

Dix ans après Tchernobyl

significative de l'incidence des leucémies ou des autres cancers par rapport à la période précédant l'accident... Il n'y a pas de corrélation positive entre l'incidence des leucémies et le degré de contamination. Cependant, les limites méthodologiques de ces études ne permettent pas de conclure à l'absence d'un excès de leucémies. On peut en revanche penser que s'il existe, l'excès est modéré.

Quant aux effets de l'irradiation en cours de grossesse, les résultats dont on dispose proviennent, là encore, d'études épidémiologiques de type écologique... Ils sont contradictoires. Les études qui suggèrent une augmentation des malformations congénitales ou du retard mental dans les zones les plus contaminées sont mal décrites ou présentent des défauts méthodologiques. Il ne semble pas qu'on ait pris en compte le fait que les apports en vitamines ont pu être modifiés du fait des restrictions alimentaires imposées par la contamination de la chaîne alimentaire. Or, chez la femme enceinte, la carence de l'une d'entre elles, l'acide folique, est associée à la survenue de malformations du système nerveux central.

Les conséquences psychologiques constituent un des problèmes majeurs de santé publique pour la population des

zones contaminées et les « liquidateurs ». De telles conséquences sont habituellement observées lors de catastrophes telles qu'inondations ou séismes. Mais le fait de vivre en permanence dans des zones contaminées par des rayonnements ionisants est susceptible d'entraîner une expression du stress différente et durable. Cependant, peu d'études épidémiologiques ont été effectuées sur ce sujet. La nature et l'importance des troubles dans les différents groupes de population ne sont donc pas connues. Ceci constitue un handicap certain pour établir une stratégie de prise en charge des populations concernées.

En conclusion, s'il est clair que des problèmes de santé importants subsistent dix années après la catastrophe, il reste de nombreuses inconnues. Maintes données sanitaires ont été produites dans des conditions méthodologiques visant à évaluer les risques qui rendent leur interprétation difficile. Quant aux études épidémiologiques, elles n'ont été engagées que tardivement, à partir du début des années 1990. Des effets aigus ont ainsi pu échapper à l'observation. Les études en cours s'intéressent surtout aux cancers et aux malformations congénitales chez les « liquidateurs » et les rési-

dents des zones les plus contaminées. Leur réalisation est cependant difficile. On manque de données pour estimer de façon précise les doses subies par ces personnes.

Plus généralement, peu de systèmes permettant de suivre l'évolution dans le temps de diverses pathologies existaient avant l'accident dans les pays riverains -- et d'ailleurs peu d'améliorations ont été apportées depuis. Or, les effets tels que les cancers ne se manifestent que plusieurs années après l'exposition, et les excès d'incidence par rapport à une situation normale sont difficiles à mettre en évidence lorsqu'ils sont faibles. De même qu'il a fallu plusieurs dizaines d'années pour appréhender les conséquences sanitaires des bombardements d'Hiroshima et Nagasaki, où les études se poursuivent, il faudra encore de nombreuses recherches pour évaluer précisément les conséquences de l'accident de Tchernobyl.

P.V. et D.B. ■

Pour en savoir plus

■ D. BarJ, P. Verger, P. Hubert, *Un bilan des conséquences sanitaires de l'accident de Tchernobyl*, Institut de protection et de sûreté nucléaire, Fontenay-aux-Roses, février 1996.

■ R. et B. Belbéoch, *Tchernobyl, une catastrophe*, éd. Allia, 1993.

(3) Strachko et al. *BMJ* 312
p. 25, 1995.

(4) B. Williams, *Nature*
371, 536, 1994.

(5) V. Kawanishi et al.,
S. Nagatomo et H. Nagasaki
*Verfahren zur Chernobyl
Update and Future*,
Elsevier, Amsterdam, 1994.

(6) A. Tsubazumi et al.,
Radiat. Environ. Biophys.
34, 3, 1995.

(7) J. Little, *Public Health
Epidemiol.* 7, 121, 1993.

(8) H. Ginzburg, E. Reis, *Public
Health Reports*, 10, 32,
1991.

LA VIE SAUVAGE À TCHERNOBYL

Ronald Chesser et
Robert Baker

Analyse d'une faune prospère mais génétiquement altérée

L'étude écologique des zones contaminées par l'accident de Tchernobyl révèle que la faune sauvage y abonde, grâce à l'absence des habitants, évacués. En revanche, des altérations génétiques significatives sont observées, dont les conséquences fonctionnelles, peu apparentes, restent inconnues à terme. Ce type d'études illustre le développement d'une nouvelle discipline, la toxicologie évolutive.

RONALD CHESSER
est professeur au
département de
Génétique de l'université
de Géorgie (États-Unis).
Il dirige aussi la division
d'écologie de la faune
et de toxicologie au
laboratoire d'écologie
de Savannah River.
ROBERT BAKER
est professeur au
département des
Sciences biologiques
de l'université de Texas
Tech. et directeur du
laboratoire de Recherche
en sciences de la nature.

