

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE AKLI MOHAND OULHADJ – BOUIRA
FACULTE DES SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA VIE ET DES SCIENCES DE LA TERRE
DEPARTEMENT DE BIOLOGIE



Réf :/UAMOB/F.SNV.ST/DEP.BIO/2017

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME MASTER

Domaine : SNV Filière : Sciences Biologiques
Spécialité : Science Et Gestion De L'environnement

Présenté par :

Mme Bouabid Kahina

Thème

**Concept de bio-indication et bio-indicateur de la qualité des
milieux aquatique : les eaux de surfaces
Applicabilité au contexte géographique de la Kabylie .**

Soutenu le : 02 / 7 / 2017

Devant le jury composé de :

<i>Nom et Prénom</i>	<i>Grade</i>		
M. LEKBAL.F	MAA	Univ. de Bouira	Président
M. HAMDANI. A	MAB	Univ. de Bouira	Promoteur
M. ZOUGGAGHE FATEH	MAA	Univ. de Bouira	Examineur

Année Universitaire : 2016/2017

**CONCEPT DE BIO-INDICATION ET BIO-INDICATEUR DE LA QUALITE DE
L'EAU DES MILIEUX AQUATIQUE : LES EAUX DE SURFACES.
APPLICABILITE AU CONTEXTE GEOGRAPHIQUE D'ALGERIE**

RESUME

TABLES DES MATIERES

PAGES

Introduction1

CHAPITRE 1 : EAU ET SES PROBLEMATIQUES

1.1. L'eau est un bien unique3

1.2. Dégradation des ressources en eau3

1.3. Pollution Des Milieux Aquatiques6

1.3.1. Origine des pollutions du milieu aquatique6

1.3.2. Nature Des Polluants du milieu aquatique8

1.3.2.1. Pollution par les hydrocarbures8

1.3.2.2. Pollution par les métaux lourds.....9

1.3.2.3. Pollution organique.....9

1.3.2.4. Les pesticides10

1.3.2.5. Contamination bactériologique10

1.3.2.6. Anoxie L'oxygénation des cours d'eau11

1.3.2.7. Sur abondance d'éléments nutritifs phénomène de l'eutrophisation11

1.4. Pollution du Bassin Méditerranéen12

1.5. Pollution en Algérie13

CHAPITRE2 : CONCEPT DE BIO-INDICATION.

2.1. Méthodes D'évaluation De La Qualité De L'écosystème Aquatique15

2.2. Définition de la Bio-indication.....15

2.3. Intérêts de la Bio-indication pour l'évaluation de la qualité des eaux.....16

2.4. Qu'est-ce qu'un Bio-indicateur?.....16

2.4.1-Définition d'un Bio-indicateur ou Indicateur Biologique.....	17
2.4.2- Caractéristiques et Critères de sélection d'un Bio-indicateur.....	17
2.4.3-Différentes catégories de Bio-indicateur.....	19
1. Les espèces dites Bio-accumulatrices.....	19
2. Les Bio-indicateurs de réaction.....	19
3. Bio-indicateurs de biodiversité.....	20
2.4. Indices Biotique	20
IBNG l'Indice Biologique Global Normalisé.....	20
IBMR L'Indice Biologique Macrophytique en Rivière	20
IBD Indice Biologique Diatomique.....	21
IPR l'Indice Poisson Rivière (IPR).....	21
2.5. Quelques Définitions Equivalentes :.....	22
2.5.1. Approches active et passive	22
2.5.2 . Biomarqueur	22
2.5.3.Biomonitoring et Biomonitor	23
2.5 .4.notion de réseaux trophique	23
2.5.5. Espèces Polluosensibles et Polluorésistantes	24

CHAPITRE 3 : DIVERSITE ET USAGES DES ESPECES BIO-INDICATRICES DES MILIEUX AQUATIQUES

3.1. Les principaux Espèces Bio-indicatrices des milieux aquatiques.

3.1.1. Les Macro invertébrés benthiques :.....	26
3.1.1.1. Description Et Caractéristiques De La Catégorie.....	27
3.1. 1.2. Principaux facteurs d'influences.....	28
3.1. 1.3. Méthode d'échantillonnage et d'analyse.....	29
3.1. 1.4. Les Principales espèces utilisées. En bio-indication.....	31
3.1.2. Poissons:.....	33
3.1. 2.1. Description Et Caractéristiques De La Catégorie	33

3.1. 2.2. Principaux facteurs d'influences.....	34
3.1.2.3. Méthode d'échantillonnage et d'analyse.....	35
3.1. 2.4. Les Principales espèces utilisées. en bio-indication.....	36
3.1. 3. Les algues	38
3.1.3.1. Description Et Caractéristiques De La Catégorie.....	38
3.1. 3.2. Principaux facteurs d'influences.....	39
3.1.3.3. Méthode d'échantillonnage et d'analyse.....	39
3.1. 3.4. Les Principales espèces utilisées. En bio-indication.....	40
3.1.4. Les zooplancton.....	42
3.1. 4.1. Description Et Caractéristiques De La Catégorie.....	42
3.1. 4.2. Principaux facteurs d'influences.....	43
3.1. 4.3. Méthode d'échantillonnage et d'analyse.....	44
3.1.4.4. Les Principales espèces utilisées en bio-indication.....	45
3.1.5. Macrophytes	47
3.1.5.1. Description Et Caractéristiques De La Catégorie.....	47
3.1.5.2. Principaux facteurs d'influences.....	48
3.1.5.3. Méthode d'échantillonnage et d'analyse.....	49
3.1. 5.4. Les Principales espèces utilisées en bio-indication.....	50
3.1. 6. Les Bactéries	52
3.1.6.1. Description Et Caractéristiques De La Catégorie.....	52
3.1.6.2. Principaux facteurs d'influences.....	53
3.1. 6.3. Méthode d'échantillonnage et d'analyse.....	53
3.1 6.4. Les Principales espèces utilisées en bio-indication.....	54
3.1.7. Les Oiseaux	56
3.1.7.1. Description Et Caractéristiques De La Catégorie.....	56
3.1. 7.2. Principaux facteurs d'influences.....	57
3.1.7.3. Méthode d'échantillonnage et d'analyse.....	58
3.1.7.4. Les Principales espèces utilisées en bio-indication.....	59

3.2. Suivi À L'aide D'indicateurs	61
Les Paramètres A Prendre En Considération En Méthodes De Recherche.....	61
3.2.1 .Type de Milieu à l'Etude.....	61
3.2.2. Détermination de type de contaminant ou problématique a étudier et de bio-indicateur adéquat	62
• Pollution par les hydrocarbures	62
• Pollution par les métaux lourds	63
• Pollution organique	64
• les pesticides	64
• Contamination microbienne.....	65
• Anoxie	65
• Sur abondance d'éléments nutritifs phénomène de l'eutrophisation	66
• Acidité (le pH du milieu)	66
3. 2. 3.Echantillonnage	67
3.2. 3.1. Préparation du matériel	67
3. 2. 3.2.ou échantillonné ?.....	67
3. 2.3.3 Période D'échantillonnage	68
3. 2. 3.4. Conservation des échantillons	68
3. 2.4 .Comment procéder à l'identification?	68
3.2.5. Utilisation d'indice biologique adéquat	69

CHAPITRE 4 :L'APPLICABILITE DE LA BIO INDICATION SUR LES EAUX DES SURFACES EN ALGERIE

4.1. Caractéristiques abiotiques des écosystèmes aquatiques continentaux d'Algérie	70
4. 1.1. Données hydrologiques	70
4.1.2. Données thermiques	72
4. 1.3. Impact humain	72

4. 1.4. Pollution des eaux superficielle en Algérie	73
4.2. Les inventaires et les recherches sur les peuplements des écosystèmes aquatiques continentaux d'Algérie	75
4. 2.1. Inventaire de la faune d'invertébrés des écosystèmes aquatiques continentaux en Algérie.....	75
• La microfaune (zooplancton)	76
• les invertébrés	77
4. 2.2. Les macro-invertébrés benthiques des cours d'eau de Kabylie	81
4.2.2.1.Situation géographique.....	81
• Bassin versant de la Soummam	81
• La Kabylie du Djurdjura	83
4.2.2.2. Richesse et abondance taxonomique	84
• Bassin versant de la Soummam	84
• La Kabylie du Djurdjura	87
4.2.2.3. Remarque sur les données inventoriées	88
4. 2. 3. Inventaire des Diatomées des écosystèmes aquatiques continentaux en Algérie	88
CONCLUSION	91
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUE	93
ANNEXE	99

Berceau de la vie et agent de son développement, l'eau recueille les produits et les substances indispensables à la croissance des organismes aquatiques et terrestres.

La qualité des eaux dans le monde a connu ces dernières années, une grande détonation, et ce, à cause des rejets industriels non contrôlés, l'utilisation intensive des engrais chimiques dans l'agriculture et l'exploitation abusive et irrationnelle des ressources aquatiques.

D'une manière générale, la pollution de l'eau est devenue un problème d'actualité qui touche tous les pays. Ses conséquences sont traduites, d'une part, par la dégradation souvent irréversible de l'écosystème, d'autre part, par une raréfaction de cette ressource précieuse et vitale. (Necib, Rezig et Boughediri ;2013)

La surveillance de l'état des cours d'eau est une nécessité croissante. A côté des analyses physicochimiques habituelles dont le caractère ponctuel est bien connu, des méthodes plus « intégratrices » se sont développées en utilisant les compartiments biologiques, dont les plus connues et les plus utilisées mettent en jeu les différents organismes, populations et communautés peuplant un milieu donné et leurs confié la responsabilité de faire le suivi et l'évaluation de la qualité de l'eau. Bien que l'étude des variables physico-chimiques soit largement utilisée pour diagnostiquer les problèmes de pollution de l'eau et de dégradation des habitats, le recours aux indicateurs biologiques constitue une méthode d'évaluation plus complète et plus informative puisqu'ils permettent également aux gestionnaires d'évaluer les impacts de ces différentes perturbations sur la faune et la flore aquatique (Benoit, 2014)

Cette science qui est la science de la bio-indication, c'est-à-dire de l'utilisation d'organismes vivants dans le but d'évaluer les conditions environnementales d'un milieu donné, a développé de nombreux outils (bioindicateurs, biomoniteurs, bioaccumulateurs, biomarqueurs, etc.) permettant la gestion et le maintien des écosystèmes (Belanger,2009 , Reouane ,2013) ;Le relevé de la littérature révèle que le concept de la bio-indication fait l'objet de plusieurs études et que son utilité est reconnue par la communauté scientifique(Benoit,2014). L'utilisation de bioindicateurs choisis au sein des communautés aquatiques affectées représente un des moyens d'évaluer l'impact du développement humain sur les écosystèmes aquatiques et de prévenir les situations critiques par la mise en place d'outils de restauration et de conservation (Belanger,2009 , Reouane ,2013). puisque la majorité de ces organismes que se soit les macroinverté- brés benthiques ,poissons, algues ,zooplancton ,macrophytes , bactéries, ou oiseaux ,possèdent un certain nombre de caractéristiques qui en font d'excellents bio-indicateurs de la qualité du milieu aquatique et leur importance a déjà été soulignée par de nombreux travaux de recherche (Belanger,2009).

Le présent travail portant sur l'application de la bio indication fait objet d'une synthèse bibliographique dans laquelle nous avons fait un très large emprunt de plusieurs travaux réalisés à l'échelle globale, et particulièrement dans le contexte géographique de l'Algérie, par nombreux auteurs et acteur intéressés par l'approche de la bio indication adoptée dans le processus de l'évaluation qualitative des eaux de surface.

Ainsi pour réaliser le présent travail, il a été question de le scinder en quatre principaux chapitres :

le premier chapitre, est consacrée à l'eau et ses problématiques, on a définit les pollutions qui touches le milieu aquatique leurs origines et leur natures. Le deuxième chapitre aborde les différents concepts relatifs à la science de la bio-indication. On y retrouve des définitions ainsi que l'information concernant les caractéristiques d'un bon bio-indicateur et les éléments à prendre en compte lors du choix d'un tel indicateur.

Dans le troisième chapitre, on s'intéresse à la présentation des principaux bio-indicateurs des milieux aquatiques. Leurs caractéristiques, les principaux facteurs qui les influences et la méthodes d'échantillonnage et d'analyse de chacun et maitre en évidence les principales espèces utilisées dans chaque type de bio-indicateur dans la première partie. Ensuite ;on y retrouve une deuxième partie qui présente les paramètres a prendre en considération lors de l'application de cette approche ; il demeure essentiel d'avoir les connaissances et les caractéristiques de base sur le milieu ou la station d'études ; ensuite, maitre en évidence le problème a étudier ,ici on a sélectionner les principaux polluants qui touchent le milieu aquatiques et de leurs effets sur les organismes bio-indicatrices et déterminer le bio-indicateur adéquat .

Enfin, le quatrième chapitre traite l'applicabilité de la bio indication sur les cours d'eaux d'Algérie et ceci selon une reconstitution des travaux réalisés dans certain nombre de régions. Dans ce chapitre, il a été question de présenter les caractéristiques géographiques et biogéographiques de l'Algérie notamment géologiques, hydrologiques, ainsi les inventaires faunistiques et diatomiques recensés par différents chercheurs en Algérie.

CHAPITRE 1 : l'eau et ses problématiques :

1.1. L'eau est un bien unique :

Une infime partie de l'eau présente sur Terre coule dans les rivières. Il s'agit pourtant d'un compartiment de premier ordre, composante élémentaire du cycle hydrologique, acheminant les eaux douces des pluies continentales et des glaciers vers les océans (Keck, 2017). Les eaux de surface occupent la plus grande partie du globe terrestre. Environ 98% de ces eaux sont des eaux marines. Les 2% restant constituent les eaux continentales représentées par les rivières, les lacs, les étangs (Aissaoui, 2013; Djabouri, 2014). Les rivières constituent des milieux naturels extrêmement variés, où se développent de nombreuses espèces animales et végétales interagissant au sein d'écosystèmes complexes (Keck, 2017).

Les rivières sont aussi intimement liées au développement des activités humaines. Depuis la préhistoire (Keck, 2017), à cause de leurs utilisations multiples, ces eaux continentales sont d'une très grande importance pour les activités humaines : pour les activités domestiques comme la consommation et les loisirs, pour les activités agricoles et halieutiques et pour les activités industrielles. Les milieux aquatiques continentaux procurent une variété de biens et de services à l'homme, ce qui leur confère une valeur économique irremplaçable (Djabouri, 2014, Keck, 2017). L'eau potable est vraisemblablement le bien le plus précieux car elle est une ressource rare et vitale. L'eau est également un élément indispensable utilisé par l'irrigation agricole, la production d'énergie et l'industrie.

Les eaux continentales attirent et concentrent de nombreuses populations pour leurs activités qui en retour doivent veiller à leur gestion et à leur pérennité. Face à l'explosion démographique actuelle, on se rend compte que les ressources en eau douce sont épuisables, et que les activités humaines représentent l'une des causes majeures du stress des écosystèmes aquatiques (Djabouri, 2014, Aissaoui, 2013).

1.2. Dégradation des ressources en eau :

Les pressions exercées par les hommes sur le milieu naturel sont de plus en plus importantes, ce qui entraîne d'année en année, un risque de dégradation accru, de la qualité de notre environnement. Le domaine de l'eau est un milieu particulièrement sensible aux pressions anthropiques puisque c'est principalement par l'eau que s'effectuent la collecte et le transfert des substances ou composés polluants dans l'environnement (Djabouri, 2014, Aissaoui, 2013).

La dégradation de la ressource « eau » découle essentiellement des pollutions ponctuelles et diffuses et de la modification des caractéristiques physico-chimiques . Dans la mesure où la distribution des organismes colonisant les milieux aquatiques est principalement dictée par des processus autoécologiques , les perturbations anthropiques ont une répercussion très forte sur la biodiversité aquatique (Djabouri,2014).

A l'heure actuelle et à l'échelle mondiale, on assiste à une intensification des activités industrielles et agricoles ainsi qu'à une augmentation rapide de la population. Ces activités ont introduit dans les hydrosystèmes (cours d'eau, nappes souterraines, lacs, estuaires, lagunes, océans...) des substances qui ont des répercussions néfastes aussi bien sur l'environnement, que sur la santé humaine. L'industrie, l'agriculture et les zones urbaines rejettent chaque année plusieurs dizaines de millions de tonnes de composés chimiques dans les eaux douces .Ces produits sont extrêmement variés et leurs effets souvent nocifs pour les écosystèmes aquatiques.(Keck ,2017) Selon Djabouri (2014) ;dans certains écosystèmes, ces produits chimiques peuvent être à l'origine de la disparition de certaines espèces animales et/ou végétales et par conséquent, entraînent le dysfonctionnement de la chaîne trophique (faible biodiversité...)

Une grande partie de ces produits sont susceptibles de contaminer les eaux des rivières. D'importantes quantités d'azote et de phosphore sont transférées vers les cours d'eau au niveau des zones densément peuplées et des régions agricoles . Ces apports en nutriments augmentent la production primaire dans les rivières, en modifient le fonctionnement trophique, asphyxient le milieu et occasionnent des blooms d'algues toxiques. L'agriculture fait aussi usage de nombreux pesticides (insecticides, fongicides et herbicides) dont le temps de dégradation peut être long et que l'on retrouve souvent dans les eaux de surface(Fenner et al., 2013) . Les qualités biocides de ces composés les rendent fortement toxiques pour les organismes aquatiques.

Les rivières sont aussi affectées par les rejets des activités minières et industrielles qui génèrent d'important problèmes de pollutions aux métaux lourds, aux hydrocarbures et aux composés organiques persistants, dont la toxicité est établie, Il en résulte des modifications importantes sur la diversité biologique et le fonctionnement de ces écosystèmes(Keck ,2017)

La dégradation des milieux aquatiques n'a pas réellement été perçue comme problématique dans un premiers temps et l'ampleur du phénomène a très certainement été sous estimée. A partir des années 1950, il commence à apparaître que la pollution des rivières et la perte de biodiversité se doublent d'un coût économique et social induit par la compromission de services écosystémiques rendus jusque-là (Cardinale et al., 2012)

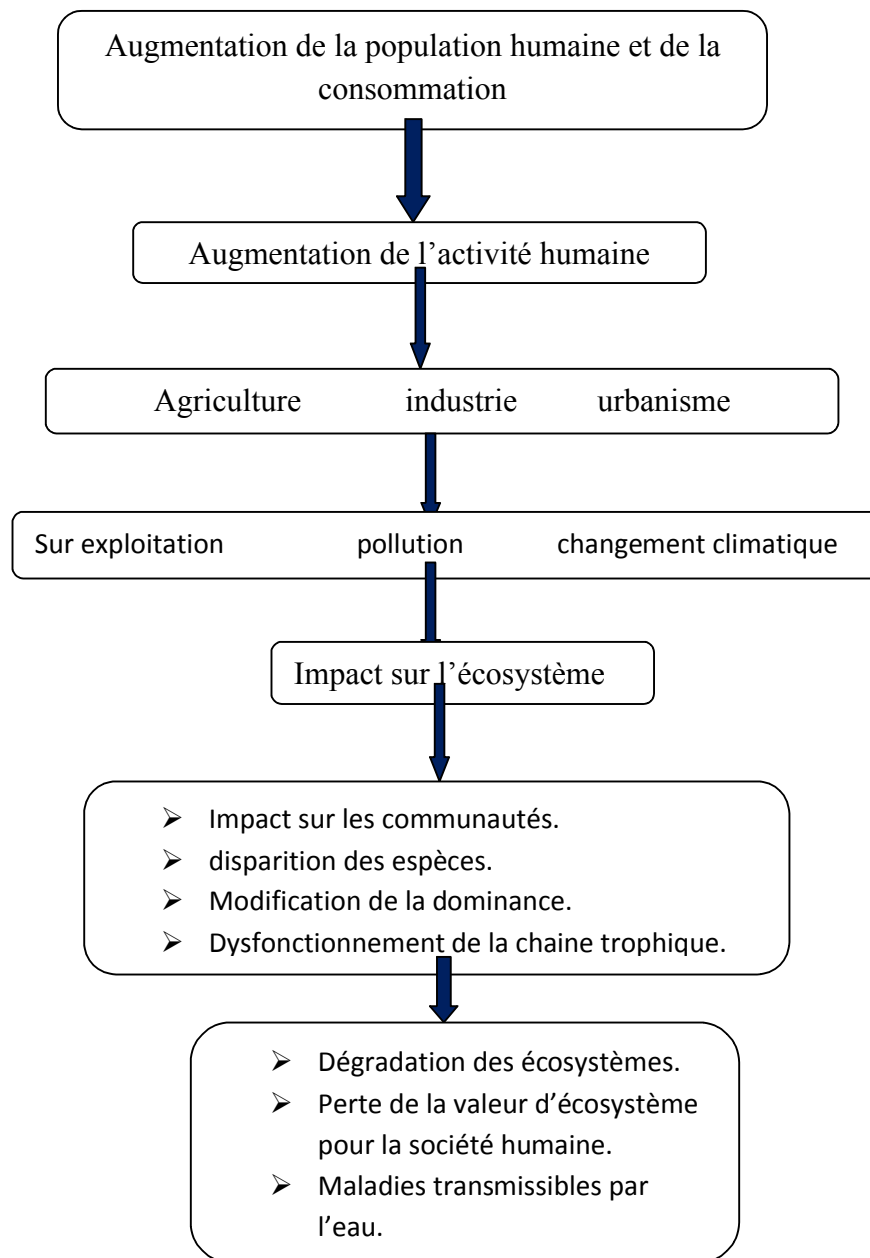


Figure1 :L'impact de l'anthropisation sur l'écosystème aquatique et ces conséquences.

1.3. Pollution Des Milieux Aquatiques :

La pollution des eaux est l'un des aspects les plus inquiétants de la dégradation du patrimoine naturel. Des dommages causés à ce milieu récepteur pourraient à long terme constituer un réel danger à l'humanité et mettre en péril la vie de la flore et de la faune aquatique.

Selon la définition donnée par GESAMP (Group of Experts on the Scientific Aspects of Marine Pollution) dans le cas particulier de l'environnement marin, le terme de pollution désigne l'introduction direct ou indirect par l'homme de substance ou d'énergie dans le milieu marin lorsqu'elle a, ou a eu, des effets nuisibles.(Belhafiane,2016,Bentata-Keddar,2015) Le terme de pollution désigne donc l'introduction dans le milieu aquatique de toute substance susceptible de modifier les caractéristiques physico-chimiques et/ou biologique et bactériologique de l'eau et de créer des risques pour la santé de l'homme, de nuire à la faune et à la flore terrestres et aquatiques de porter atteinte à l'agrément des sites ou de gêner toute autre utilisation normale des eaux(Chenaifia,2012 ; ,Bentata-Keddar,2015)

1.3.1. Origine des pollutions des milieu aquatique :

L'histoire de la pollution aquatique remonte au tout début de l'histoire de la civilisation humaine.(Belhafiane,2016) . En effet, la production et les émissions de pollution sont souvent dérivées des activités humaines, telles que :

- l'agriculture (ex : les fertilisants, pesticides et produits agrochimiques).
- l'industrie (ex : les métaux lourds, les éléments traces et les composés organiques).
- l'urbanisme (ex : agents pathogènes, substance organique, métaux lourds et élément traces contenus dans les eaux usées).
- le tourisme (ex : déchets plastiques sur les côtes), etc...(Sahbaoui,2015)

❖ Les principales sources de pollutions sont donc :

1. Physique (mécanique) :

Des charges importantes de déchets (matières solides) peuvent occasionner l'obturation des canalisations. Les sources principales de cette pollution sont :

- Les ateliers de traitement de surface.

- Les cimenteries.
- Les industries minières.

2. Chimique :

Elle est générée par la quasi-totalité des industries utilisant des réactifs ou des produits chimiques. Il existe deux grandes catégories principales :

- polluants minéraux : les métaux, les oxydes et sels des métaux (halogénures, nitrates, sulfates....).
- polluants organique : les colorants, les détergents, les huiles, les solvants et les divers composés organique.

3. Bactérienne ou biologique :

Cette pollution pose souvent des problèmes d'hygiène publique entraînant souvent des infections et des contaminations par des verus. Elle est due aux activités suivantes :

- les industries pharmaceutiques.
- les industries agro-alimentaires.
- les hôpitaux.

En rejetant des effluents contaminés dans le milieu aquatique, La pollution microbiologique et physico-chimique sous toutes formes, peut gêner un usage ultérieur de l'eau, elle est surtout susceptible de dégrader la qualité de l'eau au point de porter atteinte à la vie aquatique.(Chenaifia,2012,Sahbaoui,2015)

Tableau 1 : origines et natures de différentes sources de pollution du milieu aquatique.

Type pollution	nature	origine
physique	Rejet d'eau chaude	Centrales,thermiques,et nucleaire
	M.E.S (matière suspension)	Rejet bains, érosion des sols.
chimique	Matière organique	Effluents,domestiques, agricoles, agroalimentaires.
	Fertilisants(nitrate, phosphate)	Agriculture, lessives.
	Métaux (Cd, Pb, Al, As).	Industries, agriculture, déchets
	Pesticides(insecticides, herbicides, fongicides..)	Industries, agriculture.
	Organochlorés (PCB, Solvants)	Industries.
	Détergents	Effluents domestiques.
	Hydrocarbures	Industrie pétrolière, transports.
Biologique	Bactéries,virus, champignons.	Effluents urbains, agricoles. ,industries ,pharmaceutique, hopitaux

1.3.2.Nature Des Polluants du milieu aquatiques :

1.3.2. 1 .Pollution par les hydrocarbures :

Les hydrocarbures comme le pétrole, les huiles et les graisses proviennent surtout des activités d'exploitation, de transport et de raffinement du pétrole. La pollution pétrolière offre a chacun de nous une image repoussante par lieu des aspects de pellicules d'hydrocarbures flotte sur l'eau résidus goudronneux et présence d'animaux mort. (Slimane,2006,Omar Rouane ,2007).

L'essence et les huiles automobiles répandues sur la chaussée qui sont lessivées par la pluie, de même que les huiles usées jetées de façon inadéquate ou illégale entraînent également la contamination des milieux aquatiques (Omar Rouane,2007 ;Slimane,2006). Les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP), quant à eux, proviennent entre autres de la combustion des combustibles fossiles par les divers engins à moteur, des déchets issus des incinérateurs et des processus de production d'aluminium.... (Omar Rouane,2007,Bélangier, 2009 , Slimane ,2006)

La fraction des hydrocarbures qui ne s'évapore pas durant les premières heures suivant les déversements se comporte selon différentes phases, soit l'étalement, l'émulsification, la dissolution et la sédimentation (Bertrand, 2012).

Les premiers mètres supérieurs de la colonne d'eau et les sédiments constituent les principales zones d'accumulation d'hydrocarbures, excepté en milieu marin où la plupart des hydrocarbures flottent à la surface (ITOPF, s.d.). De ce fait, ce sont les organismes qui vivent dans les couches supérieures de la colonne d'eau, sur les fonds aquatiques ou dans les sédiments qui sont les plus vulnérables.

1.3.2.2. Pollution par les métaux lourds :

La pollution par les métaux lourds est en grande partie causée par les rejets industriels et domestiques, l'activité minière et les eaux de ruissellement contaminées par les engrais et les pesticides utilisés en agriculture (Bélanger, 2009, Omar Rouane, 2007).

Les métaux lourds présents dans l'eau et dans les sédiments sont absorbés par les plantes et les animaux marins, le dépassement d'une quantité donnée dans ces espèces provoque leur accumulation dans les organismes et tout au long de la chaîne alimentaire. Ils peuvent atteindre des concentrations menaçant la survie de certaines populations naturelles et présentent des dangers pour le consommateur de produits marins du fait de leur possibilité de concentration dans les espaces aquatiques, de leur élimination difficile et de leur large répartition dans le milieu aquatique. (Belhaïfia, 2016, Hebert ; Legaret, 2000)

1.3.2.3. Pollution organique :

Les composés organiques ont pour origine les activités humaines, industrielles et agricoles ainsi que les activités naturelles. Ces composés peuvent affecter à des doses très faibles le milieu récepteur. (Mouni, 2004). Les composés organiques sont soit des produits industriellement fabriqués, cas des phénols et leurs dérivés, des composés azotés ... soit des matières organiques banales comme les protéides (lipides et glucides) les huiles et les goudrons (Slimane, 2006, Hebert ; Legaret, 2000). Les polluants organiques persistants sont des composés qui, à différents

degrés, perdurent dans les écosystèmes aquatiques, qui peuvent être bioaccumulés dans les tissus adipeux des organismes aquatiques et qui peuvent causer de sérieux dommages aux écosystèmes (Kayalto, 2009;Bélanger, 2009).

1.3.2.4. Les pesticides :

On définit un pesticide comme étant une substance ou une préparation utilisée pour lutter contre des créatures vivantes nuisibles à l'homme de façon directe ou indirecte.(Slimane,2006,Omar Reouane,2007)

Les pesticides organochlorés sont une grande famille de pesticides utilisés en agriculture et dont la persistance dans le milieu aquatique et les effets toxiques sur la faune marine sont reconnus depuis longtemps par la communauté scientifique(Belanger,2009,Aissaoui,2013) les pesticides sont dangereux d'une manière générale Selon leurs concentrations dans l'eau, les pesticides peuvent affecter les différentes composantes de la chaîne trophique aquatique (végétaux, insectes, poissons, etc.). et provoque aussi une détérioration des milieux aquatiques, Plusieurs sont détectés dans les cours d'eau en concentrations qui dépassent les critères de qualité de l'eau établis pour la protection de la vie aquatique. Les pesticides peuvent également altérer la qualité de l'eau destinée à l'approvisionnement en eau potable et constituer un risque pour la santé humaine (Hebert ;Legaret,2000).

