Chapitre II : Épuration des eaux usées

II. Épuration des eaux usées

II.1.Généralités sur les eaux usées

En abordant de l'eau usée il semble sérieux d'avoir une idée sur son éclaircissement, son origine et ses caractéristiques, ainsi que les différentes méthodes utilisées pour son épuration.

II.1.1.Définition

Les eaux usées, sont des eaux chargées de polluants, solubles ou non, provenant essentiellement de l'activité humaine. Une eau usée est généralement un mélange de matières polluantes répondant à ces catégories, dispersées ou dissoutes dans l'eau qui a servi aux besoins domestiques ou industriels

II.2.Origine des eaux usées

On peut classer comme eaux usées :

1. Origine industrielle : Les eaux résiduaires d'origine industrielle ont généralement une composition plus spécifique et directement liée au type d'industrie considérée. Les effluents industriels et les déchets éclaircissent la qualité et le taux de pollution de ces eaux usées. Les industrieux utilisent une quantité énorme d'eau dans leurs domaines industrielles. On peut, faire un classer des principaux rejets industriels suivant la nature des inconvénients qu'ils remplissent:

- ✓ Pollution due aux matières en suspension minérales (Lavage de charbon, industries productrices d'engrais phosphatés….) ;
- ✓ Pollution due aux matières en solution minérales (usine de décapage …) ;
- ✓ Pollution due aux matières organiques et graisses (industries agroalimentaires, pâte à papier…) ;
- ✓ Pollution due aux rejets hydrocarbonés et chimiques divers (raffineries de pétrole, produits pharmaceutiques…..) ;
- ✓ Pollution due aux rejets toxiques (déchets radioactifs non traités, effluents radioactifs des industries nucléaires….).

2. Origine domestique : Les effluents domestiques sont un mélange d'eaux contenant des déjections humaines : urines, fèces et eaux de toilette et de nettoyage des sols et des aliments (eaux ménagères).

3. Origine agricole : Ce sont des eaux qui ont été polluées par des substances utilisées dans le domaine agricole. Il s'agit principalement : Des fertilisants (engrais minéraux du commerce ou déjections animales produites ou non sur l'exploitation). Des produits phytosanitaires (herbicides, fongicides, insecticides,…)

II.3.Caractéristiques des eaux usées

Les principaux paramètres physicochimiques analysés au cours de la partie expérimentale ainsi que les paramètres bactériologiques les plus rencontrés dans les eaux usées **(Nihed Ben Halima,2019)**.

II.3.1.Paramètres Physiques

Les paramètres des eaux usées accèdent de déterminer le degré de la pollution de l'eau. Par pollution, on distingue toute dégradation des propriétés physiques, chimiques et biologiques de l'eau, que l'on appelle alors eaux usées.

- **La température** : Il est important de connaître la température de l'eau avec une bonne précision. En effet, celle-ci joue un rôle dans la solubilité des sels et surtout des gaz, dans la dissociation des sels dissous donc sur la conductivité électrique,
- **La matière en suspension (MES)** : La pollution particulaire est due à la présence de particules de grande taille, supérieure à 10µm, en suspension dans l'eau, et que l'on peut assimiler aux matières en suspension (MES).

II.3.2.Paramètres Organoleptiques

- **La Turbidité** : la turbidité représente l'opacité d'un milieu trouble. C'est la réduction de la transparence d'un liquide due à la présence de matières non dissoutes. Elle est exprimée en NTU **(Joël, 2003)**
  - ✓ NTU < 5 => Eau claire ;
  - ✓ NTU < 30 => Eau légèrement trouble ;
  - ✓ NTU > 50 => Eau trouble.
- **La couleur** : Une eau pure observée sous une lumière transmise sur une profondeur de plusieurs mètres émet une couleur bleu clair car les longueurs d'ondes courtes sont peu absorbées alors que les grandes longueurs d'onde (rouge) sont absorbées très rapidement

