

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Setif 1 University-Ferhat Abbas
Faculty of Natural sciences and life



جامعة فرحات عباس، سطيف 1
كلية علوم الطبيعة والحياة

Département de d'écologie végétale et de l'environnement



Polycopié de	Travaux dirigés
Module	Ecotoxicologie végétale (phytotoxicité et effets des substances toxiques)
Présenté par	Dr KEBAILI Hakima
A l'intention des étudiants	3 ^{ème} année licence en Biotechnologie et amélioration des plantes

Année universitaire : 2024/2025

Table des matières

	page
TD1 Evaluation de la toxicité.....	03
TD2 : Mesure de la teneur des substances toxiques.....	07
TD3 : Détermination de la nature d'un polluant et son effet sur l'environnement.....	11
TD4 : Indicateurs biologiques.....	18
TD 5 Test de toxicité des plantes.....	22
TD 6 : Signes morphologiques de détérioration de l'état général de la plante suite à une toxicité	26
TD7 plantes toxiques du champ.....	31

TD1

Evaluation de la toxicité

Introduction :

Les essais d'écotoxicité sont le meilleur moyen de mesurer la teneur de la toxicité (Fig1). Ils ont pour objectif l'évaluation et la prévention des effets biologiques et le devenir des polluants (Fig.2).

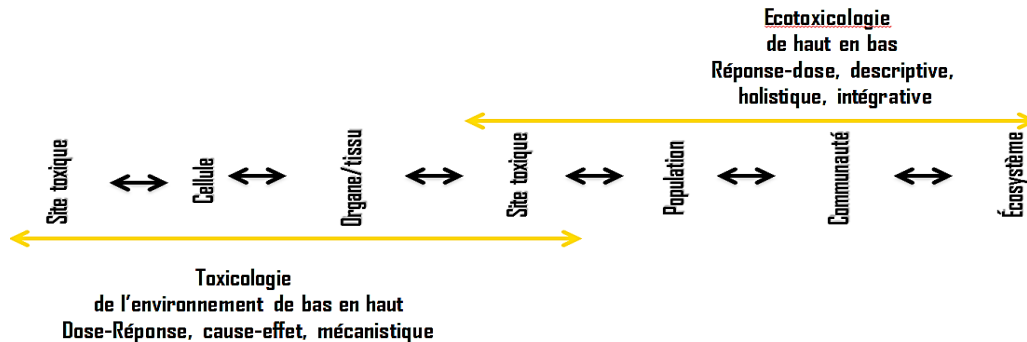


Figure1 : Champs respectifs d'investigation propres à la toxicologie de l'environnement et à l'écotoxicologie(Munkittrick et Mc Carty, 1995 *In* Ramade 2007)

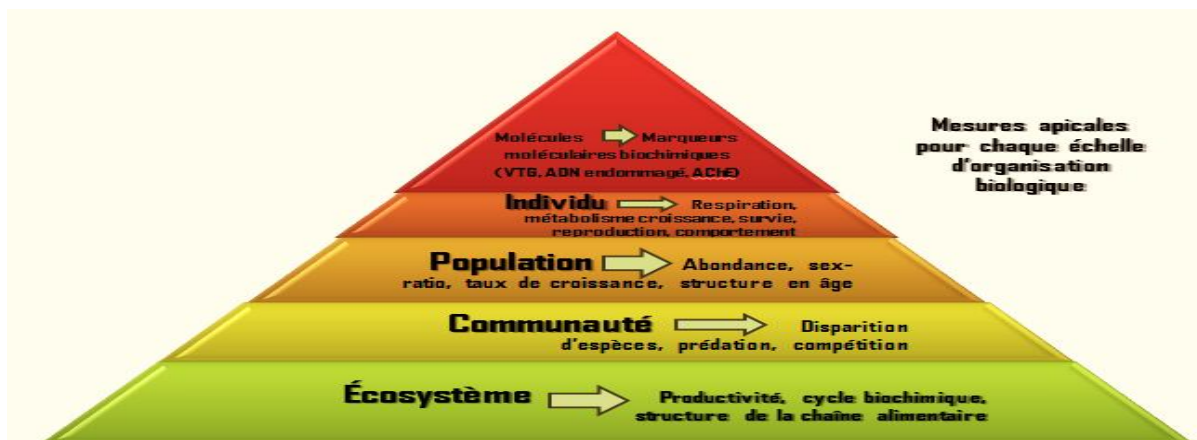


Figure2 : Mesures apicales pour chaque échelle d'organisation biologique (Ramade, 2007)

Le choix et le classement du test dépend de:

- leur protocole,
- le niveau d'organisation biologique,
- la durée d'exposition,
- le point final.

1. Essais aux laboratoires ou sur terrain

Le choix des essais aux laboratoires ou sur terrain (Tableau 1) dépend des moyens engagés et de la finalité de la réalisation de ce test :

Tableau 1: caractéristiques des bioessais sur terrain et des bioessais au laboratoires

Essais aux laboratoires	Essais sur terrain
adaptées aux pratiques et conditions du laboratoire. parfois en utilisant des modèles mathématiques.	Les essais sur terrain sont soumis aux conditions naturelles.
mieux contrôlés par rapport aux essais sur terrain.	Le processus d'évaluation des risques est basé essentiellement sur la validation in situ.

1.2.Méthodologie d'essais écotoxicologiques

Différentes démarches sont employées pour effectuer des essais éco-toxicologiques et analyser les résultats obtenus : le choix se repose essentiellement sur la comparaison à des modèles théoriques, le classement des essais en fonction du niveau d'organisation biologique, l'estimation de la durée de l'exposition et la mesure des points finaux létaux et sublétaux.

