

Chapitre 7 : Traitement des eaux usées.

- Introduction

La pollution de l'eau est un changement dans la qualité de l'eau. Divers produits d'érosion provoquent une pollution naturelle de l'eau mais elle est également causée par les pluies acides, les engrais agricoles et les micro-organismes libérés avec les matières fécales. Ces différents types de pollution déséquilibrent l'écosystème aquatique (acidification, eutrophisation) et y affectent les êtres vivants (destruction d'espèces animales). Les rejets d'eau domestique et des diverses activités humaines, industrielles et agricoles sont les principales sources de pollution des eaux de surface.

La dépollution des eaux usées nécessite une succession d'étapes faisant appel à des traitements physiques, physico-chimiques et biologiques. En dehors des plus gros déchets présents dans les eaux usées, l'épuration doit permettre au minimum d'éliminer la majeure partie de la pollution carbonée. Une station d'épuration rassemble une succession de procédés qui permettent petit à petit de purifier l'eau.

1. Station d'épuration des eaux usées (STEP)

La station d'épuration des eaux usées (STEP) est une installation destinée à épurer les eaux usées domestiques ou industrielles et les eaux de pluie avant leur rejet dans le milieu naturel (Fig. 01 et 02). L'objectif du traitement est de séparer l'eau des substances indésirables présentes dans le milieu récepteur. Il peut utiliser plusieurs principes physiques, chimiques et biologiques. Dans la plupart des cas, c'est le processus biologique qui est impliqué par l'usage des bactéries qui peuvent dégrader la matière organique. La station d'épuration est constituée d'une série d'équipements destinés à extraire les différents polluants contenus dans l'eau à différents stades.

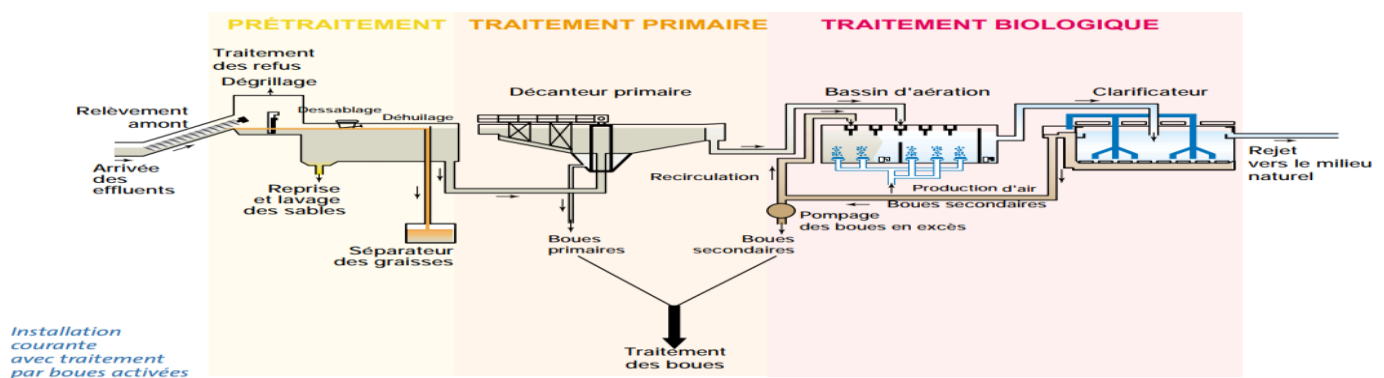


Figure 01 : Représentation schématique d'une station d'épuration des eaux usées.

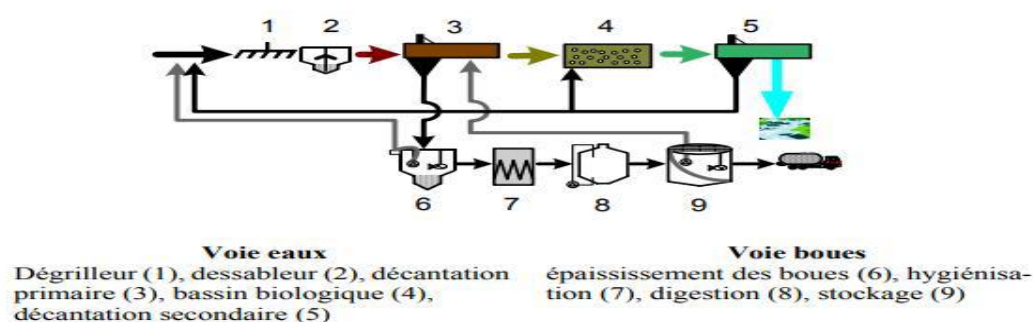


Figure 02 : Schéma simplifié d'une STEP.