II.3.3.Paramètres Chimiques :

- **Le potentiel Hydrogène (pH):** L'acidité, la neutralité ou l'alcalinité d'une solution aqueuse peut s'exprimer par la concentration en H_3O^+ **(Rejseck, 2002).**

$$\mathbf{pH = -log\,[H3O+]} \qquad \textbf{(II.1)}$$

- **La Conductivité** : La conductivité est la propriété que dispose une eau d'aider le passage d'un courant électrique. Elle résulte de la nature de ces ions dissous et de leurs concentrations. L'unité de conductivité est le siemens par mètre (S/m).

  1 S/m = 10^4 µS/cm = 10^3mS/m.

$$\mathbf{G = k' \times C} \qquad \textbf{(II.2)}$$

- **L'Oxygène Dissous** : L'oxygène dissous est un composé indispensable de l'eau car il permet la vie de la faune et de la flore. La solubilité de l'oxygène dans l'eau dépend de différents facteurs, dont la température, la pression et la force ionique du milieu. La concentration en oxygène dissous est exprimée en mg /l de O_2.
- **La Demande Chimique en Oxygène (DCO)** : La demande chimique en oxygène (DCO) est la quantité d'oxygène consommée par les matières existantes dans l'eau. La DCO est la concentration, exprimée en mg d'O_2/l.
- **La Demande Biochimique en Oxygène (**DBO_5**)** : La demande biochimique en oxygène a un pouvoir auto-épurateur et d'en déduire la charge maximale acceptable, principalement au niveau des traitements primaires des stations d'épuration. La demande biochimique en oxygène après 5 jours (DBO_5) d'un échantillon est la quantité d'oxygène consommé par les microorganismes aérobies présents dans cet échantillon pour l'oxydation biochimique des composés organiques et/ou inorganiques.

❖ Le rapport DCO / DBO_5 donne un indice sur la provenance et l'origine de la pollution organique.Les mesures se rapprochant de 1 du rapport DCO / DBO_5 une très bonne biodégradabilité (lait, yaourt).

- De 1,5 à 2 : Effluents d'industries agroalimentaires (meilleure biodégradabilité)
- De 2 à 3 : Effluents urbaines domestiques.
- > 3 à 4 : Effluents plus ou moins difficilement biodégradable (industrie).

- **Carbone total organique (COT)** : Détermine des propriétés changeantes du carbone organique dissous et du carbone organique résultant de substances volatiles et du carbone minéral dissous. Sa mesure est réalisée par un analyseur de CO_2 à infrarouge après combustion catalytique à haute température de l'échantillon
- **L'azote (N)**: L'azote présent dans l'eau peut avoir une particularité organique ou minérale. L'azote organique est essentiellement constitué par des composés tels que des protéines, des acides aminés, de l'urée. Quant à l'azote minéral (ammoniaque, nitrate, nitrite), il constitue la majeur partie de l'azote total. Le plus souvent ces produits ne se trouvent qu'à de très faibles concentrations.
- **Les nitrates (**NO_3^-**) :** Les nitrates se trouvant couramment dans les eaux provenant en grande partie de l'action de l'écoulement des eaux sur le sol. Leurs concentrations naturelles ne dépassent pas 3 mg L^{-1} .

- **Le Phosphore (P)** : Le phosphore peut exister dans les eaux en solution ou en suspension, à l'état minéral ou organique. Suivant les cas, la teneur en phosphates peut être exprimée en mg/L de PO_4^{2-} ou de P_2O_5 1mg/l PO_4^{2-} = 0,747 mg/L P_2O_5 = = 0,326 mg/L.
- **Le sulfate (SO_4^{-2})** : La concentration en ion sulfate des eaux naturelles est très variable. Dans les terrains ne contenant pas une proportion importante de sulfates minéraux, elle peut atteindre 30 à 50 mg/L. Leur présence dans l'eau est généralement due à des rejets en provenance d'ateliers de blanchiment (laine, soie, etc). En cas de rejet dans l'environnement, les sulfites se combinent à l'oxygène en donnant des sulfates.

