

cancers à venir. Cette estimation, vraisemblablement maximaliste, car elle ne prend pas en compte une diminution de l'effet avec le temps, représente quelques pour-cent des cancers naturels. La population affectée par l'accident représente plus de deux millions de personnes en Bélarus, environ autant en Ukraine et un demi-million en Russie. Cette population comprend les évacués (au nombre de 200 000 environ), qui ont été exposés jusqu'au moment de leur relogement, et les personnes qui vivent sur des territoires contaminés.

Les cancers de la thyroïde

Le seul effet indubitable dû à Tchernobyl détecté jusqu'à présent est l'excès marqué de cancers de la thyroïde chez l'enfant. Il a été rapporté pour la première fois en 1990, puis il a augmenté au cours du temps. En 1995, 700 cancers de la thyroïde sont attribués à Tchernobyl. Ce nombre correspond à une multiplication du taux naturel (le cancer de la thyroïde est un cancer rare chez l'enfant) par 10 à 100 ou plus, suivant les régions. Par exemple, le taux normal (1981-1985) de 0,5 cancer par million d'enfants est passé à près de 100 dans la région de Gomel, en Bélarus, et à plus de 10 dans le Nord de l'Ukraine (1991-1994).

L'irradiation externe aiguë est un facteur de risque établi du cancer de la thyroïde, et le risque est plus élevé quand l'exposition s'est produite à un âge jeune. Ces cancers sont en majorité agressifs, s'accompagnant souvent de métastases ganglionnaires cervicales. En revanche, le rôle carcinogène de l'iode 131 seul n'est pas établi chez l'homme. On ignore encore le nombre de cancers résultant de l'une ou de l'autre cause, et à d'autres facteurs comme la carence alimentaire en iode, endémique dans les régions affectées par l'accident.

En se fondant sur un million d'enfants ayant reçu des doses thyroïdiennes susceptibles d'induire un cancer, le nombre total de cancers de la thyroïde à apparaître dans les 60 ans à venir serait d'environ 5 000. La mortalité en rapport serait d'environ 500. Cette projection ne tient pas compte d'une décroissance dans le temps, et l'on suppose que, chez les enfants, il peut exister, comme chez l'adulte, de très longs temps de latence.

Ce dernier point, contredit par les très courts temps d'apparition de la vague de cancers en 1990-1991, constitue un argument en faveur d'un avenir moins noir. Parmi les 115 000 évacués des premières semaines, certains ont reçu des doses significatives, représentant parfois plus de 50 fois la dose annuelle par irradiation naturelle. En résumé, le nombre de cancers induits par Tchernobyl sera inférieur à 1 000, et une estimation raisonnable aboutit à quelques centaines de cancers mortels dans les 60 prochaines années, à comparer avec les 17 000 cancers naturels attendus durant cette même période.

Dans l'ensemble des personnes directement concernées par l'accident, près de 300 000 vivent sur des territoires dont le niveau de contamination dépasse 555 kilobecquerels par mètre carré ; l'excès de cancers que l'on peut attendre des suites de Tchernobyl est inférieur à un pour cent du taux normal, soit environ quelques milliers pour plus de 40 000 cancers naturels. Jusqu'à présent, on n'a pas observé d'augmentation d'incidence de la leucémie ou des autres cancers. Si un excès de tels cancers existe, il est modéré. La démonstration d'une relation de causalité entre l'exposition aux rayonnements et diverses pathologies, l'artériosclérose et la trisomie 21, n'est pas établie.

Les traumatismes psychologiques

Il est reconnu que l'effet de l'accident sur la santé des populations est en rapport avec son impact socio-psychologique. De telles conséquences sont connues lors des catastrophes naturelles. Cet impact ne peut être isolé du contexte global de la détérioration profonde de la santé en ex-URSS depuis l'éclatement de cette dernière : ainsi l'espérance de vie est passée, chez les hommes, de 65 à 59 ans entre 1987 et 1993 ; le taux de mortalité est passé de 5 000 à près de 8 000 par million et par an entre 1990 et 1993, alors que le taux de cancers demeurait constant.

Si des problèmes de santé importants, en gravité et en fréquence, se dégagent dix années après la catastrophe, il reste de nombreuses inconnues. Une partie des données a été constituée dans des conditions méthodologiques médiocres, et les études

épidémiologiques ont été mises en place tardivement. Certains effets ont ainsi pu échapper à la détection, même sur une durée de dix ans. N'a-t-il pas fallu plusieurs dizaines d'années pour appréhender les conséquences sanitaires chez les survivants des bombardements d'Hiroshima et de Nagasaki ? Ces dix dernières années, des efforts considérables ont été faits pour définir des principes reconnus internationalement pour la gestion de situations accidentelles et postaccidentelles dues aux rejets non maîtrisés de produits radioactifs dans l'environnement.

Tchernobyl 3

Le réacteur 3 de la centrale de Tchernobyl est adjacent au réacteur 4 détruit en avril 1986. Cette unité continue à produire six pour cent de l'énergie électrique de l'Ukraine ; sa localisation augmente le risque général lié à Tchernobyl.

