

Polycopié préparé

Par

SARRI Madani

Matière

Analyse et Protection de l'Environnement (APE)

**License Académique
Ecologie et Environnement**

Année universitaire 2020– 2021

**Université Mohamed BOUDIAF – M’sila –
Faculté des Sciences
Département des Sciences de la Nature et de la Vie**

Intitulé de la License : **Ecologie et Environnement**
 Intitulé de la matière : **Analyse et Protection de l’Environnement**
 UE Méthodologique : **Semestre 5 / Crédits : 4 et Coefficient : 3**

Objectifs de l’enseignement : le contenu de cette matière permet à l’étudiant de s’imprégner des méthodes d’analyses physico-chimiques et biologiques des différents compartiments dans le contexte de l’évaluation, de la surveillance de la qualité et de la protection de l’environnement.

Connaissances préalables recommandées : Différents types d’écosystèmes, compartiments de la biosphère (eau, sol, atmosphère), faune, flore, chimie différents types d’écosystèmes, compartiments de la biosphère (eau, sol, atmosphère), faune, flore et chimie.

Contenu de la matière

<p>Chapitre I : Analyses physico-chimiques</p> <ol style="list-style-type: none"> 1- Objectifs des analyses environnementales 2- Les matrices analysées <ol style="list-style-type: none"> 1-2- Eaux 2-2- Sédiments 2-3- Sols, boues et composts 2-4- Echantillons biologiques 2-5- Echantillons atmosphériques 2-6- Autres de matrices 3- Les paramètres déterminés <ol style="list-style-type: none"> 3-1- Paramètres physico-chimiques 3-2- Paramètres inorganiques 3-3- Formes chimiques métalliques 3-4- Paramètres organiques 3-5- Exemples de substances réglementées 4- Les types de méthodes <ol style="list-style-type: none"> 4-1- Méthodes primaires 4-2- Méthodes relatives 4-1- Méthodes comparatives 	<p>Chapitre II : Analyses biologiques</p> <ol style="list-style-type: none"> 1- Relations des organismes aux conditions du milieu <ol style="list-style-type: none"> 1-1- Notions de bioindicateurs 1-2- Méthodes biologiques et bioindicateurs 2- Principaux types de méthodes biologiques actuellement utilisées <ol style="list-style-type: none"> 2-1- Méthodes biologiques (Biochimiques, écotoxicologiques, biocénétiques) 2-2- Méthodes indicelles <ul style="list-style-type: none"> ■ Utilisant les peuplements végétaux (Ex : Indice diatomique) ■ Utilisant les peuplements animaux (Ex : Indice biotique basé sur les macroinvertébrés benthiques)
<p>Chapitre III : Protection de l’environnement « réglementations algérienne »</p> <ol style="list-style-type: none"> 1- Législation environnementale : définition et étendue 2- Statut juridique actuel en matière de protection et gestion de l’environnement, protection des ressources naturelles...etc.). 	

Mode d’évaluation : Contrôle continu (exposés + rapports de sorties + test) et examen semestriel

Références bibliographiques

1. Ramade F., 2011. Introduction à l’écochimie : les substances chimiques de l’écosphère à l’homme. Ed. Tec et Doc Lavoisier, Paris.
2. Ramade F., 2010. Dictionnaire encyclopédique de pollutions : De l’environnement à l’homme. Ed. Dunod, Paris.
3. Rodier J. et Coll., 2005. L’analyse de l’eau : Eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mar. Ed. Dunod, Paris
4. Standard methods for the examination of water and wastewater, 1980, Ed. APHA-AWWA-WPCF.

Chapitre II : Analyses biologiques

1- Relations des organismes aux conditions du milieu

1-1- Notions de bioindicateurs

1-2- Méthodes biologiques et bioindicateurs

2- Principaux types de méthodes biologiques actuellement utilisées

2-1- Méthodes biologiques (Biochimiques, écotoxicologiques, biocénologiques)

2-2- Méthodes indiciaires

■ Utilisant les peuplements végétaux (Ex : Indice diatomique)

■ Utilisant les peuplements animaux (Ex : Indice biotique basé sur les macroinvertébrés benthiques)

1- Relations des organismes aux conditions du milieu

1-1-Notions de bioindicateurs

1-2-Méthodes biologiques et bioindicateurs

1- DEFINITIONS

BIOSURVEILLANCE¹ : Utilisation à tous les niveaux d'organisation biologique (moléculaire, biochimique, cellulaire, physiologique, tissulaire, morphologique, écologique) d'un organisme ou d'un ensemble d'organismes pour prévoir et/ou révéler une altération de l'environnement et pour en suivre l'évolution. » (Garrec et Van Haluwyn, 2002).

BIOSURVEILLANCE²: Méthode utilisant le vivant (organisme ou ensemble d'organismes à tous les niveaux d'organisation biologique moléculaire, biochimique, cellulaire, physiologique, tissulaire, morphologique et écologique) pour surveiller l'évolution, des modifications, des altérations, ou la stabilité de la qualité d'un milieu.

La biosurveillance s'effectue à différentes échelles du vivant :

Biomarqueurs	Effet invisible	Infra individuel	Échelle microscopique
Bioindicateurs	Effet visible	Individuel	Échelle 1/1
Biointégrateurs	Effet visible	Population, communauté, écosystème, éco complexe.	Échelle globale
Bioaccumulateurs	Effet invisible	Individuel	Chimie et biochimie (dosage)

La biosurveillance permet de compléter un diagnostic classique en informant sur les effets biologiques ressentis sur l'environnement. Le recueil de données biologiques permet de faire un suivi qualitatif, voir un historique de certains milieux.

LE BIOMARQUEUR : Caractéristique biologique mesurable permettant de détecter la présence de polluants dans l'environnement et l'impact de certaine pratique.

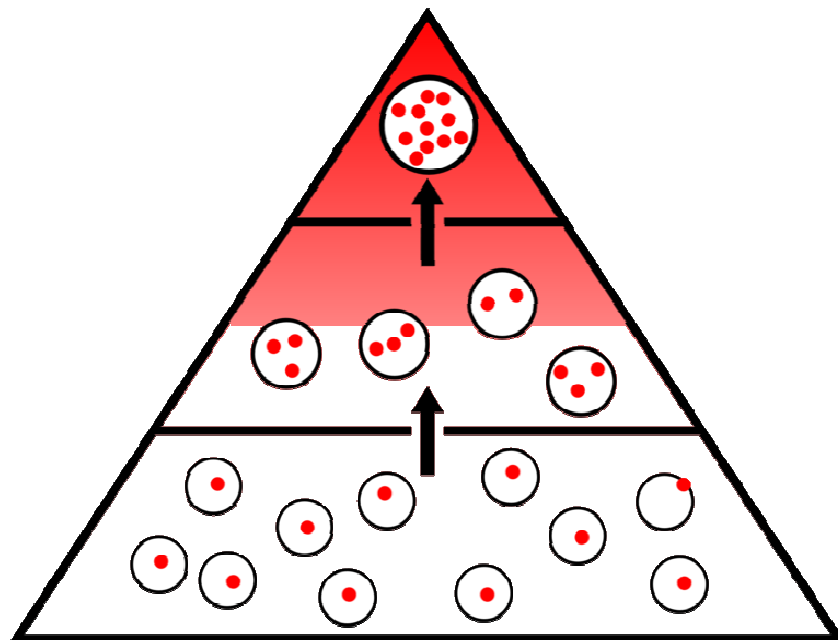
LE BIOINDICATEUR : Organisme végétal ou animal qui fait l'objet de mesure permettant d'indiquer la présence ou les effets des polluants. Exemple : Lichens, truite, abeille.

Aussi appelé un indicateur biologique qui répond à un besoin. *Quel besoin ?*

- **Besoin**: surveillance biologique de la qualité des ressources vivantes commerciales côtières, vis-à-vis des diverses pollutions.
- **Pourquoi**: surveillance de la santé publique chez l'homme, consommateur final dans la chaîne alimentaire.

LE BIOINTEGRATEUR : On nomme « intégrateur biologique » une espèce animale ou végétale ou fongique (champignon, lichen), fixée sur un substrat (ex : moule) ou facilement « récupérables » (ex : abeilles d'une ruche) qui est étudiée pour évaluer la quantité de contaminants chimiques bio disponibles qu'elle a « intégré » dans son organisme (chair, foie, rein, branchies, coquille...), sur le lieu où elle a vécu durant le délai de l'expérience.

La **BIOACCUMULATION** désigne la capacité de certains organismes (végétaux, animaux, fongiques, microbiens) à absorber et concentrer dans tout ou une partie de leur organisme (partie vivante ou inerte telle que l'écorce ou le bois de l'arbre, la coquille de la moule, la corne, etc.) certaines substances chimiques, éventuellement rares dans l'environnement (oligoéléments utiles ou indispensables, ou toxiques indésirables).



Principe de la bioaccumulation

Les études sur le transfert des polluants dans les milieux aériens, ou dans l'environnement aérien immédiat des milieux terrestres, sont particulièrement importantes car ces informations vont conditionner toutes les études écotoxicologiques des effets des sources de polluants atmosphériques sur les écosystèmes terrestres et aquatiques.