II.3.4.Paramètres Bactériologiques : Les bactéries sont ubiquitaires dans la nature car il s'agit probablement des premiers êtres vivants apparus sur la terre (archéobactéries). Il nous a paru utile l'étude de quelques bactéries les plus rencontrées **(Franck Seukep,2020)** :

- **Les coliformes** : Sous le terme de « coliformes » est regroupé un certain nombre d'espèces bactériennes appartenant en fait à la famille des Enterobacteriaceae. Les coliformes comprennent les genres : Echerichia, Citrobacter, Enterobacter, Klebsiella, Yersinia, Serratia. **(Edberg et al.2000).**
- **Les streptocoques fécaux et Enterococcus** : Sous la dénomination générale de « streptocoques fécaux ». Toutefois, d'une façon générale, les concentrations en streoptocoques fécaux sont, dans les milieux naturels autres que ceux nettement pollués par le bétail, inferieurs à celles des coliformes fécaux.
- entraîner l'apparition de sous

II.4.Les impacts sociologiques et environnementaux

L'importance du traitement des eaux usées est connue depuis longtemps : à l'époque son terme principal était de traiter les eaux issues de l'agriculture afin d'amoindrir les odeurs puées. Des épidémies ayant été reliées aux bactéries présentes dans l'eau, les populations urbaines ont pris conscience que l'enjeu du traitement des eaux était fondamental.

Le traitement des eaux usées permet donc à la population urbaine aussi bien que rurale de mieux contrôler son impact sur l'environnement. Les eaux usées peuvent contenir des pesticides, des polluants ou autres substances qui, même diluées, peuvent avoir un effet à long terme sur les milieux naturels.

Traiter les eaux usées est un objectif aussi bien sanitaire qu'environnementale. Ces techniques d'épurations tendent à être aussi rapprochées de la nature que possible, utilisant même dans certains cas des bassins d'épuration avec des plantes.

II.5.Définition d'une station d'épuration STEP

C'est un équipement destiné à épurer les eaux usées domestiques ou industrielles et les eaux pluviales avant le rejet dans l'environnement. Le but du traitement est de fractionner l'eau des substances indésirables pour le milieu récepteur (air, eau, sol). Une station d'épuration est fréquemment installée à l'extrémité d'un entrecroisement de collecte. Elle peut user certains principes, physiques et biologiques. Le plus souvent, le processus est biologique car il fait contribuer des bactéries capables de dégrader les matières organiques. Une station d'épuration est composée d'un procédé, conçus pour extraire les différents polluants contenus dans les eaux. La pollution retenue dans la station d'épuration est transformée sous forme de boues (Figure II.1).