2. Etapes de traitement des eaux usées

La station d'épuration traite les eaux usées collectées et produit des eaux traitées et des résidus d'épuration (boues), qui sont rejetés dans le milieu naturel. Les boues sont constituées d'eau, de matières organiques et de minéraux. La présence de substances nocives et de microorganismes pathogènes oblige à traiter l'eau avant consommation. Il existe une différence entre le traitement pour purifier l'eau avant consommation et le traitement pour purifier les eaux usées afin de restituer une eau de qualité acceptable à l'environnement.

En théorie, le traitement des eaux usées comprend trois traitements consécutifs :

- Traitement primaire, dont le but est d'éliminer la plupart des solides ;
- Traitement secondaire ou biologique, dont le but est de biodégrader les matières organiques par divers procédés impliquant des microorganismes ;

- Le troisième traitement va assurer l'élimination ultime des polluants et désinfecter l'eau.

2.1. Le traitement préliminaire (Prétraitement)

En tête d'une station d'épuration, les eaux brutes sont chargées de matériaux encombrants, il faut retenir ces matières par des procédés simples, afin de protéger les installations de traitement en aval. Cette protection s'effectue généralement suivant les étapes suivantes :

➤ Le dégrillage

À l'arrivée à la station d'épuration, les eaux résiduaires brutes doivent subir un dégrillage, permettant de séparer et d'évacuer les matières volumineuses qui pourraient nuire à l'efficacité des traitements suivants et amener des risques de bouchage dans les différentes unités de l'installation. La qualité de l'opération peut être définie de la façon suivante :

Pré dégrillage : pour grille à barreaux espacés de 30 à 100 mm ;

Dégrillage moyen : pour grille à barreaux espacés de 10 à 25 mm ;

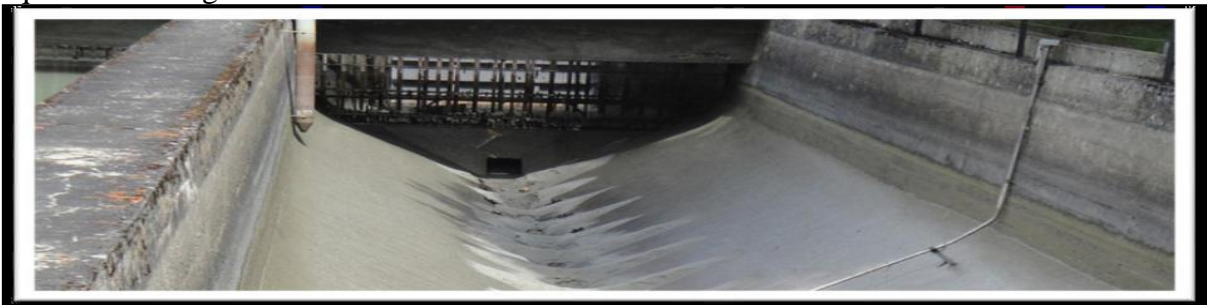
Dégrillage fin : pour grille à barreaux espacés de 3 à 10 mm ;

Tamisage : pour tamis à orifices de 0,3 à 5 mm.



➤ Le dessablage

Le dessablage a pour but d'extraire des eaux brutes les graviers, les sables et les particules minérales plus ou moins fines, de façon à éviter les dépôts dans les canaux et conduites, à protéger les pompes et autres appareils contre l'abrasion et à éviter de surcharger les stades de traitements suivants. L'écoulement de l'eau, à une vitesse réduite, dans un bassin appelé "dessableur" entraîne leur dépôt au fond de l'ouvrage. Les sables récupérés, par aspiration, sont ensuite essorés, puis lavés avant d'être soit envoyés en décharge, soit réutilisés selon la qualité du lavage.



➤ Le déshuilage-dégraissage

Le déshuilage est une opération de séparation liquide-liquide, alors que le dégraissage est une opération de séparation solide-liquide (à la condition que la température de l'eau soit suffisamment basse, pour permettre le figeage des graisses). Ces deux procédés visent à éliminer la présence des corps gras dans les eaux usées, qui peuvent gêner l'efficacité du traitement biologique qui intervient en suite.



2.2. Traitement primaire

Le traitement s'effectue par voie physico-chimique pour but d'extraire le maximum de matières en suspension et de matières organiques facilement décantables. Trois voies de traitement sont possibles :

- **La décantation** : Est un processus essentiel du traitement primaire, a pour but d'éliminer 60% de matières organiques en suspension (MES) et 90% des matières décantables (pour une eau usée domestique).



