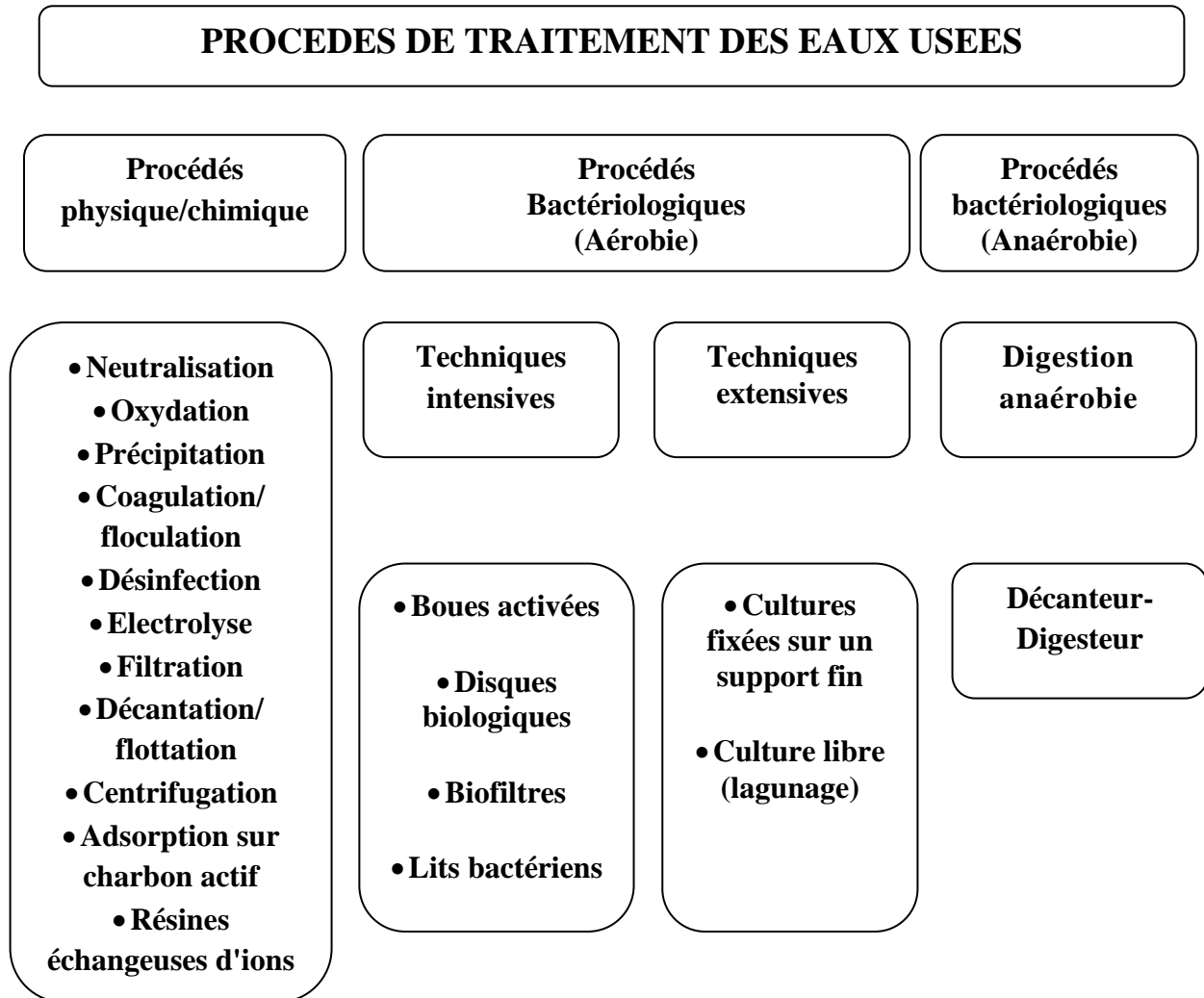


Chapitre 2 : PROCÉDES DE TRAITEMENT DES EAUX USEES

Introduction

Il existe principalement deux grandes catégories de techniques de traitement des eaux usées : Physico-chimiques et bactériologiques.



1 PROCÉDES PHYSICO-CHIMIQUES

1.1 Neutralisation

La neutralisation d'un effluent consiste à ramener son pH (par acidification ou par alcalinisation) à une valeur fixée en fonction des besoins. En effet, suivant l'utilisation de l'effluent la valeur du pH peut sensiblement varier :

On désigne par le terme de **neutralisation**, les **traitements de correction du pH** qui consistent à ramener le pH de l'effluent à une valeur voisine de la neutralité et en tout cas à l'intérieur d'une zone de valeurs bien définies.

Ces traitements concernent :

— la neutralisation des effluents dans la plage des pH correspondant aux normes réglementaires, avant rejet au milieu naturel ;

— la correction du pH avant un stade de traitement ultérieur qu'il soit physico-chimique (ajustement du pH de coagulation par exemple) ou biologique (pour éviter d'altérer la croissance bactérienne).

La neutralisation de l'alcalinité des effluents est généralement réalisée en les mélangeant avec les acides sulfuriques ou chlorhydriques, réactifs industriels avec lesquels les réactions sont pratiquement instantanées

L'acidité des eaux résiduaires industrielles est neutralisée en mélangeant les effluents avec des réactifs alcalins comme la soude (NaOH) ou la chaux éteinte $\text{Ca}(\text{OH})_2$ sous forme de lait de chaux, ou encore en procédant à leur filtration sur un produit alcalino-terreux : marbre, dolomie calcinée, etc.

1.2 Oxydation

Procédé d'oxydation : Bon nombre de polluants ne sont pas dégradables biologiquement et ne peuvent donc être éliminés au moyen de procédés biologiques. C'est par exemple le cas de nombreux hydrocarbures chlorés. Suite à des traitements inadéquats, on retrouve ces matières en de nombreux endroits des eaux souterraines, ce qui représente une menace pour l'Homme et l'environnement. Le procédé d'oxydation constitue une méthode efficace pour éliminer ce type de matières de l'eau. Il existe, pour traiter l'eau, une multitude de procédés d'oxydation différents. Ce que l'on appelle les « procédés d'oxydation avancés » sont en particulier de plus en plus utilisés ces dernières années. Ce qui caractérise en premier lieu ces procédés est la formation de radicaux OH très réactifs. Ces radicaux font partie des oxydants les plus puissants et sont ainsi en mesure d'oxyder pratiquement n'importe quelle matière. On peut générer des radicaux OH en irradiant de l'eau oxygénée (H_2O_2) avec de la lumière UV. On utilise à cet effet de préférence des rayonnements UV-C d'une longueur d'onde de 254nm.

1.3 Précipitation

La précipitation chimique regroupe un certain nombre de procédés qui réalisent tous l'application de la loi de Bertholet : on ajoute à l'eau un réactif soluble qui, par permutation ou combinaison avec les ions indésirables préexistants, forme un composé insoluble ou très peu soluble qui précipite jusqu'à sa limite de solubilité (déterminée par le produit de solubilité, cette dernière grandeur pouvant subir des variations importantes en fonction de la température, de la force ionique, de la nature des autres ions dissous, etc.).

