

# **Risques pour la santé, risques pour les écosystèmes : quels points communs et quelles différences ?**

***L'évaluation des risques environnementaux nécessite la constitution d'un corpus de savoirs et de méthodes commun à plusieurs disciplines. Plus que jamais, recherche sur l'écosystème et recherche sur les impacts sanitaires doivent être liées, et se féconder mutuellement.***

**par Eric Vindimian**

*chef du service de la recherche et de la prospective, D4E (\*),  
Ministère de l'Ecologie et du Développement durable*

**L'**écologie nous enseigne que tout être vivant vit au sein d'un biotope qui représente son habitat naturel. Cette niche écologique n'est pas celle qu'on connaît lorsqu'il s'agit d'abriter nos animaux domestiques des rigueurs de l'hiver. Plusieurs individus de la même espèce y cohabitent, formant ce qu'on appelle une population. Les populations s'assemblent elles-mêmes en une communauté encore appelée biocénose. La biocénose est spécifique de son biotope, et l'ensemble est qualifié du nom maintenant fort répandu d'écosystème.

L'homme est un être vivant qui vit également dans un biotope. Il a acquis, comme quelques autres espèces, une capacité de modification et de construction de son propre biotope. Il a cependant porté cette capacité à un niveau inégalé dans le monde vivant. Ainsi il construit des espaces tels qu'il tend maintenant à occuper l'ensemble de la planète et donc à modifier significativement le biotope de beaucoup d'autres espèces. Le nombre d'habitats, d'espèces et de gènes disparaît à une vitesse inquiétante, comparable à celle causée par les grandes catastrophes de l'histoire de la Terre, lors du pas-

sage d'une ère géologique à une autre. Certains scientifiques nomment l'étage actuel l'anthropocène, étage complètement dominé par l'homme et caractérisé par une perte de biodiversité sans précédent. Les écosystèmes apportent cependant de nombreux services à l'espèce humaine. Notre nourriture dépend de végétaux et d'animaux, certes sélectionnés et modifiés par l'homme, mais dont l'origine est naturelle. De nombreux médicaments sont extraits de plantes ou bien imités par l'homme à partir des molécules végétales. De nombreux matériaux de construction, des

roches sédimentaires au bois, trouvent leur origine au sein de la biosphère. Une part encore majoritaire de l'énergie qui sert à nous chauffer, à nous transporter et à fabriquer les objets dont nous nous servons quotidiennement provient du stockage du carbone fixé par les plantes à l'ère primaire, stock que nous gaspillons actuellement à un rythme inquiétant.

Devant ces considérations, nous serions tentés de réduire la protection de l'environnement à celle des écosystèmes. Protéger l'ensemble des espèces dans leur biodiversité pour mieux protéger l'homme, serait alors notre éthique en matière de gestion des risques. Mais cette vision ne correspond pas à la réalité. De nombreuses espèces pathogènes, des parasites, des substances naturelles toxiques sont responsables de pathologies humaines. Sans l'usage de médicaments comme les antibiotiques, sans la lutte contre de nombreux ravageurs et pathogènes à l'aide de biocides, sans la protection des cultures à l'aide de pesticides, nous n'aurions pas assisté à l'augmentation de la durée de la vie que nous connaissons, au moins dans les pays développés, et nous ne saurions probablement pas comment nourrir les habitants humains de la Terre.



Jean-Claude Thuillier/REA

*Pour les écosystèmes, dès lors que la valeur spécifique d'une nuisance est évaluée, le travail est terminé. Ainsi, la concentration d'un toxique dans le milieu aquatique est une grandeur parfaitement utilisable pour l'évaluation des risques. Dès lors qu'il s'agit de l'homme, il convient de tenir compte des diverses voies d'entrée de la nuisance au sein du corps.*

Nous sommes donc devant un double défi : d'une part, protéger les écosystèmes et la biodiversité, d'autre part, prévenir toute dégradation de la vie humaine tant en ce qui concerne la santé que l'accès aux bénéfices apportés par la nature. Dans notre pays la constitution intègre mainte-

nant des notions fondamentales pour bien comprendre l'attitude que nous devons adopter face à ce double défi. Le principe de précaution nous impose de prendre des mesures provisoires en cas de suspicion de danger grave et irréversible et, surtout, de lancer des recherches afin de connaître

avec plus de précision les risques. Cet article de la Constitution peut être lu avec une vision anthropomorphique et viser ainsi avant tout la prévention des impacts des dégradations de l'environnement sur la santé humaine. Une vision plus globale des services que les écosystèmes apportent à l'humanité nous pousse à aller au-delà de ce raisonnement trop simpliste.

