

## **Chapitre 2 : La microbiologie des eaux**

En tant qu'habitat pour les de micro-organismes, l'eau a des propriétés introuvables dans d'autres habitats microbiens naturels tels que le sol, les végétaux et le corps des animaux ; les micro-organismes aquatiques indigène sont adaptés à ces conditions. Les eaux naturelles sont généralement à faible teneur en éléments nutritifs (oligotrophes) ; les nutriments existants, sont répartis de manière homogène dans l'eau. Le mouvement de l'eau librement transporte les micro-organismes ; pour combattre cela et s'offrir une certaine protection, de nombreux organismes aquatiques et/ou leurs gamètes ont des structures locomotrices telles que des flagelles.

Les micro-organismes sont souvent adaptés et occupent des habitats particuliers dans l'eau ; certains occupent l'interphase air-eau, tandis que d'autres vivent dans les sédiments des masses d'eau. Les conditions qui affectent les micro-organismes aquatiques sont la température, les nutriments, les transitions de zone oxiques à zone anoxiques, la lumière, la salinité, la turbidité, le mouvement de l'eau.

### **1. Les eaux naturelles**

#### **1.1. Les eaux douces**

Bien qu'ils ne génèrent qu'environ 3% de la productivité biologique primaire totale de la terre, les eaux douces sont caractérisées par leur faible teneur en sel et contiennent environ 40% des espèces de poissons connues dans le monde. Les eaux douces naturelles peuvent être classées en eaux atmosphériques, de surface et souterraines, chaque type ayant une écologie microbienne unique. Les eaux atmosphériques perdent leurs micro-organismes lorsqu'elles tombent sous forme de pluie ou neige. Les eaux douces de surface se trouvent dans les rivières et les lacs et contiennent de grands et divers groupes de micro-organismes.

Les écosystèmes d'eau douce peuvent être divisés en écosystèmes lotiques composée d'eau courante (rivières, ruisseaux) et les écosystèmes lentiennes qui comprennent de l'eau plate (étangs et lacs).

##### **1.1.1. Les lacs**

###### **1.1.1.1. Caractéristiques physiques des lacs**

De nombreux lacs d'eau douce d'une profondeur suffisante sont situés dans des régions tempérées et présentent des gradients de température pendant les saisons chaudes. En fait, la surface devient plus chaude que la couche d'eau sous-jacente. Au printemps et en été, le rayonnement solaire réchauffe la surface, entraînant une diminution de la densité de l'eau. Les vents d'été ne sont pas assez forts pour mélanger des couches de surface plus légères avec des

eaux profondes plus fraîches et plus denses. Cela produit le 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 baisse, 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 poursuivi jusqu'à la fin d'hiver.

### **1.1.1.2. La microflore et l'écosystème des lacs oligotrophe**

Les propriétés physiques du lac permettent aux algues de fleurir au printemps et en été, ce qui entraînera une croissance bactérienne. Au cours des premiers mois du printemps, l'eau du lac est riche en éléments nutritifs qui sont amenés à la surface à partir des profondeurs et des sédiments par le mélange de l'eau. À ce stade, la concentration des nutriments dissous (phosphate, ammonium ou nitrate) est constante quelle que soit la profondeur. Les heures d'ensoleillement prolongées augmentent la lumière disponible et le réchauffement qui en résulte favorise la prolifération d'algues et de nombreux processus biologiques

Les algues sont des producteurs primaires. Elles constituent une ressource nutritionnelle pour les consommateurs primaires comme les protozoaires et les petits crustacés comme les daphnies. Ces consommateurs primaires deviennent à leur tour la nourriture de consommateurs secondaires (gros crustacés et petits poissons), eux-mêmes la proie de consommateurs tertiaires (gros poissons, canards, tortues, etc.). Les consommateurs quaternaires (ratons laveurs, ratons laveurs, humains) sont au sommet de la chaîne alimentaire ou du réseau trophique (Fig.2).