1.3.2.5. Contamination bactériologique :

La présence de bactéries dans l'eau est un phénomène normal et constitue un aspect primordial de la décomposition de la matière organique et du recyclage des éléments nutritifs essentiels au maintien des organismes aquatiques et de la chaîne trophique. Cependant, lorsque le milieu reçoit des déjections d'origine animale ou humaine, le nombre et le type de bactéries présentes peuvent rendre l'eau non appropriée pour certaines activités. Ces bactéries, appelées coliformes fécaux, proviennent du tube digestif des mammifères et sont de bons indicateurs de la présence potentielle d'organismes pathogènes pouvant causer des problèmes de santé (gastro-entérites, dermatites, etc.)(Slimane,2006). Des concentrations trop élevées en coliformes fécaux peuvent compromettre la baignade et la pratique sécuritaire d'activités nautiques impliquant un léger contact avec l'eau (canotage, pêche à gué, etc.). Le rejet d'eaux usées domestiques non

traitées, les débordements des réseaux d'égouts par temps de pluie, de même que l'épandage de fumier et de lisier sont les sources principales de contamination bactériologique (Hebert ;Legaret,2000)

1.3.2.6. Anoxie L'oxygénation des cours d'eau :

En milieu aquatique, l'oxygène est un élément essentiel pour les organismes vivants. La concentration en oxygène dans l'eau est la résultante de nombreux processus. Avant tout, la capacité de dissolution de l'oxygène est fonction de la température de l'eau. À saturation (à la suite d'un bon mélange qui permet la diffusion dans l'eau de l'oxygène présent dans l'atmosphère), une eau froide contient une plus grande quantité d'oxygène qu'une eau chaude(Hebert ;Legaret,2000). De plus, la quantité de matière organique constitue un autre facteur important puisqu'elle détermine le taux d'oxygène consommé par les microorganismes décomposeurs, L'oxygène dissout est généralement essentiel à la survie de la faune et de la flore aquatique. Cependant, les exigences propres aux différentes espèces sont variables. (Benoit, 2014).

La respiration est la principale cause de diminution de l'oxygène, qu'il s'agisse de la respiration des animaux (poissons, insectes, etc.) ou des plantes pendant la nuit, ou encore de la respiration bactérienne associée au processus de décomposition de la matière organique. Ce dernier phénomène peut devenir particulièrement dommageable en milieu productif; l'abondance de matière organique d'origine animale ou végétale, stimulée par la grande disponibilité de nutriments, occasionne alors une activité bactérienne importante. (Hebert ;Legaret,2000).

1.3.2.7. Sur abondance d'éléments nutritifs phénomène de l'eutrophisation :

L'apport d'éléments nutritifs dans les milieux aquatiques est essentiellement dû à l'agriculture, aux rejets d'eaux usées municipales et rurales, ainsi qu'aux rejets industriels et aux exploitations aquicoles et forestières. L'apport excessif d'éléments nutritifs dans les milieux aquatiques entraîne l'eutrophisation, c'est-à-dire la croissance excessive des plantes et des algues. L'augmentation importante de la biomasse algale engendre alors une augmentation de la turbidité de l'eau et peut mener à la création de conditions anoxiques(Hebert ;Legaret,2000).

1.4. Pollution du bassin Méditerranéen :

La Méditerranée a toujours été un carrefour de civilisations et de cultures, actuellement elle est l'une des mers les plus polluées du monde; elle est sillonnée par 50% de la circulation maritime mondiale (Sahbaoui,2015,Omar Rouane ,2007)

Les principaux problèmes de la pollution dans le milieu Méditerranéen c'est son caractère semi-fermé(Bentata-Keddar,2015), ainsi que leur faible profondeur qui limite considérablement les échanges des courants avec l'atlantique voisin et ne permet pas le renouvellement complet de l'eau qu'une fois tous les soixante-dix ans seulement(Sahbaoui,2015).Du fait de son grand volume d'eau, elle présente une grande capacité d'absorber la pollution, cependant les grandes quantités de résidus déversés ne peuvent pas être assimilées dans les zones côtières (Omar Rouane,2007).

Les zones les plus peuplées du bassin Nord-ouest (d'Ebre en Espagne à l'Arno en Italie) sont parmi les plus affectées par cette pollution, Les milieux marins en Afrique du Nord recèlent d'importantes ressources biologiques qui conservent encore un important pouvoir de régénération même si l'état est critique en Méditerranée. Malgré sa grande biodiversité, ce milieu marin est menacé par plusieurs sources de pollution et de dégradation tels que l'urbanisation, le tourisme(Bentata-Keddar,2015), les transports maritimes, les activités industrielles et agricoles et enfin la pêche Les problèmes posés à l'environnement marin du bassin méditerranéen sont divers (Omar Rouane,2007)

En effet, la méditerranée représente 30% du transport maritime mondiale, elle connaît à elle seule 1/5 des accidents pétroliers mondiaux (Sahbaoui,2015) , La pollution par les hydrocarbures, en Méditerranée est liée au trafic maritime(OmarRouane,2007). Le méditerrané est la première destination touristique au monde (30% du tourisme mondiale)(Sahbaoui,2015)

La plupart des zones côtières de la méditerranée abritent des industries chimiques et extractives qui produisent des quantités significatives de déchets industriels (par exemple des métaux lourds, des substances dangereuses et des polluants organiques persistants) (Bentata-Keddar,2015), Les macro déchets (bouteilles de plastique, déchets de toute nature...) constituent un danger pour diverses formes de vie et entravent la beauté du paysage , susceptibles de gagner directement ou indirectement (c'est-à-dire via les rivières et les eaux de ruissellement) les milieux marins de la méditerranée(Omar rouane,2007,Sahbaoui ,2015)

Enfin, il faut préciser que l'activité humaine dans les régions du pourtour de la mer Méditerranée exerce un fort impact sur l'environnement. La concentration de la population et des activités humaines tout autour du bassin méditerranéen constituent d'importantes menaces pour les écosystèmes côtiers et les ressources. Ces activités influent sur la structure et la fonction des écosystèmes naturels, la qualité et la quantité des ressources naturelles, les zones côtières et le paysage naturel.

1.5. Pollution en Algérie :

L'Algérie est l'un des plus grands pays du continent africain (le 2ème après le Soudan avec une superficie de 2,4 millions de Km² . Toutefois, la répartition déséquilibrée des populations et des activités (2/3 de la population habitant dans la frange littorale)(Bentata-Keddar,2015), des conditions naturelles contrastées, des ressources en sols et en eaux limitées, fragiles et inégalement réparties, prédisposent le territoire à différents facteurs de vulnérabilité (Mouni,2004)

Malgré sa réputation de pays méditerranéen du fait de sa façade littorale de 1200 km, le rendement de la pêche a diminué de près de 80% ces deux dernières années après que les côtes Algériennes étaient considérées comme étant les plus poissonneuses au niveau de la méditerranée. C'est la première conséquence de la pollution marine (Sahbaoui,2015)

Par ailleurs, des principaux cas de pollution des ressources en eaux superficielles pendant la période 1985-1992, montrent que les effluents industriels contribuent de manière notable à la pollution des cours d'eau. On peut citer quelques exemples : les rejets de tanneries de l'unité textile SONITEX de la ville de Sebdou polluant le barrage de Béni Bahdel, les rejets de la zone industrielle de Tiaret polluant le barrage de Bakkhada ainsi que les déchets du complexe détergents de l'ENAD de Sour El-Ghozlane polluant l'oued Lekhal ,(Mouni,2004 , Kachi,2016,Nehar,2016)

Les stations d'épurations sont censées apporter une amélioration substantielle de l'hygiène publique et de la protection des ressources hydriques(Bentata-Keddar,2015). Elles sont malheureusement inopérantes pour la majorité,(Mouni,2004) ; 17 stations d'épurations des eaux usées urbaines ont été construites dans la zone côtière algérienne, 5 seulement fonctionnent normalement ce qui représente environ 25 % de capacité de traitement totale(Sahbaoui,2015)

Cette situation se répercute gravement sur l'environnement et notamment sur la qualité des eaux superficielles. En effet des tronçons importants d'oueds sont déjà pollués par les eaux usées (oueds Tafna, Mekerra, Chélif, Soummam, Seybouse)(Mouni,2004)

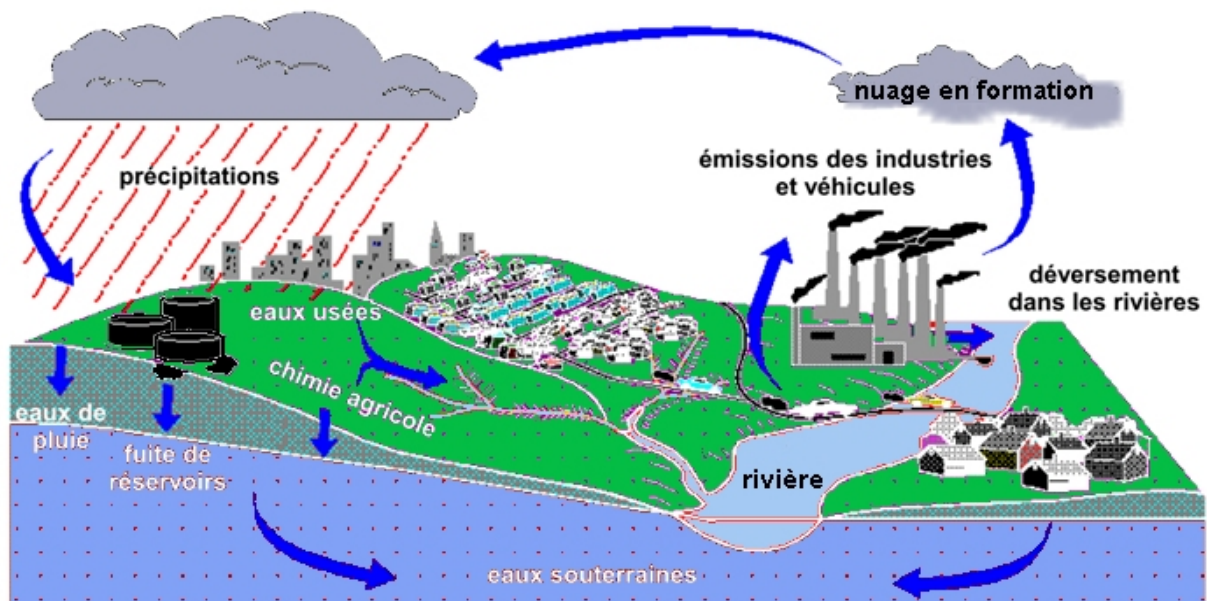


Figure 2 : Cycle simplifié de propagation des polluants anthropiques dans les compartiments naturels. (Jean François Carion,2012)

CHAPITRE 2 : Le Concept De La Bio-indication

2.1. Méthodes De Surveillance De La Qualité De L'écosystème Aquatique :

Pendant de nombreuses années, les méthodes d'évaluation de la qualité de l'environnement aquatique reposaient presque exclusivement sur des mesures de paramètres chimiques de l'eau et des sédiments (Belanger, 2009, Keck, 2017, Djabouri, 2014). Cependant ces méthodes traditionnelles basées sur les caractéristiques chimiques des écosystèmes ne permettent pas de mesurer l'impact des contaminants sur les différents organismes, populations et communautés peuplant un milieu donné.

D'autres méthodes plus récentes utilisant les paramètres biologiques, physiques et biochimiques des organismes vivants, tant à l'échelle du simple individu que des écosystèmes entiers, sont venues combler les lacunes inhérentes aux analyses strictement chimiques. De telles espèces sont appelées indicateurs biologiques (ou bio-indicateur ou indicateurs écologiques) (Belanger, 2009, Belhouari, 2012). Les bioindicateurs présentent un certain nombre d'avantages par rapport aux analyses physico-chimiques. D'abord, ils intègrent les variations du milieu. Contrairement aux mesures physico-chimiques qui donnent un aperçu ponctuel de l'environnement, les indicateurs biologiques reflètent les conditions sur une période plus longue. Cela constitue un avantage certain dans les rivières, où les conditions environnementales varient spatialement et temporellement (Keck, 2017). Certaines espèces sont plus sensibles que d'autres et nécessitent des conditions particulières pour se maintenir dans leur milieu naturel. (Belanger, 2009, et al). Lorsque les conditions du milieu naturel sont altérées, par exemple dans le cas de contamination par des polluants, ces espèces peuvent être affectées de plusieurs façons reflétant ainsi le déséquilibre des conditions initiales du milieu naturel. En raison de leur capacité à caractériser l'état d'un écosystème soumis à un stress environnemental, ainsi qu'à permettre de détecter ou prévoir des changements significatifs pouvant survenir à l'intérieur de ce même écosystème. (Belanger, 2009, Keck, 2017)

2.2. Définition de la Bio-indication :

La bio-indication désigne l'évaluation de la qualité des milieux à l'aide de bio-indicateurs c'est-à-dire d'organismes vivants connus pour leurs capacités à refléter l'état des écosystèmes et à identifier les problèmes et les risques encourus par ceux-ci. (Bentata-Keddar, 2015, Belanger, 2009) donc la bio-indication est une méthode biologique qui utilise les organismes vivants pour évaluer les conditions environnementales dans lesquelles il vit. (Bentata-Keddar, 2015, Keck, 2017)

2.3. Intérêts de la Bio-indication pour l'évaluation de la qualité des eaux :

La qualité des cours d'eau et des milieux aquatiques est estimée en routine par la mesure de paramètres physico-chimiques (Allal-Ikhelef, 2007) ainsi que biologiques. ... Le suivi physico-chimique permet de recueillir des mesures simples et ponctuelles ; c'est une pratique de base de la surveillance de la qualité des eaux, qui s'est complétée et perfectionnée avec l'évolution des techniques (Chauvin, et al). Cependant la mesure seule de ces paramètres ne fournit pas une vue d'ensemble de la santé de l'écosystème aquatique ; puisque elle ne fournit pas de renseignement sur la qualité de l'habitat et est limitée à l'étude des polluants présents à des concentrations supérieures aux limites de détection des méthodes analytiques (kerckhove, 2012, Belanger, 2009, et al). Les organismes aquatiques sont en constante interaction physique, chimique et biologique avec leur écosystème. Ils sont ainsi capables d'intégrer les évolutions environnementales sur le court terme aussi bien que sur le long terme, mais également les effets antagonistes ou synergiques des différents types de contaminants, impossibles à mettre en évidence par des mesures physico-chimiques (Morin, 2006). la bio-indication est donc par plusieurs auteurs qu'elle est un outil indispensable pour évaluer la santé des écosystèmes.

Les pratiques de bio-indication se sont développées pour évaluer la qualité de l'eau et des milieux aquatiques de façon plus intégrée dans le temps. Les observations réalisées sur des individus particuliers sont généralement insuffisantes, très peu d'entre eux présentant des exigences environnementales suffisamment bien circonscrites pour en déduire des informations précises. En revanche, l'exploitation de la structure de communautés aquatiques intègre les caractéristiques spécifiques d'habitat des individus qui les constituent et se révèle ainsi plus appropriée à la bio-indication. Ces pratiques, basées sur les réactions d'organismes vivants exposés à des environnements plus ou moins pollués (Allal-Ikhelef, 2007), sont des techniques simples, généralement peu onéreuses, et relativement souples d'observation et d'analyse. (Morin, 2006)

2.4. Qu'est-ce qu'un Bio-indicateur?

Il y a quelques années de cela encore, le terme bio- indicateur était employé afin de désigner l'un ou l'autre des différents types d'indicateurs biologiques utilisés dans l'évaluation de la qualité de l'environnement (Touzin, 2008). Cependant, l'évolution rapide de cette science a engendré une multiplication et une spécialisation des termes employés par les chercheurs et les auteurs œuvrant dans ce domaine. Il faut cependant noter que le terme bio-indicateur est utilisé dans de nombreux ouvrages afin de désigner les indicateurs biologiques dans leur ensemble (Belanger, 2009, Touzin, 2008, Morin, 2006)

Les définitions présentées ci-dessous correspondent aux termes les plus précis utilisés dans la majorité des ouvrages récents publiés sur le sujet.

2.3.1. Définition d'un Bio-indicateur ou Indicateur Biologique :

Un bio- indicateur est un organisme utilisé pour évaluer les conditions environnementales dans lesquelles il vit.(Kaylato ,2011,al) C'est en quelque sorte un représentant de son habitat. Des indicateurs biologiques ont été développés pour évaluer la qualité de nombreux milieux : les sols (Ritz et al., 2009), l'air ;le milieu marin (Hayes et al., 2015), les zones humides (Fennessy et al., 2015). Les eaux continentales sont certainement le milieu qui a concentré le plus de recherches à ce jour (Keck,2017).

Un bio-indicateur de milieu aquatique 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(Touzin ,2008) Le bio- indicateur est une mesure indirecte, substitutive, d'un phénomène écologique (kerckhove,2012 et Belanger,2009) Pratiquement tous les organismes révèlent des informations sur leur environnement, mais certains sont plus utiles pour la surveillance de la qualité des eaux que d'autres (Morin,2006)

En résumé, les bio-indicateurs permettent de caractériser l'état présent d'un habitat-clé ; ainsi que l'évolution de l'état de l'écosystème dans le temps(Bentata-Keddar,2015). Par conséquent, ils peuvent ainsi constituer un moyen de contrôle d'efficacité des mesures de conservation mises en place, et orienter les correctifs nécessaires, le cas échéant. Ils peuvent également identifier une source de perturbation de l'écosystème (kerckhove, 2012)

La définition reprise par plusieurs auteur « Un indicateur biologique (ou bio-indicateur) est un organisme ou un ensemble d'organismes qui - par référence à des variables biochimiques, cytologiques, physiologiques, éthologiques ou écologiques - permet, de façon pratique et sûre, de caractériser l'état d'un écosystème ou d'un éco complexe et de mettre en évidence aussi précocement que possible leurs modifications, naturelles ou provoquées ». (Bentata-Keddar,2015 ; et al)

2.4.2. Caractéristiques et Critères de sélection d'un Bio-indicateur :

Les bio-indicateurs sont des outils qui, lorsqu'ils sont utilisés efficacement, nous renseignent sur les différentes forces agissant sur un écosystème ainsi que sur les conditions actuelles et l'état vers lequel il évolue Idéalement un bon indicateur se doit d'être :

- 1) fiable quant à sa capacité à détecter les différents stress environnementaux.
- 2) apte à différencier les stress d'origine anthropique de ceux émanant du milieu naturel.
- 3) simple d'utilisation et applicable dans plusieurs écosystèmes différents dans le but de permettre l'échange et la comparaison des données et des résultats. (Bentata-Keddar,2015)

Plusieurs caractéristiques contribuent à faire de certaines espèces de meilleurs indicateurs que d'autres : L'abondance, l'accessibilité, la longévité ainsi qu'une taille facilitant les manipulations sont quelques-unes des caractéristiques recherchées (Belanger, 2009, Keck, 2017)

C'est à dire :

- **Abondance dans le milieu et cosmopolitisme** : être présente dans le milieu en nombre suffisant ; il faudrait que le bio-indicateur ait une population importante (Bentata-Keddar, 2015, Keck, 2017 ; et al), les organismes sélectionnés doivent permettre une application géographique et temporelle large des techniques de bio-indication. (Morin, 2006, Keck, 2017) c'est-à-dire posséder une aire de répartition connue (Bentata-Keddar, 2015, Keck, 2017)
- **Localisation en début de chaîne alimentaire**, c'est-à-dire au plus proche des transferts de nutriments et d'énergie : les producteurs primaires sont ainsi particulièrement sensibles aux variations environnementales, même légères (Morin, 2006)
- **Cycle de vie simple et court**, afin de révéler les changements ponctuels ainsi que les modifications sur le long-terme (par la persistance des tendances mises en évidence sur le court-terme) (Morin, 2006)
- **Facilités d'identification morphologique**, le bio- indicateur doit être facile à capturer et posséder une taille propice à la manipulation (Bentata-Keddar, 2015)
- **Protocoles d'échantillonnage sur le terrain simplifiés**, notamment dans l'optique d'une utilisation par les opérateurs pour la surveillance en routine du niveau de qualité des eaux. (Morin, 2006)
- **Un bon bio-indicateur doit être rentable**, c'est-à-dire avoir une bonne efficacité de coûts. Ce dernier critère important n'est pas tant relié à l'écologie qu'au contexte social et financier. En effet, tout doit être fait selon un budget, par définition limité. Par conséquent Le fait qu'il soit abondant, facile à capturer et que sa réaction soit facilement mesurable va bien sûr dans ce sens. (Keck, 2017)

En dernier lieu, il faut mentionner ceci : il serait plus avantageux d'utiliser plusieurs bio-indicateurs plutôt qu'un. D'après Kerckhove, 2012 Les auteurs Sewell et Griffiths (2009) ont repris sept articles sur les bio-indicateurs. Un point sur lequel tous s'accordent est que les bio-indicateurs de changements environnementaux devraient permettre de détecter une grande variété de stress au cours du temps). Le meilleur moyen d'y arriver serait de combiner plusieurs bio-indicateurs. Cette opinion est partagée par plusieurs auteurs. (Kerckhove, 2012)

2.4.3. Différentes catégories de Bio-indicateur :

Il existe différentes catégories de bio-indicateurs. Elles sont déterminées en fonction du rôle du bio-indicateur, c'est-à-dire de la tâche pour laquelle il est employé. Certains mesurent l'impact d'un changement environnemental, d'autres quantifient l'exposition à certaines substances; d'autres encore permettent d'évaluer la biodiversité de la communauté, actuelle et future.

1. Les espèces dites **Bio-accumulatrices** :

Les espèces bio-accumulatrices sont des organismes qui ont la capacité d'accumuler des contaminants présents dans l'environnement (Keck,2017, Belhouari,2012, Raymond,2008). Il existe deux principaux phénomènes responsables de la bioaccumulation de contaminants par les organismes : la bioconcentration et l'amplification. (Kayalto, 2011)

La Bioconcentration est le transfert direct des substances à partir du milieu ambiant (eau, sédiments, etc.) vers les tissus et les organes. (Transfert direct à partir du milieu environnant)(Belhouari,2012)

Bioamplification, elle, est le résultat du transfert des contaminants le long des différents niveaux de la chaîne alimentaire (Belhouari,2012) (transfert par les niveaux trophiques de la chaîne alimentaire). (Kayalto, 2011 ,Belhouari,2012 ,)

La bioaccumulation de substances toxiques peut entraîner chez certains organismes des modifications du comportement, de la structure des populations et des processus métaboliques ainsi que des changements au niveau morphologique, histologique et cellulaire (Belhouari,2012 ,Sahbaoui,2015 ,Belanger,2009). La capacité des bio-accumulateurs à concentrer des substances toxiques est une forme de résistance aux changements environnementaux (Raymond ,2008) La concentration des contaminants est alors plus grande dans l'organisme bio-indicateur que dans le milieu (par exemple, l'eau). Cela le rend très intéressant pour détecter très tôt une contamination du milieu. En effet, le contaminant est détectable dans le bio-indicateur avant de l'être dans le milieu, par des mesures traditionnelles. De plus, les espèces bio-accumulatrices rendent possible une surveillance de l'évolution d'une contamination. (kerckhove,2012).

2. Les **Bio-indicateurs de réaction** :

Les bio-indicateurs de réaction, parfois également nommés bio-indicateurs de changement environnemental (kerckhove,2012), permettent de détecter les la présences d'une pollution environnementale(Benoit ,2014) ;peuvent être divisés en deux groupes : **les bio-indicateurs de dommage**, et les **bio-indicateurs d'exposition**. Cette distinction correspond à une classification des types de bio-indicateurs selon leur mode d'action.

- **Les bio-indicateurs d'exposition** ; sont des organismes (ou parties d'organisme) qui accumulent des substances provenant de leur environnement (kerckhove,2012), tel que des polluants ou des métaux lourds, par exemple. Ce sont donc le plus souvent des bio-

accumulateurs. Ils possèdent une résistance élevée car ils sont capables d'assimiler des substances polluantes pendant un long laps de temps sans dommage. Il existe également des bio-indicateurs d'exposition sans propriété de bioaccumulation : la résistance aux pesticides acquise chez les insectes est un exemple (Raymond, 2008).

- **Les bio-indicateurs de dommage**, quant à eux, sont des organismes (ou parties d'organisme) qui développent une réponse, spécifique ou non, à la suite d'une exposition à un contaminant. Il s'agit par conséquent d'un phénomène de bioconcentration (Benoit, 2014). Les bio-indicateurs de dommage répondent assez rapidement à un stress, de façon observable ou mesurable (kerckhove, 2012). Ils doivent pour cela posséder une résistance au stress peu élevée, ainsi qu'une faible capacité d'adaptation : on appelle cela des organismes sténopotent (kerckhove, 2012).

3. Bio-indicateurs de biodiversité :

Les bio-indicateurs peuvent également être utilisés comme indicateurs de biodiversité, aussi appelés bio-indicateurs de changement de communauté (kerckhove, 2012). Puisque que les taxons indicateurs sont sensibles aux modifications de l'écosystème, modifications qui pourraient avoir des impacts sur la biodiversité locale ils peuvent aussi être utilisés comme substituts pour évaluer les risques d'impact sur cette biodiversité (kerckhove, 2012) .

2.4. Indices Biotique :

L'indice biotique correspond à une évaluation quantitative de la qualité d'un écosystème sur la base de l'abondance relative des espèces, de la présence /absence des espèces indicatrices, ou en fonction de l'ampleur des changements observés chez les bio-indicateurs (Benoit, 2014)

IBNG : l'Indice Biologique Global Normalisé (ou IBGN) est une méthode standardisée, L'IBGN permet d'évaluer la qualité biologique d'un cours d'eau au moyen d'une analyse des macro invertébrés considérée comme une expression synthétique de cette qualité. L'IBGN est établi par station. L'échantillonnage est réalisé en fonction des conditions hydrologiques et de la nature des habitats. Appliquée à un site d'eau courante considéré isolément, la méthode permet d'en situer la qualité biologique globale dans une gamme typologique générale excepté la zone des sources, certains cours inférieurs des grands cours d'eau et les milieux atypiques tels que les canaux et les zones estuariennes. Appliquée comparativement (par exemple en amont et en aval d'un rejet), la méthode permet d'évaluer, dans les limites de sa sensibilité, l'effet d'une perturbation sur le milieu récepteur.

IBMR : L'Indice Biologique Macrophytique en Rivière (IBMR) est fondé sur l'examen des macrophytes pour déterminer le statut trophique des rivières, applicable aux parties continentales des cours d'eau naturels ou artificialisés, selon une norme AFNOR validée en 2003. Cet indice traduit le degré de trophie des rivières lié à leur teneur en ammonium (forme réduite des nitrates) et orthophosphates, ainsi qu'aux pollutions organiques majeures.

La note obtenue peut varier également selon certaines caractéristiques physiques du milieu comme l'intensité de l'éclairement et des écoulements.

Pour le calcul de cet indice, il faut alors déterminer chaque station IBMR et calculer sa valeur d'après un relevé. Il s'agit d'une observation in situ des peuplements macrophytiques, avec identification des taxons, puis d'une estimation de leurs recouvrements, avec prélèvement éventuel d'échantillons pour vérification taxonomique.

Puis le calcul de l'IBMR est réalisé à partir de la liste floristique qui comprend 208 taxons (algues, bryophytes, plantes vasculaires) et donne une valeur de 0 à 20.

La détermination des taxons inventoriés pourra être réalisée sur site ou au laboratoire

IBD : Indice Biologique Diatomique les Indices diatomique sont destinés à appréhender la qualité de l'eau, ils s'appliquent à des algues microscopiques fixées (diatomées benthiques) qui fournissent une information différente que celle qui dérivent en suspension dans l'eau. les diatomées sont des algues à paroi siliceuse. (institut national de la recherche agronomique de France)

IPR : l'Indice Poisson Rivière (IPR). La mise en œuvre de l'IPR consiste globalement à mesurer l'écart entre la composition du peuplement sur une station donnée, observée à partir d'un échantillonnage par pêche électrique, et la composition du peuplement attendue en situation de référence, c'est-à-dire dans des conditions pas ou très peu modifiées par l'homme. La mise au point de l'IPR s'inspire d'outils multiparamétriques (IBI: Index of Biotic Integrity) développés initialement aux Etats Unis. Ces indices consistent à évaluer le niveau d'altération des peuplements de poissons à partir de différentes caractéristiques des peuplements (ou métriques) sensibles à l'intensité des perturbations anthropiques et qui rendent compte notamment de la composition taxonomique, de la structure trophique et de l'abondance des espèces. (Jérôme Belliard et Nicolas Roset.2006)

2.5. Quelques Définitions Equivalentes, Les Grandes Approches De Bio-indication :

Il n'est pas aisé de fournir une typologie de la bio-indication. La terminologie reste variable d'un auteur à l'autre et les limites entre certains concepts demeurent floues. On peut proposer une classification simple qui distingue les grandes approches de bio-indication

2.5.1. Approches active et passive :

Les études environnementales portant sur les effets des contaminants sur les organismes peuvent être divisées en deux catégories distinctes : les études utilisant une approche active et celles utilisant une approche passive.

