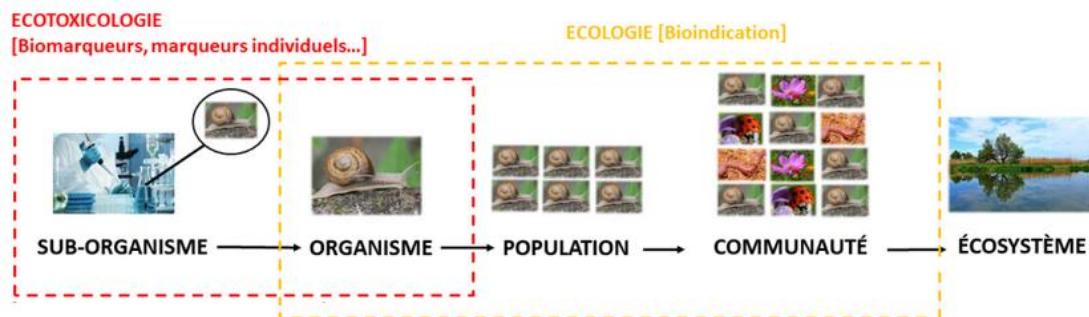


Chapitre 3. Répercussion de la pollution sur les écosystèmes

La pollution peut être responsable d'effets toxiques aigus ou chroniques pour les écosystèmes. La surveillance de la qualité d'un écosystème peut s'appliquer à différentes échelles, comme illustré dans le schéma ci-après.



3.1. Impact sur l'organisme

Les contaminants chimiques peuvent être responsables de plusieurs effets physiotoxicologiques qui sont des modifications du fonctionnement des organes, des tissus, des cellules et des composants cellulaires chez les organismes exposés. De nombreux biomarqueurs de physiotoxicité sont souvent utilisés pour détecter l'exposition présente ou passée des organismes à des contaminants. Ils sont nombreux, car le mode d'action et les cibles des contaminants chimiques sont très diversifiés.

3.2. Impact sur une population

Une pollution provoque généralement, plus ou moins brutalement, la mort d'un certain nombre d'individus des populations sensibles. Cependant, ces populations ne seront pas forcément décimées. En effet, il est fréquent que tous les individus d'une population n'expriment pas toutes leurs capacités, en particulier reproductrices, en raison d'un effet de masse et de phénomène de compétition intraspécifique. Il peut donc y avoir une réponse au polluant par augmentation du taux de survie ou du taux de reproduction chez les individus dont les performances n'auront pas été altérées.

Il peut alors se manifester une action sélective sur les individus, aboutissant à la sélection d'un phénotype particulier.

C'est l'exemple classique du *mélanisme industriel* sur la phalène du bouleau : le développement industriel a facilité la disparition des papillons de teinte claire, car ils étaient plus facilement visibles par leurs prédateurs sur les troncs et branches noircis par la fumée. Les insectes de couleur sombre se sont en revanche multipliés et les populations de phalènes n'ont finalement plus compté que des papillons foncés.

Les effets à moyen ou long terme conduisent souvent à une baisse de croissance des populations les plus sensibles, en raison de perturbation de la fécondité ou de la fertilité et de l'augmentation de la mortalité juvénile.

Les populations à fort degré d'*hétérogénéité démographique ou génétique* résistent beaucoup mieux à la pollution que les populations homogènes.

Outre ces effets toxiques **physiologiques**, on redoute également de la part des polluants, des effets **génotoxiques** (mutations, adduits à l'ADN, lésions chromosomiques...) pouvant conduire à une altération du matériel génétique de la population.

3.3. Impact sur une communauté

L'effet toxique direct sur une ou plusieurs populations peut avoir des répercussions directes sur toute la biocénose, en raison des interactions multiples entre les espèces.

La pollution peut ainsi entraîner :

* **une modification de la pression alimentaire sur les producteurs** : le plus souvent par augmentation de la sensibilité des végétaux aux consommateurs primaires. Ainsi, par exemple, les insectes attaquent plus facilement les plantes exposées au dioxyde soufre (SO_2); la pollution atmosphérique peut donc favoriser la pullulation des ravageurs.

* **une réduction de la biodiversité** : l'élimination directe des espèces les plus sensibles entraîne la disparition de leurs prédateurs. Si les prédateurs sont touchés d'abord, il s'ensuivra une pullulation des espèces proies.

* **un effet sur les successions végétales ou animales** : l'exposition permanente à un polluant toxique maintiendra la communauté à un stade juvénile et non climacique, où seules les espèces les plus tolérantes pourront survivre.

* **un effet sur la dominance** : les espèces spécialisées sur le plan alimentaire sont plus affectées que les généralistes

* **une perturbation de la décomposition des matières organiques et du cycle des éléments** : par action directe sur les bactéries et les invertébrés saprophages.

L'impact sur la biocénose peut se caractériser du point de vue numérique et du point de vue fonctionnel :

* **caractérisation numérique** : indice d'abondance et de fréquence des espèces
Mais ces indices ne reflètent pas le fonctionnement.

* **caractérisation fonctionnelle** : étude des modifications des relations intra et interspécifiques : compétition-prédation-coopération. Etude de la constance et de la dominance.