#### **➤ Les bactéries hétérotrophes - oligotrophes**

Les bactéries hétérotrophes dégradent l'excès de matière organique produite par les algues et décomposent les algues mortes restantes et les autres organismes qui habitent le lac. En raison de leurs systèmes de transport membranaire de haute affinité, elles utilisent principalement ces sources de carbone pour une croissance à faible concentration, tout comme les habitats planctoniques, bien que leurs cellulases et chitinases extracellulaires leur permettent également de dégrader la matière organique.

Ces bactéries sont dites minéralisatrices car elles maintiennent les concentrations en substances organiques à des niveaux très faibles dans les milieux mésotrophes et oligotrophes, et elles permettent la conservation des matières organiques en matières inorganiques

recyclable. La plupart des bactéries hétérotrophes qui font partie des planctons aquatiques sont qualifiées d'oligotrophes car, contrairement aux bactéries eutrophes, elles peuvent se développer dans de très faibles concentrations de matière organique.

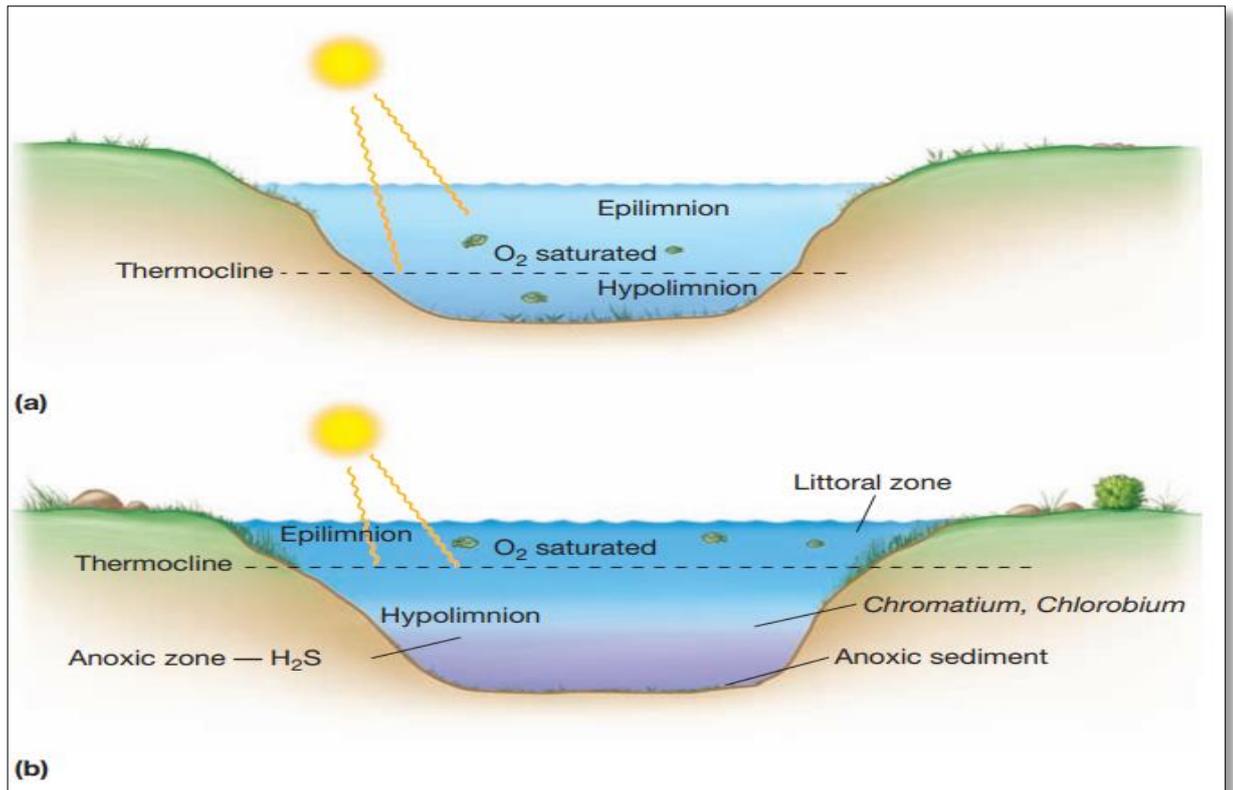
### **1.1.1.3. La microflore et l'écosystème des lacs eutrophique**

Les lacs eutrophiques sont assez riches en nutriments ce qui permet la formation d'un hypolimnion anaérobie au cours de la période de stratification thermique estivale. Ceci est relié au fait que les couches de surface sont physiquement séparés de l'hypolimnion de manière que les quantités d'oxygènes disponibles sont faibles (Fig.2).

