

Microbiologie de l'environnement

Généralité

1. La microbiologie environnementale

Se rapporte essentiellement aux processus microbiens globaux qui se déroulent dans le sol, l'eau ou les aliments ainsi que leurs impacts sur les plantes, et les effets à plus large échelle de la présence et des activités microbiennes.

2. L'écologie microbienne

Utilisée aujourd'hui pour décrire la présence des micro-organismes et leurs contributions au travers de leurs activités aux endroits où on les trouve « eau, sol, air et les associations avec les plantes » ;

L'écologie microbienne, nommée au paravent par la « Microbiologie environnementale », a été définie par Thomas Brock comme l'étude du comportement et des activités des micro-organismes dans leurs environnements naturels « autrement dit micro-environnement » où d'autres micro et macro-organismes y vivent.

Ce pendant, le fonctionnement des micro-organismes affectent les écosystèmes à plus grande échelle, allant jusqu'à exercer des effets planétaires.

3. Micro-organismes et écosystème

Les micro-organismes contribuent au fonctionnement des écosystèmes par leurs interactions entre eux et avec d'autres organismes et en influençant le recyclage des nutriments dans leur micro-environnement.

L'écosystème peut être défini comme une entité géographique majeure fonctionnelle, composée de plantes, d'animaux, de micro-organismes et de substrats inorganiques de sol, roche ou eau, ayant accès direct ou indirect à l'atmosphère et à la lumière comme source d'énergie.

Il se caractérise par l'interaction de ses différents constituants et existe à l'intérieur d'un climat déterminé. L'être humain fait partie intégrante de l'écosystème.

Les ressources naturelles, eau, sol, air, sont des composants inorganiques et organiques de l'écosystème, appelé également les substances abiotiques : le biotope.

De plus, les composant complémentaire de l'écosystème, appelés biocénose sont les producteurs « les organismes autotrophiques (végétaux) », les consommateurs « sont des hétérotrophes (animaux et l'homme (omnivore)) », ainsi que les micro-organismes hétérotrophiques.

Ces derniers peuvent jouer deux rôles complémentaires : la synthèse de nouvelle matière organique, à partir de CO₂ et d'autres composés inorganiques au cours de la production primaire et la décomposition de la matière organique accumulée.

Dans l'écosystème aquatique, les plantes et les animaux contribuent à un pool commun de matière organique dissoute qui est consommé par toute une variété de micro-organismes procaryotes et eucaryotes. Ces micro-organismes rendent alors une partie de cette matière organique dissoute à des animaux plus grands sous la forme de particules. De plus, le métabolisme et la mort de ces micro-organismes recyclent une part de la matière organique vers le pool général de matière organique dissoute, on parle d'une boucle microbienne.

Dans l'écosystème terrestre, les rôles des micro-organismes sont similaires à l'exception de la production primaire qui est le fait des plantes vasculaires.

Ecosystème = Biotope + Biocénose

4. Le micro- environnement

La croissance et l'activité des micro-organismes s'exercent dans un environnement dont l'échelle est microscopique. Néanmoins, leurs actions est à l'origine de la production de métabolites et de gradient chimique perceptible à l'échelle macroscopique dans les sols, les environnements aquatiques et l'atmosphère.

De plus de l'environnement normal, les micro-organismes occupent des écosystèmes particuliers et spécifiques comme les environnements hyper-salins, thermaux, acides, alcalins ou anoxiques.

Les micro-organismes vivent également dans le tractus digestif et la surface des animaux, forment des associations étroites avec les plantes dans la rhizosphère ce qui fait de la biosphère microbienne plus vaste que celle des macro-organismes. Ces micro-organismes réalisent des réactions biochimiques importantes qui modifient les conditions physiques et chimiques du micro-environnement immédiat des cellules. En conséquence, la concentration en substrat et en produits est différente au voisinage de la cellule en comparaison avec celle mesurée globalement dans l'environnement.

5. Interactions interspécifiques

Les micro-organismes peuvent être associés à d'autres organismes de multiples façons :

- 1- S'installe à la surface d'un autre : ectosymbiote.
- 2- Lorsqu'ils sont dissemblables mais de taille similaire on parle de consortium
- 3- S'installe à l'intérieur d'un autre : endosymbiote.
- 4- Il ya aussi de nombreux cas où les micro-organismes vivent à la fois à l'intérieur et à l'extérieur d'un autre organisme : ecto/endosymbiote.

