

L'ÉCOTOXICOLOGIE EN QUESTIONS

I. Lamy, J. Faburé, C. Mougin, S. Morin,
M.-A. Coutellec, L. Denaix,
F. Martin-Laurent



Les notions essentielles

15 schémas pédagogiques

Une synthèse par chapitre

éditions
Quæ

L'ÉCOTOXICOLOGIE EN QUESTIONS

Dans la même collection

Le bien-être des animaux d'élevage — Comprendre le bien-être animal
Luc Mounier (coord.), 2021, 72 p.

Le bien-être des animaux d'élevage — Évaluer le bien-être animal
Luc Mounier (coord.), 2021, 72 p.

Le bien-être des animaux d'élevage — Améliorer le bien-être animal
Luc Mounier (coord.), 2022, 72 p.

Découvrir les invertébrés vivant à la surface du sol
Apolline Auclerc, 2021, 52 p.

Les végétaux — Évolution, développement et reproduction
Lydie Suty, 2014, 64 p.

Les végétaux — Les relations avec leur environnement
Lydie Suty, 2014, 56 p.

Les végétaux — Des symbioses pour mieux vivre
Lydie Suty, 2015, 56 p.

Cet ouvrage a bénéficié du soutien financier du réseau ECOTOX d'INRAE,
le réseau d'écotoxicologie terrestre et aquatique.



Éditions Quæ
RD 10
78026 Versailles Cedex, France
www.quae.com
www.quae-open.com

© Éditions Quæ, 2022
ISBN (papier) : 978-2-7592-3454-7
ISBN (pdf) : 978-2-7592-3455-4
ISBN (ePub) : 978-2-7592-3456-1
ISSN : 2779-5012

Cet ouvrage est diffusé sous licence CC-by-NC-ND 4.0.

L'ÉCOTOXICOLOGIE EN QUESTIONS

**I. Lamy, J. Faburé, C. Mougin, S. Morin,
M.-A. Coutellec, L. Denaix,
F. Martin-Laurent**

INTRODUCTION

L'homme utilise depuis toujours des produits qui se sont diversifiés exponentiellement avec l'industrialisation et qui, pour certains, se sont révélés contaminants. C'est après la Seconde Guerre mondiale, alors que la chimie était en pleine expansion, que l'ouvrage *Chemistry... key to better living* (Société américaine de chimie, 1951) a associé la notion de progrès à l'essor de cette science. Mais les impacts sur la faune et les humains des produits chimiques couramment utilisés ne tardent pas à être révélés. Leur dénonciation dans le livre *Printemps silencieux* (*Silent Spring*, 1962) de Rachel Carson a nourri les préoccupations environnementales de la société, posant par là même les bases d'une nouvelle discipline scientifique, l'écotoxicologie. Cette prise de conscience a atteint son paroxysme avec la définition de l'Anthropocène*¹ : l'ère où l'homme, par ses activités, est devenu la force principale agissant sur la biosphère. On s'aperçoit aujourd'hui que les dérèglements environnementaux impactent le mental des populations, notamment des plus jeunes. La notion d'éco-anxiété, relativement récente (Desbiolles, 2020), fait l'objet d'un intérêt croissant de la part des mondes académiques et médicaux. Elle traduit un sentiment de préoccupation, d'inquiétude, d'anxiété et d'angoisse, provoqué par des menaces qui pèsent sur l'environnement.

Dans ce contexte, quel peut être l'apport de l'écotoxicologie ? Une meilleure connaissance des problèmes liés aux contaminants, conduisant à des mesures surprotectrices ? Ou une meilleure approche des mécanismes et processus mis en jeu lors de l'introduction de nouvelles substances dans un milieu pour mieux les gérer ? Quelles sont les grandes approches actuelles en écotoxicologie pour aborder ces problèmes environnementaux ? Les pages qui suivent visent à apporter des éléments de réponse à ces questions.