Avantagées par leur système respiratoire, les bactéries aérobies, 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. Par ailleurs, si la lumière parvient jusqu'à l'hypolimnion et si le sulfure d'hydrogène est produit en quantités suffisantes dans les sédiments, 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 méthanogenèse.



**Figure 2** : Les Lacs oligotrophes et eutrophes [20].

(a) un lac oligotrophe (pauvre en nutriments), qui est saturé en oxygène et a une faible population microbienne, (b) un lac eutrophe (riche en nutriments). Le lac eutrophe a une couche de sédiments de fond et peut avoir un hypolimnion anoxique. À mesure que la biomasse microbienne augmente avec les niveaux de nutriments, la pénétration de la lumière diminue. Ainsi, le fond des lacs eutrophes peut devenir sombre, anoxique et même toxique à cause de la production de H<sub>2</sub>S.

### 1.1.2. Les ruisseaux et les rivières

Les habitats aquatiques à écoulement (eaux vives) sont peu profonds et généralement 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 éléments nutritifs (nutriments autochtones venant du courant interne).

Le flux d'eau continu dans les ruisseaux empêche le développement de communauté planctonique importante.

En automne et en hiver, les ruisseaux des zones naturelles reçoivent une grande quantité de feuilles mortes et de matière organique en décomposition (dites allochtone), ce qui les rend habitable par 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

### **1.1.2.1. La microflore et écosystème des ruisseaux et des rivières**

La capacité de transformation de la matière organique ajoutée aux eaux vives est limitée, le surplus rend le milieu eutrophe. Par ailleurs, la présence des rivières dans des zones urbaines, fait d'eux un recevoir des eaux d'égouts et les effluents industriels. Ainsi, dans les zones agricoles, l'excès d'engrais et de pesticides rejoignent les rivières par ruissellement, constituant ainsi une source de pollution. Ces ajouts génèrent des modifications remarquables de la communauté microbienne et de l'oxygène disponible et fait apparaître des efflorescences d'algues ou de cyanobactéries dont la prolifération conduit à des conditions anoxiques.

## **1.2. L'eau marine**

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.

### **1.2.1. La microflore et écosystème des eaux marines**

Loin des influences côtières l'habitation humaine, l'eau marine contient encore d'énormes quantités de micro-organismes : bactéries, archées, protozoaires, algues, champignons et virus. Les organismes marins sont adaptés aux conditions uniques rencontrées dans le milieu marin (zone pélagique) : forte salinité (3,5 g/L), basse température (environ 4°C), et haute pression barométrique jusqu'à 500 bars selon la profondeur. Les organismes thermophiles se développent près des événements thermiques chauds occasionnels où le magma chaud remonte sur le fond de l'océan.

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. À 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.

La taille et les variations saisonnières et temporelles des océans empêchent les mesures de la production primaire et la détection du phytoplancton présent sous la surface.

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 un besoin absolu en ions Na<sup>+</sup>.

## **2. Les eaux usées**

Beaucoup de maladies affectant la population de la planète sont liées en partie à la mauvaise 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. En absence d'un traitement, ces eaux usées constituent, un danger croissant pour la santé aussi bien humaine qu'animale et pour le milieu naturel à cause de leurs charges en matières chimiques toxiques et de micro-organismes pathogènes (bactéries, virus, parasites...).

### **2.1. Caractéristiques des eaux usées**

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

#### **2.1.1. Les eaux domestiques**

Les eaux domestiques 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.

#### **2.1.2. Les eaux industrielles**

Les eaux usées industrielles sont très différentes des eaux usées domestiques. Leurs caractéristiques varient selon l'industrie. En plus des 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.

