



Cycle de conférences 2008 : Relever le défi de la biodiversité

## Conférence

# Relever le défi de la biodiversité : la santé environnementale

Paris – 05/12/2008

Institut de formation de l'environnement

6 rue Général Camou – 75007 PARIS – 01 42 19 25 92

[www.ifore.developpement-durable.gouv.fr](http://www.ifore.developpement-durable.gouv.fr)

Avec la collaboration de



MUSÉUM NATIONAL  
D'HISTOIRE NATURELLE

# Relever le défi de la biodiversité

*La conférence est animée par Yves SCIAMA, journaliste.*

## **Introduction**

**Yves SCIAMA**  
**Journaliste**

Cette conférence s'inscrit dans le cycle des « défis de la biodiversité ». Nous allons aujourd'hui explorer les liens entre biodiversité et santé – humaine et animale. Il s'agit d'un sujet qui a émergé récemment et où de nombreuses découvertes restent à faire. Gilles Bœuf, bien connu des habitués de ce cycle, nous présentera le cadre général de la biodiversité et de la santé. Il décrira aussi les apports de la biodiversité en termes de modèle de recherche. Jean-François Guégan, chercheur en génétique, abordera la question des maladies émergentes, qui constituent un des problèmes majeurs posés par les menaces pesant sur la biodiversité.

## *Etat de la situation générale*

# **La biodiversité : constat national et mondial**

**Gilles BŒUF**

**Directeur de l'unité UPMC/CNRS «modèles en biologie cellulaire et évolutive»**

## **I. Définitions**

L'image d'un intestin humaine, à la naissance, montre que dès les premières heures, la mère transmet à l'enfant des bactéries (non pathogènes) indispensables à la vie. On connaît environ 500 espèces bactériennes associées au tube digestif mais il ne fait pas de doute qu'il en existe plusieurs milliers.

Ceci montre que la notion de biodiversité peut avoir plusieurs visages et qu'il n'est pas aussi facile de la définir qu'il n'y paraît. La biodiversité ne recouvre pas seulement la diversité spécifique : il s'agit aussi de l'information génétique contenue dans chaque unité élémentaire de diversité (un individu, une espèce, une population, un écosystème et surtout l'ensemble des relations entre ces éléments).

Le terme de biodiversité a été proposé par un écologue, Rosen, puis diffusé en 1986 dans les laboratoires d'écologie. Il a connu une diffusion beaucoup plus large à compter de la conférence de Rio de 1992. Les scientifiques placent sous cette notion ce qui concerne les mécanismes biologiques de genèse de la diversité naturelle. La question consiste à savoir comment la vie a pu se diversifier pour donner lieu à un nombre que l'on estime à 1,5 milliard d'espèces. Des formes récentes d'écologie résident dans l'étude de la biocomplexité et de la biogéochimie. Il s'agit là de disciplines plus complexes qui forment un troisième aspect de la biodiversité. La diversité revêt aussi une dimension utile pour les ressources génétiques, alimentaires, cosmétiques, pharmacologiques, etc. Enfin, la notion de biodiversité ne peut être dissociée de statuts de conservation, afin de préserver le patrimoine naturel attendu par les générations futures.

Dans un article paru en 2007, Jacques Blondel qualifie la biodiversité de concept abstrait désignant la diversité de la vie. Il s'agit aussi, selon lui, d'une hiérarchie d'entités objectives organisées en systèmes en perpétuelle évolution, animés d'une dynamique et assurés d'une fonction. La diversité constitue une construction sociale, économique, juridique et politique, dont les enjeux relèvent des interactions existantes avec les sociétés humaines.

D'un point de vue opérationnel, la biodiversité constitue :

- une priorité scientifique : il s'agit là de comprendre sa genèse, ses fonctions et d'enrayer son érosion ;
- un enjeu économique : il existe des ressources biologiques et génétiques, à valoriser et à partager, sachant qu'actuellement 20 % des humains consomment 80 % des ressources de la planète ;
- un enjeu éthique : le droit à la vie des espèces ne peut pas être discuté ;

- un enjeu sociétal : il s'agit d'un partage des valeurs et des avantages.

Ces termes figurent explicitement dans la Convention sur la diversité biologique établie dans le cadre de la Conférence de Rio en 1992. Comme on le voit, le concept de biodiversité associe étroitement les sciences de la nature et celles de l'Homme et de la société.

La Terre est recouverte à plus de 70 % par les mers et océans, ce qui a conduit à lui donner le nom de « planète bleue ». Or la vie est apparue dans « l'océan primitif ». Les caractéristiques de l'eau salée sont spécifiques : il s'agit d'un lieu très stable. L'océan n'a guère varié depuis 100 millions d'années et en certains lieux de l'océan, il existe moins d'un demi-degré d'écart entre l'été et l'hiver. On connaît un peu moins de 300 000 espèces marines aujourd'hui, ce qui représente environ 13 % des espèces décrites à ce jour. En revanche, sur les 33 grands phyla, 12 n'ont jamais échappé au milieu marin. Les bactéries de l'océan, à elles seules, représentent 10 % de la biomasse carbonée de la planète – soit au moins autant que les forêts tropicales.

L'eau est essentielle à la vie. Je reviens d'un colloque qui s'est tenu à Japon, où nous nous sommes demandé si l'on pouvait imaginer une vie sans eau. Cela semble, à l'évidence, impossible sur Terre mais la question peut se poser pour d'autres milieux. La molécule d'eau est fascinante et des physiciens nous ont avoué leur incapacité à répondre à des questions qui paraissent simples, comme la liberté de l'eau dans une cellule.

On peut classer le monde en *Bacteria*, *Archaea* et *Eukarya*. S'il existe des « fabriques d'énergie » dans les cellules (les mitochondries), certains scientifiques considèrent aujourd'hui que le noyau aurait été un organisme vivant dans l'océan primitif. Plus largement, l'histoire du vivant retrace le passage du chimique au biologique. Le vivant a été, pendant très longtemps, asexué. On retrouve des traces de bactéries vivantes (cyanobactéries) vers 3,5 milliards d'années. Outre l'apparition du noyau, la vie, dans l'océan primitif, a été marquée par la capture d'organites qui deviendront des organismes par symbiose et la « pluricellularité » (métazoaires), dont on peut se demander si elle n'est pas antérieure à l'apparition du noyau. Ce sera aussi l'apparition de la sexualité.

Celle-ci constitue une formidable machine de création de diversité biologique : il existe un brassage génétique infini, par la reproduction. Seuls les jumeaux issus du même zygote sont des êtres vivants tout à fait similaires. L'apparition de la sexualité, il y a 1,5 milliard d'années, a donc permis une explosion de la biodiversité. Un autre virage déterminant fut la sortie de l'eau, qui s'est produite il y a 400 millions d'années. Les premiers animaux terrestres répertoriés sont des myriapodes ou des scorpions, suivis par des êtres amphibiens et des vertébrés. Ces derniers constituent, avec les arthropodes, les seules espèces qui ont été capables de sortir de l'eau, en raison d'une osmorégulation interne qui n'était pas celle de l'eau de mer.

Le seul désavantage à être dans l'eau réside dans la faible teneur en oxygène. Pour le reste, le milieu marin ne présente que des avantages, notamment en terme de stabilité. Cependant, les espèces sont beaucoup plus nombreuses sur Terre en raison d'innombrables « niches ». Une fluctuation environnementale oblige le vivant à puiser dans ses ressources pour trouver de nouvelles réponses. Or le milieu terrestre est soumis à des variations infiniment plus intenses et plus fréquentes que celles affectant le milieu marin.

Cette évolution n'a pas constitué un long fleuve tranquille : on dénombre cinq grandes crises d'extinction depuis l'ère précambrienne. L'une des principales crises (qui a donné lieu, par la suite,

à l'explosion du nombre d'espèces de mammifères) fut liée à la disparition des ammonites et des dinosaures.

## II. L'évolution des espèces et la biodiversité

La population humaine est passée d'environ 5 millions au moment de la sédentarisation, vers 8 000 avant Jésus Christ, à 6,4 milliards aujourd'hui. Le premier milliard est atteint en 1840. Nous serons 9 milliards demain ! On ne peut évidemment ignorer cette perspective, qui est synonyme de difficultés majeures de coexistence sur la planète.

Les espèces évoluent progressivement et l'on assiste au remplacement d'une espèce par une autre (l'anagenèse), par accumulation de transformations génétiques adaptatives au cours du temps. Il existe aussi une spéciation par cladogenèse, c'est-à-dire l'apparition d'une ou plusieurs espèces à partir d'une initiale par isolats (diversification du vivant).

Ces variations peuvent être lentes ou rapides, suivant les phases de l'évolution. La spéciation peut obéir à des mécanismes géographiques. Elle peut aussi se produire par polyploidie ou par compétition, puis émigration.

Le recensement des espèces ne constitue pas une question aussi facile à résoudre qu'on pourrait le penser.