Dans le cadre de ces études sur le transfert ou le dépôt de polluants atmosphériques, les plantes grâce à leurs caractéristiques sont particulièrement intéressantes, et plusieurs méthodes utilisant ces bioindicateurs ou des bioaccumulateurs ont été mises au point au laboratoire.

2- METHODES BIOLOGIQUES ET BIOINDICATEURS

Intérêts de la bio-indication végétale

- intégration des effets biologiques des polluants, de la sensibilité du capteur biologique et des facteurs ambiants,
- possibilité et facilité de redéploiement du réseau,
- faible coût d'investissement et de suivi,
- aspect psychologique et sensibilisation,
- possibilité de standardisation et normalisation.

Finalités d'un système de bio-indication végétale

- complémentarité du réseau physico-chimique,
- outil de détection précoce en cas d'absence ou d'insuffisance de moyens traditionnels pour réaliser un suivi de dispersion d'une pollution ou une cartographie de zones affectées,
- orientation dans le choix du positionnement des stations physico-chimiques.

Les limites d'un système de bio-indication végétale

- information non disponible immédiatement,
- ne donne que des informations relatives sur les concentrations en polluants dans l'atmosphère,
- information pouvant être influencée par le stress biotique (maladie, etc.) ou abiotique (sécheresse, etc.) agissant sur l'état physiologique de la plante.

LES DIFFERENTS GROUPES D'ETRES VIVANTS CONNUS DANS LA BIOSURVEILLANCE

On peut tout d'abord se reporter au travail de Blandin, qui, en 1986, donnait une synthèse sur les bioindicateurs animaux et végétaux déjà utilisés en milieu terrestre et en milieu aquatique (marin ou d'eau douce). Depuis, les recherches n'ont fait que se poursuivre et se diversifier [Ramade, 1992, 1993 et 2000; Lagadic; 1997; Wang, 1995; Pakeman, 1998 ; Garrec, 2002].

3.1 : ANIMAUX

EN MILIEU AQUATIQUE

* **Les mollusques lamelibranches** constituent d'excellents indicateurs de contamination des eaux marines et continentales grâce à leurs fortes capacités de bioaccumulation.

* Comme exemples : **Les moules, les huîtres** ont été employées à vaste échelle dans la bio-surveillance des écosystèmes aquatiques en **milieu marin** *Sphaerium, Pisidium* etc. (ont joué le même rôle en **milieu d'eau douce**).

Les mollusques: les bivalves (ou lamellibranches)

- Les Bivalves sont connus de tous: ce groupe comprend les huitres, les moules, les coquilles saint Jaques...

- Ce sont des animaux filtreurs aux branchies très développées, ces branchies amènent la nourriture à la bouche et permettent aussi la respiration.

Le programme "Mussel Watch", débuté en 1976, et incorporé ultérieurement au programme National Status and Trends Program a permis de fournir des analyses :

- des teneurs des mollusques en hydrocarbures,
- composés organo-chlorés,
- métaux lourds,
- éléments radioactifs des eaux littorales atlantiques.

*** Les macro-invertébrés benthiques (eaux de surface)**

Depuis longtemps, l'observation de divers macro-invertébrés benthiques a donné lieu à l'évaluation de la qualité des eaux de surface.

- Ainsi certaines communautés sont polluo-résistantes (Chironomus, larves d'Eristalis, Asellus, Lymnaea,...) ou
- polluo-sensibles (larves d'Ephemera, de Sialis,...).

► Plusieurs chercheurs ont été conduits à proposer **des indices biotiques** basés sur l'évaluation de la **richesse spécifique** et traduisant la qualité des eaux superficielles [Verneaux, 1967].

* **Les annélides hirudinés** représentent des bio-indicateurs recommandés dans **les écosystèmes limniques**. Ils sont utilisés comme bio-accumulateurs **des composés organiques de synthèse**.

* **Les poissons**, en particulier, **les téléostéens d'eau douce ou marins** sont utilisés comme bioindicateurs de **pollution en milieu limnique ou océanique**.

► De nombreuses publications sont relatives à la bioaccumulation de polluants des eaux par des poissons **marins ou dulçaquicoles**, aussi bien en laboratoire qu'en milieu naturel.

On peut aussi observer et quantifier les modifications du comportement des poissons (rythme respiratoire, décharges électriques) face aux polluants présents dans l'eau.

EN MILIEU TERRESTRE

En milieu terrestre, on rencontre parmi les invertébrés terrestres, un certain nombre de groupes taxonomiques au fort pouvoir de bioaccumulation.

Ainsi, **les annélides oligochètes** (Eisenia, Lumbricus) sont utilisés comme bioindicateurs de pollution des sols par les métaux lourds ou les composés organiques de synthèse.

Les crustacés isopodes comme **les cloportes**, ainsi que **les gastéropodes pulmonés** sont aussi des bioaccumulateurs performants de la pollution des sols par les métaux lourds.

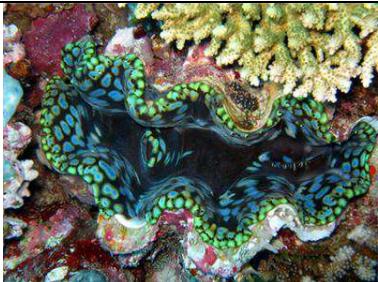



Parmi **les microarthropodes corticoles** tels qu'acariens, collembes et psokes, on a pu mettre en évidence une sensibilité différentielle en fonction de la qualité de l'air ; ainsi le genre *Xenylla* (collembole) est polluo-tolérant.

Les vertébrés terrestres sont également utilisés comme indicateurs de pollution car ils peuvent concentrer divers polluants dans certaines parties de leur organisme, et en particulier dans les phanères (Défi.: Les phanères sont des productions issues de l'épiderme. Chez l'Homme, les principaux phanères sont les cheveux, les poils, et les ongles. Chez le nouveau né ou sur certaines parties du corps plus tard, on parle aussi de duvet pour désigner des poils très petits et très fins.)

Les oiseaux accumulent dans leurs plumages divers métaux lourds : ainsi la contamination en Cd et Hg a été recherchée chez les flamants roses et les aigrettes de Camargue.

On a utilisé de façon analogue chez les mammifères la capacité d'accumulation des métaux lourds dans les bois (cervidés), ainsi que dans les os, les dents, le foie ou le rein.

IMAGES DES ANIMAUX CONNUS DANS LA BIOSURVEILLANCE

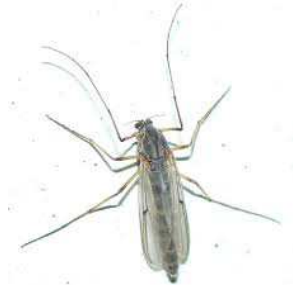
	
<p>Les mollusques lamelibranches</p>	<p>Les moules</p>
	
<p>Les huîtres</p>	<p>Sphaerium</p>



Pisidium



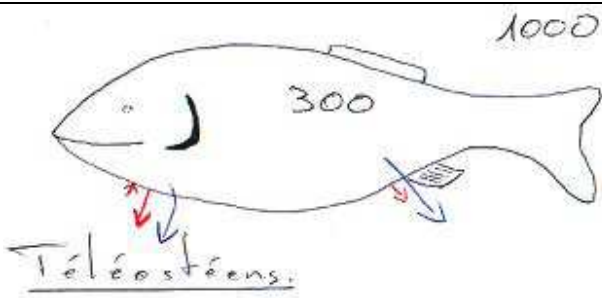
Coquilles saint Jacques



Chironomus



Annélides hirudinés



Téléostéens d'eau douce ou marins



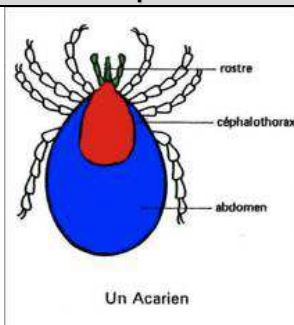
Lumbricus



Cloporte



Gastéropodes pulmonés



Acarien



Collembole



flamant rose



le héron blanc de Camargue



3.2 : VEGETAUX

En milieu aquatique, plusieurs espèces végétales sont utilisées en raison de leur fort potentiel de bioaccumulation, telle que les mousses aquatiques comme *Fontinalis*, *Amblystegium*... [Empain, 1976]. Parmi les végétaux supérieurs, les Typha ou massettes, sont fréquemment utilisées comme bioaccumulateurs de métaux lourds, de PCB...

Les plantes à bulbes et tubercules (carotte, arachide...) sont généralement d'excellentes espèces bio-accumulatrices des métaux lourds des sols contaminés.

C'est surtout la bio-surveillance de la pollution atmosphérique à l'aide des végétaux qui a été très développée durant ces dernières années en France [Garrec, 2002].

***/* VEGETAUX SUPERIEURS**

Les polluants atmosphériques gazeux pénètrent généralement chez les végétaux supérieurs dans les feuilles par les stomates, les polluants particuliers étant le plus souvent stoppés et localisés à la surface des feuilles au niveau de la cuticule et des cires.