L'aboutissement de ces réactions de précipitation combinées souvent avec une neutralisation des rejets, est toujours une séparation solide-liquide, mettant en œuvre des traitements classiques de décantation, flottation, voire filtration.

1.4 Coagulation / Flocculation

C'est un procédé physico-chimique qui a pour but de déstabiliser les matières colloïdales [1] (particules qui ne s'agglomèrent pas naturellement [2]).

L'eau reçoit un réactif destiné à provoquer l'agglomération [3] de ces particules en suspension en agrégats floconneux, dont l'ensemble forme une masse qu'on appelle le "floc". Les réactifs utilisés sont généralement des sels de fer ou d'aluminium. Chaque réactif coagulant n'étant actif que dans une certaine zone de pH, un ajustement du pH peut s'avérer nécessaire. Sous l'effet de son propre poids, le floc se dépose lentement.

La décantation est plus performante lorsqu'elle s'accompagne d'une **flocculation** préalable. La **coagulation-flocculation** permet d'éliminer jusqu'à 90 % des matières en suspension et 75 % de la DBO. Cette technique comporte une première phase d'adjonction d'un réactif, qui provoque l'agglomération des particules en suspension. Les amas de solides ainsi obtenus sont appelés « floccs ».

a- La coagulation

- Principe

La coagulation a pour objectif d'amorcer l'agrégation de particules colloïdales qui présentent un comportement très stable en solution. L'adjonction du coagulant produit dans un premier temps un ensemble de réactions complexes d'hydrolyse, d'ionisation et également de polymérisation, et dans un second temps, une déstabilisation des colloïdes par un ensemble de mécanismes complexes (compression de la double couche de Stern, absorptions et réactions spécifiques ioniques, réactions avec et au sein des précipités d'hydroxydes).

Il apparaît que l'action de coagulation se produit d'autant mieux que les cations présentent une forte valence, ainsi Fe^{3+} est dix fois plus efficace que Fe^{2+} (théorie de Schulze Hardy).

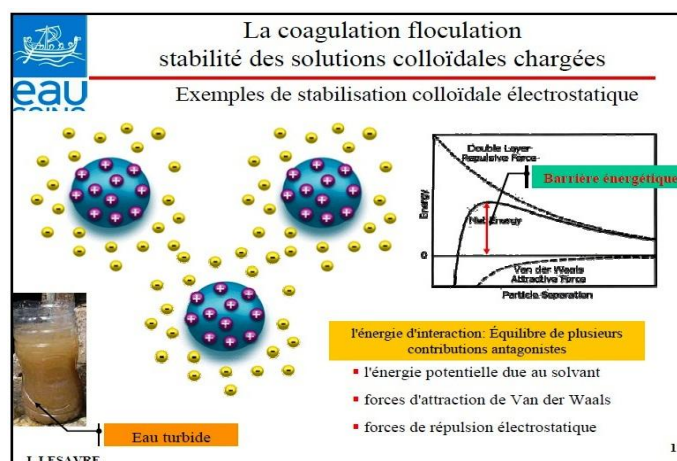
- Application pratique

Les réactifs utilisés sont en général le sulfate d'alumine ($Al_2(SO_4)_3(H_2O)_{18}$), le chlorure ferrique ($FeCl_3$) et le sulfate ferreux ($FeSO_4(H_2O)_7$), à signaler également l'emploi de l'oxychlorure d'aluminium ($Al(Cl)_n(OH)_m$ avec $n+m=3$) et de l'aluminate de sodium (AlO_2Na).

L'efficacité des réactifs est conditionnée par la zone de pH, ainsi, chlorure ferrique et sulfate d'alumine sont-ils injectés entre pH 6 et 7,4 et pH 5,5 et 7,4 respectivement, le sulfate ferreux étant employé autour de pH 8,7 à 9,5. L'utilisation de ces sels d'acides forts a pour effet une montée du pH (la formation d'hydroxydes est associée à la libération d'un proton), ce qui implique souvent le recours à des produits tampons pour contrôler le pH, tels que la soude ou la chaux.

Les critères de choix d'un réactif sont de deux natures : le coût et la spécificité. En France, le sulfate ferreux est le moins cher, suivi par le sulfate d'alumine et enfin le chlorure ferrique. Le sulfate d'alumine et le chlorure ferrique sont les coagulants les plus couramment employés, en particulier pour les effluents urbains.

La réaction de coagulation se réalise en une fraction de seconde, la précipitation de l'ion métallique s'effectuant instantanément, aussi est-il nécessaire d'assurer une diffusion très rapide des réactifs, ce qui est obtenu soit par injection dans la canalisation d'aménée (au poste de pompage), soit dans un réacteur brassé (rapide mixing).



b- La floculation

- Principe

Les colloïdes déstabilisés se rassemblent progressivement pour former des floccs qui sont des agrégats de taille suffisante pour être séparés de la phase liquide. Ce phénomène d'agrégation se produit même sans agitation en raison des phénomènes diffusionnels (mouvements browniens) qui se produisent dans le processus de floculation péricinétique (très lente). L'efficacité de cette agrégation s'accroît lorsque le milieu est mécaniquement agité, c'est la floculation orthocinétique, engendrée par des gradients de vitesse, et qui est développée dans le traitement physico-chimique.

La floculation physique à l'échelle industrielle est accélérée par l'adjonction de réactifs tels que les polymères à fort poids moléculaire ($M=10^6$) qui forment armature.

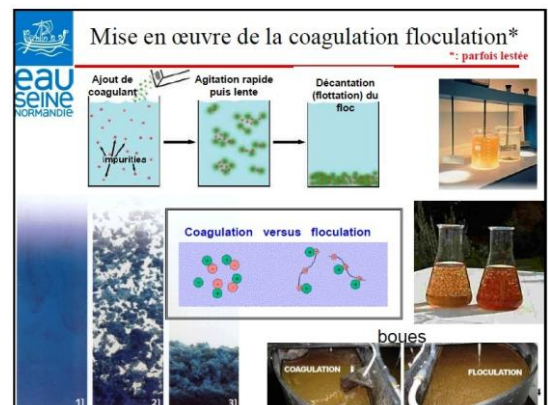
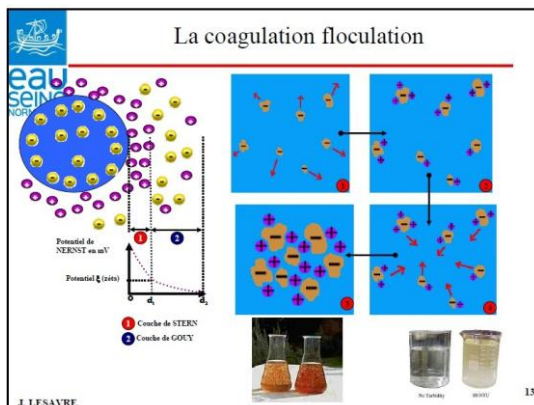
- Application pratique

La floculation s'amorce après précipitation du coagulant en hydroxyde. Avec la polymérisation, les colloïdes et les matières en suspension sont progressivement emprisonnés. La structure formée a souvent besoin d'un flocculant pour être extraite du milieu. Les polymères utilisés pour la floculation sont souvent des polyélectrolytes organiques ou des hydroxydes métalliques du type $([Fe(OH)_3])_n$ ou $([Al(OH)_3])_n$.