On parle d'**une approche active** lorsque des organismes élevés en laboratoire, ou récoltés dans des sites considérés comme non pollués (sites témoins), sont exposés à un milieu contaminé (en laboratoire ou en nature) pour une période de temps définie au bout de laquelle les réponses des organismes sont examinées ou mesurées. Les bio essais, qui sont des tests effectués en laboratoire sur des organismes vivants afin d'évaluer la toxicité d'une substance donnée, appartiennent à cette catégorie d'études. Dans le cas des études effectuées dans le cadre d'**une approche passive**, les observations et les mesures sont effectuées sur les organismes appartenant à l'écosystème étudié dans le but de mettre en évidence les différents effets engendrés par les contaminants présents dans le milieu.

L'utilisation de deux approches différentes dans les programmes d'évaluation environnementale soulève une question importante : les résultats obtenus à l'aide de ces deux approches peuvent-ils être comparés entre eux? La réponse à cette question fait encore l'objet de controverses dans la communauté scientifique mais les scientifiques s'entendent en général sur un point important; lorsque des organismes élevés en laboratoire ou provenant d'un site témoin sont utilisés dans une étude, ceux-ci doivent être génétiquement comparables à ceux du site contaminé. (Belanger, 2009)

2.5.2 . Biomarqueur :

Qui regroupent les méthodes consistant à mesurer des modifications (biochimiques, cytologique, physiologiques, comportementales)(Allal-Ikhelef,2007) sur les organismes et à les mettre en relation avec l'état du milieu ou une pollution particulière.(Keck ,2017)

Il est important de mentionner les biomarqueurs, car leur définition s'entrecoupe avec celle des bio-indicateurs (Bentata-Keddar,2015) ; , de façon plus ou moins large en fonction des auteurs et des conditions. Un biomarqueur est un changement observé chez un organisme suite à l'exposition à un stress, le plus souvent chimique(Allal-Ikhelef,2007,Bentata-Keddar,2015). Ces changements se produisent au niveau sub-organismique, de la génétique jusqu'à la physiologie. Ces changements traduisent l'exposition à des stress en général, et

permettent parfois l'identification d'un stress en particulier (Allal-Ikhelef, 2007). Dans certains cas, les altérations provoquées par les polluants sur ces paramètres biologiques peuvent engendrer des changements au niveau comportemental chez les organismes et c'est pourquoi ces changements comportementaux sont alors considérés comme un type particulier de biomarqueurs (Belanger, 2009). En d'autres termes, les biomarqueurs sont les symptômes d'un stress subi par un organisme. Les biomarqueurs sont le plus souvent qualitatifs, parfois quantitatifs (Bentata-Keddar, 2015). Par conséquent, un biomarqueur peut permettre de détecter les pressions environnementales dans un milieu donné avant même que les effets néfastes se fassent sentir au niveau des organismes. On peut ainsi prédire les dommages potentiels pouvant menacer un écosystème et prendre des mesures nécessaires pour remédier à la situation avant que celle-ci ne devienne trop critique. (Belanger, 2009)

2.5.3. Biomonitoring et Biomonitor :

Le terme biomonitoring désigne l'utilisation d'indicateurs biologiques dans le but de quantifier, à partir de paramètres mesurables, l'état de pollution d'un environnement donné. Les organismes utilisés dans le cadre d'un programme de biomonitoring sont appelés biomoniteurs et sont définis par Kaiser (2001) comme des organismes à partir desquels peuvent être mesurés certains changements, ou certaines caractéristiques, permettant d'évaluer le degré de contamination d'un environnement et les conséquences sur l'état de santé des autres organismes ou de l'écosystème en entier. Les biomoniteurs nous renseignent donc sur les aspects quantitatifs de la qualité de l'environnement. Par conséquent, un biomonitor est également un bio-indicateur en soi mais l'inverse n'est cependant pas toujours vrai. D'après Olesen et Weeks (1994), un bon programme de biomonitoring devrait faire appel à autant d'espèces que possible en fonction du budget disponible. (Belanger, 2009)

2.5.4. Notion de réseaux trophique :

Afin de comprendre les lois qui président le fonctionnement des écosystèmes, il est important de positionner l'ensemble des êtres vivants dans leur milieu de vie. Il existe un ensemble des relations trophiques à l'intérieur d'une biocénose entre les diverses catégories écologiques d'êtres vivants constituant cette dernière. C'est ce qu'on appelle un «réseau trophique (ou chaîne trophodynamique)». La chaîne alimentaire est une suite d'êtres vivants de différents niveaux trophiques dans laquelle chacun mange des organismes de niveau trophique inférieur. Dans un écosystème, les liens qui unissent les espèces sont plus souvent d'ordre alimentaire. Ainsi on distingue trois catégories d'organismes :

- i) **Les producteurs primaires** (végétaux chlorophylliens, capables, grâce à la photosynthèse, de fabriquer de la matière organique à partir du CO₂ et de la lumière solaire ;

- ii) **Les consommateurs** (les animaux : il existe trois types de consommateurs :
 - a) les consommateurs primaires ou herbivores qui se nourrissent des producteurs primaires
 - b) les carnivores primaires qui se nourrissent des herbivores ;
 - c) les carnivores secondaires se nourrissant des carnivores primaires.
- iii) **Les décomposeurs** (bactéries, champignons) capables de dégrader les matières organiques de toutes les catégories et restituent au milieu les éléments minéraux.

Ainsi, ces relations forment des séquences où chaque individu mange le précédent et est mangé par celui qui le suit, on parle donc de la chaîne alimentaire. Chaque maillon est un niveau trophique. Dans une niche écologique où habitent deux espèces dans un milieu et appartenant à une chaîne alimentaire, si un aliment est contaminé, l'organisme contaminé et son prédateur sont susceptibles d'être empoisonnés. Cela veut dire qu'il n'est pas nécessaire que le prédateur soit directement exposé au contaminant chimique mais peut l'être en consommant un animal qui était directement exposé par bioaccumulation (kayalto, 2011).

- **Circulation des polluants dans la chaîne trophique** : Tous les êtres vivants présentent une propriété de pouvoir stocké dans leur organisme toute substance peu ou pas biodégradable, de ce fait, il apparaîtra des phénomènes d'amplification biologique dans tout écosystème contaminé. En effet, les organismes qui ont ainsi concentré telle ou telle substance toxique vont servir de nourriture à d'autres espèces animales qui les accumuleront à leur tour dans leurs tissus. Il va se produire de la sorte de proche en proche une contamination de tout le réseau trophique de l'écosystème, initiée par les producteurs primaires qui pompent le polluant dispersé dans le biotope, les phénomènes de bioaccumulations se produisant dans l'ensemble de la chaîne trophique (Sahbaoui,2015).

2.5.5. Espèces Polluosensibles et Polluorésistantes :

Certaines espèces peuvent survivre exclusivement dans des milieux très peu pollués. Celle-ci sont alors qualifiées de **polluosensibles**. Par opposition à cette définition, les espèces **polluorésistantes** peuvent se maintenir dans les milieux exposés à des niveaux de pollution plus importants. (Benoit, 2014)

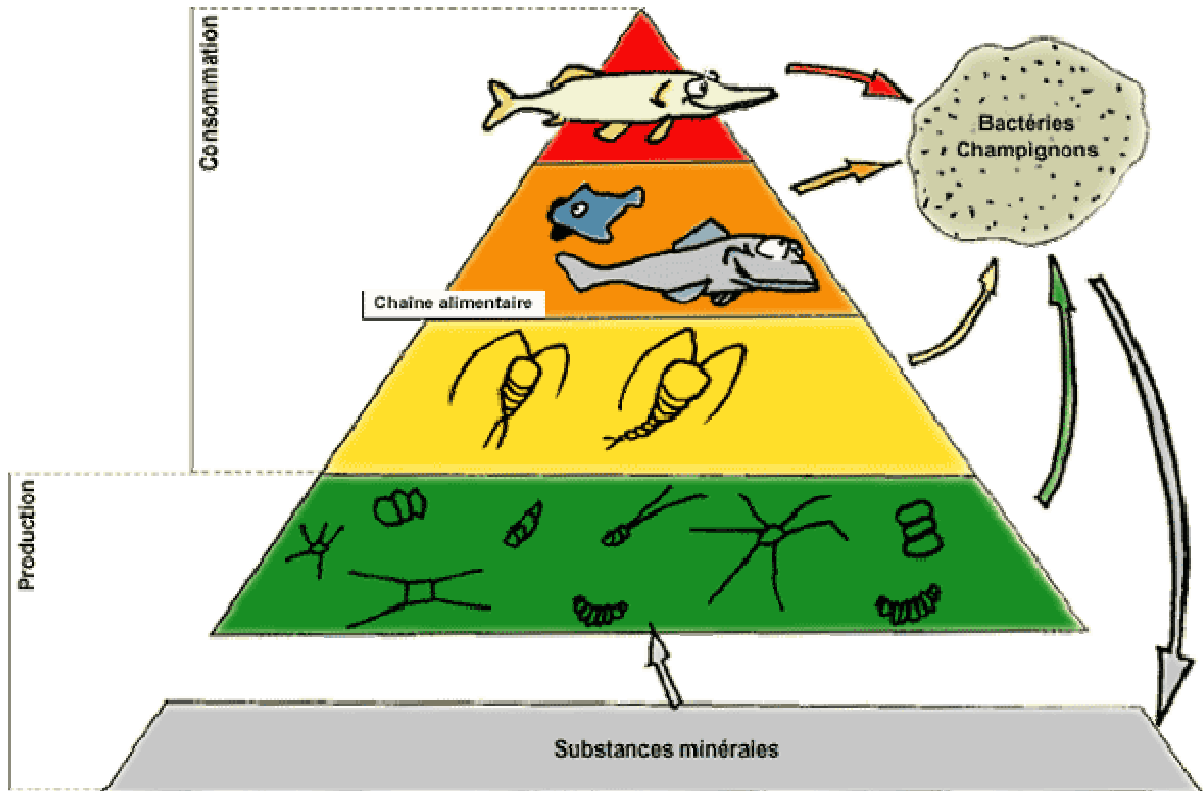


Figure 3: Réseau Trophique Des Milieux Aquatique.

CHAPITRE 3 : Diversité et usages des espèces bio-indicatrices des milieux aquatiques

3. 1. Les principaux Espèces Bio-indicatrices des milieux aquatiques.

Cette partie présente les sept principales catégories de bio-indicateurs utilisés dans le domaine de la bio-indication des écosystèmes aquatiques. la compréhension de leurs mode de vie reflète leur expositions réelles aux différentes contaminants (Kerckhov,2012)

Cette sections nous permet de connaitre les peuplements des cours d'eau et faire un choix correcte pour une évaluation objectif afin d'avoir des résultats bien réels.

3.1.1. Les Macro invertébrés benthiques :

Les communautés de macroinvertébrés aquatiques ont été utilisées dès les années 1960 pour évaluer la qualité biologique d'un cours d'eau.(Jean-Nicolas BEISEL)

Les macroinvertébrés benthiques 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. (Touzin ,2008 ;, Boissonneault, 2006)

Les macro-invertébrés benthiques sont généralement utilisés en tant qu'indicateurs biologiques pour élucider l'impact des changements des caractéristiques du milieu et les stratégies écologiques des différentes espèces pour 'restituer' certaines de ces caractéristiques(Lounaci,2011) , les études faunistiques (invertébrés benthiques) écologique (répartition spatiale, structure des communautés)revêtent d'une importance primordiale dans la compréhension du fonctionnement et de la gestion des systèmes naturels et, d'autres part ,dans l'évaluation de l'état de la santé écologique des hydrosystèmes .(Haouchiche,2011)

Que sont les macroinvertébrés benthiques d'eau douce?

Les invertébrés regroupent tous les animaux qui n'ont pas de squelette d'os ou de cartilage. De ces animaux, les macroinvertébrés sont ceux visibles à l'œil nu. Les macroinvertébrés benthiques vivent au fond des ruisseaux, rivières, lacs ou marais. Ce sont principalement des vers, des crustacés, des mollusques et des insectes

. Pourquoi les étudier?

Les macroinvertébrés benthiques forment une partie importante des écosystèmes d'eau douce. Ils servent de nourriture à nombre de poissons, d'amphibiens et d'oiseaux. C'est un groupe très diversifié, et les organismes le composant possèdent des sensibilités variables à différents stress telles la pollution ou la modification de l'habitat.

Les macroinvertébrés sont les organismes les plus souvent utilisés pour évaluer l'état de santé des écosystèmes d'eau douce (Moisan,2010)

3.1.1.1. Description Et Caractéristiques De La Catégorie :

Ce compartiment de l'écosystème aquatique présente des caractéristiques attrayantes :

- (1) le caractère ubiquiste de la répartition des invertébrés à différentes échelles spatiales et temporelles,
- (2) la grande variété de ce groupe avec au moins 150 familles, 700 genres et 4400 espèces,
- (3) une facilité à échantillonner ce compartiment,
- (4) la présence potentielles d'espèces aux capacités indicatrices fortes,
- (5) des espèces à forte valeur patrimoniale,
- (6) l'occupation de plusieurs niveaux trophiques et un rôle fonctionnel important au sein de l'écosystème. (Jean-Nicolas BEISEL)

les organismes aquatiques de part leur diversité de formes taxonomiques, leur durée de vie, et leur large distribution dans l'ensemble des eaux courantes, leur sédentarité, de leur cycle de vie varié, de leur tolérance variable à la pollution et à la dégradation de l'habitat, constituent d'excellents bio-indicateurs de l'état de santé des hydrosystèmes.(Zougaghe , Mouni , Tafer ,2014).De Plus de leur abondance dans la majorité des milieux aquatiques ,ils sont faciles a identifier et a échantillonner ;leur prélèvement provoque peu d'impact négatifs sur le biote .(Moisan et Audet,2011) Ces organismes constituent un important maillon de la chaîne alimentaire des milieux aquatiques, Ils se trouvent à la base de la chaîne alimentaire et permettent donc d'extrapoler les dommages à travers les différents niveaux trophiques,(Raymond,2008) ils constituent la plus importante sources alimentation de plusieurs espèces d'amphibiens d'oiseaux et de poissons ,ils jouent un rôle clé dans les écosystèmes aquatiques. (Boissonneault, 2006)

3.1.1.2. Principaux facteurs d'influences :

Les macroinvertébrés benthiques sont fortement affectés par la modification de leur habitat, la présence de matière organique, ainsi que la qualité et la diversité du fond de cours d'eau .la diversités des macroinvertébrés dépends de la fonctionnalité écologiques des bands riveraines et de la morphologie des cours d'eau : ceux-ci doivent s'écouler librement, présenter des débits réguliers ; de ce fait la diversités spécifiques sera plus faibles dans les cours d'eau anthropisés. (Rezougui ,2012) De nombreux travaux ont montré que la distribution spatiale des macroinvertébrés benthiques est régie par un complexe de facteurs environnementaux qui varient d'une station à une autre. Certains d'entre eux, comme la nature du substrat, la vitesse du courant, la hauteur de l'eau sont habituellement considérés comme facteurs écologiques susceptibles d'influencer directement la répartition de la faune benthique(Lounaci ,2011 Haouchiche,2011,Rezougui,2012) , En effet, la distribution de peuplement de macro-invertébrés benthiques dépend étroitement des facteurs du milieu, leur composition et leur abondance étant conditionnées par les caractéristiques physico-chimiques et écologiques du milieu physique(Zougaghe , Tafer, Mouni,2015)

Tous les macroinvertébrés benthiques sont des organismes poïkilothermes, donc leur température corporelle varie fortement en fonction de celle de l'environnement. Ces organismes sont donc très dépendants de la température de leur milieu de vie car elle conditionne leur cycle biologique (développement des œufs, croissance des larves) (Rezougui,2012) les communautés

macroinvertèbres benthiques sont influencées par la pollution par les hydrocarbures. Néanmoins, le niveau de sensibilités différent d'une espèce à une autre. Exemples des crustacés, particulièrement les amphipodes et les copépodes sont très sensibles aux hydrocarbures, tandis que les polyptères et les nématodes sont beaucoup plus résistants (Benoit, 2014).

Ainsi que, La présence des polluants organiques toxiques a des impacts nocifs sur plusieurs macroinvertèbres benthiques. (Boissonneault, 2006) Les produits déversés peuvent modifier les caractéristiques de leur habitat et engendrer une suffocation ou une intoxication de la flore et/ou de la faune benthique en plus d'éliminer des espèces clés, ce qui affecte indirectement d'autres composantes de la vie benthique (Raymond, 2008)

les macroinvertèbres benthiques sont également sensibles à la teneur en oxygène des eaux. Ainsi, ils sont aussi sensibles à l'acidification des cours d'eau. (quant le pH est inférieur). (Benoit, 2014, Boissonneault, 2006)

3.1.1.3. Méthode d'échantillonnage et d'analyse.

L'échantillonnage des macroinvertébrés répond à un protocole standardisé Afnor [8]. (article, Karrouch, Chahlaoui), par la suite, le traitement des échantillons en laboratoire consiste à identifier les organismes à l'espèce, au genre, à la famille ou à l'ordre, selon le type de suivi et le groupe de macro invertébrés étudiés. Puis c'est l'analyse des communautés et les résultats sont traduits en un calcul de différents indices selon la problématique à l'étude. (Boissonneault, 2006); l'indice le plus utilisé est l'indice de biodiversité globale normalisée (IBGN). Toutefois, les macroinvertèbres benthiques sont utilisés et sélectionnés comme bio-indicateur en raison de leur capacité de bioaccumulation des contaminants, les analyses laboratoires consisteront à doser les contaminants présents dans les tissus des organismes échantillonnés. (Benoit, 20014)

Le nombre d'échantillons prélevés varie selon la profondeur du plan d'eau échantillonné.

La période préférable pour l'échantillonnage : est l'automne, d'abord, la richesse taxonomique est accrue à cette période de l'année. Ensuite, les résultats obtenus reflètent les conditions de l'été.

La méthode d'échantillonnage consiste à balayer le fond de l'eau à l'aide d'un filet troubleau de dimension 1/20 m² à maille de 275 µ qu'on place à contre-courant par des mouvements de va

et vient sur une distance de 1 m, (Sellam et al ,2016). Les échantillons prélevés sont ensuite transférés sur une colonne de tamis (un premier tamis de maille 5 mm surmontant un second tamis de maille 0,5 mm) afin d'éliminer les substrat fin restants des différents débris mélanger aux individus échantillonner et de pouvoir être lavés (Haouchiche ,2011.Touzin,2008). ensuite transférée dans un récipient adapté fixés au formol à 10 % sur le terrain, pour être transportée au laboratoire où seront réalisés le tri et la détermination.(Sellam et al ,2016 ; Ministère de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie, de France)

L'analyse des macro-invertébrés benthiques : Le premier travail à effectuer au laboratoire consiste donc en une phase de tri afin d'extraire les macro-invertébrés. A l'issue de cette phase, les individus extraits sont déterminés au genre à l'aide d'une loupe binoculaire (grossissement x80)(Haouchice ,2011). Les individus récoltés sont identifiés jusqu'au niveau de l'espèce; le nombre d'individus par espèce est déterminé. Cette étape d'analyse est réalisée suivant un protocole normalisé (norme AFNOR XP T90-388).(Ministère de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie,de France)

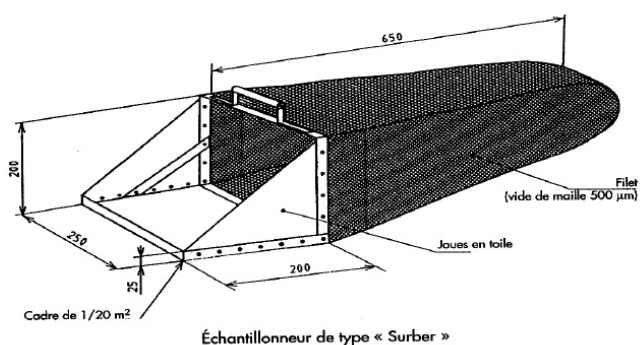


Figure4 : Echantillonneur de type Surber selon la (norme AFNOR XP T90 - 388)

3.1. 1.4. Les Principales espèces utilisées en bio-indication :

Les macro invertébrés benthiques les plus couramment utilisés sont : les insectes aquatiques sur les deux formes larves et adultes, les mollusques, les crustacés d'eaux douces, et les bivalves. (Boissonneault, 2006)

Crustacés : Caractéristiques générales : Les crustacés vivant en eau douce possèdent un minimum de cinq paires de pattes articulées (exception faite des ostracodes) ainsi que deux paires d'antennes (Moisan, 2010). Vie dans les eaux douces stagnantes ou à faible débit courant qui sont riches en débris organiques, la prolifération de cette espèce est donc un indice de la pollution organique. De plus elle est sensible à la pollution par les nitrates et les pesticides, ainsi qu'à l'acidification et la faible oxygénation des plans d'eau. (Benoit, 2014)

Mollusques : Caractéristiques générales : Les mollusques sont des invertébrés à corps mou dont la plupart possèdent une enveloppe externe dure, la coquille (Moisan, 2010). Et plus particulièrement les bivalves, sont les indicateurs les plus fréquemment utilisés dans les programmes d'évaluation de la qualité de l'environnement marin en raison de leur capacité de bioaccumuler de polluants (Rezougui, 2012)

Annélides : connus comme étant de bons bioaccumulateurs de certains polluants comme les métaux lourds, les hydrocarbures aromatiques issus de la pollution d'origine industrielle (Belanger., 2009). Ces caractéristiques, en plus de la tolérance aux polluants ainsi qu'aux différentes perturbations environnementales, sont autant de qualités recherchées chez un bio-indicateur.

Les insectes : les larves d'éphémère et des plécoptères sont reconnues comme des bons bio-indicateurs de l'eutrophisation des eaux courantes en raison de leurs sensibilités à la raréfaction de l'oxygène

Tableau 2 : Fiches descriptives de catégorie des Macroinvertébrés benthiques bio-indicateurs de la qualité des écosystèmes aquatiques

Catégorie	Macroinvertébrés benthiques
Permettent d'étudier les problèmes ou les contaminations suivantes	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Pollution par les hydrocarbures ▪ Acidité (si le $\text{pH} \leq 7$ la coquille calcaire des mollusques se dissout) ▪ Pollution par les métaux lourds ▪ Pollution organique (surtout les pesticides) ▪ Anoxie et surabondance d'éléments nutritifs
Permettent d'étudier les contaminations dans les zones suivantes	Sédiments et colonne d'eau (s'applique aux organismes filtreurs)
Ils permettent d'étudier les impacts à	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Court terme (entre 0et 6mois)(s'applique surtout ou larves d'insectes) ▪ Moyen terme (entre 6mois et 1an) ▪ Long terme (1an et plus) s'applique surtout aux bivalves)
Ils doivent être échantillonnés aux périodes suivantes	Automne
Leur mobilité est	Restreinte (entre 25 m ² au moins)

3.1.2. Poissons :

Qu'est-ce qui explique le fait que les poissons sont souvent utilisés comme bio-indicateurs ? dans La présente section on va tenter d'illustrer différentes utilisations possibles des poissons en tant que bio-indicateur.

3.1.2.1. Description Et Caractéristiques De La Catégorie :

Qu'est-ce qui explique le fait que les poissons sont souvent utilisés comme bio-indicateurs?

Tout d'abord, les organismes aquatiques sont, de façon générale, plus sensibles aux contaminants que les organismes terrestres (Kerckhove,2012, Leclere,2013). Ils possèdent une grande richesse spécifique (environ 20 000 à 25 000 espèces) et occupent une grande partie des niches écologiques aquatiques. les poissons jouent un rôle spécifique en raison de leur statut biologique et socio-économique particulier(Leclere,2013)

Ensuite, les poissons ont des besoins complexes concernant leur habitat : cela touche de multiples facettes de l'écosystème dans lequel ils vivent. Ainsi, lorsqu'ils sont affectés, l'intégrité de l'écosystème est probablement menacée. Ce sont donc de très bons indicateurs, à différentes échelles.(Kerckhove,2012)

De plus, les poissons sont sans doute les organismes aquatiques qui permettent l'utilisation du plus grand nombre de techniques de détection de contaminants, qu'ils bioaccumulent (Corvet et al,2001). En effet, leur taille est suffisante pour permettre ce genre d'analyses Toutes ces qualités expliquent sans doute que les poissons soient le taxon le plus utilisé dans les cas de contamination chimique (dans 25% des cas). On observe également un lien de cause à effet entre les effets observés chez les poissons benthiques et la présence de contaminants (Kerckhove,2012), ce qui rend cette catégorie de poissons très intéressantes comme bio-indicateur aquatique

la facilité d'identification, couplée à une capture assez simple, en font un bio-indicateur rentable. L'information peut être obtenue rapidement, ce qui permet d'agir sans attendre sur la gestion de l'écosystème .De plus, certains poissons vivant longtemps (Boissonneault, 2005), une meilleure intégration temporelle des effets de la pollution est possible. Par exemple, le temps d'accumulation est plus long (Leclere,2013,Boissonneault, 2005)

Enfin, ils représentent différents niveaux trophiques, en tant que consommateurs primaires et secondaires (Kerckhove,2012 ,Leclere,2013). En bref, les poissons remplissent quasiment tous les critères de sélection décrits au chapitre précédent.

3.1. 2.2. Principaux facteurs d'influences :

D'abord, les stades juvéniles sont très sensibles à la présence d'hydrocarbures, toutefois, ce sont les espèces vivant essentiellement dans les couches supérieures de la colonne d'eau ou près du fond qui sont les bio-indicateurs les plus adéquats pour évaluer ce type de pollution .Cela s'explique par le fait que les zones qui sont les plus affectées par les déversements d'hydrocarbures sont les premiers mètres supérieurs de la colonne d'eau et les sédiments (Leclere,2013).

Par ailleurs, plusieurs auteurs soutiennent que la plupart des poissons d'eau douce tolèrent une salinisation importante des cours d'eau grâce à leur capacité d'osmorégulation. Des études ont même démontré qu'un taux de salinité de 2 g/l augmente significativement la croissance des individus. Hart et autre(1990), quant à eux, mentionnent que les impacts négatifs de la salinité ne sont pas perceptibles lorsque celle-ci est inférieure à 10 g/l. (Benoit,2014)

De plus, les différentes espèces de poissons présentent une sensibilité variable face au manque d'oxygène dissout. En effet, les poissons de la famille des salmonidés ont besoin d'une eau très oxygénée pour survivre en raison de leurs besoins métaboliques élevés (Touzin, 2008). À l'inverse, certaines espèces sont adaptées pour survivre dans des milieux pauvres en oxygènes, telles que le tilapia et le poisson-chat (Leclere,2013). De ce fait, composition spécifique des communautés de poissons sera modifiée dans les milieux anoxiques.

Enfin, une étude a démontré qu'une diminution du pH engendre une baisse du nombre d'espèces de poisson, Ce phénomène s'explique par l'augmentation du taux de mortalité des œufs et des alevins, par les problèmes de respiration branchiale et par la disparition des organismes à la base de la chaîne alimentaire, c'est-à-dire le plancton, les plantes et les invertébrés.(Benoit,2014)

3.1.2.3 .Méthodologie d'échantillonnage et d'analyse :

Dans la pratique, l'utilisation des poissons en tant que bio-indicateurs consiste à doser les contaminants bioaccumulés dans la chair des individus échantillonnés (Leclere, 2013), ou à analyser la structure des communautés échantillonnées et les anomalies morphologiques détectées au niveau des individus (Boissonneault, 2006). Les principaux paramètres mesurés sont la richesse spécifique, l'abondance relative des différents taxons, ainsi que la taille et l'âge des individus capturés (Leclere, 2013). De plus, Le Règlement sur les effluents des mines de métaux définit les indicateurs d'effet comme étant la croissance des poissons, leur reproduction, leur condition et leur survie (Benoit, 2014).

Les résultats de ce type d'analyses sont fréquemment traduits en un indice poissons rivière (IPR), dont le calcul nécessite de connaître la surface échantillonnée, le nombre d'individus capturés de chaque espèce (ou groupe d'espèces) et neuf variables environnementales, incluant notamment la surface du bassin versant, la largeur, la profondeur et la pente du cours d'eau échantillonné. De plus, le suivi des communautés de poisson implique souvent l'échantillonnage des macroinvertébrés benthiques afin d'évaluer l'habitat et le régime alimentaire des poissons (De Jaegere, 2015).

L'échantillonnage des différentes stations est généralement réalisé à l'aide d'appareils de pêche électrique ou d'une seine, bien que d'autres engins de pêche puissent être utilisés au besoin (Benoit, 2014). Par exemple, un engin peu sélectif et destructeur comme un filet-trappe sera privilégié pour étudier la communauté, alors qu'on utilisera un engin plus sélectif pour étudier une espèce en particulier, tel qu'un filet maillant dont la dimension des mailles est cohérente avec la taille de l'espèce étudiée. Noter que la précision de la pêche électrique est limitée par la turbidité et la densité de la végétation en place. De plus, cette technique est inefficace dans les milieux humides qui reçoivent les drainages miniers acides, et les échantillons peuvent être biaisés en faveur des espèces et des individus de plus grande taille (De Jaegere, 2015.).

