

L'Écotoxicologie - Ses objectifs - Ses limites.

Conférence du 12 Juin 2009
Alain LEPRÊTRE
Professeur d'Écologie, Lille-1,

Condensé historique – Pollutions, toxiques, sciences de l'environnement

Cerner les objectifs et limites de l'Écotoxicologie nécessite avant tout de définir l'Écotoxicologie elle-même. Le terme est récent et souffre d'interprétations ambiguës depuis sa création par le toxicologue français R. Truhaut (1974). En effet, l'introduction du néologisme fait suite à la prise de conscience, à partir des années 1960 dans les sociétés occidentales, de l'importance et de la gravité des problèmes induits par les pollutions sur la santé humaine : le poison (ou toxique) ne se situe pas seulement dans l'assiette, il est aussi omniprésent sous des formes chimiques extrêmement variées et peu connues, dans l'environnement de l'homme. En premier lieu, c'est la qualité de l'environnement professionnel de l'homme qui a inquiété, d'où l'émergence de la toxicologie professionnelle. Ensuite, c'est la pollution de l'environnement plus global – notamment de l'atmosphère et des eaux – qui est devenue sujet de préoccupation. Ici, c'est l'accumulation des déchets ou de résidus d'extraction minière qui a rendu l'eau impropre à la consommation. Là, c'est l'activité d'une installation industrielle utilisant (et rejetant en mer) du mercure, qui a engendré la terrible maladie neurologique dite maladie de Minamata (Japon) touchant des dizaines de milliers d'habitants d'une baie, et tout particulièrement les consommateurs de certains poissons, par suite d'une bioamplification des concentrations de mercure dans les chaînes alimentaires. L'inquiétude du public vis-à-vis du danger des produits chimiques va croissante des années 1960 aux années 1980, amplifiée par une diffusion médiatique (radio et surtout télévision) de plusieurs catastrophes écologiques, notamment les catastrophes pétrolières : Torrey Canyon en 1967, Amoco Cadiz en 1976, etc. Enfin, quelques ouvrages particulièrement polémiques marquent cette période. En premier lieu, le célèbre « Silent Spring » de Rachel Carson (1962) pose la question du danger d'utilisation irraisonnée des pesticides, notamment du DDT. Le retentissement de l'ouvrage va de pair avec l'émergence de nombreux mouvements de contestations et d'associations environnementalistes. Notons au passage que ces militants pour un environnement mieux respecté, en se proclamant écologistes, ont poussé en France les scientifiques de l'écologie – désireux de se démarquer du militantisme et de la politisation - à abandonner leur « appellation d'origine » d'écologistes et à s'appeler désormais écologues ! Peu après le « best seller » de Carson, le retentissement de l'ouvrage « Avant que Nature meure » de Jean Dorst (1965) est également spectaculaire en France. La pression exercée par le public à partir des années 1980 conduit ainsi à la mise en place (en particulier dans les pays de l'OCDE) de réglementations destinées à limiter (voire interdire) la fabrication et l'utilisation de produits chimiques, et à maîtriser les rejets dans l'environnement. Ces réglementations s'accompagnent de la mise en place progressive de protocoles de tests de toxicité (quelquefois dits d'écotoxicité) : de quoi occuper les scientifiques biologistes, toxicologues ou écologues ! Non seulement, du point de vue fondamental, pour continuer de comprendre les effets des toxiques sur l'homme (toxicologie), sur les organismes et sur les écosystèmes (écotoxicologie), pour comprendre le cheminement de ces produits dans l'environnement (impliquant donc des chimistes, physiciens, géologues, pédologues,...), mais aussi – dans une attitude plus finalisée ou appliquée – pour mettre au point des protocoles d'essai de toxicité ou d'écotoxicité opérationnels .