Les produits organiques introduits pour accélérer la floculation sont des macromolécules dont le motif de base est souvent l'acrylamide.

Il existe trois catégories de polymères fonction de leur charges (les polymères anioniques sont les plus utilisés, les cationiques ou non ioniques le sont parfois), le choix du réactif optimal fait l'objet, en général, de tests en laboratoire.

Le flocculant est introduit au niveau de l'agitateur situé dans le réacteur, et le temps d'action est compris entre 5 et 20 minutes. La puissance d'agitation doit également être contrôlée afin d'optimiser la croissance des floccs qui est perturbée par des fortes turbulences.



Notes

[1] Les particules en suspension inférieures au micromètre et supérieures à quelques nanomètres sont dites en suspension colloïdale. Les argiles, oxydes métalliques, carbonates, ainsi que les acides humiques, les protéines de haute masse moléculaire et certains virus font partie de cette classe substances colloïdales (Source : "Le traitement des eaux de surface pour la production d'eau potable", guide technique, Agence de l'Eau Loire Bretagne, et B. Legube, septembre 1999).

[2] Car leurs charges de surface induisent des forces de répulsion électrostatiques

[3] La coagulation consiste à ajouter des substances chimiques (sels de fer et d'aluminium), capables d'annuler les forces répulsives. Déstabilisées, les matières colloïdales sont soumises aux mécanismes d'agrégation ou d'adsorption (elles s'agglomèrent entre elles ou sont retenues à la surface d'autres molécules)

1.5 Désinfection

Cette étape, commune à tous les traitements, est la plus importante. Elle a pour but de neutraliser tous les virus et bactéries pathogènes. Elle n'est efficace que si l'eau a été préalablement bien traitée, notamment dans le cas des eaux de surface. Bien que les eaux souterraines soient souvent naturellement exemptes de microorganismes, la désinfection prévient le risque d'une contamination par infiltration dans la ressource et dans le réseau.

Elle peut être effectuée :

- **par des procédés chimiques** : oxydation chimique avec des agents chlorés (chlore gazeux, eau de Javel, bioxyde de chlore) et ozone, ou rayonnements ultraviolets.

- La désinfection par oxydation chimique

La chloration est actuellement le procédé de désinfection le plus fréquemment rencontré, à la fois pour le prix de revient du chlore et pour sa simplicité de mise en œuvre. Le chlore gazeux est injecté à des doses précises ; un temps de contact suffisant doit être respecté afin d'assurer une efficacité maximale de l'oxydation. La combinaison du chlore et de la matière organique, lorsqu'elle est incomplètement éliminée au cours des étapes précédentes, conduit à la formation des composés sapides (qui donnent un goût) et de produits organo-chlorés potentiellement cancérigènes, pour lesquels la réglementation impose une teneur maximale admissible (limite de qualité

- **L'ozone** est très fréquemment utilisé par les usines de production d'eau potable à partir d'eaux de surface, pour son grand pouvoir désinfectant, notamment vis à vis des virus et des spores bactériennes, et ses autres propriétés en traitement d'affinage. Cependant, fabriqué sur le site, l'ozone est coûteux et sa mise en œuvre est relativement complexe.

- **par des procédés physiques comme la filtration sur membranes.**

Pour que la désinfection soit totalement efficace, il convient de maintenir un résiduel de désinfectant dans l'eau distribuée jusqu'au robinet du consommateur. Lorsque la désinfection finale est réalisée par l'ozone (qui présente un faible pouvoir rémanent), par les UV ou par les membranes, une légère injection de réactifs chlorés (chlore, eau de Javel ou dioxyde de chlore) est nécessaire.

- Les **rayonnements ultraviolets** et la **filtration sur membrane**

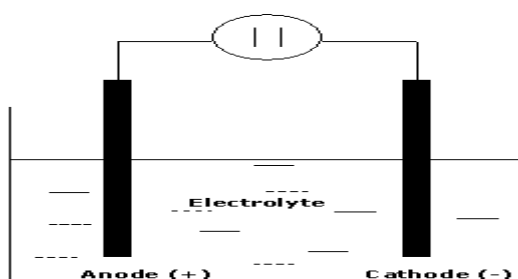
Les rayons ultraviolets ont un pouvoir germicide élevé et les procédés à membrane empêchent théoriquement tout microorganisme de pénétrer dans le réseau de distribution. Tout comme l'ozone, ces procédés n'ont pas d'action rémanente, c'est-à-dire qu'ils ont une action limitée dans le temps. Leur utilisation nécessite donc une injection de désinfectant chloré en aval afin d'éviter toute contamination par le réseau de distribution.

1.6 Electrolyse

L'application d'une différence de potentiel entre deux électrodes plongées dans un bain électrolytique (solution contenant des ions) crée un champ électrique orienté dans lequel les ions se mettent en mouvement : les cations se dirigent vers la cathode, les anions vers l'anode. Quand la tension appliquée est suffisante, les réactions suivantes se produisent aux interfaces électrolyte-électrodes :

Définition et principe de l'électrolyse:

L'électrolyse est un processus d'échange au cours duquel l'énergie électrique est transformée en énergie chimique. La réaction a lieu dans une solution d'eau salée: l'électrolyte. Les ions doivent pouvoir circuler librement dans l'eau pour passer d'une électrode à l'autre. Les deux électrodes sont reliées par l'électrolyte et par un générateur de courant électrique. Cette unité est présentée dans le graphique ci-dessous:



Si l'on applique un courant électrique entre les deux électrodes, les ions positifs migrent jusqu'à la cathode pendant que les ions négatifs se déplacent en direction de l'anode. Les ions positifs sont appelés cations alors que les ions négatifs sont eux appelés anions. Les cations sont capables, en raison de leur valence, de capter des électrons. Lors du contact entre les cations et la cathode ces derniers redeviennent un élément stable en perdant des électrons. Les anions réagissent de manière opposée: en cas de contact avec l'anode ils vont céder leurs électrons pour devenir un élément stable. Au niveau de l'électrode les cations sont réduits et les anions oxydés. Selon la nature des ions, le produit formé peut se dégager ou se déposer sur l'électrode.

Pour contrôler les réactions dans l'unité d'électrolyse il est possible de choisir entre différents matériaux pour les électrodes. De la même manière il est possible de sélectionner un type d'électrolyte pour promouvoir une réaction plutôt qu'une autre. L'électrolyte contient les ions qui conduisent le courant.

1.7 La filtration

La filtration : c'est l'élimination des particules invisibles, en suspension. Elle s'effectue le plus souvent sur une couche de sable et sera d'autant plus efficace que les grains seront fins. L'usage d'une couche de sable très fin, permet un écoulement plus lent pour favoriser le développement d'un biofilm (voile d'algues ou de bactéries) à la surface du sable. L'activité épuratrice de ce bio film permet la dégradation de la matière organique.

Elle est réalisée sur matériaux classiques (sable) ou sur membranes (cas des eaux souterraines karstiques).

- **La filtration sur lit de sable** (lit filtrant) : une couche de sable retient les particules et laisse passer l'eau filtrée. Le filtre peut jouer un double rôle suivant les conditions d'exploitation : d'une part, il retient les matières en suspension par filtration et d'autre part, il constitue un support bactérien permettant un traitement biologique, c'est à dire une consommation des

matières organiques et de l'ammoniac, ou du fer et du manganèse, par les bactéries qui sont développées sur le sable.