La période d'échantillonnage est définie en fonction de la migration, de la reproduction et de la dispersion des différentes espèces, et il est recommandé d'échantillonner durant la nuit, surtout pour le poisson-chat et la perche.

Par ailleurs, la mobilité journalière et saisonnière des poissons nécessite l'application de protocoles d'échantillonnage plus exigeants par rapport à l'échantillonnage d'espèces peu mobiles ou sessiles (De Jaegere,2015).

3.1.2.4 .Principales espèces utilisées En Bio-indication :

Les espèces fréquemment utilisées dans le cadre de la bio-indication comprennent entre autres l'omble de fontaine, la perchaude et le doré jaune (Boissonneault, s.d.). la truite arc-en-ciel comme modèle, qui s'est révélée être un bon bio-indicateur des effets des métaux.

De plus, la fréquence de ventilation de la truite arc-en-ciel est fréquemment utilisée pour détecter la présence de substances toxiques dans l'eau (Kerckhove, 2012).Par ailleurs, les gros poissons prédateurs, dans la famille des Serranidae, des Haemulidae et des Lutjanidae par exemple, sont utilisés comme bio-indicateurs de la surpêche (Kerckhove, 2012)

Enfin, de façon plus générale, beaucoup d'auteurs, soutiennent que ce sont majoritairement les poissons téléostéens qui sont utilisés comme bio-indicateurs de la qualité des cours d'eau (Kerckhove, 2012)

Tableau 3 : Fiches descriptives de catégorie des poissons bio-indicateurs de la qualité des écosystèmes aquatiques

Catégorie	Poisson
<p>Permettent d'étudier les problèmes ou les contaminations suivantes</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Pollution par les hydrocarbures(s'applique aux juvéniles des espèces vivante au fond ou a la surface) ▪ Acidité (si le $\text{pH} \leq 6$) ▪ Pollution par les métaux lourds ▪ Pollution organique ▪ Anoxie et surabondance d'éléments nutritifs
<p>Permettent d'étudier les contaminations dans les zones suivantes</p>	<p>Sédiments et colonne d'eau</p>
<p>Ils permettent d'étudier les impacts à</p>	<p>Mensuellement ou annuellement (s'applique aux espèces de Poisson de petite taille)</p>
<p>Ils doivent être échantillonnés aux périodes suivantes</p>	<p>Varie selon l'espèce sélectionné .</p>
<p>Leur mobilité est</p>	<p>Elargie (plus de 25 m²)</p>

3.1.3 .Algues :

Le groupe des algues correspond à l'ensemble des végétaux microscopiques aquatiques faisant partie du phytoplancton (plancton végétal) et du périphyton (algues benthiques, fixées sur les substrats submergés). Ces organismes autotrophes vivent dans les milieux d'eau douce ou salée, de même qu'en eaux libres ou stagnantes. (Nehar,2016,Belmokhetar,2012)

3.1.3.1. Description Et Caractéristiques De La Catégorie :

Les algues sont des organismes photosynthétiques qui assurent 45% de la production végétale (Leclercq, 2009). Ces producteurs primaires, situés à la base de la chaîne alimentaire, représentent donc une majeure source de nourriture pour le plancton animal et la macrofaune aquatique. Les algues sont faciles à collecter, transporter et conserver (Nehar,2016), ce qui simplifie leur utilisation, d'autant plus qu'elles répondent aux perturbations environnementales de façon quantifiable. Ces caractéristiques constituent des avantages notables en terme de bio-indication (Nacib et al,2013). Les algues planctoniques se développent généralement dans les premiers 15 mètres à la surface de l'eau où l'énergie lumineuse provenant du soleil est suffisante pour permettre la photosynthèse .Noter que dans les milieux marins, cette zone photique peut s'étendre jusqu'à 200 mètres de profondeur. De plus, on observe des migrations verticales journalières en fonction de l'intensité lumineuse, ainsi qu'une succession saisonnière des différentes espèces en fonction de la température. (Leclercq, 2009) De plus, les populations d'algues suivent un cycle saisonnier corrélé à la photosynthèse et à la prédation, ce qui se traduit par un pic d'abondance au début du printemps et à la fin de l'été, alors que l'abondance est minimale durant les périodes estivale et hivernale .Enfin, grâce à leur taux de reproduction élevé et à leur cycle de vie très court, les algues intègrent rapidement les changements environnementaux, ce qui en fait de bons bio-indicateurs des effets à court terme (Belmokhetar,2012)

Ceci dit, certaines d'entre elles, dont notamment les diatomées, se conservent si facilement à long terme que les échantillons historiques peuvent être utilisés comme référentiels dans les conditions passées. (Nehar,2016).

3.1.3.2. Principaux facteurs d'influence :

D'abord, l'abondance des algues est influencée par l'apport de nutriments dans les milieux aquatiques. En effet, la photosynthèse, qui permet aux algues de convertir l'énergie lumineuse en biomasse, est limitée par la quantité de nutriments disponibles dans le milieu. De ce fait, plus les nutriments sont abondants, plus la biomasse algale augmente. (Belmokhetar,2012)

Ensuite, les algues sont très sensibles à la qualité physico-chimique de l'eau, notamment quant au pH, au niveau de salinité(Nehar,2016), à la présence de polluants organiques toxiques (particulièrement les herbicides) et de métaux lourds (Boissonneault, 2005).Par ailleurs, le développement des différents groupes d'algues dépend fortement des facteurs climatiques, particulièrement la lumière et la température, ainsi que de la dynamique hydrique(débit, turbidité, vitesse du courant, etc.),(Nehar,2016) de la composition spectrale de la lumière, de la transparence de l'eau et de la disponibilité des différents nutriments. La pression de broutage par le zooplancton influence également la biomasse et la composition des communautés. (Leclercq, 2009) Enfin, les algues sont sensibles aux hydrocarbures.

3.1.3.3. Méthodologie d'échantillonnage et d'analyse :

L'échantillonnage des algues est simple, peu coûteux, nécessite peu d'intervenants et a très peu d'impact sur le biote en place .Le prélèvement des algues dans la colonne d'eau est généralement réalisé grâce à un filet ou à une bouteille de type Van Dorn ;qui permet de recueillir des échantillons à différentes profondeurs (Benoit,2014) prélèvement des échantillons d'algues périphytiques requiert plutôt l'utilisation un couteau ou un scalpel pour les récoltes par grattage de substrat, de brosses et de racloirs. un filet à plancton d'une maille inférieure à 30 μ m pour les expressions de végétaux. Pipettes de 7 à 10 ml avec capsules polyéthylène et étiquettes, La construction d'un échantillonneur est facultative.(Rumeau,. Coste 1988)

Les échantillons sont conservés en laboratoire, au frais et dans l'obscurité .

Selon les méthodes standardisées, l'analyse en laboratoire consiste à évaluer la taxonomie des espèces présentes, dénombrer les individus et analyser la structure des communautés à l'aide d'un microscope, puis de compléter les résultats par l'analyse du microzooplancton, du bactérioplancton et des détritiques en suspension(Benoit,2014) .Le matériel de laboratoire comprend

entre autres des lames et des lamelles, des pinces, des pipettes et un microscope tout équipé. De plus, certains protocoles opératoires visent à déterminer la sensibilité des espèces échantillonnées face aux divers composés toxiques. Dans ce cas, les individus prélevés aux différentes stations d'échantillonnage sont soumis à divers tests de résistance en laboratoire. L'échantillonnage dure en moyenne une heure, alors que la durée de l'analyse varie entre trente minutes et trois heures selon la richesse du milieu.

3.1.3.4. Principales espèces utilisées En Bio-indication:

Les algues les plus utilisées comme bio-indicateurs sont **les diatomées**. Ce sont des « algues unicellulaires à parois silicatées très ornementées » (Belmokhetar,2012.Nehar,2016), qui font partie de l'embranchement des algues brunes. Les diatomées figurent parmi les groupes d'algues les mieux connus et les plus utilisés pour le diagnostic écologique. Leur morphologie très diversifiée, notamment au niveau de l'exosquelette siliceux (frustule), sert de critère d'identification des différentes espèces lors des analyses au microscope (Boissonneault, 2006).

D'ailleurs, le frustule permet de conserver facilement les échantillons de diatomées (Boissonneault, 2006). Cependant, l'identification spécifique requiert de bonnes connaissances taxonomiques. Comme les diatomées ont une grande amplitude écologique, on les retrouve dans tous les types de milieux aquatiques (Nehar, 2016). Certaines espèces se développent dans la colonne d'eau (notamment les diatomées centriques et les araphidées), tandis que d'autres colonisent la surface de différents types de substrats (Morin, 2006). La composition des colonies varie selon le type de substrat, donc il est important d'en tenir compte lors de l'interprétation des données(Boissonneault, 2006).De plus, les diatomées sont reconnues pour être fortement sensibles au pH, à l'apport de nutriments (surtout l'azote et le phosphore), à la présence de matière organique et à la faible oxygénation de l'eau (Nehar, 2016).La formation de microspores de résistance en conditions défavorables facilite le diagnostic de la carence d'azote par exemple (Morin, 2006).

Les diatomées sont considérées comme les algues les plus sensibles aux conditions environnementales, et qu'elles peuvent renseigner sur l'importance du marnage(les fluctuations du niveau de l'eau dans les cours d'eau)(Nehar,2016) l'abondance des macrophytes et le niveau trophique d'un milieu. Elles sont donc plus sensibles aux caractéristiques physico-chimiques de l'eau qu'aux habitats dans lesquels elles se trouvent (Belmokhetar,2012)

Enfin, l'indice biologique diatomées (IBD), basé sur l'analyse des peuplements de diatomées périphytiques, implique le comptage des individus, l'identification à l'espèce et l'utilisation de profils de sensibilité à la pollution des différentes espèces.

Tableau 4: Fiches descriptives de catégorie des algues bio-indicateurs de la qualité des écosystèmes aquatiques

Catégorie	Algues
Permettent d'étudier les problèmes ou les contaminations suivantes	<ul style="list-style-type: none"> ▪ salinité ▪ Acidité (quant le ph est entre 4,7 et 5,6) ▪ Pollution par les métaux lourds ▪ Pollution organique (surtout les pesticides) ▪ surabondance d'éléments nutritifs
Permettent d'étudier les contaminations dans les zones suivantes	Sédiments (s'applique aux algues benthiques) et colonne d'eau (s'applique aux algues planctoniques)
Ils permettent d'étudier les impacts	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Court terme (entre 0et 6mois)
Ils peuvent être échantillonnés à la fréquence suivante	Quotidiennement, hebdomadairement ou mensuellement.
Ils doivent être échantillonnés aux périodes suivantes	Printemps
Leur mobilité est	Elargie (plus de 25 m ²) (s'applique aux algues planctoniques en eaux courantes) Ou restreinte (25m ² au moins)(s'applique aux algues planctoniques en eaux stagnantes et aux algues benthiques).

3.1.4. Les zooplancton :

Le plancton animal, communément appelé le zooplancton, correspond aux organismes aquatiques de très petite taille, flottant librement dans la colonne d'eau et dérivant au gré des courants. Malgré leur intérêt biologique, les études portant sur leur potentiel en tant que bio-indicateurs demeurent peu nombreuses (Le Coz, 2017).

3.1.4.1. Description et caractéristiques de la catégorie :

Les organismes zooplanctoniques sont des consommateurs primaires qui se nourrissent du plancton végétal (phytoplancton) ou d'autres organismes zooplanctoniques (Le Coz, 2017). Ils jouent un rôle déterminant dans les réseaux trophiques aquatiques puisqu'ils constituent une source importante de nourriture pour les poissons et les invertébrés prédateurs et assurent la régulation des populations d'algues par le broutage (Bouzidi, 2010). Le zooplancton se reproduit généralement au début du printemps, lorsque la température de l'eau atteint un minimum de 10°C. C'est donc à cette période de l'année que l'abondance est maximale. Ensuite, un déclin des populations est généralement observé durant l'été, suivi d'un second pic d'abondance vers la fin du mois d'octobre, quoique moins important. (Benoit, 2014)

De plus, à l'instar des algues, le zooplancton suit un « patron cyclique de distributions spatiotemporelle influencé par des facteurs biotiques (planctonivores, ressources) et par des facteurs abiotiques (courants et physico-chimie) » (Le Coz, 2017). Ce phénomène, qui se produit quotidiennement, est connu sous le nom de « migration verticale ».

Par ailleurs, les trois ordres de zooplancton (rotifères, cladocères et copépodes) (Le Coz, 2017). ont une dynamique de population qui leur est propre, déterminée par le type d'habitat dans lequel on les retrouve. Les rotifères, qui dominent les rivières, ont un temps de développement très court (Le Coz, 2017)., tandis que dans les milieux lenticques, on retrouve les copépodes, caractérisés par un temps de développement plus lent. Les cladocères, quant à eux, ont une dynamique de population intermédiaire. (Le Coz, 2017).

Bien que la détermination systématique représente une difficulté technique en raison de la grande diversité spécifique du zooplancton, certains auteurs considèrent que les espèces zooplanctoniques sont plus aisément identifiables que les espèces phytoplanctoniques.

Néanmoins, la morphologie varie significativement selon les nombreux stades de développement, qui sont au nombre de 12 chez les copépodes par exemple, ce qui complexifie l'identification des organismes échantillonnés (Benoit, 2014)

le zooplancton présente un taux de renouvellement très élevé. De ce fait, ces organismes s'adaptent très rapidement aux différents écosystèmes. Il faut donc faire preuve de prudence dans l'interprétation des résultats puisqu'une même espèce peut être indicatrice de conditions différentes selon le milieu où elle se trouve (Benoit,2014)

Enfin, son rôle d'indicateur a été confirmé par plusieurs auteurs, qui déplorent, en particulier concernant les lacs, la non-prise en compte du zooplancton parmi les bio-indicateur utilisés pour l'évaluation de la qualité de l'eau(Le Coz, 2017).

3.1.4.2. Principaux facteurs d'influences :

De façon générale, la structure populationnelle du zooplancton est principalement influencée par la saison et la profondeur (Le Coz, 2017).

De plus, en présence de contamination organique, certains protozoaires ciliés, rhizoflagellés et acinétiens deviennent prédominants(Le Coz, 2017).

Les copépodes, les cladocères et ostracodes ne présentent généralement pas une grande tolérance à la salinisation de l'eau, donc leur abondance et leur richesse spécifique diminuent lorsque la salinité augmente (Benoit, 2014). Les foraminifères, quant à eux, sont adaptés aux eaux saumâtres et salées,et se retrouvent essentiellement en milieu marin .

De plus, le zooplancton (plus particulièrement les foraminifères) est également sensible à la présence de métaux lourds. En effet, les concentrations élevées en métaux lourds engendrent des modifications au niveau de leur morphologie, de leur taille et de la composition minérale de leur coquille ;Ensuite, l'eutrophisation favorise la prolifération de la flore planctonique dont se nourrit le zooplancton, ce qui engendre une augmentation de la biomasse zooplanctonique .la composition taxonomique des rotifères est révélatrice du niveau trophie des lacs. Parmi les rotifères, *Trichocerca cylindrica* et *Polyurthra euryptera* Ont été désignés comme indicateurs des milieux eutrophes, tandis que *Asplanchna herricki* *Synchaetagranti* et *Ploesoma hudsoni* sont des indicateurs des milieux oligotrophes. Puis, plusieurs rotifères du genre *Brachionus* sont caractéristiques des eaux mésotrophes. (Benoit, 2014)

Par ailleurs, les organismes zooplanctoniques sont sensibles aux hydrocarbures. Toutefois, leur parton de migration verticale dans la colonne d'eau engendre une incertitude quant à leur niveau d'exposition réel aux nappes d'hydrocarbures, ce qui réduit leur efficacité en tant que bio-indicateurs de ce type de pollution. Certaines espèces de rotifères et de cladocères sont aussi très utilisées dans les tests d'écotoxicologie (Le Coz, 2017).

Enfin, plusieurs études ont démontré que les stades précoces et les adultes en période de reproduction sont sensibles à l'acidification de l'eau. La diminution du pH engendre une augmentation du taux de mortalité des juvéniles, ce qui a un impact direct sur la taille des populations. Les changements dans la répartition et l'abondance des espèces de zooplancton qui en découlent constituent donc un indicateur de l'acidification de l'eau. D'ailleurs, noter que ces changements se répercuteront sur de multiples niveaux trophiques. . (Le Coz, 2017)

3.1.4.3. Méthode d'échantillonnage et d'analyse. :

D'une part, la stratégie d'échantillonnage du zooplancton est établie en fonction de l'échelle spatiale considérée. Il faut choisir et fixer l'espace de prélèvement afin de comparer les résultats d'échantillonnage d'une journée à l'autre et ainsi observer les fluctuations du milieu au cours du temps.

D'autre part, comme les populations planctoniques évoluent aussi sur le plan vertical, les prélèvements doivent se faire à plusieurs profondeurs. Les échantillons sont prélevés afin d'obtenir une estimation quantitative de la composition et de la densité des communautés ou de la biomasse des lacs Dans les milieux peu turbides, l'engin de pêche le plus souvent employé est le filet à zooplancton, dont les dimensions des mailles varient en fonction de la taille des organismes à prélever. un filet à plancton présentant une ouverture de 25 cm de diamètre et une longueur de 1 m. Confectionné à partir d'une toile de soie à bluter dont les mailles rondes ont un diamètre de 65 μm il a un fond constitué par un récipient de un litre. Le filet peut s'enfoncé dans l'eau à une profondeur de 30 à 50 (Bouzidi et al) Celui-ci est peu coûteux et simple à utiliser, mais il est peu sélectif et peu recommandé dans les milieux de fort courant. Les dispositifs les plus fréquemment utilisés pour échantillonner à des profondeurs spécifiques sont les bouteilles de type *Van Dorn*. Ce matériel plus élaboré permet de faire un échantillonnage plus précis, mais il est plus coûteux que le filet et son usage ne convient qu'aux milieux avec une forte densité zooplanctonique. Enfin, dans les cas les plus simples où seuls les organismes présents dans les

premiers centimètres de la colonne d'eau doivent être prélevés, un simple seau gradué pour être utilisé, à condition que les populations soient très denses.(Benoit,2014)

Une fois que les échantillons de zooplancton sont prélevés et placés dans des flacons de plastique, ceux-ci doivent être fixés à l'aide d'une solution aqueuse de formaldéhyde à 37% afin qu'ils demeurent représentatifs de l'instant auquel ils ont été prélevés. Puis, les organismes sont identifiés en laboratoire jusqu'au genre (parfois à l'espèce) à l'aide de clés de détermination. Somme toute, l'équipement requis correspond à du matériel de base généralement peu coûteux et très accessible.(Bouzidi et al.)

3.1.4.4 .Principales espèces utilisées en bio-indication :

Les familles de bio-indicateurs zooplanctoniques les plus fréquemment utilisées sont les gammares et les daphnies (Benoit,2014). Les gammares, aussi appelés crevettes d'eau douce, sont de petits crustacés (9 à 15 mm de long) aplatis latéralement. On les retrouve généralement dans les eaux fraîches et courantes. Ils occupent une position clé dans le réseau trophique (décomposeurs de la matière organique) et sont sensibles au niveau d'oxygénation de l'eau. (Le Coz, 2017) .Les daphnies, quant à elles, communément appelées puces d'eau, sont des organismes d'eau douce qui se caractérisent par leur plasticité morphologique, dont les principaux facteurs inducteurs sont la température et la viscosité de l'eau (Le Coz, 2017).Contrairement aux gammares, elles survivent dans des milieux très peu oxygénés grâce à leur capacité de produire de l'hémoglobine (Benoit,2014). Certaines espèces de rotifères et de cladocères sont aussi très utilisées dans les tests d'écotoxicologie (Le Coz, 2017).

Tableau 5: Fiches descriptives de catégorie du zooplancton bio-indicateurs de la qualité des écosystèmes aquatiques

Catégorie	zooplancton
Permettent d'étudier les problèmes ou les contaminations suivantes	<ul style="list-style-type: none"> ▪ salinité ▪ Acidité ▪ Pollution par les métaux lourds ▪ Pollution organique (surtout les protozoaires) ▪ surabondance d'éléments nutritifs
Permettent d'étudier les contaminations dans les zones suivantes	colonne d'eau
Ils permettent d'étudier les impacts à	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Court terme (entre 0et 6mois)
Ils peuvent être Echantillonnés à la fréquence suivante	Quotidiennement ,hebdomadairement ou mensuellement .
Ils doivent être échantillonnés aux périodes suivantes	Printemps
Leur mobilité est	Elargie(plus de 25 m ²) (s'applique aux eaux courantes) Ou restreinte(25m ² au moins)(s'applique aux eaux stagnantes).

3.1.5. Macrophytes :

Les macrophytes sont des « végétaux aquatiques photosynthétiques, dont tout le cycle de vie se déroule sous l'eau » (Lauret et autres, 2011). Ils regroupent les bryophytes, ptéridophytes et spermatophytes, ainsi que les algues filamenteuses visibles à l'œil nu (Benoit,2014). De ce fait, ils représentent une part importante de la flore des écosystèmes aquatiques.

3.1.5.1. Description Et Caractéristiques De La Catégorie :

De manière générale, les plantes aquatiques fournissent des indications sur les caractéristiques physiques de leur habitat, notamment quant à la vitesse du courant et à la profondeur. Par exemple, on retrouve les nénuphars essentiellement dans les eaux calmes, où la profondeur est d'environ 1,5 mètre. (Benoit,2014)

Comme ce sont des organismes sessiles, les macrophytes permettent d'avoir un portrait local de la contamination. De plus, ils sont sensibles aux perturbations qui surviennent dans la colonne d'eau et dans les sédiments (Benoit,2014). La majorité des macrophytes sont des plantes annuelles, à cycles végétatifs courts, qui peuvent être prolongés par la production de rhizomes et de racines plus durables. La dynamique des peuplements est fortement influencée par les saisons (Haury et Muller, 2008).

En effet, les macrophytes démontrent une saisonnalité remarquable en termes de composition et d'abondance. Cette saisonnalité s'exprime par une succession de pics de recouvrements à l'intérieur d'une même station : les hydrophytes se développent au printemps, alors qu'en été, les grands potamots et les lentilles sont en forte extension. Toutefois, cette saisonnalité est moins marquée dans les cours d'eau dont les débits sont relativement stables. (Benoit,2014)

Les différentes espèces se répartissent longitudinalement selon divers facteurs, tels que la pente, la vitesse d'écoulement et la granulométrie des fonds. Par exemple, les bryophytes et les macroalgues s'installent dans les eaux vives à substrat grossier, tandis qu'on retrouve essentiellement des phanérogames dans les cours d'eau à faible courant où le substrat est fin. Lorsque les berges sont très peu abruptes, la succession spatiale des espèces est comparable à celle des lacs et des étangs, c'est-à-dire qu'elle est principalement influencée par la profondeur. (Haury et Muller, 2008, Lauret et al,2011)

Enfin, les macroalgues et les bryophytes ont la capacité de bioaccumuler différents métaux lourds. Celles-ci peuvent donc être utilisées pour évaluer la teneur en métaux lourds dans les milieux aquatiques. (Haury et Muller, 2008, Lauret et al,2011)

3.1.5.2 .Principaux facteurs d'influence :

D'abord, l'eutrophisation des milieux aquatiques nuit à des impacts nuisibles sur les macrophytes. En effet, des études ont démontré que la richesse spécifique des macrophytes est significativement plus faible dans les milieux eutrophes que dans les milieux oligotrophes et mésotrophes (Haury et autres,).

De plus, la morphologie des espèces est également affectée par le niveau trophique des milieux aquatiques. Ce phénomène s'explique entre autres par le fait que la prolifération des algues, causée par l'apport excessif de nutriments, augmente la turbidité de l'eau et inhibe par le fait même le développement des macrophytes.

Les macrophytes sont également sensibles à la présence de polluants organiques toxiques. Par ailleurs, la pression de broutage par les oursins et certaines espèces de gastéropodes, de poissons et d'oiseaux aquatiques influence la composition des peuplements (Benoit,2014). De ce fait, les perturbations affectant l'abondance et la distribution de ces différents prédateurs ont un impact sur les macrophytes.

L'acidification des milieux aquatiques a aussi un impact sur les macrophytes. Cependant, le niveau de sensibilité est variable d'une espèce à l'autre. De ce fait, l'acidification entraîne la prolifération des espèces résistantes au détriment des espèces sensibles, de qui affecte la diversité floristique.(Benoit,2014)

Enfin, la salinité intervient dans la composition des peuplements. De façon générale, la richesse spécifique des macrophytes diminue drastiquement lorsque la salinité augmente. Certaines espèces peuvent tolérer un stress salin grâce à leurs adaptations morphologiques (glandes à sel dans les feuilles ou excrétion du sel par les racines) ou physiologiques (osmorégulation, synthèse de protéines de stress, etc.). Par exemple, *Potamogeton pectinatus* colonise les milieux où la salinité est faible, tandis que *Zostera noltii* et *Ruppia cirrhosa*, se retrouvent plutôt dans les eaux dont la salinité est moyenne ou élevée.

Néanmoins, l'impact de la salinité sur les communautés macrophytiques des milieux d'eau courante à moyennement saumâtre demeure méconnu, et les principales études disponibles sur la distribution des espèces en fonction du gradient de salinité concernent les milieux lenticules (Benoit,2014)

3.1.5.3 .Méthodologie d'échantillonnage et d'analyse :

L'échantillonnage des macrophytes fait l'objet de protocoles standardisés. Les principales méthodes de suivi des macrophytes sont l'inventaire floristique et la cartographie, qui peuvent être réalisés via la télédétection par imagerie satellite, l'utilisation de sonars, par imagerie vidéo ou par des observations visuelles lorsque la profondeur est très faible (Lauret et al,2011)

Le coût du matériel varie donc selon la technologie utilisée. L'inventaire comprend l'identification des taxons (à l'espèce ou au genre, selon les groupes), l'estimation de leur recouvrement et le prélèvement d'échantillons des taxons délicats à identifier pour des analyses subséquentes en laboratoire à l'aide d'une loupe binoculaire ou d'un microscope.

Pour les cours d'eau, l'indice biologique macrophytique en rivière (IBMR) est calculé afin de traduire le degré de trophie.

Les principaux paramètres considérés sont la biomasse, le recouvrement et la richesse spécifique. Ceux-ci peuvent être évalués au niveau de la communauté végétale dans son ensemble, de peuplements ciblés ou de certaines espèces en particulier (Lauret et autres, 2011). La mesure de certains paramètres tels que la biomasse nécessite de procéder à des prélèvements, alors que de simples observations suffisent pour évaluer d'autres paramètres. De plus, le dosage des polluants bioaccumulés chez certaines espèces (les bryophytes par exemple) nécessite davantage de manipulations et d'analyses chimiques en laboratoire (Benoit, 2014).

Sachant que la dynamique des peuplements est fortement influencée par les saisons, notamment en termes de composition ou d'abondance, la période la plus recommandée pour effectuer le suivi des peuplements de macrophytes est au début du printemps. En effet, l'épanouissement maximal des macrophytes s'effectue globalement au printemps, ce qui concorde avec la période de prolifération du phytoplancton qui peut augmenter la turbidité du milieu. Puis, durant l'été, la température élevée et l'augmentation du risque de mortalité due à

l'anoxie peuvent modifier significativement la physionomie des peuplements. (Lauret et autres, 2011)

La surface explorée et le nombre de stations échantillonnées varient également selon les objectifs visés et les moyens utilisés. Les principales stratégies mises en œuvre sont l'échantillonnage par quadras et par transects . Les surfaces explorées sont généralement délimitées grâce à des cordes ou des piquets, du matériel de base très peu coûteux. Par exemple, dans le cas du diagnostic de l'eutrophisation, le suivi des peuplements de macrophytes est effectué selon un quadrillage régulier de points. (Lauret et autres, 2011)

Enfin, la durée de réalisation varie selon la superficie des plans d'eau et de la végétation rencontrée, soit en moyenne d'une demi-journée à deux jours(Benoit, 2014).

3.1.5.4. Principales espèces utilisées en bio-indication :

De façon générale, la plupart des études portant sur la bio-indication par les macrophytes s'intéressent aux espèces du genre *Enteromorpha*, *Fucus* et *Ulva* ,Les Chlorophytes (algues vertes), plus particulièrement *Cladophora glomerata*, sont généralement considérées comme les meilleurs bio-indicateurs de la contamination aquatique par les nutriments et les métaux lourds (Benoit, 2014).

Et parmi les macroalgues, ce sont les espèces du genre *Laminaria* et *Fucus* qui sont les plus fréquemment utilisées comme bio-indicateurs. D'autres espèces de macroalgues, telles que *Ulva rigida*, sont aussi utilisées pour leur grande capacité de bioaccumulation des métaux lourds (Lauret et autres, 2011).

Des études en été menues sur la capacité de bioaccumulation des métaux chez trois espèces de macroalgues (*Ulva rigida*, *Chaetomorpha linum* et *Caulerpa prolifera*) a démontré que *Caulerpa prolifera* démontre une capacité de bioaccumulation significativement supérieure aux deux autres espèces.

