

Chapitre 2 Microbiologie de l'eau

Introduction

Les milieux aquatiques présentent des surfaces et des volumes très divers, pouvant aller de l'alcalinité à l'acidité extrême. Les températures auxquelles les microorganismes se développent, s'échelonnent de -5° à -15°C vers les profondeurs et jusqu'à 113°C dans les régions géothermiques.

Environ 71% de la surface de terre est occupée par l'eau, dont plus de 97% sont contenus dans les océans. Moins de 1% de l'eau se trouve dans les cours d'eau, les rivières et les lacs. Les principaux acteurs microbiens dans ces habitats comprennent les phototrophes et les hétérotrophes.

Les conditions environnementales et physicochimiques diffèrent grandement entre ces milieux aquatiques. Un facteur important dans les milieux aquatiques est le mouvement des matériaux, qu'ils soient gazeux, solides ou dissous. Le mélange et le mouvement des éléments nutritifs, de l'oxygène et des déchets qui se produisent dans les milieux d'eaux douces et marines, sont des facteurs contrôlant la communauté microbienne. Les gaz et les déchets solubles produits par les microorganismes des profondeurs (marines et lacustres) stimulent l'activité d'autres groupes microbiens. Des phénomènes similaires peuvent se produire à plus petite échelle: biofilms et tapis microbiens, où il se forme des gradients sur une échelle de quelques micromètres.

La classification des eaux diffère d'une référence à une autre, quelques-unes les classifient suivant l'origine; quelques auteurs parlent même des eaux de pluies, certains autres s'intéressent à l'utilisation des eaux.

2.1. Les eaux naturelles

Les réserves disponibles d'eaux naturelles sont constituées des **eaux souterraines** (infiltration, nappes), des **eaux de surface** stagnantes (lacs, retenues de barrages) ou en écoulement (rivières, fleuves) et des **eaux de mer**.

L'ONU, avec le World Water Council, considère qu'un état de tension sur les ressources (« **stress hydrique** ») apparaît dès que les ressources renouvelables sont inférieures à $1\,700\text{ m}^3 \cdot \text{hab}^{-1} \cdot \text{an}^{-1}$, et devient critique à partir de $1\,000\text{ m}^3 \cdot \text{hab}^{-1} \cdot \text{an}^{-1}$; on voit que de nombreux pays ont déjà atteint ou atteindront rapidement cette limite (voir croissance démographique) et devront donc recourir, soit à des transports d'eaux à très longues distances (voire transfrontaliers), soit plutôt aux nouvelles ressources que constituent la réutilisation des eaux résiduaires et/ou le dessalement de l'eau de mer, sans oublier les gisements potentiels constitués par la lutte contre les fuites des réseaux et autres gaspillages.

La classification des eaux diffère d'une référence à une autre, quelques-unes les classifient suivant l'origine; quelques auteurs parlent même des eaux de pluies, certains autres s'intéressent à l'utilisation des eaux.

2.1.1. Eaux souterraines

De point de vue hydrogéologique les couches aquifères se divisent en:

Nappes phréatiques ou alluviales : Peu profondes et alimentées directement par les précipitations pluvieuses ou les écoulements d'eau en dessus,

Nappes captives : Plus profondes que les premières et séparées de la surface par une couche imperméable, l'alimentation de ces nappes est assurée par l'infiltration sur leurs bordures.

La nature du terrain sous lequel se trouvent ces eaux est un déterminant de leurs compositions chimiques, cependant elles sont appelées aussi les eaux propres car ils répondent 'en général' aux normes de potabilité. Pourtant, ces eaux sont moins sensibles aux pollutions accidentelles, elles perdent totalement leur pureté originale dans le cas de contamination par des polluants.

Quand une eau souterraine contient une concentration en certains minéraux dépassant les normes de potabilité, mais elle représente des propriétés thérapeutiques on la distribue en bouteilles avec parfois un traitement bien défini, ces eaux sont dites eaux minérales.

2.1.2. Eaux de surface

Ce type des eaux englobe toutes les eaux circulantes ou stockées à la surface des continents (rivières, lacs, étangs, barrages,...). La composition chimique des eaux de surface dépend de la nature des terrains traversés par ces eaux durant leurs parcours dans l'ensemble des bassins versants. Ces eaux sont le siège, dans la plupart des cas, d'un développement d'une vie microbienne à cause des déchets rejetés dedans et de l'importante surface de contact avec le milieu extérieur. C'est à cause de ça que ces eaux sont rarement potables sans aucun traitement.

2.1.3. Eaux des mers et océans :

Les mers et les océans constituent des énormes réservoirs d'eau, elles représentent près de 97.4% du volume d'eau existant actuellement sur notre planète, le reste est la part des eaux continentales (eaux souterraines et superficielles). Les eaux de mers sont caractérisées par une grande salinité, elles sont dénommées aussi « eaux saumâtres », ce qui rend leur utilisation difficile, notamment leur coût très élevé pour leur traitement.

2.2. Eaux de consommation

Ce sont les eaux destinées à la consommation domestique, elles ont connues une énorme croissance suite au développement démographique et à l'amélioration des conditions de vie des populations. La consommation domestique en eau varie de quelques litres par jour dans les pays sans adduction publique et à faible confort ménager jusqu'à plusieurs centaines de litres dans les pays très développés. Même si ce n'est qu'une petite quantité qui va être bu, jamais ces eaux ne sont distribuées qu'après traitement, trois facteurs déterminent le choix d'un traitement:

. La quantité : La source doit couvrir la demande, en toute circonstance.

. La qualité : La qualité de l'eau brute dont on dispose doit être compatible avec la législation en vigueur.

