

# cours d'écotoxicologie appliquée - chapitre II-



DR MOUSSOUNI LOTFI

UNIVERSITÉ DJILALI  
BOUNAAMA KHEMIS  
MILIANA

FACULTÉ DES SCIENCES  
DE LA NATURE ET DE LA  
VIE ET SCIENCES DE LA  
TERRE

DÉPARTEMENT ÉCOLOGIE  
ET ENVIRONNEMENT

E M A I L : I.

moussouni@univdbkm.dz

3.7.0.02

Mai 2022

# Table des matières

<b>Objectifs</b>	<b>4</b>
<b>I - Carte conceptuelle</b>	<b>5</b>
<b>II - fiche contact</b>	<b>6</b>
<b>III - Exercice : Test des prérequis</b>	<b>7</b>
<b>IV - chapitre II : Écotoxicologie des milieux aquatiques et terrestres</b>	<b>8</b>
1. Tests de toxicité in vivo des milieux aquatiques .....	9
1.1. Essai de mobilité des daphnies ( <i>Daphnia magna</i> ) .....	9
1.2. Test microtox .....	9
1.3. Test de survie des poissons .....	10
1.4. Essai de reproduction des daphnies .....	10
1.5. Test d'algues .....	11
2. La génotoxicité chez les poissons .....	11
3. Impact des eaux résiduaires sur le milieu aquatique .....	12
3.1. Les mortalités liées aux altérations de la physico-chimie .....	12
3.2. L'eutrophisation des milieux .....	12
3.3. Des effets toxiques sur les êtres vivants .....	13
3.4. La contamination microbiologique des êtres vivants .....	14
3.5. Impact des perturbateurs endocriniens sur les écosystèmes aquatiques .....	14
4. Qualité écologique des milieux aquatiques .....	15
4.1. La qualité biologique d'un milieu aquatique, qu'est-ce que c'est ? .....	15
4.2. Pourquoi suivre la qualité biologique d'un milieu aquatique .....	15
4.3. Comment fait-on ? .....	15
5. Tests de toxicité in vivo terrestres .....	15
5.1. Test vers de terre .....	15
5.2. Tests végétaux .....	16
5.3. Tests de génotoxicité / cancérogénicité .....	17
6. Biodisponibilité et accumulation des métaux dans les sols / transfert vers les eaux .....	18
6.1. Biodisponibilité et accumulation des métaux dans les sols .....	18
6.2. Transfert des métaux sols/milieu aquatique .....	19

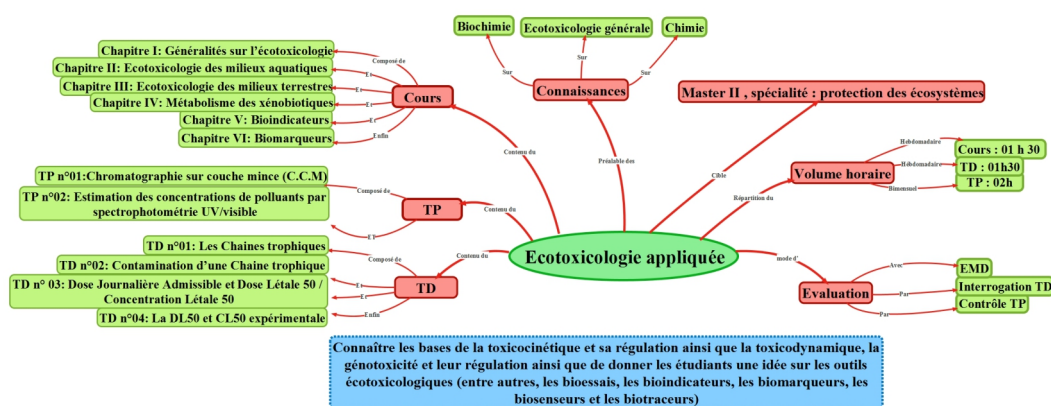
<b>V - Tests d'acquisition : chapitre II</b>	<b>20</b>
<b>Solutions des exercices</b>	<b>21</b>
<b>Glossaire</b>	<b>23</b>
<b>Abréviations</b>	<b>24</b>
<b>Références</b>	<b>25</b>
<b>Webographie</b>	<b>30</b>
<b>Index</b>	<b>31</b>
<b>Crédits des ressources</b>	<b>32</b>

# Objectifs

Le chapitre « Écotoxicologie des milieux aquatiques et terrestres » vise à :

- **Choisir** la méthode d'analyse adéquate pour chaque polluant ou milieu étudiés
- **Interpréter** des études de toxicités des différents milieux
- **Rechercher** les modalités de transferts des polluants sols/eaux
- **Édifier** les origines et les impacts des polluants sur le milieu aquatique
- **Évaluer** la toxicité des milieu aquatiques et terrestres

# I Carte conceptuelle



CC mentale

## II fiche contact

Faculté : Sciences de la nature et de la vie et sciences de la terre.

Département : Ecologie et environnement.

Public cible : 2eme année Master, spécialité protection des écosystèmes.

Intitulé du cours : Ecotoxicologie appliquée

Crédit : 06

Coefficient : 03

Durée : 15 semaines

Horaire : mercredi : 08h30-12h30 TP ; 13h00-14h30 cours ; 14h30-15h30 TD

Salle : 58b

Enseignant : Cours, TD et TP : Dr. MOUSSOUNI LOTFI

Contact : par mail : l.moussouni@univ-dbkm.dz

Disponibilité : salle des profs : lundi, mardi et mercredi

Par mail : Tous message envoyer doit être en relation avec le cours ou problème administrative en relation avec le cours (justifier absence TP et TD...). Je réponds généralement dans les 24h00 qui suit la réception du message.

Au téléphone : Uniquement pour le chef de section.

# III Exercice : Test des prérequis

Exercice

[solution n°1 p.21]

---

La science qui étudie les [ ] de contamination de l' [ ] par des agents polluants [ ] ou [ ] produits par l' [ ]. Elle étudie également leur [ ] d'action et de leurs [ ] sur l'ensemble des êtres vivants qui peuplent la biosphère.