Le filtre à sable nécessite un nettoyage périodique afin d'éliminer les matières retenues entre les grains qui ralentissent le passage de l'eau. La filtration sur lit de sable, efficace, simple et peu coûteuse, s'est imposée, en raison des énormes volumes d'eau à filtrer.

- **La filtration sur membranes** (microfiltration notamment) est de plus en plus fréquemment utilisée, mais elle reste encore onéreuse. Elle est fondée sur l'utilisation de membranes de faible épaisseur, comportant des pores réguliers de très petites dimensions. Ces membranes, sortes de barrières physiques, peuvent être d'origine organique ou minérale.

L'eau circule sous pression à travers des membranes, constituées de longues fibres creuses et poreuses d'1 mm de diamètre sur 1,30 m de long et assemblées en faisceaux dans une cartouche cylindrique. Elles peuvent être de nature organique (polymère de synthèse) ou de nature minérale (type céramique).

Il existe quatre procédés membranaires classés selon le diamètre des pores sur les parois des fibres :

- **Les membranes de microfiltration** (de l'ordre de 100 nanomètres) permettent la rétention des bactéries, des parasites, des levures, des particules à l'origine de la turbidité (eau trouble en raison de matières en suspension).
- **Les membranes d'ultrafiltration** (de l'ordre de 10 nanomètres) arrêtent en plus les virus, les colloïdes.
- **Les membranes de nano filtration** (de l'ordre de 1 nanomètre) retiennent le calcium et la plupart des pesticides.
- **Les membranes plus denses** (de l'ordre de 0,1 nanomètre) stoppent aussi les ions métalliques. Cette dernière technique est appliquée au dessalement de l'eau de mer et à la production d'eau ultra pure et d'eau de processus.

1.8 Décantation ou Flottation

Ce sont des procédés physiques intervenant après la coagulation-floculation.

L'eau coagulée et floculée entre dans le décanteur à vitesse réduite de façon à éviter les turbulences. Les floes se déposent au fond de l'ouvrage et l'eau clarifiée est récupérée en surface.

A l'inverse, la *flottation* consiste à favoriser la clarification par entraînement des particules en surface, grâce à la génération de bulles d'air, qui s'accrochent aux matières en suspension et aux floes. Les flottants sont récupérés en surface par bras racleur.

1.9 Centrifugation

La centrifugation est un procédé de séparation qui utilise l'action d'une **force centrifuge** pour provoquer la **décantation accélérée des particules** d'un mélange solide-liquide.

Dans l'enceinte de centrifugation se forment deux phases distinctes :

- un culot de centrifugation (appelé **sédiment**). Ce culot n'a pas une structure homogène car il y a classification des particules selon leur masse volumique ;
- un liquide surnageant (appelé **centrat** ou **centrifugat**). Ce liquide n'est pas toujours bien clarifié (notamment en cas de présence de colloïdes). Il peut aussi comporter deux phases en cas de présence d'une phase plus légère que l'eau (huiles par exemple).

Dans le cadre du traitement de déchets, elle est utilisée afin de séparer les diverses phases en vue d'un traitement spécifique. Par exemple, des boues humides ainsi traitées donneront une phase liquide et des boues sèches qui iront chacune sur une chaîne de traitement particulière (épuration pour la phase aqueuses et valorisation pour les boues).

1.10 Adsorption sur charbon actif

L'adsorption est un processus où un solide est employé pour enlever une substance soluble de l'eau. Dans ce process, le charbon actif est le solide. Le charbon actif est produit spécifiquement pour couvrir une surface interne très grande (entre 500 et 1500 m²/g). Cette grande surface rend le charbon actif idéal pour l'adsorption. Il existe deux formes de charbons actifs: le charbon actif en poudre (PAC) et le charbon actif granulaire (GAC). Le GAC est, la plupart du temps, employé dans le traitement de l'eau

Principales applications

Les charbons actifs sont employés :

- **en traitement d'affinage** des eaux potables ou des eaux industrielles de haute pureté ; le charbon actif fixe alors les composés organiques dissous qui ont échappé à la dégradation biologique naturelle (autoépuration des cours d'eau), puis aux traitements physico-chimiques amont. En fait, ils ont tout d'abord été utilisés pour améliorer les qualités organoleptiques d'une eau en éliminant les matières organiques responsables de goûts, d'odeurs et de couleur. Avec l'accroissement de la pollution, leur emploi s'est étendu à l'élimination de nombreux polluants et micropolluants tels que les phénols, les hydrocarbures, les pesticides, les détergents et même certains métaux lourds qui ne sont pas totalement éliminés par la clarification. Ils participent également à l'élimination des précurseurs de **THM** et des sous-produits de désinfection ;
- **en traitement d'eaux résiduaires industrielles**, lorsque l'effluent n'est pas biodégradable ou lorsqu'il contient des éléments toxiques organiques interdisant l'emploi de techniques biologiques. Dans ce cas l'emploi de charbon actif peut permettre de retenir sélectivement les éléments toxiques et, par suite, de retrouver un effluent normalement biodégradable ;
- **en traitement « tertiaire »** des eaux résiduaires ou industrielles. Le charbon fixe les composés organiques dissous, réfractaires au traitement biologique situé en amont, et permet ainsi d'éliminer une plus ou moins grande proportion de la **DCO** résiduelle (DCO « dure ») ;
- pour réduire les oxydants
Une propriété des charbons actifs est leur action réductrice des oxydants (chlore, dioxyde de chlore, permanganate, chloramines, ozone...).

1.11 Résines échangeuses d'ions

L'échange d'ions est un procédé chimique dans lequel les ions d'une certaine charge contenus dans une solution (par exemple des cations) sont éliminés de cette solution par adsorption sur un matériau solide (l'échangeur d'ions), pour être remplacés par une quantité équivalente d'autres ions de même charge émis par le solide. Les ions de charge opposée ne sont pas affectés. Cette technologie a été développée à l'échelle industrielle après la seconde guerre mondiale, principalement dans les années 1950-1970.

La plus part des résines(*) utilisées de nos jours sont des matières synthétiques produites à partir de polymères. Le nombre et la variété des groupes fonctionnels influencent la capacité d'échange et la sélectivité pour les ions de ces résines. On classe les résines en deux catégories en fonction de la nature des ions qui vont être échangés. Si on échange un cation, on parle de résine cationique et si c'est un anion qui est échangé on parle de résine anionique.

L'échange d'ions est à la base d'un grand nombre de procédés de l'industrie ou de laboratoire, qui peuvent se classer en trois catégories principales : substitution, séparation et élimination :

Substitution : un ion noble (par exemple le cuivre) est récupéré dans la solution et remplacé par un autre sans valeur. De façon analogue, un ion nocif (par exemple un cyanure) est retiré de la solution et remplacé par un autre inoffensif.

Séparation : une solution contenant un certain nombre d'ions différents (par exemple Li^+ , Na^+ , K^+ , Rb^+ , Cs^+ , tous sous forme de chlorures) est passée au travers d'une colonne de billes de résine. Les ions sont séparés et émergent par ordre croissant d'affinité pour la résine.