. L'économie : Le coût d'investissement et de fonctionnement du procédé de traitement relatif à chacune des ressources disponibles est déterminant lors de la prise d'une décision.

Il faut signaler que les eaux destinées à la consommation doivent être en conformité avec certains paramètres (Tableau 1, **pour les autres paramètres voir Journal officiel N° 18 du 23 Mars 2011**).

Tableau 1. Paramètres microbiologiques de qualité de l'eau de consommation humaine

| Bactéries | Unités | Valeurs limites |
|---|-----------|-----------------|
| <i>Escherichia coli</i> | Nb/100 mL | 0 |
| Entérocoques | Nb/100 mL | 0 |
| Sulfitoréductrices y compris les spores | Nb/20 mL | 0 |

2.3. Eaux industrielles :

La qualité et la quantité des eaux utilisées dans l'industrie sont très variables, elles dépendent du type de l'entreprise productrice et de sa taille (tableau 2). Une eau qui va entrer dans un cycle de refroidissement d'une chaudière est moins exigeante que l'eau utilisée dans l'industrie électronique.

Tableau 2. Principales utilisations industrielles de l'eau et sources d'eau possibles

| Sources d'eau après traitement adéquat | Utilisation |
|--|----------------------------------|
| Eau moyennement minéralisée | Agroalimentaire |
| Eau potable | Pharmacie |
| Eaux de forage | Papiers blancs |
| Eaux de surface peu polluées | Teintureries |
| | Textiles |
| | Chimie |
| Eaux de forage | Pharmacie |
| | - Chaudières |
| Eaux de surface peu polluées | - Préparation des bains divers |
| | - Rinçages en galvanoplastie |
| | - Eau ultra pure |
| | - Dessalement par osmose inverse |

2.4. Eaux usées

L'utilisation des eaux engendre un nouveau produit appelé effluent ou eau usée. Les problèmes liés aux eaux usées sont aussi anciens que ces eaux elles même et ils s'aggravent suivant la croissance démographique, l'amélioration de la qualité de vie des populations et le développement des activités industrielles.

Les eaux usées se divisent en deux grandes catégories : les eaux résiduaires urbaines et les eaux résiduaires industrielles.

2.4.1. Eaux résiduaires urbaines

Les eaux résiduaires urbaines (ERU) regroupent les eaux ménagères, les eaux vannes et les eaux de ruissellement. La composition et les caractéristiques d'une eau résiduaire urbaine sont peu variables par rapport aux eaux usées industrielles (Figure 1).

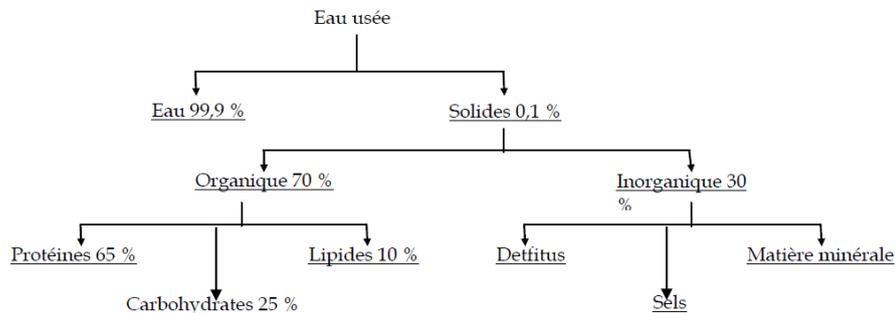


Figure 1. Composition d'une eau usée domestique

2.4.2. Eaux résiduaires industrielles

Les caractéristiques des eaux usées industrielles subissent des grandes variations, elles dépendent à une multitude de paramètres type de l'industrie, production, nettoyage,..., les différentes étapes du procédé industriel, l'état des appareils,... Par ailleurs, il existe des caractéristiques communes entre les effluents de la même industrie.

En termes de volume et type de polluants, les effluents industriels présentent le plus souvent une charge importante et un risque de dysfonctionnement structurel et fonctionnel des réseaux d'assainissement et des dispositifs de traitement des eaux usées. Ces risques sont d'autant plus grands que les industries sont localisées en amont du réseau d'assainissement.

Les principaux polluants transitant dans les eaux usées d'origine industrielle sont, les métaux toxiques, les toxines organiques, les matières colorées, les huiles et graisses, les sels, et la pollution organique.

2.5. Les Micro-organismes des milieux aquatiques

L'eau est un milieu qui permet la survie et le développement d'une grande variété d'organismes, les photoautotrophes, les photohétérotrophes, les chimiohétérotrophes et les chimiolithoautotrophes. La diversité microbienne dépend des nutriments disponibles, de leurs diverses concentrations (allant de niveaux extrêmement bas jusqu'à des niveaux très élevées), des transitions de zones aérobies à zones anaérobies, et du mélange des oxydants et des réducteurs dans cet environnement dynamique. De plus, la pénétration de la lumière dans de nombreuses zones anaérobies crée des milieux favorables à certains types de micro-organismes photosynthétiques.

La principale source de matière organique dans les eaux de surface éclairées est l'activité photosynthétique, essentiellement due au phytoplancton. *Synechococcus* est un genre commun dans le plancton ; il peut atteindre des densités de 10^4 à 10^5 cellules par millilitre, à la surface des océans. Les picocyanobactéries (cyanobactéries de très petites tailles) peuvent représenter 20 à 80% de la biomasse phytoplanctonique totale dont dépend des prédateurs.