Le monde scientifique n'a pas attendu les injonctions constitutionnelles pour développer un certain nombre d'outils d'évaluation des risques environnementaux. L'Académie des sciences américaine et l'Union européenne ont fixé quelques principes de ces méthodes, le *codex alimentarius* précise également la démarche d'évaluation des risques pour ce qui concerne l'alimentation. Je voudrais seulement montrer comment, à partir d'un corpus commun, la prise en compte des impacts sur les écosystèmes présente de nombreux points communs et quelques différences avec l'approche qui concerne la santé humaine.

## Evaluation des expositions

Dès lors qu'une substance chimique est émise, qu'une perturbation physique de l'en-

vironnement existe, que des organismes pathogènes se développent dans un milieu, il est nécessaire de bien comprendre comment les interactions avec la biosphère vont les conduire vers leurs cibles. Cette balistique des nuisances environnementales est appelée de diverses manières par les différents spécialistes. Les écotoxicologues parlent de devenir des substances dans l'environnement. Leur discipline s'intéresse au « destin » et aux effets des toxiques. Ils prennent en compte toutes les transformations possibles des substances chimiques, les transferts entre l'air, les sols, les différentes composantes des milieux aquatiques. Ils tentent de suivre les transformations des substances vers leur dégradation ultime ou bien vers des sous-produits plus réactifs. Ils n'ignorent en général aucun milieu et adoptent une vision souvent planétaire, tant ils savent que les toxiques ignorent les frontières et peuvent provoquer des effets très loin de leur émission.

Dans le domaine de l'évaluation des risques pour la santé humaine apparaissent les tenants d'une nouvelle discipline : l'expologie. Cette « science » s'intéresse à l'environnement immédiat de l'homme et tente de retracer le cheminement des molécules

depuis leurs émissions jusqu'aux populations cibles. L'idée d'une discipline à part entière mériterait d'être sérieusement discutée ; il s'agit en réalité de la mise en commun d'outils de la chimie analytique, de la microbiologie et, plus récemment, de modèles qui permettent de retracer le niveau intégré dans le temps et dans l'espace de l'exposition de l'homme à des agents dangereux. Les chercheurs ont cependant développé des outils d'intégration basés sur les analyses de contaminants bioaccumulés, de métabolites ou même de systèmes biochimiques connus pour leur dépendance à certains agents environnementaux. On notera que ces bio-marqueurs sont également utilisés en écotoxicologie sur diverses espèces, notamment les vertébrés dont la biologie est en général mieux connue que celle des invertébrés. Ce qui est intéressant avec cette approche, c'est sa capacité d'être à la fois prospective et rétrospective : elle établit ainsi un lien indispensable entre l'évaluation des risques et l'épidémiologie. La même approche vise dans un cas l'établissement d'une probabilité d'exposition, dans l'autre la détermination de variables explicatives.

On le constate donc, dès lors qu'il s'agit de s'intéresser à une nuisance dans l'environ-

nement, les outils sont communs, qu'il s'agisse de prévention des atteintes humaines ou de protection des écosystèmes et de la biodiversité. Dans la majorité des cas, et heureusement, il s'agit de déterminer *a priori* la probabilité d'exposition à travers l'environnement. La modélisation apporte à cette phase de l'évaluation des risques toute sa puissance. Ainsi, au niveau européen, un certain nombre de directives imposent de suivre un document guide européen (le TGD : *Technical Guidance Document*), document régulièrement remis à jour. Il est basé, pour ce qui concerne les expositions, sur les équations de Mac Kay, le chercheur canadien qui a développé une série de modèles de devenir des substances chimiques dans les différents compartiments de l'environnement.