Des milliers ou des centaines milliers d'espèces sont répertoriés dans différents groupes taxinomiques (virus, bactéries, plantes, invertébrés, etc.) et environ 16 000 nouvelles espèces sont identifiées chaque année.

La biodiversité est très inégalement répartie, puisque 90 % du vivant sont répartis sur 10 % des terres émergées (principalement dans les zones tropicales). Le seul « point chaud » français est situé sur la frange méditerranéenne. La question de la gestion de la biodiversité ne peut être dissociée de celle de la stabilité politique des territoires sur lesquels elles se trouvent. La situation qui prévaut actuellement au Zimbabwe pose par exemple des questions majeures concernant notre capacité à préserver des populations de grands singes.

Vitousek a publié, en 1997, un article qui a clairement montré l'impact de l'Homme sur la biodiversité. Précurseur, ce travail a été suivi par de nombreux autres, qui s'appuient sur de longues séries pour témoigner des menaces s'accumulant sur les espèces de la planète. La revue Millenium Ecosystem Assessment, élaborée en 2005, a été élaborée par plus de 10 000 écologues du monde entier, qui ont émis un signal d'alerte très clair : le rythme actuel d'extinction est plus de mille fois supérieur au rythme naturel qui pourrait être attendu... Les taux d'extinction, à travers l'Histoire, témoignent de cette accélération.

Il existe quatre grandes causes d'érosion de la biodiversité :

- la réduction de la diversité des habitats ;
- la surexploitation ;
- la multiplication de nouvelles espèces envahissantes aux effets ravageurs (« aliens ») ;
- le changement climatique.

La diversité biologique a une valeur économique considérable et des travaux cherchent à préciser cette valeur économique, afin de favoriser la protection des écosystèmes. Nous savons aussi que la biodiversité joue un rôle fondamental dans les grands équilibres de la biosphère. La biodiversité augmente par ailleurs la productivité. On peut, dès lors, se demander comment fonctionnera la planète avec moins d'espèces. La biodiversité favorise, enfin, une gestion raisonnée des ressources.

### **III. Les relations entre la biodiversité et la santé**

La biodiversité peut être le support de pathologies, dont certaines sont infectieuses, parasitaires, métaboliques. Une biodiversité érodée laisse le « champ libre » pour le développement d'espèces opportunistes qui deviennent dominantes et proliférantes, de manière non contrôlée. On peut citer, à titre d'exemple, chez l'Homme, la peste noire, le paludisme ou la grippe aviaire ; pour les animaux, la varroa de l'abeille ; pour les plantes cultivées, le mildiou ou le doryphore de la pomme de terre.

Une question que se posent de plus en plus les scientifiques consiste à se demander si le système immunitaire humain n'est pas trop peu exposé pour se renforcer ou éviter de se fragiliser. Les relations entre biodiversité et santé peuvent être analysées sous plusieurs angles :

- les relations entre hôtes et parasites ;
- les pathologies émergentes (SIDA, SRAS, etc.) ;
- les échanges intercontinentaux (en 1520, par exemple, la variole a tué 3,5 millions d'Indiens en deux ans) ;
- la dissémination (*Listeria*...).

L'histoire des maladies montre qu'il existe de grandes différences entre les zones tropicales et les milieux tempérés, notamment du fait de la présence, dans les premières, des singes.

Cinq cas de figure se présentent. Dans un premier cas, l'élément pathogène est présent chez l'animal mais n'a jamais été trouvé « naturellement » chez l'Homme. Dans un second cas, le pathogène est présent chez l'animal, puis transmis à l'Homme, mais ne se transmet pas entre hommes. Dans un troisième cas, le pathogène animal n'effectue qu'un ou quelques cycles chez l'homme. Le pathogène animal peut aussi devenir infectieux entre humains (fièvre jaune, dengue, choléra...). Enfin, dans un cinquième cas, le pathogène se transmet uniquement d'homme à homme, bien qu'il soit ancestralement venu du singe (syphilis, varicelle, rubéole...).

### **IV. Débat avec la salle**

#### **De la salle**

Une espèce d'homme a disparu : l'homme de Neandertal. Il est regrettable que l'on n'évoque plus du tout son cas dans les colloques.

### **Gilles BŒUF**

On n'en parle plus car il a disparu. Il fut un moment, dans l'évolution, où sept ou huit espèces humaines ont coexisté. Il n'en existe plus qu'une seule aujourd'hui. Elle est, partout, interféconde et la « plasticité » de l'Homo Sapiens permet de nombreuses adaptations fascinantes : un Indien ou un Chinois, par exemple, ne consomme aujourd'hui que des protéines animales.

### **Jean-François GUEGAN**

Tous les scientifiques s'accordent à dire que les grandes crises ont généré de la diversité, dans un second temps. On affirme généralement que la crise actuelle se traduira par la disparition par un grand nombre d'espèces. Pourquoi ne pourrait-elle pas aussi donner lieu à l'apparition de nouvelles espèces ?

### **Gilles BŒUF**

Ce pourrait être le cas si l'on laissait le temps au temps. Il faut beaucoup de temps pour régénérer les systèmes et restaurer le nombre d'espèces. La vie ne va certes pas disparaître. Mais certaines espèces – dont l'Homo Sapiens – ont du souci à se faire.

La grande crise Permien-Trias a fait disparaître 95 % des espèces mais elle a duré 4 millions d'années. Puis elle a été suivie par une formidable régénération des espèces mais cette phase a duré, elle, cent millions d'années.

## **Dynamique actuelle de la biodiversité et santé Comment la gérer ?**

**Jean-François GUEGAN**

**Chercheur en génétique et évolution des maladies infectieuses,  
Institut de Recherche pour le Développement (IRD)**

A chaque fois que je me déplace sur cette estrade, je déplace 100 000 fois plus de cellules exogènes que de cellules endogènes. Nous sommes beaucoup plus composés de cellules exogènes que de cellules internes à notre organisme. Nos gènes sont truffés de séquences correspondant à l'histoire des interactions entre les populations humaines et les nombreux agents pathogènes qu'elles ont rencontrés. Il existe des formes de virus positives, commensales qui sont infiniment plus nombreuses que leurs formes pathogènes. On estime que l'on connaît aujourd'hui 1 407 agents pathogènes, ce qui constitue un nombre relativement limité.

Une majorité d'agents pathogènes est apparue au cours des trente dernières années. C'est le cas par exemple du virus HIV (responsable de la pandémie de SIDA), originaire d'un virus présent chez le singe. On constate que près de la moitié des 1 407 agents pathogènes connus à ce jour dans les populations humaines (bactéries, champignons, protozoaires, etc.) provient des ongulés. Ensuite sont intervenus, par ordre décroissant, les carnivores, les rongeurs et les espèces non-mammifères (reptiles...). Les primates n'interviennent qu'au cinquième rang de cette transmission. Ceci s'explique principalement par une raison simple : les maladies présentes dans les populations humaines sont le fruit de l'histoire de son développement. Les premiers agents pathogènes capturés à partir de l'animal sont ceux liés aux premiers animaux que nous avons élevés (notamment les premiers ongulés). Le développement de l'agriculture constitue ainsi le principal moteur de transmission des agents pathogènes des animaux à l'homme.

La diversité biologique est maximale dans les zones inter-tropicales, où les agents infectieux et parasitaires sont aussi beaucoup plus nombreux, du fait de la présence des espèces animales évoquées précédemment (ongulés, rongeurs, primates...). Certains agents pathogènes ne sont présents que dans les zones inter-tropicales mais l'inverse (le cas d'agents pathogènes présents uniquement dans les zones du Nord) est extrêmement rare. Une autre grande règle (qualifiée de « règle de Rapoport ») énonce qu'un agent pathogène donné aura une aire de distribution bien moindre, dans les régions inter-tropicales, que dans les zones tempérées du Nord.

Un autre phénomène a été observé de manière suffisamment régulière pour en faire une règle : à l'exception des virus contagieux, les grandes populations abritent une plus grande diversité d'agents infectieux ou parasitaires. Autrement dit, plus une population humaine aura une taille importante, plus elle risque d'abriter une grande variété d'agents pathogènes. Une étude publiée en 2005 a permis de classer un certain nombre de déterminants par ordre d'importance dans l'émergence des agents pathogènes.

Au total, 350 agents pathogènes ont ainsi été étudiés et les dix facteurs suivants, classés par ordre décroissant, ont été mis en évidence :

- les changements d'usage des sols et les pratiques agronomiques, qui expliquent l'émergence de près de la moitié des agents pathogènes ;
- les changements démographiques et sociétaux ou comportementaux.
- la précarité des conditions sanitaires ;
- les infections nosocomiales (contractées à l'hôpital) ;
- l'évolution des agents pathogènes (développement de résistances aux antibiotiques, augmentation de leur virulence...);
- des contaminations par les aliments ou l'eau ;
- les voyages et les échanges humains intercontinentaux ;
- les défaillances des systèmes de santé ;
- les transports économiques de biens commerciaux et d'animaux ;
- le changement climatique.