1.2.1. Modèles théoriques comme les modèles de cycles biologiques qui permettent de prévoir la stratégie de réponse optimale d'une population à différents niveaux de croissance et de taux de mortalité (Sibly & Calow, 1989).

1.2.2. Classement des essais en fonction du niveau d'organisation biologique : il s'agit de suivre la dynamique des polluants, autrement dit, étudié pour obtenir des aperçus différents sur les effets et le devenir des polluants (Tableau 1).

Tableau 1: tests monospécifiques, plurispécifiques et au niveau des écosystèmes

Les tests monospécifiques	Tests plurispécifiques	Tests au niveau des écosystèmes
Les plus courants à réaliser, plus faciles à interpréter que les essais à des niveaux supérieurs d'organisation.	Mesurer et évaluer les effets directs et indirects des polluants sur des communautés ou des écosystèmes.	Pour évaluer les effets des polluants sur un écosystème,
Inappropriés pour évaluer l'impact des produits chimiques à des niveaux supérieurs d'organisation biologique.	Comportent deux espèces ou plus d'un même niveau trophique et peuvent combiner des espèces de niveaux trophiques différents dans une chaîne alimentaire artificielle.	Mesurant simultanément le devenir et les effets des polluants

1.2.3. La durée de l'exposition:

Selon la durée du cycle de l'organisme et la toxicité d'une substance susceptible de provoquer des effets biologiques néfastes à un organisme vivant qui y est exposé.

En toxicologie et en écotoxicologie, on distingue deux types de toxicité:

- **Aiguë:** la toxicité aiguë (court terme) correspond aux effets néfastes qui se manifestent après une exposition unique (ou sur quelques heures/quelques jours) à une forte concentration de substance.
- **Chroniques :** la toxicité chronique (long terme) désigne les effets néfastes qui se manifestent après une exposition répétée, sur une longue durée, à une faible concentration de substance (les expositions chroniques s'étendent sur un ou plusieurs cycles).

1.2.4. La mesure des points finaux létaux et sublétaux:

Les tests sont conçus pour mesurer la concentration d'exposition à laquelle 50% de la population est tuée (CL₅₀) ou pour montrer un effet subléta (CE₅₀), par exemple sur la croissance, la reproduction, le comportement ou divers indices biochimiques, physiologiques et moléculaires.

References :

Ramade F. (2007) introduction à l'écotoxicologie fondement et application. Edition Lavoisier.

Sibly, R. M., &Calow, P. (1989).A life-cycle theory of responses to stress. *Biological Journal of the Linnean Society*, 37(1-2), 101-116.

Munkittrick, K. R., & McCarty, L. S. (1995). An integrated approach to aquatic ecosystem health: top-down, bottom-up or middle-out?. *Journal of aquaticecosystemhealth*, 4(2), 77-90.

TD2 : Mesure de la teneur des substances toxiques

2.1. Mesure de teneurs

Il s'agit de mesurer la teneur physique ou chimique des substances toxiques dans l'air, l'eau, le sol ou chez les vivants

Toutes les mesures chimiques, microbiologiques et physiques sont comparées à des critères de qualités qui sont des teneurs acceptables définies par des institutions gouvernementales.

2.1.1. teneurs chimiques

Les teneurs chimiques sont généralement exprimés en concentration : $C = p/v$,

$C' = p_1/p_2$ ou $C'' = v_1/v_2$

C : Concentration (p/v)

p: poids en grammes, en moles (une mole M contient 6×10^{23} molécules et son poids moléculaire est la somme de ces poids atomiques ou en équivalents chimiques (éq.) correspond à un poids moléculaire/nombre de liaison ionisées de la substance mesurées

v : volume en litres ou en mètre cubes du milieu dans lequel la substance est mesurée

C': Concentration (p_1/p_2)

p_1 = Poids en gramme ou moles de la substance mesurée

p_2 = Poids en gramme de poids frais ou sec de sols, sédiments ou composantes biologiques

C'': Concentration (v_1/v_2)

v_1 =Volume en litre de la substance mesurée

v_2 = Volume en litres ou en mètre cubes du milieu dans lequel la substance est mesurée

Concentration par proportion :

Beaucoup ont recours aux proportions (**Tableau 1**)

Tableau1: Proportions retenus pour les rapports poids/volume et poids/poids dans différents milieux

proportions	P/V dans l'eau et le sang	P/V dans l'air	P/P dans le sol et les tissus biologiques	V/V dans les effluents ou l'air
100% =1	Kg/l	–	Kg/kg	l/l
0,1% = 10^3	g/l	–	g/kg	/l
ppm= 10^6	mg/l	–	mg/kg	/l
ppb = 10^9	$\mu\text{g/l}$	mg/m^3	$\mu\text{g/kg}$	–
ppt= 10^{12}	ng/l	$\mu\text{g/m}^3$	ng/kg	–
Ppq= 10^{15}	Pg/l	ng/m^3	pg/kg	–

Légende

ppm = partie par million

ppb= partie par billion ou milliard

ppt= partie par trillion ou milliard

ppq= partie par quadrillon ou trilliard

le système international SI apparaît préférable aux proportions. Les revues scientifiques exigent d'ailleurs l'utilisation de ce système et dans ce contexte, les concentrations sont exprimées en :

-mg/l de liquide

- ng/m^3 d'air

- mg/kg de solide

mg= milligramme

μg = microgramme

ng= nanogramme

pg=picogramme

2.1.2. Teneurs microbiologiques

- Pour exprimer les teneurs microbiologiques, on adopte généralement des dénombrements de micro-organismes pathogènes par volume.

