

Point de vue sur la contribution de l'industrie à la radioactivité de l'environnement

Les études du milieu marin aident à comprendre comment certaines industries «non nucléaires» traditionnelles augmentent la radioactivité naturelle de l'environnement

par M.S. Baxter

On prend de plus en plus conscience de la radioactivité naturelle — et de son augmentation du fait des opérations techniques — tant dans le secteur industriel que dans le domaine de l'environnement. Malheureusement, on commet souvent des erreurs, en associant la radioactivité ambiante à la seule industrie nucléaire, et en considérant que la radioactivité, d'une certaine façon, n'est pas un phénomène naturel.

Or, tout commence avec la naissance de l'univers. C'est la combinaison de réactions nucléaires et de la radioactivité qui a créé toute la matière. C'est la stabilité nucléaire qui a déterminé l'abondance ou la rareté des éléments dans l'univers. Sur les plus de 5000 types d'atomes (nucléides) connus, environ 95% sont radioactifs. Autrement dit, c'est la radioactivité qui est la norme. Sur notre planète, presque toutes les matières et tous les environnements sont à la fois radioactifs et exposés à des rayonnements ionisants. L'énergie (chaleur) qui en émane est à l'origine des bouleversements géologiques qui se sont produits sur la Terre, de la structure de cette dernière (noyau, manteau et croûte), de ses cycles de convection internes et des manifestations extérieures qui la façonnent, telles que tremblements de terre, activité volcanique, formation de montagnes, dérive des continents, etc.

L'environnement radiologique naturel a également déclenché et catalysé certaines des phases clés de l'évolution même de la vie. Et ce sont bien sûr les réacteurs de fusion — notre soleil et les étoiles — qui ont fourni l'énergie nucléaire qui est la source primaire de notre lumière du jour, de notre chaleur, de notre climat, et aussi de nos différentes sources d'énergie, telles que le charbon, le pétrole, le gaz, le bois, la tourbe, le vent, etc. De même, la radioactivité des roches alimente les sources d'énergie géothermique. Bref, presque toutes les sources de chaleur industrielle et domestique sont avant tout d'origine nucléaire et, comme nous l'avons indiqué, toutes les matières naturelles sont radioactives. On notera aussi en passant que les radionucléides

naturels fournissent en outre un moyen unique de connaître la vitesse et les mécanismes des processus naturels, car la décroissance radioactive est le seul «enregistreur de temps» véritablement indépendant de la Nature, puisqu'elle a un rythme connu qui nous permet de dater les roches, les sédiments, les vestiges archéologiques, et d'autres matériaux.

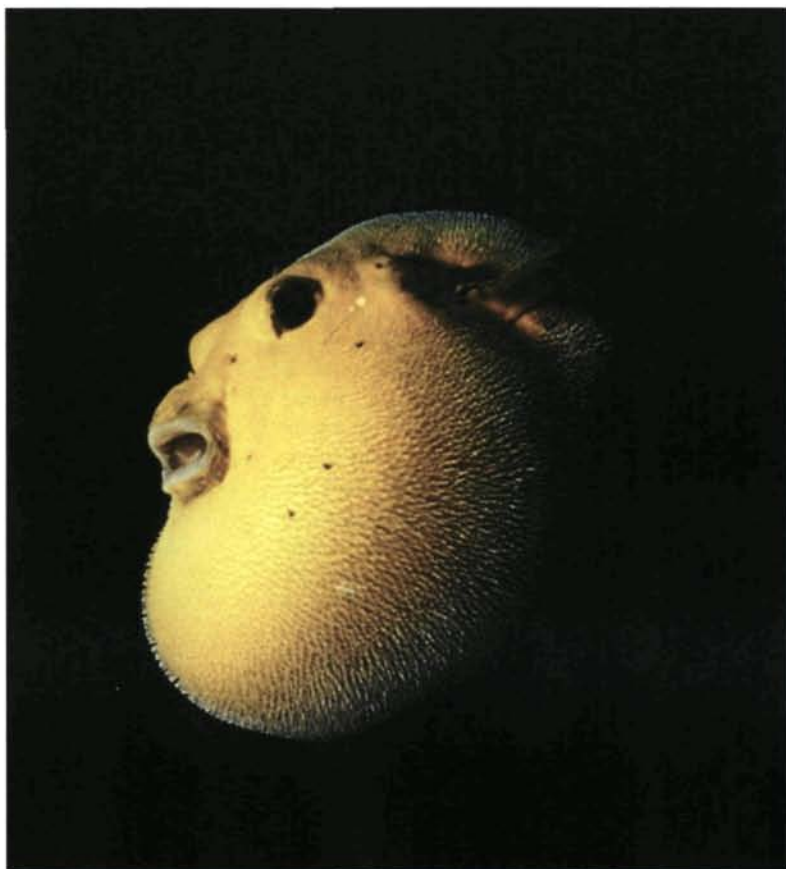
Les concentrations types de radioactivité d'un certain nombre de matières courantes varient considérablement (voir le tableau page 35). A titre de référence, on notera que le seuil au-delà duquel une matière est considérée comme radioactive a été fixé dans une fourchette de 100 à 400 Bq/kg pour les solides, selon le contexte et l'usage.