- **Bassin de décantation**

- **Floculation-Coagulation**

La décantation associée à l'utilisation d'un coagulant- floculant (voie physicochimique) : le principe ici est de favoriser l'agrégation des molécules en suspension grâce aux techniques de coagulation et de floculation de façon à augmenter la sédimentation grâce à l'obtention de floes plus gros.

Les réactifs coagulants introduits dans les eaux usées sont d'origine minérale (sulfate d'alumine, Chlorure ferrique, Chaux) ou d'origine organique.

A ce stade, les eaux sont moins sales mais toujours chargées de pollution. Elles sont conduites vers d'autres bassins où s'effectue le traitement secondaire ou traitement biologique.

2.3. Traitements secondaires (Traitement biologique)

Dans le traitement des eaux industrielles ou le traitement des eaux domestiques, on utilise souvent les traitements biologiques afin d'éliminer les éléments organiques comme les graisses, sucres, protéines, etc. La dégradation de ces éléments organiques est assurée par des microorganismes (bactéries) qui consomment les matières organiques en présence d'oxygène (méthode aérobie) ou sans oxygène (méthode anaérobie). Ces traitements conçus à l'origine essentiellement pour l'élimination de la pollution carbonée et des matières en suspension, ainsi pour poursuivre l'épuration de l'effluent provenant du décanteur primaire par voie biologique le plus souvent.

Les micro-organismes les plus actifs sont les bactéries qui conditionnent en fonction de leur modalité propre de développement, On distingue deux types de traitements :

- **Traitements anaérobies**

Les traitements anaérobies font appel à des bactéries n'utilisant pas de l'oxygène, en particulier aux bactéries méthanogènes qui conduisent comme leur nom l'indique à la formation du méthane à partir de la matière organique et à un degré moindre de CO₂.

- **Traitements aérobies**

Les micro-organismes utilisés exigent un apport permanent d'oxygène.

2.3.1. Procédés de traitement biologique

On distingue les procédés à culture libre et à culture fixée :

- a) **Procédés biologiques à culture libre**

Le principe de ces procédés est de développer des cultures bactériennes en floes et de les maintenir en suspension au temps qu'il faut jusqu'à décantation.

- **Le lagunage**

Le traitement par lagunage est constitué d'une série de bassins artificiels. On distingue le lagunage naturel et le lagunage aéré :

- Lagunage naturel

Le lagunage naturel est une technique d'épuration des eaux usées par voie naturelle. Les eaux à épurer sont accumulées dans un bassin ou une série de bassins, exposés à l'air libre. Dans les bassins de lagunage se développe tout un écosystème : les végétaux aquatiques (les algues) servent à fournir l'oxygène utilisée par les bactéries aérobies ; ce qui oblige à exposer l'eau au soleil sous faible profondeur et grande surface. La profondeur des lagunes naturelles est faible de façon à permettre une pénétration suffisante de la lumière.

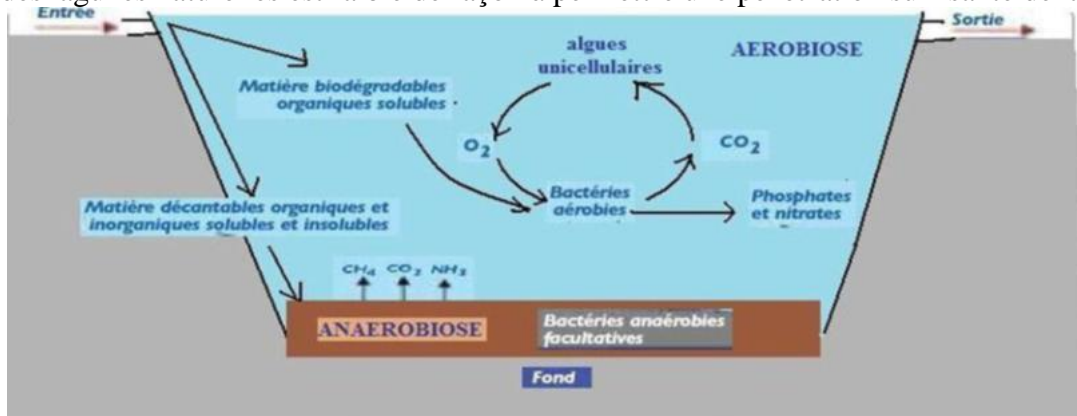


Figure 3 : Schéma de fonctionnement d'épuration par lagunage.

