

# Microbiologie d'environnement



*Présenté par Mme  
GAOUAR Sara Université  
Abou Bekr Belkaid  
Tlemcen Faculté SNV/STU  
Département de biologie  
01-03-2024*

# Table des matières

<b>I - Chapitre 2 : La microbiologie de l'eau</b>	<b>3</b>
1. Les micro-organismes des eaux douces et marines .....	3
2. Distribution des micro-organismes dans les milieux aquatiques .....	4
3. L'équilibre biologique des écosystèmes aquatiques .....	4
4. Pollution de l'eau .....	5
5. Impact de la pollution hydrique sur l'environnement .....	5
6. Contrôle microbiologique de la qualité de l'eau .....	6
7. La technologie de l'eau (assainissement de l'eau) .....	8
8. Exercice .....	10
9. Exercice .....	11
10. Exercice : .....	11
<b>Solutions des exercices</b>	<b>12</b>
<b>Abréviations</b>	<b>13</b>
<b>Bibliographie</b>	<b>14</b>

# I Chapitre 2 : La microbiologie de l'eau

L'eau représente un écosystème dynamique et très complexe considéré comme l'un des principaux réservoirs de la diversité biologique, il est estimé que les eaux contiennent des organismes vivants très diversifiés. Il a une capacité intrinsèque lui permettant à la fois de soutenir la vie terrestre et de fournir un habitat pour l'existence et l'évolution interdépendantes des organismes (org+)\* aquatiques.

1. Comprendre la diversité microbienne qui prévaut les milieux aquatiques
2. Étudier les interactions les communautés microbiennes avec les milieux naturels qu'ils habitent.
3. Explorer leurs rôles écologiques, notamment en biodégradation et dépollution.
4. Examiner l'impact des micro organismes aquatiques sur la santé humaine.
5. Évaluer des nouvelles technologies optimisées pour le traitement de l'eau.

## 1. Les micro-organismes des eaux douces et marines

**Les eaux marines** (océans) et **les eaux douces** (lacs, étangs, rivières, etc) sont des habitats importants pour plusieurs et différents micro-organismes ((algues, bactéries, champignons et protozoaires), ces habitats renferment les matières organiques en solution et les minéraux dissous permettent leur développement de tout germes (2)\*.

Dans cet écosystème ; La flore bactérienne est et très diversifiée : coques à Gram positif (microcoques), bacilles à Gram négatif (Pseudomonas, Flavobacterium, Acromonas, Alcaligenes et Acinetobacter), Il y a aussi les bactéries autotrophes (les cyanobactéries), et également certaines qui sont pathogènes et qui proviennent de l'intestin de l'homme et des animaux (entérobactéries, entérocoques, Clostridium). Pour les algues, on trouve dans les zones marines tempérées les diatomées et les dinoflagellés, alors que dans les eaux douces, on retrouve uniquement des diatomées. Concernant les protozoaires, ils ne constituent pas une partie importante du plancton, alors qu'en eau douce, la population est dominée par les ciliés (Colpidium, Euplotes). Les champignons, ne sont pas des organismes planctoniques importants, cependant, en eau douce leurs spores sont dispersées dans l'eau mais n'y croissent pas. Les seules formes libres sont les levures, les plus dominantes Candida parasilopsis, Cryptococcus, Rhodospordium et Leucosporidium (3)\*.

## 2. Distribution des micro-organismes dans les milieux aquatiques

La présence des  $\mu\text{og}^+$  et leur densité microbienne est largement influencés par les facteurs abiotiques tel que : la présence d'éléments minéraux nécessaires pour le développement des espèces chimolithotrophes et photolithotrophes, l'abondance de la matière organique nécessaire à la croissance des chimioorganotrophes ainsi la température, luminosité, oxygène, pH.

Les plus grandes populations microbiennes se trouvent à l'interface air/ eau et à l'interface sol/ eau.

**1- L'interface air/ eau :** abrite principalement les  $\mu\text{og}^+$  aérobies dont le plancton formé par les bactéries, les cyanobactéries, les protozoaires et les animaux de petite taille. Les algues et les végétaux forment le phytoplancton.