Cette dernière mention peut surprendre. Force est pourtant de constater que nous avons très peu d'éléments étayant le rôle du changement climatique dans l'augmentation des incidences ou des aires de distribution d'agents pathogènes. Ceci ne signifie pas que le changement climatique n'aura pas d'importance dans l'augmentation future du nombre d'agents pathogènes ou de leur distribution.

Jonathan Patz a étudié les mécanismes écologiques et évolutifs responsables de la transmission du paludisme, dans les populations péruviennes. Il a notamment mis en évidence le rôle de la déforestation de l'Amazonie dans la transmission de cet agent pathogène. On observe depuis 1992, dans l'Est du Pérou, une augmentation de l'incidence du paludisme, dans ses deux formes, y compris la plus virulente (*Plasmodium Falsiparum*). Les chercheurs ont effectué des suivis, dans des zones ayant subi des déforestations massives et dans des zones (préservées) de forêt primaire. L'incidence de l'installation de communautés humains et de l'agriculture a ainsi pu être étudiée. Il en ressort que la modification des écosystèmes entraîne un ensemble de perturbations responsables de l'apparition de cas de paludisme.

Les chercheurs observent que, dans les conditions naturelles, là où vivent les larves de l'agent pathogène étudié et où les pH sont extrêmement acides (4,2 à 4,4), le moustique responsable de la transmission de la maladie ne peut pas survivre, ou très difficilement.

La situation évolue lorsque les cours d'eau sont obstrués par des branches ou des troncs : des apports organiques et minéraux deviennent alors possibles, favorisant le pullulement de moustiques qui constituent d'excellents vecteurs de la maladie. On peut ainsi conduire à une multiplication par 400 du risque de transmission du paludisme.

De la même façon, les chercheurs ont montré que la probabilité de rencontre entre les moustiques transmettant le paludisme, très faible en forêt primaire, augmentait considérablement dans les zones déforestées, où les conditions de pullulement des vecteurs compétents de l'agent pathogène sont réunies. Des foyers épidémiques vont alors pouvoir se faire jour dans ces zones. La logique de multiplication d'agents pathogènes n'est guère différente dans des zones urbaines, où des vecteurs compétents (rats, souris, certains oiseaux...) vont constituer des réservoirs d'agents pathogènes.

On connaît un certain nombre de facteurs qui seront responsables de la taille d'une épidémie. Cette amplitude dépend d'abord du «  $R_0$  » qui décrit la capacité invasive d'un agent pathogène, c'est-à-dire sa capacité à entrer dans une population humaine dont il était absent.

Un autre paramètre sera la valeur du  $I_0$ . Celui-ci décrit le nombre de tentatives nécessaires pour faire entrer un agent pathogène dans une population dont il est absent. Pour des valeurs du  $R_0$  proches de 1, on observe une forte variabilité dans la réponse. Au Congo-Kinshasa, par exemple, l'augmentation de la valeur du  $I_0$  accroît le risque de transmission du virus Ebola vers les populations humaines, en raison notamment de la présence de chauves-souris qui transmettent efficacement l'agent pathogène. Plus généralement, on observe que les singes ont assez peu transféré des agents pathogènes vers l'homme, sans doute en raison d'une moindre probabilité de transfert – par comparaison avec des espèces vivant plus près de l'homme comme les ongulés ou les rongeurs, qui se sont notamment habitués aux conditions de présence en milieu urbain.

### **Yves SCIAMA**

Pouvez-vous rappeler quelle est la différence entre une espèce réservoir et une espèce vectrice ?

### **Jean-François GUEGAN**

Ces termes sont en pleine évolution. Les définitions varient aussi suivant les spécialités. Un réservoir est, en principe, un organisme hôte (animal, plante) qui possèdera des micro-organismes n'entraînant pas d'effets pathologiques chez ses hôtes. Mieux, ils pourront être commensaux ou symbiotiques. En tout cas, ils n'occasionneront pas de virus d'immunodéficience simienne (SIV). C'est lors du transfert de ces hôtes vers l'homme, au travers de contacts (par exemple lors de micro-coupures, lors du découpage de viandes de brousse) que le transfert du SIV a pu se produire pour donner lieu à un virus de l'Immunodéficience Humaine (VIH ou HIV en anglais).

Autrement dit, il faut envisager un micro-organisme comme le feu d'une gazinière, qui nous est utile mais qui peut aussi, si l'on n'y prend garde, s'avérer mortel. Nous sommes capables aujourd'hui, par l'expérimentation, de modifier des bactéries *Escherichia Coli* (présentes dans nos intestins) qui vont créer des formes pathogènes pouvant tuer l'homme.

### **De la salle**

J'ai l'impression que toute concentration, en agriculture, chez les animaux ou chez les humaines, entraînera l'apparition de pathologies importantes. Or les schémas directeurs qui sont en cours d'élaboration sont dominés par un principe : la concentration. N'y a-t-il pas là un risque important ?

### **Jean-François GUEGAN**

J'enseigne l'épistémologie des sciences à l'université de Montpellier II et cet angle d'étude me paraît intéressant. L'analyse des conditions de développement de grandes épidémies fait apparaître le rôle déterminant de trois paramètres : la taille d'une population d'accueil, sa densité et les liens existant à une large échelle (notamment les voyages intercontinentaux).

Dans le cas des animaux, des études ont porté sur l'agriculture. Nous avons sélectionné des souches de dindes, de poulets et des races de vaches, par exemple. Nous les avons sélectionnées sur certains critères de production de protéines et non sur des critères de résistance. Si l'on introduit un virus H5N1 dans des élevages de 20 000 têtes, on tue presque 50 % de la population.

### **De la salle**

Vous avez également parlé d'un défaut ou de la précarité des systèmes de soins. L'évolution que l'on constate dans ce domaine n'est guère plus rassurante.

### **Jean-François GUEGAN**

En Afrique, la maladie du sommeil était assez bien contrôlée jusque dans les années 70. Au Cameroun, cette maladie est considérée comme émergente. La notion de maladies émergentes est d'ailleurs à relativiser : les agents pathogènes ont toujours existé. Ils sont émergents à la lumière des mesures que l'on effectue. La réapparition de la maladie du sommeil, en Afrique, réside de la désorganisation des systèmes de soins.

### **De la salle**

Quel peut être le rôle des OGM (organismes génétiquement modifiés), dont certains ont été conçus afin de contrer des effets pathogènes de certaines espèces ?

### **Jean-François GUEGAN**

Des programmes visent par exemple à introduire des moustiques (femelles) transgéniques qui diminueraient les capacités infectieuses ou qui seraient en mesure de détruire l'agent pathogène. Cela dit, ces organismes seront contrôlés sous cet aspect, alors que des milliers d'autres sont à considérer.

Dans les années 60, vous pouviez acheter à Dakar 145 variétés distinctes de riz et chaque variété était adaptée à des conditions spécifiques (salinité des sols, hygrométrie, sécheresse).

Aujourd'hui, vous ne trouverez plus qu'une variété, qui provient de Thaïlande. Elle est très chère mais aussi très sensible au virus qui décime actuellement les champs de riz d'Afrique de l'Ouest. Il y a là une autre forme d'altération de la diversité (à travers la diversité « cultivée ») et cela constitue une réelle difficulté. Un constat similaire pourrait être fait pour le blé ou pour certains fruits (pommes, tomates...) en France. Des familles de fruits ont été sélectionnées pour certaines de leurs caractéristiques mais non pour leur résistance. Il s'agit d'une autre façon d'envisager la diversité biologique.

## Les cadeaux de la diversité spécifique : des molécules pour la pharmacie et des modèles pour la recherche médicale

Gilles BŒUF

Directeur de l'unité UPMC/CNRS « modèles en biologie cellulaire et évolutive »

### I. Les cadeaux offerts par la biodiversité

Les médecins considèrent souvent l'homme, d'une part, et le « petit animal », d'autre part. Il s'agit toujours de la souris et exclusivement de cette dernière. Autrement dit, la recherche médicale travaille sur deux espèces, alors que plus d'un million d'espèces est répertorié aujourd'hui.

50 % des médicaments sont issus de produits naturels ou synthétisés à partir de produits naturels. L'aspirine, la quinine, la morphine, la pénicilline, pour ne citer que celles-ci, sont issues de plantes terrestres. Le comportement des chimpanzés montre que ces animaux mangent régulièrement des produits nouveaux, dont les effets bénéfiques, pour la santé, sont démontrés. La proximité avec cette espèce ne cesse donc de nous surprendre et elle a beaucoup à nous apprendre, y compris en matière de médicaments !

Plus de 15 000 produits ont été isolés d'organismes marins et certains sont passés en utilisation courante : les gélifiants (anticancer Ara-C...), les anti-viraux Ara-A, les bryostatines, les antiviraux bactériens... 30 % de ces substances ont été identifiées chez les spongiaires, qui constituent des espèces particulièrement intéressantes du point de vue des mécanismes de défense qu'elles ont créés face aux agressions apportées par leur environnement.