- L'effet toxique des micro-organismes est d'avantage étudié en microbiologie qu'en eco toxicologie.

2.1.3. Teneurs physiques

Les paramètres les plus fréquemment utilisés pour mesurer l'effet physique sont :

- La conductivité exprimée en $\mu\text{S}/\text{cm}$ à 25°C .
- La couleur en UCV de l'eau ; UCV signifie « unités de couleur vraie » aussi appelées **unités Hazen**, elle est mesurée par comparaison avec une série colorée d'étalon de platine-cobalt.
- Turbidité :
- La radiation

2.2. Mesures de toxicité

- a) **Durée par ordre croissant** : toxicité aiguë, qui agit à court terme, toxicité chronique, qui agit à long terme
- b) **Gravité par ordre croissant**: toxicité sublétales (ou sous-létales), qui ne tue pas, toxicité létale, qui tue

2.2.1. Dose létale/dose létale (DL_{50}) / doses d'effet et (ou) d'inhibition (DE et DI)

a) Dose létale (DL)

La dose létale dépend de la voie d'administration du toxique. En générale, les bioessais en toxicologie sont fait par injection de dose.

b) Dose létale 50 (DL_{50})

Correspond à la dose qui tue 50% des individus testés

2.2.2. Doses d'effet et (ou) d'inhibition (DE et DI) :

Il s'agit de doses de toxiques qui provoquent des effets sublétaux, comme des surproductions ou des diminutions de production d'enzymes, des augmentations d'anomalies ou des réductions de fertilité.

La majorité des effets sublétaux sont des effets d'inhibition d'activité enzymatique ou de synthèse biochimique.

Concentration létale/ d'effet/ seuils

2.2.3. Concentration létale (CL) :

La détermination de Concentration létale (CL) est faite à partir de bioessais où la Concentration létale (CL_{50}) est souvent la mesure terminale, c'est-à-dire la concentration qui tue 50% des individus exposés

2.2.4. Concentration d'effet et (ou) d'inhibition (CE et CI) :

Lors ce que des concentrations de composés toxiques produisent des effets non létaux, on les nomme concentrations d'effet ou concentration efficace (CE).

2.2.5. Concentrations seuils (DMEO et DSEO) :

Teneurs chimiques minimales à partir desquelles la toxicité de ces composés se manifeste.

References :

Van Coillie R. & Parent L. (2011) Ecotoxicologie générale et appliquée. Ed. Télé-université (TELUQ) (p9-11)

Ramade F. (2007) introduction à l'écotoxicologie fondement et application. Edition Lavoisier.

TD3 : Détermination de la nature d'un polluant et son effet sur l'environnement

3.1. Origine et devenir des xénobiotiques dans l'environnement

La terminologie employée pour définir et distinguer les agents polluants des contaminants ou encore les agents toxiques (**Tableau 1**) est basée essentiellement sur la détermination de :

- 1- L'origine
- 2- La nature de la substance
- 3- L'effet sur les individus cibles et/ou l'environnement
- 4- Les moyens de contrôle à engager pour suivre la dynamique de la substance en question.

Tableau 1: Tableau récapitulatif des paramètres qui permettent de définir et distinguer agents : polluants, contaminants et toxiques (Van Coillie & Parent, 2011) p9-11

	Définition	origine	nature	effet	contrôle
Agents polluants	Agents qui exercent des influences perturbatrices sur l'environnement (Ramade, 1992)	Agents polluants naturels (ex. lave et fumé de volcan, coliformes fécaux transférés de sols vers des eaux marines). Agents polluants artificiels (effluents déversés, insecticides agricoles, etc.	Agents polluant chimiques (pesticides, oxydes d'azote émis par les automobiles)) Agents polluants physiques (rayons UV) Agents polluants biologiques (bactéries de biodégradat	Pollution, soit une « perturbation de l'équilibre naturel de l'environnement lentement réversible après le retrait du polluant.	Prévention, lorsque cela est possible

ion épuisant l'oxygène d'un cours d'eau)					
Agents contaminants	Agents qui ont des teneurs élevées par rapport au teneurs naturelles normales (Francis)	Agents contaminant naturels. Mercure méthylé dans les réservoirs hydroélectriques Agents contaminants artificiels. Herbicide courant 2,4-D (acide dichlorophénoxy acétique).	Agents contaminant s chimiques: métaux lourds en excès, pesticides synthétique s, etc. Agents contaminant s microbiolog iques : Salmonelles pathogènes des eaux des lieux d'enfuissement sanitaires	Contamina tion, soit un déséquilibr e des teneurs naturelles, sa réversibilit é se révèle souvent lente.	Surveillanc e des dépasseme nts des critères de qualités, lesquels sont des valeurs de références définies par des institutions gouverne mentales après une compilatio n de littérature scientifiq ue.
Agents toxiques	Agents, qui à cause de leur teneurs excessives, « occasionnent des effets néfastes dans des organismes biologiques	Agents toxiques naturels. Cadmium et plomb en concentrations excessives, nicotine de la cigarette lorsqu'il y a abus, haute dose de caféine, etc. Agents toxiques artificiels. Insecticides organophosphate smal utilisé	Agents toxiques chimiques : monoxyde de carbone des gaz d'échappem ent d'automobil es dans un espace fermé Agents toxiques physiques exés de turbidité pour la photosynthè	Toxicité soit « un ensemble variable d'effets néfastes, elle est lentement réversible, sauf dans des cas extrêmes tels que mortalité, anomalie du développe ment embryonna	Surveillanc e des dépasseme nts des seuils de toxicités, lesquels sont les plus basses teneurs à partir desquelles la toxicité débute.

se des ire et
algues, abus neurotoxici
de rayons té du
ultraviolets cerveau.
B
cancérogène
s.