En croissant et en fixant le CO_2 pour former de la matière organique, le phytoplancton tire de l'eau environnante, l'azote et le phosphore dont ils ont besoin. Lorsque le phytoplancton s'est développé, une grande part de la matière organique fixée par ces minuscules organismes entre dans la boucle microbienne. (Figure 2). Dans cette boucle, la matière organique est recyclée en dioxyde de carbone et en sels minéraux. La matière organique dissoute libérée par le phytoplancton est utilisée par les bactéries hétérotrophes.

Il faut noter que c'est dans les milieux aérobies que la boucle microbienne fonctionne le mieux. Là où l'on trouve en même temps des micro-organismes photosynthétiques actifs et des consommateurs supérieurs. Si une eau reçoit trop de matière organique, elle devient anaérobie et nauséabonde et impropre à la vie des consommateurs supérieurs comme les poissons.

La diversité microbienne dépend des nutriments disponibles, de leurs concentrations, des transitions de zones aérobies à zones anaérobies et du mélange des oxydants et des détecteurs. La pénétration de la lumière dans de nombreuses zones anaérobies crée des milieux favorables à certains

types de microorganismes photosynthétiques. L'abondance des procaryotes est estimée à 10^{29} cellules dans les océans excédant ainsi la biomasse combinée du zooplancton et des poissons.

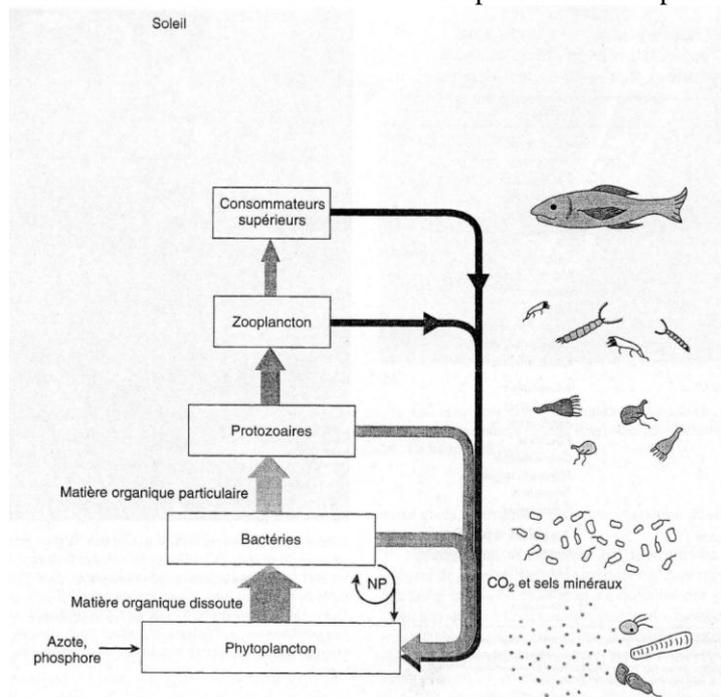


Figure 2. La boucle microbienne: une grande partie de la matière organique synthétisée par le phytoplancton au cours de la photosynthèse est libérée sous forme de matière organique dissoute. Celle-ci est utilisée par les bactéries. Une certaine quantité de ces bactéries sert de nourriture aux protozoaires. Suite à la digestion par les protozoaires, une partie des nutriments contenus dans les bactéries et les protozoaires eux-mêmes est minéralisée et réintègre la boucle via le phytoplancton. Ces nutriments ne sont donc plus disponibles pour les niveaux trophiques supérieurs de l'écosystème

2.5.1. Les bactéries

Par comparaison avec les environnements La communauté microbienne est dominée par de nombreuses ultra micro-bactéries ou nano bactéries, en particulier *Sphingomonas*, qui passe facilement au travers des filtres de 0.2µm. Un autre retrouvée sur la côte de Namibie : *Thiomargarita namibiensis* : la plus grosse bactérie du monde (100 à 300µm) utilisant le sulfure et le nitrate comme réducteur et oxydant, qu'elle emmagasine dans une énorme vacuole (800mM de nitrate ; granules de soufre en périphérie). Ces bactéries sont importantes pour le recyclage du soufre et de l'azote dans ces milieux. Les archéobactéries et les bactéries planctoniques sont présentes aussi bien dans les eaux douces que dans les mers, et dans les profondeurs océaniques. Les concentrations en bactéries sont plus élevées en surface, mais en-dessous de 100 mètres, les archéobactéries constituent une portion plus grande de la population totale.

Le nombre de bactéries dans l'eau dépend principalement de la teneur en matière organique. Dans les eaux propres, elles sont présentes en faible nombre alors que les eaux polluées contiennent jusqu'à plusieurs millions de cellules par 1 ml.

2.5.2. Les Virus

Les milieux aquatiques abritent aussi de grandes populations de virus. Ceux-ci sont présents à des concentrations 10 fois supérieures à celle des bactéries. Il s'agit pour la plus part de bactériophages. Ce virioplancton constitue une partie importante de la communauté microbienne aquatique. Il peut influencer le fonctionnement de la boucle microbienne, intervenir dans le transfert horizontal de gènes entre procaryotes, et contrôler la diversité de la communauté microbienne.

2.5.3. Les mycètes

Les mycètes microscopiques, se développent aussi dans les milieux d'eaux douces et marins. Contrairement aux bactéries qui poussent le mieux dans les eaux dont le pH est compris entre 6 et 8, les champignons n'apparaissent que dans les eaux inférieures à 6,0. Les champignons se produisent

généralement dans les eaux peu profondes, directement sur ou juste sous la surface, ce qui est étroitement lié au fait que les organismes ont besoin de quantités importantes d'oxygène.