Chez les végétaux bioindicateurs particulièrement sensibles, les perturbations dues aux pollutions atmosphériques vont se traduire rapidement par des nécroses foliaires, ainsi que par des modifications morphologiques. Une observation simple permet d'estimer aisément les niveaux de pollution dans l'air. Des représentations iconographiques ont pu être établies à partir de l'observation des principaux types de nécroses des végétaux [Jacobson, 1970].

Actuellement, on évalue avec précision les teneurs en ozone troposphérique à partir des nécroses de la variété BEL W3 de tabac.

On sait depuis fort longtemps que l'ensemble des espèces végétales dans une station donnée apporte des renseignements sur l'écologie du milieu et ses caractères environnementaux, ainsi que sur les modifications. On a pu ainsi souligner le rôle des végétaux en tant que bio-intégrateurs dans une étude réalisée au nord-est de la France à partir de relevés botaniques qui a montré une évolution de la flore forestière herbacée entre 1970 et 1990 se traduisant par une augmentation des espèces nitrophiles et acidiphiles [Thimonier, 1994].

On utilise très fréquemment les végétaux comme bioaccumulateurs. Ce sont le plus souvent les feuilles qui sont récoltées, dans lesquelles les polluants particuliers peu solubles peuvent être recueillis par lavage ou à l'aide d'un solvant et les polluants gazeux peuvent être analysés aisément dans les feuilles broyées. Les métaux peuvent être analysés de cette manière, ainsi que les polluants gazeux à partir de leurs principaux éléments minéraux : F pour HF, N pour NO_x et NH₃, S pour SO₂, etc.

Les écorces se sont révélées d'excellents accumulateurs. Elles peuvent capter les polluants apportés par l'atmosphère ou provenant du houppier par le ruissellement le long du tronc.

LICHENS

Depuis déjà longtemps, les lichens sont utilisés comme des bio-indicateurs et bio-intégrateurs performants dans la détection de la pollution atmosphérique. C'est Nylander qui, le premier, constatant la disparition des lichens corticoles du Jardin du Luxembourg entre 1866 et 1896, émit l'idée que les lichens pouvaient être des « hygromètres » de la qualité de l'air.

L'importance des concentrations en SO₂ de l'atmosphère jusque dans les années 80 a suscité la mise au point de différentes méthodes d'estimation de la qualité de l'air à partir de l'observation des lichens. Ainsi, celle de Hawksworth et Rose a été établie en 1970 pour la Grande-Bretagne et le Pays-de-Galles. Ce fut la première méthode qualitative permettant une corrélation directe sur le terrain entre les espèces lichéniques corticoles et les teneurs moyennes hivernales de SO₂.

Durant la même période, une autre approche permettait la mise au point d'indices de biodiversité comme la méthode quantitative de Leblanc et De Sloover (1970) dite méthode de l'Indice de pureté atmosphérique ou IPA. Cette méthode, à la différence de la précédente, rend compte des modifications de la flore lichénique corticole en relation avec la qualité de l'air mais sans lien direct avec un polluant particulier. Depuis cette période, d'autres méthodes quantitatives ont vu le jour : celles des lichénologues suisses [Herzig, 1987 ; Ammann, 1987], des allemands [VDI, 1995], des italiens [Nimis, 1999a et b].

Des cartographies basées sur l'observation de la végétation lichénique facilitent le suivi dans l'espace et dans le temps de la pollution atmosphérique et permettent d'informer des effets d'une pollution sur la santé humaine. Ainsi, Cislighi et Nimis (1997) ont mis en évidence, dans une étude épidémiologique réalisée en Vénétie (Italie), les relations entre la mortalité par cancer chez des hommes de moins de 55 ans et un indice de biodiversité lichénique.

Plus récemment, une douzaine de lichénologues européens a élaboré un nouveau protocole d'évaluation de la qualité environnementale à l'aide de la cartographie de la diversité lichénique [Asta, 2002], méthode qui devrait être acceptée par la Commission européenne de normalisation.

Mais les lichens sont très souvent utilisés comme bioaccumulateurs. Les espèces choisies sont généralement des espèces poussant sur les troncs, et présentant une répartition géographique assez large permettant des récoltes en quantités suffisantes. On utilise le plus souvent des lichens à thalle foliacé ou fruticuleux tels que *Parmelia caperata*, *P. sulcata*, *Hypogymnia physodes*, *Xanthoria parietina*, *Evernia prunastri*, *Pseudevernia furfuracea* lichens qui présentent de grandes surfaces d'adsorption des polluants et des échanges importants avec leur milieu.

L'approche peut s'effectuer par la transplantation de lichens pour s'affranchir du côté aléatoire de l'implantation spontanée. La technique de « transplants de lichens » mise au point par Brodo (1961) consiste à prélever des échantillons dans une station de référence non contaminée et à les installer dans le site à étudier. Cette technique est d'un intérêt certain lorsque la flore lichénique est absente du site d'étude. Il est important que les lichens subissent le moins de perturbations possibles au cours du prélèvement et, pour cette raison, on prélève généralement le lichen avec son support (fragment d'écorce ou branche).

La technique des transplantations, déjà largement répandue dans les études de bioaccumulation a été utilisée plus récemment pour la recherche de biomarqueurs (fluorescence et teneur en chlorophylle, teneur en ATP, paramètres du stress oxydant etc... [Cuny, 2002]).

MOUSSES

L'exposition **des mousses** à différents polluants atmosphériques (SO₂, O₃) entraîne, chez les espèces sensibles, des décolorations et une réduction de la croissance. Mais ces effets sont assez ténus et les mousses sont généralement peu utilisées comme bio-indicateurs par comparaison avec les végétaux supérieurs.

Des études ont été conduites sur la composition floristique des communautés de mousses en fonction de la distance à une source polluante (bryophytes bio-intégrateurs).

On a pu établir des listes de bryophytes de sensibilité différentielle et on retrouve une certaine analogie avec les méthodes établies à l'aide des lichens : échelle de sensibilité au SO₂ de diverses bryophytes [Adams, 1992], calcul d'un indice de qualité de l'air à partir de divers paramètres relatifs à la flore muscinale corticole [Winner, 1988].

Des mousses récoltées in situ (bioaccumulateurs) sont utilisées pour l'estimation de polluants atmosphériques. Cette méthode, mise au point dans les pays nordiques [Rühling, 1968] est maintenant utilisée sur l'ensemble de l'Europe pour cartographier la pollution métallique de fond. En France, l'Ademe et l'Université Paris VI ont mis en place un programme basé sur l'analyse de 37 éléments-traces métalliques réalisée dans les mousses du territoire français. Les résultats obtenus au cours d'une première campagne ont déjà été publiés [Galsomiès, 1999]. La 2^{ème} campagne, en cours d'achèvement, a été placée sous la responsabilité du Muséum national d'histoire naturelle de Paris (Gombert et Rauch). Les espèces qui ont été choisies (*Hylocomium splendens*, *Hypnum cupressiforme*, *Pleurozium schreberi*, *Scleropodium purum*, *Thuidium tamariscinum*) ont une aire de répartition large, elles s'identifient aisément et sont faciles à manipuler.

Différentes matrices végétales

En fonction des problèmes environnementaux posés, il est possible de combiner différents types de matrices végétales dans un but de surveillance intégrée. Ainsi une étude financée par la région Rhône-Alpes concernant l'impact du trafic routier dans les vallées alpines a conduit à prélever et analyser diverses matrices végétales : écorces, mousses, lichens, litière végétale et pollens [Asta, 2003]. D'autres exemples combinant matrices végétales et animales seront donnés plus loin.

Exemple d'étude : BIOSURVEILLANCE DE LA QUALITE DE L'AIR

Les lichens (organisme résultant d'une symbiose algue-champignon) se développent sur divers substrats (**sol, écorces, toits, pierres**, etc.). Ils réagissent à des doses très faibles de certains polluants (acides notamment) bien avant les animaux et bien avant que les pierres des monuments ne soient dégradées. Chaque espèce de lichen résiste à un taux spécifique de pollution. Quelques espèces profitent d'un enrichissement de l'air en azote. L'observation de populations de lichens permet ainsi de suivre l'évolution de certaines pollutions au fil du temps.

Présentation

Les lichens sont de petits végétaux fréquents sur les troncs d'arbre ou sur les pierres. Ils sont formés de l'association d'un champignon et d'une algue (symbiose lichénique).

Hawksworth et Rose (1970) ont établi une échelle qualitative de l'estimation de la pollution atmosphérique hivernale à l'aide de lichens épiphytes.

L'absence de cuticule, de stomates, de racines donne à ces végétaux un fonctionnement particulier. L'eau de pluie, les sels minéraux et les polluants atmosphériques pénètrent facilement dans le thalle, lors des périodes humides. L'algue capte la lumière, le champignon retient l'eau, les sels minéraux et les polluants atmosphériques. Les lichens se déshydratent facilement mais retrouvent facilement une activité après plusieurs mois de sécheresse comme on a pu le voir avec des capteurs à dioxygène.

Les lichens présentent une morphologie diverse:

ils sont ramifiés ou buissonnants : lichens fruticuleux

ils ressemblent à de petites feuilles : lichens foliacés

ils sont fixés au substrat et on ne peut les détacher : lichens crustacés. Ces derniers n'ont pas été pris en compte.