Le fait que de nombreuses matières usuelles ont une radioactivité supérieure à ces chiffres ne signifie évidemment pas qu'elles présentent un risque notable, car il faut tenir compte de la voie et de la durée d'exposition. Mais le point essentiel est que les radionucléides présents dans la nature — principalement le potassium 40 et les radionucléides des familles radioactives de l'uranium et du thorium — se présentent à des concentrations suffisamment élevées, tant dans les matières naturelles que dans les matériaux artificiels, qu'ils pourraient être considérés comme des substances radioactives et pourraient, dans certaines circonstances, donner lieu à une radioexposition significative.

Le fait que l'on prend de plus en plus conscience de l'importance de la radioactivité naturelle comme source d'irradiation générale permanente est attesté par la modification des estimations du Comité scientifique des Nations Unies pour l'étude des effets des rayonnements ionisants (UNSCEAR). Selon ce dernier, la dose naturelle moyenne délivrée à une personne du public par des radionucléides des familles radioactives naturelles est passée d'environ 50 microsieverts par an en 1962 à environ 150 en 1972, 1040 en 1977, 1140 en 1982, et environ 1400 aujourd'hui.

Le présent article présente le point de vue de l'auteur sur l'ubiquité de la radioactivité dans la nature, en partant du rôle fondamental que jouent les processus nucléaires dans notre existence, et souligne l'importance de la radioactivité naturelle dans notre exposition quotidienne aux rayonne-

M. Baxter est directeur du Laboratoire d'étude du milieu marin de l'AIEA à Monaco et rédacteur en chef du *Journal of Environmental Radioactivity*.



ments. Il mentionne brièvement quelques industries «traditionnelles» et «déjà anciennes» qui utilisent couramment, depuis toujours, des matières contenant de la radioactivité naturelle, et qui concentrent puis libèrent dans l'environnement des concentrations plus importantes de ces radionucléides.

L'objectif est simplement de faire mieux comprendre, et non de stigmatiser, ces industries et peut-être d'encourager une évaluation comparative plus objective et plus juste et une prise de conscience de l'impact sur l'environnement de différentes activités industrielles.

La radioactivité et les combustibles fossiles

La contribution la mieux documentée mais peut-être encore mal connue à l'augmentation de la radioactivité naturelle provient des combustibles fossiles, à savoir le charbon, le pétrole et le gaz. Leur radioactivité résulte de leur teneur élevée en isotopes de l'uranium, du thorium, du radon et du plutonium, qui sont amplifiés puis libérés pendant l'extraction et la combustion des combustibles. Une étude récente montre que la production d'un gigawatt électrique (GWe) d'électricité à partir du charbon entraîne en moyenne le rejet dans l'environnement, dans les cendres volantes et les gaz résiduels, d'environ 10^9 à 10^{11} becquerels (Bq) par an, tant de radon 220 que de radon 222, et de 10^8 à 10^{10} Bq par an de plomb 210, de polonium 210, de radium 226 et 228, de thorium 232, et d'uranium 238.