Dix ans ont passé depuis le pire accident d'une centrale nucléaire s'est produit au réacteur n°4 de Tchernobyl, en Ukraine. L'explosion et le feu qui a suivi pendant dix jours ont relâché entre 50 et 200 millions de curies de radioactivité dans l'environnement ; environ dix fois plus qu'à Hiroshima. Environ 135 000 personnes dans un rayon de 30 kms autour

du réacteur ont été évacuées. L'incidence du cancer de la thyroïde a atteint des niveaux alarmants dans le nord de l'Ukraine et le sud de la Biélorussie.

Mais qu'en est-il des conséquences proprement écologiques ? Le désastre prédit dans les régions contaminées se réalise-t-il ? Cette question fait l'objet d'un examen minutieux. Depuis 1992, un an après le démantèlement de l'Union soviétique, des scientifiques appartenant au laboratoire d'écologie et au département de pharmacologie et de toxicologie de l'université de Géorgie (États-Unis) ont étudié la vie animale dans la « zone d'exclusion », une zone de 30 km de rayon autour de la centrale (au sein de laquelle une zone de 10 km de rayon est encore plus sévèrement interdite). En 1994, l'équipe s'est enrichie de généticiens de l'université de Texas Tech. Nos objectifs, définis par le département américain de l'énergie, étaient de déterminer les impacts biologiques du dégagement massif de radiations dans l'environnement,

l'étendue des dommages génétiques et le profil de contamination des organismes habitant les environnements les plus radioactifs, c'est-à-dire le type de radionucléides absorbés et leur quantité. Nous avons travaillé plusieurs mois sur le terrain dans la zone d'exclusion et dans les habitats non contaminés au-delà de la zone de 30 km. Il est vite apparu que nous ne pouvions pas séparer les impacts sociologiques des réponses écologiques, au sens où le changement d'occupation humaine a agi sur l'écologie du milieu.

On impute généralement à de fortes doses de radiations l'altération grave des processus vitaux et la production de monstres génétiques. Nous n'avons pourtant observé aucun monstre dans les zones contaminées. Une vie très diversifiée prospère et abonde, même dans les zones les plus radioactives. Les effectifs de souris, chevreuils, ours, renards, loutres et loups sont plus nombreux dans les habitats les plus contaminés qu'en dehors... De telles observations ne témoignent pas

UN RADICAL OXYGÈNE

est un groupe d'organismes par exemple espèce, genre, famille, quel que soit son niveau dans la hiérarchie de la classification des organismes vivants

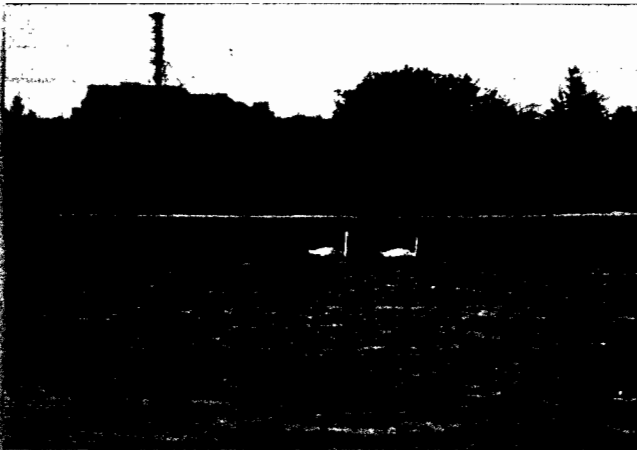
LES GÈNES CONSERVÉS

sont des gènes dont la séquence est très peu différente d'une espèce à l'autre

UN TAXON

est un groupe d'organismes par exemple espèce, genre, famille, quel que soit son niveau dans la hiérarchie de la classification des organismes vivants

(1)
R. Baker et al.
Journal of mammalogy, 77,
155, 1996



L'évacuation de plus de 100 000 habitants dans la région entourant la centrale a permis le développement des populations d'animaux. (Cliche R. Chesser)

d'une réponse positive à l'irradiation, mais plutôt de la transformation de terres agricoles ou urbanisées en terres libres d'humains, donc favorables au développement des populations endémiques de plantes et d'animaux. Ainsi, les effets négatifs potentiels de l'irradiation sur les populations de plantes et d'animaux sont contrebalancés par les influences positives du retrait de plus de 100 000 personnes.