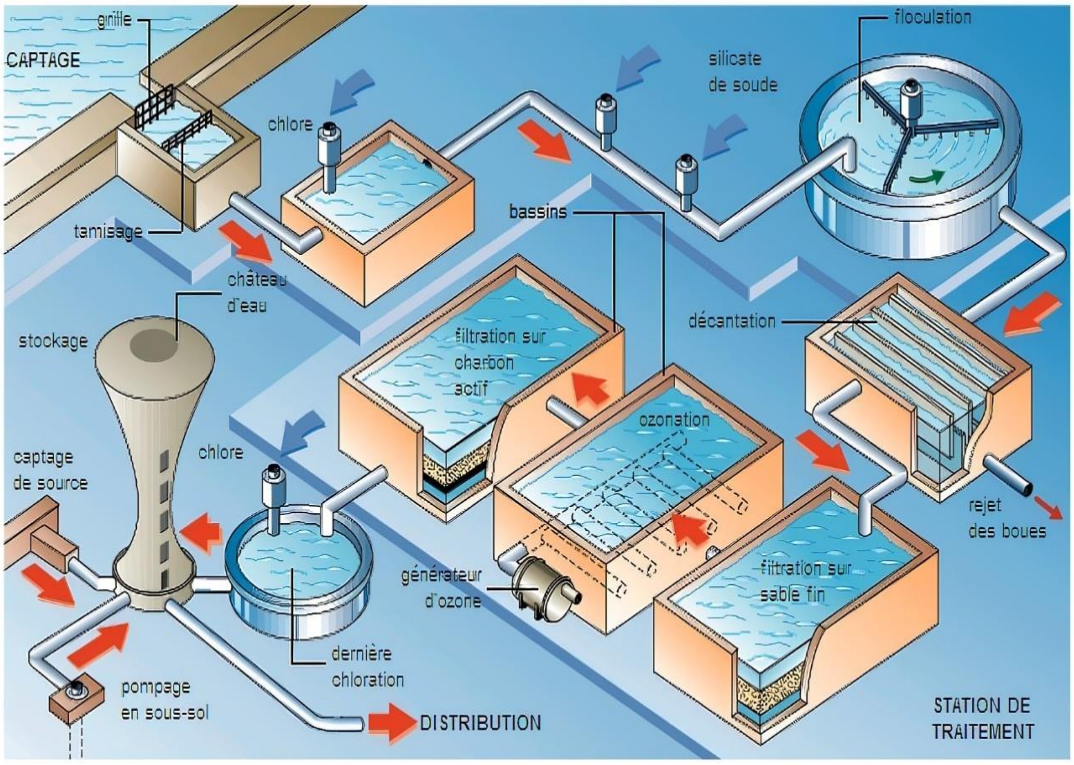

Figure II.1 : Station de traitement des eaux usées

II.5.1.Les étapes et procédés de traitement des eaux usées

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. Selon le degré d'élimination de la pollution et les procédés mis en œuvre, trois niveaux de traitements sont définis. Les prétraitements consistent à débarrasser les eaux usées des polluants solides les plus grossiers (dégrillage, dégraissage). Ce sont de simples étapes de séparation physique.

- Les traitements primaires regroupent les procédés physiques ou physico-chimiques visant à éliminer par décantation une forte proportion de matières minérales ou organiques en suspension. A l'issue du traitement primaire, seules 50 à 60 % des matières en suspension sont éliminées.
- Les traitements secondaires recouvrent les techniques d'élimination des matières polluantes solubles (carbone, azote, et phosphore). Ils constituent un premier niveau de traitement biologique.

Pour satisfaire à la réglementation actuelle, les agglomérations de plus de 2000 équivalents-habitants devront être raccordées à des stations d'épuration permettant un traitement secondaire des eaux usées. Dans certains cas, des traitements tertiaires sont nécessaires, notamment lorsque l'eau épurée doit être rejetée en milieu particulièrement sensible (Figure II.2).

A titre d'illustration, les rejets dans les eaux de baignade, dans des lacs souffrant d'un phénomène d'eutrophisation ou dans des zones d'élevage de coquillages sont concernés par ce troisième niveau de traitement

- **Le dégrillage** : à l'arrivée dans la station, les eaux usées passent à travers des grilles qui retiennent les déchets solides les plus grossiers (papiers, matières plastiques…). Il s'agit d'une simple étape de séparation physique. Différents types de dégrillage sont définis selon l'espace des barreaux :
  - Pré dégrillage pour écartement 30 à 100mm ;
  - Dégrillage moyen pour écartement 10 à 30 mm ;
  - Dégrillage fin pour écartement <10 mm.

- **Le dessablage** : il permet d'ôter le sable et les graviers des eaux usées, qui se déposent au fond d'un bassin où ils sont récupérés
- **Le déshuilage et dégraissage** : l'injection de bulles d'air permet de faire remonter les huiles et les graisses en surface d'où elles sont éliminées. Plusieurs inconvénients pour le traitement tel que :
  - Envahissement des décanteurs ;
  - Mauvaise diffusion de l'oxygène dans les décanteurs ;
  - Risque de bouchage des canalisations et des pompes ;
  - Diminution du rendement du traitement suivant.