Chaque organisme est adapté à un habitat particulier. Il n'est pas étonnant que plusieurs espèces puissent vivre dans un même habitat ou dans une niche spécifique. Les interactions qui se produisent entre représentants de deux espèces différentes peuvent être neutres, négatives ou positives.

a) Le neutralisme correspond à une situation où deux espèces occupent le même habitat, mais pas la même niche.

b) La compétition est une interaction négative où deux (ou plusieurs) espèces occupent le même habitat et ont besoin, par exemple, de la même nourriture. Souvent l'espèce qui est la plus affectée par cette compétition est éliminée, tandis que l'espèce qui survit prospère.

c) L'amensalisme (du latin « pas à la même table » ; est une interaction négative entre une espèce affectée et une espèce inhibitrice, l'espèce affectée étant soumise à une influence défavorable, tandis que l'espèce inhibitrice n'est affectée d'aucune façon. Exemple : les streptocoques sont des espèces amensales, tandis que la moisissure *Penicillium* est une espèce inhibitrice. Quand ils sont combinés, la pénicilline, l'antibiotique produit par *Penicillium*, détruit les streptocoques sans affecter ce dernier.

d) Le parasitisme sont les formes extrêmes d'interaction négatives. Dans le cas du parasitisme, une espèce est l'hôte et une autre espèce le parasite: celui-ci profite de son hôte, vivant sur lui ou dans lui, sans le détruire. C'est le cas de certains virus bactériens (bactériophages) qui établissent une relation de lysogénie, procurant à la bactérie des caractères nouveaux ; exemple : la production de toxines chez *Corynebacterium diphtheriae*.

Ou encore le cas de certains mycètes impliqués dans le biocontrôle ; exemple : *Rhizoctonia solani* qui parasite *Mucor*.

e) La prédation, une espèce vit de proies -le prédateur - tandis qu'une autre espèce est la proie. En interaction, le parasite gagne à cette relation, tandis que l'hôte en souffre. De même, le prédateur profite de cette relation, tandis que la population de proie en est affectée dans son existence même.

f) La proto-coopération est une relation positive dans laquelle les deux partenaires profitent de leur association, sans qu'elle soit obligatoire pour aucun d'eux.

g) Le commensalisme est une relation positive où l'hôte n'est affecté de façon ni positive, ni négative, mais où l'espèce commensale (celle "qui mange à la même table") dépend de l'hôte pour sa survie. Exemple: plusieurs espèces d'anémones (plantes herbacées) sont commensales des crabes; quand ces derniers se nourrissent, des particules de nourriture sont disponibles pour les anémones, ce qui n'est pas le cas en l'absence de cette relation.

h) Le mutualisme (ou la symbiose) du latin *mutus* (réciproque) est une relation positive qui est obligatoire pour les deux partenaires, aucun d'eux ne pouvant survivre en son absence. Exemple : les termites et certaines espèces de protozoaires flagellés qui se trouvent dans le tractus intestinal des termites.

i) Le Syntrophisme (du grec "se nourrir mutuellement") ou cross feeding : association de deux microorganismes, qui coopèrent pour une activité métabolique globale bien précise sans que leur dépendance mutuelle ne puisse être remplacée par une simple addition de substrat ou de nutriment. C'est un cas particulier du symbiotisme. Exemple : le rumen contient une population microbienne importante et diversifiée (10^{12} organismes /ml), où l'on trouve des procaryotes des mycètes et protozoaires anaérobies cellulolytiques.

6. Effet interactionnel microbien sur l'écosystème

Par leurs interactions dans l'écosystème, les micro-organismes remplissent de nombreuses fonctions parmi les quelles :

- Contribuer à la formation de la matière organique via les processus photosynthétique et chimiosynthétique.
- Décomposer la matière organique, souvent avec libération de composés inorganiques (CO_2 , NH_4^+ , CH_4 , H_2 ...) via les processus de minéralisation.

- Servir de source alimentaire riche en nutriments pour d'autres micro-organismes chimiohétérotrophes, y compris des protozoaires et des animaux.
- Modifier les substrats et nutriments utilisés dans les processus de croissances et les interactions symbiotique ce qui contribue au recyclage biogéochimique.
- Modifier les quantités de matières en formes solubles et gazeuses directement par des processus métaboliques ou indirectement par modification de l'environnement (ex : pH)
- Produire des composés inhibiteurs qui réduisent l'activité microbienne ou limitent la survie et l'activité des plantes et des animaux.
- Contribuer à la vie des plantes et des animaux par des interactions symbiotiques positives et négatives.