Les org<sup>+</sup> photosynthétiques marins assurent de 80 à 90% de toutes les activités photosynthétiques. Ce sont donc les plus importants producteurs d'oxygène de notre planète. Les algues sont parfois tellement abondantes qu'elles peuvent donner à l'eau une teinte jaune verdâtre, brune ou rouge.

Cette zone abrite aussi le zooplancton constitué de ciliés, flagellés, foraminifères et radiolaires qui sont des organotrophes et se nourrissent de phytoplancton, de bactéries et de matière organique.

**2 L'interface eau/ sol :** abrite les  $\mu\text{g}^+$  anaérobies facultatifs (benthos), est une zone riche en matière organique et des organismes Végétaux et animaux morts. Les  $\mu\text{og}^+$  benthiques sont des décomposeurs de la matière organique en matière minérale disponibles pour les producteurs.

## 3. L'équilibre biologique des écosystèmes aquatiques

Les  $\mu\text{g}^+$  sont en équilibre dynamique et en interaction avec eux même et avec les éléments abiotiques de leur milieu (la température, luminosité, oxygène, pH).

Que ce soit dans les eaux douces ou marines, les  $\mu\text{og}^+$  assurent des activités fondamentales. Par leur rôle de producteurs, les espèces photosynthétiques occupent une position stratégique dans les chaînes alimentaires : d'une part, elles produisent des matières organiques à partir de l'eau, du gaz carbonique et des éléments minéraux dissous ; d'autre part elles constituent une importante source de nourriture pour les organismes organotrophes de l'écosystème. Par leur rôle de décomposeurs, les  $\mu\text{og}^+$  participent à des activités géochimiques importantes, notamment en remettant en circulation les éléments minéraux contenus dans les matières organiques. Enfin les  $\mu\text{og}^+$  sont également à l'origine du pouvoir auto-épurateur de l'eau (**Biodégradation**).

Le milieu aquatique comprend des cours d'eau douce (rivières, lacs et ruisseaux) fournissant l'habitat au poisson, aux communautés benthiques et à d'autres espèces aquatiques. Il est établi comme une composante valorisée de l'environnement vu son importance dans le soutien des org<sup>+</sup> aquatiques d'eau douce, que ressource halieutique, et source alimentaire pour d'autres org<sup>+</sup> (oiseaux ou mammifères), et parce qu'il fournit des possibilités récréatives, et vu l'importance de tous ces aspects pour le public, les intervenants et les communautés autochtones.

## 4. Pollution de l'eau

**La pollution de l'eau** se définit par toute modification physique ou chimique sur sa qualité, qui donne un effet nocif sur les organismes vivants ou qui rend l'eau inadéquate aux usages souhaités. On dit que l'eau est polluée, lorsque sa composition ou son état est directement ou indirectement dégradée.

Les principales sources de pollution, la pollution des eaux souterraines provient essentiellement des activités domestiques urbaines et industrielles, agricole, ainsi que des précipitations :

**1- Pollution domestique et urbaine** : ce sont les eaux qui proviennent généralement des habitations (eaux ménagères et eaux vannes) qui sont présentées comme un mélange de matières non dissoutes dans une solution aqueuse de matières organiques et minérales, la pollution domestique se caractérise par des germes fécaux, de fortes teneurs en matières organiques, des sels minéraux et des détergents.

**2- Pollution chimique d'origine agricole** : elle constitue une cause majeure de pollution des eaux souterraines, et importante pour les eaux de surface, causée essentiellement par l'utilisation irrationnelle des engrais chimiques et des pesticides. La pollution agricole se caractérise par la présence de fortes teneurs en sels minéraux (azote, phosphore potassium) provenant des engrais, des élevages et de produits chimiques (pesticides, herbicides). L'enrichissement de l'eau en éléments nutritifs "eutrophisation" notamment par les engrais azotés et phosphatés conduit à la prolifération d'algues et de végétaux et à la dégradation des caractéristiques de l'eau (acidité, goût, odeur).