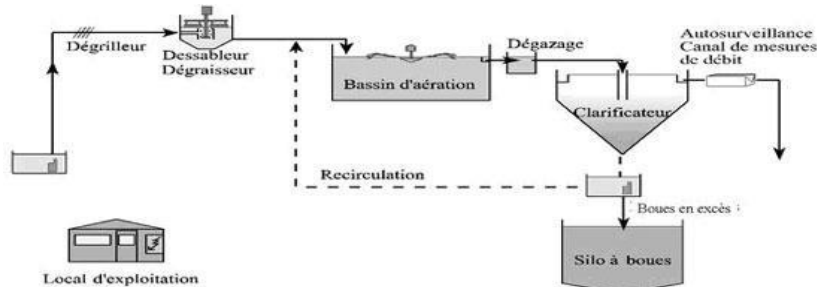
- **Lagunage aéré :** Le lagunage aéré est composé de plusieurs bassins, dont le premier est équipé de dispositif d'aération artificiel qui fournit la majorité des besoins en oxygène. Ces lagunes ont des profondeurs qui peuvent atteindre 2,5 à 3m implantées dans des grandes surfaces, ils comportent un mode d'aération mécanique tel que des turbines flottantes ou fixes, ou des systèmes d'insufflation d'air.



Figure 4: Photo de bassins de lagunage aéré.

➤ **Boues Activées**

Il s'agit d'une technique qui n'est autre qu'une accélération artificielle des processus d'autoépuration dans les milieux naturels. Au sein d'un courant continu d'eau usée, les bactéries aérobies sont soumises à l'action prolongée d'une forte oxygénation obtenue par une introduction d'air régulièrement répartie dans l'effluent ; ces bactéries assurent la décomposition des matières organiques et forment de gros flocons. L'effluent passe ensuite à la seconde étape de traitement biologique, dans un bassin de décantation secondaire (constituent des boues ou des masses flocculeuses dites « boues activées »), où l'étape de clarification se réalise et les boues se séparent des eaux et se sédimentent au fond de clarificateur.



- les boues activées

b) Procédés biologiques à culture fixée

Le principe consiste à faire ruisseler les eaux usées décantées sur des matériaux poreux recouverts d'un biofilm sur lequel se développent des cultures bactériennes. Ces cultures se nourrissent de la matière organique permettant ainsi l'élimination d'une fraction importante de la pollution. A partir de ce principe plusieurs variantes ont été développées parmi lesquelles les lits bactériens où le milieu support peut être une roche fragmentée en petits blocs. Les disques biologiques ayant pour support des disques parallèles tournant à faible vitesse et qui sont immergés sur la moitié de leurs hauteur.

➤ Lits bactériens

Le procédé des lits bactériens est un procédé d'épuration des eaux usées à lit fixe, dans lequel la biomasse n'est pas maintenue en suspension dans l'eau, mais forme un biofilm sur des surfaces de croissance. Ce biofilm transforme les composants organiques des eaux usées en milieu aérobie. Les matériaux de remplissage sont soit pierreux, soit en plastique et leur superficie varie par m^3 . Dans le cas de volumes d'eaux usées importants, les surfaces de croissance en plastique sont à préférer, étant donné leur plus grande porosité, ce qui permet aux lits bactériens d'être plus petits.

Le biofilm comporte des bactéries aérobies à la surface et des bactéries anaérobies près du fond. Les sous-produits et le gaz carbonique produits par l'épuration s'évacuent dans les fluides liquides et gazeux.



Figure 5 : Photo d'un support pour lits bactériens.

➤ disques biologiques

Dans la structure des disques biologiques, les biofilms se développent sur des disques à moitié immergés. Le biodisque consiste en un assemblage de plusieurs disques, réalisés en matériau composite, montés et solidement fixés sur un arbre. L'arbre est mis en rotation lente, avec une vitesse comprise entre 1 et 6 rotations par minute, selon le diamètre des disques et les caractéristiques de l'effluent à traiter.

Durant les périodes émergées, les microorganismes prélèvent l'oxygène nécessaire et lors des périodes immergées, ils réalisent la réaction biologique de dégradation.

