

# La pollution de l'environnement de la mer Noire: à la recherche de solutions

*L'AIEA s'associe à l'effort général en soutenant les recherches destinées à aider les pays à évaluer les problèmes de pollution dans la région de la mer Noire*

par V. Fabry,  
K. Fröhlich et  
I. Osvath

De nombreux pays se préoccupent de plus en plus de la protection de leurs côtes et de leurs estuaires contre la pollution et autres effets nocifs des activités humaines. Un bon exemple en est la région de la mer Noire où les gouvernements ont entrepris d'appliquer une approche régionale de la gestion et de la protection du milieu marin, qui est appuyée par des recherches nationales et internationales.

Les problèmes écologiques de la mer Noire sont graves. La couche de surface, mélangée et peu profonde, reçoit des cours d'eau une forte charge de nutriments contenant de l'azote et du phosphore et de contaminants industriels et miniers. En outre, il semblerait que les industries établies sur les côtes rejettent leurs déchets directement dans la mer, sans traitement ou presque. Les capacités biologiques de la couche superficielle de l'eau se sont donc fortement dégradées. On observe aujourd'hui un phénomène d'eutrophisation (enrichissement en éléments nutritifs) dans de nombreuses parties de la mer Noire, ce qui a profondément modifié la chaîne alimentaire marine, contribuant au déclin de la pêche dans la mer Noire et, surtout dans la région du nord-ouest, à la diminution de son intérêt récréatif.

D'autres facteurs interviennent également — modification du bilan hydrique, surpêche et pollution chimique (voir tableaux page suivante) — qui, combinés, ont contribué aux changements catastrophiques qui se sont produits dans l'environnement de la mer Noire. Ainsi, l'écoulement vers la mer Noire a sensiblement diminué par suite de la construction de barrages pour l'irrigation sur des cours d'eau importants. Cela risque de se traduire par une altération des échanges d'eau à travers le Bosphore et par une diminution des échanges à travers le détroit de Kerch. En outre, la diminution du débit du Don et du

Kuban a entraîné une nette augmentation de la salinité dans la mer d'Azov, ce qui a perturbé la pêche dans la région.

Après l'accident de Tchernobyl en 1986, les pays riverains ont aussi accordé un degré de priorité élevé à la pollution d'origine radioactive. L'inquiétude du public a récemment été avivée par des rapports faisant état de carences dans les systèmes de sûreté de certaines installations nucléaires situées dans le bassin de la mer Noire et de problèmes possibles de stockage des déchets. A ce jour, aucune des mesures — certes peu nombreuses — des radionucléides présents dans la mer Noire n'indique d'exposition radiologique importante ni de la collectivité ni des groupes critiques mais une évaluation plus approfondie s'impose.