Exercice

[solution n°2 p.21]

---

un polluant désigne un agent physique, chimique ou biologique qui provoque une gêne ou une nuisance dans le milieu liquide ou gazeux. Au sens large, le terme désigne des agents qui sont à l'origine d'une altération des qualités du milieu, même s'ils y sont présents à des niveaux inférieurs au seuil de nocivité.

- vrais
- faux

# IV chapitre II :

## Écotoxicologie des milieux aquatiques et terrestres



# 1. Tests de toxicité in vivo des milieux aquatiques

## 1.1. Essai de mobilité des daphnies (*Daphnia magna*)

Les tests utilisant des daphnies\* sont les plus utilisés en écotoxicologie, du fait notamment, de leur facilité d'utilisation.

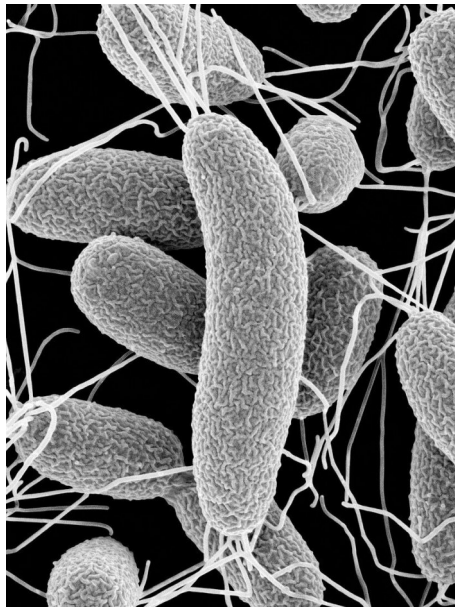
Ce test a pour objectif d'évaluer la **toxicité aiguë** du produit testé pour la **faune aquatique** (micro-crustacés). Ce test permet de déterminer la concentration du produit testé qui, en 24 h, immobilise 50 % des daphnies (*Daphnia magna*) mises en expérimentation (concentration efficace initiale inhibitrice, CE 50i - 24 h) (Forbes et al., 2006)\*.



*Daphnies (Daphnia magna)*

## 1.2. Test microtox

Il permet d'évaluer la toxicité aiguë d'un ou de plusieurs produits vis-à-vis des bactéries (*Vibrio fischeri*\*) , la bactérie marine utilisée dans ce test, émet naturellement des photons (= lumière). En présence de toxiques, son métabolisme (=ensemble des dépenses énergétiques) est affecté, ce qui se traduit par une chute de sa luminescence (émission lumineuse). En utilisant cette propriété, ce test permet donc de déterminer la concentration du produit testé qui diminue de 50 % le métabolisme de la bactérie étudiée (CI 50)(Forbes et al., 2006)\*.



*Vibrio fischeri*

### 1.3. Test de survie des poissons

Ce test vise à évaluer la toxicité aiguë de produits sur une espèce de poisson d'eau douce (le poisson zèbre\* *Danio rerio*) à différents stades de son développement. Ainsi, les concentrations en polluants induisant une mortalité de 50 % des individus (CL50) peuvent être déterminées pour les poissons adultes mais aussi pour les œufs de poissons (Forbes et al., 2006)\*.



*Le poisson zèbre (Danio rerio)*

### 1.4. Essai de reproduction des daphnies

Ce test évalue la toxicité chronique (à long terme) du produit testé pour la faune aquatique (micro-crustacés). Il consiste à mesurer la reproduction (nombres de jeunes produits) de daphnies exposées à différentes concentrations d'un composé après 21 jours d'expérimentation. Comme l'ensemble des essais de toxicité chronique, ce test s'intéresse en particulier à la NOEC (No Observed Effect Concentration) et à la LOEC (Lowest Observed Effect Concentration) :

La NOEC : dans ce test, c'est la plus forte concentration testée où la reproduction des daphnies n'est pas différente de celle des témoins

La LOEC : dans ce test, c'est la plus faible concentration testée où la reproduction des daphnies est statistiquement différente de celle des témoins (Forbes et al., 2006) \*.

## 1.5. Test d'algues

Ce test vise à évaluer la toxicité chronique du produit testé pour la flore aquatique. Il consiste à mesurer la croissance (sous microscope) de l'algue d'eau douce *Pseudokirchneriella subcapitata* après 72h d'exposition au produit ou au prélèvement d'eau testé : certains composés auront pour effet d'inhiber la croissance de l'algue, révélant ainsi leur toxicité vis à vis des végétaux aquatiques (Forbes et al., 2006) \*.



*Pseudokirchneriella subcapitata*

## 2. La génotoxicité chez les poissons

La génotoxicité (toxicité génétique) désigne l'aptitude de certains agents physiques (rayonnements ionisants, conditions du milieu comme la température) et chimiques à provoquer des dommages sur l'ADN des cellules.

Si ces dommages ne sont pas ou mal réparés, ils sont susceptibles de conduire à des mutations définitives après réplication de l'ADN. Ces mutations sont alors inscrites dans le patrimoine génétique et transmises ensuite aux cellules filles lors de la division cellulaire.

Ainsi, un agent dit « mutagène » peut avoir un impact observable sur la survie de l'individu (phénomène de cancérisation), mais également sur la viabilité des générations suivantes issues de cet individu, si c'est le matériel génétique des cellules en charge de la reproduction (cellules germinales) qui subit des altérations.

De fait, l'étude de la génotoxicité est un enjeu pour comprendre les troubles de la reproduction chez les espèces aquatiques. En effet, les perturbateurs endocriniens ne sont pas la seule explication des dérèglements de la descendance observés dans les milieux : l'existence d'une contamination génotoxique qui affecte les cellules germinales peut expliquer les perturbations de la structure des populations piscicoles, voire le déclin de certaines espèces.

