Ecologie, 25, 2, 140-142, 1994

EXEMPLAIRE RESERVE

TRIBUNE

L'ÉCOTOXICOLOGIE TERRESTRE EST SANS "ÉCO"

Abdul Motalib M. ABDUL RIDA
Laboratoire de Zooécologie du Sol, CEFE, CNRS
1919, Route de Mende, 34033 Montpellier cedex 1

Malgré la référence écologique essentielle dans le terme "écotoxicologie", ce dernier reste souvent sans "éco", c'est-à-dire sans son application écologique, en particulier dans les études des milieux terrestres. Ceci est visible d'une part, dans la rareté relative des études concernant la surveillance de la contamination des sols par rapport à la surveillance des milieux aquatiques ou dans une certaine mesure de l'atmosphère et, d'autre part, dans une réglementation relativement muette sur les dommages causés aux sols par les contaminants.

Mais, devant l'ampleur et l'accroissement de la demande sociale de ces dernières années et la prise de conscience croissante de l'homme vis-à-vis de la contamination des milieux, des mouvements politiques, écologistes et environnementalistes ont été créés dans beaucoup de pays pour exiger plus de protection pour la nature et pour réclamer une meilleure prise en compte des conséquences écologiques de polluants d'origine souvent humaine. En outre, les enjeux sociaux ont entraîné des concepts souvent confus et un amalgame entre les objectifs et les applications de différentes disciplines scientifiques et pratiques sociales (écologisme, "environique", toxicologie, écotoxicologie...) qui traitent en apparence des mêmes préoccupations. L'écotoxicologie est devenue, de ce fait, la boîte magique dans laquelle on peut tout mettre et traiter. Pour cela, on n'hésite pas par exemple à qualifier de tests d'écotoxicologie (pratiqués nécessairement dans un système écologique) des tests de toxicologie conduits dans des dispositifs artificiels donc indépendamment de tout système écologique, et ceci en raison du fait qu'ils portent sur des organismes non cibles. C'est en particulier le cas dans les directives de l'Union Européenne qui proposent de pratiquer des tests d'écotoxicologie qui correspondent, en réalité, à des tests de toxicité ce qui amplifie considérablement la portée de l'erreur conceptuelle.

La toxicologie est "*la discipline qui étudie les substances toxiques ou poisons, c'est-à-dire les substances qui provoquent des altérations ou des perturbations des fonctions de l'organisme conduisant à des effets nocifs dont le plus grave, de toute évidence, est la mort de l'organisme en question*" (TRUHAUT, 1976). Par contre, l'écotoxicologie est la science qui étudie les interactions, les effets, *in situ*, de contaminants sur les êtres vivants (végétaux et animaux) à différents niveaux (organisme, populations, peuplements, communautés) et le devenir de ces substances dans les écosystèmes. Autrement dit, l'écotoxicologie est le domaine de la toxicologie étudié dans un contexte écologique et *vice-versa*. Les études écotoxicologiques sont très diverses et comprennent :

- l'analyse des impacts écologiques de substances toxiques sur la partie vivante, la prévision du devenir de ces substances dans les écosystèmes et leurs conséquences futures,
- la recherche de bio-indicateurs (plantes ou animaux) représentatifs de leurs milieux et révélateurs du niveau de contamination,
- la surveillance et la détection de la perturbation de milieux naturels à partir du changement au niveau de la structure du peuplement, de la population etc.,
- l'établissement d'un diagnostic écologique des milieux contaminés par des mesures physico-chimiques et/ou biologiques avec la possibilité de comparaisons dans l'espace et dans le temps.

Il est très clair que la partie écologique de l'écotoxicologie est essentielle dans ces études et sans cette partie l'écotoxicologie devient tout autre chose qu'elle-même. Toutefois, la démarche écotoxicologique terrestre s'est souvent heurtée à quatre difficultés:

1) Les approches écotoxicologiques sont souvent accompagnées de contraintes socio-économiques multiples *a priori* indépendantes des données écologiques. En effet, la contamination de milieux est liée à l'activité humaine dans différents domaines, agronomique, industriel, des transports, de l'énergie etc., qui sont eux-mêmes les plaques tournantes de l'économie et le lieu d'échanges de l'activité sociale (ANONYME, 1992). Parmi les activités humaines les plus contaminantes on trouve la production d'énergie, les industries chimiques et l'agriculture (RAMADE, 1992). Sans oublier que l'usage de produits n'est pas la seule source de contamination ; il y a également tous les processus de préparation (extraction de minerais, transport, raffinage...) et les déchets en cours de production et après usage.