Ces rejets habituels, qui ont lieu pour l'essentiel dans l'atmosphère, sont inférieurs ou comparables à ceux des centrales nucléaires pendant leur fonctionnement normal. A l'échelle mondiale, ils ajoutent aussi à l'environnement environ 5000 tonnes d'uranium, 8000 tonnes de thorium, plus tous leurs produits de filiation, y compris environ 600 téra-becquerels d'émetteurs alpha. Le résultat principal est un engagement de dose collective d'environ 200 hommes-sieverts, avec un débit de dose collective critique typique pouvant atteindre 50 micro-sieverts par an.

Par suite de processus de volatilisation et de sorption, les cendres volantes rejetées comme déchets contiennent de plus fortes concentrations de radioactivité naturelle que le charbon initial brûlé (*voir le tableau page 37*). Une conséquence immédiate de cet enrichissement est que l'emploi courant de cendres volantes dans la production de matériaux de construction donne lieu à une augmentation des débits de dose gamma et des taux d'exhalation du radon dans les immeubles et dans les environnements construits avec des briques et des panneaux fabriqués de cette façon.

Les cendres rejetées lors de la combustion du charbon ont la forme de fines particules vitrifiées de

Les études du milieu marin ont aidé à mieux comprendre scientifiquement la radioactivité naturelle et ses voies d'exposition. (Photos: Aldo Brando, Bogotá)

Concentration caractéristique (valeurs extrêmes)			Concentrations de principaux nucléides			
Matière			Alpha		Bêta/Gamma	
			Radon 226	Thorium 232	Uranium 238	Potassium 40
Roches						
<i>Ignées</i>	140	800	48	48	48	800
<i>Granite</i>	170		90	80		
<i>Grès sédimentaire</i>	64	330	26	14	24	330
<i>Schistes sédimentaires</i>	95	800	40	40	15	800
<i>Calcaires</i>	36	80	16	5	15	80
<i>Mineral phosphaté</i>	1500	260	1400	50		260
Sol général	550 (300-1000)	440	70 (7-180)	40 (4-100)	24 (8-110)	440 (0,2-1200)
Briques	110 (7-170)	600 (10-1000)	60 (2-90)	46 (3-80)		600 (10-1000)
Gypses et ciment	300 (30-800)	90 (40-160)	300 (20-800)	25 (8-60)		90 (40-160)
Sables et graviers	200-2000	30	4	20-200	20-90	30
Bétons	90 (40-170)	500 (210-650)	60 (7-140)	30 (13-42)		500 (210-560)
Organes et tissus humains	0,2	67 (y compris le rubidium 87)	0,003	0,0002	0,003	60
Livres	30	100	0,9-30 (polonium 210)			100
Charbon						
<i>Yorks 1982</i>	60	300	20	20	20	300
<i>UK 1984</i>	82	170	15	12	14	170
<i>Cendres volantes</i>	1400	1100	200-600 (polonium 210)	200	200	500
Engrais						
<i>Superphosphates normaux</i>	2200		770	20	740	
<i>Superphosphates concentrés</i>	4600		800	10	2000	
Herbe séchée		600	300 (polonium 210)			600
Algues (Cornouailles)	17				8	

1 à 100 microns de diamètre. Malgré une filtration en cheminée et l'application d'autres méthodes de piégeage, on trouve souvent dans les sols, au voisinage des centrales au charbon, des radionucléides qu'ont transportés ces cendres. Souvent aussi, les cendres recueillies par les filtres des cheminées et les résidus de charbon sont rejetées localement dans des décharges ou des lacs humides, dont la radioactivité se trouve elle aussi accrue.