Nous devons aller plus loin pour connaître l'effet des radionucléides résiduels sur les processus vitaux aux alentours de Tchernobyl. Lorsque les activités humaines polluent des environnements précis avec des produits chimiques différents de ceux des systèmes naturels, des altérations dans les réactions biochimiques peuvent en résulter. De même, les rayonnements gamma peuvent produire des radicaux oxygène* qui rompent les liaisons hydrogène de l'ADN, de faible énergie, ce qui sépare les deux brins de cette molécule. Les particules alpha et bêta, bien que n'ayant pas le pouvoir de pénétration des rayons gamma, peuvent provoquer des lésions des deux brins de l'ADN. Si les dommages sont faibles, l'ADN est rapidement réparé, à moins que la cellule ne se divise plus. Lorsque la dose des radiations absorbées augmente, ce-

ment, comme la plupart des épisodes de contamination — tel que l'accident de Tchernobyl — ne sont pas prévus, nous connaissons rarement avant l'événement les caractéristiques génétiques des populations affectées. Il nous faut donc trouver une autre situation de référence pour déduire les changements qu'a produits la contamination.

Deuxièmement, il n'est pas envisageable de déterminer les séquences totales des ADN mitochondrial et nucléaire, qui comptent des millions de nucléotides. Nous devons donc sélectionner des segments représentatifs des changements dus à l'exposition aux polluants et ayant un rapport avec la biologie des organismes. Troisièmement, nous devons choisir des échantillons de populations de manière à s'affranchir des fausses tendances induites par d'autres phénomènes que la contamination. Par exemple, si l'accident a tué tous les rongeurs à quelques kilomètres autour du réacteur, et si les populations qu'on y trouve maintenant sont le résultat du déplacement de populations environnantes, l'augmentation de population pourrait être due aux variations passées plutôt qu'aux changements radioactifs de l'environnement.

Afin d'étudier l'effet des produits toxiques sur le matériel génétique, nous avons employé des techniques et des méthodes semblables à celles qu'on utilise depuis longtemps dans les recherches sur les changements évolutifs. Nous définissons donc notre démarche comme la *Toxicologie évolutive* (Evolutionary toxicology).

Le projet expérimental des études de Tchernobyl suit un processus à trois temps. Premièrement, nous avons sélectionné des espèces animales parentes et ayant des exigences écologiques similaires. Ces espèces, qui devaient répondre de la même manière à la contamination, devaient jouer le rôle d'expériences indépendantes : nous avons étudié deux espèces différentes à l'intérieur de la zone contaminée et à l'extérieur.

Deuxièmement, pour établir les caractéristiques génétiques de ces rongeurs avant l'accident, nous avons sélectionné plusieurs populations vivant aussi près que possible des habitats contaminés, mais n'ayant subi qu'une très faible contamination radioactive. L'évaluation de la variation génétique au sein des populations témoins et entre elles nous a fourni les données de base pour les habitats non contaminés. Nous avons également récolté des spécimens dans les populations contaminées suivant un schéma similaire à celui mis en œuvre pour les populations témoins. Ensuite, nous avons choisi le gène fonctionnel *conserve** du cytochrome b dans l'ADN mitochondrial

Ce gène, comptant 1 143 paires de bases, est suffisamment long pour qu'on y observe les mutations qui se produisent. Comme ce gène varie peu, même entre des espèces éloignées les unes des autres, il garantit que très peu de variations parasites sont possibles. Et comme c'est un gène participant à la production d'énergie au sein des cellules, il est représentatif du fonctionnement normal de l'organisme. En outre, il s'agit d'un gène mitochondrial, qui est donc moins susceptible qu'un gène de l'ADN nucléaire d'être réparé. Les mitochondries chez les mammifères sont héritées uniquement de la femelle ; donc, tous les embryons possèdent des gènes mitochondriaux identiques à ceux de leur mère, à moins qu'une mutation ne se produise dans les ovaires ou au cours du développement précoce.

Des altérations génétiques sans précédent ont eu lieu et continuent de se produire

A partir de ces critères, nous pouvons déduire les changements qu'ont subi les populations exposées en comparant l'excès des variations qu'elles présentent par rapport à celles des animaux témoins et par comparaison des caractéristiques génétiques entre les mères et leurs fœtus. Notre premier travail sur les populations de rongeurs exposées aux retombées de Tchernobyl indique que des altérations sans précédent du gène du cytochrome b ont eu lieu. De plus, nous discernons que les changements se produisent encore, que ne peuvent expliquer la variation géographique ou des accidents de dispersion. Des changements notables observés chez toutes les espèces indiquent également que les altérations de séquences ne sont pas limitées à un taxon* particulier. Néanmoins, nous n'avons pas pour l'instant de preuve que le changement moléculaire ait entraîné un fonctionnement défectueux, et les animaux possédant des gènes ayant muté semblent manifester des niveaux de fertilité et de viabilité normaux. Nous ne savons pas si les changements observés se retrouvent sur d'autres portions du génome. Ainsi, les progrès de la science nous permettent aujourd'hui d'examiner les interactions complexes entre polluants environnementaux et matériel génétique. Tchernobyl a été un désastre d'une ampleur monumentale, cependant la vie continue à prospérer, même dans les régions les plus polluées. La science doit saisir les opportunités offertes par une tragédie qui n'en offre guère d'autre.

R.C. ET R.B. ■