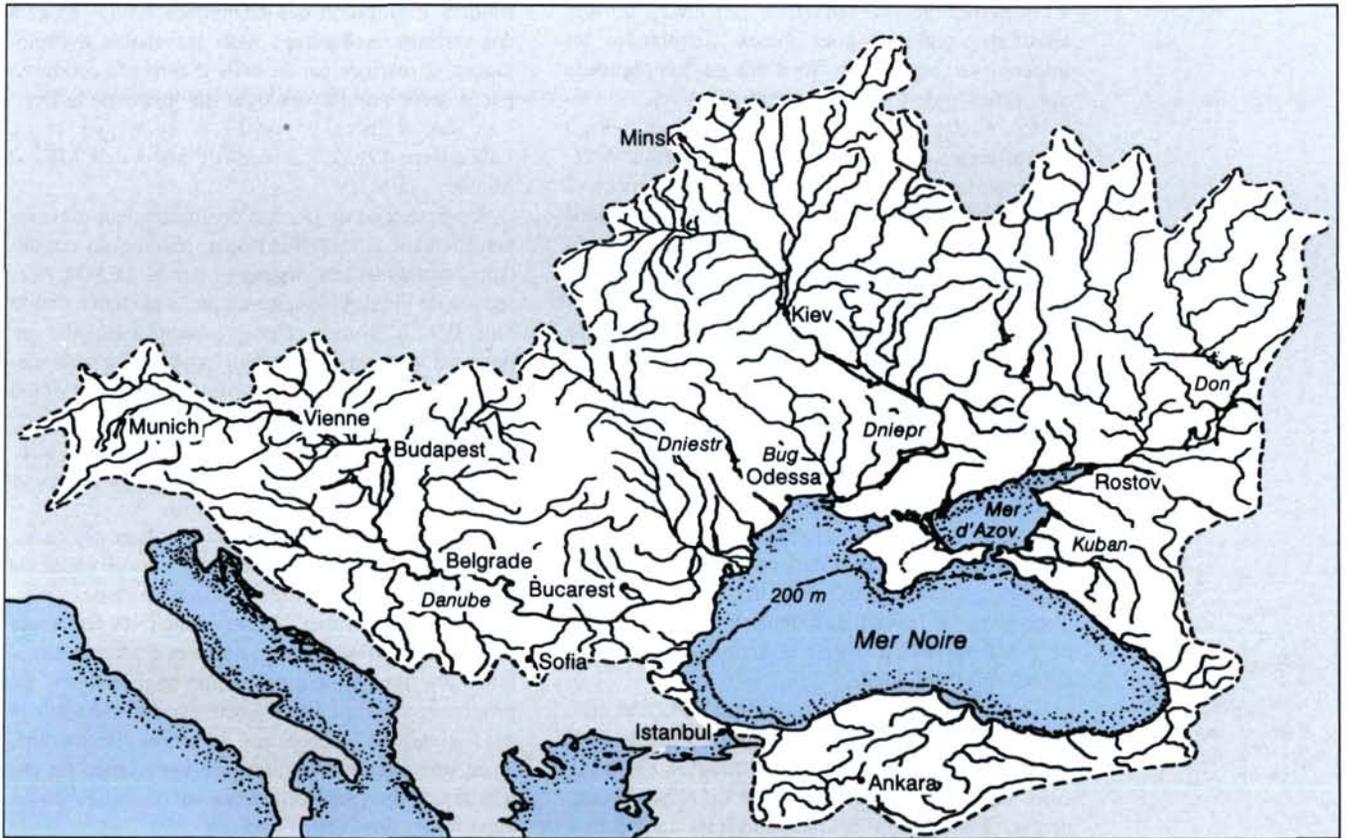
Le présent article aborde les principaux aspects de l'environnement de la mer Noire et décrit les possibilités qu'offre l'utilisation de traceurs radioactifs et les premiers résultats obtenus. Il examine en outre les initiatives prises par l'AIEA pour participer à l'action internationale concertée de réhabilitation de l'environnement de la mer Noire.

## Les isotopes dans les études sur la mer Noire

Au cours de ces dernières années, les techniques isotopiques ont beaucoup contribué à faire progresser les études océanographiques et marines sur l'environnement. Les objectifs de la recherche dans ces domaines sont une meilleure compréhension des processus et phénomènes océanographiques, la protection et la gestion du milieu marin, y compris une bonne utilisation des ressources marines, la reconstitution du passé et la prédiction des changements futurs à l'échelle mondiale.

Dans la région de la mer Noire, de nouvelles études sur le transport et la redistribution des radioisotopes récemment introduits dans la couche superficielle sont nécessaires, pour répondre en particulier

M. Fröhlich occupe un poste de responsabilité à la section de l'hydrologie isotopique du Département de la recherche et des isotopes. Mme Osvath est membre du personnel et Mme Fabry a travaillé au Laboratoire d'étude du milieu marin de l'AIEA à Monaco (LEMM).