Chapitre I : La microbiologie des eaux

L'eau constitue un milieu qui permet à une grande variété d'organismes de survivre et de fonctionner. La diversité microbienne dépend des nutriments disponibles, de leurs diverses concentrations, des transitions de zone oxiques à zone anoxiques, la pénétration de la lumière et l'oxygénation du milieu.

I. Les eaux douces

Les habitats aquatiques font parties des habitats microbiens les plus importants. Même les eaux des lacs les plus pures ainsi que certaines zones des mers ouvertes contiennent des milliers voire des millions de bactéries par millilitre. Les habitats d'eau douce comprennent les lacs, les mares et étangs, les rivières et les ruisseaux.

1. Les micro-organismes des eaux douces

1.1. Les lacs

1.1.1. Caractéristiques physiques des lacs

Beaucoup de lacs d'eau douce de profondeur suffisante, situés dans la région tempérée, présentent un gradient de température pendant la saison chaude. La surface devient, en effet, plus chaude que les couches d'eau sous-jacentes. Au cours du printemps et de l'été, les radiations solaires réchauffent la surface entraînant une diminution de la densité de l'eau. Les vents d'été ne sont pas suffisamment forts pour mélanger les couches de surfaces plus légères avec les eaux profondes plus froides et plus denses. Ce qui crée un phénomène de stratification thermique.

Dans ce type de lac, la couche d'eau de surface est appelée épilimnion, et la zone d'eau profonde hypolimnion. La zone de transition de températures entre la surface et les zones les plus profondes est appelée métalimnion ou thermocline.

Au début d'automne et dès que la température de l'air diminue, les eaux de surface refroidissent et se densifient au voisinage de celles des eaux profondes, c'est le phénomène de renouvellement automnal. L'action du vent permet le mélange des couches d'eau. Ce phénomène persiste jusqu'à la fin d'hiver.

1.1.2. La microflore et l'écosystème des lacs oligotrophe

La caractéristique physique des lacs permet la floraison printanière et estivale des algues qui entrainera la croissance des bactéries. Dans les premiers mois du printemps, l'eau des lacs est riche en nutriments emmenés des profondeurs et des sédiments vers la surface par le brassage des eaux. A ce moment les concentrations en substances nutritives dissoutes, phosphate, ammonium, ou nitrate, sont constantes quelque soit la profondeur. L'allongement de la durée d'ensoleillement augmente la lumière disponible et le réchauffement qui en découle favorise alors la prolifération des algues et de nombreux processus biologiques.

Les algues sont des producteurs primaires. Elles constituent les ressources nutritives des consommateurs primaires, tels que les protozoaires et les petits crustacés comme les puces d'eau.

Ces consommateurs primaires servent à leur tour de nourritures pour les consommateurs secondaires (gros crustacés et petits poissons) qui deviennent eux même des proies des consommateurs tertiaires (gros poissons, canards, tortus,...). Les consommateurs quaternaires (raton, laveur, homme) sont au sommet de la chaîne alimentaire ou réseau trophique.

➤ Les bactéries hétérotrophes - oligotrophes

Les bactéries hétérotrophes dégradent l'excédent de la matière organique produites par les algues et décomposent le reste des algues mortes et des autres organismes qui peuplent le lac. Grace à leurs systèmes de transport membranaire à haute affinité, elles utilisent principalement ces sources de carbone pour leur croissance présentes à de faibles concentrations comme celles de l'habitat planctonique, bien que leurs cellulases et chitinases extracellulaires leur permettent également de dégrader de la matière organique particulaire.

Ces bactéries sont dites minéralisatrices car elles maintiennent les concentrations en substances organiques à des niveaux très faibles dans les environnements mésotrophiques et oligotrophiques et elles permettent la conservation des matières organiques en matières inorganiques qui peuvent être recyclés. La plupart des bactéries hétérotrophes qui font partie des planctons aquatiques sont qualifiées d'oligotrophes car elles peuvent se développer en très faible concentration de substances organiques contrairement aux eutrophes.