L'extraction et l'usage des hydrocarbures fossiles représentent les sources les plus importantes de contamination de l'environnement. Leurs marées noires et leurs effluents solides, liquides et gazeux polluent tous les systèmes écologiques. En 1990, la consommation mondiale du pétrole a été de l'ordre de 12 milliards de tonnes d'équivalent charbon. L'énergie nucléaire n'est pas mieux placée, en particulier avec les déchets radioactifs qui s'élèveront selon l'OCDE (Organisation de Coopération et de Développement Economiques) à quelques 10 tonnes en l'an 2000 pour le plutonium irrécupérable à lui seul. Quant aux industries chimiques, elles commercialisent chaque année des milliers de nouvelles substances chimiques sans que des études d'écotoxicité et de toxicité suffisantes n'aient été faites. De même, l'agriculture moderne, avec ses engrais chimiques et ses pesticides de toutes sortes représente une importante source de contamination. La consommation mondiale de fertilisants a atteint 145 millions de tonnes en 1989, tandis que la seule production américaine de pesticides a été de l'ordre de 700 000 tonnes de matières actives pures en 1988 (RAMADE, 1992).

Dans cette situation, les enjeux socio-économiques sont énormes. Toutefois, les recherches écotoxicologiques peuvent d'une part, fournir les arguments scientifiques aidant à prendre les décisions adéquates dans le domaine de la protection de la nature, et d'autre part, jouer le rôle de contrôleur et de surveillant de la contamination de l'environnement.

2) L'écotoxicologie est en général très peu développée; cette situation est encore aggravée pour les milieux terrestres qui sont presque oubliés par rapport aux milieux aquatiques. Ce constat n'est pas propre à l'écotoxicologie terrestre, mais il fait partie d'une des faiblesses des recherches écologiques dans leur ensemble (DI CASTRI, 1984 ; RAMADE, 1993 ; ANONYME, 1994 a & b). Cette situation concernant les milieux terrestres est due en grande partie à sa diversité et à sa complexité. Pourtant, ces difficultés peuvent être résolues si on donne les moyens et l'attention nécessaires à ce type de recherches et en adoptant les outils adéquats. Les milieux terrestres sont normalement les réceptacles les plus exposés aux contaminations d'origine naturelle et humaine. De ce fait, les contaminants sont susceptibles d'être déposés à la surface des sols, repris par la végétation, accumulés dans les animaux, lessivés vers les eaux souterraines, et d'aboutir à l'homme. Mais le sol est aussi un milieu formé d'un mélange intime d'organismes et d'éléments non vivants. De ce fait, les diagnostics écologiques peuvent être fondés sur des études physico-chimiques de la partie non vivante de l'écosystème et/ou sur l'étude des organismes représentatifs de leur milieu. La multiplicité des interactions en milieu naturel et l'extrême diversité des sols rendent l'établissement d'un diagnostic écologique par les mesures physico-chimiques à la fois difficile, peu propice dans l'espace et dans le temps et empêchent souvent d'intégrer et de prendre en compte la dimension réelle et très diversifiée de l'écosystème. Par contre, l'utilisation des organismes (les indicateurs biologiques) permet d'évaluer les risques écologiques provoqués par les contaminants, car c'est à ce niveau que les problèmes de la contamination constituent la motivation des études écotoxicologiques (BLANDIN, 1986).

Les bio-indicateurs sont des organismes (animaux et plantes) qui par leurs variables d'état, leurs activités physiologiques ou leur présence-absence contribuent à caractériser un écosystème perturbé par un contaminant ou non. Cette définition nous permet de distinguer deux types de bio-indication (ABDUL RIDA & BOUCHE, 1994a) : une **bio-indication physiologique** qui porte sur le changement de fonctionnement ou d'état des organismes résultant de la contamination de leur milieu. Ces changements concernent par exemple leur croissance, leur activité enzymatique, leur reproduction, leur respiration ou leur concentration biologique en un élément donné. La deuxième est une **bio-indication existentielle** traduite soit par la présence soit par l'absence de l'organisme dans les milieux riches en l'élément étudié.