**Carte:** La mer Noire — avec une superficie de 461 000 kilomètres carrés et un volume de 540 000 kilomètres cubes — est une étendue d'eau unique, pratiquement fermée et assez profonde (profondeur maximale de 2212 mètres) que se partagent la Bulgarie, la Géorgie, la Roumanie, la Russie, la Turquie et l'Ukraine. Sa couche de surface, peu profonde et mélangée, a une teneur en sel relativement faible entretenue par l'afflux important d'eau douce en provenance de deux des plus grands fleuves d'Europe, le Danube et le Dniepr, ainsi que du Don, du Kuban et de plusieurs cours d'eau moins importants qui forment un bassin de réception s'étendant sur plus de 2 200 000 kilomètres carrés. L'apport total d'eau douce est estimé à 350 kilomètres cubes par an. Un volume légèrement inférieur (230 kilomètres cubes) provient des précipitations qui arrosent la mer Noire. Les eaux de la Méditerranée pénétrant dans la mer Noire par le détroit du Bosphore en Turquie se mélangent rapidement aux eaux froides du plateau continental et s'enfoncent à une profondeur intermédiaire (500 mètres), formant une série d'intrusions d'eau froide qui se répand horizontalement à l'intérieur du bassin. Contrairement aux autres mers, la mer Noire est en état permanent d'anoxie (manque d'oxygène) au-delà de 150–200 mètres de profondeur. Ses eaux profondes obéissent donc à des processus chimiques et biologiques complètement différents de ceux du reste des océans mondiaux.

Source: Adaptation d'une carte de L.D. Mee, *Ambio*, 21,4 (1992).

#### Diminution de l'apport de certains fleuves à la mer Noire

Fleuve	Débit naturel (km cube/an)	Diminution en pourcentage		
		1971–75	1981–85	1991–2000 (prévision)
Don	27,9	19	27	43
Kuban	13,4	39	49	65
Dniepr	53,5	24	52	71
Dniestr	9,3	20	40	62

Source: Adapté de L.D. Mee, *Ambio* 21 (4) 278–286 (1992).

#### Éléments nutritifs et polluants rejetés par le Danube dans la mer Noire

Substance	Quantité (tonnes/an)
Phosphore	60 000
Azote	340 000
Zinc	6 000
Plomb	4 500
Chrome	1 000
Cuivre	900
Mercuré	60
Hydrocarbures	50 000

Source: Adapté de L.D. Mee, *Ambio* 21 (4) 278–286 (1992).

à des préoccupations sanitaires. Des études doivent aussi être réalisées pour mieux comprendre les impératifs à respecter en vue d'une gestion régionale plus efficace de l'environnement.

Les études utilisant des traceurs, qui se fondent sur différents radio-isotopes, donnent surtout différents types de renseignements sur les processus océanographiques et biogéochimiques. Etant donné que toute information qui peut être obtenue est très importante pour parvenir à une meilleure compréhension de la mer Noire, la mesure continue des différents traceurs a été encouragée. Par exemple, le césium 137 et le strontium 90, qui sont des radionucléides artificiels, peuvent fournir des renseignements utiles à l'échelle de quelques décennies. Dans ce contexte, les radionucléides rejetés à la suite de l'accident de Tchernobyl en 1986 dans les eaux de surface de la mer Noire présentent un intérêt tout particulier. Cet apport par pulsions de traceurs peut être utilisé pour suivre le mélange physique des eaux oxygènes de surface, marquées avec les traceurs de Tchernobyl, et les eaux anoxiques plus profondes qui ne portaient pas au départ la marque de ces substances (*voir graphiques*).

D'autres éléments réagissant aux particules, tels que le thorium et le plutonium, permettent de faire une estimation temporelle de l'évacuation des particules de la couche superficielle et du plateau continental. L'utilisation de radionucléides tels que le carbone 14, le plomb 210, les isotopes du thorium, le césium 137 et les isotopes du plutonium pour les sédiments de fond permet d'établir des chronologies sur des dizaines de milliers d'années. En outre, en parallèle avec d'autres paramètres pertinents, ils peuvent servir à enregistrer la vitesse du changement climatique et des phénomènes d'eutrophisation. Ils permettent aussi d'obtenir des renseignements sur l'âge de certains marqueurs biologiques dans les sédiments. Ainsi, on s'est récemment aperçu que la vitesse de sédimentation déterminée par le carbone 14 était inférieure à celle déterminée par le plomb 210, ce qui indique un ralentissement à long terme du rythme global de sédimentation. Cette nouvelle information permettra une reconstitution précise des 3000 ans passés pour une diversité d'éléments auxiliaires et de marqueurs biologiques dans la mer Noire.