#### **2.1.3. Les eaux pluviales**

Elles constituent également une cause de pollution importante des cours d'eau, notamment pendant les périodes orageuses. L'eau de pluie se charge d'impuretés au contact de l'air (fumées industrielles), ainsi, en ruisselant, des résidus déposés sur les toits et les chaussées des villes (huiles de vidange, carburants, résidus de pneus et métaux lourds...).

### **2.2. Impact écologiques des eaux usées sur l'eau des recevant**

Les villes rejettent les eaux usées directement dans les rivières, introduisant dans l'eau de la matière fécale riche en bactéries et en matières organiques. Les eaux usées organiques sont

un substrat pour la croissance des bactéries hétérotrophes dans les rivières. En fait, si la charge organique des déchets est suffisante, la croissance bactérienne qui en résulte peut utiliser tout l'oxygène dissous et provoquer des conditions anoxiques, qui peuvent être mortelles pour les poissons et autres animaux nécessitant de l'oxygène, et la rivière perdra sa vitalité.

### 2.3. Impact du rejet des eaux usées sur la santé publique

Les grandes villes sont situées sur les fleuves et leurs rejets d'eaux usées sont très riches. Cela rend l'eau de la rivière inutilisable comme eau potable, car elle peut contenir des agents infectieux provenant des matières fécales des personnes infectées. De plus, les plages et autres zones de loisirs contaminées par des matières fécales ne peuvent plus être utilisées pour les sports aquatiques en raison du risque de contamination. Les pêcheries de coquillages peuvent également être affectées, car les huîtres et les moules sont de véritables filtres, ingérant des substances telles que des bactéries et des virus, entraînant des concentrations élevées de ces agents pathogènes dans leurs tubes digestifs.

De ce fait, il est obligatoire de traiter les eaux usées avant de les rejeter dans l'environnement. Les eaux d'égout sont recueillies par un système de collecteurs, le plus souvent par un flux dû à la gravité, et sont envoyées dans une station d'épuration des eaux usées localisée au près d'une rivière ou d'un environnement marin où après traitement elles seront rejetées. **Autres impacts** sont résumés dans le tableau 2.

**Tableau 2 :** Exemples d'impacts négatifs des eaux usées non traitées sur la santé humaine, l'environnement et les activités de production

Domaines des répercussions	Exemples de répercussions
Santé	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Augmentation de la charge des maladies en raison de la baisse de la qualité de l'eau potable</li> <li>• Augmentation de la charge des maladies en raison de la baisse de la qualité des eaux de baignade</li> <li>• Augmentation de la charge des maladies en raison de l'insalubrité des aliments (contamination du poisson, des légumes et d'autres produits irrigués)</li> <li>• Augmentation du risque de maladie si on travaille ou on joue dans une zone irriguée par des eaux usées</li> </ul>

Environnement	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Réduction de la biodiversité</li> <li>• Dégradation des écosystèmes aquatiques (par exemple eutrophisation et zones mortes)</li> <li>• Odeurs nauséabondes</li> <li>• Diminution des possibilités de loisir</li> <li>• Augmentation des émissions de gaz à effet de serre (GES)</li> <li>• Hausse de la température des eaux</li> <li>• Bioaccumulation de toxines</li> </ul>
Économie	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Baisse de la productivité industrielle et agricole</li> <li>• Baisse de la valeur marchande des récoltes, si des eaux usées insalubres sont utilisées pour l'irrigation</li> <li>• Réduction des possibilités de loisirs aquatiques (baisse du nombre de touristes)</li> <li>• Diminution des prises de poissons et de crustacés, ou baisse de la valeur marchande du poisson et des mollusques et crustacés</li> <li>• Augmentation du fardeau financier sur les soins de santé</li> <li>• Accroissement des entraves au commerce international (exportations)</li> <li>• Augmentation des coûts de traitement de l'eau</li> <li>• Baisse des prix des propriétés situées à proximité des masses d'eau contaminées</li> </ul>

### 3. Le traitement des eaux brutes

Il est primordial d'éliminer les micro-organismes contaminants et pathogènes, bactéries, protozoaire et virus, et prévenir la contamination par les eaux usées de traitement incomplet ou par manipulation incorrecte des déchets. Et cela pour garantir que les ressources en eaux potables sont saines ainsi que d'autres produits alimentaires obtenus de sources environnementales.