Cet ouvrage aborde l'écotoxicologie par le biais de questions ouvertes, basées sur celles que peuvent se poser les lecteurs curieux de mieux connaître cette discipline ou, plus généralement, soucieux des problématiques environnementales. Au travers des réponses à ces questions, les grandes notions d'écotoxicologie sont traitées de façon intégrée. Le chapitre 1 aborde l'origine de l'écotoxicologie, et en définit les contours et les principaux concepts associés. Le chapitre 2 s'intéresse aux ruptures ayant transformé les approches traditionnelles d'écotoxicologie en une science plus holistique visant à intégrer la complexité des conditions réelles. Le chapitre 3 s'attache à la complexité des processus et mécanismes écotoxicologiques. Le chapitre 4 approfondit les conséquences de cette complexité en se focalisant sur les difficultés associées à la démonstration de relations causales entre présence et écotoxicité des contaminants, et propose un aperçu des stratégies permettant de traiter la question. Le chapitre 5 passe en revue les différences entre écotoxicologie terrestre et aquatique, depuis les concepts jusqu'à la mise en œuvre des tests. Enfin, le chapitre 6 élargit le champ d'application de la science écotoxicologique à sa portée concrète pour la société. Un chapitre de conclusion dresse une liste des nouveaux défis et des nouvelles opportunités pour l'écotoxicologie.

1. Les termes signalés par un astérisque renvoient au glossaire en fin d'ouvrage.



Loutres de mer (*Enhydra lutris*) – île de Vancouver (Colombie-Britannique, Canada).

La loutre est une espèce dite « parapluie » selon la définition donnée par Ramade (2002), c'est-à-dire une espèce « dont le domaine vital est assez large pour que sa protection assure celle des autres espèces appartenant à la même communauté ». Les loutres vivent dans les rivières, marais, grands lacs ou sur les côtes maritimes, pourvu que cet habitat soit riche en poissons et que l'eau soit saine. La pollution et l'urbanisation détériorent leurs habitats aquatiques. Ce sont les causes principales de la disparition de la loutre dans ce fjord de l'île de Vancouver, à la suite de l'implantation d'une usine de pâte à papier. L'arrêt de l'usine a vu le retour des loutres de mer.

Références

American Chemical Society, 1951. *Chemistry... key to better living: A record of chemical progress during the first 75 years of the American Chemical Society*, ACS, Washington, 244 p.

Carson R., *Printemps silencieux*, 1963. Paris, Plon, 283 p. (la 1^{re} édition de cet ouvrage est parue en anglais en 1962, sous le titre *Silent Spring*).

Desbiolles A., 2020. *L'éco-anxiété. Vivre sereinement dans un monde abîmé*, Paris, Fayard, 233 p.

Ramade F., 2002. *Éléments d'écologie – Écologie appliquée*, 6^e édition, Paris, Dunod, 864 p. (Coll. Sciences sup).

SOMMAIRE

1. Qu'est-ce que l'écotoxicologie ?	8
1.1. Quelques questions clés posées par l'écotoxicologie à différentes disciplines	8
1.2. Pollution, contamination : de quoi parle-t-on ?	9
1.3. Les bases de l'écotoxicologie traditionnelle.....	10
<i>À retenir</i>	12
2. Pourquoi parler de changement de paradigme en écotoxicologie ?	14
2.1. La révision du principe de la dose-dépendance.....	14
2.2. Signaux précoces et modèles biologiques plus réalistes pour évaluer l'état écologique ..	16
2.3. Vers une prise en compte de la variabilité des réponses	18
2.4. Exposition ponctuelle ou chronique aux contaminants.....	19
2.5. Les organismes : cibles et acteurs des contaminations.....	20
2.6. La fenêtre d'exposition et sa durée, facteurs clés pour comprendre les effets	21
2.7. L'écotoxicologie à travers le prisme de la dimension spatiale.....	21
<i>À retenir</i>	22
3. Comment prendre en compte la complexité des processus en écotoxicologie ?	25
3.1. La biodisponibilité : processus et concepts	25
3.2. Les méthodes de mesure de la biodisponibilité	28
3.3. Les outils de modélisation mathématique.....	30
3.4. Complexité et validation des effets : des tests adaptés	32
<i>À retenir</i>	32
4. Pourquoi la relation de cause à effet est-elle si compliquée à montrer en milieu naturel ?	35
4.1. Plusieurs raisons à la difficulté d'établir des relations causales	35
4.2. Transplanter <i>in situ</i> pour mieux évaluer les relations entre exposition et impact	38
4.3. Tester <i>ex situ</i> pour contrôler certains facteurs.....	38