Les mycètes à zoospores sont adaptés à une existence aquatique et comprennent: les oomycètes (spores biflagellées), les zygomycètes et les chytrides (spores mono flagellées). Certaines espèces de ces derniers s'attaquent aux algues et aux amphibiens. Les mycètes filamenteux qui peuvent sporuler sous l'eau constituent les **hyphomycètes** incluant les mycètes **ingoldiens** produisant des **formes** tétraradiées particulières. Les conidies tétraradiées se forment sur un mycélium végétatif, qui se développe à l'intérieur des feuilles en décomposition. De plus, on trouve relativement fréquemment des champignons appartenant aux Ascomycètes ainsi qu'au Deutéromycètes dans les eaux de surface.

Les champignons n'apparaissent généralement pas dans les eaux propres. Ils poussent en abondance au fond des eaux polluées par les eaux usées.

2.5.4. Les algues

Les algues sont les eucaryotes autotrophes les plus simples qui incorporent plus de 20 000 espèces. Les algues sont présentes dans les eaux douces et marines. Ce sont des producteurs importants de matière organique et d'oxygène. Les algues vivent sous la forme de cellules uniques ou créent un corps pluricellulaire.

La composition de la communauté d'algues change considérablement en termes de qualité et de quantité, en fonction de la teneur en sels minéraux d'un réservoir donné ainsi que des caractéristiques des substances qui constituent le principal polluant. On peut y trouver des diatomées, des dinophytes et des spirogyres.

2.5.5. Les protozoaires

Les protozoaires vivent dans tous les types d'eaux, des petites flaques d'eau aux eaux intérieures, en passant par les mers. Ce sont des hétérotrophes qui se nourrissent en absorbant les composés organiques dissous ou sur les bactéries. Ils sont les plus nombreux dans les eaux fortement polluées. Lorsque le niveau de pollution n'est pas trop élevé, les ciliés deviennent prédominants.

2.6. Traitement biologique de l'eau

2.6.1. Traitement des eaux usées

L'autoépuration aérobie qui se produit lorsque des matières organiques sont apportées aux lacs et aux rivières peut être reproduites dans de grands réservoirs. Ceci implique la culture de microorganismes qui se développent normalement dans ces environnements dulçaquicoles. En effet, cette élimination des éléments nutritifs de l'eau usée diminue la dégradation des ressources d'eau et détruit les agents pathogènes potentiels de l'homme.

Le traitement des eaux usées implique trois étapes: un traitement primaire, un secondaire et un tertiaire.

2.6.1.1. Le traitement primaire ou physique

Le traitement primaire ou physique élimine 20 à 30% de la DBO présente sous forme particulaire par tamisage, par précipitation des petites particules et par décantation en bassins ou réservoirs (matière granuleuse semblable). On obtient ainsi une matière solide ou **Boue**. De 40 à 60% de solides en suspension sont éliminés des eaux usées par cette décantation. L'activité biologique n'est pas particulièrement importante dans le traitement primaire, bien que certaines digestions des boues et des matières organiques dissoutes puissent se produire pendant des périodes relativement longues.

2.6.1.2. Le traitement secondaire ou biologique ou élimination des matières organiques dissoutes

Dans ce traitement, on assiste à l'élimination de nombreuses bactéries pathogènes et la dégradation de 90 à 95% de la DBO. Le traitement secondaire des eaux usées, qui est majoritairement biologique. Dans ce procédé, les eaux d'égouts subissent une forte aération pour favoriser la croissance de bactéries aérobie et d'autres micro-organismes qui oxydent la matière organique dissoute en dioxyde de carbone et eau. Deux méthodes sont couramment utilisées pour ce traitement secondaire : les systèmes des boues activées et les filtres biologiques (lits bactériens).

a. Dans les bassins d'aération d'un système de boues activées, l'air ou de l'oxygène pur passe à travers l'effluent du traitement primaire. Le nom dérive de la pratique d'ajout d'une partie des boues provenant d'un lot précédent aux eaux usées entrantes. Cet inoculum est appelée boue activée car il contient un grand nombre microbes métabolisant les eaux usées. L'activité de ces micro-organismes aérobies oxyde une grande partie de la matière organique des eaux usées en dioxyde de carbone et en

eau. En particulier les espèces bactériennes du genre *Zoogloea*, qui forment des masses dans les bassins d'aération appelés floc, ou granules de boues. La matière organique soluble dans l'eau usée est incorporé dans le floculat et aux micro-organismes. L'aération est interrompue après 4 à 8 heures, et le contenu du réservoir est transféré dans un bassin de décantation, où le floculat se dépose, en supprimant ainsi une grande partie de la matière organique en question. Ces solides sont ensuite traités dans un digesteur de boues anaérobie. Ce processus de décantation élimine probablement plus de matière organique que l'oxydation aérobie par les microbes. L'effluent clair est alors désinfecté par chloration ensuite évacué.

b. Filtres biologiques sont une méthode couramment utilisée dans un traitement secondaire. Dans ce procédé, l'effluent est pulvérisé sur un lit de roches ou de matière plastique moulée. Les composants du lit doivent être assez grands pour que l'air pénètre au fond, mais assez petit pour maximiser l'aire de surface disponible pour l'activité microbienne. Un biofilm de microbes aérobie se développe sur les roches ou les surfaces en plastique. Parce que l'air circule à travers le lit de roches, les micro-organismes aérobies peuvent oxyder la majeure partie de la matière organique en dioxyde de carbone et en eau. Les filtres percolateurs suppriment 80 à 85 % de la DBO, de sorte qu'ils sont généralement moins efficaces que les systèmes de boues activées. Cependant, ils sont généralement moins pénibles à utiliser et posent moins de problèmes de surcharges ou des eaux usées toxiques. Ce système aussi produit des boues.