Ce travail de recherche a porté plus précisément sur l'évaluation du lien pouvant exister entre les effets d'une substance mutagène observés au niveau des cellules et les perturbations de la reproduction observées au niveau des individus (Ares, 2003)\*.

### 3. Impact des eaux résiduaires sur le milieu aquatique

Les conséquences de la pollution des milieux aquatiques sont multiples. Elles conduisent à des mortalités massives d'espèces, mais elles ont aussi des effets moins visibles : une eutrophisation des milieux, des effets toxiques à plus ou moins long terme, des maladies ou des perturbations endocriniennes.

#### 3.1. Les mortalités liées aux altérations de la physico-chimie

Les *altérations physico-chimiques* sont des *modifications des caractéristiques des milieux*, comme la salinité, l'acidité ou la température de l'eau. Passé un certain seuil, ces modifications deviennent toxiques pour les organismes vivant dans le milieu.

Parmi tous les paramètres qui constituent la physico-chimie, l'oxygène est particulièrement déterminant pour la faune et la flore. Une quantité d'oxygène dissous trop faible pour assurer la vie des êtres vivants est qualifiée d'hypoxie. L'anoxie est le stade ultime, où il n'y a plus d'oxygène dissous dans l'eau. Les épisodes d'hypoxie peuvent être la conséquence d'un apport trop important de matières organiques (en savoir plus sur les matières organiques). Celles-ci sont dégradées par les bactéries du milieu, qui consomment l'oxygène dissous dans l'eau lors de ce processus. Toutefois, l'hypoxie peut avoir d'autres origines : augmentation de la température de l'eau (l'oxygène étant moins soluble dans l'eau chaude), stagnation de l'eau, rejet d'eau désoxygénée, eutrophisation etc. (Clémentine et al., 2013)\*.

Les phénomènes d'hypoxie\* et d'anoxie\* ont de lourds impacts sur la biodiversité, essentiellement du fait des épisodes de mortalités qu'ils provoquent. Les poissons sont particulièrement touchés, mais globalement tous les animaux et les plantes pâtissent d'un manque d'oxygène.(Clémentine et al., 2013)\*.

De nombreux autres paramètres physico-chimiques sont déterminants : par exemple, de nombreux organismes d'eau douce (poissons, amphibiens, etc.) ne sont pas capables de survivre à une salinité supérieure à 3 grammes de sel par litre d'eau.(Clémentine et al., 2013)\*.

Tous les usages de l'eau et des milieux qui dépendent du vivant peuvent être impactés par les altérations physico-chimiques si elles conduisent à des mortalités : la pisciculture, la conchyliculture, la pêche professionnelle comme la pêche de loisir, etc.(Clémentine et al., 2013)\*.

#### 3.2. L'eutrophisation des milieux

L'*eutrophisation* est l'ensemble des *symptômes* que présente un *écosystème aquatique* à la suite d'un *apport excessif de nutriments* - en particulier le phosphore et l'azote - d'origine humaine (en savoir plus sur l'azote et le phosphore). L'apport de substances qui contiennent ces nutriments - comme par exemple les nitrates et les

phosphates - stimule fortement la croissance des organismes végétaux, entraînant le développement soudain de plantes ou d'algues, qualifié de "prolifération végétale". Ce phénomène est accentué par les températures élevées, l'abondance de lumière et le faible renouvellement de l'eau (Newman M.C. et Unger M.A., 2003).<sup>\*\*</sup>

Les proliférations végétales impactent les milieux et leur biodiversité. Elles entraînent une augmentation de la consommation d'oxygène, notamment la nuit (par la respiration des végétaux) ou lorsque des grands volumes de plantes se décomposent. Des mortalités soudaines d'organismes vivants peuvent alors se produire à cause d'un manque d'oxygène (Newman M.C. et Unger M.A., 2003).<sup>\*</sup>

L'eutrophisation peut aussi avoir des conséquences sur la santé : certaines espèces d'algues proliférantes produisent des toxines dangereuses, et peuvent par exemple nécessiter l'interdiction de la baignade en cas de prolifération (cas des cyanobactéries). De plus, la décomposition de volumes importants de plantes mortes produit des gaz toxiques : c'est un phénomène régulièrement observé sur les plages des eaux côtières victimes de l'eutrophisation (cas des algues vertes)(Newman M.C. et Unger M.A., 2003).<sup>\*</sup>

Enfin, ce phénomène peut impacter de nombreux autres usages : les proliférations végétales peuvent rendre impossible l'accès aux milieux, contraignant la pratique de la navigation par exemple. Elles peuvent obstruer le matériel utilisé pour les prélèvements d'eau. Les risques toxiques liées aux proliférations peuvent aussi impacter la pisciculture ou l'élevage, lorsqu'ils provoquent des mortalités d'animaux (Newman M.C. et Unger M.A., 2003).<sup>\*</sup>

### 3.3. Des effets toxiques sur les êtres vivants

À partir d'une certaine dose, les substances polluantes ont un effet toxique sur les êtres vivants. Cela signifie que, lorsqu'elles pénètrent dans l'organisme (essentiellement par ingestion, mais parfois par respiration), elles sont néfastes à sa survie ou sa santé. Une distinction est faite entre la toxicité aiguë et la toxicité chronique (Walker et al., 2001).<sup>\*\*</sup>

La toxicité aiguë est la réaction soudaine de l'organisme à une quantité importante d'une substance toxique. Elle peut entraîner la mortalité partielle ou totale des différents êtres vivants dans le milieu pollué. Parfois, elle ne provoque pas de mortalité mais réduit fortement la capacité des organismes à survivre à une autre perturbation(Walker et al., 2001).