3.4. Indicateurs biologiques pour une évaluation de l'état écologique global d'un milieu

3.4.1. Les bioindicateurs

La bioindication s'intéresse préférentiellement aux échelles supra-individuelles, c'est-à-dire aux populations (organismes d'une même espèce) et aux communautés (assemblage d'organismes de plusieurs espèces). Elle fait appel à des bioindicateurs, espèces ou groupe d'espèces dont les caractéristiques observées (occurrence, abondance, biomasse, comportement, etc.) fournissent une indication sur le niveau de dégradation d'un milieu. Les scientifiques désignent parfois ces **espèces bioindicatrices** sous le terme d'**espèces sentinelles**.

- **Les caractéristiques des espèces bio-indicatrices (ou sentinelles) doivent être les suivantes:**
- présenter une corrélation entre la teneur du polluant et la concentration moyenne dans le biotope (eau, sédiments) ou dans l'alimentation;
- être sédentaire de façon à être sûr que les concentrations trouvées soient liées au site géographique d'où elle a été prélevée;
- être abondante dans l'ensemble de la zone étudiée et si possible avoir une distribution biogéographique étendue afin de favoriser les comparaisons entre zones distinctes;
- permettre un échantillonnage sur plusieurs classes d'âge si nécessaire, pour permettre l'obtention d'une indication de l'accumulation des polluants à long terme;
- être de taille suffisante pour fournir des tissus en quantité suffisante pour les analyses;
- être facile à échantillonner et suffisamment résistantes pour être utilisées dans des expériences en laboratoire.

Parmi les plus utilisées, on peut citer le gammar (petit crustacé d'eau douce), la moule (eau de mer), le lichen (air) et diverses espèces de vers de terre (sol).

3.4.2. Les biomarqueurs

Sont des changements observables et/ou mesurables au niveau moléculaire, biochimique, cellulaire, physiologique ou comportemental, qui révèlent l'exposition présente ou passée d'un individu à au moins une substance chimique à caractère polluant.

Les biomarqueurs sont réputés comme des indicateurs précoce. Tels une « sonnette d'alarme », ils peuvent permettre de détecter une pollution avant que les effets dommageables pour les populations et communautés ne soient à l'œuvre.

- **Catégories et exemples de biomarqueurs**

Les biomarqueurs peuvent être mesurés à trois échelles:

1. l'échelle **moléculaire et cellulaire** : pour une réponse sensible et rapide (alarme) ;
2. l'échelle **tissulaire** : pour une évaluation des dommages aux organes (histologie) ;
3. l'échelle de **l'organisme entier** : pour une évaluation du potentiel de survie, des performances de reproduction, etc. On désigne parfois ces indicateurs sous le terme de « marqueurs individuels ».

On distingue classiquement deux grandes catégories de biomarqueurs :

- ✓ **Les biomarqueurs d'exposition** : signent l'activation de mécanismes de régulation, d'adaptation et de défense face à un polluant. Ils indiquent si le polluant a pénétré dans

l'organisme et sont particulièrement utiles si les contaminants sont instables et difficiles à rechercher par analyse chimique.

- **L'activité enzymatique EROD (Ethoxy résorcyline-o-dééthylase)** est, chez certains poissons notamment, un bon exemple de biomarqueur d'exposition aux HAP, PCB et dioxines. Celle-ci se déclenche lors de la biotransformation des contaminants par l'organisme, mise en œuvre pour les « détoxifier ». Une activité EROD élevée peut donc être le signe d'une pénétration de ces polluants dans les poissons.
- **Les marqueurs du stress oxydatif** : le stress oxydatif est le résultat d'un déséquilibre entre les radicaux libres et les antioxydants au sein d'un organisme. Une production excessive de radicaux libres au cours d'un stress oxydatif est très nocive pour les cellules et conduit à la destruction de protéines, d'acide gras mais aussi de l'ADN. Pour compenser cet impact négatif les cellules produisent des antioxydants qui sont des molécules limitant la formation des radicaux libres et protègent les cellules de la dégénérescence.
Le dosage de certains marqueurs comme la glutathion-S-transférase (GST), la catalase ou la superoxyde dismutase (SOD) qui interviennent dans les processus anti-oxydants va donc permettre de détecter si les organismes sont exposés à des contaminants chimiques.
- **Les métallothionéines** sont des protéines qui régulent l'homéostasie des métaux essentiels (cuivre, zinc, etc.) et qui assurent la détoxication des métaux non essentiels (cadmium, plomb, etc.). Leur dosage est employé comme marqueurs d'exposition des organismes aux métaux lourds.

✓ **Les biomarqueurs d'effet** : diagnostiquent un dépassement des capacités de régulation de l'organisme et constituent un signal d'alerte d'apparition de perturbations du fonctionnement de l'organisme, voire de sa population : ils traduisent les conséquences physio-pathologiques de l'exposition à un polluant. Parmi ces biomarqueurs d'effet, on peut citer :

- **l'acétylcholinestérase (AChE)**, enzyme impliquée dans la transmission de l'influx nerveux, qui renseigne sur les effets neurotoxiques (= toxiques pour le système nerveux) d'une pollution.
- **le taux de cassure des brins d'ADN**, révélateur des effets génotoxiques de contaminants.
- Un des principaux moyens de défense face à la contamination chimique est la dégradation des substances toxiques par les enzymes lysosomales. Cependant, lors d'un stress chimique, l'entrée de molécules toxiques dans la cellule va déstabiliser les lysosomes et leurs membranes vont être altérées ; les enzymes contenus dans les lysosomes vont alors être libérées dans le cytoplasme et dégrader les différents constituants cellulaires, ce qui peut conduire à la mort cellulaire. Le degré d'altération de la membrane lysosomale peut donc être utilisé comme biomarqueur de la contamination chimique.