c. Désinfection et évacuation Les eaux usées traitées sont désinfectées, généralement par chloration, avant d'être évacuées. L'évacuation est généralement effectuée dans les cours d'eau ou dans l'océan. Les eaux usées peuvent être traités à un niveau de pureté qui permet son utilisation comme de l'eau potable. Dans un système typique, l'effluent traité est filtré pour éliminer les particules microscopiques en suspension, puis passent à travers un système de purification d'osmose inverse pour éliminer les micro-organismes. Les micro-organismes restants sont tués par l'exposition à la lumière UV ou à un autre désinfectant.

d. Digestion des boues Les boues issues des traitements primaires et secondaires s'accumulent, ces boues sont souvent pompées vers des digesteurs anaérobies digesteur , cependant, est conçu pour la croissance des anaérobies, en particulier des bactéries productrices de méthane qui diminuent ces solides organiques en les dégradant en substances solubles et gaz , principalement du méthane (60-70%) et de dioxyde de carbone (20-30%) . Le méthane et le dioxyde de carbone sont des produits finaux relativement inoffensifs. Le méthane est utilisé comme combustible pour le chauffage du digesteur et est aussi fréquemment utilisé pour faire fonctionner l'équipement électrique dans l'usine.

Il existe essentiellement trois étapes de l'activité d'un digesteur anaérobie de boues. **La première étape** est la production de dioxyde de carbone et des acides organiques par fermentation anaérobie des boues par divers microorganismes anaérobie et anaérobie facultatifs. **Dans la seconde phase**, les acides organiques sont métabolisés en dihydrogène et du dioxyde de carbone, ainsi que des acides organiques tels l'acide acétique. Ces produits sont des matières premières pour **la troisième étape** dans laquelle les bactéries productrices de méthane produisent le méthane (CH_4). Après la digestion anaérobie, de grandes quantités de boues non digérées restent, même si elles sont relativement stables et inertes. Après extraction d'eau, les boues peuvent être enfuies.

2.6.1.3. Le traitement tertiaire

Le traitement tertiaire qui est soit physique et/ou biologique permet d'éliminer les substances chimiques, l'azote et le phosphore inorganique mais aussi d'autres composés récalcitrants, qui n'ont pas été éliminés par les traitements primaires et secondaires.

Des quantités de matière organique qui ne sont pas excessives peuvent être libérées dans un flux sans provoquer de problèmes grave. Cependant, les pressions de la croissance démographique pourrait augmenter les déchets au-delà de la capacité de transport de l'eau, et des traitements supplémentaires pourraient être nécessaires. Certaines collectivités ont donc mis au point des usines de traitement tertiaires des eaux usées. Lake Tahoe, dans la Sierra Nevada, entouré par un large développement, est le site de l'un des systèmes de traitement des eaux usées les plus connus. L'effluent des usines de traitement secondaire contient certains DBO résiduelle. Il contient également environ 50% de l'azote original et 70% du phosphore d'origine, ce qui peut grandement affecter l'écosystème d'un lac. Le traitement tertiaire est conçu pour éliminer pratiquement toute la DBO, l'azote et le phosphore. Le traitement tertiaire est moins dépendant du traitement biologique mais utilise plutôt les traitements physiques et chimiques. Le phosphore est précipité par combinaison avec des produits chimiques tels

que la chaux, l'alun et le chlorure ferrique. Les filtres de sables fins et le charbon activé suppriment les petites particules et les substances chimiques dissoutes. L'azote est converti en ammoniac et est ensuite libéré dans l'air par l'intermédiaire de tours de stripping. Certains systèmes encouragent la dénitrification par les bactéries pour former de l'azote gazeux volatil. Dans ce cadre le processus de traitement anaérobie et aérobie (anaérobie-anoxique-oxydant : AAO) sont souvent utilisés ensemble dans une séquence soigneusement conçue. La séquence complète comprend trois étapes: (1) traitement anaérobie des déchets(A), (2) le traitement de ce produit avec du nitrate ajoutée dans des conditions anoxiques pour promouvoir la dénitrification(A), et (3) avant rejet dans l'environnement le "polissage" de l'effluent dans des conditions aérobies. Enfin, l'eau purifiée est chlorée. L'eau fournie est potable, mais ce traitement est relativement coûteux.

2.6.1.4. Fosses septiques

Les foyers et les entreprises situés dans des zones à faible densité de population et qui ne sont pas connectés à un système d'égouts municipal, utilisent souvent une fosse réservoir. Ce dispositif a un principe de fonctionnement similaire au traitement primaire. Les eaux usées entrent dans un réservoir de stockage où les matières en suspension se déposent (La boue dans le réservoir doit être pompée et éliminée périodiquement). Les flux d'effluents passent à travers un système de tuyaux perforés dans un champ de lixiviation (sol de drainage, Figure 3). L'effluent entrant dans le sol est décomposé par les microorganismes du sol. L'action microbienne nécessaire au bon fonctionnement d'une fosse septique peut être altérée par un excès de quantités de produits tels que : les savons antibactériens, déboucheurs, médicaments, et l'eau de Javel. Ce système fonctionne bien quand il n'est pas surchargé, et que le système de drainage est correctement dimensionné pour la charge et le type de sol. Les sols lourds et argileux nécessitent de vastes systèmes de drainage à cause de la faible perméabilité du sol. Par contre, la grande porosité des sols sableux peut entraîner une pollution chimique ou bactérienne de l'eau à proximité de la fosse.