La liste de lichens de **poleosensibilité** utilisée provient des travaux de l'échelle de Van **Haluwyn et Lerond (1993)**. Pour faciliter l'identification seules douze espèces ont été retenues.

Déroulement pratique :

- Les lichens sont identifiés sur des arbres (1 à 10 arbres par station) de plus de 20 cm de diamètre, au milieu d'un champ, dans une haie, un square, en bordure de route. La détermination est réalisée à partir d'une planche photographique récapitulative.

Remarque

Avec les lichens, **deux méthodes** sont utilisées pour mener ces **évaluations de qualité de l'air** :

- **La bioaccumulation** : elle nécessite des manipulations complexes en laboratoire et n'est pas adaptée à un usage pédagogique. Cette méthode permet de doser, les métaux lourds, le fluor, les éléments radioactifs, des molécules phytosanitaires, les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP), les dioxines et furanes

- **La bio indication** : c'est une méthode visuelle, utilisable dans un contexte pédagogique. Elle permet soit d'apprécier globalement la qualité de l'air en

calculant un indice spécifique, soit d'indiquer une pollution particulière : par exemple de SO₂ : pollution d'origine acide, pollution ammoniacale, d'origine plutôt rurale, liée notamment aux élevages intensifs, pollution par les oxydes d'azote, plutôt révélatrice d'une pollution par les transports.

NB : Les différentes méthodes de bio-indication utilisent des lichens corticoles (= qui poussent sur les écorces des arbres) ce qui limite les interférences avec d'autres types de pollution. Plusieurs méthodes utilisant la bio-indication par les lichens ont été mises au point : elles prennent en compte différents cortèges d'espèces, plus ou moins sensibles à certains types de polluants atmosphériques.

Quelques espèces indicatrices :

Tous les lichens de couleur orange/jaune (ex : *Xanthoria sp*) aiment les composés azotés (NO_x, NH₃...), *Parmelia caperata*, espèce commune en France, est assez sensible au SO₂, tolérant aux NO_x et très sensible à l'ammoniac provenant de l'industrie ou de l'activité agricole.

Dans certains départements bretons, ce lichen a ainsi complètement disparu *Lecanora conizaeoides* : marqueur de pollution acide *Parmelia perlata* : moins sensible à l'ammoniac, et plus sensible aux NO_x et au SO₂. Il sera donc rare en quartier urbain. *Physia tenella* et *Physia ascendens* bonne résistance aux NO_x *Ramalina sp* aime les lieux venteux et est assez sensible au SO₂ *Diploicia canescens* a besoin d'ammoniac pour se développer.

3- PRINCIPAUX TYPES DE METHODES BIOLOGIQUES ACTUELLEMENT UTILISEES

***/* Méthodes chimiques (en plus) : Source : Daphné Touzin, 2008**

Les méthodes chimiques reposent sur la prise d'échantillons d'eau de façon régulière et sur leurs analyses en laboratoire. La prise d'échantillons consiste à effectuer des prélèvements réguliers, soit à chaque heure, à chaque jour, à chaque semaine ou de façon saisonnière ou annuelle. Plus la fréquence d'échantillonnage est élevée plus les résultats sont représentatifs et fiables. On peut analyser différents paramètres, par exemple l'oxygène dissous, la DBO₅ (demande biologique en oxygène sur 5 jours), l'ammoniaque, les nitrites, les nitrates, le phosphore et l'oxydabilité. Pour interpréter les résultats obtenus, il existe différents indices. Nous aborderons ici **l'Indice de pollution organique (IPO)**, un exemple parmi d'autres, afin de mieux comprendre le fonctionnement des méthodes chimiques (Leclercq, 2001).

L'IPO a été mis au point en répartissant les valeurs des polluants en cinq classes (tableau 1). Suite à l'analyse des échantillons, on détermine à quelle classe appartient chacun des polluants analysés et ensuite on fait une moyenne (tableau 2). Pour cet indice, il faut obtenir les données pour quatre paramètres, soit DBO₅, ammonium, nitrites et phosphates. L'analyse de DBO₅ coûte très cher car elle nécessite un appareil dispendieux. Elle est rarement disponible pour les rivières et on peut obtenir la moyenne des classes pour les trois autres paramètres seulement (Leclercq, 2001).

Tableau 1. Les limites des classes de l'Indice de pollution organique (IPO)

Paramètres /Classes	DBO ₅	Ammonium	Nitrites	Phosphates
	mg-O ₂ /l	mg-N/l	µg-N/l	µg-P/l
5	< 2	< 0,1	5	15
4	2 – 5	0,1 – 0,9	6 – 10	16 – 75
3	5,1 – 10	1 – 2,4	11 – 50	76 – 250
2	10,1 – 15	2,5 – 6	51 – 150	251 – 900
1	> 15	> 6	> 150	> 900

(Source : Leclercq, 2001)

Tableau 2. Interprétation de la moyenne des classes obtenues dans le tableau précédent (Leclercq, 2001)

Moyenne des classes	Niveau de pollution organique
5,0 – 4,6	Nulle
4,5 – 4,0	Faible
3,9 – 3,0	Modérée
2,9 – 2,0	Forte
1,9 – 1,0	Très forte

Afin de mieux comprendre les calculs à effectuer, **voici un exemple** :

DBO₅, 7 mg-O₂/l = classe 3,
 ammonium, 0,8 mg-N/l = classe 4,
 nitrites, 75 µg-N/l = classe 2
 phosphates, 265 µg-P/l = classe 2.

Donc,

$$\text{l'IPO} = (3 + 4 + 2 + 2) / 4 = 2,75$$

Il indique une forte pollution organique. Si l'analyse DBO₅ n'était pas disponible, l'IPO serait alors 2,75 et le niveau de pollution serait quand même élevé.

En résumé, une analyse chimique est la seule façon de connaître précisément la nature d'un polluant et d'obtenir sa teneur dans l'eau. Par contre, la teneur des polluants présents fluctue considérablement selon la période de l'année et parfois même, elle varie de façon importante au cours d'une même journée. L'analyse chimique n'est qu'un portrait pris à un moment donné et il est important de prendre des précautions si on veut effectuer une surveillance de la qualité de l'eau sur ce type d'analyse très ponctuel. Pour remédier à cet inconvénient, on doit prélever des échantillons à une fréquence plus élevée ou utiliser des échantillonneurs automatiques. Cependant, cela fait augmenter les coûts de façon importante (Leclercq, 2001).

Au Québec, on utilise **l'indice de qualité bactériologique et physico-chimique de l'eau (IQBP)**. « Cet indice est basé sur des descripteurs conventionnels de la qualité de l'eau, tels la demande en oxygène, les matières en suspension, le phosphore et les coliformes fécaux » (Hébert, 1997).

L'IQBP est basé sur l'application de deux méthodes, soit une méthode chimique et une méthode bactériologique. Cela permet d'obtenir un indice qui peut détecter plusieurs formes de pollution, comme les rejets municipaux, les activités agricoles et certains types de rejets industriels. Toutefois, les méthodes chimiques et l'IQBP « ne nous renseignent pas sur l'effet de substances toxiques sur les écosystèmes aquatiques, pas plus que sur la perte ou la dégradation d'habitats essentiels au maintien de la vie aquatique » (Hébert, 1997). On doit donc utiliser des méthodes

complémentaires, comme un indice biologique, pour en arriver à un diagnostic global (Hébert, 1997).

***/* Méthodes bactériologiques (en plus) : Source : Daphné Touzin, 2008**

Les méthodes bactériologiques ont pour objectif de déterminer la présence dans l'eau de bactéries d'origines fécales pouvant rendre l'eau impropre à la consommation ou à la baignade. Elles permettent aussi d'établir si les bactéries de type décomposeur, naturellement présentes dans les cours d'eau, sont en équilibre dans le milieu et ainsi assurent une bonne remise en circulation des éléments minéraux à partir des organismes morts (Leclercq, 2001).

Les bactéries d'origines fécales sont les plus associées aux problèmes des zones de productions agricoles et donc plus en lien avec l'agronomie. On en distingue deux types. D'abord, les bactéries d'habitat fécal normal et exclusif comme *Escherichia coli* et les streptocoques fécaux, indiquent avec certitude la présence d'une contamination fécale. D'autres bactéries dites « d'habitat non exclusif » peuvent vivre aussi bien dans les matières fécales que dans un milieu extérieur. On retrouve dans cette catégorie *Clostridium* sulfito-réducteurs et les coliformes autres qu'*E. coli* et coli fécaux. Il existe également des bactériophages exclusifs qui apportent une preuve indéniable de la présence d'une contamination fécale puisqu'ils persistent dans le milieu plus longtemps que les bactéries fécales. On détermine souvent le nombre total de bactéries, mais il est difficile d'interpréter ce chiffre parce qu'il varie beaucoup en fonction des précipitations (Leclercq, 2001)

L'échantillonnage se fait à l'aide de flacons stériles de 500 ml. Les échantillons doivent être réfrigérés pendant le transport etensemencés le même jour. Prenons l'exemple de l'**Indice de qualité microbiologique (IQM)**. Il consiste, tout comme l'IPO, à déterminer une classe pour un intervalle donné de quantité de bactéries (tableau 3) et par la suite à calculer une moyenne pour déterminer le niveau de contamination (tableau 4), (Leclercq, 2001).