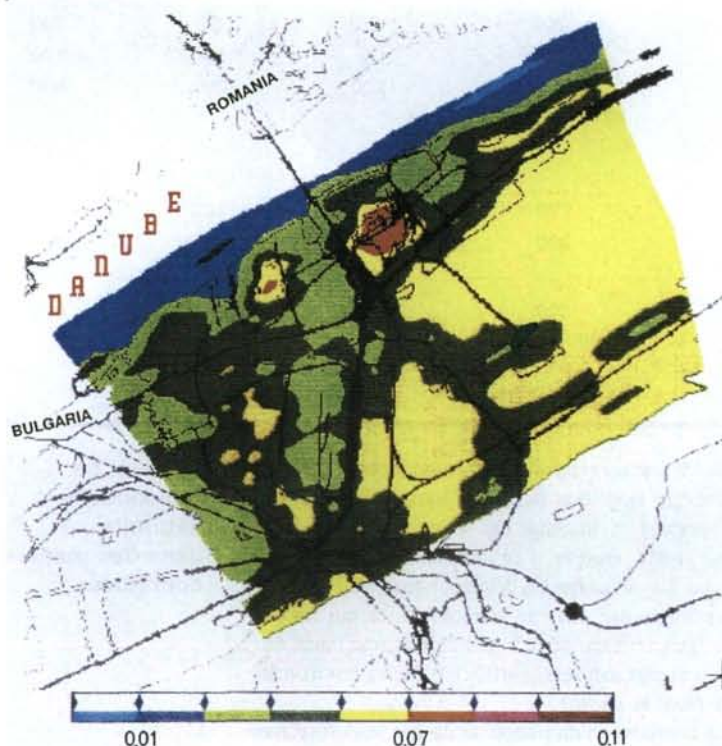
Une étude récente du bassin du Danube, réalisée par spectrométrie gamma aéroportée, fournit un exemple d'augmentation de la radioactivité de l'environnement. Des scientifiques du Laboratoire d'étude du milieu marin de l'AIEA à Monaco

(LEMM) ont coopéré avec le Commissariat français à l'énergie atomique (CEA), l'équipe Cousteau, et des services et instituts des Etats membres de la région pour étudier l'environnement proche du Danube. Ils ont utilisé un détecteur gamma de grande dimension monté sous un hélicoptère, ce qui fournit un moyen efficace et rapide d'établir une carte des rayonnements naturels et artificiels dans l'environnement (*voir la photo*).

La combustion du pétrole et du gaz se caractérise par des interactions elles aussi intéressantes avec les nucléides naturels des familles radioactives, en particulier avec les isotopes du radium et du radon. C'est ainsi que le radon 222 diffuse dans les gise-

Niveaux de radioactivité naturelle dans des matières courantes

Dans le cadre d'un projet du LEMM, un relevé des cendres volantes rejetées dans un lac près du Danube en Bulgarie a été effectué par hélicoptère. La carte montre les débits de doses de rayons gamma pour l'une des plusieurs zones industrielles dans lesquelles on a constaté que des industries traditionnelles influencent de façon sensible sur l'environnement radiologique local. Les zones en jaune, près de la ville bulgare de Russe, représentent une activité gamma accrue du fait du potassium 40. On observe une bonne corrélation entre ces zones et les terrains agricoles traités avec des engrais riches en potassium. Plus près du Danube lui-même (qui est bleu en raison de sa faible teneur en radioactivité), deux zones plus petites orangées/rouges correspondent à des signaux accrus du bismuth 14 dans les spectromètres aéroportés, ce qui est un indice de la présence de son père radioactif, le radium 226. Des recherches ultérieures effectuées par des scientifiques bulgares ont montré que les «points chauds» étaient dus à des bassins de sédimentation partiellement comblés dans lesquels on transporte et laisse se déposer les cendres et les déchets minéraux d'une centrale au charbon de 200 MWe. L'Université de Sofia et le LEMM ont montré que les sols voisins contenaient de 500 à 700 becquerels par kilogramme (Bq/kg) de potassium 40, environ 160 Bq/kg de radium 226, environ 60 Bq/kg de thorium 232, environ 50 Bq/kg de plomb 210, et environ 75 Bq/kg de polonium 210. Le débit de dose gamma est amplifié sur le site d'environ 70%. Le débit de dose maximum rapporté à la surface mesuré par l'hélicoptère est d'environ 100 nanograys par heure, ce qui le situe à la partie supérieure de la fourchette normale. (Un atlas des rayonnements publié récemment par la Commission des Communautés européennes montre que les débits de dose gamma typiques, à l'extérieur, en Europe, vont de moins de 30 à plus de 80 nanograys par heure, avec une moyenne d'environ 50 nanograys.) Bien que les cendres et les sols aient une radioactivité accrue et que le site lui-même ne soit pas clôturé, il n'y a pas nécessairement de problème radiologique. Les augmentations sont assez faibles et la dosimétrie dépend des voies de transfert et des habitudes locales. Les voies d'exposition probables sont l'eau qui s'écoule dans le Danube et, de là, dans la chaîne alimentaire des cours d'eau, et l'inhalation et l'ingestion de poussières riches en cendres volantes emportées par le vent. Dans ce contexte particulier, toutefois, l'inspection locale de l'hygiène a été informée, de sorte qu'une évolution complète a pu être faite. De telles observations d'amplification de la radioactivité ne sont pas spécifiques de la Bulgarie: on en trouve dans tous les pays et partout où du charbon est brûlé.