La toxicité chronique est la réaction d'un organisme exposé sur une longue période à de petites quantités de substances polluantes. Elle fait suite à la présence régulière (voire permanente) de ces substances en faible concentration dans l'eau. Elle peut provoquer des maladies, des déficiences physiologiques (le dysfonctionnement d'un organe par exemple), mais peut aussi affecter la reproduction (Walker et al., 2001).<sup>\*\*</sup>

En outre, certains polluants ne sont pas biodégradables et s'accumulent tout au long de la chaîne alimentaire. Pour ces substances, même si elles se trouvent en petites quantités dans le milieu, sans conséquences sur les organismes, des effets toxiques peuvent s'observer chez les espèces prédatrices situées en haut de la chaîne alimentaire (Walker et al., 2001).<sup>\*</sup>

La santé humaine peut ainsi être menacée en cas d'ingestion d'eau polluée. Toutefois, les traitements de potabilisation visent à éviter ce risque, en éliminant les substances toxiques de l'eau potable. Si la pollution de l'eau est trop forte, il est néanmoins parfois impossible de respecter les normes de potabilisation en dépit des traitements : l'eau ne peut alors pas être distribuée (en savoir plus sur l'eau potable) (Walker et al., 2001).<sup>\*</sup>

Le risque pour les êtres humains peut ainsi provenir de la consommation d'organismes aquatiques ayant été au contact de l'eau - poissons, mollusques, crustacés, etc. - car susceptibles d'accumuler les polluants dans leurs tissus \* .

Des contrôles existent avant la commercialisation des produits pour éviter les risques : lorsqu'une pollution est avérée, la vente des produits est interdite. La santé est protégée, mais les activités économiques - la conchyliculture, la pisciculture, la pêche professionnelle - sont fortement impactées \*

Dans le cas de la pêche de loisir, il n'y a pas de commercialisation, donc pas de contrôle : c'est au pêcheur lui-même de s'informer sur les risques éventuels dans les secteurs où il pêche (Walker et al., 2001). \*\*

### **3.4. La contamination microbiologique des êtres vivants**

Une contamination microbiologique correspond à la présence dans l'eau de bactéries, de parasites ou de virus pathogènes, c'est-à-dire capables de provoquer des maladies. Essentiellement d'origine fécale, leur présence dans l'eau est principalement liée au rejet d'eaux usées insuffisamment épurées dans le milieu. D'autres types de microbes peuvent aussi être transmis par la présence de cadavres d'animaux - dans un ruisseau par exemple. Dans les milieux stagnants, comme les plans d'eau, existent aussi des cyanobactéries : ces algues microscopiques ne transmettent pas de maladies, mais elles peuvent produire des toxines potentiellement mortelles (Forbes et Forbes, 1997) \* \*\*

Les organismes pathogènes transmis par l'eau provoquent généralement des diarrhées et des gastro-entérites, mais parfois des maladies dangereuses comme le choléra ou la salmonellose. La transmission à l'homme se fait par ingestion (lors de l'alimentation ou d'une baignade) ou à travers des blessures de la peau en contact avec de l'eau contaminée. Elle peut aussi intervenir en cas de consommation de coquillages - comme les moules ou les huîtres - qui concentrent les micro-organismes dans leur chair. La surveillance de la qualité de l'eau destinée à l'alimentation en eau potable ou à la baignade permet heureusement de limiter fortement les transmissions à l'homme (Forbes et Forbes, 1997). \*\*

Les impacts des contaminations microbiologiques sont surtout économiques : interdiction de la baignade en secteur touristique, interdiction de commercialisation de fruits de mer, interdiction de la pêche à pied, coûts supplémentaires de potabilisation, etc. (Forbes et Forbes, 1997) \* \*

### **3.5. Impact des perturbateurs endocriniens sur les écosystèmes aquatiques**

Certaines substances sont capables d'interagir avec le système hormonal, en particulier les fonctions reproductrices ou le métabolisme. En effet, leur structure moléculaire est suffisamment proche de certaines hormones naturelles - la testostérone par exemple - pour perturber le fonctionnement naturel du système hormonal. Ainsi, l'effet de ces polluants n'est pas directement toxique mais provoque des modifications d'ordre physiologique, appelées perturbations endocriniennes. Par ailleurs, ces substances peuvent avoir un effet même à de très faibles doses, comme les micro-polluants. Elles sont susceptibles d'avoir des effets différents, ou renforcés, lorsqu'elles sont en mélange (Newman et Unger, 2003) \* \*

Dans la mesure où les systèmes hormonaux existent chez les animaux comme chez les végétaux, les perturbations endocriniennes peuvent affecter toute la biodiversité des milieux. Les conséquences peuvent être très variées, mais conduisent globalement à un déclin des populations. Par exemple, le tributylétain (biocide contenu dans les peintures des coques de bateaux) a été interdit parce qu'il provoque chez certains mollusques une masculinisation des femelles (croissance des organes reproducteurs mâles), les rendant stériles (Newman et Unger, 2003) \*\*

Les traitements de potabilisation de l'eau visent à éliminer les substances polluantes contenues dans l'eau, afin de protéger la santé des personnes (Newman et Unger, 2003) <sup>\*\*</sup>.

## 4. Qualité écologique des milieux aquatiques

### 4.1. La qualité biologique d'un milieu aquatique, qu'est-ce que c'est ?

L'ensemble des organismes vivants peuplant un milieu aquatique constitue la biodiversité (du milieu) et est l'expression des facteurs écologiques qui caractérisent ce milieu. L'analyse de la composition faunistique et floristique permet donc une évaluation de l'état du milieu, toute perturbation provoquant des modifications plus ou moins marquées des communautés vivantes qu'il héberge (Ramade, 1992) <sup>\*</sup>.

### 4.2. Pourquoi suivre la qualité biologique d'un milieu aquatique

L'utilisation de variables biologiques s'est progressivement imposée comme moyen d'apprécier la qualité des eaux et des systèmes aquatiques, car elles présentent un certain nombre d'avantages et de complémentarités par rapport aux variables physico-chimiques. En raison du double caractère intégrateur des organismes étudiés, intégration dans le temps et intégration des éléments perturbateurs, l'étude des populations permet de diagnostiquer une pollution de l'eau ou une dégradation de l'habitat à un coût acceptable. Les variables biologiques permettent de caractériser les perturbations par leurs effets et non par leurs causes (Ramade, 1992) <sup>\*</sup>.

