltique). Ils suscitent également un vif intérêt auprès des autorités lituaniennes compte tenu des multiples applications dont peut faire l'objet un modèle prévisionnel de dispersion des polluants.

On perfectionne actuellement le modèle de circulation et l'on étend le champ d'étude afin d'y inclure l'apport d'un fleuve supplémentaire (le Daugava) et l'apport atmosphérique. La seconde phase du projet de l'AIEA vise des thèmes étroitement liés : étude de l'embouchure du fleuve Nemunas, du cône de dispersion au large du détroit de Klaipėda, des hauts-fonds du lagon de Courlande, perfectionnement de l'aptitude à analyser de nouveaux radionucléides, élaboration d'un modèle de dispersion, simulation de la dispersion du césium 137 et du strontium 90, et estimation de doses.

En évaluant la dispersion et le transfert des radionucléides et en élaborant des modèles pronostiques de conditions normales et accidentelles, ce projet devrait faciliter l'évaluation complète de l'environnement de la Baltique. En soutenant les programmes nationaux et internationaux en cours, il devrait en outre fournir des données fiables formant une solide base qui aidera la Lituanie à prendre, en matière de gestion de l'environnement de la Baltique, des décisions qui favoriseront l'environnement, la santé et la sûreté dans la région. □