Les rapports des isotopes stables renseignent sur la fonction des apports des cours d'eau et sur les effets des échanges par le Bosphore. Ils donnent en outre des informations sur les sources d'éléments organiques et de nutriments et sur les fluctuations dans le temps des populations de plancton dans les eaux de surface.

#### **Programme de recherche coordonnée de l'AIEA**

Depuis plus de 30 ans, le Département de la recherche et des isotopes de l'AIEA entreprend et

soutient l'utilisation des techniques faisant appel à des traceurs isotopiques dans les études hydrologiques et marines par le biais d'activités conduites par la section de l'hydrologie isotopique de la Division des sciences physiques et chimiques et du Laboratoire d'étude sur le milieu marin de l'AIEA à Monaco (LEMM).

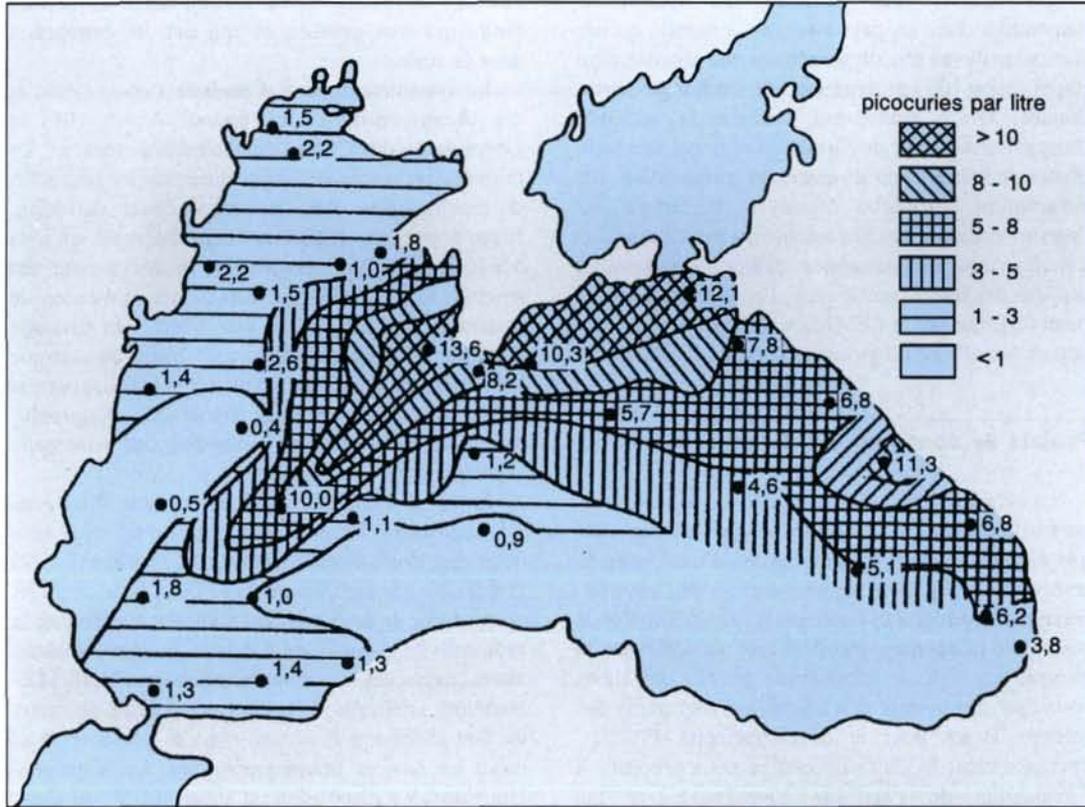
Compte tenu de la crise écologique que traverse actuellement la mer Noire, une réunion de consultants, conjointement organisée par le LEMM et la section de l'hydrologie isotopique, s'est tenue durant l'été 1992 à Monaco. Cette réunion, à laquelle ont participé des experts de huit pays, a formulé des directives concernant les futures recherches et défini la portée et les objectifs d'un programme de recherche coordonnée sur l'application des techniques utilisant des traceurs à l'étude des processus et de la pollution dans la mer Noire.