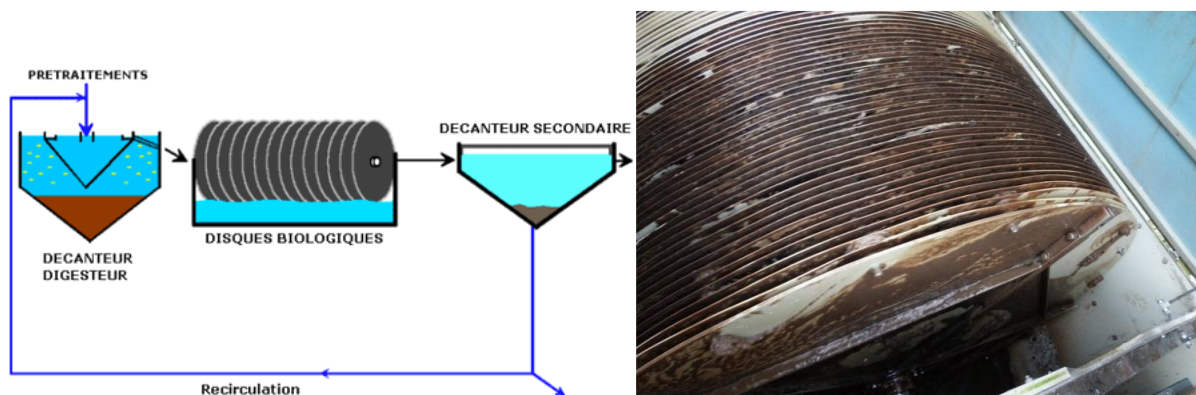


Figure 6 : Schéma du principe de fonctionnement - Disque biologique.

2.4. Le traitement tertiaire

Le traitement tertiaire est l'étape finale d'épuration des eaux usées, succédant aux traitements primaire (physique) et secondaire (biologique). Il utilise des procédés physiques, chimiques ou biologiques avancés (filtration, désinfection, adsorption) pour éliminer les nutriments (azote, phosphore), les solides résiduels et les pathogènes, permettant la réutilisation de l'eau ou son rejet sécurisé.

Principales techniques de traitement tertiaire :

- **Filtration poussée** : Utilisation de filtres à disques, de sable ou de membranes (Bioréacteur) pour retenir les solides en suspension résiduels, atteignant des qualités d'eau très élevées.
- **Déphosphatation et dénitrification** : Élimination poussée du phosphore par ajout de réactifs chimiques (sels de fer, aluminium) et de l'azote par des processus biologiques spécifiques pour prévenir l'eutrophisation.
- **Désinfection** : Élimination des bactéries et virus pathogènes, essentielle pour la réutilisation, via la chloration (chlore), l'ozonation ou les rayons ultraviolets (UV).
- **Adsorption sur charbon actif** : Élimination des micropolluants organiques, résidus médicamenteux et polluants non biodégradables.

Objectifs et avantages :

- **Protection environnementale** : Réduction de la charge polluante avant le rejet dans des milieux sensibles.
- **Réutilisation de l'eau (REUSE)** : Transformation des eaux usées en ressource pour l'irrigation agricole, l'industrie ou les usages municipaux.
- **Conformité réglementaire** : Respect des normes strictes en matière de qualité des effluents.

2.5. Le traitement des boues d'épuration

Il vise à réduire le volume et la dangerosité des résidus issus des eaux usées. Il comprend l'épaississement (gravitaire ou par flottation), la stabilisation (digestion anaérobie pour produire du biogaz), la déshydratation (centrifugation, presse à vis), le séchage, et la valorisation (épandage agricole, compostage ou incinération).

Voici les grandes étapes du traitement des boues :

- **Épaississement** : Première étape réduisant la teneur en eau pour augmenter la siccité (matière sèche) de 1 à 5%.
- **Stabilisation (ou digestion)** : Processus biologique (souvent anaérobie) qui dégrade la matière organique, réduit le volume, supprime les odeurs et produit du biogaz.
- **Déshydratation** : Réduction du volume par des moyens mécaniques (centrifugeuses, filtres-presses) pour obtenir des boues pâteuses (20-30% de matière sèche).
- **Séchage** : Élimination de l'eau résiduelle par la chaleur pour obtenir des boues solides (80-90% de matière sèche).
- **Valorisation ou Élimination** : Les boues sont ensuite valorisées en agriculture (engrais), compostées (Le compostage transforme les boues en amendement agricole stable), ou incinérées (l'incinération réduit le volume en cendres, souvent pour produire de l'énergie (électricité/vapeur)).

Les méthodes varient en fonction de la taille de la station d'épuration, de la composition des boues (primaires, secondaires) et des réglementations locales, avec une priorité donnée à la valorisation énergétique (biogaz issu de la méthanisation des matières organiques, permet de produire de l'électricité, de la chaleur (cogénération) ou du biométhane carburant) ou matière (matière organique pour les sols).