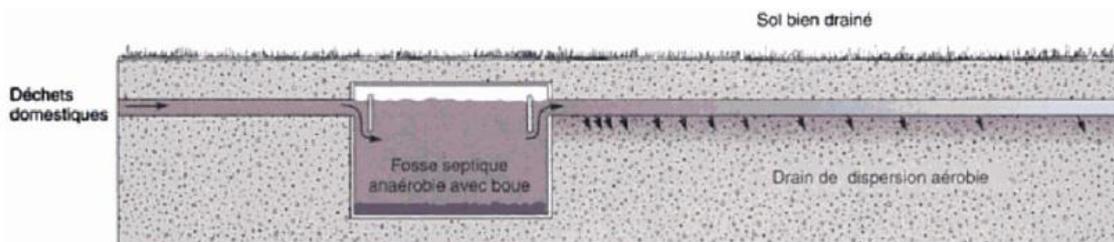


Figure 3. Système de traitement des eaux usées par fosse septique (Prescott et al. , 1995)

2.6.1.5. Epuration par les marais artificiels

Les zones humides sont une ressource naturelle vitale et un élément essentiel de notre environnement, et les efforts de plus en plus sont en cours pour protéger ces communautés aquatiques fragiles de la pollution. L'utilisation de marais artificiels où encore les composants de base des zones humides naturelles (sols, plantes aquatiques, et eaux) sont utilisés comme un système fonctionnelle de traitement des déchets. En effet, ils sont de plus en plus utilisés dans le traitement des déchets liquides et pour la bioremédiation. Ce système utilise des plantes flottantes, émergentes, ou immergées. Les plantes aquatiques fournissent des éléments nutritifs dans la rhizosphère, qui peut soutenir la croissance microbienne. Surtout avec les plantes émergées, la zone de la racine peut être maintenue dans un état anaérobie par exemple : *Desulfovibrio* utilisant la matière organique de la rhizosphère comme source d'énergie, et dans laquelle le sulfure synthétisé par la bactérie peut piéger les métaux. Ces systèmes de plantes émergentes ont trouvé de nombreuses applications dans le traitement des eaux de mines abandonnées, mais aussi le drainage minier acide (AMD) dans de nombreuses parties du monde.

Les différents types de plantes aquatiques et les micro-organismes associés peuvent être utilisés dans des systèmes intégrés pour éliminer les matières organiques, les substances nutritives inorganiques et les métaux dans les eaux.

Une autre méthode de traitement des effluents est l'écoulement de surfaces simples. Dans cette approche les déchets liquides sont autorisés à s'écouler à travers un champ planté ou labouré, où la transformation microbienne aérobie des déchets peut se produire. Surtout avec les augmentations de la

production animale (de bovins de boucherie, volaille) ou ces grandes opérations commerciales produisent une pollution massive.

2.6.2. Traitement de l'eau potable

Lorsque l'eau est obtenue à partir des réservoirs intacts alimentés par un flux montagneux clairs ou de puits profonds, elle nécessite un minimum de traitement pour la rendre potable. De nombreuses villes, toutefois, obtiennent leur eau de sources polluées, comme les rivières qui ont reçu déchets municipaux et industriels en amont. Le traitement de l'eau n'est pas destiné à produire de l'eau stérile qui est exempt de microbes pathogènes.

La purification de l'eau peut comprendre une variété d'étapes, selon le type d'impuretés dans la source d'eau brute. Par exemple, si l'eau brute contient de grandes quantités de fer et de manganèse, qui précipitera souvent lorsque l'eau est exposée à l'air, il peut être nécessaire d'aérer l'eau et d'employer d'autres méthodes pour éliminer ces ions au début de la séquence de purification. Habituellement, l'eau municipale est purifiée par un procédé qui consiste en au moins trois ou quatre étapes.

Sédimentation : Si l'eau brute contient une grande quantité de matières en suspension, elle est souvent d'abord dirigée vers un bassin de sédimentation et est maintenue de façon que le sable et d'autres particules très grands puissent s'y déposer.

Floculation : L'eau partiellement clarifiée est ensuite mélangée avec des produits chimiques tels que l'alun (sulfate de potassium aluminium) et la chaux, et est déplacée vers un bassin de décantation où le plus de matière précipite. Cette procédure est appelée coagulation ou floculation, qui consiste à piéger la matière colloïdale et l'entraîner vers le bas. Cette procédure supprime les micro-organismes (bactéries et virus), la matière organique, les contaminants toxiques, et les particules fines en suspension (matières colloïdales telles que l'argile qui pourrait rester en suspension indéfiniment).

Filtration : Après floculation, l'eau est en outre purifiée par passage à travers une unité de filtration. Les filtres à sable, qui dépendent du piégeage physique de particules fines et de floccs sont habituellement utilisés à cette fin. Cette filtration élimine jusqu'à 99 % des bactéries restantes (Prescott et al., 2010). Certains protozoaires les kystes et les oocystes sont éliminés de l'eau seulement par cette filtration. Les micro-organismes sont piégés pour la plupart par adsorption à la surface des particules de sable. Ces systèmes peuvent être complétés avec des filtres de charbon activé. En effet, le charbon supprime non seulement les fines particules, mais aussi les polluants chimiques organiques dissous. Ce système de traitement pourra supprimer les virus (qui sont plus difficiles à éliminer que les bactéries et les protozoaires) avec un rendement d'environ 99,5 %. La filtration sur membrane à basse pression sont aussi utilisés, ont des ouvertures de pores aussi petits que 0,2µm.

Désinfection : Après filtration, l'eau est traitée avec un désinfectant. Cette étape implique généralement la chloration, ozonation, cette dernière est de plus en plus populaire. Lorsque la chloration est utilisée, et étant donné que la matière organique neutralise le chlore, on doit accorder une attention constante à maintenir des niveaux efficaces de chlore. La dose de chlore doit être suffisamment grande pour laisser le chlore libre résiduel à une concentration de 0,2 à 2,0 mg / litre. Cependant la création de sous-produits de désinfection (SPD) est préoccupante, tels que les trihalométhanes (THM) qui se forment lorsque le chlore réagit avec la matière organique. Certains de ces composés peuvent être cancérigènes. Le traitement à l'ozone est apprécié, car il ne laisse pas de goût ou d'odeur. Parce qu'il a peu d'effet résiduel, l'ozone est habituellement utilisé comme un traitement de désinfection primaire et est suivie par la chloration. L'utilisation d'une lumière UV est également un complément ou alternative à la désinfection chimique.