Au cours de cette même période – des années 1960 à aujourd'hui – se sont ainsi mises en place les Sciences de l'Environnement, sciences éminemment multidisciplinaires, tandis que s'accroissait la demande sociale en matière de préservation de la santé humaine et d'établissement de politiques de développement durable et préservation de la biodiversité. La biologie « infra-cellulaire » (biochimique, moléculaire) a progressé considérablement. Et l'écologie, discipline jeune, encore très

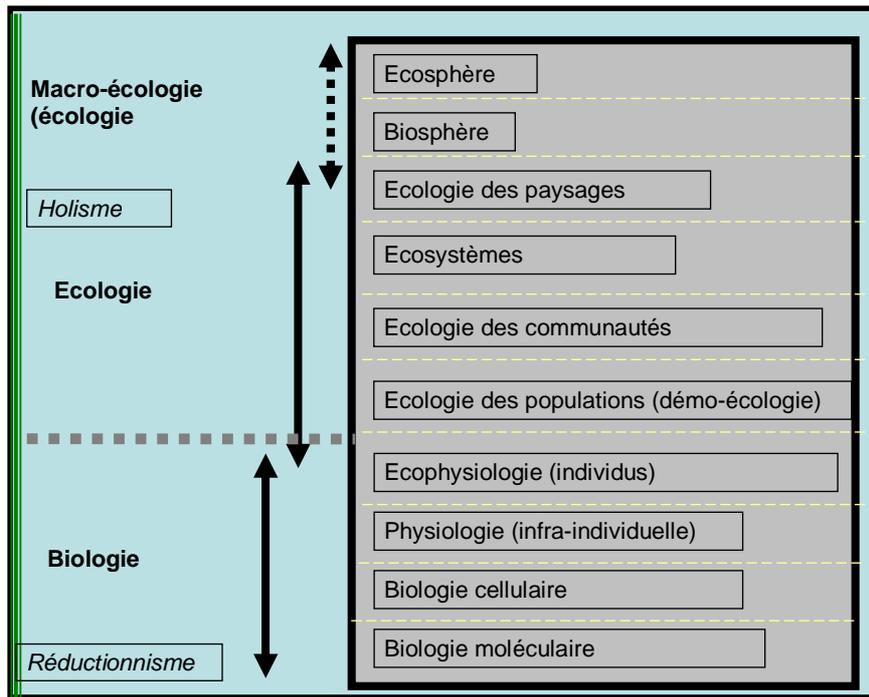
biologique (naturaliste) il y a 50 ans, a mûri, se dotant de théories et d'un arsenal d'outils qui lui sont propres (entre autres, l'analyse systémique – *e.g.* Frontier et al., 2008).

Objectifs et limites : Écotoxicologie vs toxicologie de l'environnement ?

Revenons donc à l'ambiguïté évoquée précédemment au sujet de la définition de l'Écotoxicologie. Telle que définie initialement par Truhaut (1974, 1976), c'est une approche issue des sciences biomédicales, centrée sur la santé individuelle (essentiellement des individus humains) confrontés à l'action de produits chimiques (toxiques ou poisons) présents dans leur environnement. Cette approche est de nature résolument réductionniste (comme l'est, de manière plus générale, la toxicologie) : elle met en évidence et cherche à expliquer de manière déterministe l'effet des toxiques sur la santé générale de l'individu, sur la physiologie de tel ou tel organe, tissu ou cellule. La biochimie et la biologie moléculaire sont ses outils de prédilection. Cette approche doit maintenant être qualifiée de « toxicologie de l'environnement » (« environmental toxicology »). Son objet central d'étude est l'individu – tout particulièrement l'individu-homme. Les questions posées sont par exemple : quel est l'effet de retombées atmosphériques de plomb sur la santé humaine ? Comment se manifeste le saturnisme ? Quels sont les processus physiologiques, biochimiques et moléculaires mis en jeu ? Cette question de l'impact du plomb peut évidemment être traitée pour la santé d'un végétal ou d'un animal, mais quand bien même s'agit-il d'un animal sauvage, vertébré ou invertébré, il s'agit de toxicologie puisque la réponse ne porte que sur les niveaux individuels ou infra-individuels. Ainsi, il s'agit encore de toxicologie de l'environnement quand on s'intéresse aux conséquences sur la santé du ver de terre ou de l'abeille, de l'application d'un pesticide censé n'être qu'un herbicide ! Aléa pratique de cette démarche toxicologique, s'appuyant sur le principe de la relation dose-réponse (dose du produit chimique vs niveau de réponse physiologique chez l'individu) : être capable de déterminer la dose ou concentration admissible d'application de tel produit chimique permettant d'être actif contre une « cible nuisible » (*e.g.* moustique) tout en préservant la santé des espèces voisines (l'homme avant tout, mais aussi quelques espèces autres, utiles à l'homme ou supposées être des sentinelles quant à la qualité du milieu).