3) La troisième difficulté est loin d'être négligeable: c'est la confusion du modèle avec le système réel qu'il représente. "*La modélisation est fondamentalement un processus visant à la représentation d'un objet réel par un (ou des) modèle (s), soit sous forme matérielle "imitant" l'objet, soit sous forme didactique schématisant cet objet de façon intelligible, soit sous forme mathématique*" (BOUCHE, 1990). La modélisation permet une amélioration continue du modèle pour le rendre le plus proche possible de l'objet réel qu'il représente. Mais comme les systèmes écologiques sont des systèmes très complexes, d'équilibre métastable et subissant des changements permanents et souvent instantanés, le modèle ne peut jamais prendre en compte toutes les caractéristiques des systèmes réels; il ne reflète que les choix des variables mesurées et les données recueillies à un moment donné. La modélisation représente donc une démarche synthétique et sa valeur effective reste donc à valider dans les écosystèmes réels. Outre certains modèles mathématiques proposés en écotoxicologie, ce sont souvent les expériences de laboratoire (microcosmes) qui sont utilisées et qualifiées de travaux d'écotoxicologie. Ces essais mis en place en laboratoire doivent être validés vis-à-vis de systèmes réels, c'est-à-dire au terrain, pour avoir une signification écotoxicologique concrète, sinon ils ne sont que des modèles représentant des cas bien précis et limités. Cela ne veut pas dire que les expériences de laboratoire soient inutiles pour l'évaluation écologique de substances toxiques, loin de là, elles sont indispensables pour déceler et vérifier certains mécanismes d'échange, établir une échelle de toxicité de différents produits chimiques pris isolément vis-à-vis d'un organisme donné, réduire les hypothèses explicatives d'un phénomène écotoxicologique et en conséquence réduire le travail du terrain, etc. Les travaux de laboratoire sont donc complémentaires mais ne doivent pas se substituer aux études de terrain.

Pour évaluer les risques écologiques pouvant résulter de teneurs élevées de certains éléments traces dans quelques sites du sud-est de la France, nous avons utilisé les vers de terre en tant que bio-indicateurs de la qualité du milieu (ABDUL RIDA, 1992). Il ressort de cette étude que certains genres lombriciens, comme *Scherotheca*, sont beaucoup plus sensibles que d'autres et ont disparu dans les milieux les plus chargés en éléments traces (ABDUL RIDA, 1992 ; ABDUL RIDA & BOUCHE, 1994b). Il est clair que ce constat ne peut pas être fait au laboratoire car les *Scherotheca* sont des espèces lombriciennes jamais prises en compte dans les tests de toxicité à cause de leur taille importante et de la difficulté de leur élevage au laboratoire, malgré le rôle très important que joue ce genre lombricien anécique dans les écosystèmes terrestres (ABDUL RIDA, 1994).

4) Il faut, également, rappeler que l'écotoxicité a des conséquences écosystémiques. L'écosystème est un ensemble constitué d'espèces vivantes et d'éléments non vivants entre lesquels se produit un nombre illimité d'interactions. Les effets des contaminants sur un composant de l'écosystème vont nécessairement avoir des conséquences sur d'autres composants de ce système. La présence, en teneurs élevées, des contaminants dans le milieu peut entraîner des changements importants, notamment de la diversité biologique. Ils peuvent agir sur les individus (mortalité, effets sublétaux), les populations (abondance, distribution, pyramide des âges), la structure et la dynamique des communautés (extinction de population, dominance, diversité, biomasse) et par conséquent sur la biocénose toute entière (RAMADE, 1992). Au-delà des conséquences biocénotiques, il est essentiel d'évaluer les conséquences écosystémiques, c'est-à-dire celles engendrées sur tous les composants y compris abiotiques. Par exemple, l'éradication des peuplements lombriciens par certains pesticides entraîne l'obturation des galeries verticales créées par ces animaux dans lesquelles s'écoule usuellement une quantité très importante des eaux des orages. Erosions et inondations, phénomènes physiques, sont aussi *via* la biocénose, amplifiées par des substances toxiques.

Les contaminants provoquent également la dégradation des ressources naturelles en mettant en jeu la qualité des milieux et les chaînes alimentaires. GASPAR (1986) a montré que 11 % des espèces invertébrées (Hétéroptères aquatiques, Odonates, Diptères, Lépidoptères, Hyménoptères et Coléoptères) sont sérieusement menacées (probablement disparues) depuis 1950 en Belgique et au Luxembourg.

Ainsi, l'étude des effets des contaminants dans les écosystèmes écologiques (les études écotoxicologiques) doit être pratiquée sur le terrain; les études de laboratoire ne peuvent en aucun cas remplacer les études *in situ* car les conditions biotiques et abiotiques des terrains ne sont pas reproductibles artificiellement. Un milieu naturel est un milieu ouvert dans lequel se passent des échanges bio-physico-chimiques, incluant des milliers d'espèces vivantes et de substances chimiques entre lesquelles un nombre illimité d'interactions se produit. Pour cela, les effets des contaminants seront conditionnés par leurs interactions avec l'ensemble des composants de l'écosystème. Il est donc primordial en écotoxicologie d'étudier les impacts de contaminants sur l'écosystème tout entier étant donné que les actions des contaminants sont multiples et variables dans le temps et l'espace. Or, les expériences de laboratoire sont faites dans un milieu bien déterminé, sous conditions contrôlées, avec des espèces vivantes soigneusement choisies en utilisant des substances chimiques isolées, et donc leurs apports à la connaissance du réel seront très limités. Enfin, il est encore plus difficile à partir d'un test de laboratoire de prévoir le transfert de contaminants dans les chaînes trophiques terrestres ou d'évaluer les processus de restauration des espèces vivantes provoqués par un contaminant, pourtant ce sont des problèmes importants qui doivent être pris en compte dans les études écotoxicologiques.