2.7. Analyse qualitative de l'eau

Historiquement, la plupart de nos préoccupations sur la pureté de l'eau ont été associées à la transmission des maladies. Par conséquent, des tests ont été mis au point pour déterminer la sécurité sanitaire de l'eau.

La surveillance sanitaire et la détection des micro-organismes pathogènes sont une partie importante de la microbiologie. Un large éventail de maladies virales, bactériennes, et à protozoaires résultent de la contamination de l'eau par des matières fécales humaines. Bien que bon nombre de ces agents pathogènes puissent directement être détectés, les microbiologistes environnementaux utilisent des organismes spécifiques comme indicateurs de contamination de l'eau par ces agents pathogènes.

Les coliformes, dont *Escherichia coli* et *Enterobacter aerogenes* sont des membres de la famille des entérobactéries ; représentent environ 10% des micro-organismes intestinaux chez l'homme et les animaux. Ces bactéries sont largement utilisées comme micro-organismes indicateur,

perdant leur viabilité en eau douce à un rythme plus lent que la plupart des principaux agents pathogènes intestinaux. Lorsque de telles bactéries entériques indicatrices ne sont pas détectables dans un volume spécifique (100 ml) d'eau, l'eau est considérée comme étant potable [du latin *potabilis* : bonne à boire], à la consommation humaine.

2.7.1. Test de fermentation

Les coliformes sont définis comme des bâtonnets gram-négatifs anaérobies facultatifs non-sporulant, **fermentent le lactose** avec formation de gaz dans les 48 heures à 35 ° C. Le test original de coliformes qui a été utilisé pour répondre à cette définition implique un test **présomptif**, un **confirmatif**, et un dernier **démonstratif (figure 4)**. L'étape présomptive est réalisée au moyen de tubes inoculés avec trois volumes différents d'échantillons pour donner une estimation du nombre le plus probable (NPP) de coliformes dans l'eau. Le processus complet, nécessite au moins 4 jours pour les transferts et les incubations. Malheureusement, les coliformes comprennent un large éventail de bactéries dont la source primaire ne peut pas être le tractus intestinal. Pour faire face à cette difficulté, des tests ont été développés pour mettre en évidence la présence de coliformes fécaux. Ce sont des coliformes provenant de l'intestin des animaux à sang chaud, qui peuvent se développer à une température plus restrictive de 44,5°C.

Pour tester la présence de coliformes et coliformes fécaux, une série de tests simples spécifiques et plus efficace ont été développés pour récupérer les coliformes stressés. Il s'agit notamment de la technique de la membrane de filtration, le test de la présence - absence (PA) des coliformes et le test **Colilert** de détection des coliformes et d'*E. coli* par un substrat défini.

2.7.2. La technique de filtration sur membrane

Le procédé de filtration sur membrane est une méthode plus directe pour la détermination de la présence et le dénombrement de coliformes, pour évaluer les caractéristiques microbiologiques de l'eau. L'échantillon d'eau est passé à travers une membrane filtrante de porosité déterminée (0.45µm). Le filtre portant à sa surface les bactéries piégées est transféré sur un support solide de milieu adéquat. L'utilisation du milieu approprié permet la détection rapide des coliformes totaux (Endo), les coliformes fécaux (milieu de sel biliaire (m-FC agar) contenant un colorant aniline bleue), et des streptocoques fécaux (milieu contenant de l'azoture (KF agar) avec TTC (chlorure de triphenyltétrazolium) par leurs colonies caractéristiques. Cette méthode est adaptée pour les eaux à faible turbidité (celle-ci risque d'obstruer le filtre), et contenant relativement peu de bactéries (les non coliformes) qui masqueraient les résultats.

2.7.3. Tests P/A et tests ONPG et MUG

Ces tests ont des tests plus simplifiés pour détecter les coliformes et des coliformes fécaux sont actuellement disponibles. Le test de présence-absence (test PA) peut être utilisé pour les coliformes, dans lequel un échantillon d'eau (100 ml) est incubé dans un flacon de culture unique avec un bouillon triple concentré de bouillon contenant du lactose, du bouillon tryptose lauryl, et du bromocrésol pourpre comme indicateur. Le test PA est basé sur l'hypothèse d'une absence totale des coliformes dans 100 ml d'eau potable. Un test positif se traduit par la production d'acide (une couleur jaune) et constitue un test présumé positif nécessitant confirmation.

Une méthode plus récente et plus commode de détection des coliformes, spécifiquement le coliforme fécal *E. coli* a été mise au point par le test de substrat défini **Colilert**. Un échantillon d'eau de 100 ml est ajouté à un milieu spécifique contenant l'o-nitrophényl-β-D-galactopyranoside (ONPG) et de 4-méthylumbelliferyl-β-D-glucuronide (MUG) comme seuls nutriments. Les coliformes produisent la β-galactosidase, qui agit sur l'ONPG qui libère le o-nitrophénol et donne une couleur jaune dans les 24 heures à 35 ° C, indiquant leur présence dans l'échantillon. *E. coli* est l'unique coliforme produisant presque toujours la β-glucuronidase. Pour le vérifier, le milieu est observé sous UV. Lorsque *E. coli* est présente, on observe un produit fluorescent. Si le test est négatif quant à la présence de coliformes, l'eau est considérée potable pour la consommation humaine.