Il reste l'étape finale de l'évaluation des expositions où les modes de vie différents imposent des considérations variées. Pour les écosystèmes, dès lors que la valeur spécifique d'une nuisance est évaluée, le travail est terminé. Ainsi, la concentration d'un toxique dans le milieu aquatique, la teneur dans une unité de masse de sol, la dose de rayonnement par unité de surface sont des grandeurs parfaitement utilisables pour l'évaluation des risques. Dès lors

qu'il s'agit de l'homme il faut ajouter une étape supplémentaire. Il convient en effet de tenir compte des diverses voies d'entrée de la nuisance au sein du corps. Il est important également de prendre en compte la durée de l'exposition selon des scénarios de contamination chronique qui tiennent compte du budget « espace-temps » des individus concernés. Cette dernière analyse permet notamment de prendre en charge des catégories d'individus plus particulièrement exposés du fait de leur mode de vie ou de leur activité professionnelle. Dans ce dernier cas le vecteur environnemental est assez réduit, l'environnement étant celui de l'entreprise. En revanche, les doses d'exposition peuvent être significativement plus élevées, soit en intensité soit du fait de la durée ou de la répétition des expositions.

L'art de l'évaluateur des risques sanitaires fait donc appel aux mêmes outils et disciplines que celui de son collègue évaluateur des risques écologiques. Ce qui les distingue, c'est leur capacité à embrasser la complexité des réseaux de transformation et de pollution des micro-environnements des victimes potentielles auxquelles ils s'intéressent. Ils sont, bien entendu, très complémentaires et devraient ne jamais s'ignorer, les comparti-

ments étudiés par l'écologue pouvant se révéler vecteurs de pollutions que le professionnel de santé publique doit prendre en compte pour la complétude de ses investigations. Il est intéressant de noter que ces investigations, dès lors qu'elles veulent sortir du cadre générique de l'autorisation d'emploi des substances chimiques manufacturées, impliquent une connaissance précise des sites, des milieux et des modes de vie qui ne peut s'affranchir d'un lien fort avec les parties prenantes. Ainsi, la concertation qui s'impose de plus en plus dans les logiques d'évaluation des risques devient un outil de l'expert évaluateur et non plus, comme on pourrait le croire, un mode de communication du décideur. Le remarquable travail du groupe de radio-écologie du Nord Cotentin autour de l'usine de retraitement de La Hague illustre ce propos (1).

## De l'individu à la population

On doit à l'évidence à Boris Vian l'explication la plus pédagogique de la notion de risque, à propos de la bombe atomique. Pour l'oncle de l'auteur de la java bien connue, l'effet de la bombe dépend « de l'endroit

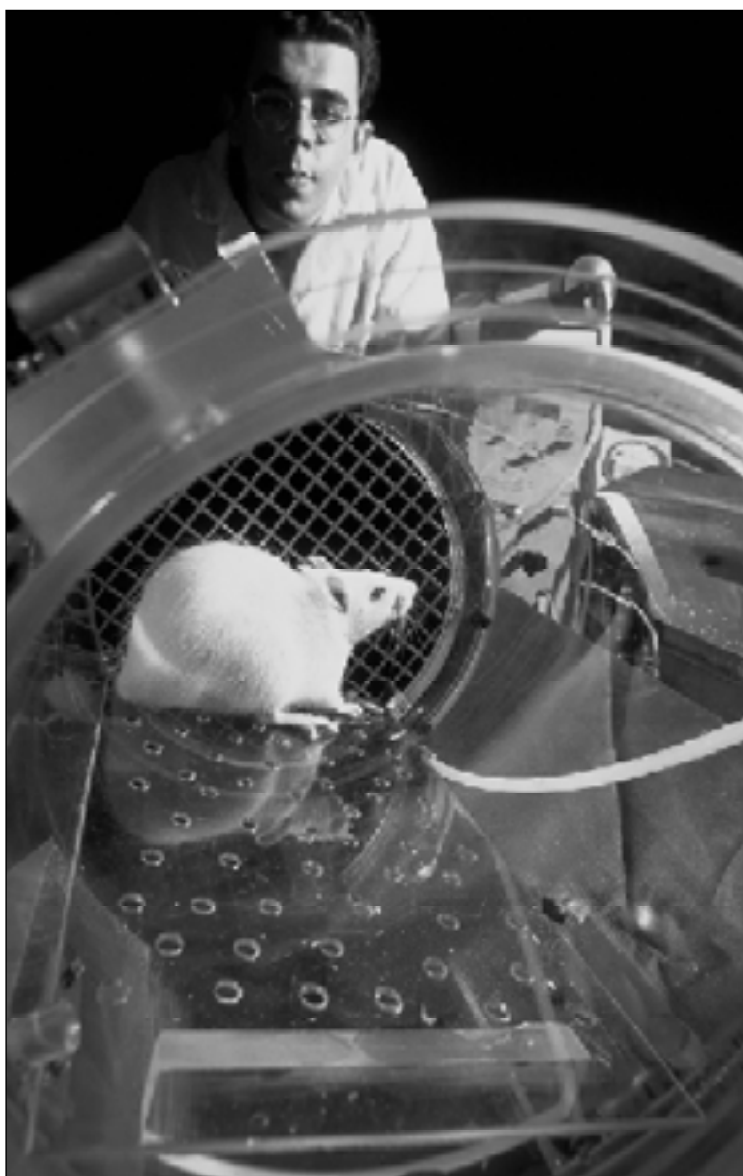
où-ce qu'elle tombe ! ». Le pacifiste montre ainsi avec brio que l'exposition est la raison principale de l'expression d'un risque. Ce raisonnement plein de bon sens est souvent mal compris tant l'aversion au danger est naturelle en comparaison du risque, bien moins « palpable ». Il est vrai que l'explosion judicieusement localisée d'une bombinette prête plus à rire que l'évocation de la puissance du potentiel destructeur accumulé par l'homme. La faiblesse de la probabilité dans ce dernier cas reste un argument bien théorique pour le commun des mortels, surtout depuis qu'il est habitué à connaître chaque jour avec force détails les événements rares que l'information en temps réel lui apporte de toute la planète.