Élimination : en utilisant une combinaison de résine échangeuse de cations (sous forme H^+) et de résine échangeuse d'anions (sous forme OH^-), tous les ions sont enlevés et remplacés par de l'eau (H^+OH^-). La solution est ainsi **déminéralisée**. Cela est en réalité une variante particulière de la substitution.

(*) Une résine désigne un produit polymère (naturel, artificiel ou synthétique) qui est une matière de base pour fabriquer par exemple des matières plastiques, textiles, peintures (liquides ou en poudre), adhésifs, vernis, mousses de polymère. Elle peut être thermoplastique ou thermodurcissable.

2 PROCÉDES BACTERIOLOGIQUES

Les procédés physico-chimiques, utilisés seuls, ne sont pas réellement compétitifs.

Cependant la mise en œuvre de ces procédés en prétraitement ou en traitement tertiaire en association avec un procédé biologique peut constituer une excellente solution dans les agglomérations à fortes variations saisonnières ou lorsque les niveaux d'épuration visés sont particulièrement élevés.

L'épuration biologique est, et restera sans doute encore longtemps, le mode de traitement le plus utilisé pour assurer l'élimination de la pollution organique biodégradable des effluents urbains, car de loin le plus économique en exploitation. Elle peut être envisagée sous deux formes intensive et extensive.

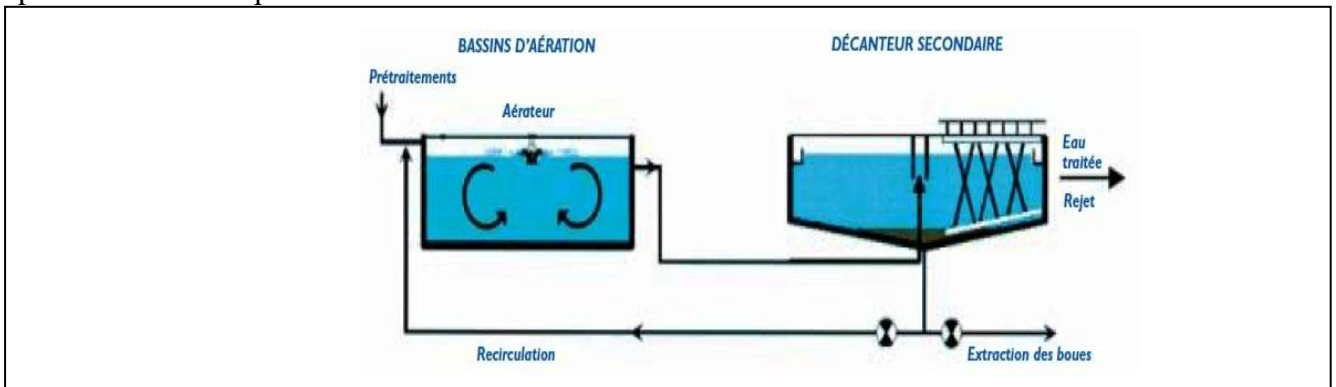
2.1 PROCÉDES BACTERIOLOGIQUES (AÉROBIE)

A Techniques intensives

• Boues activées

Le principe des boues activées réside dans une intensification des processus d'auto-épuration que l'on rencontre dans les milieux naturels.

Le procédé "boues activées" consiste à mélanger et à agiter des eaux usées brutes avec des boues activées liquides, bactériologiquement très actives. La dégradation aérobie de la pollution s'effectue par mélange intime des microorganismes épurateurs et de l'effluent à traiter. Ensuite, les phases "eaux épurées" et "boues épuratrices" sont séparées.

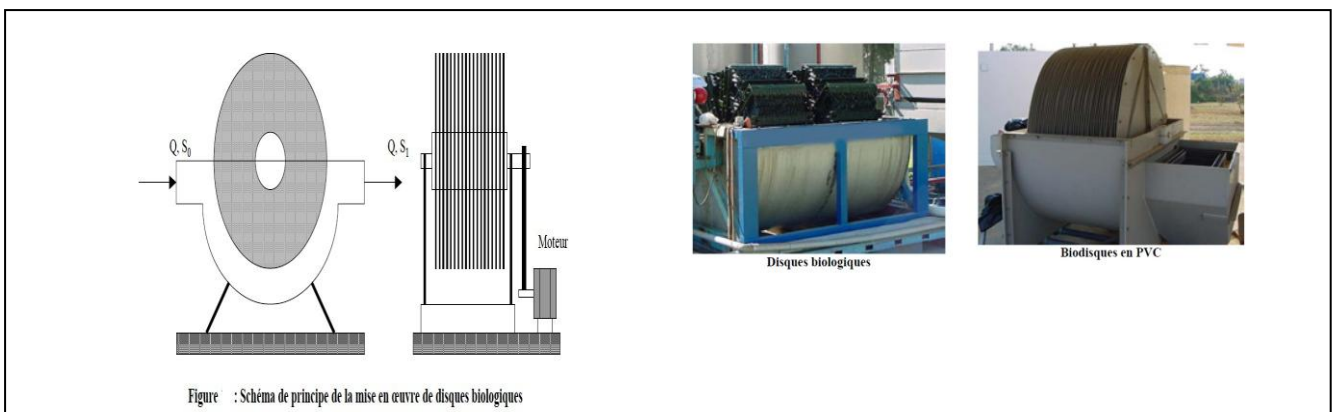


• Disques biologiques :

C'est une technique qui fait appel aux cultures fixées sur des disques biologiques tournants.

Les micro-organismes se développent et forment un film biologique épurateur à la surface des disques.

Les disques étant semi-immergés, leur rotation permet l'oxygénation de la biomasse fixée.



• Les biofiltres

La biofiltration qui a eu un développement industriel récent sous la forme de systèmes à lits granulaires fixes est une technique qui vise à réaliser simultanément, dans le même ouvrage, la réaction biologique de dégradation aérobie de la pollution par la biomasse épuratrice et la clarification par filtration de l'effluent traité. Le procédé permet de s'affranchir d'un clarificateur aval.

L'ouvrage est un filtre garni en matériau de granulométrie suffisamment faible pour obtenir un effet de filtration efficace.

Le matériau sert simultanément de support à la biomasse épuratrice de type fixé que l'on maintient dans des conditions aérobies dans le filtre. Dans un tel système. L'accroissement de biomasse et les matières en suspension de l'effluent, retenues dans le matériau vont colmater progressivement le lit. On assure cycliquement sa régénération en utilisant des technologies mises en œuvre dans la filtration sur sable (lavage à l'eau en contre-courant).