**3- Pollution industrielle** : autre source de pollution provenant des usines, rejetant des matières organiques et graisses hydrocarbure (raffineries), des matières radioactives (centrales nucléaires, traitement des déchets radioactifs) et des métaux (métallurgie).

**4- Pollution par précipitation** (la formation des pluies acides) : dans l'atmosphère, une série de réactions chimiques se déroulent dont, les atomes d'oxygène libre réagissent avec l'eau de l'atmosphère et produisent des radicaux hydroxyles (OH) intervenant dans la formation de l'acide sulfurique et l'acide nitrique.

**5- Pollution microbiologique** : la pollution microbiologique est la présence en quantité excessive de germes, bactéries et virus, parmi lesquels certains sont pathogènes pour l'homme et les animaux. Il est fréquent de rencontrer dans les eaux douces des  $\mu\text{g}^+$  qui vivent naturellement dans l'intestin des animaux et de l'homme, c'est le cas des streptocoques fécaux et de nombreuses entérobactéries comme *Proteus vulgaris*, *E. coli*, *Enterobacter aerogenes*...

### Remarque

---

**L'eau**, ressource naturelle indispensable à la vie, est aussi devenue, de manière directe ou indirecte la première cause de mortalité et de maladie au monde. Les maladies d'origine hydrique sont des infections plus rarement des épidémies, qui sont dues à un agent infectieux, bactérie, virus, mycète ou protozoaire. C'est par l'eau que se transmettent **la poliomyélite** (poliovirus), **la typhoïde** (*Salmonella typhi*), **le choléra** (*Vibrio cholerae*), **la dysenterie amibienne** (*Entamoeba histolytica*) (4)\*.

## 5. Impact de la pollution hydrique sur l'environnement

**L'eau**, symbole de **pureté et de vie**, est actuellement signe d'une civilisation qui s'intoxique, la pollution de l'eau est actuellement placée en tête des problèmes de l'environnement, car l'eau est une interface entre l'air et le sol, et elle

subit donc la dégradation de ces deux milieux. L'eau est exposée dans la nature à des pollutions de toute sorte, et les phénomènes de pollution de l'eau peuvent être observés à différents niveaux, dans les nappes ou dans les sources d'eau par suite d'infiltration d'eau usée particulièrement dans les sols perméables et au cours des averses. Dans les eaux de surface, les fleuves, les rivières, et les oueds qui sont souillées par le déversement d'eau usée non drainée. Les eaux du littoral qui font l'objet d'une pollution permanente par suite des déversements systématiques des bateaux et les rejets industriels (5).\*

## 6. Contrôle microbiologique de la qualité de l'eau

La majorité des micro-organismes pathogènes proviennent de déjections humaines ou animales, comme il est techniquement impossible de faire l'analyse de tous les pathogènes, pour analyser la qualité microbiologique de l'eau on cherche des « micro-organismes indicateurs » de la contamination fécale, généralement inoffensifs, mais indiquant la présence de pathogènes issus des matières fécales. Deux indicateurs sont appropriés : E.coli et entérocoques intestinaux bien corrélés aux maladies gastro-intestinales.

Les coliformes comprennent traditionnellement un petit nombre d'espèces appartenant à la famille des Enterobacteriaceae : Escherichia, Citrobacter, Enterobacter, Klebsiella, Yersinia, Serratia. Ce sont des bacilles, Gram-, oxydase -, aéro-anaérobie facultatifs, fermentent le lactose avec production d'acide et de gaz et sont capables de se multiplier en présence de sels biliaires à 37°C (6).\*

Le terme de « coliformes fécaux » sont des coliformes qui présentent les mêmes propriétés des coliformes après incubation à la température de 44°C/24h. E.coli appartient aux coliformes thermotolérants mais qui présente la particularité de produire l'indole à partir du tryptophane à 44 °C.