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 micro-organismes 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 paraient de plus en plus indispensable.

### **3.1. Autoépuration des eaux**

Lorsqu'une grande masse d'eau soit une rivière, un lac ou océan..., subit une eutrophisation (ajout de nutriments et/ou de micro-organismes), les matières organiques et les micro-organismes ainsi introduits disparaissent progressivement et l'eau reviendra à son état d'avant l'eutrophisation. Ce processus est connu sous le nom d'auto-épuration, les processus sous-jacents à l'auto-épuration peuvent être regroupés en physico-chimiques et biologiques.

#### **3.1.1. Processus physico-chimiques**

##### **a. Flocculation**

Les matériaux introduits dans l'eau sédimentent à des vitesses qui dépendent de leur poids ; ils se retirent de la circulation générale en sédimentant. Il est tout aussi important que, pendant cette sédimentation, les micro-organismes, qui se lient aux matières organiques plus lourdes ainsi qu'aux particules d'argile, soient entraînés vers le bas lorsqu'ils sédimentent et sont retirés de la circulation.

##### **b. Lumière**

La lumière du soleil contient de la lumière ultraviolette, qui a des effets germicides. Les bactéries aquatiques exposées à la lumière sont donc tuées, bien que l'effet de la lumière soit limité à la partie supérieure de l'eau.

##### **c. Aération**

L'aération est provoquée à la fois par la diffusion physique de l'air et la libération d'oxygène par l'activité photosynthétique des algues et des cyanobactéries. L'aération favorise la croissance des bactéries aérobies qui participent à l'auto-épuration de l'eau en dégradant les matières organiques introduites dans l'eau. De plus, certains composés, par exemple ceux du manganèse et du fer, sont oxydés en présence d'oxygène et donc précipités, contribuant ainsi à l'auto-épuration de l'eau.

##### **d. Dilution**

Dans les lacs, la dilution de la matière organique ajoutée, en étant moins volumineuse que la masse d'eau, contribue à réduire sa concentration au point d'entrée.

Dans le cas d'eaux courantes, la concentration de la matière organique ajoutée est réduite à la fois au point de son introduction et en aval lorsque le débit d'eau déplace la matière

ajoutée vers l'aval. À condition que la charge de la matière organique ajoutée ne soit pas si lourde qu'elle ne puisse pas être suffisamment diluée.

### **3.1.2. Processus biologiques**

Les facteurs biologiques sont les plus importants dans l'auto-épuration de l'eau. Ils agissent par la décomposition (stabilisation) des matériaux ajoutés par des micro-organismes, principalement par des bactéries et occasionnellement par des champignons ainsi que des protozoaires, dont les bactéries aérobies typiquement aquatiques, indicatrices de pollution sont les plus importantes (*Beggiatoa*, *Galionella*, *Sphaerotilus*, *Spirillum*, etc.) et d'autres (*Pseudomonas*, *Vibrio*, etc.). Les activités des bactéries anaérobies ne conduisent qu'à une dégradation partielle de la matière organique et prennent beaucoup plus de temps. La destruction des polluants n'est complète qu'après une minéralisation totale de l'azote et du soufre par des chimiolithotrophes aérobies. Au cours de l'autoépuration on observe également une baisse du nombre de micro-organismes pathogènes.

En revanche, il existe des facteurs affectant la décomposition biologique de la matière organique ajoutés à l'eau comme la nature chimique de cette matière, la prédation des bactéries par les protozoaires, les bactériophages et les activité antagoniste (antibactérienne) entre certaines bactéries contre d'autres et entre certaines algues contre certaines bactéries.

## **3.2. Traitement de l'eau potable**

La plupart du temps, l'eau prélevée dans le milieu naturel n'est pas directement consommable. Elle est chargée de sables, de limons, de débris de matières organiques ou minérales, de substances colorantes dissoutes.

Pour rendre l'eau potable, on applique des traitements qui, s'ils peuvent varier suivant l'origine et la qualité de l'eau : on élimine les matières contenues dans l'eau par étapes successives, jusqu'aux organismes microscopiques. En utilisant un système de traitement extensif constitué de quatre étapes accomplies dans une station de traitement destinée à fournir de l'eau potable.