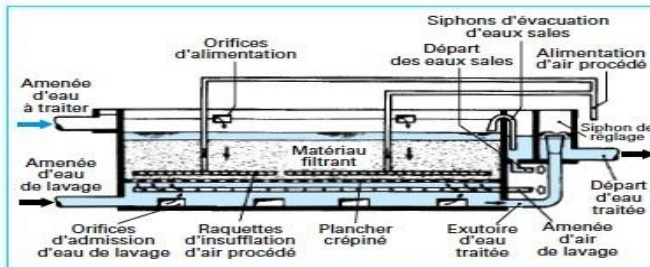


Figure - Biofiltre à flux descendant *Biocarbone*® (Degrémont)

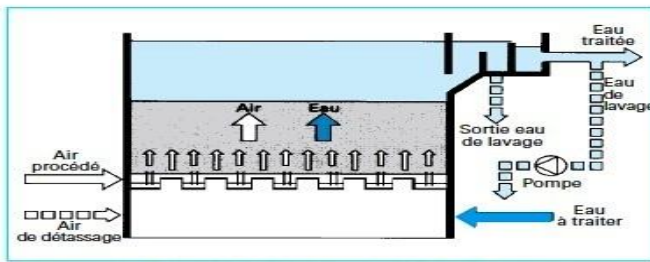
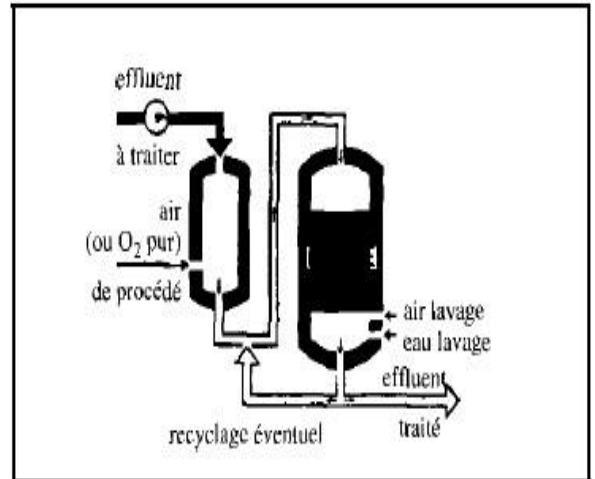


Figure - Biofiltre à flux ascendant *Biofor*® (Degrémont)



Procédé de filtration biologique après présaturation en oxygène des effluents à traiter.

• Lits bactériens

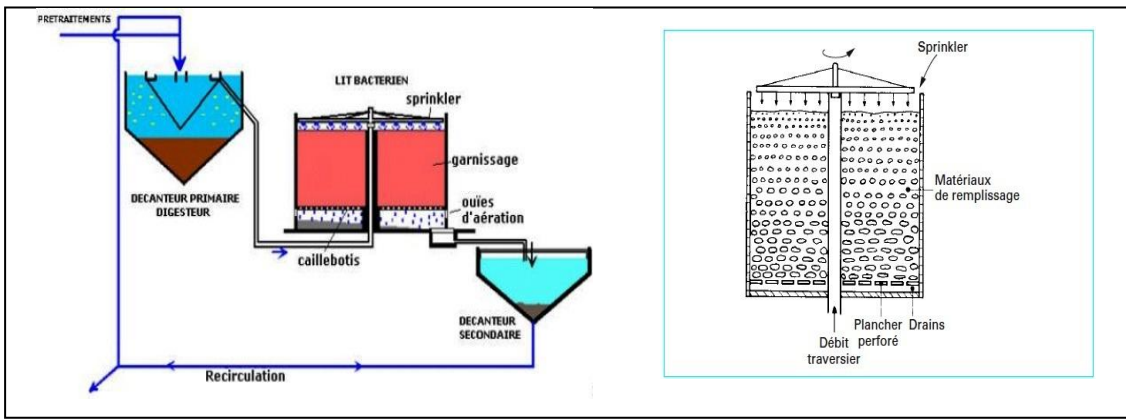
Le principe de fonctionnement d'un lit bactérien consiste à faire ruisseler les eaux usées, préalablement décantées sur une masse de matériaux poreux ou caverneux qui sert de support aux micro-organismes (bactéries) épurateurs.

L'effluent contenant la pollution ruisselle sur le support et pénètre dans le biofilm alors que l'air chemine naturellement à travers le lit qui repose sur une grille. Le décrochage de la biomasse est spontané par une augmentation de la phase endogène, par l'action des larves et par la vitesse de passage du fluide. Une décantation secondaire est indispensable.

La hauteur du lit bactérien est de 1 à 3 m pour un garnissage classique et de 6 à 12 m pour des garnissages plastiques.

Une aération permanente s'établit de bas en haut (lit plus chaud que l'air ambiant, effet de cheminée).

La distribution régulière de l'effluent est réalisée par des éléments fixes (rigoles, rampes fixes) ou mobiles (sprinklers rotatifs).



B Techniques extensives

• Les cultures fixées sur support fin

Les techniques dites extensives sont des procédés qui réalisent l'épuration à l'aide de cultures fixées sur support fin ou encore à l'aide de cultures libres mais utilisant l'énergie solaire pour produire de l'oxygène par photosynthèse. Le fonctionnement de ce type d'installation sans électricité est possible, excepté pour le lagunage aéré pour lequel un apport d'énergie est nécessaire pour alimenter les aérateurs ou les matériels d'insufflation d'air.

— L'infiltration-percolation sur sable

L'infiltration-percolation d'eaux usées est un procédé d'épuration par filtration biologique aérobie sur un milieu granulaire fin. L'eau est successivement distribuée sur plusieurs unités d'infiltration. Les charges hydrauliques sont de plusieurs centaines de litres par mètre carré de massif filtrant et par jour. L'eau à traiter est uniformément répartie à la surface du filtre qui n'est pas recouvert. La plage de distribution des eaux est maintenue à l'air libre et visible.

Une autre variante intéressante de l'épuration par le sol est constituée par les filtres à sable horizontaux ou verticaux enterrés. Ces techniques utilisées, avant tout, pour les situations relevant de l'assainissement autonome restent intéressantes pour l'assainissement autonome regroupé concernant quelques centaines d'équivalents-habitants. Pour un filtre à sable vertical enterré, un dimensionnement de 3,5 m² / hab est nécessaire et une alimentation basse pression recommandée.

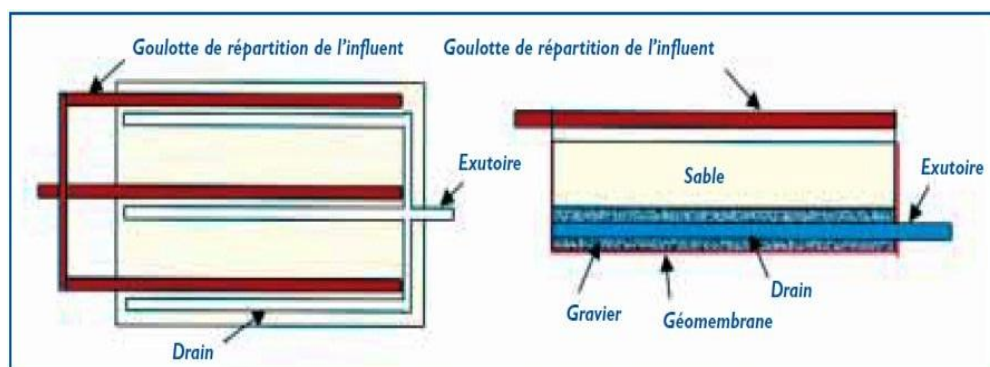


Figure n° 6 : Infiltration-percolation étanchée et drainée

— Les filtres plantés à écoulement vertical

Les filtres sont des excavations, étanchées du sol, remplies de couches successives de gravier ou de sable de granulométrie variable selon la qualité des eaux usées à traiter.