Ces tests simples, peuvent détecter la présence ou l'absence de coliformes ou d'*E.coli* et peuvent être combinés avec la méthode des tubes multiples pour les énumérer. Il peut également être appliqué à des milieux solides, tels que le procédé de filtration sur membrane, où les colonies apparaissent fluorescentes sous la lumière UV.

D'autres organismes indicateurs. Les entérocoques fécaux sont de plus en plus utilisés comme un indicateur de contamination fécale dans l'eau saumâtre et marine. Dans l'eau salée ces bactéries

meurent à un rythme plus lent que les coliformes fécaux, fournissant un indicateur plus fiable d'une pollution récente éventuelle.

Un problème encore plus grave est que certains agents pathogènes, en particulier les virus et les oocystes de protozoaires, sont plus résistants que les coliformes à la désinfection chimique. Grâce à l'utilisation de méthodes sophistiquées de détection des virus, il a démontré que les échantillons d'eau désinfectée chimiquement exempts de coliformes sont encore souvent contaminés par des virus entériques. Les kystes de *Giardia lamblia* et des oocystes de *Cryptosporidium* sont si résistants à la chloration que leur élimination complète par cette méthode est probablement impossible, les méthodes mécaniques telles que la filtration sont nécessaires. En règle générale, les virus sont plus résistants à la chloration qu'*E.coli*, et les kystes de *Cryptosporidium* et *Giardia* sont 100 fois plus résistants que les virus.

2.7.4. Techniques moléculaires

les techniques d'amplification moléculaire par PCR en temps réel sont aussi utilisées pour mettre en évidence la contamination de l'eau par les virus et les coliformes.

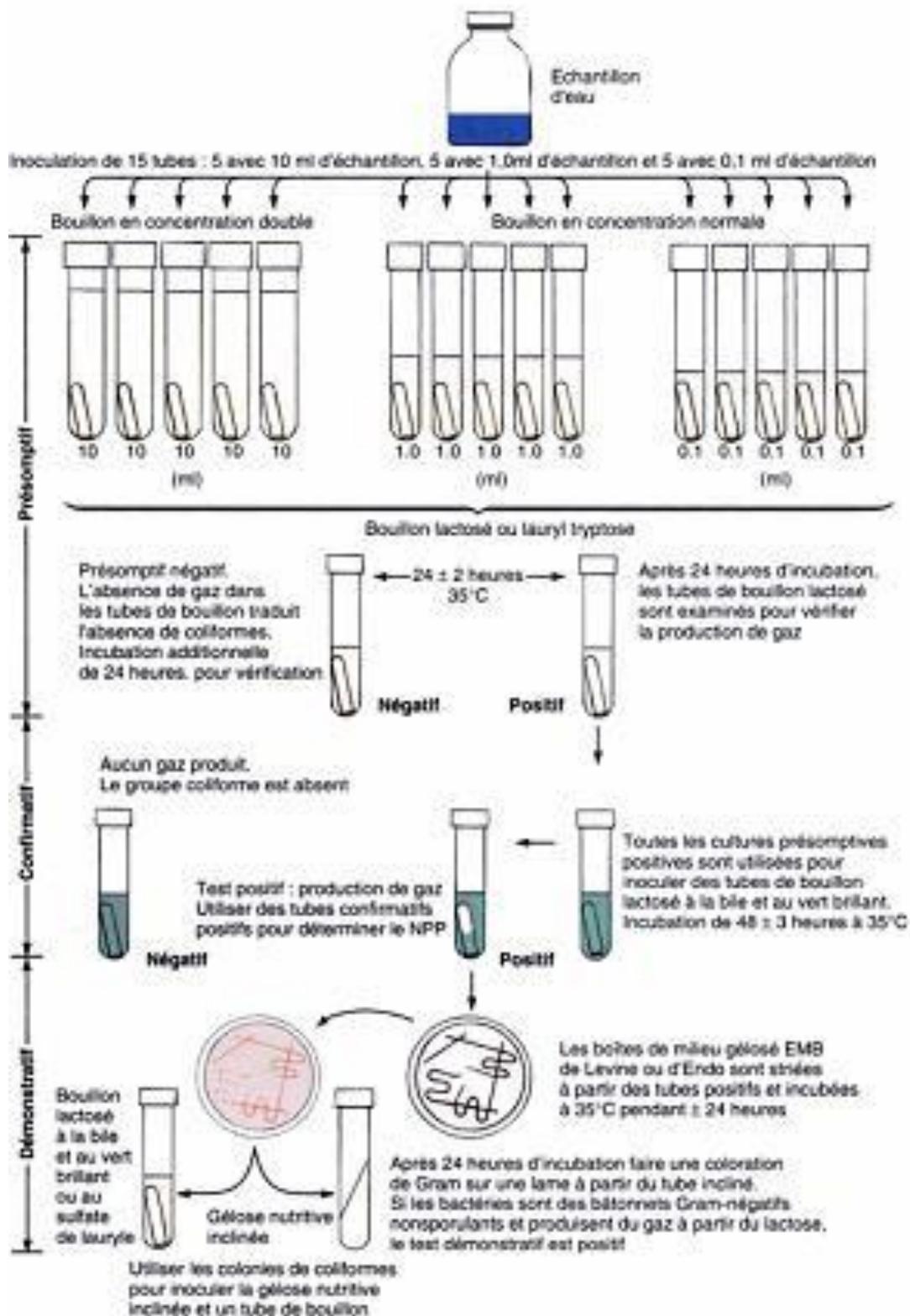


Figure 4. Test de fermentation à tubes multiple (Prescott *et al.*, 1995)