Deux techniques de recherche sont utilisées pour l'analyse microbiologique des eaux: la technique en milieu liquide et la technique en milieu solide

**1-Techniques dénombrement en milieu liquide par détermination du Nombre le Plus Probable (NPP)\*** : Des dilutions successives de l'eau à analyser sontensemencées à raison de 3 à 5 tubes de milieu de culture liquide. Après incubation, on dénombre dans chaque série le nombre de tube positif. La croissance se traduit par l'apparition d'un trouble du milieu et, éventuellement, une modification visible (virage d'un indicateur de pH coloré, production de gaz, trouble...). Le NPP\* des  $\mu\text{og}^+$  présents est estimés, à partir de réponses positives observées pour une ou plusieurs dilutions successives de la suspension bactérienne originelle. La table de Mac Grady donne le nombre le plus probable sur la dilution considérée.

**2-Méthode par filtration** : L'échantillon d'eau à analyser est filtré à travers une membrane (0,45 $\mu\text{m}$ ) qui retient les micro-organismes recherchés. La membrane est ensuite placée sur une gélose. Durant l'incubation, des colonies se forment à la surface de la membrane. Pour le dénombrement, seule les boites contenant entre 30 et 300 colonies sont choisies. Cette technique permet de travailler sur des volumes importants d'échantillon et donc de concentrer les bactéries présentes en petit nombre sur un support de petite surface. Cette méthode permet une bonne différenciation des colonies, mais, elle n'est pas applicable aux eaux polluées (risque de colmatage). Le volume d'eau filtrée varie en fonction de la qualité de l'eau, pour les eaux de robinet le volume est généralement de 100 ml alors pour les eaux minérales naturelles, le volume filtré est de 250 ml.



Recherche et dénombrement des micro-organismes par la technique de la filtration sur membrane

**Principaux examens révélant une pollution fécale de l'eau**

**a- Les streptocoques fécaux** font partie du groupe streptocoque du groupe D et sont appelés aussi entérocoques. Ce sont des bactéries Gram positif, possédant l'antigène de groupe D, capables d'hydrolyser l'esculine en 2h à 44 °C après repiquage sur milieu BEA\* (Bile-Esculine-Azide). Ils témoignent d'une contamination d'origine fécale ancienne

**b- Les bactéries sulfite-réductrices** et de leurs spores, bactéries à Gram positif, anaérobies sporogènes (forme de résistance), capables de réduire les sulfites en sulfure, l'espèce la plus importante est Clostridium perfringens.

**c- Recherche des germes pathogènes :**

\* **Recherche des salmonella**, ce sont des bactéries Gram négatif, elles se retrouvent fréquemment dans les milieux aquatiques pollués.

\* **Recherche des staphylocoques** coques Gram positif, Seront considérées comme staphylocoques pathogènes si coagulase positive.

\* **Recherche des Vibrio cholerae** (cas d'épidémie), ce sont des bacilles à gram négatifs, oxydase et catalase (+), aérobie anaérobies facultatifs, mobiles.

\* **Recherche des Pseudomonas aeruginosa**, bacille à gram négatif, non sporulé, aérobie strict, très mobile grâce à un cil polaire.

Le contrôle microbiologique d'une eau consiste à rechercher les germes pathogènes qu'elle pourrait contenir, les germes recherchés, les méthodes, les milieux, les températures et les durées d'incubation sont résumés dans le tableau suivant.

Paramètre bactériologique	Méthode de dosage	Milieu de culture utilisé	Température d'incubation (°C)	Norme marocaine ISO
Flora mésophile aérobie totale (FMAT)	En profondeur	Gélose nutritive Plate Count Agar (PCA)	30	NM ISO 6222 2007
Coliformes totaux (CT)	Filtration sur membranes Millipore	Gélose au Tergitol 7 et au TTC	30	NM ISO9308-1 2007
Coliformes fécaux (CF)	Filtration sur membranes Millipore	Gélose au Tergitol 7 et au TTC	44	NM ISO9308-1 2007
Escherichia coli (EC)	Filtration sur membranes Millipore	Gélose Tryptone-Bile-Glucuronate	44	NM ISO9308-1 2007
Streptocoques fécaux (SF)	Filtration sur membranes Millipore	Gélose de Slanetz	37	NM ISO 7899-2 2007
Staphylocoques	Filtration sur membranes Millipore	Gélose de Chapman	37	NF T 90-412 -2016
Anaérobies sulfite-réducteurs	Filtration sur membranes Millipore	Gélose Tryptone-Sulfite-Cyclosérine	46	NM ISO 6461-2 2007