Si le danger mérite considération, voyons en quoi le mécanisme biologique universel qui est souvent à son origine se décline de façon différente selon l'objet dont on veut le protéger. Le biochimiste voit le mécanisme dangereux au niveau moléculaire. Un rayonnement ultraviolet viendra modifier la molécule d'ADN, provoquant, dès lors que les mécanismes de réparation sont saturés, une mutation pouvant conduire à un cancer. Une substance toxique se fixant sur une macromolécule pourra perturber une chaîne de

réactions métaboliques avec un effet délétère sur des fonctions physiologiques importantes. La difficulté dans ce cas sera toujours d'inférer le niveau de perturbation au niveau de l'individu entier à partir de ces données moléculaires. Un virus

en contact avec son hôte reconnaîtra une cellule cible et détournera ses fonctions pour se reproduire.

La toxicologie classique s'intéresse aux individus, leur regroupement n'ayant qu'un intérêt statistique. Dans ce cas,



Benoît Decout/REA

*Les évaluateurs de risques ajoutent des facteurs de sécurité multiplicatifs parfois élevés afin de tenir compte de paramètres absents de l'analyse purement statistique de la variabilité des réponses. En effet, ce qui est observé chez l'animal peut différer fortement du danger pour l'homme.*

on mesure des performances en termes de survie, de reproduction ou de croissance, des paramètres physiologiques divers, ou encore l'apparition de tumeurs. Un des outils statistiques les plus employés est le seuil d'effet, jugé à l'aune de l'information apportée par l'expérience comme une valeur de dose pour laquelle les animaux exposés (2) n'ont pas manifesté d'effet significativement différent du témoin. La faiblesse de l'effectif utilisé lors d'un essai de toxicité rend beaucoup de statisticiens dubitatifs sur l'intérêt d'un tel paramètre. Pour les effets cancérogènes génotoxiques il est suggéré qu'il n'y a pas de seuil d'effet : toute molécule se fixant sur l'ADN est potentiellement source d'une évolution tumorigène. On utilise alors l'extrapolation aux très faibles doses des taux de tumeurs obtenus aux doses expérimentales en hypothéquant la proportionnalité entre la probabilité de tumeur et la dose.

Les évaluateurs de risques ajoutent des facteurs de sécurité multiplicatifs parfois élevés (plus de 1 000) afin de tenir compte de paramètres absents de cette analyse purement statistique de la variabilité des réponses. En effet, ce qui est observé chez l'animal peut différer fortement du danger pour l'homme. Les populations humaines ne sont pas homogè-

nes et certains individus peuvent se révéler plus sensibles. Les incertitudes diverses liées à l'expérimentation méritent également d'être prises en compte.