Chaque espèce vivante a un rôle écologique à jouer dans les milieux naturels où elle vit. Comme nous venons de le voir, son absence partielle ou totale aura des conséquences écologiques, d'une part sur ses interactions avec les autres espèces et, d'autre part, sur la partie physico-chimique de son milieu. Les enjeux économiques considérables, les besoins alimentaires croissants et l'exigence de produits de qualité impliquent l'utilisation de produits chimiques diversifiés plus ou moins contaminants. Parmi ces derniers, nous pouvons citer les pesticides qui éliminent non seulement les organismes cibles tels que les insectes nuisibles (qui font aussi partie de la diversité biologique), mais également d'autres organismes utiles. Ainsi, l'utilisation et la dissémination de certaines substances nuisibles dans les milieux terrestres d'une part et la nécessité de conserver la diversité biologique et le bien être humain d'autre part exigent du législateur d'imposer un seuil de toxicité "acceptable". Ce seuil sera dépendant des estimations toxicologiques de laboratoire et écotoxicologiques au champ, du rôle écologique des peuplements affectés et de leur aptitude à se restaurer et enfin des conséquences écosystémiques produites dues à la disparition d'une espèce vivante. L'évaluation écotoxicologique nécessite donc une approche écosystémique d'une part, et une intégration des connaissances d'autre part (BOUCHE, communication personnelle). Mais ceci est une autre histoire ou plutôt un prolongement de mon propos.

BIBLIOGRAPHIE

ABDUL RIDA, A.M.M., 1992.– Biosurveillance de la contamination du sol : apport de l'étude des lombriciens à l'évaluation des risques liés aux éléments traces. *Doc. Pédozool.*, 1 : 1-234.

ABDUL RIDA, A.M.M., 1994.– Les vers de terre et l'environnement. *La Recherche*, 25 : 260-268.

ABDUL RIDA, A.M.M. & BOUCHE, M.B., 1994a.– A method to assess chemical biorisks in terrestrial ecosystems. In : DONKER, M.H., EUSACKERS, H. & HEIMBACH, F., (eds), *Ecotoxicology of soil organisms*. Lewis Publishers, Boca Raton, Florida : 383-394.

ABDUL RIDA, A.M.M. & BOUCHE, M.B., 1994b.– The eradication of an earthworm genus by heavy metals in southern France. *Applied Soil Ecology*, (sous presse).

ANONYME, 1992.– *Environnement, Science et Politique*, 2 : 1-518.

ANONYME, 1994a.– Le sol. Rapport sur l'état de l'environnement en France. IFEN, Edition 1993/1994, Projet mise à jour le 15.02.94 : 9p.

ANONYME, 1994b.– L'environnement et la santé. Rapport sur l'état de l'environnement en France. IFEN, Edition 1993/1994, Projet mise à jour le 15.02.94 : 11p.

BOUCHE, M.B., 1990.– *Ecologie opérationnelle assistée par ordinateur.* Ed. Masson, Paris : 572p.

BLANDIN, P., 1986.– Bioindicateurs et diagnostic des systèmes écologiques. *Bull. Ecol.*, 17 : 215-307.

DI CASTRI, F., 1984.– *L'écologie : les défis d'une science en temps de crise*. Rapport au Ministre de l'Industrie et de la Recherche. La Documentation française : 116p.

GASPAR, C., 1986.– La surveillance des invertébrés, le rôle de Gembloux. *Bull. Rech. Agron. Gembloux*, Belgique, 21 : 197-226.

RAMADE, F.,1992.– *Précis d'écotoxicologie*. Ed. Masson, Paris : 300p.

RAMADE, F.,1993.– L'écologie a-t-elle un avenir? *La Recherche*, 24 : 422-426.

TRUHAUT, R., 1976.– Ecotoxicologie et protection de l'environnement. Abtr. Col. *Biologie et devenir de l'homme*, Sorbonne, 18-24 sep. 1974. Ed. Mac Graw-Hill : 101-121.