Mais alors, qu'est ce que l'Écotoxicologie ? Le mot résulte certes de la contraction de « éco » et de « toxicologie », mais il peut être aussi compris comme l'intercalation de « toxico » au sein du mot « écologie ». Dans la première acception, celle de Truhaut (*op. cit.*), il s'agit d'une toxicologie appréciée au sein des écosystèmes. La deuxième acception met plus clairement en avant le fait que l'Écotoxicologie fait partie des sciences écologiques : c'est une écologie en présence de substances toxiques. Comme l'écologie, il s'agit alors d'une discipline essentiellement holistique, dans laquelle l'objet central d'étude n'est pas l'individu comme en toxicologie, mais l'écosystème dans toute sa complexité. La dimension fonctionnelle de l'écosystème est mise en avant. L'intérêt porte plutôt sur les interactions entre objets (animaux dont l'homme, végétaux, micro-organismes, éléments physiques et chimiques du milieu) que sur les objets eux-mêmes. Le travail porte sur des systèmes, avec un emboîtement d'échelles d'observation allant du micro-écosystème jusqu'à l'écosystème « écosphère » en passant par les échelles paysagères. Comme dans tout système, les propriétés de l'écosystème diffèrent de la somme des propriétés de chacun de ses éléments : les interactions font en effet émerger de nouvelles propriétés. Sous ces apparences qu'on pourrait qualifier de « théoriciennes », l'Écotoxicologie écologique (*e.g.* Forbes & Forbes, 1994) se veut plus réaliste que la toxicologie de l'environnement, reposant généralement sur des relations dose-réponse mesurées le plus souvent en conditions contrôlées. En effet, elle a l'ambition (démessurée ?) de caractériser les éléments toxiques (toujours multiples dans les écosystèmes) dans leur contexte écologique (soumis aux variables environnementales et biologiques : *e.g.* pH, température, redox, etc.). A même concentration globale mesurée, la biodisponibilité d'une même substance toxique en milieu naturel dépend en effet fortement du contexte physico-chimique dans lequel elle circule. Cette biodisponibilité peut également être extrêmement différente d'une espèce à une autre, même quelquefois pour deux espèces taxonomiquement très proches. Enfin, et les exemples sont maintenant très nombreux (notamment vis-à-vis des insecticides), les organismes vivant dans le milieu développent des mécanismes d'acclimatation et de résistance (voire adaptation via sélection) rendant ainsi illusoire toute

transposition simple de ce qui est observé en laboratoire sur une espèce (de laboratoire) exposée en condition contrôlées, à ce qui se passe *in situ* et sur le moyen ou long terme sur le terrain.



Niveaux d'organisation biologiques et écologiques (inspiré du « gâteau feuilleté » d'Odum, 1959)

Provisoirement, on pourrait donc conclure que face à l'agression toxique et à la caractérisation de son impact sur le vivant, existent deux approches distinctes:

- l'approche biologique ou biomédicale des toxicologues de l'environnement, approche réductionniste portant sur les « bas » niveaux d'organisation biologique du fameux « gâteau feuilleté » de Odum (1959, fig. ci-dessus), allant de la biologie moléculaire à la physiologie individuelle voire l'écophysiologie. Cette approche est centrée sur la santé de l'individu. Du point de vue appliqué (surveillance de la santé des individus), elle repose fortement sur la mesure de paramètres physiologiques, biochimiques ou moléculaires susceptibles d'être affectés par l'agression chimiques : les biomarqueurs d'exposition ou d'effets toxiques.