Note: Irradiation en microgray par heure.
Echelle: 1 cm = 359 m.

ments de gaz naturel et de pétrole et qu'il est ensuite libéré, lui-même, ses nucléides produits par filiation, ou bien les deux, dans les centrales ou les habitations où sont brûlés les combustibles. Il a été estimé que le groupe critique, à proximité d'une centrale au gaz, peut recevoir jusqu'à 20 microsieverts par an d'équivalent de dose efficace par ingestion de descendants du radon 222 présents dans les fruits de mer ou les légumes à feuilles. Une contribution similaire peut résulter de l'inhalation de radon 222 dans les habitations brûlant du gaz naturel.

L'une des voies d'exposition les mieux documentées dans ce domaine concerne peut-être le processus de concentration des nucléides dans les saumures qui remontent à la surface pendant l'extraction du pétrole et du gaz. Les sels des saumures sursaturées — généralement des sulfates et des carbonates des métaux alcalino-terreux — précipitent et se solidifient pour former des dépôts sur l'intérieur des canalisations, des pompes ou des réservoirs. L'écoulement du fluide s'en trouve réduit et il faut démonter l'équipement et le détartre.

Du fait que les principaux cations naturels, dans ces études, sont le calcium, le strontium et le barium, ils entraînent et concentrent de façon très efficace leur parent proche, le radium, plus précisément les isotopes radium 226 et 228 des saumures, eaux souterraines, et eaux de mer. On a observé des concentrations de radium 226 et 228 atteignant jusqu'à 10^6 becquerels par kilogramme (Bq/kg) et davantage. Les travailleurs qui nettoient et décontaminent ce matériel doivent suivre des procédures de sûreté strictes, comparables à celles qui s'appliquent dans les laboratoires nucléaires de haute activité.

Il n'est toutefois pas rare que les effluents des sites industriels de cette nature soient rejetés directe-



ment dans l'environnement. C'est ainsi que nous avons noté récemment des concentrations accrues de polonium 210 (625 Bq/kg) dans des organismes marins recueillis au voisinage d'une telle zone. Signalons en passant que la même étude, réalisée par le Scottish Universities Research and Reactor Centre, a également observé des concentrations accrues de plomb 210, de polonium 210, de thorium 232 et d'uranium 238 dans des sédiments côtiers recueillis à proximité d'un site où des déchets d'extraction du charbon sont rejetés directement dans la mer.

Il ne faut pas en conclure pour autant que l'industrie utilisant des combustibles fossiles rejette une radioactivité massive ou nocive. Mais, dans certains cas, les rejets peuvent être importants à l'échelle locale et ils sont beaucoup moins compris et contrôlés que les déchets de même ampleur provenant de l'industrie nucléaire concurrente.

Les industries utilisant des combustibles fossiles connaissent déjà les problèmes du changement du climat mondial, des pluies acides, de la pollution par des métaux toxiques et des composés organiques, des accidents miniers et des explosions pendant la distribution et l'utilisation, auxquels s'ajoute le fait de brûler une ressource naturelle finie à partir de laquelle on peut fabriquer, par exemple, des produits pharmaceutiques et des polymères. Si l'on comprenait mieux et que l'on prenait davantage en considération l'augmentation de la radioactivité résultant de l'utilisation des combustibles fossiles, on disposerait d'un paramètre supplémentaire dans la prise de décision politique et scientifique.

Autres industries traditionnelles

Le LEMM de Monaco, en particulier grâce aux travaux de M. Rogin Cherry et de ses collaborateurs, a été à la pointe des recherches qui ont montré que, dans la nature, des organismes marins concentrent le polonium 210 présent dans l'eau de mer. Les tissus de ces organismes reçoivent donc une dose locale considérable, notamment à l'hépatopancréas, où des concentrations pouvant atteindre jusqu'à plusieurs kilobecquerels (kBq) par kilogramme (mouillé) donnent des doses qui, pour le polonium 210 seul, sont de l'ordre de 100 millisieverts par an. Cet organe marin est donc celui qui reçoit l'une des doses les plus élevées, sinon la plus élevée, de rayonnement naturel.