### 4.3. Comment fait-on ?

Des organismes aquatiques sont prélevés dans les cours d'eau, au niveau des substrats constituant le fond de la rivière et sont ensuite identifiés, selon des protocoles très précis. Trois compartiments sont étudiés :

- les macro-invertébrés
- les diatomées benthiques (algues microscopiques fixées au substrat)
- les macrophytes (les algues et plantes aquatiques visibles à l'œil nu) (Rainbow, 1995) <sup>\*\*</sup>.

## 5. Tests de toxicité in vivo terrestres

Différents tests permettent d'évaluer la toxicité de polluants sur les organismes terrestres tels que les animaux vivant dans le sol (vers de terre, collemboles, etc.) ou les végétaux (Forbes et al., 2006) <sup>\*</sup>.

### 5.1. Test vers de terre

Il existe deux tests vers de terre : l'un évalue la toxicité aiguë (court terme) et l'autre la toxicité chronique (long terme). Pour le premier, on évaluera la mortalité de vers de terre exposés, pendant 14 jours, à un sol pollué : on déterminera la concentration létale pour 50 % des individus (CL50). Pour le second, on déterminera les effets à long terme (4 à 8 semaines) de polluants sur la reproduction des organismes : on s'intéressera à la concentration sans effet sur la reproduction (NOEC). Pour ces deux tests, on utilisera l'espèce de vers de terre *Eisenia fetida* (Forbes et al., 2006) <sup>\*</sup>.



*Eisenia fetida*

## 5.2. Tests végétaux

Différents tests permettent d'évaluer la toxicité de polluants présents dans le sol sur la germination, la croissance ou l'élongation racinaire de végétaux (Forbes et al., 2006)\*.

### 5.2.1. Inhibition de croissance racinaire

Le premier volet de la norme ISO 11269 décrit une méthode visant à évaluer la qualité d'un sol d'origine naturel. Le test peut également être appliqué aux matières constitutives des sols (sables, argiles...) ou aux substances chimiques. Le principe de l'essai consiste à exposer des semences à un toxique et de déterminer son impact sur la croissance racinaire. En pratique les semences utilisées sont pré-germées avant d'être mises en contact avec un substrat contaminé. A l'issue du test la longueur des racines est mesurée et comparée à un témoin négatif. L'orge (*Hordeum Vulgare* L.) est recommandée par l'ISO. Toutefois ce test peut être appliqué à d'autres végétaux à condition qu'ils présentent des capacités de germination et d'allongement racinaire comparables. Un point important de ce test est la période de croissance choisie. Si l'orge est choisie comme végétal d'essai, cette période est fixée à 5 jours. Dans le cas de l'utilisation d'une autre plante, la période de croissance doit correspondre au temps nécessaire pour que la longueur des racines ne dépasse pas 80 % de la profondeur du sol dans les pots d'essai (Forbes et al., 2006)\*.

### 5.2.2. Émergence et croissance de végétaux supérieurs

Le second volet de la norme ISO\* 11269 décrit une méthode visant à évaluer la qualité des sols ou à déterminer l'impact de substances chimiques, sur les phases de croissance précoces des végétaux supérieurs. En pratique ce test est réalisé sur au moins deux espèces de végétaux, une monocotylédone et une dicotylédone. Des semences sont placées en contact d'une quantité définie de sol dont l'humidité est maintenue constante durant la totalité de l'essai. Après émergence de 50 % des plantules dans les témoins négatifs et réduction à un même nombre de plantules par pot, les végétaux sont maintenus en croissance pour une période comprise entre 14 à 21 jours maximum. A l'issue de cette période les critères d'effet mesurés sont l'émergence des plantules, le poids sec et/ou le poids frais des pousses ainsi que l'évaluation des effets nocifs visibles sur les parties aériennes de la plante (Forbes et al., 2006)\*.

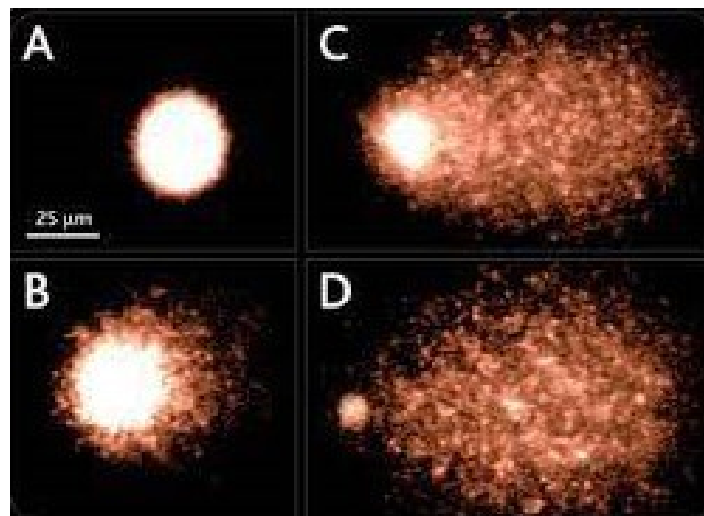


### 5.3. Tests de génotoxicité / cancérogénicité

Ces tests évaluent la toxicité de polluants sur l'ADN\* (génotoxicité) et leur faculté à induire un cancer chez un organisme (cancérogénicité) (Forbes et al., 2006)\*.

#### 5.3.1. Essai des comètes

L'essai des comètes permet de mesurer les cassures de l'ADN (molécule support de l'information génétique) induites par un polluant, qu'on appellera alors agent génotoxique. Après application d'une technique particulière appelée électrophorèse, les noyaux dont l'ADN a subi des cassures (dues à un polluant) prennent une forme de comète alors que les noyaux dont l'ADN n'est pas endommagé restent ronds (voir photographie ci-dessous) (Forbes et al., 2006)\*.