Analyse microbiologique de la qualité de l'eau

## 7. La technologie de l'eau (assainissement de l'eau)

L'assainissement de l'eau repose sur deux grands types de procédés :

- Les traitements qui permettent de distribuer l'eau potable, après l'avoir débarrassé des matières toxiques et des  $\mu\text{org}+$  pathogènes.
- Les traitements qui épurent les eaux résiduaires et qui éliminent à divers degrés la matière organique et les  $\mu\text{org}+$  de manière à retourner dans la nature une eau de qualité convenable pour l'environnement naturel.

### 1- Traitement de l'eau brute

Il a pour but d'éliminer les microorganismes entéropathogènes et inoffensifs et les substances qui peuvent affecter les caractéristiques organoleptiques de l'eau ou causer à long terme l'obstruction des systèmes d'adduction de l'eau (exemple les algues microscopiques peuvent troubler l'eau et occasionner un goût et une odeur désagréable. Les bactéries sulfureuses notamment productrices d'hydrogène sulfureux, contribuent à acidifier l'eau et la rendre malodorante).

Le traitement de l'eau brute s'effectue toujours en plusieurs étapes :

**a- Le microtamisage** : L'eau brute passe à travers un tamis dont les mailles ont un diamètre  $< 100 \mu\text{m}$ , ce qui permet de retenir le plancton, la matière organique et les substances minérales volumineuses.

**b- Coagulation et floculation** : Ces deux procédés servent à débarrasser l'eau des particules colloïdales (diamètre  $< 1 \mu\text{m}$ ), et qui peuvent rester par conséquent très longtemps en suspension dans l'eau. La coagulation permet de faciliter l'agglomération des particules en suspension en les déstabilisant. Elle est réalisée à l'aide de produits chimiques qui se dispersent rapidement, le sulfate d'alumine ou le chlorure ferrique sont les coagulants les plus utilisés. La floculation correspond à la phase au cours de laquelle les particules s'agglutinent et forment le floc, ce précipité devra être éliminé lors de la décantation et de la filtration.

**c- Décantation** : est la méthode de séparation la plus fréquente des MES, La décantation permet aux floccs de s'accumuler pour former de la boue qui devra être régulièrement extraite. L'eau sera ensuite acheminée vers les filtres qui enlèveront les plus petites particules qui n'auront pas sédimenté ou décanté.

**d- Filtration** : La filtration consiste à faire passer l'eau à travers un matériau poreux afin d'éliminer les matières en suspension restantes. Elle est réalisée sur des matériaux classiques (sables) ou sur des membranes. La plus répandue est la filtration sur lit de sable (lit filtrant) : une couche de sable retient les particules et laisse passer l'eau filtrée.

**e- Désinfection** : est l'étape terminale du traitement de l'eau ; elle est essentielle pour la prévention des épidémies d'origine hydrique. Elle a pour objectif d'assurer la destruction des  $\mu\text{org}+$  pathogènes de l'eau. Il existe plusieurs désinfectants : chlore, ozone, dioxyde de chlore, rayonnement UV,...

**Le chlore** est le plus utilisé pour sa grande disponibilité, son faible coût, sa bonne solubilité dans l'eau et de sa toxicité sélective à l'égard des  $\mu\text{org}+$ . Un des inconvénients du chlore est son pouvoir de réaction avec la matière organique de l'eau formant des produits toxiques et cancérigènes et des chlorophénols (odeurs désagréables). Le chlore n'a pas de pouvoir viricide, on peut utiliser le dioxyde de chlore et l'ozone contre les virus. La concentration de chlore est de  $1 \text{ mg/l}$ .