Les experts ont recommandé d'utiliser des radionucléides naturels et artificiels et des isotopes de l'environnement pour dresser l'inventaire des radionucléides dans la mer Noire; évaluer les tendances futures de la pollution radioactive et étudier la circulation physique et l'eutrophisation en mer Noire. Le programme devrait être exécuté par des instituts des pays riverains. Cependant, d'autres laboratoires ayant une longue expérience de l'utilisation de ces techniques dans les recherches sur le milieu marin apporteront aussi leur concours.

La réunion a notamment recommandé la création d'une base de données détaillée qui pourra servir à définir les activités fondamentales à entreprendre pour les études des radionucléides en général et pour l'évaluation de la pollution et des doses en particulier. Le LEMM fournira, dans le cadre d'un projet en cours, une base de données détaillée pour la région.

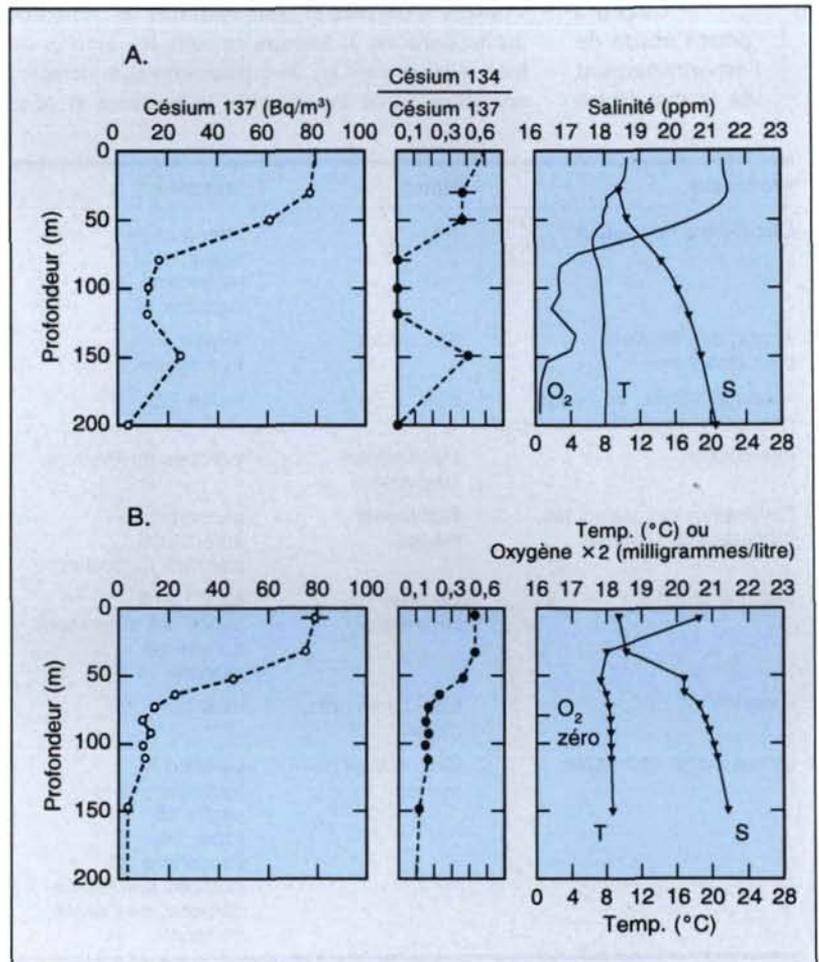
Les experts ont en outre noté que, à l'exception des systèmes modernes de spectrométrie gamma, le reste du matériel dont disposent les pays riverains de la mer Noire est insuffisant pour les analyses des faibles activités qui sont nécessaires pour l'application des techniques utilisant des traceurs à la recherche sur le milieu marin. Les laboratoires spécialisés dans l'étude du milieu marin ne disposent pas en général du matériel nécessaire aux analyses des isotopes stables. On a donc estimé nécessaire de mettre à la disposition de certains laboratoires participant au programme du matériel radiométrique pour les faibles activités ainsi que des installations de traitement radiochimique.