Les bryophytes, quant à elles, sont les bio-indicateurs d'eau douce les plus recommandés pour faire le suivi de la contamination métallique .Les espèces du genre *Amblystegium* et *Fontinalis* sont utilisées par plusieurs auteurs en raison de leur grande capacité à bioaccumuler des métaux (Benoit,2014).

Tableau 6: Fiches descriptives de catégorie des Macrophytes bio-indicateurs de la qualité des écosystèmes aquatiques

Catégorie	Macrophytes
Permettent d'étudier les problèmes ou les contaminations suivantes	<ul style="list-style-type: none"> ▪ salinité ▪ Acidité (lorsques le $\text{pH} < 5,5$ s'applique aux especes sensibles) ▪ Pollution par les métaux lourds(surtout les macroalgues bryophytes) ▪ Pollution organique (surtout les bryophytes) ▪ surabondance d'éléments nutritifs
Permettent d'étudier les contaminations dans les zones suivantes	<p>colonne d'eau (captation via les feuilles)</p> <p>sediments (captation via les racines)</p>
Ils permettent d'étudier les impacts à	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Court terme (entre 0et 6mois)
Ils peuvent être échantillonnés à la fréquence suivante	Quotidiennement ,hebdomadairement ou mensuellement .
Ils doivent être échantillonnés aux périodes suivantes	Printemps
Leur mobilité est	restreinte(25m^2 au moins).

3.1.6 .Bactéries :

Les bactéries sont des microorganismes unicellulaires généralement dépourvus de chlorophylle, qui se reproduisent par scissiparité et qui démontrent une résistance à différents facteurs environnementaux (Benoit,2014, Ait Kaci , Hamdi ,2008)). Jusqu'à ce jour, très peu d'études ont été réalisées concernant leur potentiel en tant que bio-indicateur, comparativement aux autres catégories de bio-indicateurs.

3.1.6.1. Description Et Caractéristiques De La Catégorie :

D'abord, les bactéries sont abondantes dans une vaste gamme de milieux et sont très faciles à prélever par rapport à plusieurs autres organismes .De plus, les méthodes d'identification de ces microorganismes sont simples, ce qui constitue un avantage significatif dans le cadre de la bio-indication, et elles sont faciles à cultiver en laboratoire. Toutefois, l'obtention des résultats des analyses est un peu moins rapide comparativement aux autres catégories de bio-indicateurs en raison du délai de prolifération en milieu de culture.(Ait Kaci , Hamdi ,2008))

Le temps de génération (ou de reproduction) varie selon les espèces. De plus, il est affecté par la température, le pH, l'humidité et les nutriments disponibles. Celui-ci peut être de quelques minutes ou quelques heures, voire quelques jours

Dans le même ordre d'idées, la durée de vie des bactéries est également variable d'une espèce à l'autre, et elle est influencée par les conditions du milieu . D'ailleurs, la durée de vie des coliformes fécaux est généralement réduite en eau salée. De ce fait, d'après ;Hamdi et Ait Kaci (2008) recommandent d'utiliser d'autres indicateurs bactériens en eau salée, tels que les streptocoques fécaux. Les bactéries vivent généralement sur les substrats sous forme de biofilms ou adsorbées sur les particules en suspension Les bactéries entériques (ou entérocoques), qui constituent l'un des principaux agents de la pollution fécale dans les milieux aquatiques, se retrouvent rarement sous forme libre puisque l'absence de refuge et la faible disponibilité des nutriments les rendent vulnérables et nuisent à leur reproduction et à leur survie .Par ailleurs, les bactéries accumulent facilement les polluants présents dans leur environnement, particulièrement les métaux. D'ailleurs, certaines études tendent à démontrer leur potentiel en tant qu'agent de remédiation des milieux pollués par les métaux (Ait Kaci , Hamdi ,2008)

Enfin, les coliformes fécaux, de par leur nature, servent d'indicateurs de la pollution fécale, tandis que les cyanobactéries, qui prolifèrent dans les milieux eutrophes, sont indicatrices de l'apport excessif de phosphore dans les écosystèmes aquatiques (Ait Kaci , Hamdi ,2008)).

3.1.6.2. Principaux facteurs d'influence :

La salinité a des effets différents selon le type de bactéries. Par exemple, l'augmentation de la salinité réduit la durée de vie de *Escherichia coli*, alors qu'elle n'a aucune influence sur la survie des bactéries du genre *Salmonella*. Ceci dit, les études ont démontré que « dans les milieux hyper salés, la pression de prédation sur les bactéries est fortement réduite dans la mesure où la plupart des prédateurs ne peuvent tolérer des salinités importantes » (Ait Kaci , Hamdi ,2008)). De ce fait, les bactéries tolérantes au stress salin seront plus abondantes dans ce type de milieu par rapport aux autres écosystèmes aquatiques de niveau trophique équivalent. De plus, certains facteurs, comme la température et l'apport de carbone et de nutriments, sont reconnus comme étant plus influents que la salinité .

L'exposition aux rayons solaires, quant à elle, a généralement un effet délétère sur les bactéries, c'est-à-dire qu'elle réduit leur durée de vie .De plus, l'optimum en termes de pH varie selon les espèces. Par exemple, *Thiobacillus ferrooxidans* est acidophile, *Escherichia coli* colonise les milieux de pH neutre, et *Staphylococcus aureus* est alcalinophile ;Par conséquent, la composition des communautés bactériologiques fournit une indication quant au pH du milieu. Enfin, les bactéries sont généralement les meilleurs bio-indicateurs des conditions extrêmes, notamment en termes d'acidité, de salinité et de température (Benoit,2014).

3.1.6.3. Méthodologie d'échantillonnage et d'analyse :

L'échantillonnage des bactéries consiste simplement à prélever un volume d'eau préétabli à l'aide d'une bouteille à bouchon à vis ou d'un sac d'échantillonnage stérilisé .Cependant, comme les échantillons bactériologiques ont une durée de vie limitée, il est parfois impossible de les expédier à un laboratoire d'analyse dans des délais suffisamment courts. Il peut donc être utile de se procurer une trousse qui permet de faire les analyses bactériologiques de l'eau sur place. Ce« laboratoire portable » contient deux étuves pouvant être branchées dans l'allume-cigarette d'une automobile, un microscope binoculaire, des boîtes de Petri, du papier filtre, des géloses (milieux de culture), de l'alcool stérilisant et un brûleur .

L'analyse des communautés bactériennes peut être réalisée par le biais de plusieurs méthodes d'investigation. Celles-ci comprennent entre autres des essais de filtration membranaires ou de fermentation en tubes multiples, l'observation de la présence ou de l'absence des différentes espèces, l'analyse du ratio entre le nombre de coliformes fécaux et de streptocoques fécaux, de même que la détection de spores de *Clostridium perfringens* ayant survécu à la chaleur et à la désinfection (Ait Kaci , Hamdi ,2008)).

Toutefois, le recours aux bactéries comme bio-indicateurs présente certains aspects techniques plus délicats, notamment au niveau de la stérilisation de l'équipement (De plus, les manipulations et les analyses en laboratoire nécessitent du matériel spécialisé qui peut s'avérer coûteux et relativement complexe à utiliser. L'aide d'un microbiologiste est donc requise, ce qui augmente les coûts d'analyse.(Benoit,2014).

3.1.6.4 .Principales espèces utilisées en bio-indication :

Les coliformes fécaux sont les indicateurs privilégiés de la pollution fécale, de même que les entérocoques .Le groupe des coliformes inclut notamment les genres *Klebsiella*, *Escherichia*, *Citrobacter* et *Enterobacter* .Les cyanobactéries, quant à elles, sont utilisées comme bio-indicateurs de l'eutrophisation des milieux aquatiques (Ait Kaci , Hamdi ,2008))

Tableau 7: Fiches descriptives de catégorie des Bactéries bio-indicateurs de la qualité des écosystèmes aquatiques

Catégorie	Bactéries
<p>Permettent d'étudier les problèmes ou les contaminations suivantes</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Salinité(dépend des espèces) ▪ Acidité (lorsques le $\text{pH} < 5,5$ s'applique aux espèces sensibles) ▪ Pollution par les métaux lourds ▪ Contamination microbienne . ▪ surabondance d'éléments nutritifs(s'applique surtout aux cyanobactéries)
<p>Permettent d'étudier les contaminations dans les zones suivantes</p>	<p>Sédiments et colonne d'eau</p>
<p>Ils permettent d'étudier les impacts à</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Court terme (entre 0et 6mois)
<p>Ils peuvent être échantillonnés à fréquence suivante</p>	<p>Quotidiennement ,hebdomadairement.</p>
<p>Ils doivent être échantillonnés aux périodes suivantes</p>	<p>Aucune limitation</p>
<p>Leur mobilité est</p>	<p>Elargie(plus de 25m^2)(s'applique aux espèces mobiles ou absorbes en matières en suspensions) restreinte (25m^2 au moins) (s'applique aux espèces vivant sur les substrats et les benthose) .</p>

3.1.7. Oiseaux :

La classe des oiseaux comprend tous les organismes à plumes, ailés, bipèdes et qui pondent des œufs. Les oiseaux de milieux humides se caractérisent par leur dépendance plus ou moins prononcée aux surfaces aquatiques, tandis que les oiseaux aquatiques à proprement parlé sont associés à la présence d'une eau libre de profondeur variable, et recherchent généralement des plans d'eau entourés d'une ceinture de végétation plus ou moins dense selon l'espèce (Hamel,2011).

Depuis plusieurs années, de nombreuses études visent à caractériser les milieux aquatiques en fonction des oiseaux qui en font usage pour la reproduction, l'alimentation, ou lors des migrations (Hamel,2011).

3.1.7.1. Description Et Caractéristiques De La Catégorie :

Selon la saison, leur régime se compose principalement de zooplancton, de crustacés, d'insectes, de poissons, et de végétaux. Certains se nourrissent également de batraciens, de micromammifères et de reptiles. Toutefois, le régime alimentaire est variable d'une espèce à l'autre (Benoit,2014).

De plus, l'identification taxonomique est généralement simple, même lorsque les individus observés se situent relativement loin de l'observateur (Les Cahier Technique D'espace Naturel ,2008 ; Hamel,2011).

Ensuite, « leur position élevée dans la chaîne trophique les rend sensibles aux changements qui se produisent dans les niveaux trophiques inférieurs » (Hamel,2011). Dans le même ordre d'idées, leur grande durée de vie leur confère une meilleure sensibilité aux effets cumulatifs des perturbations par rapport aux autres groupes de bio-indicateurs qui intègrent essentiellement les effets des perturbations épisodiques (Hamel,2011). Puis, comme ils font preuve d'une importante mobilité, ceux-ci intègrent les effets des différentes perturbations sur une échelle spatiale plus importante . Par conséquent, les oiseaux sont considérés comme des bio-indicateurs représentatifs de la qualité de leur habitat, voire même de leur écosystème. Ceci dit, les oiseaux présentent une plus faible sensibilité à court terme (Les Cahier Technique D'espace Naturel ,2008).Par ailleurs, ils occupent de vastes territoires et colonisent une grande variété d'habitats. La plupart des espèces d'oiseaux dont la survie dépend entièrement des milieux

aquatiques migrent durant la saison hivernale et reviennent dans la région au printemps pour la période de reproduction . De ce fait, la diversité spécifique atteint son maximum entre avril et juin. C'est également durant cette période que les oiseaux sont les plus sensibles aux perturbations (inondations, pollution, etc.) puisqu'ils se déplacent peu et exploitent les ressources locales disponibles afin de subvenir aux besoins de leur couvée (Benoit,2014). Toutefois, la mobilité des oiseaux durant le reste de l'année implique qu'il est difficile de définir précisément le lien causal entre les perturbations et leurs effets .

Enfin, plusieurs espèces de rapaces et d'échassiers ont tendance à bioaccumuler certaines substances toxiques en raison de leur position élevée dans le réseau trophique (Hamel,2011). Il est généralement reconnu que les œufs indiquent la contamination globale du milieu où la femelle s'est alimentée durant la gestation, qui correspond généralement aux milieux humides et aquatiques à proximité de la colonie (Les Cahier Technique D'espace Naturel ,2008).

Les oiseaux de proie, quant à eux, sont reconnus comme bioaccumulateurs de DDT (Dichlorodiphényl trichloroéthane) , tandis que les oiseaux piscivores ont tendance à accumuler les pesticides organochlorés, comme le BPC Les métaux lourds s'accumulent également dans les plumes, les organes et les tissus des oiseaux. Des études ont démontré que la concentration des différents métaux varie selon l'organe : le cadmium se concentre dans les reins, tandis que le plomb s'accumule dans les os. Le mercure, quant à lui, est retrouvé surtout dans le foie et les reins, et le zinc, le cuivre et le fer se concentrent dans le foie. (Les Cahier Technique D'espace Naturel ,2008)

3.1.7.2 .Principaux facteurs d'influence :

L'abondance et la diversité des espèces et la croissance des jeunes dépendent fortement de la disponibilité, de l'abondance et de la qualité de la nourriture.

De ce fait, les populations d'oiseaux sont affectées par la perturbation des communautés de poissons, d'invertébrés benthiques et de macrophytes .Dans le même ordre d'idées, l'eutrophisation peut avoir un impact positif sur les populations d'oiseaux puisque l'augmentation de la productivité primaire et secondaire accroît la quantité de ressources alimentaires disponibles. Toutefois, le phénomène d'eutrophisation affecte la diversité des ressources disponibles. En effet, l'eutrophisation peut causer une diminution de la richesse spécifique des poissons, des macrophytes et de la faune benthique puisqu'elle engendre des

conditions défavorables telles que l'augmentation de la turbidité et la création de zones anoxiques. (Hamel,2011)

À l'intérieur d'un même milieu humide, la composition et, à un moindre degré, la richesse des communautés, sont influencées par la fréquence et la durée des changements du niveau d'eau et par l'état du couvert végétal. La salinité, quant à elle, n'a pas d'impact significatif sur les populations d'oiseaux, excepté lorsque les variations sont extrêmes. (Les Cahier Technique D'espace Naturel ,2008),

Par ailleurs, les oiseaux aquatiques sont également très sensibles à la pollution par les hydrocarbures. Ceux qui sont généralement les plus exposés à ce type de pollution sont les canards barboteurs et les oiseaux plongeurs (cormoran à aigrettes, pingouin, etc.), en raison de leur mode de vie qui accroît leur exposition à la contamination .En contact avec les hydrocarbures, le plumage des oiseaux perd ses propriétés d'isolant, ce qui peut mener à l'hypothermie ou à la noyade des individus affectés (Benoit,2014).

3.1.7.3. Méthodologie d'échantillonnage et d'analyse :

D'abord, le suivi des communautés d'oiseaux peut être simple et non destructif.

Il existe différentes méthodes, telles que le recensement non exhaustif des oiseaux par la technique des points d'écoute : l'observateur se place à un endroit défini et prend en note tous les oiseaux observés et entendus pendant cinq minutes Les points d'écoute, au nombre de 30 par exemple, sont répartis sur plusieurs sites localisés dans différentes régions naturelles prédéterminées. Chacun de ces points est visité à deux reprises tous les printemps. Cette méthode permet à l'ornithologue de décrire la richesse ou la pauvreté écologique d'un milieu, en évaluant entre autres « la présence ou l'absence de certaines espèces, l'augmentation ou le déclin des populations, la richesse ou la diversité spécifique » (Les Cahier Technique D'espace Naturel ,2008)).

Le seul équipement nécessaire consiste en une paire de jumelles, un chronomètre, du papier et un crayon, soit du matériel simple et peu coûteux.

Ensuite, le suivi des oiseaux peut également être réalisé par la capture et le baguage des individus (qui est bien souvent une bague). Cette façon de procéder nécessite entre autres l'utilisation d'appâts, de leurre, et de différents filets (Benoit,2014)

Les méthodes de recensement aérien, quant à elles, impliquent le recours à de petits avions ou hélicoptères, dont les frais d'utilisation sont de l'ordre de quelques milliers de dollars par heure. De ce fait, bien que cette technique soit plus rapide et qu'elle limite les erreurs dues aux déplacements des oiseaux, les coûts liés au transport et à l'embauche d'un pilote sont significativement plus élevés que les autres méthodes d'échantillonnage.

La présence de contaminants dans l'environnement peut également être évaluée via la mesure directe du niveau de contamination dans les œufs et les tissus. Cette stratégie implique le prélèvement d'œufs, de jeunes ou d'individus adultes, suivi d'analyses chimiques en laboratoire. Par exemple, l'accumulation de certains métaux lourds ou d'autres contaminants persistants est évaluée par l'analyse des plumes ou du sang, alors que la contamination par le DDT est mesurée par l'amincissement de la coquille des œufs (Hamel, 2011).

Les œufs sont faciles à collecter, l'homogénéité de leur composition facilite l'interprétation des données, et leur prélèvement présente moins de risque pour les espèces à l'étude. (Benoit, 2014)

Cependant, les plumes reflètent mieux la contamination locale, étant donné que les oiseaux ont la capacité de séquestrer et excréter les métaux lourds dans leurs plumes au cours de la période de croissance du plumage. (Benoit, 2014)

3.1.7.4. Les Principales espèces utilisées en bio-indication :

De façon générale, les espèces prédatrices sont préconisées, car elles se situent au sommet de la chaîne alimentaire, elles sont plus susceptibles de bioaccumuler les contaminants et elles intègrent davantage les différents contaminants dans le temps (Hamel, 2011).

Le relevé de la littérature a également révélé que l'aigrette est fréquemment utilisée comme bio-indicateur des métaux lourds .

Enfin, le grand héron a été désigné comme espèce bio-indicatrice dans les programmes de surveillance de la qualité des eaux. (Benoit, 2014)

Tableau 8: Fiches descriptives de catégorie des Oiseaux bio-indicateurs de la qualité des écosystèmes aquatiques

Catégorie	Oiseaux
Permettent d'étudier les problèmes ou les contaminations suivantes	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Acidité (lorsque le $\text{pH} < 5,5$ mais a un moindres degré par rapport aux autres bi indicateurs) ▪ Pollution par les métaux lourds ▪ Pollution par les hydrocarbures. ▪ Pollution organiques (surtout le BPC et le DDT)
Permettent d'étudier les contaminations dans les zones suivantes	colonne d'eau (s'applique particulièrement aux espèces qui consomme les poissons ou qui s'alimente par filtration de l'eau) et sédiments (s'applique aux espèces qui consomment les benthos)
Ils permettent d'étudier les impacts à	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Court terme (entre 0et 6mois) ▪ Moyenne terme (entre 6mois et 1an) ▪ Long terme (1an et plus)
Ils peuvent être échantillonnés à fréquence suivante	Hebdomadairement, mensuellement ou annuellement
Ils doivent être échantillonnés aux périodes suivantes	Printemps
Leur mobilité est	Elargie (plus de 25m ² moins)

3.2 . SUIVI À L'AIDE D'INDICATEURS

le terme « suivi » est souvent utilisé pour exprimer différentes réalités, qui peuvent être divisées en trois niveaux :

une collecte de données constitue une série d'observations standardisées, une surveillance consiste en une série temporelle de collectes de données, tandis qu'un suivi est une surveillance réalisée en fonction d'objectifs précis, afin de vérifier le niveau de conformité avec une norme ou un état de référence .

Puisqu'il est impossible de faire le suivi de toutes les composantes de l'intégrité d'un milieu, des indicateurs sont utilisés, soit pour agir comme signal d'alarme précoce d'un problème environnemental ou pour diagnostiquer un changement survenu dans le milieu .

Les paramètres physico-chimiques de qualité de l'eau (profondeur de l'eau, pH, oxygène dissous, transparence) sont souvent mesurables de façon directe et non ambiguë, mais leur valeur varie au cours de l'année, du mois, de la journée, ou encore d'une partie à l'autre de la zone humide . Les variables physico-chimiques sont tout de même adaptées à une alerte rapide, puisqu'elles sont directement liées à certains processus tels que la pollution par des substances toxiques, le changement de régime hydrologique ou l'eutrophisation .

A partir de ces points il est important de déterminer quelles parametre a prendre en consideration afin d'avoir des resultas justes efficace

Parametres a prendre en consideration en methodes de recherche .:

3.2.1 .Type de Milieu à l'Etude :

Pour pouvoir appliquer le concept de la bio-indication , il demeure essentiel d'avoir les connaissances et les caracteristique de base sur le mileu ou la station a l'etudes qui sont :

- La localisation (situation géographique).
- Les conditions climatiques.
- L'altitude .
- La pente.
- La vitesse du courant.

- La profondeur.
- Les paramètres physico-chimiques qui sont la température de l'eau, le pH et la conductivité électrique.
- La faune et la flore qui caractérisent le milieu à l'étude.
- Les influences anthropiques sur le milieu à l'étude.

3.2.2. Détermination de type de contaminant ou problématique à étudier et de bio-indicateur adéquat :

le fait de spécifier le type de contaminant à l'étude ou la problématique qu'on veut cibler influence sur le choix du bio-indicateur. Tout d'abord, nous nous intéresserons dans cette étude à présenter les bio-indicateurs les plus adéquats pour étudier les principales problématiques environnementales affectant les milieux aquatiques.

Pollution par les hydrocarbures : Les premiers mètres supérieurs de la colonne d'eau et les sédiments constituent les principales zones d'accumulation d'hydrocarbures, excepté en milieu marin où la plupart des hydrocarbures flottent à la surface (ITOPF, s.d.). De ce fait, ce sont les organismes qui vivent dans les couches supérieures de la colonne d'eau, sur les fonds aquatiques ou dans les sédiments qui sont les plus vulnérables. De plus, les communautés d'organismes dont la mobilité est faible sont davantage affectées par les polluants, compte tenu du fait que le nombre d'individus morts ne peut être compensé par l'immigration d'individus provenant des zones non atteintes. Ceci dit, pour être de bons bio-indicateurs, ces organismes doivent également présenter une sensibilité importante à l'exposition aux hydrocarbures ou à leurs composantes chimiques. (ITOPF, s.d.)

Les poissons, quant à eux, sont essentiellement sensibles aux hydrocarbures lors des stades juvéniles. De plus, les espèces de poissons vivant essentiellement dans les couches supérieures de la colonne d'eau ou près du fond des milieux aquatiques sont les bio-indicateurs les plus adéquats. Par ailleurs, les oiseaux aquatiques sont également très sensibles à la pollution par les hydrocarbures, particulièrement les oiseaux plongeurs (Benoit, 2014)

Les nombreuses études qui ont été menées sur les impacts environnementaux des accidents pétroliers sur les macroinvertébrés benthiques ont démontré que les crustacés, particulièrement

les amphipodes et les copépodes, sont très sensibles aux hydrocarbures, tandis que les polychètes et les nématodes sont beaucoup plus résistants. D'ailleurs, Raymond(2008), soutient que les crustacés amphipodes sont les plus vulnérables face à ce type de pollution, et que leur présence ou leur absence constitue de ce fait l'un des bio-indicateurs les plus recommandés. Ainsi, ceux-ci permettent d'évaluer la quantité d'hydrocarbures présents dans le milieu.

Pollution par les métaux lourds : Les caractéristiques recherchées chez les bio-indicateurs pour analyser la pollution par les métaux lourds sont soit une forte résistance aux effets des métaux lourds accompagnée d'une capacité de bioaccumulation de ces métaux, soit une sensibilité importante face à ceux-ci engendrant la disparition de ces espèces sensibles au profit d'espèces résistantes. (Benoit, 2014)

Benoit rapporte que, Selon Pinel-Alloul (2005), la pollution métallique est souvent évaluée via l'utilisation des macroinvertébrés. Ces derniers sont de très bons bio-indicateurs de la concentration en métaux lourds (arsenic, cadmium, cobalt, chrome, cuivre, plomb et zinc), grâce à leur proximité par rapport aux sédiments contaminés et à leur capacité de bioaccumulation. Par exemple, les isopodes et les amphipodes sont reconnus pour être de grands bioaccumulateurs de cuivre, de fer, de plomb et de zinc. De plus, les mollusques bivalves bioaccumulent fortement le cuivre, le fer et le manganèse, tandis que les mollusques gastéropodes bioaccumulent davantage le cuivre et le zinc. À une échelle plus spécifique.

Au niveau des macrophytes, les macroalgues et les bryophytes (mousses aquatiques) figurent parmi les organismes les plus communément utilisés comme bio-indicateurs de la contamination métallique puisqu'elles présentent une forte capacité de bioaccumulation de plusieurs différents métaux lourds.

De plus, la plupart des algues et du zooplancton (particulièrement les foraminifères) sont également sensibles à la présence de métaux lourds (Boissonneault, 2005).

Par ailleurs, les métaux lourds qui sont bioaccumulés dans les organismes à la base du réseau trophique sont bioamplifiés à chaque échelon de la chaîne alimentaire. De ce fait, les grands prédateurs comme les poissons et les oiseaux constituent également des bons bio-indicateurs de la présence de ces métaux lourds dans le milieu à l'étude (Bélangier, 2009).

Pollution organique : Les bio-indicateurs de la contamination organique doivent répondre à l'un ou l'autre des critères suivants : présenter la capacité de bioaccumuler les contaminants organiques et de résister fortement à leurs effets néfastes, ou, au contraire, présenter une grande sensibilité face à la contamination organique, qui se traduit par des symptômes physiologiques ou morphologiques, ou par la diminution de leur abondance (voire leur absence) au profit d'espèces résistantes. (Benoît, 2014).

les algues et les protozoaires (organismes unicellulaires faisant partie du zooplancton) sont, de façon générale, les organismes les plus souvent utilisés comme bio-indicateurs de la pollution d'origine organique. D'ailleurs, les algues constituent la principale voie d'entrée de certains contaminants organiques dans la chaîne alimentaire, notamment le BPC (Bélanger, 2009).

Les pesticides : Au niveau de la pollution par les pesticides, les communautés diatomiques sont sensibles à certains herbicides viticoles, tels que le diuron, et quelques fongicides phytosanitaires (azoxystrobine, carbendazine, procymidone, etc.)

Par ailleurs, certains antibiotiques bactéricides comme l'acide oxolinique peuvent également être bioaccumulés dans les réserves lipidiques des mousses aquatiques

Au niveau des macroinvertébrés benthiques, un exemple de bio-indicateurs fréquemment abordé dans la littérature est celui des exuvies nymphales, qui peuvent être utilisées pour évaluer la pollution à dominance organique dans les cours d'eau. De plus, le pseudohermaphrodisme chez les gastéropodes femelles de la famille des Prosobranches et l'épaississement de la coquille des huîtres constituent de bons bio-indicateurs de la présence de TBT dans le milieu étudié. (Bélanger, 2009)

Concernant les poissons, la bioaccumulation des composés organochlorés est surtout observée chez les espèces territoriales ou non migratrices, telles que le brochet et l'achigan à grande bouche. De plus, certaines études ont démontré que l'exposition du poisson-demoiselle (*Pomacentrus aboioensis*) aux pesticides organochlorés lui cause des problèmes importants, tels que la malformation de la colonne vertébrale ou la mortalité des embryons et le rétrécissement de la larve, qui peuvent être utilisés comme bio-indicateurs (Kerckhove, 2012). Puis, les oiseaux de proie sont reconnus comme bioaccumulateurs de DDT, tandis que les oiseaux piscivores ont tendance à accumuler les pesticides organochlorés comme le BPC

Enfin, en ce qui concerne les bactéries, le relevé de la littérature révèle que plusieurs études sont menées sur la capacité des bactéries à biodégrader les polluants organiques toxiques. Cependant, aucune étude attestant de leur potentiel en tant que bio-indicateur de ce type de pollution (Benoit,2014) .

Contamination microbienne :Les bio-indicateurs privilégiés pour détecter la contamination microbiologique de l'eau sont les coliformes fécaux, la bactérie *Escherichia coli* (*E. coli*) et les entérocoques. En effet, leur présence constitue un bon indicateur « de l'intensité de la pollution d'origine fécale et de la présence de microorganismes pathogènes dans les cours d'eau » .Dans ce contexte, les bactéries sont donc les bio-indicateurs de prédilection puisqu'aucune autre catégorie de bio-indicateurs n'offre des résultats aussi directs et concluants quant à ce type de pollution .(Hebert ;Legaret,2000, Ait Kaci , Hamdi ,2008)

Anoxie :L'oxygène dissout est généralement essentiel à la survie de la faune et de la flore aquatique. Cependant, les exigences propres aux différentes espèces sont variables.

Pour être pertinents et adéquats, les bio-indicateurs sélectionnés pour évaluer cette problématique doivent être sensibles à la teneur en oxygène de l'eau ou, au contraire, être en mesure de subsister dans des milieux où le taux d'oxygène est très faible. Ainsi, l'analyse de la composition des communautés, ciblée sur la présence ou l'absence des bio-indicateurs sensibles et résistants, permet de dresser un portrait de la problématique. Le relevé de la littérature révèle que les principaux organismes utilisés comme bio-indicateurs de la teneur en oxygène sont les macroinvertébrés benthiques et les poissons. Toutefois, la sensibilité au niveau d'oxygénation est très variable selon les espèces(Hebert ;Legaret,2000.)

Au niveau des poissons, un appauvrissement important en oxygène aura des impacts notables sur le comportement et la survie des espèces nécessitant une bonne oxygénation des cours d'eau (Kerckhove, 2009). Par exemple, les poissons de la famille des salmonidés ont besoin d'une eau très oxygénée pour survivre (Touzin, 2008).