- l'approche écologique des écotoxicologues, approche holistique portant sur les « hauts » niveaux d'organisation du vivant, allant de l'écologie des populations, puis à celle des communautés (multi-spécifiques) jusqu'à l'écosphère ; cette approche complexe est centrée sur les écosystèmes. Du point de vue appliqué (surveillance de la « santé » de l'écosystème, elle repose plutôt sur la mesure de paramètres démographiques, d'indices de diversité, d'indicateurs fonctionnels (flux de matière ou d'énergie, etc.) : les indicateurs écologiques de toxicité.

En conclusion : écotoxicologie et toxicologie de l'environnement

Dès sa naissance à la fin des années 1960, l'Écotoxicologie (*sensu* Truhaut) avait deux objectifs, d'une part, et d'abord, de connaître le devenir des polluants et leur impact sur l'environnement, d'autre part, et ensuite, de développer des méthodes d'essais (ou des tests) pour détecter, contrôler et prédire ces impacts. Très naturellement alors, l'inquiétude portait sur les impacts concernant assez directement l'individu-homme du moment. La prise de conscience progressive (surtout à partir des années 1980) de la nécessité, de préserver l'environnement général (l'environnement de l'homme, mais aussi l'environnement de toutes les espèces) dans un souci de développement durable, correspond ainsi à une inquiétude pour l'espèce-homme. Les deux approches – apparemment distinctes – s'en trouvent très complémentaires.

Il est peu imaginable pour l'écologue de demeurer résolument holiste, de constater des modifications de dynamique de populations ou de communautés sans en chercher un embryon d'explication dans l'examen de la santé des individus constituant ces populations et communautés. Les résultats de recherche de la toxicologie sont donc nécessaires à l'écologue. De même, il est urgent pour le toxicologue de prendre conscience de la complexité des milieux et de la variabilité qui les caractérise, sous peine d'effectuer des transpositions dangereuses entre les observations effectuées en conditions contrôlées et la réalité de terrain. Il faut véritablement mettre de l'« éco » dans l'écotoxicologie et la toxicologie de l'environnement, *dixit* Ramade (1977) ou Moriarty (1988).

Si le réalisme se trouve effectivement plutôt du côté de l'écotoxicologue (qui, d'emblée, s'implique dans la complexité de l'environnement), le pragmatisme penche actuellement en faveur du toxicologue, beaucoup plus à même de standardiser ses méthodes (grâce à la répétitivité des analyses intra-laboratoires).

En conclusion, l'ambiguïté originelle de la définition de l'Écotoxicologie et le flou existant entre l'Écotoxicologie (au sens écologique) et la toxicologie de l'environnement ont au moins permis de prendre conscience de l'intérêt d'un rapprochement de deux communautés scientifiques (celle des écologues et celle des toxicologues) dans un souci de compréhension et de surveillance de la santé des individus (notamment des individus-hommes) et de la qualité de l'écosphère (pour l'espèce-Homme)...

Références citées

CARSON R., 1962.- *Silent Spring*. Hamish Hamilton, London.

DORST J., 1965.- *Avant que nature meure*. Delachaux & Niestlé ed., Paris.

FORBES V.E., FORBES T.L., 1994.- *Ecotoxicology in Theory and in Practice*. Chapman & Hall, London.

FRONTIER S., PICHOD-VIALE D., LEPRETRE A., DAVOULT D., LUCZAK C., 2008.- *Ecosystèmes : Structure, Fonctionnement, Evolution*. Dunod, Paris.

MORIARTY F., 1983.- *Ecotoxicology : the Study of Pollutants in Ecosystems*. Academic Press, London.

ODUM E.P., 1959.- *Fundamentals of ecology*. Saunders, Philadelphia.

RAMADE F., 1977.- *Ecotoxicologie*. Masson, Paris.

TRUHAUT R., 1974.- Ecotoxicologie et protection de l'environnement. *In : Abstract Coll. Biologie et Devenir de l'Homme*. Sorbonne, 8-24 sept. 1974. Mac Graw Hill, Paris, 1976.

TRUHAUT R., 1977.- Ecotoxicology : Objectives, Principles and Perspectives. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 1 : 151-173.