*Essai des comètes*

## 6. Biodisponibilité et accumulation des métaux dans les sols / transfert vers les eaux

### 6.1. Biodisponibilité et accumulation des métaux dans les sols

La *biodisponibilité* et l'*accumulation* des contaminants dans le sol sont les critères les plus pertinents pour évaluer la toxicité, déterminer les risques et établir un plan pour la réhabilitation des sites contenant des déchets dangereux. En plus, l'étude de la biodisponibilité permet une gestion plus efficace des sols contaminés, en réduisant le temps et les coûts de l'évaluation (Clémentine et al., 2011) <sup>\*</sup>.

L'absorption et l'accumulation des métaux par les organismes du sol sont des processus complexes qui varient selon les caractéristiques physico-chimiques et biologiques du sol, les concentrations de métaux bio-accessibles, les interactions entre les divers contaminants présents dans le sol et les conditions environnementales. De plus, des facteurs liés à l'organisme lui-même tels que l'espèce, l'âge, le stade de développement, sa capacité d'adaptation et la voie d'exposition pourraient influencer l'absorption des métaux (Clémentine et al., 2011) <sup>\*</sup>.

Chez les vers de terre, l'absorption des contaminants, dont les métaux, peut se faire par voie cutanée et par ingestion. La fraction du contaminant présente dans l'eau interstitielle est absorbée par voie dermique, alors que la fraction du contaminant adsorbée/désorbée et séquestrée dans le sol ou les composantes du sol est accessible par ingestion. Toutefois, la contamination par ingestion de sol est soumise aux effets des conditions gastro-intestinales (digestions enzymatiques, différence de pH, etc.). En outre, une étude récente a mentionné que chez les vers de terre, les contaminants hydrophiles pénètrent principalement à travers la peau, alors que les contaminants hydrophobes pénètrent via le tube digestif (Clémentine et al., 2011) <sup>\*</sup>.

Les plantes absorbent les métaux qui sont en solution autour de la zone racinaire via des systèmes d'absorption pour cations essentiels qui comprennent différents transporteurs métalliques. Des agents chélateurs sécrétés par les racines des plantes jouent un rôle très important dans l'absorption des ions métalliques (Clémentine et al., 2011) <sup>\*</sup>.

Une fois dans l'organisme, le contaminant peut être métabolisé et excrété, accumulé dans d'autres tissus, séquestré ou transporté dans l'organisme jusqu'aux sites d'action du toxique. Les vers de terre peuvent tolérer et accumuler des concentrations élevées de métaux. La capacité des vers de terre à tolérer et à accumuler des concentrations élevées de métaux est due à deux mécanismes intracellulaires. Le premier implique la rétention des métaux dans des granules de phosphate insolubles appelées chloragosomes <sup>\*</sup>. Le second fait intervenir des ligands riches en soufre capables de lier les métaux comme les métallothionéines (MTs). La mesure des doses corporelles critiques est souvent effectuée, pour évaluer les concentrations internes de métaux absorbés par les vers de terre. Ces doses corporelles critiques ont été définies par McCarty et al. (1993) comme étant des concentrations internes de contaminants qui sont associées à des indicateurs d'effets sous-létaux ou létaux. À différencier de la bioaccumulation qui est la mesure directe des concentrations des produits chimiques dans les tissus des organismes exposés après équilibre entre l'absorption et l'élimination. Selon certains auteurs, les doses corporelles critiques seraient les mesures les plus pertinentes pour refléter la toxicité des métaux chez des invertébrés terrestres et aquatiques. Les doses corporelles

critiques représenteraient davantage la biodisponibilité toxicologique tandis que la bioaccumulation serait considérée comme un intermédiaire entre la biodisponibilité environnementale et la biodisponibilité toxicologique. Ainsi, les doses corporelles critiques correspondent aux concentrations de contaminants au niveau des sites d'activité toxique quand les quantités de toxiques sont au-dessus du seuil de toxicité.

Cependant, elles incluent aussi les concentrations secrétées et/ou séquestrées qui sont considérées comme inactives de point de vue toxicologique. En revanche, la bioaccumulation représente les quantités de contaminants accumulées dans les tissus qui ne contiennent pas de sites d'induction de toxicité ou quand les concentrations sont sous le seuil de toxicité. De plus, les doses corporelles critiques de métaux (Clémentine et al., 2011) \* \*

## 6.2. Transfert des métaux sols/milieu aquatique

Les substances à usage agricole peuvent être entraînées jusqu'aux milieux aquatiques récepteurs (souterrains et/ou superficiels) de différentes manières. La connaissance des voies et mécanismes de transfert en jeu est une des principales clés pour déterminer quelles mesures pourront être mises en œuvre pour lutter efficacement contre la contamination des ressources en eau (Clémentine et al., 2013) \* \*

### 6.2.1. Les transferts par ruissellement

C'est lorsque l'eau et les **contaminants circulent à la surface** du sol pour atteindre rapidement les milieux aquatiques de surface (Clémentine et al., 2013). \*\*

### 6.2.2. Les transferts de sub-surface dits « écoulements hypodermiques »

C'est lorsque l'eau et les contaminants **circulent latéralement** à faible profondeur à travers le sol. L'eau peut alors être exfiltrée en surface au gré d'une rupture de pente (pied de talus ou berge de cours d'eau) (Clémentine et al., 2013). \*

### 6.2.3. Les transferts par drainage enterré

C'est lorsque l'eau et les contaminants **infiltrés dans le sol** rejoignent les drains installés sous les parcelles agricoles sensibles aux excès d'eau. L'eau est alors rapidement restituée au réseau hydrographique soit par l'intermédiaire de fossés soit directement au niveau des cours d'eau (Clémentine et al., 2013) \*.