1.1.3. La microflore et l'écosystème des lacs eutrophique

Les lacs eutrophique sont suffisamment riches en substance nutritive permettant la formation d'un hypolimnion anaérobie au cours de la période de stratification thermique estivale. Ceci est lié au fait que l'hypolimnion est physiquement séparé des couches de surface de tel sorte que les quantités d'oxygènes disponibles sont faibles.

Les bactéries aérobies, avantagées par leur système respiratoire, et celles dotées de vacuoles à gaz (cyanobactéries), utilisent en premier la matière organique présente à une concentration élevée dans hypolimnion, ce qui induit à une diminution considérable de la concentration d'oxygène et l'hypolimnion devient anaérobie.

Ces conditions, permettent la croissance de nombreux autres groupes bactériens pendant l'été. Cependant, si la lumière parvient jusqu'à l'hypolimnion et si le sulfure d'hydrogène est produit en quantités suffisantes dans les sédiments, alors les bactéries photosynthétiques, dotées de vacuoles à gaz, peuvent se développer et vont permettre la floraison anaérobie (bactéries sulfureuses pourpres et sulfureuses vertes).

D'autre processus anaérobie permettent la croissance comme la fermentation, la dénitrification, la réduction du sulfate et la méthagénèse.

1.2. Les ruisseaux et les rivières

1.2.1. Caractéristiques

Les habitats aquatiques à écoulement (eaux vives) sont peu profonds et habituellement aérobie sauf dans leurs bras morts et leurs sédiments. Cependant, les micro-organismes rencontrés dans ces milieux, exp : *Sphaerotilus* spp., se fixent sur les roches et les sédiments d'où ils puisent les substances nutritives (nutriments autochtones venant du courant interne). Le flux d'eau continu dans les ruisseaux empêche le développement de communauté planctonique importante.

Les ruisseaux des zones naturelles reçoivent une grande quantité de feuilles mortes et de matière organique en décomposition (dites allochtone) en automne et en hiver et constituent donc des habitats pour les organismes dégradant ces produits.

Les micro-organismes chimio-organotrophes métabolisent la matière organique disponible ce qui recycle les nutriments au sein de l'écosystème. Les micro-organismes autotrophes se développent à partir des minéraux libérés par la matière organique.

1.2.2. Microflore et écosystème

Ces eaux vives, ont une capacité limitée de transformation de la matière organique ajoutée, l'excès rend le milieu eutrophe. En revanche, leur présence dans des zones urbaines, les rivières sont souvent utilisées pour l'évacuation des eaux d'égouts et les effluents industriels. Ainsi, dans les zones agricoles, les excédents d'engrais et de pesticides rejoignent les rivières par ruissellement, ce qui constitue une source de pollution. Ces ajouts engendrent des modifications nettes et prévisibles de la communauté microbienne et de l'oxygène disponible et faire apparaître des efflorescences d'algues ou de cyanobactéries dont la prolifération conduit à des conditions anoxiques.

II. Les eaux marines

Cet environnement est extrêmement important car les océans occupent les deux tiers de la surface du globe. Les producteurs primaires prédominants dans l'eau marine sont les algues planctoniques qui constituent la base de la chaîne alimentaire.

1. Microflore et écosystème

Dans les océans les consommateurs situés au sommet de cette chaîne sont les grands poissons, les requins, les baleines à dents et d'autres mammifères. Compte tenu de la surface des océans, le rôle des micro-organismes marins comme producteurs primaires et comme agents d'autres activités biogéochimiques, surpasse celui tenu par les micro-organismes des lacs et des rivières.

Mesurer la production primaire et détecter le phytoplancton présent sous la surface, dans les océans, n'est pas simple voir impossible vu les tailles et les variations saisonnières et temporelles.

Les processus anaérobies qui se produisent dans les sédiments marins sont analogues à ceux rencontrés dans les sédiments d'eau douce. Des différences importantes existent néanmoins, dans les sédiments marins, la quantité de sulfate est supérieure ce qui augmente en conséquence l'activité de sa réduction.

Les bactéries marines typiques possèdent un caractère halophile modéré qui leur permettra de supporter une concentration élevée du sel, en moyenne 3.5%. La plupart des bactéries marines ont besoin absolu en ions Na⁺.

Tableau 1 : Genres procaryotes importants présents principalement dans les milieux marins et d'eaux douces.