### 2- Épuration des eaux usées



Une station d'épuration permet de traiter les eaux usées qu'elles soient d'origines industrielles ou qu'elles proviennent des activités quotidiennes de l'homme. Le but est de collecter les eaux usées, puis de les épurer par traitement, avant de pouvoir les rejeter dans le milieu naturel sans risquer de polluer notre environnement.

### **Caractéristiques des eaux usées**

**a- Matières en suspension\* (MES\*)** : c'est la quantité de pollution organique et minérale non dissoute dans l'eau. Les MES\* sont responsable d'ensablement et de baisse de pénétration de la lumière dans l'eau, ce qui entraîne une diminution l'activité photosynthétique et une chute de la productivité du phytoplancton. L'eau polluée contient de 100 à 300 mg/l (7)\*.

**b- La demande biochimique en oxygène (DBO\*)** : la quantité d'oxygène nécessaire aux  $\mu\text{og}^+$  vivants pour assurer l'oxydation et la stabilisation des matières organiques présentes dans l'eau usée. C'est un paramètre qui permet d'évaluer la fraction de la pollution organique biodégradable. En effet les micro-organismes aérobies utilisent de grandes quantités d'oxygène pour transformer les composés organiques en matière minérale. Cette réduction est parfois telle que des espèces de poissons ne peuvent survivre par suite de manque d'oxygène disponible, cas des salmonidés, truites et saumons. La DBO5 C'est la quantité d'oxygène à fournir à une culture microbienne pour qu'elle décompose les polluants organiques en cinq jours, à l'aide d'un oxygéno-mètre (8)\*.

**Les étapes du traitement d'épuration des eaux usées** : englobe 3 grandes étapes :

#### **Traitement primaire : Le prétraitement**

\*Le dégrillage a pour rôle de faire passer l'eau à travers des grilles qui retiennent les corps flottants et gros déchets (chiffons, morceaux de bois, plastiques..)

\*Le dessablage est un prétraitement physique qui consiste à retenir les sables entraînés avec l'écoulement de l'eau. Le dessablage concerne les particules de granulométrie supérieure à 200  $\mu\text{m}$ .

\* Le déshuilage, les graisses remontent grâce à une injection d'air et sont collectées à la surface.

Ce traitement s'achève par une décantation, on retient une bonne partie de boue.

#### **Traitement secondaire (biologique)**

Consiste à mettre la matière organique contenue dans les eaux usées au contact d'une masse bactérienne hétérotrophes (Achromobacter, Pseudomonas, Bacillus, Flavobacterium, E. coli) en présence d'oxygène. Les principaux procédés biologiques sont :

**a- La méthode des boues activées** : il comprend un bassin d'aération (Les microorganismes y flottent librement) aéré (agitation et alimentation en oxygène par barbotage), il contient les boues activées et c'est l'endroit où les polluants sont dégradés, les B+ utilisées sont : Pseudomonas, Micrococcus, Flavobacterium. Un clarificateur vient ensuite servant à séparer les boues de l'eau épurée.

**b- Méthode des lits bactériens** : les bactéries épuratrices sont fixées sur un support constitué de roche ou plastique poreux inerte (garnissage). Ce dernier est arrosé en continu avec l'eau à traiter introduite par le haut du lit à l'aide d'un bras d'arrosage rotatif et l'oxygénation est apportée par ventilation naturelle de bas en haut. Cette méthode présente deux avantages, elle permet d'augmenter la concentration de  $\mu\text{org}^+$  par unité de volume. Elle réduit la production de boue car elles sont retenues par les lits.

#### **Traitement tertiaire**

Il s'agit de procédés utilisés sur un effluent épuré afin d'améliorer la qualité du rejet. Ce traitement englobe : l'élimination du phosphore, suivi par un traitement physico-chimique qui permet de réduire le nombre de bactéries et des germes pathogènes présents dans l'eau traitée par rayonnement UV ou par le chlore, une désionisation est assurée pour une neutralisation des métaux en solution.



