

TD N°1 : Notions de base et concepts fondamentaux en écotoxicologie

Définitions générales

1.Écotoxicologie

Discipline scientifique qui étudie le devenir, le comportement et les effets des substances toxiques (naturelles ou anthropiques) sur les organismes vivants, les populations, les communautés et les écosystèmes, en tenant compte des interactions avec l'environnement.

L'**écotoxicologie** est une discipline scientifique à l'interface entre la toxicologie et l'écologie, qui étudie le **devenir des substances chimiques dans l'environnement** ainsi que leurs **effets toxiques sur les organismes vivants**, depuis le niveau individuel jusqu'aux populations, communautés et écosystèmes (Truhaut, 1977 ; Newman, 2015). Elle vise à comprendre et à prévoir les impacts des contaminants d'origine naturelle ou anthropique sur le fonctionnement des systèmes écologiques. L'écotoxicologie constitue un outil essentiel pour la compréhension des impacts des pollutions sur la biodiversité et pour l'élaboration de stratégies de gestion durable et de conservation des écosystèmes terrestres et aquatiques.

2. Toxicologie :

La **toxicologie** est la science qui étudie les **effets nocifs des substances chimiques, physiques ou biologiques** sur les organismes vivants, ainsi que les **mécanismes d'action**, les relations **dose-réponse** et les conditions d'exposition (Casarett & Doull, 2019). Elle constitue le fondement scientifique de l'évaluation des risques pour la santé humaine et environnementale.

Un **toxique** est toute substance capable d'induire un effet délétère lorsqu'elle est absorbée par un organisme. Selon l'origine, les toxiques peuvent être **naturels** (toxines végétales ou animales) ou **anthropiques** (médicaments, pesticides, polluants industriels) (Klaassen, 2018). La célèbre maxime de Paracelse, « *c'est la dose qui fait le poison* », souligne que la toxicité dépend principalement de la dose administrée.

L'**exposition** correspond au contact entre un organisme et une substance toxique, qui peut se produire par différentes voies : **orale, cutanée** ou **respiratoire**. Une fois dans l'organisme, le toxique subit des processus d'**absorption**, de **distribution**, de **métabolisme** et d'**excrétion** (ADME), lesquels déterminent sa biodisponibilité et sa toxicité finale (Casarett & Doull, 2019).

La **toxicité aiguë** résulte d'une exposition unique ou de courte durée à une dose élevée, tandis que la **toxicité chronique** est liée à des expositions répétées ou prolongées à faibles doses. Entre ces deux extrêmes, on distingue la **toxicité subchronique**, étudiée lors d'expositions de durée intermédiaire (Klaassen, 2018). Les effets toxiques peuvent être **létaux** ou **sublétaux**, affectant la croissance, la reproduction, le comportement ou la physiologie.

L'analyse de la relation **dose-réponse** est un principe central en toxicologie. Elle permet de déterminer des paramètres quantitatifs tels que la **DL50** (Dose Létale 50), correspondant à la dose provoquant la mort de 50 % des organismes testés, ou la **CE50** (Concentration Effective 50), utilisée pour évaluer les effets non létaux (OECD, 2004).

Certains toxiques peuvent induire des effets spécifiques, tels que la **toxicité génotoxique** (altération de l'ADN), la **toxicité cancérogène**, la **toxicité tératogène** (malformations congénitales) ou la **toxicité reprotoxique**, affectant la fertilité et le développement embryonnaire (Hayes, 2014). D'autres substances agissent comme **perturbateurs endocriniens**, interférant avec les systèmes hormonaux même à faibles concentrations. L'**évaluation du risque toxicologique** repose sur l'intégration des données de toxicité, d'exposition et de sensibilité des organismes afin d'estimer la probabilité d'un effet nocif. Cette démarche est essentielle pour l'établissement de normes sanitaires et environnementales et pour la protection de la santé publique (Suter, 2007).

3. Polluants et substances toxiques

Les **polluants environnementaux** : incluent les métaux lourds, les pesticides, les hydrocarbures, les plastiques et autres **xénobiotiques**, introduits dans les écosystèmes par les activités humaines (Walker et al., 2012). Certains de ces composés se caractérisent par une **forte persistance environnementale**, favorisant leur accumulation dans les sols, les sédiments et les organismes vivants (Connell et al., 1999).