4.4. Lier effets sur le biote (état écologique) et présence de composés toxiques (état chimique).....	39
4.5. Entre recherche et application à l'évaluation des risques	40
À retenir	41
5. Quelles différences entre écotoxicologie aquatique et terrestre ?	43
5.1. Spécificités des milieux aquatique et terrestre.....	43
5.2. Principales différences dans les approches écotoxicologiques.....	44
5.3. Flux et stock de contaminants dans les milieux aquatique et terrestre.....	44
5.4. Des milieux connectés.....	45
À retenir	47
6. À quoi sert l'écotoxicologie pour la société ?	48
6.1. Écotoxicologie et réglementation.....	48
6.2. Écotoxicologie et sensibilisation de la société.....	49
6.3. Écotoxicologie et évaluation des risques.....	50
6.4. Écotoxicologie et protection des milieux.....	52
6.5. Écotoxicologie et normalisation de méthodes	52
6.6. Écotoxicologie et innovation.....	54
À retenir	55
Conclusion.....	57
À retenir	58
Quiz	60
Glossaire.....	64
Crédits iconographiques.....	72

1. Qu'est-ce que l'écotoxicologie ?

L'écotoxicologie est la science qui étudie le devenir et les effets des composés toxiques dans les écosystèmes. Cette discipline est récente, mais avant qu'elle soit définie comme telle et désignée sous cette appellation, on en faisait déjà sans le savoir, dès lors qu'on étudiait le comportement des composés toxiques dans l'environnement. Le terme d'écotoxicologie est apparu dans les années 1970 (Vasseur, 2019 ; Vasseur *et al.*, 2021), lorsqu'un article de Jean-Michel Jouany (1971) a postulé que « L'étude de l'influence des nuisances sur les relations individu-environnement pourrait être simplement qualifiée d'écotoxicologie ». À la même période, René Truhaut (1977) considérait l'écotoxicologie comme une branche de la toxicologie. Cette approche centrée sur les effets ne prenait toutefois pas en compte le devenir des contaminants dans l'environnement. Dans le présent ouvrage, nous nous baserons plutôt sur une définition plus récente et plus intégrative de l'écotoxicologie (Ramade, 1992), qui englobe

« les modalités de contamination des écosystèmes par les polluants chimiques (composés inorganiques ou organiques, radioéléments...), leur circulation et leurs transformations biogéochimiques dans les écosystèmes, leurs effets sur les communautés, et les perturbations qu'ils peuvent induire sur les processus écologiques fondamentaux ».

Les termes « impact » et « effet » sont souvent utilisés de façon indifférenciée, alors qu'ils ont des sens distincts. L'effet se réfère au résultat générique d'une exposition à une substance, quelle que soit la cible. L'impact, lui, est associé aux cibles, organismes vivants ou composantes du milieu naturel. Il désigne l'ensemble des effets liés à une substance, en prenant en compte la sensibilité des cibles aux effets. Contrairement à l'effet, l'impact n'indique pas une conséquence, mais révèle comment un phénomène affecte un état par rapport à un état de référence. On notera que les deux termes peuvent avoir une connotation positive ou négative.

1.1. QUELQUES QUESTIONS CLÉS POSÉES PAR L'ÉCOTOXICOLOGIE À DIFFÉRENTES DISCIPLINES

Pour l'acquisition de connaissances et le développement de méthodes, l'écotoxicologie fait

appel à différentes disciplines complémentaires, à l'interface desquelles on la situe (**figure 1**).

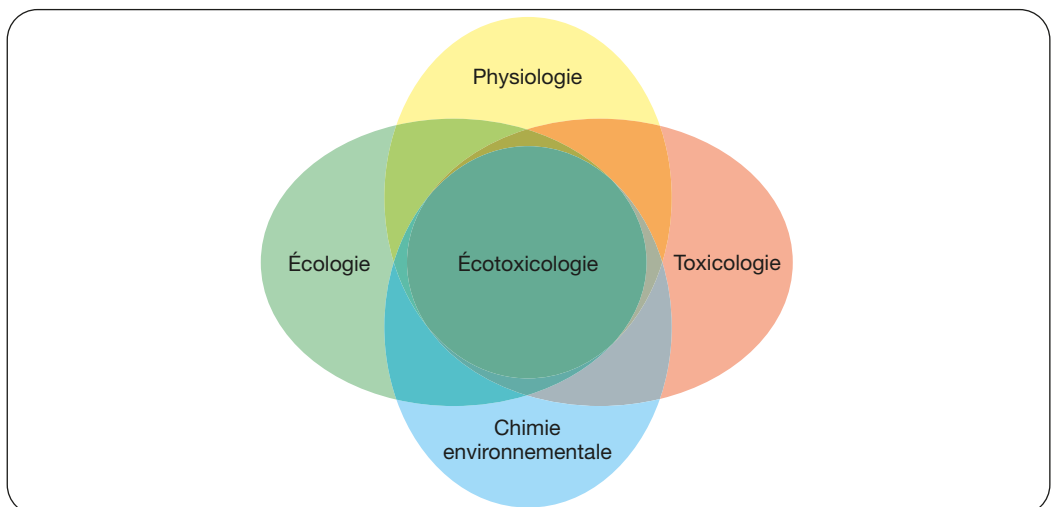


Figure 1. L'écotoxicologie : science intégrative, à l'interface de plusieurs disciplines fondamentales.