### 6.2.4. Les transferts par infiltration profonde

C'est lorsque l'eau et les contaminants transitent **verticalement** à travers le sol et la zone non saturée pour rejoindre **les nappes d'eau souterraine**. Cette infiltration peut intervenir sous forme diffuse et relativement lente (infiltration à travers la porosité matricielle) mais aussi sous forme concentrée

et rapide lorsqu'un écoulement de surface atteint une zone d'infiltration préférentielle (cas fréquent en milieu karstique) (Clémentine et al., 2013) \*.

# V Tests d'acquisition : chapitre II

Exercice

[solution n°3 p.21]

Test vers de terre

Essai des comètes

Essai de reproduction de daphnies

Inhibition de croissance racinaire

Test microtox

Émergence et croissance de végétaux supérieurs

Test algues

Milieu aquatique	Milieu terrestre

Exercice

[solution n°4 p.21]

Les altérations physico-chimiques sont des modifications des caractéristiques des milieux, comme :

- La salinité
- L'acidité
- La température de l'eau

# Solutions des exercices

## > Solution n° 1

Exercice p. 7

La science qui étudie les modalités de contamination de l'environnement par des agents polluants naturels ou artificiels produits par l'activité humaine. Elle étudie également leur mécanisme d'action et de leurs effets sur l'ensemble des êtres vivants qui peuplent la biosphère.

## > Solution n° 2

Exercice p. 7

un polluant désigne un agent physique, chimique ou biologique qui provoque une gêne ou une nuisance dans le milieu liquide ou gazeux. Au sens large, le terme désigne des agents qui sont à l'origine d'une altération des qualités du milieu, même s'ils y sont présents à des niveaux inférieurs au seuil de nocivité.

vrais

faux

## > Solution n° 3

Exercice p. 20

Milieu aquatique	Milieu terrestre
Test algues	Inhibition de croissance racinaire
Essai de reproduction de daphnies	Émergence et croissance de végétaux supérieurs
Test microtox	Test vers de terre
	Essai des comètes

## > Solution n° 4

Exercice p. 20

Les altérations physico-chimiques sont des modifications des caractéristiques des milieux, comme :

La salinité

L'acidité

La température de l'eau

# Glossaire

## Anoxie

L'anoxie désigne le manque de dioxygène (O<sub>2</sub>) d'un milieu. Lorsque l'environnement est dit anoxique, c'est que la réduction d'oxygène est telle qu'il y a asphyxie. En biologie, l'anoxie caractérise la souffrance cellulaire provoquée par un manque d'oxygène dans le sang.

## Chloragosomes

A cytoplasmic granule found in the coelomocytes of annelids

## Daphnies

Les *daphnies* sont de petits crustacés mesurant de un à quatre millimètres, du genre *Daphnia*. Elles vivent dans les eaux douces et stagnantes, quelques espèces supportant des conditions légèrement saumâtres. On peut apercevoir leurs organes internes grâce à leur corps translucide.

## Hypoxie

L'hypoxie est l'état d'un milieu naturel ou d'un organisme vivant qui n'a pas suffisamment d'oxygène. Par exemple, un milieu aquatique est en hypoxie quand la teneur en oxygène ne permet pas la survie des organismes qui s'y trouvent.

## Poisson zèbre

Le Poisson-zèbre ou Petit danio est une espèce de poissons de la famille des Cyprinidés qui se rencontre en Inde et dans la péninsule malaise. Il est couramment utilisé en aquariophilie et en laboratoire où il sert d'organisme modèle.

## Vibrio fischeri

*Aliivibrio fischeri* est une bactérie marine Gram-négative. C'est une bactérie bioluminescente hétérotrophe : certaines colonies sont libres et se nourrissent en décomposant de la matière organique, mais très souvent cette bactérie forme des symbioses avec de nombreux organismes marins.

# Abréviations

**ADN** : Acide désoxyribonucléique

**ISO** : International Organization for Standardization



# Références

· Clémentine Fritsch,  
Michaël Coeurdassier,  
Patrick Giraudoux,  
Francis Raoul, Francis  
Douay, Dominique  
Rieffel, Annette de  
Vaufleury and Renaud  
Scheifler (2011)  
*Spatially Explicit  
Analysis of Metal  
Transfer to Biota:  
Influence of Soil  
Contamination and  
Landscape [archive] ;  
PLoS One. 2011; 6(5):  
e20682. Published  
online 2011 May 31.* DOI : 10.1371/journal.pone.0020682.

· Clémentine Fritsch,  
Michaël Coeurdassier,  
Patrick Giraudoux,  
Francis Raoul, Francis  
Douay, Dominique  
Rieffel, Annette de  
Vaufleury and Renaud  
Scheifler (2011)  
*Spatially Explicit  
Analysis of Metal  
Transfer to Biota:  
Influence of Soil  
Contamination and  
Landscape [archive] ;  
PLoS One. 2011; 6(5):  
e20682. Published  
online 2011 May 31.* DOI : 10.1371/journal.pone.0020682.

· *Clémentine Fritsch,*  
*Michaël Coeurdassier,*

*Patrick Giraudoux,*  
*Francis Raoul, Francis*  
*Douay, Dominique*  
*Rieffel, Annette de*  
*Vaufleury and Renaud*

*Scheifler (2011)*

*Spatially Explicit*

*Analysis of Metal*

*Transfer to Biota:*

*Influence of Soil*

*Contamination and*

*Landscape [archive] ;*

*PLoS One. 2011; 6(5):*

*e20682. Published*

*online 2011 May 31.*

DOI : 10.1371/journal.pone.0020682.