Chez des yeux de mouches, des protéines marines à fluorescence rouge ou verte ont été identifiées. Ces molécules étaient déjà présentes chez des méduses. Des polymérases hyperthermostables proviennent aussi d'espèces marines et certaines de ces espèces, cultivées en laboratoire, s'avèrent tout à fait stables à une température de 98 degrés. On estime que la probabilité de trouver des substances intéressantes à partir du milieu marin est 500 fois plus grande qu'à partir d'organismes terrestres. Parmi les espèces intéressantes identifiées figurent :

- la ribose et arabinose d'éponge ;
- l'ecteinascidine 743 ;
- la squalamine, identifiée chez les requins, qui constitue un puissant antitumoral ;
- la discodermolide, qui constitue un immunosuppresseur très efficace.

Il existe donc une exceptionnelle chimiodiversité dans le milieu marin. Le « criblage » du milieu marin résulte d'un choix politique et économique et suppose d'y consacrer des ressources. Le NIH, aux Etats-Unis, consacre par exemple des moyens très importants à l'étude du milieu marin. On a également trouvé, dans ce milieu particulier, des sondes moléculaires, c'est-à-dire des séquences d'ADN utilisées pour effectuer de la reconnaissance, parmi lesquelles diverses neurotoxines (tétrodotoxine, lophotoxine, acide okadaïque...).

## **II. La diversité des modèles en biologie et leurs apports pour la recherche médicale**

Il existe de nombreux modèles utilisés en biologie : celui de la levure, la mouche (drosophile, très propice aux travaux de laboratoire) ou le nématode (ver d'1 mm, très utilisé également)... On peut obtenir une connaissance extrêmement précise de ces modèles. Une question centrale consiste à savoir comment l'on passe d'un zygote à d'autres espèces. Une autre question majeure porte sur les relations existant entre ce développement embryonnaire et l'évolution.

D'autres modèles sont des poissons. Le fugu, poisson japonais, a un génome extrêmement contracté. Il s'agit d'un génome presque entièrement codant, très commode d'utilisation. Le xénope, amphibien, a pour caractéristique d'être tétraploïde, suite à un accident connu par cette espèce il y a plusieurs milliers d'années. Cette espèce est très utilisée, par exemple pour les tests de grossesse.

On peut se demander pourquoi l'on recourt à des modèles différents en biologie. On demande généralement à un modèle une simplicité d'organisation, sa facilité d'accès, sa disponibilité. On peut aussi rechercher des caractéristiques particulières : un modèle peut être indicateur d'un milieu, d'un changement, d'un déséquilibre... On se trouve parfois dans l'obligation de s'intéresser à un modèle biologique pour des raisons médicales, agronomiques ou économiques. L'homme cohabite par exemple de longue date avec la vache ou le cheval et il doit s'y intéresser sous l'angle agronomique.

Les séquençages mis en place à la fin des années 90 ont d'abord porté sur la levure, qui compte 6 300 gènes (contre 30 000 environ pour l'être humain). Le génome humain a été identifié en 2001, après 13 années de travail. 35 000 gènes ont ainsi été identifiés. Parmi les autres espèces dont le génome a été identifié figurent la souris, le riz, l'abeille, la poule, le chimpanzé (2004), le poisson-zèbre, un oursin (2006) et demain l'huître creuse, une annélide, un tardigrade...

La biologie comparative constitue une source de progrès intellectuels mais aussi une source de progrès dans le traitement de pathologies. Dès 1865, Claude Bernard soulignait « qu'il y a des expériences qui seraient impossibles chez certaines espèces animales et le choix intelligent d'un animal qui présente une disposition heureuse est souvent la condition essentielle du succès et de la solution d'un problème physiologique très important... ». Plus récemment, A. Krogh soulignait que « pour chaque problème de physiologie, il y a un modèle vivant idéal... »

La biodiversité marine a fait de véritables cadeaux à la recherche fondamentale. En immunologie, les cnidaires, (anémones de mer...), les annélides, les mollusques, les échinodermes et les poissons se sont avérés particulièrement utiles. En biologie cellulaire et pour la recherche sur le cancer, les mêmes espèces, auxquelles il faut ajouter les arthropodes, ont aussi démontré leur intérêt.

L'une des raisons de cet apport tout à fait singulier réside dans la capacité combinatoire du système immunitaire de certaines espèces marines, à commencer par les requins. On trouve aussi chez les sangsues des molécules de défense antibactériennes très efficaces mais elles ne sont guère spécifiques. On a retrouvé chez l'homme, lors d'opérations à cœur ouvert, ces mêmes molécules – discrètes – secondairement émises par la sangsue. L'homme dispose ainsi d'un puissant système immunitaire non spécifique, qui a été mis en lumière à la faveur de l'étude d'invertébrés.

Une autre question majeure porte sur la reconnaissance du soi et du non-soi. L'ascidie nous offre un cas d'étude intéressant de ce point de vue, notamment du fait des caractéristiques de sa larve.

L'ascidie est hermaphrodite et présente les deux sexes de manière simultanée, ce qui est particulièrement rare. Cette espèce ne se reproduit pas. Lorsque l'animal émet son sperme dans l'eau, en présence d'ovocytes, ceux-ci ne sont jamais fécondés. En revanche, des travaux ont montré que le spermatozoïde fécondait toujours les ovocytes d'autres individus, ce qui a mis en évidence l'existence de molécules de « reconnaissance du soi et du non-soi ».

L'étude d'un saumon et de la glande rectale d'un requin a conduit à identifier la mutation  $\delta F-508$  sur le gène CFTR. Or il a été montré que celle-ci était responsable de 80 % des cas de mucoviscidose. On a ainsi pu expliquer comment une mutation de ce gène conduisait à une plus ou moins grande sévérité de la maladie.

On a trouvé chez des méduses, entre Banyuls et Bâle, des yeux complexes. Ceux-ci requièrent la présence de 2 000 gènes et d'un « gène maître » contrôlant tous les autres. On s'est aperçu, chez la souris puis chez la mouche, que la même séquence de gènes déterminait cette caractéristique physiologique, que l'on retrouve chez des espèces aussi diverses que le singe, la coquille Saint-Jacques, la palourde... et l'homme.

Récemment, on a utilisé des matériaux de la biodiversité (fragments de corail) pour effectuer des travaux de chirurgie – en l'occurrence, contribuer à la régénération d'os humains. Chez la raie torpille, qui émet de puissantes stimulations électriques, les premiers récepteurs à l'acétylcholine ont été identifiés il y a quelques années. Cette découverte aura de nombreuses applications, par exemple pour le traitement de maladies génétiques.

En 1882, Otto Von Warburg démontrait l'augmentation de la consommation d'oxygène consécutive à la fécondation d'un ovocyte d'oursin. Charles Richet, embarqué sur le navire océanographique du Prince Albert 1<sup>er</sup> de Monaco, a expérimenté la toxicité de venins sécrétés par les filaments pêcheurs de grandes méduses.

En 2001, la molécule-clé du cancer a été trouvée chez l'étoile de mer. Cette découverte a valu à son auteur, Tim Hunt, le Prix Nobel de médecine 2001. Lui et son équipe ont identifié chez l'étoile de mer une protéine essentielle dans le contrôle de la régulation du cycle cellulaire.

Les cadeaux offerts par la biodiversité à l'humanité sont souvent indispensables en pharmacologie. Il s'agit de modèles pertinents et originaux, souvent déterminants. On peut se demander, dès lors, s'il est pertinent de continuer à décrire des espèces pour les voir irrémédiablement disparaître.

### **III. Débat**

#### **De la salle**

Qu'en est-il des espèces existantes en eau douce ?

#### **Gilles BŒUF**

Il est vrai que l'on parle souvent des milieux marins mais les eaux douces sont tout aussi intéressantes et constituent le support de criblages tout aussi instructifs. La différence ne réside pas entre les types de milieux aquatiques mais plutôt entre le milieu marin et le milieu terrestre.

## *Outils et acteurs de la préservation de la biodiversité*

### **Santé environnementale et biodiversité dans le Grenelle de l'environnement**

**Sandrine SEGOVIA-KUENY**

**Conseiller technique Risque, santé, environnement, Cabinet du ministre de l'Ecologie, de l'énergie, du développement durable et de l'aménagement du territoire**

Le Grenelle de l'Environnement a réuni des centaines de personnes dans le cadre de groupes de travail qui ont fonctionné pendant plusieurs mois. Six groupes de travail ont été réunis, dont l'un dédié au thème « santé environnementale » et l'autre dédié à la biodiversité. A la fin de leur travail, en octobre 2007, 268 engagements ont été pris. Le Grenelle de l'Environnement s'est concrétisé le 21 octobre 2008 avec le projet de loi de préparation du Grenelle de l'Environnement. Il s'agit d'un projet de loi de programmation, qui a consisté à entériner de grands engagements par les parlementaires. Ces engagements concernaient par exemple les pollutions lumineuses, qui créent une gêne et représentent un gisement important d'économies d'énergie. L'ADEME (Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie) a évalué à 30 % les économies d'énergie qui pourraient être réalisées au moyen d'une meilleure orientation de l'éclairage public.