3.2. Accumulation des métaux lourds dans l'eau et le sol :

L'accumulation des métaux lourds dans l'eau est de quelques jours à quelques mois dans l'eau mais indéterminé pour certains métaux (Chrome, Cadmium et Nickel).

L'accumulation dans les sols ou les sédiments peut aller jusqu'à 2000 ans.

Temps de demi-vie de quelques éléments toxiques polluants majeurs des sols et des eaux [(Levin & Kimball, 1989) *In* Ramade 2007].

Elément	Temps de demi-vie	
	Eau (en jours)	Sédiments et sols (en années)
Arsenic	415	2 000
Cadmium	nd*	280
Chrome	nd*	6 300
Cuivre	560	860
Mercure	340	920
Nickel	nd*	2 300
Plomb	25	1 700
Zinc	550	2 100

nd* = non déterminé

Seule une approche « multiparamétriques » et « hiérarchique », comprenant des mesures des métaux toxiques dans le milieu et les organismes, l'utilisation d'un ou plusieurs bio marqueurs et la détection d'effets toxiques à différents niveaux de l'organisation biologique (cellule, individu, population, communauté), devrait

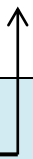
permettre de fournir une image suffisamment réaliste des effets toxiques des métaux sur l'état de santé des organismes, des populations et des écosystèmes (Adams et *al.*, 2001).

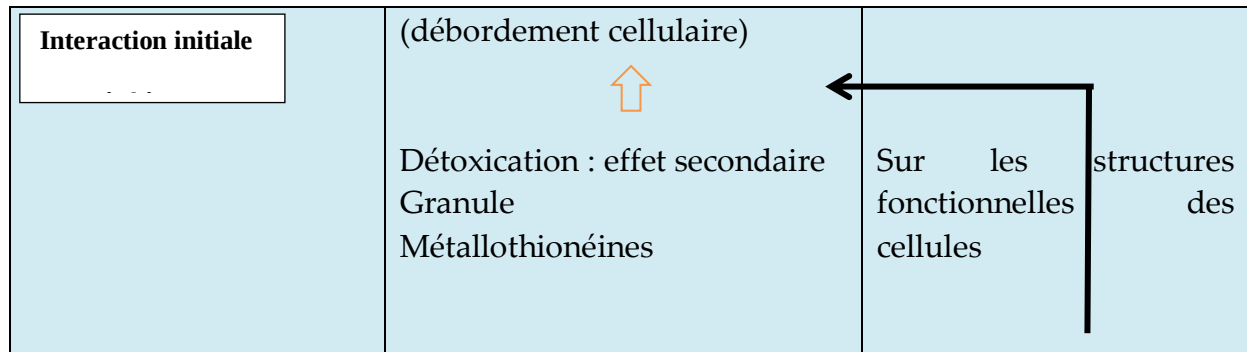
Métal ou dérivée	Action/ conséquence	Origine de la contamination
Cd	compétition avec le calcium	un contaminant dont la présence dans l'environnement est associée au développement industriel
Pb et le Hg	<u>interfèrent avec de nombreuses fonctions cellulaires</u>	des contaminants dont la présence dans l'environnement est associée au développement industriel
<u>le méthylmercure (MeHg)le chlorure de méthylmercure</u>	<u>Génotoxiques : à la formation d'adduit à l'ADN (la fixation d'une molécule à un site nucléophile de l'ADN par liaison covalente ; Ces adduits à l'ADN peuvent modifier l'expression des gènes.</u>	Perturbateur endocrinien

3.3.Effet de l'introduction d'un métal toxique dans l'environnement*

Il s'agit d'une approche hiérarchique et l'illustration des relations entre l'introduction d'un métal toxique dans un écosystème et la détection et la quantification des effets à différents niveaux hiérarchiques de l'organisation des populations d'organismes aquatiques. A chaque niveau d'organisation, le métal génère une réponse en trois stades :

- primaire,
- secondaire, ou détoxification/compensation,
- tertiaire (Pelletier, 2004).

Niveau d'organisation	Effets secondaire et tertiaire	Effet primaire
Communauté	Effet tertiaire Compensation débordée (dégradation complète)  Compensation : effet secondaire Changement en dominance spécifique Changement dans les relations prédateurs-proie	L'espèce est absente où elle pourrait être présente  
population	Effet tertiaire Compensation débordée  Compensation : effet secondaire Tolérance génétiquement acquise immigration	Les individus ne peuvent survivre et se reproduire  
individu	Effet tertiaire Compensation débordée  Compensation : effet secondaire Survie individuelle Changements en allocations d'énergie dédiées à la croissance et à la reproduction	Stress physiologique Individus faibles Reproduction compromise Vulnérabilité au stress  
Physiologique/ comportemental	Effet tertiaire Compensation débordée  Compensation : effet secondaire Changements comportementaux Adaptations physiologique	Perturbations des voies biochimiques  
Cellulaire/subcellulaire	Effet tertiaire Compensation débordée	



References :

Adams, H. S., Nieuwenhuijsen, M. J., Colvile, R. N., McMullen, M. A. S., & Khandelwal, P. (2001). Fine particle (PM_{2.5}) personal exposure levels in transport microenvironments, London, UK. *Science of the Total Environment*, 279(1-3), 29-44.