C'est toutefois seulement vers le milieu des années 80 que M. Scott Fowler, du LEMM, et moi-

Concentration totale (alpha + bêta/gamma)

De 100 à 400 becquerels par kilogramme	Plus de 400 becquerels par kilogramme
Céréales	Thé
Viande	Café
Volaille	Champignons séchés
Pommes de terre	Certains coquillages
Certains légumes verts	Certaines noix du Brésil
Racines	Certaine eau potable
Certains fruits frais	Certaines roches
Produits fruitiers	Sols
Certains haricots	Certaines briques
Poissons, certains crustacés	Certains gypses
Certaines noix du Brésil et autres	Certains bétons
Certaine eau potable	Cendres volantes
Certaines roches, briques	Engrais
Certains gypses	
Certains bétons	
Ciment, sable, gravier	
Livres	
Charbon	

même, avec l'aide M. Paul McDonald, qui était alors étudiant chercheur, avons montré que, même à proximité d'un site de rejet nucléaire important (près de Sellafield, au Royaume-Uni), la radioactivité alpha du polonium 210 naturel contenue dans la moule comestible commune dépassait la radioactivité alpha du groupe critique exposé à des radionucléides artificiels. Elle allait de 124 Bq/kg dans le muscle à 600 Bq/kg dans les viscères.

Dans une étude complémentaire, M. McDonald, moi-même et des collaborateurs avons ensuite montré que, dans la zone côtière de la mer d'Irlande, il y avait effectivement une autre source assez importante de polonium 210 provenant de l'industrie non nucléaire. Des concentrations de polonium 210 de 0,3 à plus de 3 kBq/kg ont été observées dans des moules de la région de Whitehaven au Royaume-Uni. Elles étaient dues à des rejets courants de déchets d'une usine (aujourd'hui fermée) de transformation de phosphates.

Une étude complémentaire réalisée par le Ministère britannique de l'agriculture, de l'alimentation et des pêches a montré que les déchets provenant de cette usine de fabrication de détergents contenaient également d'importantes quantités d'isotopes du radium 226 et du thorium. Les doses au groupe

Taux naturels de radioactivité dans certaines matières

Niveaux comparatifs de radioactivité dans les cendres volantes et le charbon

Activité en becquerels par kilogramme

	Potassium 40	Uranium 235	Radon 226	Plomb 210	Polonium 210	Thorium 232	Thorium 238	Radium 238
Charbon	50	20	20	20	20	20	20	20
Cendres volantes	265	200	240	930	1700	70	110	130

critique de consommateurs locaux de fruits de mer se situaient dans une fourchette de 0,3 à 3 millisieverts par an, c'est-à-dire qu'elles étaient supérieures à toute valeur résultant à ce moment-là des rejets nucléaires au Royaume-Uni.

Des augmentations comparables de la quantité de radionucléides des familles radioactives naturelles dans l'environnement ont été observées régulièrement au voisinage d'usines de transformation des phosphates, ce qui montre l'affinité chimique naturelle de l'uranium et du radium pour l'ion phosphate et leur accumulation dans les déchets de phosphogypse. Les industries des engrais et des détergents sont les principales sources de rejet de radioactivité naturelle amplifiée dans les déchets phosphatés.

L'un des exemples les mieux connus de ce phénomène est le rejet d'effluents de phosphogypse dans la zone industrielle de Rotterdam, aux Pays-Bas. M. Heko Köster, de l'Institut néerlandais de protection de la santé publique et de l'environnement, et ses collaborateurs, ont montré qu'environ 10^{12} Bq de polonium 210 et de radium 226 étaient libérés chaque année, entraînant des augmentations d'environ 100 Bq/kg de polonium 210 dans les parties comestibles des moules et crevettes dans un rayon de 50 à 100 km. Des débits de doses individuels de 0,1 à 0,3 millisievert par an sont prévus parmi les groupes consommant des fruits de mer, tandis que l'utilisation de boues contaminées des ports pour combler des polders (terres gagnées sur la mer) autour de Rotterdam peut entraîner des doses individuelles de 0,3 à 1 millisievert par an par suite de la consommation de produits animaux locaux et de l'inhalation de niveaux de radon 222 amplifiés à l'intérieur des bâtiments.