Un deuxième projet de loi, dit de transition environnementale, doit être soumis prochainement au Parlement. Il créera un cadre légal encadrant par exemple le meilleur usage des éclairages publics. Le 23 septembre dernier, Nathalie Kosciusko-Morizet s'est rendue à l'Observatoire de Meudon, en présence de médecins, pour évoquer la question des pollutions lumineuses. Un dossier assez complet sur ce sujet est disponible sur le site du Ministère de l'Ecologie.

Un deuxième lien important entre les projets de loi dits « Grenelle I » et « Grenelle II » porte sur les résidus médicamenteux, qui constituent une pollution préoccupante pour les eaux. Le Plan « Santé environnementale II » aura notamment pour objectif une réduction de la présence de ce type de résidu dans la faune et la flore – en particulier dans les eaux. Le Ministère a constitué par ailleurs un dossier sur le lien entre la fertilité et les pollutions présentes dans l'environnement. Un colloque a eu lieu, au Ministère, le 25 novembre, sur cette question.

Il a notamment montré que les écosystèmes jouaient véritablement un rôle de sentinelle. Les problèmes de fertilité, chez diverses espèces, annoncent souvent des perturbations chez les humains. Le fait qu'une majorité de poissons porte le sexe féminin nous alerte, par exemple, sur des perturbations endocriniennes pouvant résulter de pollutions des eaux. Il est donc intéressant d'étudier les écosystèmes afin de mieux connaître les risques pesant sur les populations humaines.

Les maladies émergentes ont été évoquées ce matin et nous voyons que le changement climatique influe sur la remontée de certaines espèces et sur certaines maladies atypiques. On constate aussi, en Afrique, la propagation plus importante de certaines maladies et il existe une corrélation entre ces

phénomènes et le climat. Le Ministère organise le 12 décembre prochain un colloque sur le thème « changement climatique et gestion des catastrophes environnementales ». Une partie de ce colloque sera dédiée aux enjeux et fera l'objet d'une table ronde, en présence d'un vétérinaire et de représentants de la Commission européenne ou de l'OMS, notamment.

La nécessité de protéger la pharmacopée d'origine naturelle a été inscrite dans la loi « Grenelle ». Souvent mise à mal, par négligence ou par de nouvelles cultures, par exemple, cette pharmacopée doit être « sanctuarisée » compte tenu des ressources qu'elle recèle.

Plus largement, l'enjeu consiste à promouvoir un environnement aussi durable que possible, qu'il s'agisse de l'air, de l'eau ou des sols. En ce qui concerne ces derniers, la question se pose notamment pour les pesticides et les produits phytosanitaires. La directive 91/414 encadrait déjà l'utilisation de produits phytopharmaceutiques. Un règlement qui sera soumis prochainement aux instances européennes énoncera de nouvelles règles pour les produits les plus dangereux. En France, la FNSEA (principale organisation représentant les agriculteurs) a fait part de son accord avec ces principes. Une directive est par ailleurs en cours d'élaboration pour une meilleure utilisation des produits phytosanitaires. La façon d'utiliser certains produits s'avère en effet tout aussi importante, du point de vue de leur impact, que leurs caractéristiques intrinsèques et il faut pouvoir utiliser les substances les plus préoccupantes avec un maximum de précaution – tant du point de vue des agriculteurs que du point de vue des consommateurs et des écosystèmes.

Notre environnement est extrêmement sensible à de nombreuses formes de pollution, qui peuvent être durables et qui touchent notamment les sols. La loi « Grenelle I » et la loi « Grenelle II » comporteront des dispositions visant à restaurer des sols pouvant être en contact avec les populations les plus vulnérables. Cela concerne par exemple la remise en état de sols sur lesquels se trouvaient des stations-service et la remise en état de sols sur lesquels se trouvent des écoles et des établissements accueillant des enfants. Un enjeu actuel consiste notamment à identifier des plantes qui favorisent une remédiation des sols et leur restauration. Il y a là une piste à explorer, notamment pour les pollutions superficielles. La difficulté consiste à traiter les sols là où cela apparaît le plus nécessaire. L'Etat prévoit, à ce sujet, une prise en charge du traitement des « sites orphelins ». Il s'agit des sites non occupés, qui ont pu accueillir une exploitation industrielle. L'un des principes proposés dans le cadre du Grenelle de l'Environnement consiste à faire reposer la responsabilité de la prise en charge de ces sols par la maison mère des entreprises ayant ainsi délaissé des sols après les avoir pollués. Enfin, nous avons lancé des études de biosurveillance, dont l'enjeu consiste à établir des liens entre des cas identifiés (par exemple au travers de mesures en champ).

## Débat

### De la salle

On entend beaucoup parler du Grenelle de l'Environnement. Or nous avons appris qu'il était question d'implanter, en Ile-de-France, un circuit de Formule 1. Je me demande s'il n'y a pas, parfois, des antagonismes et si les objectifs et les principes du Grenelle de l'Environnement ont été bien compris par tous les responsables politiques.

**Sandrine SEGOVIA-KUENY**

Le MEEDAT regroupe aussi le secteur des transports. Nous allons remettre en état les canaux fluviaux et la notion de développement durable s'étend à des domaines de plus en plus vastes. Il est vrai, cependant, qu'il peut exister des contradictions entre certaines décisions.

En l'occurrence, le projet que vous évoquez implique aussi des décisions de niveau local et régional mais il dépasse mes compétences.

**De la salle**

Les routes sont entretenues avec des produits hautement toxiques, qui ont un impact néfaste sur l'environnement et sur la santé des agents qui les utilisent. L'Etat souhaite-t-il faire preuve d'exemplarité en intervenant auprès de ces agents pour réduire l'impact de ces produits (qui sont également utilisés sur les chemins de halage) et en mettant en œuvre le principe de substitution ?

**Sandrine SEGOVIA-KUENY**

Il est vrai que des produits chimiques pouvant être nocifs pour la santé sont encore utilisés. Nous espérons que l'application du règlement REACH permettra de faire évoluer les choses. On peut rappeler que 30 000 substances chimiques ont été mises sur le marché depuis 1981 alors que les résultats des études d'écotoxicité dont elles ont fait l'objet sont alarmants. Ces 30 000 substances ont donné lieu à 240 000 enregistrements en France et l'on peut espérer que cela permettra de faire évoluer la situation. En tout état de cause, nous nous attendons à une réduction des dépenses de santé de 30 à 50 milliards d'euros par la seule réduction de l'utilisation des produits chimiques. Cela représenterait l'économie de 2 000 à 4 000 décès par cancer chaque année. Il s'agit donc d'enjeux considérables, qui peinent pourtant à susciter l'intérêt des médias et de la presse. L'adoption de ce règlement aura un impact considérable à moyen et long terme. De plus, les 1 500 substances les plus préoccupantes seront mises de côté et 14 d'entre elles ont déjà été identifiées.

Le plan « Biocid » obligera les industriels à soumettre certaines substances à un enregistrement systématique. Cet encadrement aura aussi des effets bénéfiques, à travers une moindre utilisation ou une utilisation plus appropriée de produits tels que des raticides. Evidemment, la prise en compte de ces enjeux a encore d'importants progrès à réaliser à l'échelle mondiale. On estime ainsi qu'une prise en compte adéquate des enjeux environnementaux conduirait, à court terme, à une réduction de 10 % du PIB chinois.

**Gilles BŒUF**

La France est très en retard. Nous manquons dramatiquement de données. Un effort important est à produire dans le domaine de la recherche et vis-à-vis des médecins, dont la participation est faible. De plus grandes synergies entre le monde médical et le monde de la recherche, autour de ces pathologies, permettrait sans doute de faire des progrès sensibles.

**Sandrine SEGOVIA-KUENY**

Vous avez tout à fait raison. Un effort plus important est réalisé, dans ce domaine, aux Etats-Unis, avec des résultats. En France, on peut saluer la contribution de l'InVS (Institut national de Veille sanitaire) et celle de l'Inserm (Institut national de la Santé et de la recherche médicale). Mais il s'agit d'une question de crédits de recherche.

Le plan « Santé environnementale I » prévoyait une formation des médecins mais cet engagement n'a pas été tenu. On peut espérer qu'il fasse partie des engagements à prendre dans le cadre du plan « Santé environnementale II ».

Un autre sujet prometteur est l'épigénétique. Chacun naît avec un patrimoine génétique mais lorsqu'on est en contact répété avec certains produits, l'expression d'un gène peut survenir, avec des conséquences sur le caryotype de l'individu. Vous avez peut-être entendu parler, par exemple, d'un médicament qui a entraîné l'apparition de cancers chez leur fille ou leur petite-fille. L'OMS considère que 30 % des pathologies seraient dues à des facteurs de santé environnementale. Leur origine précise est souvent difficile à identifier, compte tenu de la multiplicité et de l'interdépendance des facteurs qui peuvent être mis en cause.