Polluant : Toute substance introduite dans l'environnement susceptible de provoquer un effet nocif sur les organismes ou les écosystèmes.

Xénobiotique : Substance étrangère à un organisme ou à un écosystème (pesticides, métaux lourds, hydrocarbures).

Contaminant : Substance présente dans l'environnement sans nécessairement provoquer un effet toxique immédiat.

Substance persistante : Composé résistant à la dégradation chimique ou biologique (ex. : PCB, DDT).

4. Devenir des polluants dans l'environnement

Le **devenir des contaminants** dans l'environnement dépend de processus physico-chimiques et biologiques tels que la **biodisponibilité**, la **bioaccumulation**, la **bioconcentration** et la **bioamplification** le long des chaînes trophiques (Peijnenburg & Jager, 2003 ; Newman, 2015). Ces mécanismes conditionnent l'intensité de l'exposition des organismes et expliquent pourquoi certains polluants présentent des effets écologiques disproportionnés par rapport à leur concentration environnementale.

Biodisponibilité : Fraction d'une substance réellement accessible aux organismes pour être absorbée.

Bioaccumulation : Accumulation progressive d'un polluant dans un organisme au cours du temps.

Bioconcentration : Accumulation d'un polluant directement à partir du milieu (eau, sol, air).

Bioamplification (ou biomagnification) : Augmentation de la concentration d'un polluant le long de la chaîne trophique.

Adsorption : Fixation d'un polluant à la surface des particules du sol ou des sédiments.

5. Effets toxiques sur les organismes

Les **effets écotoxicologiques** peuvent être **aigus** ou **chroniques**. Les **effets aigus** résultent généralement d'expositions brèves à des concentrations élevées, tandis que les **effets chroniques** apparaissent après une exposition prolongée à faibles doses (Rand, 1995). Au-delà de la mortalité, les **effets sublétaux** (altérations de la croissance, de la reproduction, du comportement ou de la physiologie) jouent un rôle clé dans la dynamique des populations et la structuration des communautés (Forbes & Calow, 2002).

Toxicité : Capacité d'une substance à provoquer des effets néfastes sur un organisme vivant.

Effet aigu : Effet rapide suite à une exposition de courte durée à forte concentration.

Effet chronique : Effet à long terme résultant d'une exposition prolongée à faible dose.

Dose-réponse : Relation entre la dose d'un toxique et l'intensité de la réponse biologique observée.

Seuil de toxicité : Concentration minimale à partir de laquelle un effet apparaît.

Effets sublétaux : Effets n'entraînant pas la mort mais affectant la croissance, la reproduction ou le comportement.

6. Bioindicateurs, Biomarqueurs et paramètres écotoxicologiques

Les organismes utilisés en écotoxicologie sont souvent des **bioindicateurs** ou des **espèces sentinelles**, capables de refléter l'état de contamination d'un milieu. Les invertébrés terrestres, notamment les **gastéropodes**, sont particulièrement pertinents en raison de leur faible mobilité, de leur contact étroit avec le sol et de leur capacité à accumuler certains contaminants, ce qui en fait d'excellents modèles pour l'étude de la qualité des sols.

Bioindicateur : Organisme utilisé pour évaluer la qualité d'un milieu (ex. espèces terrestres ou aquatiques, lichens). Il se caractérise par les critères de bioindication (tolérance, ...).

Espèce sentinelle : Espèce sensible utilisée pour détecter précocement une pollution.

Biomarqueur : Réponse biologique mesurable indiquant une exposition ou un effet toxique (enzymes (Glutathion, Acétylcholinestérase, catalase, méthalothéonine,...), anomalies morphologiques).

L'évaluation des effets repose sur des **paramètres écotoxicologiques standardisés**, tels que la **CL50**, la **CE50**, la **NOEC** et la **LOEC**, largement utilisés dans les essais biologiques pour estimer la sensibilité des organismes aux contaminants (OECD, 2004). Ces indicateurs constituent la base de l'**évaluation du risque écotoxicologique**, qui combine données de toxicité et niveaux d'exposition afin d'estimer la probabilité d'impacts environnementaux significatifs (Suter, 2007).

CL50 (Concentration Létale 50) : Concentration provoquant la mort de 50 % des organismes testés.

CE50 (Concentration Effective 50) : Concentration provoquant un effet biologique chez 50 % des organismes.