Sur abondance d'éléments nutritifs phénomène de l'eutrophisation :De façon générale, les algues sont reconnues comme de bons bio-indicateurs de l'eutrophisation des cours d'eau. L'explication est simple : les algues convertissent l'énergie lumineuse en biomasse par la photosynthèse, qui est limitée par la quantité de nutriments disponibles dans le milieu(Nehart.2016). De ce fait, plus ces nutriments sont abondants, plus la biomasse algale

augmente. Suivant le même raisonnement, les diatomées, en tant que producteurs primaires, représentent des bio-indicateurs efficaces pour évaluer la présence de nutriments d'origine agricole, notamment l'apport de phosphore (Boissonneault, 2006, Nehar, 2016). Les bio-indicateurs de l'eutrophisation les plus connus demeurent néanmoins les cyanobactéries.

Par ailleurs, l'eutrophisation influence également le zooplancton. En effet, l'eutrophisation favorise la prolifération de la flore planctonique dont se nourrit le zooplancton, ce qui engendre une augmentation de la biomasse zooplanctonique. En contrepartie, l'apparition d'algues toxiques engendre l'intoxication du zooplancton herbivore qui les consomme. Enfin, l'eutrophisation favorise l'augmentation la turbidité de l'eau, ce qui affecte particulièrement les macrophytes, et engendre la création de zones anoxiques qui nuit significativement aux communautés de macroinvertébrés benthiques et de poissons. (Benoit, 2014)

Acidité (le pH du milieu) : L'acidification des eaux de surface constitue un autre enjeu important dans le maintien de la qualité de l'environnement. Provoquant une forte érosion de la biodiversité, l'acidification des milieux aquatiques est généralement causée par les précipitations acides, les drainages miniers acides et dans une moindre mesure, l'utilisation d'engrais azotés, les rejets urbains et industriels et les coupes à blanc des forêts. Pour évaluer la pollution acide et ses impacts sur le biote, les bio-indicateurs utilisés doivent être sélectionnés sur la base de leur seuil de tolérance respectif face au pH acide. Chez les algues, les impacts les plus importants surviennent lorsque le pH est inférieur à 5,6, seuil à partir duquel le carbone inorganique essentiel à la photosynthèse s'épuise rapidement et disparaît.

Selon plusieurs auteurs ; les algues seraient les bio-indicateurs les plus fréquemment utilisés pour évaluer la pollution acide.

Au niveau des macroinvertébrés, les mollusques qui ont une coquille de calcaire sont affectés par les pH inférieurs à 7 puisque le calcaire se dissout sous l'effet de l'acidité de l'eau. Puis, plusieurs études ont démontré que le zooplancton est également sensible à l'acidification de l'eau. Toutefois, en ce qui concerne les autres types de macroinvertébrés benthiques, les macrophytes, les poissons et les bactéries, la tolérance à l'acidification de l'eau varie significativement d'une espèce à l'autre. Le critère de la sensibilité à l'acidification de l'eau ne permet donc pas de déterminer laquelle de ces quatre catégories de bio-indicateurs est la plus

appropriée. C'est plutôt au niveau du choix de l'espèce bio-indicatrice qu'il faudra tenir compte de la sensibilité au pH acide.(Benoit,2014)

3.2.3. Echantillonnage :

3.2.3.1. Préparation du matériel :

La préparation du matériel est une étape qui doit être planifiée plusieurs jours à l'avance, afin de pouvoir obtenir du laboratoire le matériels adéquates pour les analyses désirées et de s'assurer du bon état des instruments

3.2.3.2. Où échantillonner ?

La localisation des stations est une étape du plan d'échantillonnage qui est déterminante pour la réussite et la validité du suivi. Le nombre et le positionnement des stations dépendent des objectifs de l'étude, de l'accessibilité des sites et des ressources financières disponibles. L'utilisation de plusieurs stations d'échantillonnage sur le cours d'une rivière permet une caractérisation générale et l'identification des secteurs où la qualité de l'eau est plus problématique. Lorsqu'il s'agit de déterminer l'impact d'une source ponctuelle de pollution ou des activités agricoles dans un secteur donné, il est tout indiqué de positionner une station témoin en amont du rejet polluant (qui pourrait être un affluent) ou du secteur à étudier, et une station en aval de celui-ci. Il faut toutefois s'assurer qu'aucune source de pollution autre que celle ciblée par le suivi n'est présente entre les deux sites d'échantillonnage. Dans le cas où l'on veut évaluer l'impact d'un certain type de culture ou l'impact de l'utilisation du territoire (par exemple l'épandage de fumier) sur la qualité de l'eau, il faut que le secteur à l'étude soit homogène, c'est-à-dire que l'on doit y retrouver un seul type de culture ou d'utilisation du territoire, sinon l'interprétation des résultats devient difficile.(Hébert,. Légaré, 2000)

3.2.3 .3. Période D'échantillonnage :

Dans le cadre de la bio-surveillance, l'efficacité et la valeur scientifique de l'échantillonnage de certains bio-indicateurs dépendent fortement du moment auquel celui-ci est réalisé. Il faut notamment tenir compte de l'accessibilité et du cycle de développement des individus.

De ce fait, les macroinvertébrés devraient être échantillonnés à l'automne puisque c'est la période à laquelle la richesse taxonomique est accrue. Or, il est préférable d'échantillonner les macrophytes, oiseaux, le zooplancton et les algues au printemps, car c'est généralement à cette période que la croissance des populations est maximale. En ce qui concerne les bactéries et les poissons, il n'y a pas de période d'échantillonnage plus favorable en termes de représentativité et de validité des résultats, puisque la période de reproduction est très variable d'une espèce à l'autre. Il est donc important de tenir compte de la période de reproduction lors de la sélection de l'espèce qui sera utilisée comme bio-indicateur.

3.2.3.4. Conservation des échantillons :

Le processus de conservation permet de préserver l'intégrité des échantillons prélevés entre le moment de l'échantillonnage et celui de l'analyse en laboratoire. Cette étape est nécessaire puisque plusieurs paramètres peuvent subir des modifications physiques ou des réactions chimiques dans le récipient, ce qui altère la qualité originale de l'échantillon. Afin d'obtenir des analyses qui représentent le plus fidèlement possible les conditions du cours d'eau, une conservation physique ou chimique des échantillons doit être effectuée. (Hébert,. Légaré, 2000)

3.2.4 .Comment procéder à l'identification?

Avant de débiter, il est important de regrouper les individus semblables et de commencer l'identification par les plus gros individus, donc les plus matures. On identifiera ensuite les spécimens selon les guides de classification de chaque catégorie de bio-indicateur a utilisée.

on peut présenter quelques notions de classification (taxonomie) utiles pour la compréhension. Voici donc les principaux niveaux de classification :

Exemple des Macro invertébré

- Règne (animal)
 - Embranchement, ou phylum (arthropodes, mollusques, annélides...)
 - Classe (insectes, crustacés, arachnides...) • Sous-classe • Ordre (éphéméroptères, coléoptères, trichoptères...)

- Sous-ordre
 - Super-famille (Hydrophiloidea)
 - Famille (Ephemerellidae, Elmidae, Goeridae...)
 - Sous-famille
 - Genre (Sialis)
 - Espèce
 - Sous-espèce

Les niveaux d'identification supérieurs à la super-famille seront en français et les autres niveaux, en latin.(Moisan,, 2010.)

3.2.5. Utilisation d'Indices Biologiques Adéquat :

utilisation d'indice biotique correspond a une évaluation quantitative de la qualité d'un écosystème sur la base de l'abondance relative des espèces, de la présence /absence des espèces indicatrices, ou en fonction de l'ampleur des changement observer chez les bio-indicateurs (Boissonneault,2006) De façon à synthétiser les données sur l'état des écosystèmes aquatiques, de nombreux indices sont couramment utilisés, tant pour les diatomées que pour les invertébrés benthiques ainsi que sur les autre catégories de bio-indicateur . Ils permettent d'évaluer la qualité biologique des milieux aquatiques par l'expression d'une valeur simple et unique. Ainsi, l'utilisation d'indices biologiques permet la communication des résultats obtenus pour les non-initiés.

CHAPITRE 4 :L'applicabilité De La Bio Indication Sur Les Eaux Des Surfaces En Algérie

Par sa position géographique, l'Algérie représente une aire de contact entre plusieurs régions, telles le Sud de l'Europe et l'Afrique. Son importance, en tant que zone de passage obligatoire pour une grande partie de la faune, entre les régions paléarctique et afro tropicale, lui confère un intérêt particulier pour les études faunistiques, floristiques, écologiques et biogéographiques. (Lounaci,2014) Les variations thermiques dans le bassin méditerranéen sont parfois brutales et les précipitations irrégulières et violentes sont concentrées sur de courtes périodes. Les cours d'eau de cette région sont caractérisés par une irrégularité des flux hydrologiques et des fluctuations brutales. Le débit annuel est marqué par un maximum au printemps et en automne et un faible niveau d'eau sévère en été(Zouggaghe, Tafer et Mouni). La situation géographique de l'Algérie, est déterminée par une importante influence méditerranéenne. Grâce à sa façade méditerranéenne, elle possède d'importants bassins hydrographiques.(Zouggaghe, Tafer et Mouni)

Les écosystèmes d'eaux courantes restent peu étudiés en Afrique du Nord en comparaison avec l'Europe.(Sabri,2013) Jusqu'ici, en Afrique du Nord, très peu d'études sur l'organisation spatiale et la structure des communautés aquatiques ont été réalisées. Cette région semble pourtant être très intéressante et pourrait, suite aux contraintes climatiques spécifiques à ces milieux très différentes des conditions du sud de l'Europe induire de fortes différences (Lounaci,2014).

4.1. Caractéristiques abiotiques des écosystèmes aquatiques continentaux d'Algérie :

4.1.1. Données hydrologiques :

Les cours d'eau d'Algérie ont un régime caractérisé par l'irrégularité des écoulements et par des manifestations hydrologiques brutales (Lounaci,2014). l'Algérie est divisée en cinq bassins hydrographiques, il s'agit des bassins :Cheliff-Zahra, Algérois-Hodna-Soummam, Constantinois-Seybouse-Mellegue ,Oranie-Chott-Chergui , et Sahara (Nehar,2016).Le régime annuel est marqué par les maximums d'hiver et de printemps, un étiage d'été sévère. Les

précipitations rassemblées principalement dans la zone méditerranéenne a une moyenne annuelle de 89 mm, ce qui donne un écoulement de 211km^2 (Nehar,2016) , amènent de brusques variations de débit qui modifient temporairement l'écosystème et la communauté lotique. (Lounaci,2014), les 75% des ressources renouvelables sont concentrées dans 6% du territoire algérien .(Nehar,2016) ,les eaux de surfaces en Algérie sont évaluées a $12,345\text{km}^3$ repartis selon les cinq zones cité précédemment (Nehar,2016),et sur les 17 principaux bassin versant d'Algérie qui sont représenter dans la figure n 6

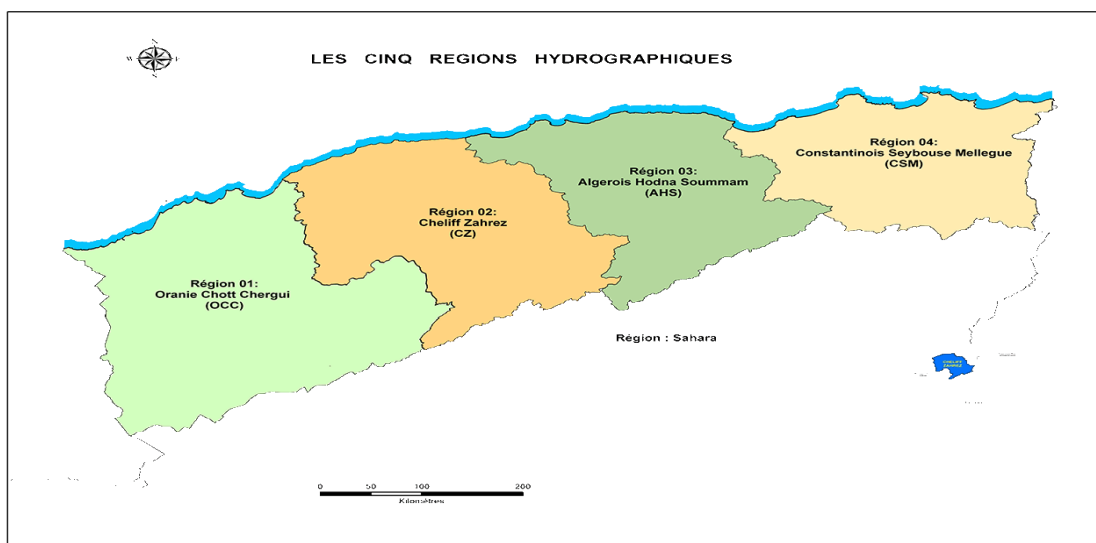


Figure 5: Les quartes Bassins Hydrographiques D'Algérie.

Tableau 9 : Eaux De Surfaces Par Grands Bassin Hydrographiques En Algérie(Nehar,2016)

Bassin Hydrographique	Oranie Chott Chergui	Cheliff Zahrez	Algerois Soummam Hodna	Constantinois Seybousse Mellegre	Sud	Totale
Quantite D'eau Mm³/An.	1,025	1,840	4,380	4,500	600	12,345
Pourcentage %	8,7	15,7	37,3	38,3	0,48	100,0

4.1.2. Données thermiques :

En ce qui concerne la température de l'eau, le contraste est bien marqué entre l'hiver et l'été. Les températures moyennes mensuelles les plus basses se rencontrent au mois de janvier (<à 10 °C) alors que les maximas sont atteints en juillet (25 – 30 °C). Le contraste entre l'hiver et l'été s'accroît fortement lorsque l'on s'éloigne de la mer. (Lounaci,2014)

Une des caractéristiques majeures des cours d'eau d'Algérie est leur important réchauffement en été. Dans le potamal (la partie aval des fleuves), les valeurs du maximum thermique annuel dépassent 25°C. Les amplitudes thermiques annuelles oscillent autour de 20°C. Dans certains réseaux hydrographiques, l'existence d'une ripisylve (végétation de bords de rivière) empêche le réchauffement important des eaux en été. Par contre dans d'autres, l'absence de boisement entraîne une forte élévation de la température de l'eau par les effets conjugués de la réduction du débit et de l'insolation. Ainsi, à cette eurythermie des cours d'eau s'oppose la constante thermique des sources qui, dans certaines régions, constituent des biotopes refuge pour de nombreux organismes aquatiques. (Lounaci,2014)

4.1.3. Impact humain :

Les écosystèmes aquatiques continentaux d'Algérie ont subi une dégradation sévère liée à une croissance démographique accélérée et un développement industriel et agricole qui ont

engendré une augmentation démesurée du volume des déchets urbain. Ces dégradations ont conduit à la fragmentation croissante des milieux, se traduisant par des modifications profondes et rapides des communautés d'organismes aquatiques avec une perte de diversité et/ou des déséquilibres démographiques. (Lounaci,2014)

4.1.4. pollution des eaux superficielle en Algérie :

En Algérie, la qualité des eaux superficielles connaissent un état de dégradation avancé dans des bassins d'importance vitale, surtout sous l'effet des rejets de déchets urbains et industriels, les barrages réservoirs s'ensavent et perdent de la capacité utile et le rejet de la vase dans les cours d'eau pose d'énormes problèmes écologiques et environnementales.

(Kachi,2016,Mouni,2004)

Selon Nehar,2016 ;avant le programme d'industrialisation ,le seul oued pollué en Algérie était Oued El Harrache a Alger. Aujourd'hui, en raison de l'implantation inapproprié de nombreuses industries, le résultat est devenu désastreux. La pollution a affecté la plupart des départements.

Plusieurs études ont été consacrées à la pollution hydrique dans l'Est Algérien . Il ressort que les taux d'infiltration les plus élevés sont observés dans les zones à grandes activités agricole et industrielles (Meboudja, Bouchegouf et Guelma) . Les oueds Meboudja et Seybouse sont soumis à une pollution minérale intensifiée par les rejets industriels . Sur une période de 12 mois, la surveillance des rejets vers la Meboudja par exemple, a montré une pollution inorganique caractérisée par une forte concentration de métaux lourds. Dans un autre travail sur la plaine d'El-Ma El-Abiod (Tébessa), il a été montré que la zone à forte vulnérabilité occupe environ 25% de la surface totale . Ceci montre clairement que ces régions sont menacées par des pollutions croissantes, de différentes sources et des évaluations précises de ces risques doivent être établies pour des raisons de prévention.(Chaoui ,Bousnoubra , Chaoui)

A l'ouest près de Mostaganem ,le complexe de production de papier SONIC pollue la région par sa mousse dangereuse sur des surfaces de l'eaux. Quant à oued Chélif,a été signalé d'avoir contenu divers polluants provenant de plusieurs départements traversant Mostaganem , Relizan,Ain Deffla et Chleff.(Nehar,2016) les rejets de la zone industrielle de Tiaret polluant le barrage de Bakkhada ainsi que les rejets de tanneries de l'unité textile SONITEX de la ville de Sebdou polluant la barrage de béni Bahdel,(Mouni,2004)

Autour d'Alger, plusieurs entreprises industrielle rejettent des déchets dans Oued Smar et Oued El Harrach ,tandis que Oued Boudouaou est devenu encore plus pollué par la zone industrielle de Rouïba . que les déchets du complexe détergents de l'ENAD de Sour El-Ghozlane polluant l'oued Lekhal ,(Mouni,2004 , Nehar,2016)

Tout cela menace les écosystèmes aquatiques par la dégradation et la fragmentation croissante des milieux, se traduisant par des modifications profondes et rapides des communautés d'organismes aquatiques avec une perte de diversité et/ou des déséquilibres démographiques. Ainsi , elle menace la santé humaine .

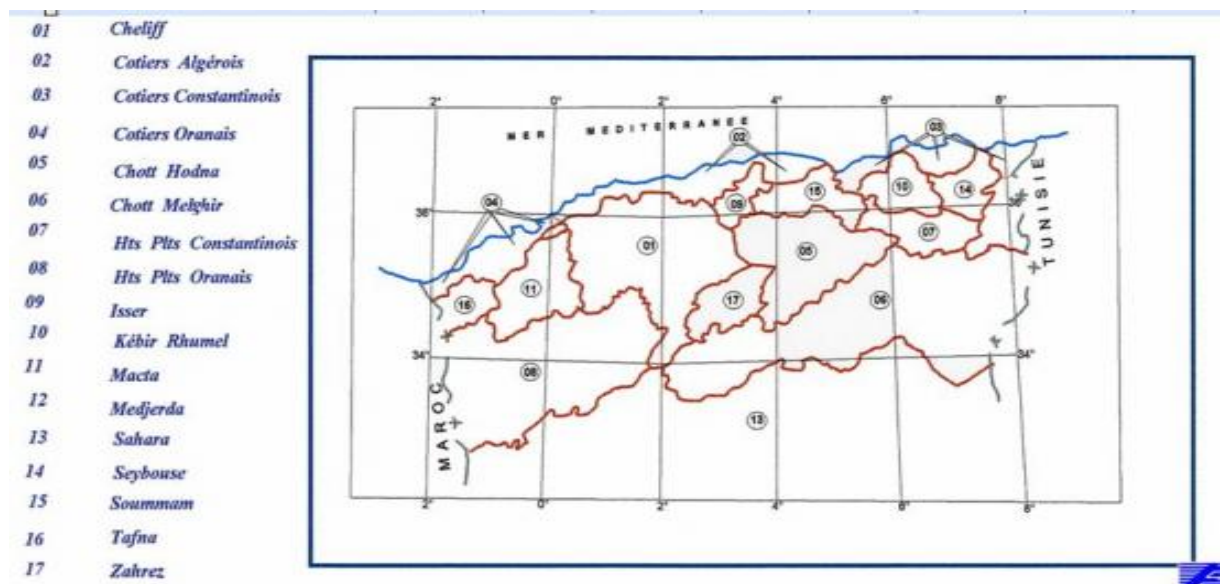


Figure 6 : Les Principaux Bassin Versant En Algérie

4.2. Les inventaires et les recherches sur les peuplements des écosystèmes aquatiques continentaux d'Algérie :

Les plans d'eau d'Algérie sont vulnérables aux effets des changements environnementaux liés aux activités humaines. Il est nécessaire d'observer et d'évaluer les changements à l'échelle des changements climatiques globaux. Il importe d'assurer un suivi régulier de ces écosystèmes, et de mettre en place des mesures de protection et de gestion appropriées aux usages qui en sont attendus. La mise en place d'indices témoignant de la qualité générale des milieux (qualité de l'habitat et du milieu) est souhaitable.(Lounaci ,2014)

D'après Sabri, 2013 , Les écosystèmes d'eaux courantes restent peu étudiés en Afrique du Nord en comparaison avec l'Europe. Les recherches n'ont été entreprises qu'à partir des années 80. Au Maroc, nous citons les travaux de Pihan et Mohati (1984), El Agbani (1984) Yacoubi et Khebiza (1987), Ajakane (1988), Qninba et al. (1988), Bouzidi et Guidicelli (1994), Brucker et Mahdaoui (1999). En Tunisie, nous citons ceux de Djallouli (2000), Gharbi et al (2002), Hamza (1995) et Bradai (2000). En Algérie, des travaux ont été entrepris par Lounaci (1987) en Kabylie, Arab (1983,1989 et 2004) et Zouakh (1995) à Alger, et plusieurs travaux ont eu lieu dans le nord algérien.

4.2.1. Inventaire de la faune d'invertébrés des écosystèmes aquatiques continentaux en Algérie :

Si la faune des invertébrés des écosystèmes aquatiques continentaux d'Europe est dans l'ensemble bien connue, des lacunes persistent en Algérie où les recherches sur cette faune ont été beaucoup plus limitées dans le temps et dans l'espace.(Lounaci,2014 ,Sabri ,2013)

Jusqu'à une période récente, les recherches sur les peuplements et l'écologie des invertébrés des écosystèmes aquatiques continentaux d'Algérie étaient rares et/ou partielles. Elles se résument, pour la plupart, à la description d'espèces inédites, leur écologie n'était que sommairement abordée (Eaton, 1899; Bedel, 1895 ; Seurat, 1922 ; De Peyerimhoff, 1905 et 1925 ; Navàs, 1917 et 1929 ; Edwards, 1923 ; Puri, 1925 ; Lestage, 1925 ; Poisson & Gauthier, 1926 ...). Entre 1920 et 1980, peu d'études exhaustives ont été le résultat de récoltes plus étalées dans le temps et dans l'espace. Cas des travaux de Gauthier (1928) sur la faune des eaux continentales d'Algérie et de Tunisie, Guignot (1931-1933) sur les Hydrocanthares de l'Afrique du Nord,

Vaillant (1955) sur la faune madicole d'Algérie, Aubert (1956) sur les Plécoptères, Bertrand (1972) sur les Coléoptères(Lounaci,2014)

Après 1980, avec le développement des programmes d'études en écologie, hydrobiologie et zoologie, plusieurs travaux ont été entrepris : Gagneur et al. (1986), Lounaci (1987), Malicky & Lounaci (1987), Ait Mouloud (1988), Gagneur & Clergue-Gazeau (1988) Gagneur & Thomas (1988), Arab (1989), Samraoui et al. (1993, 2000a, 2000b), Lounaci-Daoudi (1996), Thomas (1998), Samraoui & Menai (1999), Berchi (1993, 2000), Lounaci et al. (2000a et 2000b), Mebarki (2001), Lounaci & Vinçon (2005), Arab et al. (2004), Moubayed-Breil et al. (2007), Zerguine et al. (2009), Chaib et al. (2011), Khelifa et al. (2011), Yasri & al. (2013a, 2013b), Moubayed-Breil & Lounaci (2013). Zougaghe F., & Moali A. (2012), Zougaghe F.,(2010) sur la Numidie et Zougaghe (2003) (Lounaci,2014,Zougaghe et al,2012,Sabri,2013)

Sur la base de la documentation trouver pendant la réalisation de cette études, les résultats de la recherche bibliographiques sur l'ensemble des espèces faunistiques benthique des cours d'eaux en Algérie ,et d'après l'étude faite par Lounaci,2014 sur la diversité de la faune macro-invertébrés benthique d'Algérie, les résultats sont mentionnés comme suite :

- **La microfaune (zooplancton) :** les zooplanctons des eaux douces d'Algérie est relativement diversifiée (83 espèces) et les crustacés en constituent une partie importante (67 Crustacés et 16 Rotifères). (Lounaci ,2014) Ses représentants sont des indicateurs de la qualité de l'eau dans les écosystèmes aquatiques. De plus certains éléments (les daphnies par exemple) jouent un rôle majeur dans le cycle des nitrates et phosphates dans l'eau, et donc en termes d'autoépuration des eaux stagnantes. Elles sont aussi un régulateur efficace du phytoplancton, tant que les nutriments ne sont pas trop excessivement présents. Elles sont une source d'alimentation importante pour de nombreuses espèces aquatiques et semi-aquatiques

Cependant peu d'études de zooplancton ont été effectuées sur les eaux continentales d'Algérie depuis les travaux d'E. MAUPAS (1889) et de H. GAUTHIER (1928). M. CHERBI (1984) a étudié les peuplements zooplancton de trois lacs de barrage (Boughzoul, Hamiz et Ghib). B. SAMRAOUI *et al.* (1998) ont réalisé un inventaire du zooplancton dans quelques lacs du nord-est algérien, travail pour lequel la liste des espèces a ensuite été complétée (Samraoui, 2002). Signalons aussi l'inventaire réalisé par S. MOUELHI *et al.* (2000) dans toute l'Afrique du Nord, ainsi que les travaux récents de F. HAMAIDI *et al.* (2008) sur l'oued Chiffa, de F. KHEMICI (2008) sur le lac Iakehal et de M. CHERBI *et al.* (2008) sur les lacs de

Boukourdane, Foum El Ghorza et Djorf Torba. (Bouzidi, et al) , Les travaux de Samraoui et al. (1998) ont traité les peuplements (copépodes et rotifères) dans l'Est du pays (Annaba), permettant de recenser de nouvelles espèces pour l'Algérie. Les espèces (*Lecane papuana*, *Cephalodella ventripes*, *Colurella monodactylos*, *Enteroplea lacustris*, *Euchlanis meneta*, *Euchlanis phryne*, *Keratella cochlearis*.var. *hispida*, *Lecane doryssa*, *Lecane subtilis*, *Microcodides chlaena*, *Ptygura mucicola*, *Trichotria . tetractis similis*) et deux genres *Enteroplea* et *Microcodides* sont nouveaux pour l'Algérie. La distribution biogéographique montre une prédominance des taxons avec une large distribution mais avec trois espèces à distribution limitée *Euchlanis phryne*, *Enteroplea lacustris* et *Lecane subtilis*. (Hamaidi et al ,2008)

tout ces études sur les zooplancton ont décentrés que Le zooplancton en Algérie est constitué de Crustacés de Rotifères, Cladocères, et de Copépodes.

- **les invertébrés** : Quant à la faune des hydrosystèmes, d'après la banque de données de lounaci,2014 ,fait état de 902 espèces (Insectes 810 espèces, autres groupes systématique 90 espèces).