Nous n'avons pas d'autre choix que de rechercher une meilleure maîtrise des dépenses de santé. Cela passe toutefois par une prévention primaire et notamment par la recherche d'un environnement plus sain. Je suis persuadée que les voitures qui n'émettront plus de particules fines apporteront des améliorations sensibles pour la santé. Nous entendons fréquemment des messages de prévention secondaire mais nous gagnerions tous, collectivement, à mettre davantage l'accent sur la prévention primaire. C'est en cela que la loi « Grenelle I » est importante : elle fournit des gages aux générations futures, de façon concrète, à travers de nombreuses incitations.

A titre d'illustration, le « plan Transports », qui prévoit par exemple la création de 2 000 kilomètres de nouvelles lignes de TGV, me semble comparable à un véritable « New Deal ». Il permettra de réduire la pression qui s'exerce sur nos autoroutes. La mise en place de la taxe à l'essieu réduira les nuisances sonores et environnementales dans et autour des zones urbaines aujourd'hui traversées par les camions. Le ferroutage apportera aussi des progrès notables dans ce domaine. Le Grenelle de l'Environnement n'est pas un dossier politique : c'est l'affaire de tous et c'est ce qui explique le très large consensus qui s'est fait jour sur ce projet.

## Outils législatifs, normes, labels

**Thierry VAISSIERE**

**Juriste spécialisé en droit environnemental**

### I. Contexte et définitions

Le concept de santé environnementale, qui est une notion multidisciplinaire commence à peine à émerger en droit et rares seront les textes qui traiteront à la fois de santé et d'environnement. Elle consiste à assurer la prévention et la gestion des problèmes de santé reliés à la pollution ou à la détérioration de l'environnement.

Le Plan d'action européen en faveur de l'environnement et de la santé définit la biosurveillance comme « la surveillance de l'homme en utilisant des indicateurs biologiques dénommés "biomarqueurs", révélateurs d'expositions environnementales ou de maladies », notamment.

Il n'existe pas aujourd'hui de lien clairement établi, en droit, entre la santé environnementale et la biodiversité. De multiples textes de droit français et de droit communautaire organisent la prévention et la gestion des risques pesant sur la santé et sur l'environnement. Ils concernent souvent la lutte contre les pollutions diffuses.

### II. Le cadre international

Le droit international ne s'est pas encore saisi des questions de santé environnementale. L'OMS a publié en 2007 la première analyse par pays des effets des facteurs environnementaux sur la santé. Ces données révèlent de profondes inégalités mais montrent aussi que, dans tous les pays, la réduction des risques liés à l'environnement permettrait d'améliorer la santé. Chaque année, 13 millions de décès pourraient être évités en améliorant la salubrité de l'environnement. Dans 23 pays, toutes régions confondues, plus de 10 % des décès sont dus à des facteurs d'origine environnementale :

- l'insalubrité de l'eau et le manque d'assainissement et d'hygiène ;
- la pollution de l'air intérieur due à l'utilisation de combustibles solides pour la préparation des repas.

### III. Le cadre européen

Le cadre juridique communautaire est beaucoup plus élaboré qu'au plan international. Les Etats membres sont tous confrontés à des phénomènes de pollution diffuse (PCB, phtalates, tabagisme passif...). Une difficulté réside dans le manque de coordination entre les réponses apportées et dans les écarts entre les procédures auxquelles les Etats ont recours, ce qui rend difficiles les comparaisons. Il apparaît nécessaire, aujourd'hui, d'élaborer un cadre commun dont les contours peuvent déjà être devinés, au regard des politiques dont la mise en œuvre a démarré.

Un premier instrument de politique générale, SCALE, définit une stratégie en matière d'environnement et de santé. Existant depuis juin 2003, ce programme a pour objectif d'approfondir les connaissances sur l'interaction complexe entre l'environnement et la santé, par l'examen des relations de cause à effet entre l'environnement et la santé et par la prise de mesures réduisant les contraintes des facteurs environnements sur la santé des personnes. Cette stratégie prévoit une mise en place progressive, par cycle. Dans le cadre du premier cycle (2004-2010), des efforts porteront par exemple sur la qualité de l'air, les métaux lourds, les champs électromagnétiques et le milieu urbain sain.

La Commission a instauré des groupes techniques de travail et un groupe consultatif sur l'environnement et la santé. Ils auront notamment pour rôle de définir des « valeurs limites » ayant pour vocation de protéger simultanément la santé des personnes et l'environnement. Un plan d'action en matière d'environnement et de santé est par ailleurs mis en œuvre sur la période 2004-2010. Il vise à donner à l'Union européenne les informations scientifiques nécessaires pour aider les Etats membres à réduire les effets néfastes de certains facteurs de pollution sur la santé. La responsabilité de la mise en œuvre de ce plan sera partagée entre les Etats membres, la Commission, les organisations internationales et les parties intéressées (industries, organisations non gouvernementales...). La Commission doit permettre la coopération au niveau de l'Union européenne, dans ses domaines de compétences, et entretenir les contacts avec l'Agence européenne de l'environnement (AEE) et l'Autorité alimentaire européenne (AAE). La Commission a procédé en 2007 à une évaluation, à mi-parcours, de la mise en œuvre du plan d'action.

Il existe, enfin, un projet-pilote de biosurveillance chez l'homme. Lancé très récemment à l'initiative de la Commission européenne, il vise à fournir aux décideurs européens des informations comparables, disponibles à l'échelle de l'Union européenne, concernant les effets des polluants environnementaux sur l'organisme humain. Le projet s'appuiera sur un réseau européen, mobilisé dans une vingtaine d'Etats membres. Des Comités « sinistres corporels » verront le jour également afin de travailler sur certaines dimensions du programme.

Si le terme de « santé environnementale » n'apparaît jamais en tant que tel, plusieurs textes concourent à l'atteinte d'objectifs de prévention en faveur de la santé. La directive CE n°96/61 du 24 septembre 1996 porte par exemple sur la prévention et la réduction intégrées de la pollution (directive IPPC), notamment par l'utilisation des technologies les plus efficaces. La directive CE n°1999/13 du 11 mars 1999 porte sur la réduction des émissions de COV (composés organiques volatils) dans certaines activités et installations.

La réglementation REACH prévoit que, depuis le 1<sup>er</sup> juin 2008, toutes les substances chimiques actuellement utilisées au sein de l'Union européenne fassent l'objet d'un enregistrement préalable auprès de l'Agence européenne des produits chimiques. L'objectif est d'évaluer et de contrôler les substances fabriquées, importées et utilisées à raison de plus d'une tonne par an, sur le marché européen, afin d'en réduire les risques d'utilisation.

L'un des intérêts de REACH réside dans le fait que ce texte procède au renversement de la charge de la preuve (avec les conséquences qui en découlent sur le plan des coûts) : il reviendra aux industriels de démontrer que les substances qu'ils utilisent ne sont pas nocives pour la santé. Une première phase, dite de pré-enregistrement, s'est achevée le 1<sup>er</sup> décembre dernier. Les substances n'ayant pas fait l'objet de ce pré-enregistrement seront retirées du marché. Or un très faible nombre de substances a fait l'objet de ce pré-enregistrement.

## **IV. Le cadre français**

En France, la Charte de l'environnement a été adoptée en 2004. Souhaité par le Président de la République, Jacques Chirac, le texte consacre un nouveau droit : celui de chaque individu de vivre dans un environnement qui satisfasse à certains critères qualitatifs. Le terme « équilibré » désigne le maintien de la diversité biologique, le bon fonctionnement des milieux naturels et un faible niveau de pollution. Un tel environnement est jugé propice à la santé. On peut toutefois rappeler que la « protection de la santé » est déjà « garantie à tous » par le préambule de la Constitution de 1946.

De nombreuses questions ont été soulevées à propos de la valeur juridique de ce texte. Une jurisprudence du tribunal administratif de Châlons-en-Champagne (29 avril 2005) porte sur deux requêtes relatives à l'organisation d'un festival de musique techno sur une ancienne base aérienne. Les requêtes sont notamment fondées sur l'article 1<sup>er</sup> de la Charte. Le juge a notamment considéré que « le droit de l'homme à l'environnement défini à l'article 1<sup>er</sup> de la Charte était une liberté fondamentale... ». Une jurisprudence du Conseil de l'Etat, dans son arrêt du 3 octobre 2008, déclare que les règles insérées dans l'article 7 de la Charte de l'environnement ont acquis une valeur constitutionnelle. Il en résulte une conséquence principale : la possibilité, pour les citoyens, d'intenter des recours contre des actes administratifs qui ne respecteraient pas les principes contenus dans la Charte de l'environnement.

## **V. Débat**

### **De la salle**

Seule une image, projetée ce matin, faisait référence à la biodiversité de notre organisme. Or en médecine, la biodiversité a des incidences importantes et trop souvent méconnues. Ainsi, la pénicilline élimine une large partie de notre flore commensale, ce qui a des effets importants, notamment en gynécologie, pour les femmes. Une flore abondante est également présente dans notre bouche, comme le savent bien les dentistes, qui ont souvent à traiter les conséquences de la moindre protection qui en résulte.