Levin, S. A., Kimball, K. D., McDowell, W. H., & Kimball, S. F. (1984). New perspectives in ecotoxicology. *Environmental Management*, 8(5), 375-442.

Pelletier, E.; Campbell P. G.C., Denizeau F. (2004) Ecotoxicologie moléculaire : principes fondamentaux et perspectives de développement. Presses de l'université du Québec

Ramade, F.; (2007) introduction à l'écotoxicologie fondement et application. Edition Lavoisier.

Van Coillie, R. & Parent, L. (2011) Ecotoxicologie générale et appliquée. Ed. Télé-université (TELUQ) (p9-11)

TD4 : Indicateurs biologiques

4-1. Critères de sélections des bioindicateurs biologiques:

Très peu d'espèces remplissent les critères adéquats pour être de bons indicateurs biologiques

Les critères de sélection sont principalement :

- Relativement tolérantes aux polluants,
- Sédentaires,
- Abondantes,
- A durée de vie relativement longue,
- D'une taille suffisante pour que des analyses de tissus soient possibles,
- Faciles à échantillonner et à conserver au laboratoire,
- Euryhalines,
- Sans éléments régulateurs de leurs charges corporelles en polluants-au moins certaines espèces (Forbes et *al.*, 1997)

4.1.1. L'intérêt de réaliser les essais écotoxicologiques

Selon Forbes et *al.*, (1997). « Un essai d'écotoxicité comme toute mesure résultant d'une observation ou d'une manipulation expérimentale, destinée à évaluer le devenir ou les effets de polluants chimiques quel que soit le niveau d'organisation biologique».

4.1.2. Indicateurs de terrain et essais expérimentaux

A partir de la définition précédente, il faudra distinguer entre indicateurs de terrain et essais expérimentaux :

a) indicateurs de terrain :

Il s'agit de la mesure des différences de réponses de biomarqueurs physiologiques et biochimiques entre un milieu pollué et un milieu non pollué, ou le long d'un gradient de

pollution. En réalisant le suivi biologique et les mesures des propriétés physicochimiques des substances.

b) essais expérimentaux :

Sont des essais qui permettent la mesure de la réponse biologique à des manipulations du milieu ou des expérimentations.

4.2. Surveillance de l'environnement

La surveillance de l'environnement nécessite la détermination des biomarqueurs :

4.2.1. Les biomarqueurs :

- sont des indicateurs de la présence de polluants dans le milieu et/ou dans les organismes,
- Ils permettent l'évaluation des effets de ces toxiques sur les organismes mais pas de prédire les effets sur les niveaux d'organisation plus élevés.
- Les espèces sélectionnées pour la surveillance biologique ne sont pas celles utilisées dans les essais d'écotoxicité de routine: Ce qui complique l'établissement d'une relation entre la mesure de l'impact des polluants dans les conditions naturelles et les résultats des essais de laboratoire.
- La probabilité de sélectionner l'espèce la plus sensible pour tester un produit particulier est faible: la sensibilité aux polluants varie entre les espèces et même entre les individus d'une même espèce.

4.2.2. Caractéristiques des espèces sélectionnées pour la bio-surveillance

- Tolérance des conditions de pollution très différentes.
- sensibilité identique des différentes populations d'une même espèce.
- Les espèces sélectionnées utilisées dans les essais d'écotoxicité sont sélectionnées pour être les plus sensibles aux effets des polluants.
- Dans certains cas, il est plus efficace de mesurer les résidus de produits chimiques dans les organismes que d'essayer de mesurer directement les effets biologiques.
- Lorsque les effets biologiques se produisent à des conditions au-dessous des limites de détection analytique, leur étude directe est nécessaire pour évaluer l'impact.

- Les espèces les moins sensibles aux polluants sont les plus ubiquistes c'est-à-dire qui tolèrent un éventail de conditions environnementales variées.
- La tolérance, par rapport aux autres membres de la communauté, n'est pas identique en tout lieu et pour tous les produits.

4.3. Notion du biomarqueur

« Le terme de biomarqueur désigne des changements structuraux ou fonctionnels observables et mesurables, qui prennent place à divers niveaux de l'organisation biologique, depuis la molécule jusqu'à l'organisme pris dans son intégralité, qui traduisent une exposition persistante ou passée d'un individu à une ou plusieurs substances polluantes».

On utilise comme biomarqueurs les variations de ces structures ou de ces processus qui sont observables-et mieux, mesurables- chez les individus exposés.

4.3.1. Le choix d'un biomarqueur

On utilise comme biomarqueurs les variations des structures ou des processus observables-et mieux, mesurables- chez les individus exposés en permanence à l'effet d'un xénobiotique.

4.3.2. Bioindicateurs environnementaux couramment utilisés

a) Ecoindicateurs

Il s'agit d'un bioindicateur de la biodiversité. Les espèces recherchées, dans ce contexte, ont la particularité d'être polluosensibles (vulnérables à l'effet des xénobiotiques et manifestent rapidement des dégradations visibles et irréversibles).

b) Biomarqueurs

bioindicateurs qui fournissent des réponses biochimiques réagissant avec des agresseurs toxiques *in situ* et *in vitro* (leur identification permet de suivre l'effet du xénobiotique et ses transformations).

c) Biotraceurs : il s'agit d'organismes sédentaires qui bioaccumulent à long terme (toxicité chronique) des toxiques dans l'environnement.

References :

Pelletier E ; Campbell P. G.C., Denizeau F. (2004) Ecotoxicologie moléculaire : principes fondamentaux et perspectives de développement. Presses de l'université du Québec

Ramade F. (2007) introduction à l'écotoxicologie fondement et application. Edition Lavoisier.