Le cas du phosphate est caractéristique d'un assez grand nombre d'autres industries «traditionnelles» qui, du fait surtout qu'elles utilisent des matériaux riches en radioactivité naturelle, peuvent libérer, et libèrent effectivement, un surcroît de radioactivité dans l'environnement.

Il m'a été demandé récemment d'étudier les flux de radioactivité dans l'une des plus grosses fonderies de minerai du monde (étain, cuivre, plomb, etc.). Avec une petite équipe de collaborateurs, nous avons découvert que les matières de base avaient des concentrations en polonium 210 atteignant jusqu'à 66 kBq/kg et que les processus industriels concentraient encore davantage les radionucléides. C'est ainsi que les produits intermédiaires avaient des concentrations en polonium 210 allant jusqu'à 2,2 mégabecquerels par kilogramme. Le flux annuel à travers l'usine était dans la gamme des téra-becquerels et, à côté des rejets des cheminées, les poussières de déchets contaminés emportées par le vent constituaient une voie de dispersion potentielle dans l'environnement.

Des amplifications comparables de la radioactivité sont associées à des industries telles que la production d'oxydes de titane, de composés des

terres rares, d'eaux minérales, de peinture et de céramique, et l'utilisation des résidus de traitement de l'industrie des schistes alunifères et des sables riches en zirconium — c'est-à-dire dans les industries des colorants, du brûlage de la chaux, du pétrole et du bâtiment. Dans tous ces cas, des nucléides des familles radioactives naturelles sont présents à des concentrations relativement élevées dans les matières de base et peuvent être enrichis et libérés par les processus industriels.

La liste pourrait être plus longue, mais cela n'ajouterait rien au message, qui est que les «industries traditionnelles» entraînent souvent une augmentation de la radioactivité dans l'environnement. Ainsi qu'il a été dit plus haut, nous avons même récemment atteint le stade où, dans au moins un grand pays «nucléaire», le Royaume-Uni, le débit de dose maximum potentiel délivré à un groupe critique du public par une industrie «non nucléaire» (la transformation de phosphates) a été supérieur au débit de dose émanant de l'un des plus vastes sites nucléaires du monde (Sellafield). Tout comme dans le cas des radioexpositions induites par l'industrie nucléaire, peu, voire aucune, des augmentations de radioactivité dues aux industries «traditionnelles» ne sont réellement significatives sur le plan sanitaire, à l'échelle mondiale comme au niveau local.

Vers un meilleur équilibre

Nous vivons, et nous devons nous en féliciter, dans un monde radioactif, où les variations actuelles et passées du fond naturel de rayonnement dépassent largement les effets artificiels minimes dont il a été question ici. Ce qui est important, lorsque l'on compare les industries nucléaire et non nucléaire, c'est le déséquilibre entre 1) la compréhension et la maîtrise de ces émissions radioactives, 2) les normes de sûreté qui leur sont associées, et 3) les responsabilités financières en vue de les réduire au minimum.

Il y a actuellement une tendance, au niveau international, à harmoniser l'évaluation et le contrôle des deux séries de sources de nucléides, c'est-à-dire à rapprocher les normes de lutte contre les émissions des industries non nucléaires de celles qu'applique plus rigoureusement l'industrie nucléaire. Lorsque l'on traitera de façon plus équitable la radioactivité, sur le plan de l'évaluation des impacts et sur celui des coûts, il faudra alors s'employer à quantifier les effets nocifs sur l'environnement et sur la santé des polluants non nucléaires rejetés par les industries «traditionnelles».

Il faudra toutefois du temps avant que les relations dose-effet soient aussi bien définies puis maîtrisées pour les contaminants des industries non nucléaires que pour les rejets radioactifs évalués par l'industrie nucléaire — sans être limités à celui-ci. Les études du milieu marin ont aidé à mieux comprendre scientifiquement la radioactivité naturelle et ses voies d'exposition.