Les étapes d'épuration des eaux usées

Pour plus de détails sur le traitement d'épuration des eaux usées [cliquer sur le lien suivant](#)

**Remarque**

**L'auto épuration des eaux naturelles** est le processus biologique par lequel l'eau présente dans la nature se nettoie elle-même lorsque la quantité de matières polluantes qui y est rejetée n'est pas trop importante. Il se déroule en plusieurs étapes : L'apport de matière organique entraîne une multiplication des bactéries, qui transforment la matière organique en sels minéraux et en gaz carbonique ce qui favorise la croissance des plantes, et des algues qui par photosynthèse vont produire de l'oxygène. Cet oxygène dissout va permettre une augmentation de l'activité bactérienne, celles-ci éliminent les restes de pollution et l'eau retrouve alors ses qualités écologiques naturelles.

**8. Exercice**

[solution n°1 p.12]

Fabacées

interaction

rhizobium

## 9. Exercice

[solution n°2 p.12]

eau

usines

épuration

étapes

## 10. Exercice :

définir les termes suivants :

DBO

Parasitisme

La rhizosphère

Autoépuration

La mycorhize

\* \*

\*

L'écologie marine a pour finalité la connaissance de la structure et du fonctionnement des écosystèmes marins, elle a la charge de la gestion et de la production du milieu marin. La productivité marine doit tenir compte l'impact des pollutions chimiques et microbiennes. Une politique de protection, donc d'assainissement est aujourd'hui justifiée au même titre que celle de la préservation des ressources vivantes.

# Solutions des exercices

> **Solution n°1**

Exercice p. 10

rhizobium

Fabacées

interaction

> **Solution n°2**

Exercice p. 11

épuration

eau

étapes

usines

# Abréviations

**μog+** : micro-organismes

**BEA** : Bile-Esculine-Azide

**DBO** : La demande biochimique en oxygène

**MES** : Matières en suspension

**NPP** : Nombre le Plus Probable (NPP)

**org+** : organismes

# Bibliographie

CHEVASSUS-AU-LOUIS, Bernard, SALLES, Jean-Michel, PUJOL, Jean-Luc, et al. Approche économique de la biodiversité et des services liés aux écosystèmes: contribution à la décision publique. Ministère de l'Alimentation, de l'Agriculture et de la Pêche, 2009.

MEKHALFA, Karima, SAAID, Hadjer, et CHAHREDDINE, S. Fertilisation azotée et production d'inoculum de Rhizobium. Thèse de doctorat. Université de Jijel.2008.

NADIA, Hazeme et MADOUJ NOR ELHOUDA, Mebrouk Chayma. Contribution à l'étude phytoplanctonique de la retenue collinaire Oued El Nakhla-Nechmaya (Guelma). 2022.

AMGHAR, Wassila et FODIL, Tassadit. Résurgence des maladies à transmission hydrique en Algérie: entre causes et effets. Thèse de doctorat. Université Tizi Ouzou. 2017.

ZEMMALI, Ameer. La protection de l'eau en période de conflit armé. International Review of the Red Cross, vol. 77, no 815, p. 601-615. 1995.

SALIFOU, C. F. A., BOKO, K. C., AHOUNOU, G. S., et al. Diversité de la microflore initiale de la viande et sécurité sanitaire des consommateurs. International Journal of Biological and Chemical Sciences, vol. 7, no 3, p. 1351-1369. 2013.

FARADJI, Abla. Dégradation de la pollution azotée des eaux usées domestique de la ville de N'GOUSSA (Algérie) par phytoépurations cas de station de N'GOUSSA. Thèse de doctorat. Université Ouargla.2022.

KAPEPULA, Lumami, MATEO, Lutili, SHEKANI, Amundala, et al. Evaluation de la charge polluante des rivières des eaux usées ménagères et pluviales dans la ville de Bukavu, République Démocratique du Congo. Afrique Science: Revue Internationale des Sciences et Technologie, vol. 11, no 2, p. 195-204. 2015.