Les chercheurs développent actuellement des modèles beaucoup plus sophistiqués qui cherchent notamment à relier les impacts toxiques observés à des variables anatomiques et physiologiques qui caractérisent les individus. Ces modèles, dits modèles toxicocinétiques à base physiologique, ont le mérite de proposer un déterminisme de la variabilité des effets toxiques. Celui-ci prend en compte le devenir des substances toxiques dans le corps ou même quelques notions de métabolisme des xénobiotiques ou des paramètres de liaison des toxiques aux récepteurs. Ainsi, l'extrapolation aux faibles doses, la transposition de l'animal à l'homme et la prise en compte des sous populations sensibles est rendue possible, ce qui permet de limiter le recours aux facteurs de sécurité.

Ainsi, pour ce qui concerne l'homme, ce que l'évaluateur de risque veut protéger, c'est la population, soit un ensemble d'individus avec une variabilité limitée. Le toxicologue essaie de tenir compte des individus les plus fragiles, personnes âgées, malades, enfants, des

particularités comme la grossesse avec les impacts possibles sur le fœtus. Dans le domaine de l'écotoxicologie cette notion de population existe également mais ne revêt pas la même importance. La fragilité des individus les plus faibles n'est pas en soi une cause de perturbation des écosystèmes, sous réserve bien entendu que l'effectif concerné soit faible. L'écotoxicologue s'attache donc à protéger la dynamique de la population en prenant en compte l'ensemble des paramètres qui régissent l'accroissement de la population, soit la reproduction, la survie et la croissance. Ce dernier paramètre détermine en effet l'âge de la reproduction.

## De la population aux communautés

Lorsqu'on s'intéresse aux écosystèmes il convient de tenir compte de la diversité des espèces. Les populations qui forment la communauté sont en continuelle interaction, les unes, appelées producteurs primaires, produisant des hydrates de carbones à partir du gaz carbonique, les autres consommant ces substances. Le chaînage entre les producteurs primaires, les consommateurs de différents niveaux

et les détritivores qui se chargent d'éliminer les déchets est appelé chaîne trophique. La composition de l'ensemble de la communauté fluctue en fonction des variations spatiales ou temporelles de l'environnement, des caractéristiques de chaque population et du jeu des interactions entre les espèces.

Il est extrêmement difficile de connaître avec précision l'impact d'une nuisance environnementale sur les écosystèmes. La complexité des interactions et le nombre important des espèces concernées, dont une partie seulement est connue, représentent des obstacles rédhibitoires. Les évaluateurs de risques sont donc contraints de procéder à de nombreuses approximations. Pour ce qui concerne les substances chimiques, seul domaine pour lequel les pratiques sont bien formalisées, des essais de toxicité sont réalisés sur un nombre limité d'espèces et ne concernent que des paramètres comme la survie, la croissance ou la reproduction. Des facteurs de sécurité sont appliqués dont la valeur dépend du nombre d'essais réalisés. Lorsque des données sont disponibles pour un grand nombre d'espèces, des modèles simples de distributions de sensibilité peuvent être employés.

Ces approximations conduisent à des évaluations de risques de faible précision, l'usage de facteurs de sécurité, supposés supérieurs aux marges d'erreur, ou de variabilité, permettant de minimiser le risque de décision catastrophique. Il reste de nombreuses questions de recherche dans ce domaine, comme la modélisation des impacts sur une communauté à partir d'effets sur les populations. Ces recherches sont encore peu développées car, à l'inverse de la santé humaine qui mobilise de plus en plus les opinions publiques et par conséquent les décideurs politiques, les risques pour la biodiversité ne sont pas encore considérés au niveau qu'ils méritent. Une évaluation internationale récente, le *Millenium Ecosystem assessment* (3), a montré que les écosystèmes apportaient des services importants à l'humanité en termes de nutrition, d'épuration des eaux, de climat, de substances médicamenteuses, etc. La perte de biodiversité liée aux activités humaines serait sans précédent dans l'histoire de la planète. Il est donc important d'amplifier cet effort de recherche afin de fournir aux gestionnaires des risques les outils d'aide à la décision dont ils ont besoin pour conduire des politiques de protection de la biodiversité.