### **Gilles BŒUF**

Prendre un médicament n'est jamais anodin. On prend un médicament en espérant que son effet bénéfique excèdera ses effets secondaires. Ceci est particulièrement net dans le cas du traitement du cancer, pour lequel on recourt à des substances extrêmement puissantes et parfois très toxiques pour l'organisme. Il est vrai que dès que l'on recourt à une substance antibiotique, on détériore une partie de la flore intestinale, ce qui modifie l'équilibre de cet organe.

### **De la salle**

Il a été souligné que le nombre de substances ayant fait l'objet d'un pré-enregistrement dans le cadre du règlement REACH était faible, en France. La liste de ces substances sera-t-elle publique ?

**Thierry VAISSIERE**

Je ne le crois pas. Le 1<sup>er</sup> janvier 2009, l'organisme chargé de cet enregistrement (ECHA) publiera une liste exhaustive des substances pré-enregistrées. Je ne suis pas sûr, en revanche, que l'identité des organismes ayant effectué la démarche de pré-enregistrement puisse être communiquée à cette occasion.

**De la salle**

La question des processus industriels de fabrication des substances chimiques n'a guère été évoquée. La mise en place de standards élevés de protection de la santé et de l'environnement, autour de ces processus, entraîne un coût élevé, ce qui a suscité un certain nombre de délocalisations de la part d'industriels. Cette dimension est-elle prise en compte au plan communautaire ?

**Thierry VAISSIERE**

Non. Une des difficultés de la construction communautaire réside dans le fait que nous y mettons ce que nous voulons bien y mettre, en quelque sorte. La dimension économique a été privilégiée, jusqu'à présent, et cela ne peut surprendre, compte tenu des principes très libéraux qui ont présidé à la construction du Marché commun, dès 1957. Ceci se reflète par exemple dans des règles communautaires visant à préserver des conditions de libre concurrence entre les acteurs économiques. Le processus d'harmonisation a beaucoup moins avancé dans le domaine social et dans le domaine fiscal. Ce moindre degré d'harmonisation, dans ces deux domaines, alors même qu'il existe un marché, crée indéniablement des distorsions de concurrence. C'est le cas par exemple lorsque des entreprises délocalisent leurs sites de production afin d'échapper à des règles communautaires jugées trop coûteuses et/ou trop contraignantes. Le Président de la République, Nicolas Sarkozy, a déjà souligné publiquement la nécessité d'édicter des règles qui luttent contre ce type de comportement opportuniste. Pour l'instant, ses propos n'ont pas reçu d'écho favorable de la part de ses homologues d'autres Etats.

# Agir au quotidien pour la santé et la biodiversité

**Isabelle FARBOS**

**Docteur en génétique et biologie moléculaire, spécialisé en santé environnementale,  
représentant scientifique de «Habitat-Santé-Environnement»**

## 1. Habitat-Santé-Environnement : origines et objectifs

Habitat-Santé-Environnement est un réseau scientifique constitué sous forme d'association, qui se donne pour objectif de « traduire la science en actions ». Nous intervenons particulièrement dans le cadre de démarches dites « d'Agenda 21 ». Je suis partie en Suède pendant huit ans, à l'issue de ma thèse. J'ai alors découvert la santé environnementale. A mon retour en France, je me suis demandé quels étaient les acteurs qui devaient prioritairement modifier leur comportement. Nous avons alors pris la décision de créer l'association, en nous appuyant sur notre réseau scientifique international (Suède, Norvège, Canada, Suisse...) et avec pour objectif de favoriser la traduction d'objectifs de santé environnementale en actions concrètes.

## 2. La gestion différenciée des espaces verts

Les espaces verts sont souvent entretenus en utilisant des pesticides, des fongicides et des raticides. La réduction des impacts sur l'environnement de ces pratiques peut passer par le désherbage alternatif (utilisant la vapeur), la pose de paillages ou encore de films plastiques protégeant les chemins de promenade. C'est à travers ce type d'exemples que nous sensibilisons les agents municipaux, notamment, appelés à traiter des espaces verts. Pour l'entretien des bordures, nous présentons à ces agents des exemples et des contre-exemples, en photo, afin de leur montrer clairement les pratiques dangereuses (l'utilisation de pesticides sans protection) et les pratiques qui sont, au contraire, à encourager (par exemple l'utilisation de coupe-bordures électriques). Le désherbage de parkings constitue un problème récurrent, compte tenu de la surface à traiter. La pose d'un gazon en « nid d'abeille » peut éviter une pulvérisation de pesticides dans une vaste zone, qui était effectuée, jusqu'alors, à raison de trois fois par an.

Le changement des pratiques suppose, au-delà d'une sensibilisation des agents d'entretien des espaces verts, une action vers les responsables des achats des collectivités, ainsi que vers les élus, qui peuvent craindre une mauvaise compréhension de leurs administrés. C'est pourquoi les habitants ne doivent pas être oubliés non plus : il faut leur oublier que la ville s'engage pour l'environnement et que cela passait par une évolution des méthodes de gestion des espaces verts de la commune.

## 3. L'urbanisme

Une démarche que nous avons menée avec le Conseil général de la Gironde a consisté par exemple à intégrer, dans la conception de l'emplacement des panneaux de signalisation routière, la problématique environnementale : concrètement, il s'agit par exemple d'éviter de devoir utiliser du désherbant à la base du panneau, en implantant celui-ci de façon judicieuse, par exemple de façon décalée au bout d'un bras en métal.

Des solutions d'éco-aménagement peuvent aussi être recherchées, à l'image du « maillage vert ». Un fauchage tardif, favorisant une plus grande biodiversité, peut par exemple être prévu sur les bords de route, chaque fois que cela est possible. Des passages peuvent aussi être ménagés, sous certaines voies, pour les amphibiens et d'autres petits animaux.

Les urbanistes peuvent également intervenir pour la préservation des ressources en eau. Dans certaines communes, la perméabilité des surfaces se trouve extrêmement réduite et doit être restaurée, en certains points de la commune, parfois en allant jusqu'à rechercher la recréation de zones humides. Des cartes de perméabilité peuvent ainsi être élaborées, avec pour objectif, à terme, d'élever le niveau des nappes phréatiques.

Des aménagements qui paraissent plus ludiques ont aussi leur utilité dans une perspective de santé environnementale. Le rapport OMS de lutte contre l'obésité recommande par exemple la création de pistes cyclables, d'aires de jeux ou de pédibus. Nous voyons là que les urbanistes ont un rôle à jouer dans l'amélioration de l'état de santé de chacun de nous. Une plus grande connexion des rues, au sein de la ville, favorise aussi la mixité fonctionnelle.

On peut favoriser une plus grande mixité d'usage des sols. Des AMAP peuvent par exemple être installés à la sortie directe de la ville, ce qui favorisera notamment une consommation de fruits et légumes produits à proximité, évitant ainsi des déplacements coûteux sur le plan environnemental.

#### **4. Le nettoyage sain et écologique des bâtiments**

Le nettoyage des bâtiments constitue une intervention pour laquelle nous sommes fortement sollicités. Les rejets de déchets ont un impact environnemental direct et massif, comme le montrent les tonnages en jeu. Les déchets résultant de l'entretien des bâtiments représentent des tonnages importants et croissants. Il importe donc de favoriser une « éco-gestion » des milieux intérieurs, en recourant à des technologies alternatives telles que des chiffons en microfibres, réutilisables et nettoyyables à l'eau. Un nettoyage plus respectueux de la santé et de l'environnement favorisera aussi une amélioration de la qualité de l'air. On estime, en outre, à 30 % les économies pouvant être réalisées (à l'échelle municipale) en recourant à ces méthodes alternatives. L'argument économique ne peut donc être mis en avant pour justifier l'inaction. Enfin, les agents municipaux ou départementaux sensibilisés confient souvent que leurs pratiques domestiques ont également évolué, ce qui favorise la diffusion et l'extension, par capillarité, des bonnes pratiques.

#### **5. Constructions et rénovations saines et durables**

La pollution chimique intérieure aux bâtiments atteint des niveaux considérables. Une démarche de sensibilisation des architectes peut donc avoir des effets significatifs sur la santé et l'environnement des habitants, par exemple au travers du choix des matériaux. A un sol en PVC, qui dégagera des phtalates pendant dix ans, on préférera ainsi un véritable linoléum, qui ne génèrera aucune émission chimique. On pourra aussi demander à l'architecte de privilégier des aménagements tels que la suspension systématique des cuvettes de WC qui éviteront ainsi, en favorisant un nettoyage plus facile, l'utilisation de produits chimiques.

Des instruments mesurant le taux de CO<sub>2</sub> dans l'air peuvent également être facilement produits, afin d'émettre de manière simple (par exemple au travers d'un affichage alternatif en rouge, vert ou orange) un signal informant l'habitant de la nécessité d'ouvrir les fenêtres pour renouveler l'air.