La communauté internationale a demandé la fermeture de cette unité, fermeture maintenant programmée par le gouvernement ukrainien : le financement d'une nouvelle centrale a été accepté par le Groupement des sept pays les plus industrialisés. La centrale sera construite sur un autre site, et ne sera sans doute pas nucléaire.

Daniel ROBEAU est adjoint au directeur délégué à la protection de l'Institut de protection et de sûreté nucléaire.

</

Les variations passées du niveau des mers

JACQUES REY • RENÉ CUBAYNES

Les nouvelles méthodes d'analyse des couches sédimentaires nous révèlent les montées et les descentes du niveau de la mer au cours des temps géologiques.

Rien ne nous paraît plus immuable que le niveau moyen des mers, par rapport auquel nous définissons altitudes et profondeurs. Rien ne semble plus fixe que la zone côtière qui sépare la mer du continent. Pourtant, les roches et les fossiles témoignent des déplacements de la ligne de rivage dans les temps géologiques. La mer gagne sur la terre aux périodes dites de transgression marine : il y a 150 millions d'années, au Jurassique supérieur, presque tout le territoire français était noyé. Pendant les régressions marines, la mer recule, découvrant de vastes étendues terrestres.

Les variations du niveau marin sont-elles globales ou locales ? Quelles sont leur périodicité et leur amplitude ? Quelles sont les causes de ces variations ? Quelles en sont les répercussions climatiques, biologiques, économiques ?

Les géologues ont entrepris de retrouver, les témoignages de ces fluctuations du niveau océanique dans l'empilement des strates de sédiments. Les relations entre l'organisation des dépôts et les mouvements de montée et de descente du niveau des océans ont été décrits il y a une quinzaine d'années. Ce modèle a servi de base à des études systématiques, menées dans plusieurs bassins sédimentaires grâce à de nouvelles méthodes, telles que l'établissement de profils sismiques du sous-sol ou l'analyse statistique du contenu paléontologique des strates, qui permettent de déterminer les conditions environnementales de leur dépôt. Dans le bassin d'Aquitaine, au Portugal et au Maroc, nous avons ainsi reconstitué l'histoire des fluc-

tuations du niveau de la mer sur des périodes de quelques dizaines de millions d'années.

Les correspondances établies entre des variations du niveau marin en des points éloignés de la planète nous conduisent à rechercher des causes globales aux fluctuations observées. Les variations des paramètres orbitaux de la Terre et celles de l'activité tectonique semblent se conjuguer et régler un système chaotique où niveau des mers, climat, évolution des reliefs et accumulation sédimentaire interagissent. Nous avons montré que ce comportement chaotique est suivi par l'évolution des populations de foraminifères (des organismes marins unicellulaires) directement liée aux variations du niveau marin.

L'étude stratigraphique des variations du niveau marin a aussi des enjeux économiques. Ces fluctuations ont en effet permis la formation des gisements de pétrole : les périodes de haut niveau marin, associées à des climats chauds, sont propices au développement du plancton, dont la décomposition a produit le pétrole. Le repérage préalable des couches sédimentaires où des hydrocarbures se sont formés et de celles où ils peuvent être stockés intéresse donc les compagnies pétrolières au plus haut point.

Comment les sédiments se déposent-ils dans les zones littorales ? Il y a une quinzaine d'années, Peter Vail, alors géologue de la Société *Exxon*, a élaboré, avec ses collègues, un modèle qui relie l'organisation géométrique des couches sédimentaires aux variations du niveau marin. Une séquence

de dépôt comprend trois étapes : bas niveau marin, transgression et haut niveau marin. Un groupe de couches sédimentaires à la géométrie caractéristique correspond à chacune de ces étapes. La quatrième étape, la baisse du niveau marin, est généralement rapide et les dépôts correspondants ne sont pas distingués de ceux de la période de bas niveau marin.

Volume d'eau et forme de la Terre

Dans les périodes de stabilité de l'écorce terrestre, les déplacements de la ligne de rivage résultent de la combinaison de trois facteurs : les variations de la quantité d'eau liquide contenue dans la mer (qui dépend du volume des calottes glaciaires), l'apport plus ou moins important de sédiments, qui fait plus ou moins avancer la côte vers la mer, et l'abaissement progressif des fonds marins sous le poids de ces sédiments. Les variations de ces trois paramètres se répercutent aussi sur l'épaisseur de la tranche d'eau, espace disponible pour la sédimentation. Les fluctuations de la quantité d'eau et les variations de la quantité de sédiments sont primordiales. L'abaissement du fond marin, qui augmente en permanence l'espace disponible, est plus régulier, mais aussi plus ou moins fort selon la localisation géographique : il n'intervient que secondairement en accentuant ou en atténuant les conséquences des variations de la quantité d'eau et du dépôt sédimentaire.

Contrairement aux idées reçues et aux observations rapides des affleu-