### **3.2.1. La coagulation**

La coagulation est réalisée. Ce produit forme des floccs d'hydroxyde d'aluminium qui adsorbent les particules de matière.

Ce procédé permet ensuite de rendre l'eau limpide en la débarrassant des matières en suspension qu'elle contient dites particules colloïdales par l'ajout d'alun (sel de sulfate d'aluminium) qui provoque la coagulation des particules. Ces produits chimiques s'appellent des coagulants. Les particules en suspension s'agglomèrent les

unes aux autres et forment des "flocons" : c'est la floculation. Ces "flocons" plus lourds que l'eau, se déposent au fond d'un bassin de décantation et sont évacués régulièrement sous forme de boues.

### **3.2.2. La sédimentation (décantation)**

Il s'agit d'un procédé de séparation solide/liquide basé sur la pesanteur. Les floes d'hydroxyde d'aluminium s'accumulent au fond du bassin, d'où on les extrait périodiquement. L'eau récoltée en surface est dite clarifiée.

### **3.2.3. La filtration**

La filtration est un procédé physique destiné à clarifier un liquide qui contient des MES en le faisant passer à travers un milieu poreux.

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. Ce qui permet d'obtenir une bonne élimination de la turbidité et, indirectement de certains goûts et odeurs.

- **Exemple de filtration sur le lit de sable :** Elle consiste à faire passer l'eau à travers une épaisse couche de sable fin (80cm à 1,50m) disposée sur un plancher poreux. Ce filtre est nettoyé régulièrement par l'envoi d'eau et d'air à contre-courant (de bas en haut) pour permettre aux flocons de se détacher des grains de sable et éviter ainsi les risques de colmatage.

### **3.2.4. La désinfection**

La désinfection est généralement réalisée par l'ajout de chlore (ou autres produits chimique : l'ozone, le brome, l'iode et le permanganate de potassium). 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. On peut également désinfecter l'eau grâce à des moyens physiques : ébullition, ultrasons, ultraviolets ou rayons gamma

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

### **3.2.5. 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 :

- ✚ **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.

### **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. 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. Après un prétraitement (physique), les étapes de l'épuration peuvent être regroupées en trois procédés (tableau): Traitement primaire (physique) ;

Traitement secondaire (chimique et biologique) (Fig.3);

Traitement tertiaire (physique et biologique) ;

### **4.1. Prétraitement (physique) : Dégrillage-dessablage-dégraissage**

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. Cela par l'écartement de ses barreaux, 30 à 100mm, 10 à 25mm, 3 à 10 mm pour un dégrillage grossier, moyen ou fin respectivement.

Compte au dessablage, il s'agit d'un ouvrage dans lequel les particules denses d'une vitesse est inférieure à 0,3m/s, vont pouvoir se déposer. Il s'agit principalement des sables.

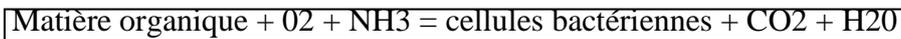
Cependant, la rétention des graisses se fait par flottation naturelle ou accélérée par injection de fines bulles. Ces matières graisses sont susceptibles de nuire à la phase biologique du traitement.

### **4.2. Traitement primaire (physique)**

Après les prétraitements, les effluents conservent une charge polluante dissoute et des matières en suspension. 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.

### 4.3. Traitement secondaire

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 d'épuration) 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.