Les écoles constituent des lieux où des progrès importants peuvent être réalisés, par exemple en favorisant la présence d'herbe dans les cours – faute de quoi celles-ci, par exemple lorsqu'elles sont recouvertes de gravillons, doivent faire l'objet de désherbages fréquents. Ces lieux offrent une autre piste de progrès importants à travers les fournitures scolaires. La simple utilisation de feutres, marqueurs et stylos se traduit par des émissions considérables de composés organiques volatils, comme cela a été montré. Il est donc possible de favoriser l'utilisation d'un cartable sain, privilégiant les fournitures en carton recyclé, dépourvues de solvants et de parfums.

## La mise en place des outils

**Ragnar WEISSMANN**

**Docteur en phytopathologie, représentant scientifique de «Habitat-Santé-Environnement»**

Les connaissances scientifiques sont abondantes et les solutions concrètes peuvent aisément être mise en œuvre, comme nous venons de le voir. En outre, les outils institutionnels existent (démarches Agendas 21, plans Climat, plan Santé, documents d'urbanisme...). L'essentiel consiste, dès lors, à montrer à chacun que l'on peut, quel que soit le niveau auquel on se situe, être acteur du développement durable.

Une première étape consiste à se rendre sur le terrain, afin de dialoguer avec les élus et de leur expliquer quel peut être le rôle dans leur ville. On ne peut procéder par un « copier-coller » : la situation de chaque ville est singulière et exige une prise en compte spécifique. On peut par exemple demander aux élus à quels endroits ils utilisent le plus des herbicides et pesticides et pour quelles raisons ils recourent autant à ces produits. Souvent, les élus ne font même pas de lien, spontanément, entre de telles pratiques et la santé ou l'environnement.

Le même approche prévaut vis-à-vis des agents : la sensibilisation doit être immédiatement suivie par la démonstration de solutions simples, faute de quoi on risque de susciter une réaction d'angoisse, puis de rejet. Des « fiches action » peuvent être élaborées, en précisant l'action à mettre en œuvre et la ou les personne(s) qui en sont responsables.

La démarche d'Agenda 21 menée dans la ville suédoise de Lund comportait, parmi l'un de ses objectifs, la conception de l'école en concertation avec les élèves, afin de prévoir des espaces adaptés à leurs besoins, tant en termes de santé et d'environnement qu'en termes de développement et de créativité. L'accent a également été mis sur l'utilisation des espaces extérieurs pendant les temps pédagogiques, afin de favoriser la mobilité et ainsi lutter contre l'obésité. Ces orientations ne peuvent être que renforcées par la psychologie environnementale, largement reconnue et admise en Suède, qui a montré par exemple que la vue d'espaces verts avait un effet psychique positif.

La communication constitue une dimension importante, de même que la recherche d'une appropriation de la démarche par les acteurs. Cela suppose d'inciter les publics visés à participer, en leur montrant qu'ils sont concernés au premier chef par la démarche.

La conviction passe parfois par des arguments terre-à-terre : les arguments strictement économiques ne doivent pas être négligés, d'autant plus que des projets d'économies d'énergie, par exemple, peuvent se traduire par des gains financiers importants, libérant des ressources pour d'autres projets. La mise en place « d'Ambassadeurs du climat » peut avoir un effet démultiplicateur et favoriser une plus large participation des habitants. Il s'agit de renforcer le sentiment d'appartenance et la responsabilisation des acteurs, par exemple au travers de l'organisation d'activités, de sorties, de rencontres...

La participation constitue un élément clé pour répondre aux besoins réels des habitants. Un projet de réaménagement d'un quartier peut ainsi donner lieu à une vaste concertation des habitants. C'est

ce principe qui a été adopté dans une petite ville de Norvège dès les années 90. Aujourd'hui encore, la population de cette ville est associée à toutes les décisions majeures concernant le quartier.

## Débat

### De la salle

J'utilise la microfibre depuis dix-huit ans. J'encourage chacun à faire de même, car il s'agit d'un outil extrêmement efficace, parfaitement respectueux de l'environnement et qui me permet de réaliser des économies ! Par ailleurs, j'ai remarqué que pour de nombreux produits contenant des substances chimiques nocives, l'étiquette alertant sur les dangers d'utilisation se trouve à l'intérieur du produit, sans être visible de l'extérieur.

### De la salle

Allez-vous élaborer un guide regroupant les conseils que vous délivrez ?

### Isabelle FARBOS

On nous demande souvent d'élaborer un guide mais ce n'est pas toujours facile, lorsqu'on souhaite personnaliser l'intervention que nous proposons. En outre, il existe déjà de nombreux guides et autres ouvrages sur les sujets abordés. La difficulté consiste plutôt à apporter une réponse personnalisée et adaptée aux difficultés que rencontre une ville ou une collectivité.

### De la salle

Qui vous sollicite au départ ?

### Isabelle FARBOS

Nous sommes généralement sollicités, initialement, par un élu qui souhaite mener une démarche exemplaire. La première étape consiste alors à sensibiliser les agents. Il faut y apporter un grand soin, car il s'agit d'une phase décisive. Nous passons généralement trois heures avec les agents, autour d'une table.

Chaque participant est invité à lire un article scientifique (simple et aisément accessible) et à en résumer ensuite le contenu pour les autres participants. Cela permet une sensibilisation individuelle et collective sur les sujets abordés. Ensuite, nous effectuons un diagnostic : nous analysons les pratiques des agents. Ils se rendent compte alors de ce que peuvent apporter des méthodes alternatives, sans perte d'efficacité. Nous nous attardons aussi sur les factures de la commune ; cela permet souvent une prise de conscience spectaculaire des agents quant au volume des produits utilisés. On crée ainsi de la motivation, qui transforme la contrainte en volonté de changement.

A la fin de cette étape, nous demandons aux agents quelles sont les mesures qui leur semblent aisément réalisables. Il est capital de ne rien leur imposer. Une fois les actions identifiées et proposées par les agents eux-mêmes, nous désignons des acteurs responsables des actions. Celles-ci sont assorties d'un calendrier ou d'une échéance précise, afin que la bonne volonté ne s'évapore pas dans des délais indéfinis.

### **De la salle**

Comment le particulier peut-il aisément être sensibilisé de la même manière ? Votre expérience est tout à fait intéressante mais on peut aussi la trouver inquiétante, en creux, si l'on considère le « décideur » particulier qui doit rénover sa maison ou refaire une chambre d'enfant.

### **De la salle**

La Mairie de Paris organise régulièrement des sessions d'information d'une heure et demie, par exemple pour la lecture d'étiquettes ou sur les enjeux des différents modes de chauffage de l'habitat. Il existe ainsi une série de conférences qui se déroulent tout au long de l'année.

### **De la salle**

Il existe aussi des associations environnementales qui jouent un rôle d'information très précieux.

### **Isabelle FARBOS**

Il est vrai que les associations jouent souvent un rôle très utile. Nous proposons également des expertises aux particuliers qui souhaitent bénéficier d'un diagnostic précis en matière de qualité de l'air, par exemple.

### **Yves SCIAMA**

Effectuez-vous aussi une veille scientifique ?

### **Ragnar WEISSMANN**

Oui. Les connaissances existent mais la difficulté réside dans le délai – très long – que l'on observe entre la parution de données alarmantes et la prise de décision qui en découle – souvent dans une logique de précaution.

### **Gilles BŒUF**

Vous décrivez un monde d'agressions permanentes et on peut tout de même se demander comment la mise sur le marché de substances aussi toxiques que celles que l'on voit parfois est possible. Il faut agir beaucoup plus en amont. L'amiante est un exemple édifiant : ses dangers sont connus dès 1951 mais ce produit a été utilisé pendant les trente années suivantes.

**Isabelle FARBOS**

Je rejoins tout à fait votre analyse. Il est venu un moment où il m'a semblé que, face à des enjeux économiques considérables et à des acteurs très puissants, il serait plus efficace d'agir directement sur le terrain. Les éco-labels constituent par exemple une initiative intéressante. Les fabricants qui se rangent sous cette bannière y voient avant tout une opportunité d'accroissement de leur chiffre d'affaires ; peu importe, si leurs produits favorisent l'obtention d'un environnement plus sain. Nous avons un rôle considérable à jouer, en tant que consommateurs, et nous nous efforçons d'en convaincre tous nos concitoyens.

**Yves SCIAMA**

Etes-vous sollicités par des communes de tous niveaux et de toutes tailles ?

**Isabelle FARBOS**

Nous sommes sollicités par des communes, des départements et des communautés de communes à parts égales. Nous travaillons régulièrement avec l'ADEME également, lorsque celle-ci souhaite accroître le poids de certaines de ses actions.

**Yves SCIAMA**

On a souvent l'impression que les responsables politiques ont une certaine conscience environnementale jusqu'à ce qu'ils accèdent à des responsabilités de niveau national.

**Isabelle FARBOS**

Il est vrai que les gens se sentent plus aisément concernés dans les petites communes. Nous avons mené une intervention dans la ville de Sedan, dont la taille est relativement importante, et nous avons mesuré combien il était plus difficile de susciter un effet d'entraînement.

**Yves SCIAMA**

Ceci conclut nos travaux. Merci à tous pour votre participation.