Groupe	Genres
Photoautotrophes	<i>Chlorobium, Chloroherpeton, Chromatium Pelodictyon, Thiodictyon, thiopedia</i>
Photohétérotrophes	<i>Chloroflexus, Heliobacterium, Heliolithrix Rhodocyclus, Rhodomicrobium Rhodopseudomonas, Rhodospirillum</i>
Chimiohétérotrophes	<i>Blastobacter, Caulobacter, Flexithrix Gemmobacter, Hyphomicrobium, Leucothrix Sphaerotilus</i>
Chimiolithoautotrophes	<i>Beggiatoa, Gallionella, Thioploca, Thiothrix Thiovulum</i>

III. Les eaux usées

Nombreuses maladies qui affectent la population de la planète sont liées en partie à l'insuffisance de l'évacuation des eaux usées domestiques et industrielles. Ces dernières sont devenues de plus en plus énormes devant le développement industriel, l'essor économique, l'expansion démographique et la grande densité des zones urbaines. Ces eaux usées constituent, en absence d'un traitement, un danger croissant pour la santé humaine et le milieu naturel à cause de leurs charges en matières chimiques toxiques et de micro-organismes pathogènes (bactéries, virus, parasites...). Elles constituent donc des menaces permanentes pour la santé aussi bien humaine qu'animale.

Selon l'OMS, 80% des maladies qui affectent la population de la planète sont liées à la pollution des eaux. En effet, la plupart des microorganismes qui sont à l'origine des grandes épidémies historiques d'origine hydrique, ont pour habitat normal les intestins de l'homme et certains animaux à sang chaud. C'est pourquoi, le contrôle et la surveillance de la qualité de l'eau notamment les eaux usées paraissent de plus en plus indispensables.

1. Caractéristiques des eaux usées

On distingue trois grandes catégories d'eaux usées : les eaux domestiques, les eaux industrielles, les eaux pluviales.

1.1. Les eaux domestiques

Elles proviennent des différents usages domestiques de l'eau. Elles sont essentiellement porteuses de pollution organique. Elles se répartissent en eaux ménagères, qui ont pour origine les salles de bains et les cuisines, et sont généralement chargées de détergents, de graisses, de solvants, de débris organiques, etc. et en eaux "vannes" ; il s'agit des rejets des toilettes, chargés de diverses matières organiques azotées et de germes fécaux.

La pollution journalière produite par une personne utilisant de 150 à 200 litres d'eau est évaluée à :

- de 70 à 90 grammes de matières en suspension
- de 60 à 70 grammes de matières organiques
- de 15 à 17 grammes de matières azotées
- 4 grammes de phosphore
- plusieurs milliards de germes pour 100 ml.

1.2. Les eaux industrielles

Elles sont très différentes des eaux usées domestiques. Leurs caractéristiques varient d'une industrie à l'autre. En plus de la matières organiques, azotées ou phosphorées, elles peuvent également contenir des produits toxiques, des solvants, des métaux lourds, des micropolluants organiques, des hydrocarbures.

Certaines d'entre elles doivent faire l'objet d'un prétraitement de la part des industriels avant d'être rejetées dans les réseaux de collecte. Elles sont mêlées aux eaux domestiques que lorsqu'elles ne présentent plus de danger pour les réseaux de collecte et ne perturbent pas le fonctionnement des usines de dépollution. Les grandes entreprises sont toutes équipées d'unités de traitement internes. En vingt ans, la pollution industrielle a été réduite de moitié. Ce sont actuellement les PME (garages, pressing, entreprises de peintures ...) qui produisent plus de 90% de la pollution par déchets toxiques.

1.3. Les eaux pluviales

Elles peuvent, elles aussi, constituer la cause de pollutions importantes des cours d'eau, notamment pendant les périodes orageuses. L'eau de pluie se charge d'impuretés au contact de l'air (fumées industrielles), puis, en ruisselant, des résidus déposés sur les toits et les chaussées des villes (huiles de vidange, carburants, résidus de pneus et métaux lourds...). En outre, lorsque le système d'assainissement est dit "unitaire", les eaux pluviales sont mêlées aux eaux usées domestiques. En cas de fortes précipitations, les contraintes de préservation des installations d'épuration peuvent imposer un déversement ("délestage") de ce "mélange" très pollué dans le milieu naturel. Enfin, dans les zones urbaines, les surfaces construites rendent les sols imperméables et ajoutent le risque d'inondation à celui de la pollution.