En outre, la réunion a vivement recommandé que les laboratoires concernés participent régulièrement aux exercices d'intercomparaisons organisés par l'intermédiaire du programme des Services de contrôle de la qualité des analyses (SCQA). Ces exercices devraient porter sur des échantillons de faible et de forte activité. En outre, on a recommandé qu'ils soient organisés en utilisant des échantillons de sédiments et d'eau prélevés dans la mer Noire.



**Carte:** L'accident survenu à Tchernobyl en avril 1986 a entraîné une dispersion du césium 137 dans les eaux de surface de la mer Noire. Durant une période d'observation (12 juin au 6 juillet 1986), les mesures ont indiqué que la partie orientale de la mer était plus contaminée du fait du niveau plus élevé des retombées dans cette zone. Avant l'accident, la teneur en césium des eaux de surface (environ 0,5 picocurie par litre, soit 18 becquerels par mètre cube) était uniforme. La concentration maximale enregistrée en juin-juillet 1986 (14 picocuries par litre, soit 520 becquerels par mètre cube) était près de 30 fois supérieure à ce qu'elle était avant l'accident mais restait mille fois environ inférieure à la concentration maximale admissible. Source: Adapté de A.I.Nikitin, *Atomnaya Energiya* 65, 2 (1988).

**Graphiques:** Les graphiques donnent des indications sur les teneurs en isotopes du césium et autres par rapport à la profondeur, à l'entrée du Bosphore a) et dans le sud-ouest de la mer Noire b) en mai 1987 et juin 1988, respectivement. Les profils révèlent une pénétration rapide du césium produit par l'accident de Tchernobyl au-dessous de l'interface oxygène/anoxique qui ne peut s'expliquer par les seuls phénomènes de mélange vertical. Les données suggèrent que le flux sortant des eaux de surface est entraîné à contre courant par le flux sortant des eaux en provenance de la Méditerranée. Il en résulte des panaches d'eau de densités intermédiaires qui sont ensuite latéralement transportés dans le bassin le long de gradients de densité. La propagation latérale constitue un mécanisme rapide et efficace de ventilation des profondeurs intermédiaires de la mer Noire. L'une des principales implications de ce phénomène est que les données biologiques et géochimiques sur la colonne d'eau doivent être interprétées en termes de transport latéral plutôt que de transport vertical unidimensionnel. Les caractéristiques des profils verticaux doivent donc être rapportées aux sources et réservoirs marginaux et aux processus *in situ*. Source: Adapté de K.O. Buesseler et al., *Deep Sea Research*, Vol. 38, Supplément 2 (1991).



Un examen des connaissances spécialisées disponibles dans les pays riverains a montré qu'une formation devait être dispensée dès que possible pour l'application du programme de recherche coordonnée. On a notamment souligné la nécessité d'organiser un stage de formation régional aux techniques suivantes: prélèvement et préparation des échantillons, méthodes d'analyse, traitement des données couvrant la radioactivité du milieu marin et l'analyse des radio-isotopes stables et techniques utilisant des traceurs artificiels. Le stage est actuellement organisé par le LEMM en collaboration avec le laboratoire d'hydrologie isotopique de l'AIEA.