Tableau 3. Limites des classes pour l'Indice de qualité microbiologique (IQM)

Classes	Bactéries Totales/ml	Coliformes fécaux/ml	Streptocoques fécaux/ml
5	< 2 000	< 100	< 5
4	2 000 – 9 000	100 -500	5 – 10
3	9 000 – 45 000	500 – 2 500	10 – 50
2	45 000 – 360 000	2 500 – 20 000	50 – 500
1	> 360 000	> 20 000	> 500

Source : Leclercq, 2001

Tableau 4. Interprétation de la moyenne des classes obtenues dans le tableau précédent (Source : Leclercq, 2001)

IQM	Contamination fécale
4,3 – 5,0	Nulle
3,5 – 4,2	Faible
2,7 – 3,4	Modérée
1,9 – 2,6	Forte
1,9 – 2,6	Très forte

L'échantillonnage est rapide et simple. Il ne nécessite que des flacons stériles et une perche s'il se fait à partir d'un pont ou d'un bord de rivière escarpé. Les analyses d'échantillons se font habituellement dans des laboratoires spécialisés et coûtent cher. Pour minimiser ces coûts, il existe sur le marché des « kits » d'analyse simples et rapides. Ils permettent de détecter soit la présence ou l'absence des germes fécaux (**méthode qualitative**), soit d'en déterminer le nombre le plus probable (**méthode semi-quantitative**). Le niveau de contamination est étroitement lié à plusieurs paramètres comme le débit, le lessivage et le moment du prélèvement. Tout comme dans le cas des analyses chimiques, les analyses bactériologiques ne sont, encore une fois, qu'une photo d'un instant précis. Ces méthodes n'ont malheureusement pas d'effet intégrateur, puisque les bactéries d'origine fécale sont destinées à mourir graduellement si la rivière n'est pas à une température adéquate pour leur développement. C'est pourquoi il faut déterminer adéquatement les périodes d'échantillonnage et répéter l'exercice plusieurs fois durant au moins un an afin d'obtenir des résultats représentatifs de la réalité, ce qui fait augmenter les coûts (Leclercq, 2001).

***/* Méthodes biologiques (en plus, voir paragraphes en bas) : Source : Daphné Touzin, 2008**

Les méthodes biologiques reposent sur l'utilisation de bioindicateurs dans les milieux aquatiques. Un bioindicateur est composé d'une espèce ou d'un groupe d'espèces qui nous renseigne sur les modifications biotiques ou abiotiques d'un cours d'eau et donc sur les variations de différents facteurs du milieu. Ces modifications peuvent faire diminuer ou augmenter le niveau de la population du bio-indicateur selon qu'ils affectent positivement ou négativement différents paramètres de vie de ces organismes au niveau comportemental, morphologique, tissulaire ou physiologique. Par exemple, une altération de la physiologie de la reproduction d'un organisme choisi comme bioindicateur pourrait résulter en une diminution de sa population. Un bioindicateur doit avoir des exigences écologiques très spécifiques afin qu'on puisse faire un lien direct entre sa présence / absence et une particularité environnementale (Leclercq, 2001; Wikipédia, 2007)

Lors de l'utilisation des méthodes biologiques, on peut faire appel à plusieurs types de bioindicateurs comme les diatomées, les macrophytes, les macroinvertébrés benthiques et les poissons.

Les diatomées sont des algues microscopiques pourvues d'un squelette siliceux sur lequel est basée leur identification. Elles forment une couche gélatineuse sur les roches immergées et on les retrouve dans tous les milieux, qu'ils soient sombres ou éclairés, propres ou pollués. De plus, elles sont très sensibles à la pollution azotée et phosphorée. Le calcul d'un indice de diatomées est réalisé à partir de l'identification jusqu'au niveau de l'espèce et du comptage des diatomées présentes. Pour identifier les diatomées jusqu'à l'espèce, il faut effectuer leur prélèvement en rivières, les traiter en laboratoire et les monter sur des lames de microscope. Il faut également utiliser des clés d'identification spécialisées et avoir préalablement suivi une formation de quelques mois en identification. Il faut donc être spécialisé dans ce domaine et posséder les bons outils de travail pour pouvoir utiliser cette méthode. Les indices diatomiques ont l'avantage d'être fiables et précis, puisque les diatomées sont très sensibles aux polluants et peu influencées par les autres facteurs externes comme le type de substrats. La capacité intégrative des diatomées a été démontrée et permet donc d'obtenir une bonne estimation à partir d'un seul prélèvement par an alors que le prélèvement chimique doit être répété (Leclercq, 2001).

Les macrophytes sont des végétaux de grande taille qui peuplent les écosystèmes aquatiques, et la famille des salmonidés est un bon exemple de bioindicateur puisque ces poissons (ex. truite mouchetée) sont sensibles au manque d'oxygène.

ETUDE DE L'INDICE BIOLOGIQUE DIATOMIQUE (IBD)

Les indices diatomiques sont destinés à appréhender la qualité de l'eau. Ils s'appliquent à des algues microscopiques fixées (diatomées benthiques) qui fournissent une information différente de celles qui dérivent en suspension dans l'eau. Les diatomées sont des algues à paroi siliceuse.

NB : Il en existe 11 mais les 2 les plus utilisés sont :

- **IPS: Indice de polluo-sensibilité** (ex. calculés sur 10 000 espèces environs)
- **IBD : Indice biologique diatomique** (ex. calculés sur 209 espèces)

Et L'Indice de Polluosensibilité Spécifique (IPS) est considéré comme l'un des indices diatomiques les plus performants pour l'évaluation de la qualité des cours d'eau. Elle permet de proposer un indice diatomique pratique basé sur l'identification de 45 genres et 91 espèces.

- Définition de L'indice biologique diatomées

L'**indice biologique diatomées (IBD)** est un indice de l'état des écosystèmes lotiques basé sur la communauté de diatomées (algues unicellulaires au squelette externe siliceux) présente dans le périphyton des cours d'eau.

Description de l'indicateur¹

Les diatomées sont des algues microscopiques brunes constituées d'un squelette siliceux. Elles sont une composante majeure du peuplement algal des cours d'eau et des plans d'eau. Considérées comme étant les algues les plus sensibles aux conditions environnementales, elles réagissent aux pollutions organiques, nutritives (azote, phosphore), salines, etc.

■ **Objectifs à évaluer** : Améliorer la qualité de l'eau

■ **Méthodologie**

L'échantillonnage doit être réalisé entre **les mois de mai et octobre**, dans les cours d'eau peu profond et prélever de préférence au centre du lit majeur, avant et après un seuil dans la mesure du possible. Le matériel benthique est récupéré par brossage de substrats durs naturels, mis dans des piluliers, formolé *in situ*. Puis est analysé en laboratoire.

La fréquence d'échantillonnage dépendra des attendus du suivi, en règle général il est recommandé de réaliser un prélèvement l'année avant les travaux (état zéro), puis un prélèvement les années suivants les travaux.

L'Indice de Polluosensibilité Spécifique (IPS) prend en compte tous les taxons et est utilisé internationalement. L'IBD utilise un nombre plus restreint de taxons. L'IBD et l'IPS peuvent varier entre 1 à 20 et les notes se répartissent au sein de cinq classes de qualité :

Indice IBD	Classe de qualité biologique	Caractéristiques
IBD > 17	Très bonne	Pollution ou eutrophisation nulle à faible
13 < IBD ≤ 17	Bonne	Eutrophisation modérée
9 < IBD ≤ 13	Passable	Pollution moyenne ou eutrophisation forte
5 < IBD ≤ 9	Mauvais	Pollution forte
IBD < 5	Très mauvaise	Pollution ou eutrophisation très forte

Couverture de l'indicateur

Spatiale	Temporelle	
	Suivi après travaux	Suivi patrimonial
Bassin versant Zone humide Unité Hydraulique Cohérente	1 fois/an n-1, n+1, n+3	1 fois/an Tous les ans

Exemple de protocole expérimentale le plus utilisé :

- 1- Prélèvement des échantillons par grattage de pierres.
- 2- Traitement des échantillons à l'eau oxygénée.
- 3- Observation des lames au microscope pour identification et dénombrement des espèces.
- 4- Calcul des indices diatomiques et interprétation des résultats

Exemple d'utilisation des diatomées pour évaluer la qualité d'un cours d'eau (Source : Pascale Naim, 2017)

Définition² des diatomées

Les diatomées ou Bacillariophycées sont des algues brunes, microscopiques (dont la taille varie entre 5µm et 500µm) et unicellulaires appartenant à l'embranchement des Chromophytes. Chaque cellule est constituée d'un exosquelette siliceux, le frustule, et de matière organique végétale.