2. Les organismes vivants et leur rôle dans le traitement des eaux usées :

Ces multiples espèces peuvent varier en fonction des effluents traités, des conditions climatiques, de la charge organique et de la profondeur d'eau. Les principaux groupes sont les bactéries, les algues et le zooplancton.

2.1. Les bactéries

Ce sont des micro-organismes qui peuvent dégrader et assimiler une grande partie de la matière organique contenue dans les eaux usées. Ces bactéries rejettent dans le milieu des produits de dégradation qui sont les matières minérales solubles et les gaz dissous. En fonction de l'équilibre du milieu et en particulier des taux d'azote et de phosphore, les bactéries les mieux adaptées se développent rapidement et dominent les autres espèces.

On constate une régulation naturelle du taux bactérien en fonction de la matière organique présente dans le milieu et des autres conditions de développement (température, ensoleillement, pH, oxygène dissous...). Quelque soit le processus biologique considéré, on trouve : Les bactéries aérobies qui transforment en présence d'oxygène dissous, la charge organique dissoute en matières minérales (nutriments) et gaz. Les bactéries du cycle de l'azote assurent la nitrification (formation de nitrites) et la nitrification (formation de nitrates).

Les bactéries anaérobies qui sont essentiellement méthanogènes (formation de méthane) réalisent la transformation de la matière organique au niveau des sédiments.

2.2. Les algues

Ce sont des plantes microscopiques planctoniques. Elles sont représentées dans les lagunes principalement par les espèces suivantes : algues bleues (cyanophycées) proches des bactéries, algues vertes (chlorophycées), algues brunes (chrysophycées), eugléniens.

Dans le cas d'un bon fonctionnement, les bassins de lagunage (surtout ceux en fin de filière) ont une couleur verte plus ou moins prononcée. La chlorophylle contenue dans les micro-algues leur permet d'utiliser la lumière du soleil comme source d'énergie : c'est la base du processus de la photosynthèse. Les algues se développent à la lumière en prélevant dans l'eau du gaz carbonique et des sels minéraux et en y rejetant de l'oxygène. Les algues sont ainsi les principaux producteurs d'oxygène des lagunes. Cette production s'effectue essentiellement dans la couche d'eau superficielle (jusqu'à 40-50 cm).

2.3. Le zooplancton

La faune a une importance essentielle dans le fonctionnement des lagunes et de nombreux organismes participent activement à l'épuration du milieu (prédation, filtration...) On trouve :

Les protozoaires, qui sont des organismes unicellulaires prédateurs des bactéries. Ils constituent le seul zooplancton hivernal réellement abondant dans les derniers bassins de lagunage.

Les rotifères, sont des vermidiens microscopiques, ils filtrent activement le phytoplancton et sont capable de s'accommoder à des taux d'oxygène dissous très faibles.

Les copépodes, sont des crustacés de petites tailles qui nagent à la surface de l'eau et ont un développement limité dans l'espace et le temps. Leur spectre alimentaire est pourtant très étendu : micro-algues, proies vivantes...

Les cladocères, sont également de petits crustacés. Les daphnies sont les plus répandues et les plus caractéristiques. Leur rôle est intéressant car elles favorisent l'abattement du taux des matières en suspension. Elles permettent ainsi un éclaircissement du milieu et la pénétration de la lumière. Par contre elles provoquent une diminution du taux d'oxygène dissous à cause de leur respiration et de l'élimination des micro-algues.

3. Impact écologiques des eaux usées sur l'eau des recevant

Les villes rejettent ses eaux usées directement dans les rivières, introduisant des matières fécales contenant de grandes quantités de bactéries et de matières organiques dans l'eau. Les effluents organiques servent de substrats pour la croissance des bactéries hétérotrophes présentes dans les rivières. En effet si la charge organique des déchets est suffisante, la croissance bactérienne résultante peut utiliser tout l'oxygène dissous et conduire à des conditions d'anoxie qui peuvent être létales pour les poissons et les autres animaux nécessitant de l'oxygène et la rivière perdra sa vitalité.