Truhaut R. (1977) Ecotoxicology : *Objectives, principles and perspectives*. *Ecotoxicol. Env. Safety*, 1, 151-73.

Van Coillie R. & Parent L. (2011) Ecotoxicologie générale et appliquée. Ed. Télé-université (TELUQ) (p⁹⁻¹¹)

Forbes V.E. et **Forbes** T.L. (1997) ecotoxicologie théorie et applications. INRA France Ed. P21, P31, 78

TD 5

Test de toxicité des plantes

5-1 Bioessai de phytotoxicité :

Les tests de toxicités des plantes sont réalisés dans le but d'estimer la toxicité des polluants existants dans un sol contaminé naturellement (p. ex. matériaux de dragage, boues provenant d'une usine d'épuration des eaux usées, compost, fumier) ou de sol artificiellement contaminé par une substance ou plusieurs pour étudier leurs effets sur la survie de la plantes. le tableau 1 regroupe les paramètres à suivre dans une etude de phytotoxicité

Tableau 1 : [site 1].

Type d'essai	essai de toxicité sur un sol entier; sans renouvellement
Durée de l'essai	14 jours pour le blé dur, le concombre, la laitue, l'orge, le radis, la tomate ou le trèfle violet 21 jours pour l'agropyre du Nord, le boutelou gracieux, la carotte, la fétuque rouge ou la luzerne
spèces d'essai approuvées	monocotylédones : blé dur (<i>Triticum durum</i>), boutelou gracieux (<i>Bouteloua gracilis</i>), fétuque rouge (<i>Festuca rubra</i>), orge (<i>Hordeum vulgare</i>) dicotylédones : carotte (<i>Daucus carota</i>), concombre (<i>Cucumis sativus</i>), laitue (<i>Lactuca sativa</i>), luzerne (<i>Medicago sativa</i>), radis (<i>Raphanus sativus</i>), tomate (<i>Lycopersicon esculentum</i>), trèfle violet (<i>Trifolium pratense</i>)
Nombre de concentrations	≥9 concentrations, plus un témoin négatif; il est recommandé d'en utiliser 11, plus un témoin négatif
Nombre de répétitions	Essai à concentration unique (p. ex. essai sur un sol de site, concentration de 100 % seulement) : 5 répétitions par traitement Essai à concentrations multiples : ≥4 répétitions par traitement pour

	un essai avec des répétitions identiques;
Nombre de graines par répétition	5 graines par récipient pour l'agropyre du Nord, le blé dur, le concombre, la fétuque rouge, la laitue, l'orge, le radis, le trèfle violet ou la tomate 10 graines par récipient pour le boutelou gracieux, la carotte ou la luzerne
Conditions de culture	température fixe : 24 ± 3 °C (jour) et 15 ± 3 °C (nuit). Taux d'Humidité ≥ 50 % Eclairage : 300 ± 100 mmol/(m ² ·s) en un point adjacent à la surface du sol; 16 h de clarté et 8 h d'obscurité.
Observations	nombre de plantules levées à la fin de l'essai dans chaque récipient d'essai; longueur des pousses et des racines et masse sèche des pousses et des racines à la fin de l'essai; nombre de plantes survivantes dont l'aspect est atypique (p. ex. chlorose, lésions) à la fin de l'essai; facultativement, taux de levée des plantules le jour 7 et masse humide des pousses et des racines à la fin de l'essai
Paramètres biologiques	levée et aspect des plantules, longueur (tige et racine); masse sèche (séchage à 90°C jusqu'à obtention d'une masse constante) à la fin de l'essai.
Paramètres statistiques	taux moyen ($\pm$ ET) de levée, longueur moyenne ($\pm$ ET) des pousses et des racines les plus longues, masse sèche moyenne ($\pm$ ET) des pousses et des racines dans chaque traitement/concentration à la fin de l'essai (jour 14 ou 21);

Il est conseillé de compter le nombre de plantules qui sont en vie à la fin de l'essai dans les récipients d'essai témoins afin de déterminer si le critère de validité relatif au taux de survie des plantes levées dans un sol témoin négatif a été respecté [site1] .

5-2. Exemples de bioessais de phytotoxicités :

5-2-1. Experience 1 :

Valerio et al., (2007). A utilisé deux sols naturellement contaminés par différentes concentrations d'éléments solubles dans les sols d'origine naturelle (sols péridotites) et anthropiques (sols affectés par un déversement de pyrite dans une mine) pour déterminer la phytotoxicité de la laitue (*Lactuca sativa* L.). Les solutions sont obtenues à partir d'extraits sol:eau (1:1), ayant un pH neutre et de fortes concentrations d'As, Pb, Zn, Mn, Co et Ni, avec des valeurs dépassant le niveau toxique pour la solution du sol.

Les variables évaluées dans cette étude sont :

- 1- la germination des graines (SG),
- 2- l'élongation des racines (RE),
- 3- le taux de germination (GR)
- 4- et la nécrose des racines (RN).

Les variables les plus sensibles dans le bio-essai avec ces solutions sont le taux de germination (GR) et la nécrose des racines (RN), dans ces cas la solution entraîne une réduction de 44% et 67%, respectivement, par rapport au témoin (eau distillée).

Le test utilisant des solutions sol-eau est sensible et reproductible pour déterminer la phytotoxicité de la laitue causée par des éléments potentiellement polluants dans les sols.