## Epidémiologie et surveillance de l'environnement

Les difficultés de l'inférence *a priori* sur les risques, tant pour la santé humaine que pour les écosystèmes, peuvent être réduites par le développement de nouveaux outils plus sophistiqués et la multiplication des expérimentations. Il est cependant illusoire de penser qu'on saura un jour prédire l'ensemble des risques. Il nous faut admettre une part du risque que nous ne savons pas prévenir *a priori*. Cette acceptation ne veut pas dire résignation devant la fatalité. Les impacts doivent être surveillés et analysés avec soin. Il est ainsi possible d'en tirer les connaissances dont l'absence avait conduit à la manifestation du danger. Ce retour d'expérience est le domaine de différentes activités : la surveillance de l'environnement, l'épidémiologie et l'éco-épidémiologie.

Le bon sens nous apprend que l'expérience du danger est en général assez bonne conseillère en matière d'évaluation des risques. Les statisticiens nous enseignent par ailleurs que les risques faibles, qui s'expriment sur des effectifs réduits, ne peuvent être détectés que par l'analyse de grands échantillons. Il est donc parti-

culièrement éclairant d'analyser les événements réels au sein des populations cibles. Cela n'est cependant efficace que si des données précises et exhaustives sur les nuisances susceptibles de se retrouver dans l'environnement sont disponibles. Une des difficultés majeures tient au fait que ces nuisances sont rarement isolées et qu'elles tendent même à cohabiter systématiquement, ce qui rend l'analyse de l'impact de chaque variable très délicate.

Cependant, le problème principal tient à l'absence de stratégies intégrées de surveillance de l'environnement et de la santé humaine. Les administrations en charge de cette surveillance sont nombreuses et dispersées. La continuité des observations n'est pas toujours assurée. L'inter-opérabilité des systèmes d'observation est l'exception, alors qu'elle devrait être la règle. Des discussions internationales sont en cours sur le développement de systèmes globaux d'observation de la Terre ; elles incluent aussi bien des observations de grande échelle comme celles obtenues par télédétection que des données obtenues *in situ* par la mesure ou l'observation.

Dans un monde idéal au sens de l'épidémiologiste, un univers d'informations cohérentes, validées, géoréférencées et

archivées est disponible pour le chercheur. Il est alors en capacité de mettre en évidence les liens (au sens des corrélations) qui existent entre la présence de nuisances, l'état des écosystèmes tant au niveau du biotope que des biocénoses et la santé des populations humaines. Il devient également possible de vérifier la pertinence de modèles, d'extrapoler des résultats obtenus au laboratoire, de vérifier le bien-fondé de décisions. Dans un tel cadre, séparer l'impact sur la santé humaine de celui sur les écosystèmes n'a plus de sens, et le schéma dichotomique de nuisances anthropiques impactant ces deux variables est remplacé par un réseau d'influences mutuelles où il devient possible d'analyser, par exemple, les bienfaits apportés par les écosystèmes à la santé humaine aussi bien que les risques liés à la prolifération de pathogènes ou de parasites.

L'émergence de ce monde idéal n'est pas pour demain, on objectera son coût rédhibitoire notamment en termes d'argent public. L'analyse économique des coûts et bénéfices d'un tel système est loin d'être réalisée et n'est certainement pas évidente. On peut cependant tenir compte du fait que les acteurs de plus en plus nombreux qui interviennent sur les champs de la santé environnementale

représentent un coût non négligeable. Des synergies nombreuses sont envisageables entre ces différents acteurs qui partagent, outre des données essentielles à l'exercice de leurs métiers, des savoir-faire similaires et des ambitions très proches. Plus que jamais, l'évaluation des risques environnementaux, sanitaires et écosystémiques, n'est pas une affaire de disciplines mais bien un problème de construction d'un corpus d'expertise qui doit faire appel à toutes les connaissances disponibles.

## Notes

(\*) D4E : Direction des études économiques et de l'évaluation environnementale.

(1) Travail dont l'histoire est en train d'être écrite pour publication.

(2) On n'expose pas l'homme à de telles doses.

(3) [www.millenniumassessment.org](http://www.millenniumassessment.org)