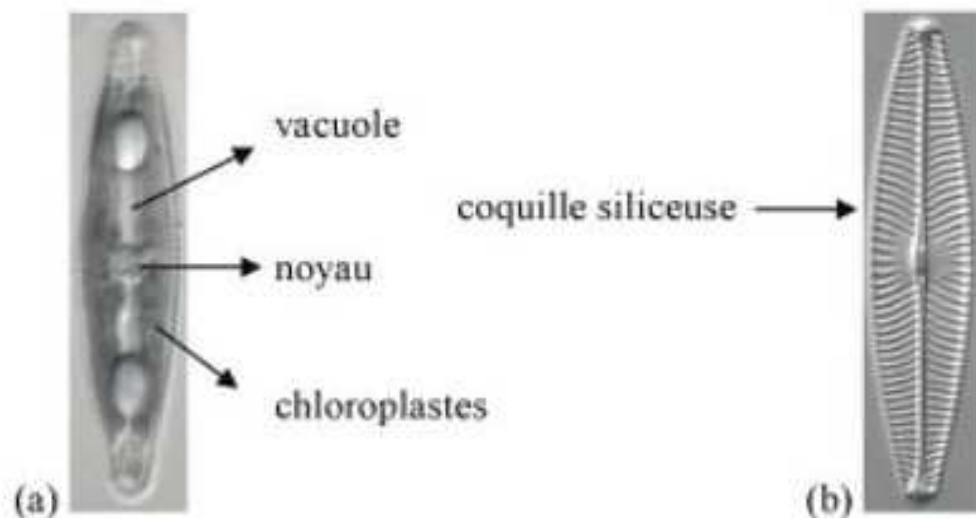


Figure 1. (a) *Navicula lanceolata* avec contenu cellulaire.
 (b) *Navicula lanceolata* sans contenu cellulaire.

Guide identification des diatomées de l'Est du Canada (Isabelle Lavoie)

C'est à partir des particularités de ce frustule que le taxonomiste identifie les espèces. Les cellules peuvent vivre libres dans l'eau ou former des colonies rubanées, étoilées ou filamenteuses. Elles sont fortement influencées par :

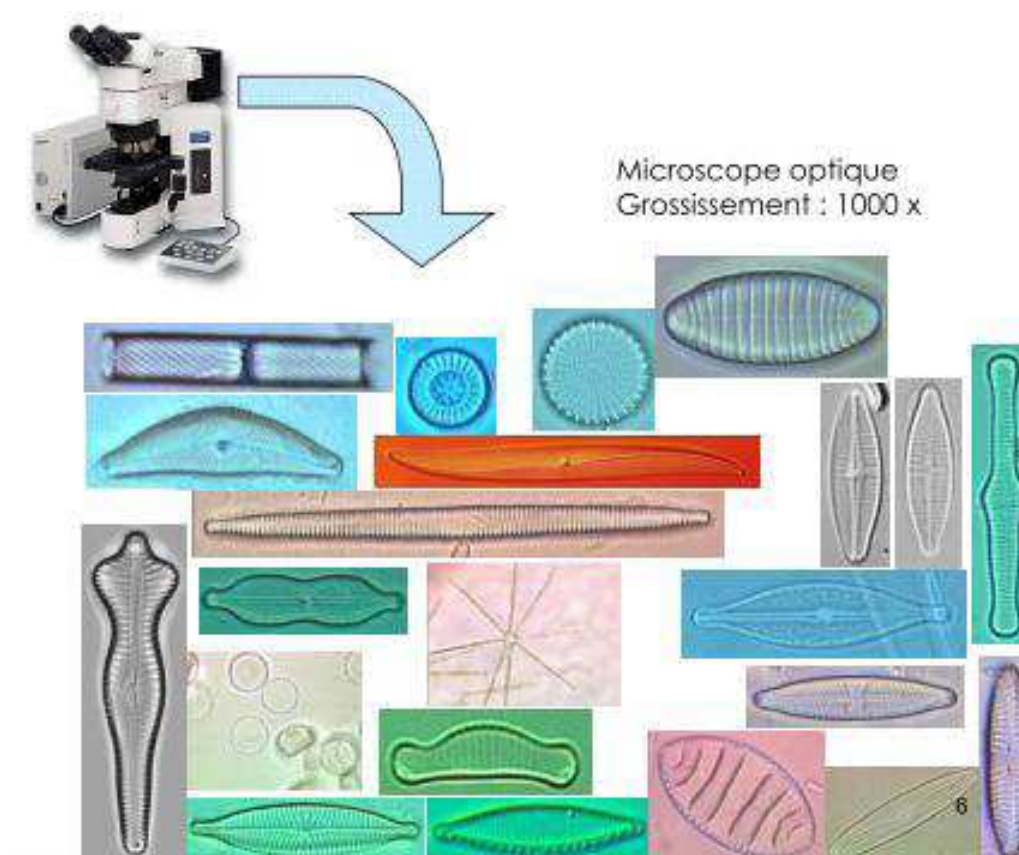
- Le pH
- Les nutriments (surtout l'azote et le phosphore)
- La présence de matières organiques
- Une faible oxygénation des eaux.

Avantages d'utiliser les diatomées comme bioindicateurs :

- Les algues ont habituellement un cycle de vie rapide, ce qui en fait un bioindicateur efficace pour les impacts qui ont lieu sur une courte période.
- Étant des producteurs primaires, les algues sont plus directement affectées par les facteurs physiques et chimiques de l'eau.
- L'échantillonnage est facile, peu coûteux, requiert peu de gens et minimise les impacts sur la faune en place.
- Dotées d'un frustule fait de silice, il est facile de les préserver.

NB : Utiliser une eau de javel deux fois plus concentrée qu'à l'habitude, soit un berlingot à diluer dans un 1/2 litre d'eau.

L'observation au microscope, objectif x 100 à immersion, montrera une grande diversité d'espèces de diatomées.



Capacités bioindicatrices des diatomées pour les pollutions industrielles.

Source : Frédéric RIMET et Agnès BOUCHEZ / INRA – Thonon les Bain

- Observer les diatomées et déterminer leur genre (*Clé de détermination simplifiée des genres de diatomées*) : **-Quelques formes générales**

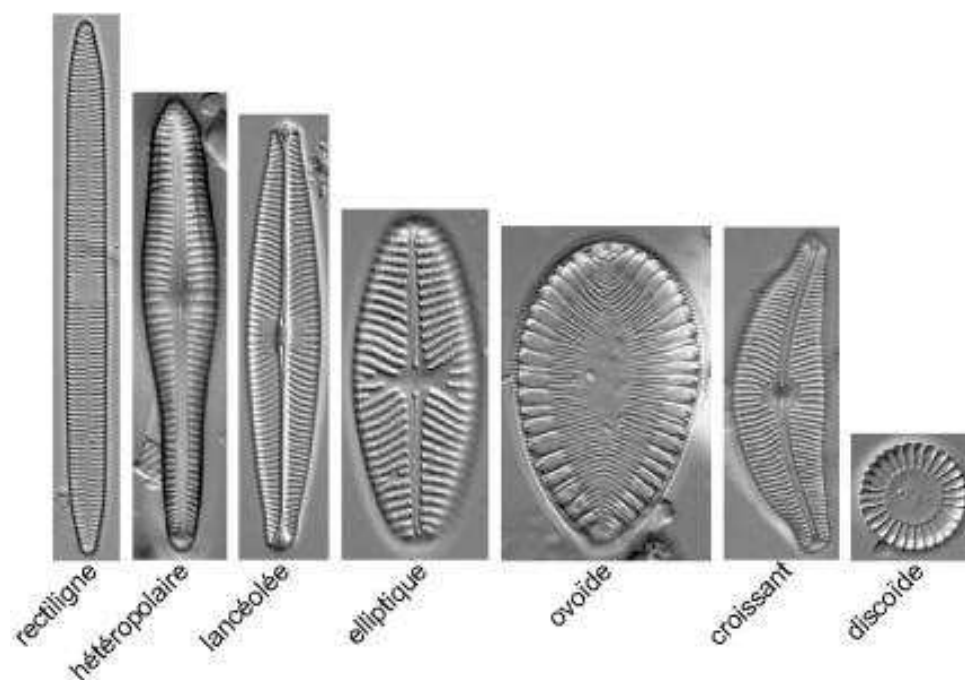


Tableau des valeurs de l'IBD, des classes et de l'état écologique qui correspondent

Valeur IBD	17 à 20	13 à 17	9 à 13	5 à 9	1 à 5
Classe	A	B	C	D	E
Etat écologique	Très bon état	Bon état	Etat moyen	Mauvais état	Très mauvais état

Tableau des interprétations écologiques, des 5 classes d'IBD

Classe IBD	Interprétation écologique
A	La communauté de diatomées correspond aux conditions de référence (non perturbées). Pas ou peu d'altération d'origine humaine et pollutions organiques faibles au cours des semaines précédentes. Cours d'eau oligotrophe.
B	Légères modifications par rapport aux communautés de référence. Faible niveau de distorsion lié aux activités humaines. Concentration en nutriments et pollutions organiques faibles au cours des semaines précédentes.
C	Modifications modérées par rapport aux communautés de référence. Niveau modéré de distorsion lié aux activités humaines. Au cours des semaines précédentes, des épisodes où la concentration en nutriments et/ ou les pollutions organiques étaient élevées. Cours d'eau mésotrophe
D	La communauté de diatomées est sérieusement altérée par l'activité humaine, par rapport aux conditions de référence. Les espèces sensibles à la pollution sont absentes. Il y a eu au cours des semaines précédentes, des épisodes où la concentration en nutriments et/ ou les pollutions organiques étaient élevées.
E	La communauté de diatomées est la plus dégradée par rapport aux conditions de référence. La population est exclusivement composée d'espèces très tolérantes à la pollution. Au cours des semaines précédentes, la concentration en nutriments et/ ou les pollutions organiques étaient constamment élevées. Cours d'eau eutrophe.