Certains ordres d'insectes comme les Coléoptères(153 espèces), les Diptères(369 espèces), les Hémiptères(85 espèces), sont difficiles à appréhender car ils possèdent à la fois des représentants terrestres et des représentants aquatiques. les Odonates (68 espèces), les Trichoptères (56 espèces), les Ephéméroptères (55 espèces) et les Plécoptères (24 espèces). Les autres groupes d'invertébrés sont faiblement représentés : Annelides 47 espèces, Mollusques 21 espèces, Hydracariens 20 espèces, Plathelminthes 2 espèces et Collemboles 2 espèces (Lounaci,2014)

Quelque études récentes sur les invertébrés en Algérie en démontré la similarité et égalité de distribution de famille et d'espèces dans les différentes Oueds en Algérie ; citons l'étude mener par Sellam, Viñolas, Zougaghe et Moulay 2016, qui ont réalisé une étude afin d'évaluer la qualité de l'eau de trois Oueds en Algérie, en l'occurrence : Oued Sahel (région de Bouira), Oued Djedir (région de Djelfa) et Oued M'zi (région de Laghouat). Ces derniers ont été choisis, en fonction de leurs emplacements dans différents étages bioclimatiques en Algérie, définissant des zones semi-aride doux, semi-aride froid et aride. Au total, 14 stations ont été échantillonnées dans les différents Oueds, durant les années 2013 et 2014 avec un total de 18 échantillons. L'étude a été menée en utilisant des macro-invertébrés aquatiques (coléoptères, éphéméroptères

et diptères), capturés dans chaque Oued, comme bio-indicateurs de la qualité hydrobiologique, deux ans d'échantillonnage, ils ont recueillie 7 familles de coléoptères, répartis en 28 genres dans les trois Oueds .Ces genres sont présents soit à l'état larvaire, soit à l'état adulte. La famille la plus dominante est celle des Dytiscidae avec 14 genres, suivie par celle des Hydrophilidae avec seulement 5 genres ;ils ont remarquer que le nombre de familles est très similaire dans les trois Oueds, une égalité au niveau des Oueds avec 6 familles. On note que tous ces genres ont une distribution paléarctique. Pour les éphéméroptères, un total de 9 taxons a été déterminé, répartis en trois genres et deux familles (Baetidae et Caenidae), cependant, 7 taxons correspondent à la famille des Baetidae et les deux autres au Caenidae. Les éphéméroptères signalent leur emplacement dans les trois oueds, en indiquant leur statut (larve, exuvie ou adulte). Les deux familles sont représentées dans les trois Oueds, toutefois elles sont méditerranéennes à large distribution. de nouvelle richesse en taxa (3 genres et 8 espèces. Les diptères sont déterminés seulement au niveau de la famille, un niveau suffisant pour leur valorisation. Avec un total de 12 familles, ils représentent le groupe le plus important des bio-indicateurs. (Sellam et al ;2016)

- Les peuplements des écosystèmes aquatiques d'Algérie sont dans leur globalité de type paléarctique (Sellam et al 2016, lounaci,2014 ,Haouchine 2011). Ils possèdent des éléments autochtones surtout connus dans la partie occidentale de la méditerranée (*Tyrrhenoleuctra*, *Eoperla*, *Afroperlodes*)(Plécoptères), *Silonella* (Trichoptère), *Tetissimulium* (Diptères Simuliidae). Cette faune possède quelques taxons qui font partie de lignées typiquement africaines (*Oligoneuriopsis*, *Euthraulius* – Ephéméroptères -, *Afronurus*, *Ecnomus* – Trichoptères -, *Hydrovatus*, *Bidessus*, *Laccophilus* – Coléoptères -, *Paratendipes crosskeyi*, *Tvetenia calvescens* - Diptères Chironomides) et orientales (*Peltodytes*, *Haliphus*, *Hygrotus*, *Potamonectes* – Coléoptères - *Simulium pseudequinum* – Diptère Simuliidae). Les endémiques sont nombreux (80 espèces, soit 8,12% de la faune totale), ils se rattachent pour la plupart à des lignées dont les représentants ont une répartition dans le bassin méditerranéen. Ils témoignent ainsi de l'existence d'une faune autochtone importante dont l'origine remonte probablement au tertiaire(lounaci,2014)

L'Europe méditerranéenne apparaît nettement plus riche que l'Afrique du Nord, aussi bien en nombre d'espèces qu'en nombre d'endémiques, ce qui s'explique principalement par l'histoire de cette contrée : isolement de l'Afrique du Nord de l'Europe à la fin du tertiaire et désertification du Sahara au quaternaire. Ces deux phénomènes ont constitué une barrière biogéographique à la faune de l'Europe et d'Afrique.(Lounaci,2014 ,Haouchine,2011)

Les études récentes (Bouzidi & Giudicelli, 1994 ; Gagneur & Aliane, 1991; Boumaiza, 1994; Lounaci et al., 2000; Berrahou et al., 2001) ont mis en évidence la faible diversification des peuplements dans les écosystèmes continentaux d'Afrique du Nord. En effet, la plupart des familles et des genres sont pauvres en espèces : Baetidae, Heptageneidae, Perlodidae, Perlidae, Chloroperlidae, Capniidae..., par contre ces taxons ont une grande variété spécifique dans les réseaux européens. La baisse importante de cette diversité est due aux températures plus élevées en Afrique qu'en Europe. (Lounaci ;2014) ainsi une étude faite par melle Rezougui ,2012 ; avait révélé que nous cours d'eaux ont vécu un appauvrissement d'un point de vue taxonomique, une réorganisation de la communauté des macroinvertébrés ; on Le comparaison entre la faune actuelle et celle qui a existé depuis 20 ans (Rezougui ,2012) L'étude climatique a révélé encore la tendance du climat de notre zone à l'aridité ces dernières décennies, ces variations s'intègrent dans un contexte de changement climatique, ce qui peut influencer la faune benthique(Rezougui ,2012) En considérant la distribution spatiale des espèces, les macroinvertébrés benthiques sont très affectés par leur environnement biotique et abiotique (Zouggaghe & Moali, 2007). Leur répartition est liée en grande partie à des facteurs environnementaux (Rezougui,2012)

Tableau 11 : Nombre d'espèces et de familles par groupe zoologique**(Lounaci,2014)**

Phylum	Sous Phylum	Classe	Ordre	Nb Espèce	Nbr Endémique
Rotifera		1	3	16	
Platyhelminthes	Turbellaria		1	2	
Mollusca		2	5	21	
Annelida			2	47	
Arthropoda	Chelicerata	1	10	20	1
	Crustacea	4	6	67	1
	Hexapoda	Insecta	Collembola	2	
			Coleoptera	153	11
			Diptera	369	15
			Ephemeropter	55	15
			Hemiptera	85	3
			Odonata	68	9
			Plecoptera	24	11
Trichoptera	56	14			
TOTAL				985	80

4.2.2. Les macro-invertébrés benthiques des cours d'eau de Kabylie :

La Kabylie, vaste entité géographique, est située au centre-est de l'Algérie, Sa morphologie générale est définie en aires géographiques bien distinctes, son réseau hydrographique très dense composé de cours d'eau, torrents et d'oueds l'a véritablement façonné en couloirs et profonds ravins, limites naturelles des confédérations et tribus. Les caractéristiques physiques, climatiques, morphologiques et géologiques, ont déterminé une forme d'organisation spatiale riche et spécifique , Deux aires géographiques distinctes composent le relief de ce territoire à savoir la Kabylie du Djurdjura et la Kabylie des Babors et des Bibans. (Toubal , Dahli)

La Kabylie du Djurdjura s'étend sur 150 km depuis la plaine des Issers à l'Ouest jusqu'à la vallée de la Soummam à l'Est et sur 100 km du Nord au Sud entre la Méditerranée et l'oued Sahel/Soummam. La Kabylie des Babors, quant à elle, s'étend sur deux wilayas, Bejaia et Jijel. La mer Méditerranée borde sa partie septentrionale sur une longueur de 150 km, à l'Est elle est limitée par l'oued El-Kebir et à l'Ouest par la vallée de la Soummam. C'est une région littorale très découpée également appelée corniche kabyle ou jijelienne. (Toubal , Dahli)

Dans cette séquence et a partir de nos recherche bibliographique , nous allons déterminer la variabilité des macro-invertébrés benthiques qui existe dans les cours d'eau de la Kabylie du Djurdjura(Elle s'étend depuis les massifs montagneux du Djurdjura (alt. max. 2308 m) jusqu'à la vallée du Sébaou (Tizi-Ouzou)) et du bassin versant de la soummam ,les cours d'eau les plus important de la Kabylie qui ont été objectif de beaucoup de chercheur et d'auteur ,Les travaux de Lounaci (1987), Malicky & Lounaci (1987), Ait Mouloud (1988), Lounaci-Daoudi (1996), Lounaci et al., 2000 ; Mebarki (2001), Lounaci (2005); Lounaci & Vinçon (2005) et Moubayed-Breil & al (2007), ainsi que d'autres travaux sur la région est, Sammraoui & Corbet (2000a,b) sur la Numidie et Zougaghe (2003) sur la région de Béjaia ,Haouchiche (2011) sur les cours d'eau de la Kabylie, constituent les seules données sur les peuplements d'invertébrés aquatiques de cette région.

4.2.2.1. Situation géographique :

- **Bassin versant de la Soummam :** Le bassin versant de la Soummam (bassin n° 15), vaste de 9125 km² , se trouve à mi-chemin entre Alger et Constantine. Comme principale caractéristique physique, il se compose de deux plateaux (celui du Bouira et celui du Sétif) et de la vallée de la Soummam. Il est limité au Nord par les montagnes de la grande Kabylie (massif

du Djurdjura), par la mer Méditerranée et les chaînes côtières de la petite Kabylie. Au Sud, il est limité par le contrefort des monts de Hodna ,Il fait partie des bassins versants tributaires de la Méditerranée. Il est composé de 10 sous-bassins versants. La distance entre le point le plus à l'Est et celui le plus à l'Ouest est d'environ 180 km à vol d'oiseau. La plus grande distance entre ses frontières Nord et Sud est de 120 km. Il s'étend dans la direction Est-Ouest, descendant dans la région de Sétif un peu vers le Sud .Son système de drainage principal comprend vers l'Ouest l'oued Sahel et ses affluents et vers l'Est l'oued Boussellem et ses affluents. Ces deux rivières se réunissent près d'Akbou pour former l'oued Soummam qui se jette dans la Méditerranée à Béjaia après un parcours de 80 km environ . .(Zougaghe,Moali,2009)

Ses conditions climatiques ne sont pas uniformes; elles varient suivant la continentalité. A Béjaia et dans la vallée de la Soummam inférieure (sans l'oued Sahel et l'oued Boussellem), le climat est essentiellement méditerranéen, généralement humide avec un léger changement de température. Sur les plateaux de Sétif et de Bouira, le climat est continental et sec avec des hivers froids et des étés chauds. La partie sud de plateau de Sétif est aride.(Zougaghe,Moali,2009,Sellam et al ,2016)

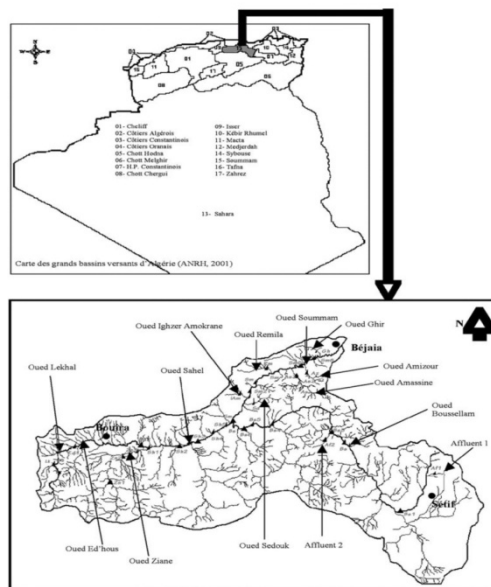


Figure 7 : Carte du bassin versant de la Soummam(Zougaghe,2009)

- La Kabylie du Djurdjura :** cette zone se localise dans le centre nord de l'algerie à une centaine de km à l'Est d'Alger et a une 50 km au sud de littoral méditerranéen (Lounaci,2011 ,Haouchiche 2011). Elle s'étend depuis les massifs montagneux du Djurdjura (alt. max. 2308 m) jusqu'à la vallée du Sébaou (Tizi-Ouzou). répartissent sur le cours axial des principaux cours d'eau : oued Aïssi , oued Boubhir , oued Sébaou et autres sur des ruisseaux d'altitude : Thala-Guilef ; Tizi-N'Kouilal ; Mekla

Le climat de la Kabylie varie d'humide à sub-humide. Il est caractérisé par un été chaud et sec et par un hiver froid et pluvieux. Dans le massif du Djurdjura (alt. > 1000m), les précipitations annuelles moyennes sont de l'ordre de 1500 mm, et de l'ordre de 900 mm dans la vallée du Sébaou. (Lounaci,2011 ;Haouchiche,2011)

Le régime hydrologique annuel est marqué par un maximum en hiver et en début de printemps (75% de la pluviosité annuelle) puis diminue ensuite progressivement pour atteindre 5 mm en juillet et août. Les précipitations sont cependant inégalement réparties car une grande partie est concentrée en quelques jours et tombe rapidement sous forme d'orages, occasionnant ainsi des crues brèves et violentes qui perturbent fortement les milieux lotiques. L'étiage est plus ou moins long, de nombreux cours d'eau s'assèchent dès le mois de juin jusqu'au mois de novembre. L'une des caractéristiques majeures des cours d'eau étudiés est leur important réchauffement en été. Dans les cours moyens et inférieurs, la température maximale de l'eau est élevée (27-33 °C) et les amplitudes thermiques annuelles oscillent autour de 20 °C. Dans les parties supérieures, la température maximale ne dépasse pas 20°C.(Lounaci,2011)

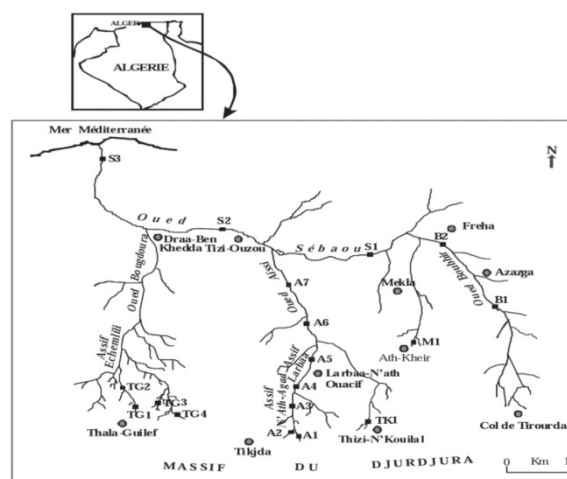


Figure 8 : Cours d'eau de la Kabylie du Djurdjura.(Lounaci,2011)

4.2.2.2. Richesse et abondance taxonomique :

Bassin versant de la Soummam : d'après l'étude faite par Zougaghe et Moali , 8 classes d'invertébrés benthiques ont été recensées dans tout le territoire du bassin versant de la Soummam. La classe des Insectes est la plus représentative avec 74,15 %, suivie par les Oligochètes avec 17,74 %, les Crustacés avec 5,17 % ; le reste (Arachnides, Achètes, Gastéropodes, Turbellariés et Gordiacés) n'est que faiblement représenté avec moins de 3 %.

Les huit classes recensées sont représentées par 24 ordres et 70 familles. La communauté de macro-invertébrés est dominée numériquement par les Diptères (51,7 % à l'échelle du bassin versant, dont un certain rapprochement entre le plateau de Bouira et la vallée de la Soummam avec respectivement 43,37 % et 47,69 %, et une nette abondance dans le plateau de Sétif avec 68,08 %), suivis par les Oligochètes (17,74 % au total, mais avec toujours un rapprochement entre la région de Bouira et celle de la vallée de la Soummam avec respectivement 28,66 % et 17,87 %, et un faible pourcentage pour la région de Sétif avec 4,27 %), et les Éphéméroptères en troisième position (17,27 % du total avec une répartition presque homogène dans les trois régions, 14,84 % pour la région de Bouira, 20,47 % pour la vallée de la Soummam et 15,24 % pour la région de Sétif).

En termes de richesse familiale, parmi les 70 familles recensées 71,43 % représentent des Insectes et 28,57 % des autres taxons. Parmi les 50 familles d'Insectes, 16 sont des Diptères (soit 32 %), 9 des Coléoptères (18 %), 7 des Éphéméroptères (14 %), 6 des Trichoptères (12 %), 5 des Odonates (10 %), 4 des Hétéroptères (8 %), 2 des Plécoptères (4 %) et une seule famille de Lépidoptères. En plus de ces 70 familles, nous avons aussi cinq ordres (Hydracariens, Isopodes, Ostracodes, Cladocères et Collembolés) dont les familles n'ont pas été identifiées.

À l'échelle du bassin versant, les Diptères Chironomidae dominant avec 57,06 % en été et 42,9 % en printemps, suivi par les Oligochètes Naididae avec 25,74 % en printemps et 3,56 % en été ; arrivent en troisième place les Éphéméroptères Baetidae avec 17,87 % au printemps et 9,33 % en été, il faut noter aussi que les Diptères Simuliidae sont signalés au printemps avec 9,4 % et 1,94 % en été. Les autres familles sont très faiblement représentées. (Zougaghe ,Moali,2009)

Tableau 12 : Abondances taxinomiques d'invertébrés benthiques du bassin versant de la Soummam (Zougaghe et Moali,2009)

Taxons	Plateau de Bouira			Plateau de Sétif			Vallée de la Soummam		
	Printemps	Eté	Total	Printemps	Eté	Total	Printemps	Eté	Total
Tricladida									
Planariidae					14	14			
Dugesiiidae					49	49			
Gordea									
Gordiidae		6	6	1	1	2		1	1
Oligochaeta									
Tubificidae	8		8	1	422	423	73	719	792
Naididae	6715	305	7020	180	258	438	4232	616	4848
Lumbricidae					1	1	1	2	3
Lumbriculidae							7		7
Hirudinea									
Glossiphoniidae	49		49	19	231	250	1		1
Hirudidae	12		12	1		1			
Erpoidiidae							1		1
Gasteropoda									
Planorbidae	6		6	3	50	53			
Ferrissidae				3		3		14	14
Physidae	16	46	62		29	29	14	977	991
Lymnaeidae	2		2				2		2
Ancylidae							403		403
Viviparidae							2		2
Crustacea									
Ostracodes	428	854	1282	14	221	235	903	402	1305
Cladocères		28	28				29		29
Triopsidae	5		5	11		11			
Cyclopidae	141	5	146	35	81	116	770	7	777
Calanidae	5		5						
Gammaridae		2	2				3		3
Isopodes	4		4						
Hydracarina	3		3	42	73	115	162	8	170
Ephemeroptera									
Baetidae	576	1993	2569	1884	640	2524	5267	458	5725
Caenidae	39	440	479	11	173	184	188	413	601
Heptageniidae	582		582	37	105	142	75	1	76
Leptophlebiidae	9		9	5		5	43		43
Ephemeridae							1		1
Siphonuridae				1		1			
Oligoneuriidae				12	211	223		25	25
Plecoptera									
Nemouridae							2		2
Capniidae				2		2	3		3
Odonata									
Gomphidae	6	6	12	6	23	29	6	12	18
Lestidae	1		1						
Aeshnidae	3		3	1		1			
Corduliidae				1		1	1	89	90
Libellulidae							1		1

Taxons	Plateau de Bouira			Plateau de Sétif			Vallée de la Soummam		
	Printemps	Eté	Total	Printemps	Eté	Total	Printemps	Eté	Total
Coleoptera									
Dytiscidae	28	73	101	20	4	24	37		37
Gyrinidae	3	6	9				6		6
Haliplidae	2	7	9				1	20	21
Dryopidae	23		23				1		1
Scirtidae	1		1				5		5
Hydraenidae	2		2						
Hydrophilidae	7	12	19	6	3	9		9	9
Hydrosaphidae							2		2
Elmidae		10	10				112	23	135
Heteroptera									
Veliidae				2	1	3			
Hydrometridae				1		1			
Nepidae		2	2				1		1
Corixidae		1265	1265					26	26
Diptera									
Chironomidae	3351	5425	8776	4697	7069	11766	6693	6399	13092
Simuliidae	1481	8	1489	1024	624	1648	1557	9	1566
Ceratopogonidae	32	109	141	47	51	98	95	120	215
Culicidae	1		1				13		13
Tabanidae	10	7	17	7	10	17	14	12	26
Ptychopteridae	2		2	20	1	21			
Psychodidae	2		2	25		25	11		11
Empididae	3	1	4	1	5	6	41		41
Tipulidae	11		11		4	4	11		11
Ephydriidae	2	128	130	1		1	1		1
Dixidae	2	55	57	3	90	93	14		14
Thaumaleidae	1		1		36	36			
Chaoboridae		5	5				5		5
Stratiomyidae							1		1
Limoniidae				17	1	18	50	31	81
Syrphidae				21		21	1		1
Trichoptera									
Polycentropodidae	3		3				9		9
Hydropsychidae	36	83	119	345	969	1314	199	47	246
Hydroptilidae	22	6	28	6	235	241	2	95	97
Rhyacophilidae							2	2	4
Sericostomatidae							1		1
Glossosomatidae				1	4	5			
Lepidoptera									
Pyralidae							1		1
Collembola							6		6
Total	13635	10887	24522	8514	11689	20203	21082	10537	31619

- **Kabylie Du Djurdjura :** Lounaci, a recenser 466 taxon d'invertébrés benthique lors de sont étude sur des cours d'eau de Kabylie, Sur les 466 taxons d'invertébrés benthiques, 399 (soit 85,62%) sont des insectes et 67 (14,37%) appartiennent aux autres classes ou embranchements 4 (Oligochètes, Mollusques,...).

Les groupes les mieux représentés sont les Diptères et les Coléoptères. Ils comptent respectivement 234 et 84 taxons, soit 50,21% et 18,02% de la faune totale ; viennent ensuite les Oligochètes (35 espèces, soit 7,51%), les Trichoptères (33 soit 7,08%), les Epheméroptères (22 soit 4,72%), les Hydracariens (20 soit 4,29%), les Plécoptères (14 soit 3,00%) L'étude de l'abondance, la richesse spécifique et la structure des communautés a été limitée à 3 ordres d'insectes aquatiques les mieux connus sur les plans taxonomiques et écologiques : Epheméroptères (22 espèces), Plécoptères (14 espèces) et Diptères Simuliidés (19 espèces) (Lounaci,2011)

Tableau 13: Nombre d'espèces, de genres et de familles par groupe zoologique

(Lounaci,2011)

Groupes zoologiques	Nb Familles	Nb genres	Nb espèces
Tricladida	2	2	2
Oligochaeta	6	20	35
Hirudinae	1	3	3
Mollusca	5	7	7
Hydracarina	9	11	20
Ephemeroptera	5	13	22
Plecoptera	6	11	14
Odonata	1	1	2
Heteroptera	5	6	10
Coleoptera	17	38	84
Trichoptera	11	20	33
Diptera	20	95	234
Total : 12	88	229	466

4.2.2.3. Remarque sur les données inventoriées:

La richesse faunistique des cours d'eau de Kabylie est relativement élevée comparée à celle observée dans les autres régions méditerranéennes. En portant cette comparaison à l'échelle du Maghreb, les réseaux hydrographiques étudiés possèdent une faune plus riche que celle observée dans le Haut Atlas (205 espèces) (Bouzidi, 1989), le Moyen-Atlas (230 espèces) (Dakki, 1987) et en Tunisie (148 espèces) (Boumaïza, 1994). (Lounaci, 2011)

La Kabylie, par son relief et sa topographie, offre une grande diversité de biotopes aquatiques. Les différences dans les caractéristiques physiques et environnementales des zones du réseau hydrographique reflètent relativement bien la distribution de la faune et l'isolement des différents groupes d'espèces. La richesse taxonomique stationnelle montre que : Les Diptères et les Coléoptères prédominent dans les deux régions étudiées, on constate alors un certain rapprochement entre ces cours d'eau. D'une manière globale, cette faune lotique est caractérisée dans la plupart des groupes d'invertébrés par une diversité plus faible que celle des cours d'eau de l'Europe. Ceci résulte d'une part, des causes paléogéographiques comme l'isolement de l'Afrique du Nord de l'Europe et des régions éthiopiennes et orientales et, d'autre part, de causes écologiques telles le régime thermique et les ressources trophiques des eaux (Lounaci, 2011, Haouchiche, 2011). Ce peuplement est de type paléarctique. Il s'apparente surtout à la faune de l'Europe méditerranéenne, avec une faible intrusion des formes éthiopiennes (*Oligoneuriopsis*, *Laccophilus*, *Bidessus*, *S. ruficorne*, ...) et orientales (*S. pseudequinum*). Il présente également des endémiques nombreux qui se rattachent à des lignées dont les éléments ont une répartition dans le bassin méditerranéen (Lounaci, 2011, Haouchiche, 2011)

4.2.3. Inventaire des Diatomées des écosystèmes aquatiques continentaux en Algérie :

Pour notre recherche bibliographique sur les algues (diatomées) en Algérie on s'est basé sur la recherche faite par Nehar Benameur (2016) qui nous a paru parfaite et en globe le tout c'est le document le plus récent sur les diatomées en Algérie et puisque la majeure partie de la documentation sur les diatomées en Algérie est très ancienne. Les algues aquatiques est l'élément de la flore le moins connu, faute d'ouvrages spécialisés et de recherches menées pour une mise à jour et une connaissance exhaustive des espèces composant ce groupe.

Les premières études sur les algues en Algérie date de 1799 avec le travail de Desfontaines (Nehar,2016),ensuite les premières recherche sur la flore diatomique en Algérie sont développées par Montagne (1846), Ehrenberg (1854) Les travaux de Baudrimont (1974) et des contributions remarquables sur l'écologie des anatomies en Algérie il a pu enregistrer 356 espèces. Variétés et formes durant ses recherches sur les diatomées des eaux continentales Ensuite, viennent les travaux de recherche portant sur les diatomées anciennes de Mansour (1991) Mansour et al. (1995, 1999 et 2004) et les diatomées actuelles d'Al-Asadi et al., (2006); Lange-Bertalot et al., Chaib et al (2011) Chaib et Tson-Rosebery (2012) Nehar et al, (2015) El Haouati et al., (2015)

Nous avons mis la liste des espèces identifiées par les différents auteurs dans le nord algérien depuis 1799 rassemblée par Nehar dans sa thèse de doctorat (2016), Cette liste est mise à jour en 2015 à l'appui de la nomenclature la plus récente par Nehar Benameur(2016) . Cette liste donc pourra aider les auteurs pour la comparaison des taxons dans les futurs travaux sur les diatomées du nord algérien

Une partie de Ces résultats de recherche bibliographique sont mentionnes dans le tableau n°15

D'après Nehar (2016) ,359 taxons de diatomées existe en Algérie . Ces taxons sont des diatomées non fossiles (actuelles et issues des milieux aquatiques continentaux).

Les résultats de l'étude bibliométrique en 2014 faites par Nehar , nous à permis de savoir que l'Algérie avec une production de seulement 06 publications est classée devant la Libye (02 publications) après la Tunisie (38 publications), l'Egypte (36 publications) et le Maroc (8 publications) (Nehar,2016)

Tableau 15 : liste des diatomées des eaux continental de nord Algérie

(Nehar,2016)

Genre	Espèce	Nom récemment accepte
<i>achnanthes</i>	<i>brevipes</i>	
	<i>Brevipes var.intermedia</i>	
	<i>delicatula</i>	<i>Planothidium delicatilum</i>
	<i>Exigua</i>	
	<i>exilis</i>	<i>Chantidium exilis</i>
	<i>gibberula</i>	<i>Achnantidium thermal</i>
	<i>lanceolata</i>	<i>Planothidium lanceolatum</i>
	<i>marginulata</i>	
	<i>microcephala</i>	<i>Anchnantidium minutissimum</i>
	<i>minutissima</i>	
	<i>Minutissima var.cryptocephala</i>	
	<i>Minutissima var.inconspicua</i>	
	<i>subsessilis</i>	<i>Anchnanthes brevipes var.intermedia</i>
<i>anchnanthidium</i>	<i>affine</i>	
	<i>eutrophilium</i>	
	<i>exiguum</i>	<i>Anchnanthes exigua</i>
	<i>latecephalum</i>	
	<i>pyrenaicum</i>	
	<i>Saprophilium</i>	

Conclusion :

Les milieux aquatiques continentaux sont des écosystèmes complexes, fragiles, d'une manière générale, la pollution de l'eau est devenue un problème d'actualité qui touche tous les pays. Ses conséquences sont traduites, d'une part, par la dégradation souvent irréversible de l'écosystème, d'autre part, par une raréfaction de cette ressource précieuse et vitale. De ce fait, la gestion des écosystèmes aquatiques doit être efficace et efficiente afin d'assurer un suivi rigoureux de la qualité de l'eau et de mettre en œuvre des actions favorisant la protection et la restauration de ces milieux.

L'utilisation de la méthode biologique et l'application du concept de la bio-indication qui est fondé sur la mesure d'écarts à la référence, il est essentiel d'avoir une connaissance approfondie du fonctionnement naturel des écosystèmes étudiés, exempts de toute perturbation d'origine anthropique ou soumis à des pressions de très faible intensité. De plus, pour être en mesure d'utiliser adéquatement les différents bio-indicateurs, il est important de comprendre et d'avoir une très bonne connaissance de la biologie, de l'écologie, de l'histoire évolutive et de la répartition spatiale des espèces utilisées. Ces derniers se définissent globalement comme des organismes permettant de caractériser l'état d'un écosystème et de mettre en évidence de façon précoce les perturbations de leur habitat grâce à des variables biochimiques, cytologiques, physiologiques, éthologiques ou écologiques. Leur typologie varie selon leur mécanisme d'action, leur niveau d'organisation biologique et le type de changements observables. Les sept catégories de bio-indicateurs qui peuvent être utilisés pour évaluer la qualité des écosystèmes aquatiques sont les macroinvertébrés benthiques, les poissons, les algues, le zooplancton, les macrophytes, les bactéries, et les oiseaux. Cependant, la valeur indicatrice de ces différentes catégories de bio-indicateurs dépend du contexte dans lequel ceux-ci sont utilisés.

Par ailleurs, comme il n'existe pas de bio-indicateur universel, il est important de choisir celui qui convient le mieux selon le contexte des différentes études. Des principaux facteurs doivent être considérés. D'abord, il faut tenir compte du type de milieu à l'étude. En effet, comme les divers milieux aquatiques diffèrent en termes de débit d'eau, de profondeur, de superficie et de niveau de salinité, certaines espèces se retrouvent naturellement dans un éventail de milieux très restreint. Le second facteur à considérer est le type de contaminant ou de problématique à l'étude (pollution par les hydrocarbures, acidité, salinité, surabondance d'éléments nutritifs, pollution par les métaux lourds, pollution organique, contamination microbienne ou anoxie). En effet, il est important de sélectionner des bio-indicateurs dont le mode de vie accroît leur exposition à la perturbation étudiée, et qui présentent une sensibilité ou, au contraire, une résistance notable face à la dite perturbation.