4. Impact du rejet des eaux usées sur la santé publique

De grandes villes sont localisées sur des rivières où leurs rejets d'eaux usées peuvent être si abondants. Ce qui rend l'utilisation de l'eau de rivière comme eau potable impossible, car elle peut contenir des agents infectieux provenant de la matière fécale des gens infectés. De plus les plages et d'autres aires de loisirs polluées par les matières fécales ne peuvent plus être utilisées pour les sports aquatiques en raison de risque de contamination. Les pêcheries de coquillage peuvent être également affecté car les huîtres et les moules qui sont de véritables filtres, ingèrent une partie des matières incluant des bactéries et des virus, entraînant une concentration importante de ces pathogènes dans leurs tubes digestifs.

Compte tenu à ces problèmes, il devient obligatoire de traiter les eaux usées avant de les rejeter dans l'environnement. Les eaux d'égout sont recueillies par un système de collecteurs, généralement par un flux dû à la gravité, et sont envoyées dans une station d'épuration des eaux usées localisée à proximité d'une rivière ou d'un environnement marin où après traitement le rejet sera effectué.

Tableau 2. Listes de quelques micro-organismes pathogènes présents dans l'eau.

Micro-organismes	Maladies	
Bactéries	<i>Salmonella typhi</i>	Fièvre typhoïde
	<i>Vibrio cholerae</i>	Choléra
	<i>Shigella dysenteriae</i>	Dysenterie bactérienne
Protozoaires	<i>Entamoeba histolytica</i>	Dysenterie amibienne
	<i>Giardia lamblia</i>	Giardias
	<i>Naegleria</i>	Méningo-encéphalite

Virus	Hépatite infectieuse	Hépatite
-------	----------------------	----------

IV. Le traitement des eaux

Afin de garantir que les ressources en eaux potables sont saines ainsi que d'autres produits alimentaires obtenus de sources environnementales, il est primordial d'éliminer les microorganismes contaminants et pathogènes, bactéries, protozoaire et virus, et éviter la contamination par les eaux usées de traitement incomplet ou par manipulation incorrecte des déchets.

1. Autoépuration naturelle

Les eaux polluées ou usées subissent des processus naturels d'auto-épuration. Un grand nombre de microorganismes de types variés interviennent durant ce processus. Ces microorganismes utilisent et minéralisent les substances organiques apportées au cours de la pollution. Après leur transformation, ces dernières s'élimineront dans l'atmosphère ou seront utilisées par les végétaux.

Les bactéries hétérotrophes, aérobies, typiquement aquatiques, indicatrices de pollution (*Beggiatoa*, *Galionella*, *Sphaerotilus*, *Spirillum*, etc.) et d'autres (*Pseudomonas*, *Vibrio*, etc.) ainsi que des protozoaires dégradent la matière organique. Des bactéries aéro-anaérobies ou anaérobies (*Clostridium*, *Desulfovibrio*) participent également à la dégradation.

La destruction des polluants n'est complète qu'après une minéralisation totale de l'azote et du soufre par des chimolithotrophes aérobies. Au cours de l'autoépuration on observe également une baisse du nombre de microorganismes pathogènes.

2. Traitement de l'eau potable

Selon la source d'eau, le traitement peut consister en une simple désinfection par chloration, ou supposer un traitement bien plus coûteux, en utilisant un système de traitement extensif constitué de quatre étapes :

- Coagulation
- Sédimentation
- Filtration
- Désinfection

Ces étapes sont accomplies dans une station de traitement destinée à fournir de l'eau potable

2.1. La coagulation

La coagulation est réalisée par l'ajout d'alun (sel de sulfate d'aluminium). Ce produit forme des floccs d'hydroxyde d'aluminium qui adsorbent les particules de matière.

2.2. La sédimentation

Les floccs d'hydroxyde d'aluminium sont éliminés par sédimentation dans des cuves de rétention.

2.3. La filtration

Au cours de cette étape, l'eau s'écoule à travers des systèmes de sable filtrant qui retiennent les bactéries. Des filtres à sable rapide ou lents peuvent être utilisés, et les deux sont efficaces pour éliminer la particule de matière, y compris les cellules bactériennes. Le bon fonctionnement de ce système élimine jusqu'à 99% des bactéries.

2.4. La désinfection

La désinfection est généralement réalisée par l'ajout de chlore. Le gaz dissous forme une solution d'hypochlorite (comme dans l'eau de javel ménagère), qui rompt de manière efficace les membranes cellulaires des bactéries et entraîne leur mort.

Cependant la désinfection ne tue pas toutes les bactéries, et de faibles quantités de bactéries résiduelles se retrouvent dans l'eau traitée.