Contrairement à l'infiltration-percolation précédemment évoquée, l'influent brut est réparti directement, sans décantation préalable, à la surface du filtre. Il s'écoule en son sein en subissant un traitement physique (filtration), chimique (adsorption, complexation...) et biologique (biomasse fixée sur support fin). Les eaux épurées sont drainées. Les filtres sont alimentés en eaux usées brutes par bûchées. Pour un même étage, la surface de filtration est séparée en plusieurs unités permettant d'instaurer des périodes d'alimentation et de repos.

Le principe épuratoire repose sur le développement d'une biomasse aérobie fixée sur un sol reconstitué relatif aux cultures fixées sur support fin). L'oxygène est apporté par convection et diffusion. L'apport d'oxygène par les racinelles des plantes est, ici, négligeable par rapport aux besoins.

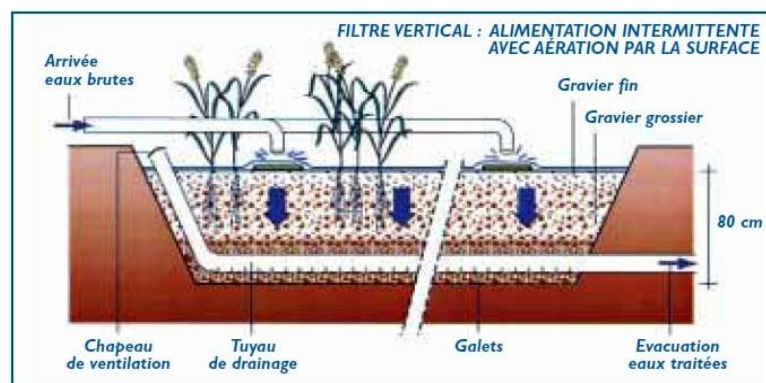


Figure n° 10 : coupe transversale d'un filtre planté à écoulement vertical

— Les filtres plantés de roseaux à écoulement horizontal

Dans les filtres à écoulement horizontal, le massif filtrant est quasi-totalement saturé en eau. L'effluent est réparti sur toute la largeur et la hauteur du lit par un système répartiteur situé à une extrémité du bassin ; il s'écoule ensuite dans un sens principalement horizontal au travers du substrat. La plupart du temps, l'alimentation s'effectue en continu car la charge organique apportée est faible.

L'évacuation se fait par un drain placé à l'extrémité opposée du lit, au fond et enterré dans une tranchée de pierres drainantes. Ce tuyau est relié à un siphon permettant de régler la hauteur de surverse, et donc celle de l'eau dans le lit, de façon à ce qu'il soit saturé pendant la période d'alimentation. Le niveau d'eau doit être maintenu environ à 5 cm sous la surface du matériau. En effet, l'eau ne doit pas circuler au-dessus de la surface pour ne pas court-circuiter la chaîne de traitement ; il n'y a donc pas d'eau libre et pas de risque de prolifération d'insectes.

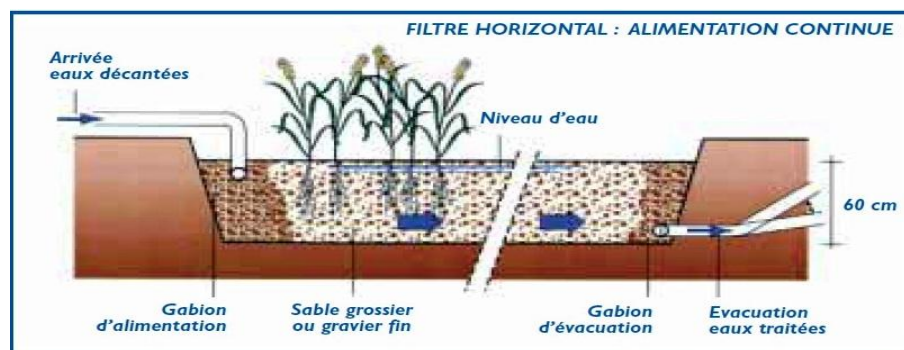


Figure n° 11 : coupe transversale d'un filtre planté à écoulement horizontal

• Cultures libres

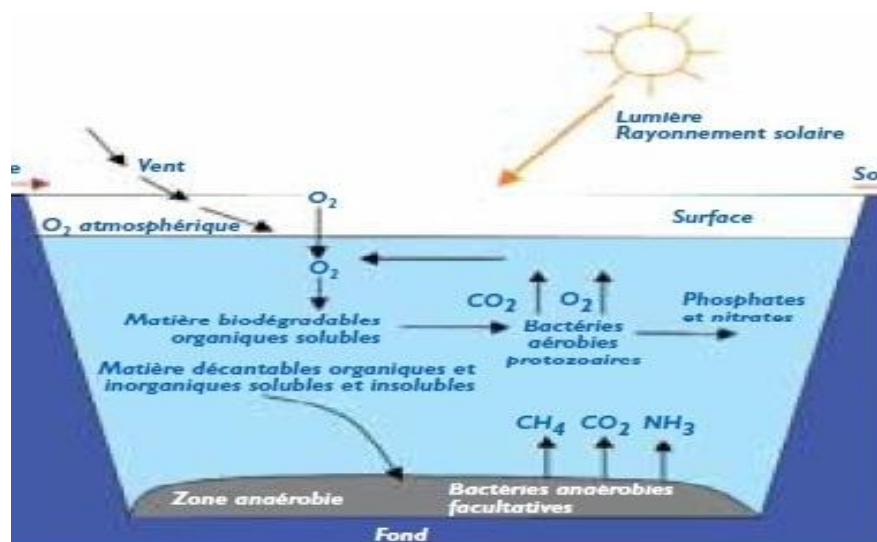
— Lagunage naturel

L'épuration est assurée grâce à un long temps de séjour, dans plusieurs bassins étanches disposés en série. Le nombre de bassin le plus communément rencontré est de 3. Cependant, utiliser une configuration avec 4 voire 6 bassins permet d'avoir une désinfection plus poussée.

Le mécanisme de base sur lequel repose le lagunage naturel est la photosynthèse. La tranche d'eau supérieure des bassins est exposée à la lumière. Ceci permet l'existence d'algues qui produisent l'oxygène nécessaire au développement et maintien des bactéries aérobies. Ces bactéries sont responsables de la dégradation de la matière organique.

Le gaz carbonique formé par les bactéries, ainsi que les sels minéraux contenus dans les eaux usées, permettent aux algues de se multiplier. Il y a ainsi prolifération de deux populations interdépendantes : les bactéries et les algues planctoniques, également dénommées "microphytes". Ce cycle s'auto-entretient tant que le système reçoit de l'énergie solaire et de la matière organique.

En fond de bassin, où la lumière ne pénètre pas, ce sont des bactéries anaérobies qui dégradent les sédiments issus de la décantation de la matière organique. Un dégagement de gaz carbonique et de méthane se produit à ce niveau.