NOEC (No Observed Effect Concentration) : Concentration sans effet observable.

LOEC (Lowest Observed Effect Concentration) : Plus faible concentration provoquant un effet significatif.

7. Niveaux d'organisation biologique en écotoxicologie

En écotoxicologie, les effets des contaminants sont analysés à travers différents niveaux d'organisation biologique, allant des structures moléculaires aux écosystèmes entiers. Cette approche hiérarchique permet de comprendre comment un effet initial à petite échelle peut se propager et entraîner des conséquences écologiques à grande échelle (Newman, 2015 ; Walker et al., 2012).

7.1. Niveau moléculaire et biochimique

Ce niveau correspond aux interactions directes entre le contaminant et les macromolécules biologiques (ADN, protéines, enzymes, lipides). Les effets observés incluent l'inhibition enzymatique, le stress oxydatif, les dommages à l'ADN (génétoxicité) et les perturbations hormonales (Hayes, 2014). Ces réponses précoces sont souvent utilisées comme **biomarqueurs d'exposition**.

7.2. Niveau cellulaire

À l'échelle cellulaire, les toxiques peuvent provoquer des altérations des membranes, des dysfonctionnements mitochondriaux, des perturbations du cycle cellulaire ou l'induction de mécanismes de défense tels que la

synthèse de métallothionéines (Newman, 2015). Ces réponses conditionnent la survie et le fonctionnement des tissus.

7.3. Niveau tissulaire et organique

Les effets toxiques peuvent se traduire par des lésions histologiques et des dysfonctionnements d'organes spécifiques (foie, reins, glandes digestives, gonades). Chez les invertébrés, notamment les gastéropodes, la glande digestive est un organe clé pour l'accumulation et la détoxification des métaux lourds (Barker, 2001).

7.4. Niveau individuel

À ce niveau, les effets s'expriment sous forme de réduction de la croissance, de la fécondité, de la survie ou de modifications du comportement. Les effets sublétaux observés chez l'individu constituent un lien essentiel entre les réponses physiologiques et les conséquences écologiques plus larges (Forbes & Calow, 2002).

7.5. Niveau populationnel (population)

Les effets individuels cumulés peuvent entraîner des changements dans la taille, la structure d'âge, la densité ou la dynamique des populations. Une baisse du succès reproducteur ou une mortalité accrue peut conduire à un déclin populationnel, même en l'absence de mortalité massive immédiate (Suter, 2007).

7.6. Niveau communautaire

À l'échelle de la communauté, la contamination peut modifier la composition spécifique, la diversité et les interactions biologiques (compétition, prédation). Certaines espèces sensibles disparaissent, tandis que des espèces tolérantes deviennent dominantes, entraînant une simplification de la structure communautaire (Walker et al., 2012).

7.7. Niveau écosystémique

Au niveau le plus intégré, les contaminants peuvent affecter les flux d'énergie, les cycles biogéochimiques et le fonctionnement global des écosystèmes. Les altérations de la biodiversité et des processus écologiques compromettent la stabilité et la résilience des systèmes naturels (Odum, 2004).

L'analyse des niveaux d'organisation biologique permet d'établir un lien causal entre l'exposition aux contaminants et les impacts écologiques observés. En écotoxicologie, cette approche intégrée est essentielle pour l'évaluation du risque écologique et la mise en place de stratégies de gestion environnementale efficaces.

8. Risque écotoxicologique

Risque écotoxicologique : Probabilité qu'un polluant cause un effet néfaste dans un environnement donné.

Évaluation du risque : Démarche intégrant l'exposition, la toxicité et la sensibilité des organismes.

Gestion du risque : Mise en place de mesures pour réduire ou prévenir les impacts environnementaux

Stress oxydatif : est un déséquilibre entre la production d'espèces réactives de l'oxygène (ERO) et la capacité des systèmes antioxydants de l'organisme à les neutraliser, entraînant des dommages aux lipides, aux protéines et à l'ADN.

Espèces réactives de l'oxygène (ERO) : sont des molécules ou radicaux dérivés de l'oxygène, très réactifs, produits naturellement lors du métabolisme cellulaire (notamment la respiration mitochondriale) ou en réponse à des stress environnementaux. À forte concentration, elles peuvent endommager les lipides, les protéines et l'ADN.