### 4.4. Traitement biologique tertiaire

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.*

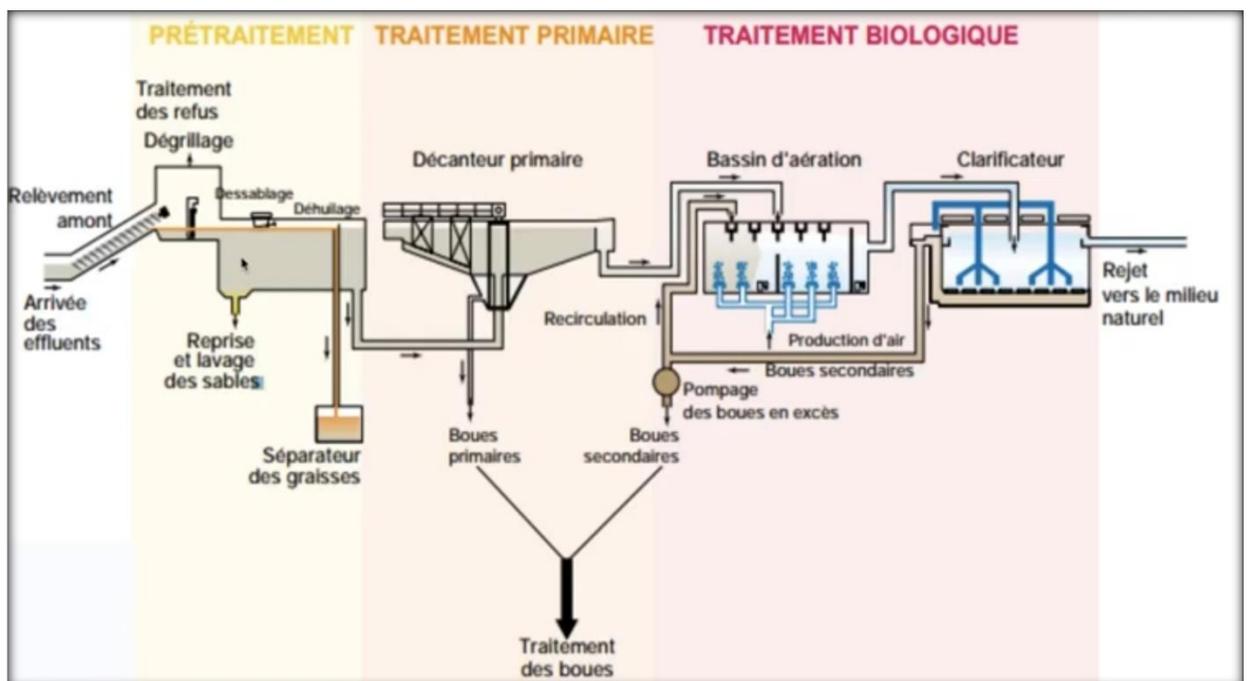


Figure 3. Procédé de traitement des eaux usées [18].

### 4.5. Mesure de la qualité des eaux usées

Les analyses bactériologiques les plus fréquemment effectuées dans le domaine de l'hygiène, concernent les bactéries jouant un rôle d'indicateurs. Le plus souvent, 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. En revanche, 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.

D'autre part, les matières organiques solides éliminées des eaux usées au cours de leur traitement représentent un problème technique et sanitaire très important. Dans ce contexte, une analyse est effectuée pour suivre l'élimination du carbone lors de l'épuration des eaux usées. Cette élimination peut être déterminée en dosant le carbone biologiquement utilisable par le test de la demande biochimique de l'oxygène (DBO).

- **La demande biochimique en oxygène**

Est une mesure indirecte de la matière organique dans les milieux aquatiques. C'est la quantité de l'oxygène dissous exigée pour l'oxydation microbienne de la matière organique biodégradable. Lorsque l'on mesure la consommation en oxygène, l'oxygène lui-même doit être présent en excès et ne doit pas limiter la vitesse de réaction, c'est à dire l'oxydation des éléments nutritifs.

Pour y parvenir, l'échantillon pollué est dilué de manière à ce qu'au moins 2 mg d'oxygène par litre subsiste dans le flacon d'essai. Le test de la demande chimique en oxygène (DCO) et du carbone organique total (COT) fournissent des informations sur le carbone qui n'est pas biodégradé pendant les 5 jours du test de DBO.

#### **4.6. Les organismes vivants et leur rôle dans le traitement des eaux usées :**

Ces espèces différentes peuvent varier selon 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.

##### **4.6.1. 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...). Quel que 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.

#### 4.6.2. 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.

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. Cette production s'effectue essentiellement dans la couche d'eau superficielle (jusqu'à 40-50 cm).

#### 4.6.3. Le zooplancton

La faune a une importance essentielle 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
- **Les rotifères**, sont des vermiéens 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.