### Projets de coopération internationale

La crise de la mer Noire appelle une action internationale concertée. Les pays riverains ont demandé une aide pour lancer un programme d'une durée de trois ans sur la gestion et la protection de l'environnement. Ce projet, qui sera exécuté au titre du Fonds pour l'environnement mondial créé en 1992 par la Banque mondiale, le Programme des Nations Unies pour l'environnement (PNUE) et le Programme des Nations Unies pour le développement (PNUD), devrait fournir le cadre nécessaire pour procéder à l'évaluation de l'état de l'environnement qui s'impose d'urgence et pour renforcer les capacités institutionnelles. Il fournira en outre les données de base requises pour les investissements considérables nécessaires pour lutter contre la pollution et pour

financer les initiatives de réhabilitation de la mer Noire qui sont prévues ou qui ont été entreprises dans la région.

Le système européen d'étude des cours d'eau et des océans (EROS), que finance depuis 1988 la Commission des Communautés européennes, est un projet de recherche de longue durée sur les processus biogéochimiques dans le milieu côtier européen. Jusqu'à présent, EROS ne s'est intéressé qu'à la Méditerranée. Une proposition a récemment été soumise à la CCE lui demandant d'étendre le financement d'EROS à la mer Noire. On envisage d'étudier l'importance de la mer Noire en tant que source de gaz à effet de serre; les conséquences des apports des cours d'eau; les phénomènes d'eutrophication, et les sources et le devenir des principaux polluants dans la mer Noire.

Le projet Bathy-Black, financé par le Royaume-Uni, consiste principalement en une étude régionale de la mer Noire visant à évaluer les ressources et les risques environnementaux. Les objectifs de ce projet d'une durée de deux ans sont notamment d'étudier la radioactivité gamma du fond de la mer dans des zones menacées de contamination par des radionucléides artificiels. L'Institut de biologie des mers du Sud (Sébastopol) accueillera ce projet et fournira les navires océanographiques. Le Royaume-Uni mettra à disposition un sonar latéral, un sonar à haute résolution et un spectromètre gamma tiré sur le fond des mers. Des scientifiques de Russie, d'Ukraine, de Bulgarie, de Roumanie et de Turquie participeront aussi au projet.

Le Programme coopératif des sciences marines pour la mer Noire (CoMSBlack) est une organisation non gouvernementale créée en 1991 pour faciliter la coordination des activités de recherche et de surveillance dans la mer Noire. CoMSBlack servira d'organisme consultatif pour les gouvernements et les institutions nationales, multinationales et internationales qui s'intéressent à l'état environnemental de la mer Noire. Le programme comprend tous les pays riverains de la mer Noire et fonctionnera par l'intermédiaire d'un comité directeur dans lequel deux instituts des Etats-Unis sont aussi représentés. Le rôle de ce programme sera de réaliser des études scientifiques intégrées et coordonnées de très haute qualité et d'exécuter les programmes de suivi nécessaires pour donner aux décisions en matière de gestion et de politique générale la meilleure base scientifique possible.

En résumé, il est essentiel pour l'avenir de la mer Noire que les divers programmes s'occupant des problèmes écologiques de la région soient coordonnés. Dans ce contexte, le programme de recherche coordonnée de l'AIEA peut être considéré comme une contribution importante qui vient à point nommé pour appuyer les efforts nationaux et internationaux déployés en vue d'une meilleure gestion de l'environnement de la mer Noire.

### Utilisation potentielle des isotopes radioactifs et stables comme traceurs pour l'étude de l'environnement de la mer Noire

Processus	Milieu	Isotopes
Circulation, ventilation	Eau	strontium 90, césium 137, hydrogène 3, carbone 14
Apport des fleuves, effet Bosphore	Eau douce	oxygène 18, hydrogène 2
Mélange vertical des eaux profondes, interactions air-mer	Eau	radon 222
Interception	Matières en suspension	isotopes du thorium
Élimination des particules, processus biologiques	Sédiments pièges	plutonium, américium, isotopes du radium
Sédimentation	Carottes de sédiments	plomb 210, plutonium et isotopes du césium, carbone 14
Pollution	Eau, sédiments, biotes	tous
Cycles biogéochimiques	Eau, sédiments, biotes	carbone 14, hydrogène 3, soufre 35, azote 15, phosphore 32, isotopes stables du carbone, de l'azote, du soufre