Utiliser les bio-indicateurs présente des avantages indéniables. Tout d'abord, ce sont des moyens de mesure faciles et moins chers que des moyens traditionnels. Ils représentent

également une information synoptique de l'état de l'environnement, ce qui en simplifie la compréhension. Les bio-indicateurs sont sans doute le meilleur moyen de détecter les synergies entre différents stress. Ensuite, ils donnent une information intégrée sur le long terme. Ils reflètent de plus le temps total d'exposition à un contaminant, ainsi que les épisodes transitoires d'exposition, contrairement aux mesures physico-chimiques classiques. Les bio-indicateurs ont également le potentiel de mettre en relation un stress environnemental et ses effets. Finalement, ils permettent de mettre en exergue les procédés écologiques en cours.

Les bio-indicateurs issus de la macrofaune benthique aquatique sont désormais largement utilisés et sont inclus dans plusieurs programmes nationaux et internationaux d'évaluation et de suivi de la qualité de l'environnement aquatique. Leur accessibilité et leur capacité à fournir de l'information fiable et de qualité à faibles coûts en font des outils de prédilection pour les programmes environnementaux à grande échelle. Leur faible coût d'utilisation les rendent également très intéressants pour les pays en voie de développement aux prises avec des problèmes de pollution marine et ne disposant pas de beaucoup de ressources pour instaurer et maintenir des programmes d'évaluation et de suivi.

Cependant, en Algérie, leur adoption comme méthode d'analyse est relativement récente. L'évolution de la bio-indication en routine reste une affaire de longue haleine à cause des difficultés scientifiques ou opérationnelles rencontrées et le manque de la documentation sur ces écosystèmes ; et il reste beaucoup à faire dans ce domaine. Son avenir est très prometteur au sein des programmes qui visent la surveillance de la santé des écosystèmes aquatiques et de la qualité de l'eau. Pour cela, il faut faire des efforts dans les années futures et se concentrer sur la construction d'une banque de données de référence et sur l'élaboration d'une méthode adaptée en Algérie.

En conclusion, il est important de souligner que le présent essai peut également servir d'outil des bases de données bibliographiques fiables, complètes et mises à jour, afin d'établir des modèles de référence fiables, et d'utiliser des outils efficaces tels que la méthode de la bio-indication. Nous espérons que les données scientifiques et des discussions qui s'y rapportent seront utiles pour orienter les futurs gestionnaires de l'eau dans notre région.

LISTE DES FIGURES :	PAGES
Figure1 :L'impact de l'anthropisation sur l'écosystème aquatique et ces conséquences.....	5
Figure2 : Cycle simplifié de propagation des polluants anthropiques dans les compartiments naturels. (Jean François Carion,2012).....	14
Figure 3 : Réseau Trophique Des Milieux Aquatique.....	25
Figure4 : Echantillonneur de type Surber selon la (norme AFNOR XP T90 - 388)...	30
Figure 5 : Les quartes Bassins Hydrographiques D'Algérie.....	71
Figure 6 : Les Principaux Bassin Versant En Algérie	74
Figure 7 : Carte du bassin versant de la Soummam(Zougaghe,2009).....	82
Figure 8 :Cours d'eau de la Kabylie du Djurdjura.(Lounaci,2011).....	83

LISTE DES TABLEAUX :	PAGES
Tableau 1 : origines et natures de différentes sources de pollution du milieu aquatique.....	8
Tableau 2 : Fiches descriptives de catégorie des Macroinvertébrés benthiques bio-indicateurs de la qualité des écosystèmes aquatiques.....	32
Tableau 3: Fiches descriptives de catégorie des Poisson bio-indicateurs de la qualité des écosystèmes aquatiques.....	37
Tableau 4 : Fiches descriptives de catégorie des Algues bio-indicateurs de la qualité des écosystèmes aquatiques.....	41
Tableau 5 : Fiches descriptives de catégorie des Zooplanctons bio-indicateurs de la qualité des écosystèmes aquatiques.....	46
Tableau 6 : Fiches descriptives de catégorie des Macrophytes bio-indicateurs de la qualité des écosystèmes aquatiques.....	51
Tableau 7: Fiches descriptives de catégorie des Bactéries bio-indicateurs de la qualité des écosystèmes aquatiques.....	55
Tableau 8 : Fiches descriptives de catégorie des Oiseaux bio-indicateurs de la qualité des écosystèmes aquatiques.....	60
Tableau 9 : Eaux De Surfaces Par Grands Bassin Hydrographiques En Algérie(Nehar,2016).....	72
Tableau 10 : Espèces zooplanctoniques recensées dans le lac Sidi M'hamed Benali en 2008 et nombre de stations où ces espèces ont été reconnues à chaque prélèvement.(Bouzidi et al ,2010).....	99

Tableau 11 : Nombre d'espèces et de familles par groupe zoologique (Lounaci,2014).....	80
Tableau 12 : Abondances taxinomiques d'invertébrés benthiques du bassin versant de la Soummam (Zougaghe et Moali,2009).....	85
Tableau 13 : Nombre d'espèces, de genres et de familles par groupe zoologique (Lounaci,2011).....	87
Tableau 14 :Répartition des Espèces dans les stations Kabylie Du Djurdjura. (Les chiffres indiquent l'abondance moyenne par 0,9 m2).(Lounaci ,2011)...	100
Tableau 15 liste des diatomées des eaux continental de nord Algérie (Nehar,2016).....	90

ANNEXES :

Tableau n°10 - Espèces zooplanctoniques recensées dans le lac Sidi M'hamed Benali en 2008 et nombre de stations où ces espèces ont été reconnues à chaque prélèvement.

(Bouzidi et al ,2010)

	Jr	Fr	M	A	M	Jt	At	S	D	Σ	Moy.	Mois
Cladocères												
<i>Ceriodaphnia dubia</i> (Richard, 1894)	6	4	6	0	0	0	0	0	0	16	1,78	3
<i>Ceriodaphnia reticulata</i> (Jurine, 1820)*	9	9	8	9	9	0	4	8	9	65	7,22	8
<i>Chydorus</i> sp. (Leach, 1916)	1	1	0	0	0	0	0	0	0	2	0,22	2
<i>Diaphanosoma brachyurum</i> (Lievén, 1848)*	0	0	0	0	8	7	4	1	4	24	2,67	5
<i>Moina micrura</i> (Kurtz, 1874)	0	0	0	0	2	0	0	0	0	2	0,22	1
Copépodes												
<i>Cyclops furcifer</i> (Claus, 1857)	0	0	4	0	0	0	0	0	0	4	0,44	1
<i>Cyclops strenuus strenuus</i> (Fischer, 1851)	1	3	2	0	0	0	2	1	1	10	1,11	6
<i>Diaptomus (Ch.) cyaneus</i> (Guernsey, 1909)*	0	2	0	5	5	6	0	0	7	25	2,78	5
<i>Diaptomus castaneti major</i> (Dussart, 1957)*	9	7	4	9	6	4	4	2	5	50	5,56	9
<i>Ectocyclops phaleratus</i> (Koch, 1838)	2	0	0	3	0	0	0	0	6	11	1,22	3
<i>Eucyclops liljeborgi</i> (Sars, 1914)	0	0	0	0	0	0	0	0	5	5	0,56	1
<i>Megacyclops viridis viridis</i> (Jurine, 1820)	4	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0,44	1
<i>Metacyclops minutus</i> (Claus, 1863)	0	0	2	3	4	3	2	0	0	14	1,56	5
<i>Métacyclops planus</i> (Guernsey, 1909)*	9	9	4	9	9	9	9	8	9	75	8,33	9
<i>Paracyclops affinis</i> (Sars, 1863)	7	6	4	6	6	7	2	9	6	53	5,89	9
<i>Paracyclops fimbriatus</i> (Fischer, 1853)*	0	0	0	3	0	2	0	0	0	5	0,56	2
<i>Paracyclops poppei</i> (Rehberg, 1880)*	1	5	2	0	6	7	3	3	5	32	3,56	8
<i>Tropocyclops prasinus</i> (Fischer, 1860)*	7	8	3	6	6	4	2	2	7	45	5,00	9
Rotifères												
<i>Asplanchnina girodi</i> (De Guerne, 1888)	4	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0,44	1
<i>Brachionus calyciflorus</i> (Pallas, 1766)*	8	4	1	0	3	0	0	0	1	17	1,89	5
<i>Brachionus quadridentatus</i> (Hermann, 1783)	0	4	0	0	0	0	0	0	0	4	0,44	1
<i>Brachionus</i> sp (Wesenberglund, 1899)	0	0	2	0	0	2	0	0	0	4	0,44	2
<i>Eosphora najas</i> (Ehrenberg, 1830)	0	0	0	0	0	2	0	0	0	2	0,22	1
<i>Epiphaneis senta</i> (Müller, 1773)	0	5	0	0	0	0	0	0	0	5	0,56	1
<i>Filinia</i> sp ₁ (Bory de St.Vincent, 1824)	9	2	0	1	0	0	1	0	0	13	1,44	4
<i>Filinia</i> sp ₂ (Bory de St.Vincent, 1824)	2	3	0	0	0	1	0	0	0	6	0,67	3
<i>Keratella cochlearis</i> (Goss, 1851)	9	9	8	6	8	8	0	0	5	53	5,89	7
<i>Keratella quadrata</i> (Müller, 1786)*	9	8	3	4	9	7	4	0	6	50	5,56	8
<i>Keratella valga</i> (Ehrenberg, 1834)	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2	0,22	1
<i>Lecane luna</i> (Müller, 1776)	0	2	0	2	0	0	2	0	0	6	0,67	3
<i>Lepadella</i> sp (Bory de St.Vincent, 1826)	0	0	0	0	1	5	3	0	0	9	1,00	3
<i>Mytilina brevispina</i> (Ehrenberg, 1832)	0	0	0	0	0	2	0	0	0	2	0,22	1
<i>Rotatoria rotaria</i> (Pallas, 1766)	0	0	4	0	0	3	0	0	1	8	0,89	3

Tableau n°14 : Répartition des Espèces dans les stations Kabylie Du Djurdjura. (Les chiffres indiquent l'abondance moyenne par 0,9 m2).(Lounaci ,2011)

Stations	code	TG1	TG2	TG3	TG4	TK1	M1	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	B1	B2	S1	S2	S3
Ephéméroptères																			
<i>Alainites gr. Muticus</i>	Amu	2				1													
<i>Acentrella sinaïca</i>	Asi										2		6		2	3			
<i>Cheleocloeon dimorphicum</i>	Cdi														10	3	35		
<i>Baetis maurus</i>	Bma					30													
<i>Baetis numidicus</i>	Bnu													2	2				
<i>Baetis pavidus</i>	Bpa										40	15	60	25	150	80	6	3	8
<i>Baetis punicus</i>	Bpu		200	250	200	200	8	80	120	40	200	200	35	6	200	200	10	3	10
<i>Baetis gr. Rhodani</i>	Brh	15	35	12	8		40	3	10	3	10	40	6	20	200	200	200	3	30
<i>Nigrobaetis rhithralis</i>	Nrh										2								
<i>Cloeon dipterum</i>	Cdi	2																	
<i>Cloeon gr. Simile</i>	Csi														15	60	55		
<i>Procloen stagnicola</i>	Pst													2	2	3	3		
<i>Rhithrogena sp.</i>	Rsp						35	15	30	40					6	8			
<i>Rhithrogena gr. germanica</i>	Rge											10	3						
<i>Ecdyonurus rothschildi</i>	Ero											3	2	1					
<i>Caenis luctuosa</i>	Clu	6		80						3	150	200	8	10	150	60	80	80	100
<i>Caenis pusilla</i>	Cpu									2	40	6	80	15					
<i>Caenis sp.</i>	Csp																		2
<i>Choroterpes (C.) atlas</i>	Cat											2		2	3	25			
<i>Choroterpes(E) lindrothi</i>	Cli														15		2		
<i>Habrophlebia gr. fusca</i>	Hfu	2		8					2	2	3								
<i>Potamanthus luteus</i>	Plu								2		8	5	6	5	12	2	3	2	2
Plécoptères																			
<i>Brachyptera auberti</i>	Bau		7			5	3												
<i>Nemoura lacustris</i>	Nla					3													
<i>Nemoura sp.</i>	Nsp				15														
<i>Amphinemura chiffensis</i>	Ach									3									
<i>Protonemura algerica</i>	Pal		3				3	60	70										
<i>Protonemura ruffoi</i>	Pru	80		11		50	2		2										
<i>Protonemura sp.</i>	Psp		2			80													
<i>Leuctra sp.</i>	Lsp		8					15	8		6								
<i>Tyrrhenoleuctra minuta</i>	Tmi												2						
<i>Capnioneura petitpierreae</i>	Cpe					3	2	8											
<i>Capnopsis schilleri</i>	Csh					3													
<i>Afroperlodes lecerfi</i>	Ale		1					2		90	3								
<i>Eoperla ochracea</i>	Eoc					2					20	15	60						
<i>Perla marginata</i>	Pma						8	5	10										
Diptères Simuliides																			
<i>Prosimulium (P.) albense</i>	Pal	6	60	20		30													
<i>Prosimulium (P.) rufipes</i>	Pru	7	70	12		80													
<i>Simulium (E.) gr. Aureum</i>	Sau		2								15	30	3						
<i>Simulium (E.) velutinum</i>	Sve										15	40	3	3	200	200	200	2	6
<i>Simulium (N.) angustitarse</i>	San										2	3							
<i>Simulium (N.) brevidens</i>	Sbr				6														
<i>Simulium (N.) cryophilum</i>	Scr		5	3	3	15		8	3	8									
<i>Simulium (N.) gr. Vernum</i>	Sve					5		2	2										
<i>Simulium (S.) Argenteostriatum</i>	Sar										6	6	6		2	2			

ANNEXES

<i>Simulium (S.) intermedium</i>	Sin			2	8				3	10	200	200	3	3	200	15	200	
<i>Simulium (S.) hispaniola</i>	Shi										2	2						
<i>Simulium (S.) monticola</i>	Smo						2		2									
<i>Simulium (S.) ornatum</i>	Sor	80	3	15	6		8			3				20		6	40	
<i>Simulium (S.) gr. Ornatum</i>	Sgo	2		2					2		2							
<i>Simulium (S.) variegatum</i>	Sva								3		2	3						
<i>Simulium (S.) gr. Variegatum</i>	Sgv						2							2				
<i>Simulium (T.) bezzii</i>	Sbe										3							
<i>Simulium (W.) pseudequinum</i>	Sps									15	200	20	3	200	200	40	200	200
<i>Simulium (W.) sergenti</i>	Sse													3			6	

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUE :

1. **ALLAL IKHLEF. A BOUCHRA.** (2008). Biosurveillance active de la pollution marine le long du littoral ouest algérien par l'évaluation de la stabilité de la membrane lysosomale chez la moule, *Mytilus galloprovincialis* (Lmck, 1819) (Doctoral dissertation, Université Ahmed Ben Bella d'Oran1 Es Senia).
2. **AMINE, KACHI ABDALLAH.** "L'eau Superficielle En Algerie De Sa Naissance A Sa Gestion."2016
3. **AISSAOUI, A.** (2013) Evaluation du niveau de contaminations des eaux de barrage «Hamam Grouz» de la région de Oued Athmania (Wilaya de Mila) par les activités agricoles (Doctoral dissertation, Université Mouloud Maameri de Tizi Ouzou).
4. **AIT KACI ,M ;et HAMDİ M S.**2008 « Contribution à l'étude des paramètres physico-chimiques et bactériologiques de l'embouchure de l'oued "Béni-Messous" (Diplôme Des Etudes Universitaires Appliquées (DEUA) En Sciences De La Mer, Institut National Des Sciences De La Mer Et De L'aménagement Du Littoral)
5. **BELANGER, D.** (2009).Utilisation de la faune macrobenthique comme bio-indicateur de la qualité de l'environnement marin côtier Mémoire de maîtrise, Université de Sherbrooke, Sherbrooke, Québec, 67p
6. **BELHAOUARI, B.**(2012). étude écotoxicologique chez un gastéropodes marins,*osilinus turbinatus* (Born ,1780) dans le littoral algérien occidental . (Doctoral dissertation, Université de Oran)
7. **BELHAFIANE, M Y.** (2016). Impact de la pollution marine par quelque métaux lourds (Cu, Zn, Cd) au niveau de la station de Marsek Ben M' hidi chez un Echinoderme (*Paracentrotus lividus*). (Diplôme de Master, Université De Tlemcen)
8. **BELMOKHTAR Mansouria.**(2012) *cystoseira amentacea v.stricta* :Indicateur De La Qualité Des Eaux Côtiers De L'ouest Algérien .(Diplôme de Magister ,Université d'Oran)
9. **BENGUEDDA, R. W.** (2012). Contribution à l'étude de la bioaccumulation métallique dans les sédiments et différents maillons de la chaîne trophique du littoral extrême ouest algérien (Doctoral dissertation).

10. **BENOIT-CHABOT, VERONIQUE.** (2014). Les facteurs de sélection des bio-indicateurs de la qualité des écosystèmes aquatiques: élaboration d'un outil d'aide à la décision. Diss. Université de Sherbrooke
11. **BENTATA- KEDDAR IKRAM,**(2015) Evaluation de la contamination par trois métaux traces(Cd,Ni,Zn) du rouget du vase *Mullus barbatus*(L,1758) pêcher au niveau de la cote occidentale algérienne .(Diplôme de Magister ,Université d'Oran)
12. **BERTRAND, K.** (2012). *Suivi temporel des effets d'un déversement de mazout sur la communauté benthique de la zone portuaire de Parry Sound* (Doctoral dissertation, Université du Québec, Institut national de la recherche scientifique).
13. **BOISSONNEAULT, Y.** (2006). Le suivi écologique des rivières au Québec : comparaison des bio-indicateurs basés sur les invertébrés et les diatomées benthiques (Mémoire de maîtrise,Université de Trois-Rivières, Trois-Rivières, Québec, 137 p.
14. **BOUZIDI, M., YOUCEF, A., ILHEM, A., LATRECHE, A., BENYAHIA, M., BOUGUENAYA, N. ET MELIANI, H.**(2010). Copépodes, Cladocères et Rotifères du lac Sidi M'hamed Benali (Algérie Nord-Occidentale).
15. **CAHIER TECHNIQUE D'ESPACES NATURELS REGINAUX** ,les oiseaux reflète de la qualité des zones humides . 2008
16. **CHAUVIN, C., PELTRE, M. C., & HAURY, J.** (2008). La bio-indication et les indices macrophytiques, outils d'évaluation et de diagnostic de la qualité des cours d'eau. Plantes aquatiques d'eau douce: biologie, écologie et gestion. CEMAGREF, Antony, 91-108.
17. **CHENAIFIA, D.** (2012). Effets de l'extraction des granulats sur la nappe Alluviale d'Oued El-Harrach (Mitidja amont)-Wilaya de Blida (Doctoral dissertation, Remini Boualem).
18. **DE JAEGERE ROMAIN** ,Les poissons de Wallonie ; L'ERABLE revue trimestrielle de la Société royale Cercles des Naturalistes de Belgique asbl
19. **DJABOURABI AICHA.** Impact de facteurs environnementaux et de microalgues toxiques sur certains organismes aquatiques (*bivalves*). Diss. Université Badji Mokhtar–Annaba, 2014.
20. **HAMAIDI, FELLA, et AL.** "Rotifères de l'Oued Chiffa (Algérie)." Bulletin de l'Institut Scientifique, Rabat 30 (2008): 19-27.
21. **HAMEL, JOSEE.** Utilisation des oiseaux aquatiques comme bio-indicateurs de l'intégrité des lacs de montagne marocains. Diss. Université de Sherbrooke, 2011.

22. **HAOUCHINE , SABRINA.** Recherches sur la faune et l'écologie des macroinvertébrés des cours d'eau de Kabylie (Doctorat, Université Mouloud Maameri de Tizi Ouzou)
23. **HEBERT, S., LEGARE, S., & du Québec, G.** (2000). Suivi de la qualité de l'eau des rivières et petits cours d'eau. Direction du suivi de l'état de l'environnement, Ministère de l'environnement.
24. **ITOPF ,**Guide d'information techniques ;effet de la pollution par les hydrocarbures sur l'environnement
25. **JEAN-NICOLAS BEISEL.** utilisation des macroinvertebres en bioindication des cours d'eau : des indices biotiques au developpement de methodes basees sur des corteges de parasites. JOURNEE SCIENTIFIQUE DE LA SOCIETE ZOOLOGIQUE DE France .
26. **JOUMARD, R., NICOLAS, J. P., & BOUGHEDAOU, M.** (2010, March). Analyse d'indicateurs pour les études d'impact sur l'environnement. In Colloque International" Eau, Déchets, et Développement Durable"(E3D) (p. 8p).
27. **KAYALTO, M.** (2009) Étude bibliographique sur les bio-indicateurs et biomarqueurs des effets des perturbations des écosystèmes par les pesticides. Thèse de doctorat, Institut agronomique et vétérinaire Hassan II, Maroc, 58p
28. **KECK, F.** (2016). Évaluation des liens entre phylogénie et traits écologiques chez les diatomées: pistes d'utilisation pour la bioindication des milieux aquatiques (Doctoral dissertation, Grenoble Alpes).
29. **KERCKHOVE, O.** (2012). Espèces ou association d'espèces de poissons en tant que bioindicateur de l'état de santé des récifs coralliens (Doctoral dissertation, Université de Sherbrooke).
30. **LACOURSIERE, S.** (2008). Réponse des communautés de diatomées et de l'indice IDEC à un transfert de substrat le long d'un gradient d'eutrophisation dans les rivières du Québec (Doctoral dissertation, Université du Québec à Trois-Rivières).
31. **LAURET, M., OHEIX, J., DEROLEZ, V., & LAUGIER, T.** (2011). Guide de reconnaissance et de suivi des macrophytes des lagunes du Languedoc-Roussillon.
32. **LE COZ, M.** (2017). Distribution et rôle trophique du zooplancton dans le bassin versant de l'Escaut (Doctoral dissertation, Université Toulouse 3 Paul Sabatier (UT3 Paul Sabatier)).
33. **LECLERE, J.** (2013). Modèles prédictifs des peuplements de juvéniles 0+ de poisson en grands cours d'eau: Outil pour la gestion et la restauration (Doctoral dissertation, Université Paul Sabatier, Toulouse).

34. **LECLERCQ, L.** (2009). Le phytoplancton des eaux douces. *In* Société royale Cercles des Naturalistes de Belgique asbl, L'Érable, revue trimestrielle.
35. **LES PEUPELEMENTS, EFFET DU CLIMAT SUR, DE, AQUATIQUES DANS LE BASSIN VERSANT**, et **SOUMMAM, L. A.** International Journal for Environnement & Global Climat Change..
36. **LOUNACI, A.** Congrès annuel de la SZF, Parc Phoenix, Nice, 13-16 septembre 2011.
37. **LOUNACI, A.** 4ème Congrès Franco-Maghrébin de Zoologie & 5èmes Journées Franco-Tunisiennes de Zoologie Korba –Tunisie du 13 au 17 novembre 2014
38. **MINISTERE DE L'ÉCOLOGIE, DU DEVELOPPEMENT DURABLE ET DE L'ÉNERGIE, DE LA REPUBLIQUE FRANÇAISE**, Les diatomées bioindicatrices de la qualité de nos rivières
39. **MOISAN, J.**, 2010. Guide d'identification des principaux macroinvertébrés benthiques d'eau douce du Québec, 2010 – Surveillance volontaire des cours d'eau peu profonds, Direction du suivi de l'état de l'environnement, ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs, ISBN
40. **MOISAN, J. et L. PELLETIER**, 2011. Protocole d'échantillonnage des macroinvertébrés benthiques d'eau douce du Québec, Cours d'eau peu profonds à substrat meuble 2011, Direction du suivi de l'état de l'environnement, ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs, ISBN : 978-2-550-61166-0 (PDF), 39 pages.
41. **MORIN, S.** (2006). Bio-indication des effets des pollutions métalliques sur les communautés de diatomées benthiques: approches in situ et expérimentales. Thèse de doctorat, Université de Bordeaux, Bordeaux, France, 302 p
42. **MOUNI, L.** (2004). Etude et caractérisation physico-chimique des rejets dans l'oued Soummam (Doctoral dissertation, Université Abderrahmane Mira de Béjaïa).
43. **MÜLLER, S., & HAURY, J.** (2008). Conservation des macrophytes et habitats aquatiques rares et protégés sur le territoire français. Ingénieries eau agriculture territoires, 125-134.
44. **NECIB, Asma, Houda REZIG, and Larbi BOUGHEDIRI.** "Estimation biologique de la pollution organique par les micro-algues de deux milieux aquatiques." 1er Séminaire National sur la Santé et Bio-Surveillance des Ecosystèmes Aquatiques. 2014.
45. **NECIB, ASMA, HOUDA REZIG, and LARBI BOUGHEDIRI.** "La bio-indication de la pollution aquatique par les microalgues (Cas de l'Oued" Bounamoussa" et du Lac des" Oiseaux)." Synthèse: Revue des Sciences et de la Technologie 27.1 (2013): 06-14.

46. **NEHAR BENAMEUR**,(2016) contribution a l'études des diatomées benthiques de quelques cours d'eau de l'Oranie :Taxonomie et écologie (Doctorat dissertation, université d'Oran-Algérie)
47. **OMAR ROUANE ;H.(2007)** Biosurveillance de la pollution marine au niveau de la côte occidentale algérienne par l'étude de la contamination du Merlu méditerranéen (*Merluccius merluccius* L., 1758) par les polluants organochlorés.(Diplôme de Magister, université d'Oran)
48. **RAYMOND, MARIE-PIERRE.** Évaluation des dommages écotoxicologiques à la suite d'un déversement d'hydrocarbures pétroliers en milieux marins côtiers: utilisation des bio-indicateurs. Diss. Université de Sherbrooke, 2008.
49. **REZOUGUI, A.** (2012). Contribution a l'analyse des tendances de peuplement de macroinvertébrés benthique dans un contexte de réchauffement climatique. cas de sous bassin de TAFNA.
50. **RUMEAU, A., and M. COSTE.** "Initiation à la systématique des diatomées d'eau douce pour l'utilisation pratique d'un indice diatomique générique." Bulletin Francais de la Peche et de la Pisciculture 309 (1988): 1-69.
51. **SABRI, S.** (2014). Mise en place d'un protocole d'échantillonnage des invertébrés aquatiques adapté aux zones aval des cours d'eau (Doctoral dissertation).
52. **SAHBAOUI, F.** (2015). Contribution à l'étude de la contamination par quelques métaux lourds chez le poisson *Sardina pilchardus* au niveau de littoral de Ghazaouet (Wilaya de Tlemcen (Doctoral dissertation).
53. **SAID, SLIMANE MOUSSA.** Surveillance des tendances polluantes au niveau du littoral occidental Algérien. Diss. Université Ahmed Ben Bella d'Oran1 Es Senia, 2008.
54. **SELLAM, NASSIMA, et AL.** "L'utilisation des Coleoptera, Ephemeroptera et Diptera comme bioindicateurs de la qualité des eaux de quelques Oueds en Algérie." Butlletí de la Institució Catalana d'Història Natural (2017): 47-56.
55. **TOUZIN, DAPHNE, and M. ROY.** "Utilisation des macroinvertébrés benthiques pour évaluer la dégradation de la qualité de l'eau des rivières au Québec." Faculté des sciences de l'agriculture et de l'alimentation Université Laval. Quebec, Canada. 40p (2008).
56. **WACILA, B.** (2012).Contribution à l'étude de la bioaccumulation métallique dans les sédiments etdifférents maillons de la chaîne trophique du littoral extrême ouest algérien.(Thèse de doctorat, Université de Tlemcen,)Tlemcen, Algérie

57. **ZOUGGAGHE, F., & MOALI, A.** (2012). Répartition Rive-chenal des macro-invertébrés benthiques dans des Rivières algériennes (Soummam et ses affluents).
58. **ZOUGGAGHE, F., MOUNI, L., & TAFER, M.** (2014). Qualité Biologique Du Réseau Hydrographique Du Bassin Versant De La Soummam (Nord De L'Algérie). *LARHYSS Journal ISSN 1112-3680*, (17).

Résumé :

Les écosystèmes aquatiques sont des milieux de plus en plus affectés par l'activité humaine. L'industrialisation et le développement des villes et des sociétés humaines sont les principales causes de l'augmentation de la pression écologique exercée sur ces milieux. Afin de parvenir à contrer la dégradation des milieux naturels aquatiques il est essentiel de développer des outils d'évaluation et de suivi de la qualité de l'environnement. La science de la bio-indication, Le suivi environnemental des écosystèmes aquatiques revêt une grande importance. Pour ce faire, il est crucial d'utiliser des indicateurs environnementaux fiables et adéquats. Le principal avantage des indicateurs biologiques réside dans le fait qu'ils permettent d'évaluer les impacts des différentes perturbations sur la faune et la flore aquatique, contrairement aux indicateurs physico-chimiques qui permettent seulement de faire le diagnostic de ces perturbations. en Algérie, son adoption comme méthode d'analyse est relativement récente a cause des difficultés scientifiques ou opérationnelles rencontrées et le manque de la documentation sur ces écosystèmes, Pour cela, il faut faire des efforts dans les années futures et se concentrer sur la construction d'une banque de données de référence et sur l'élaboration d'une méthode adaptée en Algérie.