3. La distribution

Avant sa consommation, l'eau potable doit passer par un système de distribution. Afin de s'assurer de la sécurité sanitaire de l'eau distribuée, deux tests sont possibles

3.1. Analyse du taux de chlore résiduel

Si le chlore est encore présent dans l'eau du robinet au taux de 1 ppm, l'eau peut être considérée comme potable. Cependant, même en présence de chlore résiduel, les bactéries peuvent être toujours présentes.

3.2. Tests microbiologiques

Les tests microbiologiques reposent sur l'utilisation de bactéries indicatrices. La bactérie indicatrice standard aux Etats-Unis est *E. coli*. Cela se fait par :

- Analyse globale des bactéries coliformes « coliformes totaux / fécales » : test du nombre le plus probable NPP
- Analyse par filtration sur membrane. « coliformes totaux / fécales »

4. Mesure de la qualité des eaux usées

Dans le domaine de l'hygiène, les analyses bactériologiques les plus fréquemment effectuées concernent les bactéries jouant un rôle d'indicateurs. En général, les mêmes germes indicateurs sont utilisés que pour les eaux brutes ou traitées. Dans les deux cas les techniques de mise en évidence sont donc souvent les mêmes. Cependant, les modalités de l'interprétation des résultats sont entièrement différentes.

L'évaluation de la qualité bactériologique de l'eau usée consiste donc en un dénombrement des bactéries indicatrices d'une contamination d'origine fécale (*Escherichia coli* et entérocoques intestinaux) ou en une détection de la présence des bactéries pathogènes en utilisant des méthodes normalisées ou validées de microbiologie classique.

Ceci permet la surveillance et une évaluation des dangers du rejet des eaux d'égouts dans les environnements aquatiques. Ainsi, certains indicateurs sont quantifiés en routine pour évaluer l'impact des rejets urbains sur la qualité microbiologique des eaux de surface.

5. Traitement des eaux usées

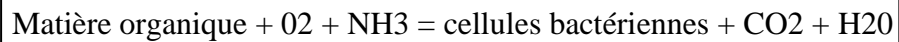
Bien que le traitement des eaux usées ne restaure pas complètement l'eau dans son état initial, il réduit considérablement les concentrations en matières organiques et en bactéries. Il existe trois niveaux de traitement des eaux usées : primaire, secondaire et tertiaire comme le résume le tableau 3.

Avant le traitement primaire, les eaux usées passent tout d'abord par une grille qui retient les branches, sacs en plastique et d'autres objets encombrant susceptible d'interférer avec le traitement.

Le traitement primaire élimine physiquement 20 à 30% de la demande biochimique en oxygène (DBO) présente sous forme particulaire, par tamisage, par précipitation des petites

particules, des solides, des huiles et des éléments flottants et par décantation en bassin ou réservoirs. On appelle habituellement boue la matière solide obtenue.

Les stations modernes d'épuration des eaux usées utilisent un traitement secondaire par des boues activées, et des traitements qui consistent en une transformation biologique, la matière dissoute en biomasse microbienne et dioxyde de carbone. Ce processus de traitement biologique aérobie d'eaux usées peut être décrit par l'équation de base suivante :



Des décanteurs finals séparent la biomasse nouvellement formée (la boue dépuration) de l'eau traitée, laquelle peut être renvoyée dans le réseau d'origine. À la fin du processus, l'eau est habituellement chlorée avant son rejet.

Bien que le traitement secondaire soit efficace pour éliminer la matière organique, il ne retire pas la matière inorganique résultant de l'activité microbienne.

Le traitement biologique tertiaire est utilisé dans certaines stations d'épuration pour traiter les effluents secondaires afin d'éliminer l'azote (par nitrification suivies d'une dénitrification) et phosphore par *Actinobater* spp.

Tableau 3 : Étapes principales de l'épuration primaire, secondaire et tertiaire des eaux usées.

Étape de l'épuration	Procédés
Primaire	Élimination des matières particulaires insolubles par tamisage, par addition d'alun et d'autres agents de coagulation et par d'autres techniques physiques
Secondaire	Élimination biologique des matières organiques dissoutes Lits bactérien Boues activées Lagunage Système d'aération prolongée Digesteurs anaérobies
Tertiaire	Élimination biologique des éléments nutritifs inorganiques Élimination chimique des éléments nutritifs inorganiques Élimination/ inactivation des virus Élimination des produits chimiques en traces