ETUDE DE L'INDICE BIOTIQUE BASE SUR LES MACROINVERTEBRES BENTHIQUES

Les macroinvertébrés benthiques (MIB) sont des organismes qui vivent dans le fond d'un cours d'eau ou qui ne s'en éloignent que de peu durant la majeure partie de leur vie. Dépourvus de colonne vertébrale, ils sont visibles à l'œil nu. On retrouve dans cette catégorie **les larves d'insectes aquatiques, quelques insectes aquatiques adultes, les crustacés, les mollusques et les vers**. Les principaux ordres d'insectes aquatiques appartenant à cette catégorie d'organismes sont les suivants : **Éphémères, Plécoptères, Trichoptères, Diptères, Coléoptères, Mégaloptères, Hémiptères, Odonates et Lépidoptères** (Gagnon et Pedneau, 2006). Au cours de ce séminaire, je traiterai des insectes aquatiques puisqu'ils représentent près de 95% de tous les macroinvertébrés présents en zone lotique (Lee et al. 2006).

1- Historique

Très utilisés en Europe, les macroinvertébrés sont au cœur de plusieurs méthodes normalisées et reconnues par les gouvernements. La plupart de ces méthodes dérivent du premier indice biotique élaboré par Verneaux & Tuffery (1967). Verneaux a par la suite apporté quelques modifications à son premier ouvrage, **en 1976, avec l'Indice de qualité biologique globale (IQBG)** et **en 1982 avec l'Indice biologique global (IBG) maintenant appelé l'Indice biologique global normalisé (IBGN)**, (Leclercq, 2001). **En Belgique, l'Indice biotique belge (IBB)** a été approuvé par l'Institut Belge de Normalisation comme méthode standard pour l'évaluation des milieux aquatiques. L'IBB a été élaboré en combinant deux indices biotiques, soit l'indice de Woodiwiss et celui de Tuffery & Verneaux (Guérard, 2003). **En France, l'IQBG est normalisé**, (DIREN, 2006). **L'Australie** s'est pour sa part dotée en 1992 d'une stratégie nationale pour la gestion de la qualité de l'eau (Chessman, 1995), et depuis le début des années 90', les macroinvertébrés sont couramment utilisés pour l'évaluation environnementale et la surveillance des rivières du pays (Metzeling et al. 2003).

Au Québec, le ministère du Développement Durable, de l'Environnement et des Parcs (MDDEP) a développé, lui aussi, un indice basé sur l'échantillonnage de macroinvertébrés benthiques. De 1989 à 2000, il a réalisé un suivi des grandes rivières du Québec à l'aide de la technique Hester-Dendy, laquelle consiste à prélever des échantillons à l'aide de substrats artificiels. Depuis 2003, **le MDDEP travaille activement au développement d'un indice multimétrique pour l'évaluation rapide des petits cours d'eau**. Ce type d'indice comprend un ensemble de variables transformées en scores. D'après Camargo et al. (2004), cette technique fournit une analyse intégrée de la macro communauté de fond en estimant plusieurs données métriques représentant des aspects structurels et fonctionnels de la communauté, de même que la tolérance des MIB face à la pollution. **Les données métriques les plus utilisées sont la diversité, la richesse,**

les espèces dominantes, le pourcentage des groupes taxonomiques et trophiques et un indice biotique pour la tolérance (Camargo et al., 2004; Pelletier, 2007). Les scores sont additionnés pour ensuite être comparés à un site de référence, ce qui permettra l'interprétation du degré de dégradation du cours d'eau. D'ici 2008, ce nouvel indice devrait être disponible pour le grand public. Par contre, il faudra par la suite adapter cet indice aux particularités des différentes régions du Québec. Le MDDEP a déjà beaucoup de données pour le secteur des basses terres du St-Laurent jusqu'à Montréal. En 2006, le Comité de valorisation de la rivière Beauport (CVRB), en collaboration avec le MDDEP, a également mis sur pied un projet pilote de surveillance volontaire des petits cours d'eau. Le but de ce projet est de permettre aux organismes qui le désirent d'évaluer l'état de santé globale d'un cours d'eau. Le CVRB s'occupe de donner des formations aux personnes et aux organismes désirant participer à cette surveillance volontaire. Les formations sont offertes en juin et à l'automne, avant l'échantillonnage, et le nombre de places est limité, il faut donc réserver si on désire y participer. De plus, les données recueillies pourront servir par la suite à améliorer l'indice qui sera développé par le MDDEP. Les régions qui participent activement auront donc plus de chance d'avoir un indice adapté aux particularités de leur région. Pour le moment, très peu de données ont été prises en Abitibi-Témiscamingue, sur la Côte Nord, en Gaspésie et en Outaouais. Le Québec en est à ses débuts dans ce domaine, cependant une équipe dynamique est en place et un indice multimétrique sera bientôt disponible (Pelletier, 2007).

2- Différents types d'indices

Selon leur mode de fonctionnement, on peut diviser les indices en deux types : **saprobique** et **biocénétique**.

2.1- les indices saprobiques

Les indices saprobiques sont basés sur la description des exigences écologiques des espèces face à différents polluants. On attribue à chaque espèce une valence saprobique, qui quantifie sa sensibilité face à la pollution organique, et une valeur indicatrice qui pondère l'indice en déterminant si l'espèce est une bonne indicatrice ou non. De plus, l'identification doit absolument être faite jusqu'à l'espèce. La figure qui suit (1) illustre l'exemple d'un spectre écologique vis-à-vis des phosphates. L'espèce 4 a une valeur saprobique de 5 (très sensible aux phosphates) et une valeur indicatrice de 5 (très bonne indicatrice) puisque sa population passe de très abondante pour une concentration de 15 µg-P/l, à très faible pour une concentration de plus de 900 µg-P/l. Pour calculer la valence saprobique, il faut multiplier le pourcentage d'abondance relative par la classe de qualité qui lui correspond, on les additionne ensuite et finalement on divise par 100. À l'aide de la figure 2, voici un exemple pour l'espèce 1 : $((5 \times 65) + (4 \times 20) + (3 \times 10) + (2 \times 5) + (1 \times 0)) / 100 = 4,45$. De plus, aux fins d'interprétation, des groupes

sont définis pour chaque intervalle de valence saprobique entre 1 et 5. Chaque groupe est associé à une catégorie de sensibilité allant de très sensible à très résistante à la pollution organique. L'indice diatomique est basé sur ce concept (Leclercq, 2001).

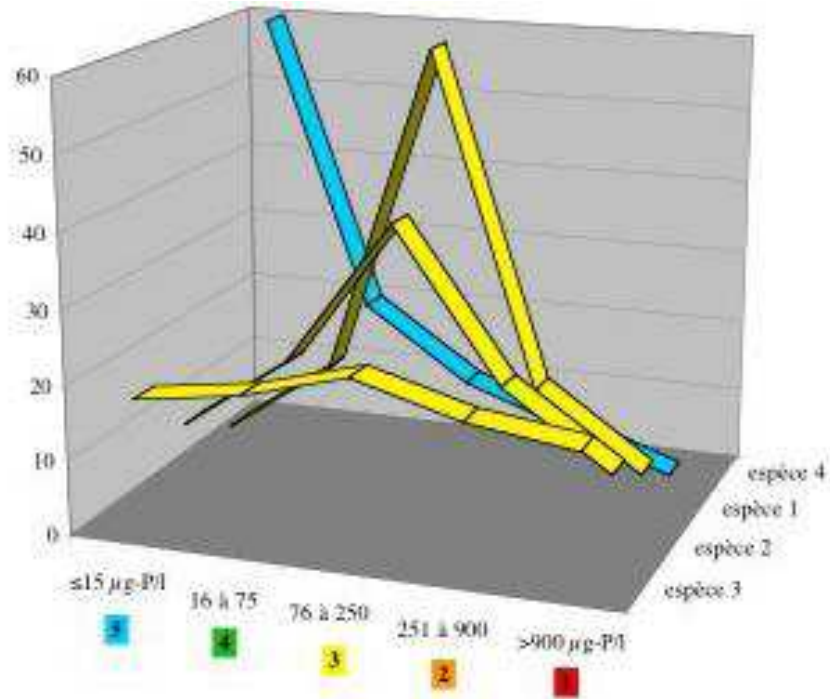


Figure 1. Spectre écologique vis-à-vis les phosphates (Leclercq, 2001).