5-2-2. Experience 2 :

Ali et al., (2004) réalisa le bioessai suivant :

La phytotoxicité a été évaluée à l'aide d'un test de toxicité standardisé. pour l'orge (*Hordeum vulgare* L.) a été évaluée à l'aide de deux types de substrats : sols forestiers artificiels et naturels. La toxicité de deux métaux lourds, le cuivre (Cu²⁺) et le chrome (Cr⁶⁺) a été testée,

Les paramètres étudiés dans cette étude étaient incluaient !

- 1- l'émergence des plantes
- 2- la croissance des pousses et des racines.
- 3- Les concentrations de Cu et de Cr dans les pousses et les racines ont également été mesurées.

Les données ont indiqué que la biomasse racinaire était le paramètre le plus sensible. Les résultats ont montré que la toxicité du Cr pour la croissance des racines ($CI_{50} = 6,6$ mg/g dans le sol artificiel ; $CI_{50} = 61,8$ mg/g dans le sol forestier) était supérieure à celle du Cu ($CI_{50} = 13,7$ mg/g dans le sol artificiel ; $CI_{50} = 4322$ mg/g dans le sol forestier).

Les données ont également indiqué que la toxicité du Cu et du Cr était significativement réduite dans le sol forestier enrichi, ce qui suggère une biodisponibilité métallique plus faible pour l'orge dans le sol naturel.

L'analyse des concentrations tissulaires de l'orge a montré que le Cu et le Cr s'accumulaient principalement dans les racines.

References :

[site1] : <https://www.canada.ca/fr/environnement-changement-climatique/services/recherche-faune-science-paysage/publications-methodes-essai-biologique/plantes-terrestres-contaminants-sol/chapitre-4.html> (Date de modification: 2024-08-26).

Ali, N. A., Ater, M., Sunahara, G. I., & Robidoux, P. Y. (2004). Phytotoxicity and bioaccumulation of copper and chromium using barley (*Hordeum vulgare* L.) in spiked artificial and natural forest soils. *Ecotoxicology and environmental safety*, 57(3), 363-374.

Valerio, M. E., García, J. F., & Peinado, F. M. (2007). Determination of phytotoxicity of soluble elements in soils, based on a bioassay with lettuce (*Lactuca sativa* L.). *Science of the Total Environment*, 378(1-2), 63-66.

TD 6 : Signes morphologiques de détérioration de l'état général de la plante suite à une toxicité suivi de plantes toxiques du champ

6-1. Les signes de phytotoxicité chez les plantes :

La plante est un être vivant interagissant avec son environnement et influencé par les différents facteurs biotiques ou abiotiques dont le changement peut occasionner des perturbations. La plante réagit à ces perturbations par des moyens de défense naturelles. Lorsque ces moyens de défense sont inactifs ou insuffisant l'état générale de la plante se détériore en manifestant un ou plusieurs signes de détérioration comme cité ci-dessus.

l'apparition d'un des symptômes suivants est signe de détérioration total ou partielle:

1. **signes** évidents de retard dans la levée,
2. **perturbation** du développement et/ou de la croissance.
3. **chlorose (perte de pigments),**



Source [<https://jardinage.pagesjaunes.fr/astuce/voir/630261/chlorose-ferrique>]

Source [https://consent.yahoo.com/v2/collectConsent?sessionId=0_cc-session_cab4804-98d5-4413-a265-28851f151672]

Figure1 : chlorose : décoloration d'une partie du feuillage en dehors de saison de sénescence

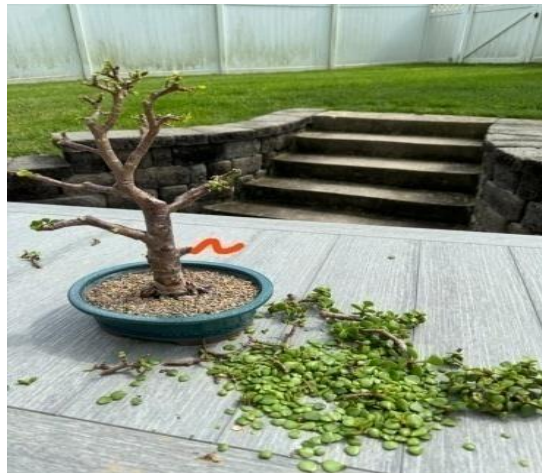
5. **nécrose (tissu mort localisé),**



Source [<http://ephytia.inra.fr/fr/C/21377/Di-gno-Leg-Necroses>]

Figure 2 : la nécrose est une mort cellulaire non programmée contrairement à l'apoptose qui est déclenché lors de la sénescence

6. défoliation (perte de feuilles),



Source[https://www.reddit.com/r/Bonsai/comments/lcvvnp/la_fa_defoliation_and_chops/1b4frdr4383/]

Figure3: la chute subite totale ou partielle du feuillage

7. dessiccation (feuilles ou tiges desséchées),



Source[<https://beta.misphytoprotection.q.ca/fr/maladies-parasitaires/champignons/phytophthora-rhiz/ramboise-pourriture-des-racines>]

Figure 4 : dessiccation survenu malgré que le sol est humide

8. malformation (défauts structuraux),



Source : [<https://www.cropscience.bayer.africa/ci/fr-ci/resources/articles/abnormal-development-of-maize-ears.html>].

Figure5 : la malformation constatée sur un ou plusieurs parties de la plante peut être due à une génotoxicité

9. marbrure (taches ou stries),



Source [<https://reseau-pommier.irda.qc.ca/?p=14686>]



Source [<http://ephytia.inra.fr/fr/C/21411/Di-gno-Leg-Mosaique-et-symptomes-assimiles>].

Figure 6 : apparition de dépigmentation due par fois à la présence de virus phytopathogènes.