— Lagunage à macrophytes

Il est caractérisé par la présence de plantes visibles à l'œil nu, il est constitué de plantes immergées ou émergées enracinées ou non telles que les roseaux, les massettes, les joncs, les scirpes, les laiches, les lentilles d'eau ou les jacinthes d'eau. Les bassins sont alors généralement de plus faible surface et moins profonds (0.6 à 0.8m) ou la charge polluante est plus faible. Au delà de son intérêt esthétique, l'utilisation des macrophytes peut améliorer significativement la qualité de l'effluent mais leur biomasse ne produit guère de bénéfices supplémentaires. L'effet épuratoire est dû principalement à la faculté de ces plantes d'extraire les éléments nutritifs de la colonne d'eau et au support que leurs racines et feuilles offrent aux microorganismes susceptibles de dégrader les matières organiques et nitrifier l'azote ammoniacal. L'effet sur la dégradation de la matière organique passe principalement par la création d'une zone de rhizomes servant comme support pour le biofilm pouvant dégrader. Cet effet est cependant minimisé par la diminution de la ré-aération de la colonne d'eau. Par contre l'ombrage de l'eau dû à la présence des macrophytes diminue fortement la quantité de rayonnements UV qui atteignent l'eau et l'efficacité épuratoire vis-à-vis des espèces pathogènes indicatrices (coliformes et streptocoques). De plus l'utilisation des macrophytes entraîne une augmentation des coûts de fonctionnement du fait d'un entretien plus lourd (faucardage et arrachage).

— Lagunage aéré

L'oxygénation est, dans le cas du lagunage aéré, apportée mécaniquement par un aérateur de surface ou une insufflation d'air. Ce principe ne se différencie des boues activées que par l'absence de système de recyclage des boues ou d'extraction des boues en continu. La consommation en énergie des deux filières est, à capacité équivalente, comparable (1,8 à 2 kW/kg DBO₅ éliminée).

2.2 PROCÉDES BACTERIOLOGIQUES (ANAÉROBIE)

La **digestion anaérobie** ou **méthanisation** est un processus biologique naturel qui, réalisé au sein de procédés maîtrisés, permet de traiter efficacement la pollution organique et de produire du **biogaz** dont le composé majoritaire, le **méthane**.

La méthanisation transforme la matière organique, sous forme soluble ou solide, conduisant à la formation de biogaz, mélange gazeux composé principalement de méthane (CH₄) et de dioxyde de carbone (CO₂). Elle est réalisée en absence d'oxygène par une communauté microbienne diverse dans des écosystèmes naturels variés : les sédiments marins et d'eau douce, les tractus digestifs d'animaux, les décharges, les sols, etc. Elle est notamment à l'origine de phénomènes spontanés tels que les feux follets ou les émissions de gaz des marais.

• Décanteur-Digesteur

Le décanteur-digesteur assure :

- le dépôt des particules en suspension contenues dans les eaux usées préalablement prétraitées par simple séparation gravitaire,
- la digestion anaérobie de la fraction organique de ces dépôts progressivement accumulés. Ces deux fonctions bien distinctes nécessitent la mise en œuvre de deux ouvrages physiquement séparés. Dans la majorité des cas, ces deux ouvrages sont superposés afin de réduire le génie civil et l'équipement. On dénomme l'ensemble "décanteur-digesteur" ou "fosse IMHOFF".

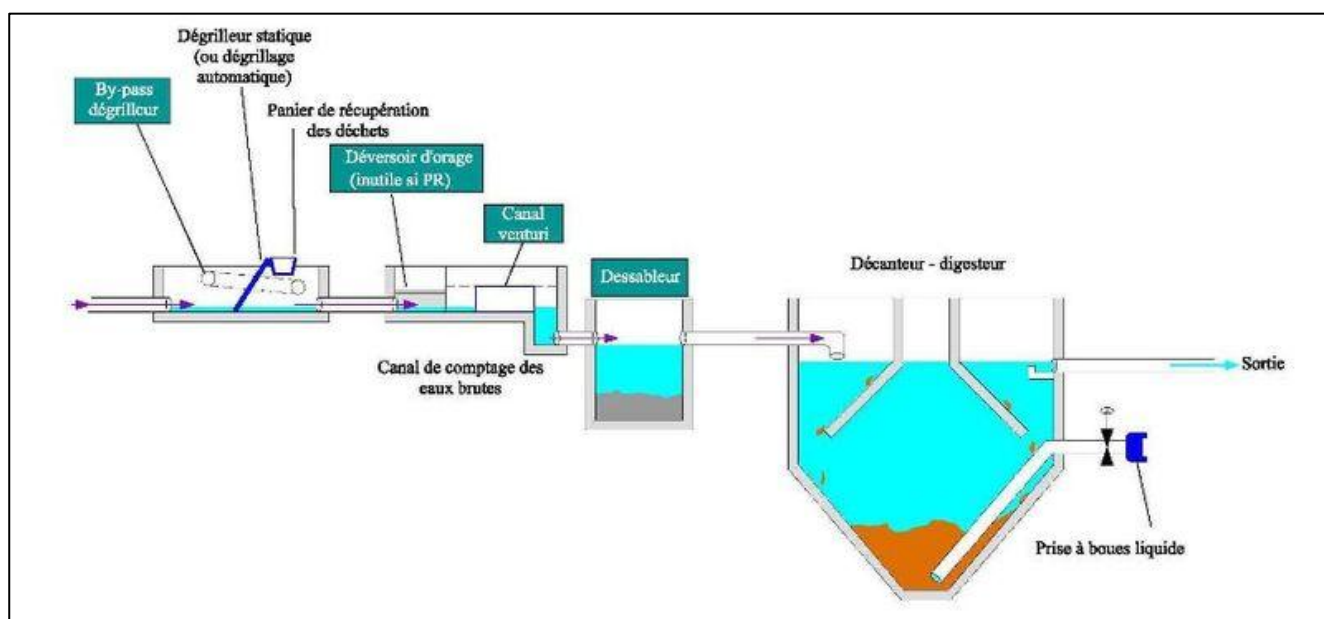


Schéma de principe de l'installation d'un **Décanteur-Digesteur**

3.Comparaison entre les deux modes (Aérobie et anaérobie) :

Avantages :

- Pas d'équipement d'aération (faible consommation d'énergie 25%)
- faible besoin d'espace (2 à 5 fois moins qu'en aérobie)
- les boues n'ont pas besoin de stabilisation
- Traitement de fortes charges (1 à 30 g/l)
- Production de méthane pour fourniture d'énergie
- La biomasse peut demeurer sans alimentation en substrat jusqu'à 3 semaines
- besoin de peu d'éléments nutritifs ou de produits chimiques pour le fonctionnement
- adaptation des bactéries pour la destruction de nombreux produits toxiques.
- bonne efficacité obtenue dans la dépollution à débits élevés ;
- adaptation aux faibles températures
- simplicité et flexibilité du système
- faible production de boues (2 à 30 fois moindre qu'en traitement aérobie) ;

Inconvénients :

- Temps de séjour important (gros volume de réacteur requis)
- Mauvaises odeurs (H₂S)
- Températures élevées requises (350 C)
- Sédimentation de la biomasse anaérobie plus difficile que celle des boues activées (surface et coût plus élevés)
- Opération plus sensible aux chocs (charge, pH)
- Pour atteindre une bonne épuration, nécessitée d'un traitement aérobie ultérieur
- Ensemencement long (8-12 semaines)
- Risque inhérent au biogaz (incendie explosion)
- Difficulté d'enlever les nutriments ou les cellules pathogènes
- longue période de démarrage