· *Forbes V.E. & Forbes*  
*T.L. (1997)*

*Ecotoxicologie. Théorie*  
*et applications. INRA,*

*Paris, France.*

ISBN : 2-7380-0688-4 ; PPN : 004169891

· *Forbes V.E. & Forbes*  
*T.L. (1997)*

*Ecotoxicologie. Théorie*  
*et applications. INRA,*

*Paris, France.*

ISBN : 2-7380-0688-4 ; PPN : 004169891

· *Rainbow P.S. 1995.*  
*Biomonitoring of Heavy*

*Metal Availability in the*  
*Marine Environment.*

*Marine Pollution*

*Bulletin, 31 (4-12) : 183-*

*192.*

[https://www.academia.edu/25793509/Biomonitoring\\_of\\_heavy\\_metal\\_availability\\_in\\_the\\_marine\\_environment](https://www.academia.edu/25793509/Biomonitoring_of_heavy_metal_availability_in_the_marine_environment)

· Rainbow P.S. 1995.  
*Biomonitoring of Heavy  
 Metal Availability in the  
 Marine Environment.*  
*Marine Pollution  
 Bulletin*, 31 (4-12) : 183-  
 192.

[https://www.academia.edu/25793509/Biomonitoring\\_of\\_heavy\\_metal\\_availability\\_in\\_the\\_marine\\_environment](https://www.academia.edu/25793509/Biomonitoring_of_heavy_metal_availability_in_the_marine_environment)

· Walker, C.H., S.P. H  
 opkin, R.M. Sibly et D.  
 B. Peakall (2001).  
*Principles of  
 ecotoxicology. Second  
 Édition. Taylor &  
 Francis.*

DOI : <https://doi.org/10.1201/b11767>

· Walker, C.H., S.P. H  
 opkin, R.M. Sibly et D.  
 B. Peakall (2001).  
*Principles of  
 ecotoxicology. Second  
 Édition. Taylor &  
 Francis.*

DOI : <https://doi.org/10.1201/b11767>

Amiard-Triquet Claude,  
 Amiard Jean-Claude,  
 Raibow Philip S.  
 (2013), *Ecological  
 biomarkers: Indicators  
 of toxicological effects ;  
 01-2013 ; 450 p.*

DOI : <https://doi.org/10.1201/b13036>

Ares J. (2003) *Time  
 and space issues in  
 ecotoxicology:  
 population models,  
 landscape pattern  
 analysis, and long-  
 range environmental  
 chemistry. Environ  
 Toxicol Chem. 2003  
 May; 22(5):945-57.*

<https://setac.onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1002/etc.5620220501>

Catherine A. Harris,  
Alexander P. Scott,

Andrew C. Johnson,  
Grace H. Panter, Dave  
Sheahan, Mike  
Roberts, John P.

Sumpter (2014):  
Principles of Sound  
Ecotoxicology. Environ.  
Sci. Technol., Article  
ASAP.

DOI: 10.1021/es4047507.

Forbes V.E. et al. 2006.  
The use and misuse of  
biomarkers in  
ecotoxicology.  
Environmental  
Toxicology and  
Chemistry, 25 (1) : 272–  
280.

[ecotoxicology/links/5a659fd34585158bca522ca7/The-use-and-misuse-of-biomarkers-in-ecotoxicology.pdf?  
origin=publication\\_detail](https://ecotoxicology/links/5a659fd34585158bca522ca7/The-use-and-misuse-of-biomarkers-in-ecotoxicology.pdf?origin=publication_detail)

Newman M.C. et Unger  
M.A. 2003.  
Fundamentals of  
Ecotoxicology (2nd Ed). Lewis Publishers, É.-U., 4

Newman M.C. et Unger  
M.A. 2003.  
Fundamentals of  
Ecotoxicology (2nd  
Ed). Lewis Publishers,  
É.-U., 458 pp.

[https://aulavirtual.agro.unlp.edu.ar/pluginfile.php/39519/mod\\_resource/content/1/Newman%202015%20%  
20Walker%202012\\_Introduccion.pdf](https://aulavirtual.agro.unlp.edu.ar/pluginfile.php/39519/mod_resource/content/1/Newman%202015%20%20Walker%202012_Introduccion.pdf)

Newman M.C. et Unger  
M.A. 2003.  
Fundamentals of  
Ecotoxicology (2nd  
Ed). Lewis Publishers,  
É.-U., 458 pp.

[https://aulavirtual.agro.unlp.edu.ar/pluginfile.php/39519/mod\\_resource/content/1/Newman%202015%20%  
20Walker%202012\\_Introduccion.pdf](https://aulavirtual.agro.unlp.edu.ar/pluginfile.php/39519/mod_resource/content/1/Newman%202015%20%20Walker%202012_Introduccion.pdf)

*Ramade, François,*  
*Précis d'écotoxicologie,*  
*Collection d'écologie*  
*22, Masson, mai 1992*    ISBN 2-225-82578-5.

*Ramade, François,*  
*Précis d'écotoxicologie,*  
*Collection d'écologie*  
*22, Masson, mai 1992*    ISBN 2-225-82578-5.

# Webographie

[ecotoxicology/links/5a659fd34585158bca522ca7/The-use-and-misuse-of-biomarkers-in-ecotoxicology.pdf?  
origin=publication\\_detail](https://ecotoxicology/links/5a659fd34585158bca522ca7/The-use-and-misuse-of-biomarkers-in-ecotoxicology.pdf?origin=publication_detail)

# Index

Écotoxicologie; toxine ; aiguë,  
environnement

p. 4

# Crédits des ressources

**CC mentale** p. 5

<http://creativecommons.org/licenses/publicdomain/4.0/fr/>

**Daphnies (Daphnia magna)** p. 9

<http://creativecommons.org/licenses/publicdomain/4.0/fr/>

**Vibrio fischeri** p. 9

<http://creativecommons.org/licenses/publicdomain/4.0/fr/>

**Le poisson zèbre (Danio rerio)** p. 10

<http://creativecommons.org/licenses/publicdomain/4.0/fr/>

**Pseudokirchneriella subcapitata** p. 11

<http://creativecommons.org/licenses/publicdomain/4.0/fr/>

**Eisenia fetida** p. 15

<http://creativecommons.org/licenses/publicdomain/4.0/fr/>

**Essai des comètes** p. 17

<http://creativecommons.org/licenses/publicdomain/4.0/fr/>