10. coloration anormale (décoloration),



Source [<https://www.monstera-app.com/fr/blog/conseils-d-entretien/pourquoi-les-feuilles-de-ma-plante-jaunissent-et-comment-reagir-01H78GHB89NJDMS28EFJ6ABBHJ>].

Figure7 : decoloration affectant une partie de la feuille atteinte par la toxicité

11. flétrissement (perte de forme),



Source [<https://www.saemereien.ch/blog-jardin/fletrissement-des-racines>].

Figure8 : flétrissement du feuillage (perte de forme et de couleurs des feuilles et tiges

12. dépérissement (dans le processus d'assèchement),



Source [<https://www.florscatalunya.cat/fagus-sylvatica-atropurpurea-ba67/>].

Figure 9 : un arbre dépérissant

13. feuilles ou tige décolorées ou déformées,



Source : [<https://beta.iriisphytoprotection.qc.ca/fr/maladies-parasitaires/phytoplasmes/phytoplasme-de-la-jaunisse-de-laster/pivoines-phytoplasme-de-la-jaunisse-de-laster>].

Figure10 : décoloration et déformation de feuilles
(deux signes de détérioration apparus au même temps).

References :

- 1- : [https://jardinage.pagesjaunes.fr/astuce/voir/630261/chlorose-ferrique]
- 2- : [https://consent.yahoo.com/v2/collectConsent?sessionId=3_cc-session_cabf4804-98e5-4f13-a5b5-28851f151672]
- 3- : [http://ephytia.inra.fr/fr/C/21377/Di-gno-Leg-Necroses]
- 4- : [https://www.reddit.com/r/Bonsai/comments/1cvwnfp/afra_defoliation_and_chops/?tl=fr&rdt=43837]
- 5- : [https://reseaupommier.irda.qc.ca/?p=14686]
- 6- : [http://ephytia.inra.fr/fr/C/21411/Di-gno-Leg-Mosaique-et-symptomes-assimiles].
- 7- : [https://www.cropsience.bayer.africa/ci/fr-ci/resources/articles/abnormal-development-of-maize-ears.html].
- 8- : [https://beta.iriisphytoprotection.qc.ca/fr/maladies-parasitaires/champignons/phytophthora-rubi/ramboise-pourriture-des-racines]
- 9- : Source [https://www.monstera-app.com/fr/blog/conseils-d-entretien/pourquoi-les-feuilles-de-ma-plante-jaunissent-et-comment-reagir-01H78GHB89NJDMS28EFJ6ABBH].
- 10- : [https://www.saemereien.ch/blog-jardin/fletrissement-des-racines].
- 11- : [https://www.florscatalunya.cat/fagus-sylvatica-atropurpurea-ba67/].
- 12 - [https://beta.iriisphytoprotection.qc.ca/fr/maladies-parasitaires/phytoplasmes/phytoplasme-de-la-jaunisse-de-laster/pivoines-phytoplasme-de-la].

TD 7 : Plantes toxiques du champ

Il existe des plantes sauvages responsables d'intoxication chez les animaux et l'humain (les mammifères) s'ils sont ingérés par erreurs comme :

- 1- l'oenanthe safranée (*Oenanthе crocata*) plantes des zones humides provoquant des troubles neurologiques essentiellement chez les bovins [site 2],
- 2- Datura et la morelle noire (*Solanum nigrum*) (une des plantes adventices dont la toxicité n'est pas affectée par la dessiccation, devenues résistantes aux herbicides) [site 2],
- 3- l'adonis (*a priori* plutôt *Adonis flammea* ou *A. aestivalis*), à l'origine de troubles cardiaques et nerveux, est toxique fraîche comme sèche, elle perd son âcreté lorsqu'elle est séchée, ce qui favorise sa consommation. [site 2]

Des plantes adventices comme le *Datura stramonium* et l'*Atractylis gummifera* sont à l'origine d'intoxication induisant à l'hospitalisation et parfois même la mort dans la région de Sétif et Bordj Bou Arreridj (Bouzidi, 2002).



Source : [https://apps.lucidcentral.org/plants_se_nsw/text/entities/datura_stramonium.htm]

Figure 11: *Datura stramonium*



Source : <https://www.flickr.com/photos/albertgattflorida/9802979393>

Figure12 : *L'Atractylis gummifera*



source : [https://inpn.mnhn.fr/espece/cd_nom/109864]

Figure 13 : l'oenanthe safranée (*Oenanthe crocata*)



Source : [<https://www.detentejardin.com/plantes/plantes-dexterieur/plantes-toxiques/morelle-noire-fiche-culture-1031518>].

Figure 14: *Solanum nigrum*



source : [<https://www.sciencephoto.com/media/129373/view/pheasant-s-eye-adonis-flammea->]

Figure 15: *Adonis flammea*



Source [<https://www.gardenpost.co.nz/106.html>].

Figure 16: *Adonis aestivalis* (Pheasant's Eye)

References :

Bouzidi A., Mahdeb N., Allouche L., Houcher B.(2002) Etude épidémiologique sur les plantes toxiques dans les régions de Sétif et Bordj Bou Arreridj (est de l'Algérie – Afrique du nord). *bulletin d'information toxicologique*. P5-10

[site1] : <https://www.canada.ca/fr/environnement-changement-climatique/services/recherche-faune-science-paysage/publications-methodes-essai-biologique/plantes-terrestres-contaminants-sol/chapitre-4.html> (Date de modification: 2024-08-26).

[site2] : <https://www.lepointveterinaire.fr/publications/le-point-veterinaire/article/n-446/la-demarche-diagnostique-en-toxicologie-vegetale.html#f1>