La chimie environnementale s'intéresse à la spéciation* des contaminants — c'est-à-dire aux différentes formes sous lesquelles ils se trouvent — et évalue leur transport dans l'environnement, leur transfert dans les structures biologiques et la transformation des substances *via* l'exposition*. Elle s'intéresse également à la compréhension des relations entre structure chimique et activité biologique au travers de modèles mathématiques (modèles (Q)SAR*, relation (quantitative) structure-activité).

La toxicologie et la physiologie permettent d'évaluer les effets et les modes d'action des substances toxiques, leur bioaccumulation* et biotransformation.

L'écologie est la science des interactions que développent et entretiennent les organismes entre eux et avec leur environnement. Elle étudie en particulier la structure et la dynamique des populations*, des communautés* ou des réseaux trophiques*, les fonctions écologiques* et le fonctionnement des écosystèmes. Aujourd'hui, dans le contexte de l'Anthropocène, elle se met au service d'enjeux appliqués tels que la conservation de la biodiversité, les services écosystémiques*, et, logiquement, l'impact des pollutions sur les écosystèmes. Les outils

et méthodes développés dans cette discipline apportent le réalisme écologique indispensable aux études écotoxicologiques.

L'écotoxicologie extrapole les conséquences des processus et mécanismes identifiés aux niveaux moléculaire, cellulaire et de l'organisme à des niveaux d'organisation biologique supérieurs : population, communauté, voire écosystème.

Enfin, il est intéressant de noter ici que si la modélisation est à la fois une composante inhérente à ces différentes disciplines (à des degrés variables), elle fait également l'objet de développements propres à l'écotoxicologie. Ainsi, la prédiction du transfert des contaminants dans l'environnement (chimie de l'environnement) peut être articulée avec les sorties de modèles établissant le lien entre concentration d'exposition et concentration au sein d'un organisme (modèles toxicocinétiques, TK), ainsi que le lien entre la concentration du contaminant dans l'organisme et sa toxicité (modèles toxicodynamiques, TD). La modélisation permet également l'estimation de paramètres clés utilisés en toxicologie et en écotoxicologie, comme les CL50* ou CE50* et NOEC*.

1.2. POLLUTION, CONTAMINATION : DE QUOI PARLE-T-ON ?

Il existe un flou dans la terminologie sur la distinction entre pollution et contamination. Concernant les substances chimiques, on définit la contamination comme l'état du milieu dans lequel la concentration de la substance est supérieure aux concentrations naturelles attendues, c'est-à-dire au bruit de fond géochimique pour les éléments traces* (Adriano, 2001) et les molécules naturelles, ou à des concentrations nulles pour les substances de synthèse.

Le terme de pollution est généralement employé à partir du moment où la substance produit des effets délétères sur une cible biologique, quelle qu'elle soit. Toutefois, dans le cas particulier des substances radioactives, la pollution est définie comme l'introduction de radioéléments dans l'environnement, alors que la contamination se réfère à des niveaux indésirables de dépôt dans le milieu ou de présence des

substances dans les organismes (IRSN, 2021).

Les polluants, naturels ou d'origine humaine, peuvent être de divers types. On les classe ainsi en polluants chimiques, physiques et biologiques. Les polluants chimiques comprennent notamment les éléments traces, les pesticides, les produits de soin et d'hygiène (médicaments, cosmétiques), les hydrocarbures... Parmi les polluants physiques, on considère les rayonnements émis par les radionucléides, mais aussi la lumière artificielle (notamment nocturne), le bruit, la chaleur. Enfin, les polluants biologiques incluent des substances telles que des toxines (biomolécules toxiques produites par des organismes), ainsi que des organismes pathogènes et parasites. En parallèle à la classification basée sur leur nature ou composition, une autre catégorie récemment apparue est celle des polluants dits « émergents ». Ces polluants ne