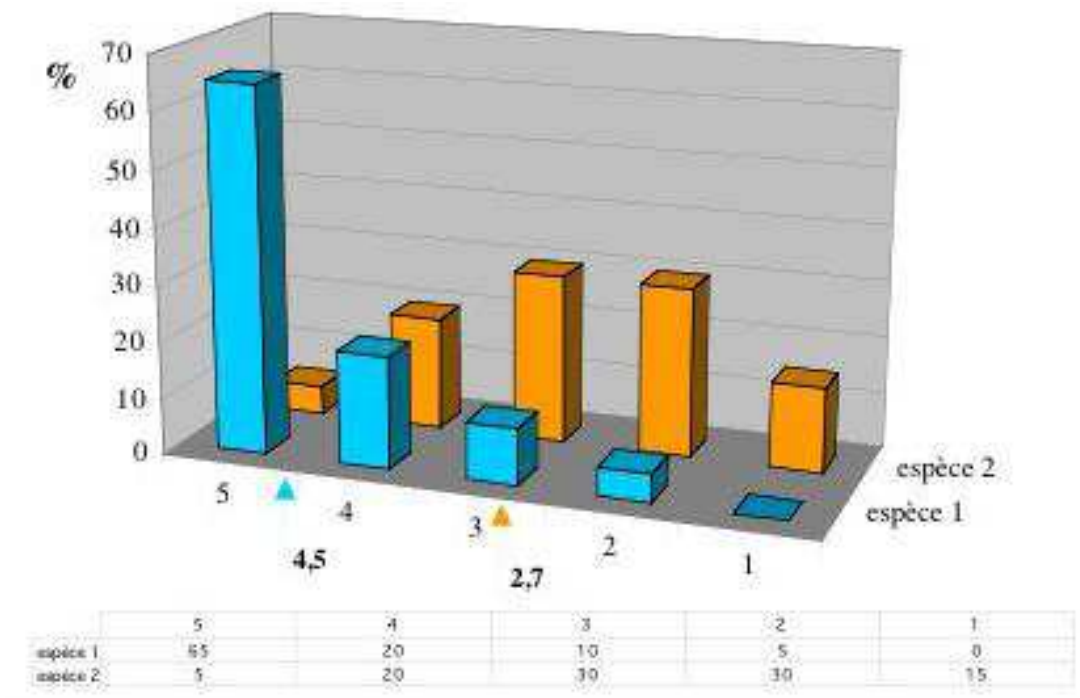


Figure 2. Données nécessaires pour le calcul d'une valence saprobique (Leclercq, 2001).

2.2- l'indice biocénotique (voir tableau-ci-dessous)

Le deuxième type d'indice est le niveau d'identification varie selon le groupe d'organisme et chaque groupe taxonomique identifié (ex famille) est appelé « **unité systématique** ». Cet indice est basé sur des tableaux à double entrée. On retrouve à la verticale, dans la première colonne, les organismes qui sont classés en groupes faunistiques selon leur sensibilité envers la pollution. Les colonnes de droite correspondent à la variété du peuplement et donc au nombre total d'unités systématiques présentes. Dans ce type d'indice, il n'est pas nécessaire d'effectuer un comptage au-delà de trois individus (voir IBBB), (Leclercq, 2001).

**Tableau standard de détermination de l'Indice biotique belge (IBB)
(un bon exemple de tableau à double entrée)**

Groupes faunistiques classés par ordre de sensibilité décroissante à la pollution		Indice biotique en fonction du nombre total d'unités systématiques présentes				
	Nombre d'US dans le groupe faunistique	0-1	2-5	6-10	11-15	≥16
Plecoptera	≥2	-	7	8	9	10
	1	5	6	7	8	9
Trichoptera à fourreau	≥2	-	6	7	8	9
	1	5	5	6	7	8
Ancylidae et Ephemeptera sauf heptageniidae	≥3	-	5	6	7	8
	≤2	3	4	5	6	7
Aphelocheirus (hemiptera) Odonata Gammaridae (Crustacéa) Mollusca sauf sphaeridae	≥1	3	4	5	6	7
Asellus (Isopoda) Hirudinae Sphaeridae Hemiptera sauf Aphelocheirus	≥1	2	3	4	5	-
Tubificidae Chironomidae thumini-plumosus	≥1	1	2	3	-	-
Eristalinae / Syrphidae	≥1	0	1	1	-	-

3- Effets de la pollution sur les macroinvertébrés benthiques

Woodcock et Huryn (2007) montre que La structure des communautés de macroinvertébrés benthiques est souvent utilisée comme indicateur des effets de l'activité humaine sur les écosystèmes des cours d'eau, et pour fournir une foule d'informations sur la qualité de l'eau et de l'habitat.

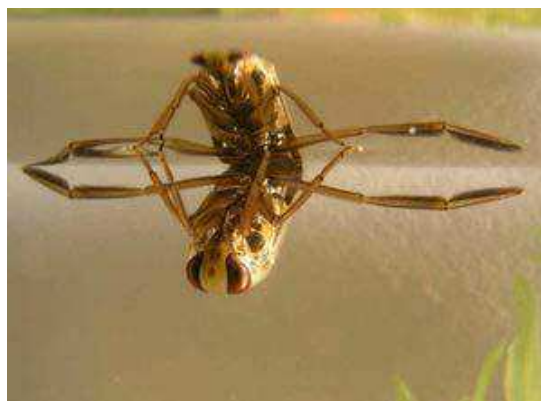
3-1 Détection de la pollution par les macroinvertébrés benthiques(MIB)

On peut les utiliser (MIB) pour identifier plusieurs types de pollution, comme la pollution organique, métallique, de même que pour détecter une acidification du milieu (Camargo et al., 2004). Leur utilisation repose essentiellement sur l'évaluation de données concernant leur façon de se nourrir, de se reproduire et d'exploiter leur habitat (Camargo et al., 2004).

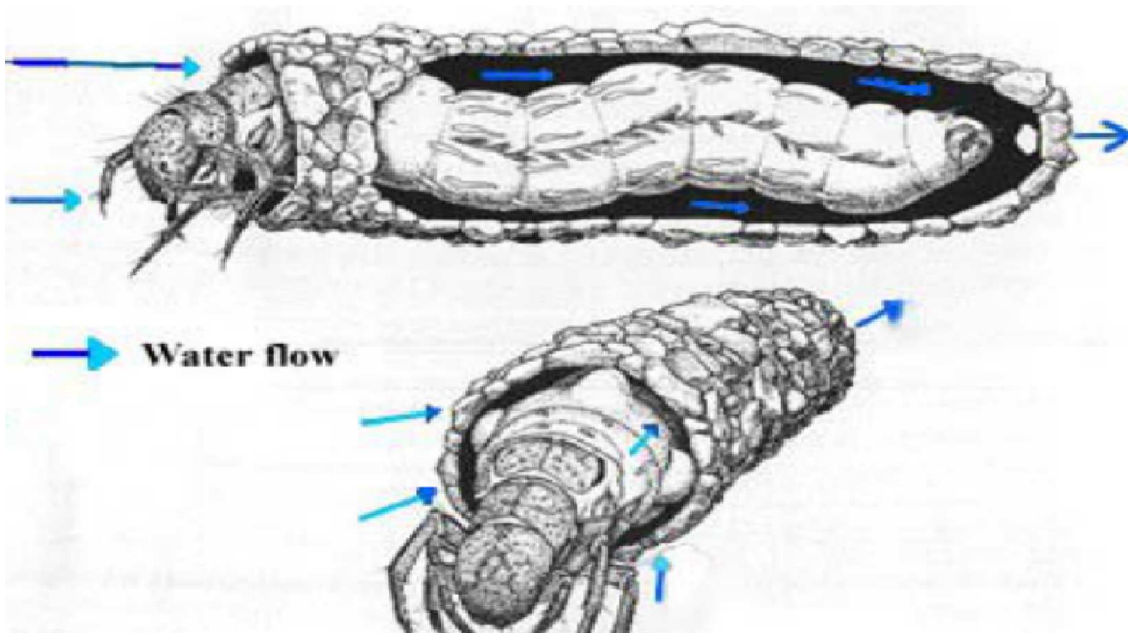
3-2 Objectif de l'élaboration d'un indice à partir des MIB

L'objectif de l'élaboration d'un indice à partir des MIB est de pouvoir relier les résultats à un niveau de pollution ou de dégradation d'un cours d'eau. Pour élaborer un indice, il faut d'abord connaître le degré de sensibilité ou de tolérance des MIB relativement à divers polluants. Il est déjà bien connu que les Plécoptères, les Trichoptères à fourreau et les Éphéméroptères sont les groupes les plus sensibles aux polluants. Ils ont besoin d'une eau bien oxygénée et peu polluée à une température assez fraîche. Au contraire, les Tubificidées, les Chironomidées et les Syrphidées sont les groupes les plus tolérants. Ils peuvent vivre dans une eau peu oxygénée avec une bonne quantité de polluant à une température plus élevée. Si on observe une abondance de ces espèces et une absence des espèces sensibles, on peut en conclure que l'eau est de mauvaise qualité. Par exemple, si les bandes riveraines ont été détruites par l'activité humaine, la température du cours d'eau augmente, le niveau d'oxygène baisse et la quantité de débris végétaux diminue, ce qui a pour effet de favoriser les espèces tolérantes (De Pauw et Vanhooren, 1983; Camargo et al. 2004; Peterson, 2006).

3-3 exemples de MIB



Notonecta glauca, Hémiptères (Wikipédia, 2007)



Circulation de l'eau dans le fourreau d'un **trichoptère** (Dubuc, 2002).



Nepa apiculata, **Hémiptères** (Dubuc, 2002)