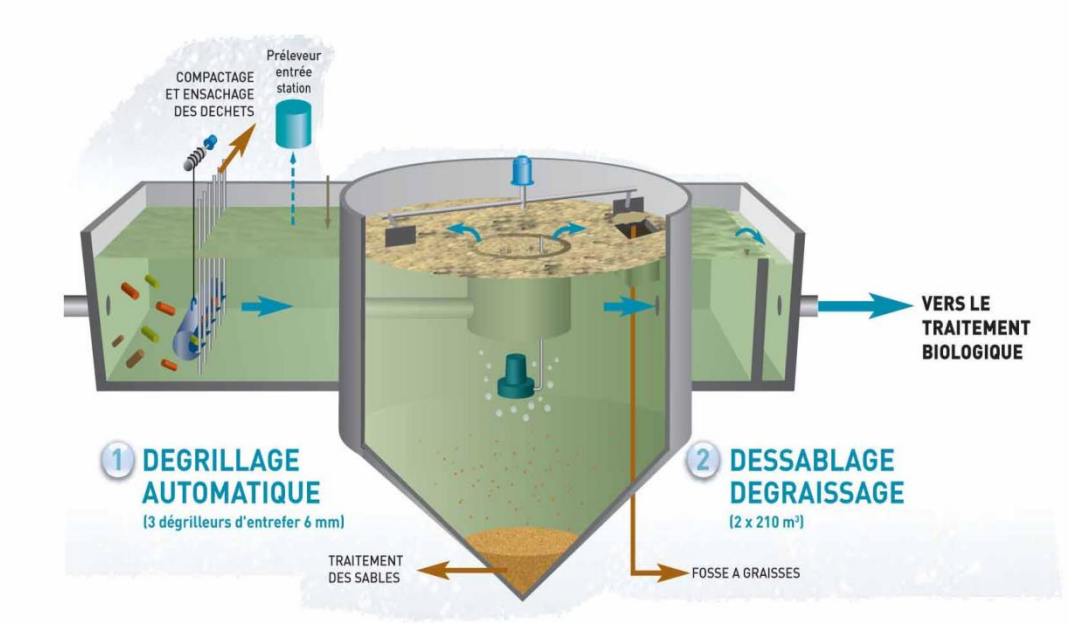

Figure II.2 : Procédées dégrillage – dessablage - dégraissage

- **La floculation/Coagulation/décantation** : ce traitement physico-chimique permet d'éliminer une forte proportion des matières en suspension(ou MES).

Figure II.3 : Traitements des eaux usées par la floculation/Coagulation/décantation

a) **Décantation physique** : C'est un procédé de séparation des matières en suspension(MES) et des colloïdes rassemblés en floc dont la densité est supérieure à celle de l'eau. Les particules décantées s'accumulent au fond du bassin, d'où on les extrait constamment. L'eau cueillie en surface est dite clarifiée.

b) **Décantation physico-chimique** : Si les particules sont très fines, ils peuvent rester en suspension dans l'eau très longtemps, ces derniers n'ont pas la capacité à s'accrocher les unes aux autres. Pour les éliminer, on a appel aux procédés de

coagulation et de floculation qui ont pour but de déstabiliser les particules en suspension et faciliter leur agglomération. Par l'injection des réactifs tels que : (le sulfate d'alumine, le sulfate ferrique) pour coagulation et pour la floculation en trouve : les floculant minéraux, les floculant organiques.

- **Traitement biologique :** le cœur du traitement consiste à faire dégrader les matières organiques dissoutes par des bactéries naturellement présentes dans ces eaux. Des dispositifs d'aération permettent d'insuffler de l'oxygène aux bactéries qui se développent en se nourrissant des matières organiques. Quelques exemples de techniques de traitement biologique :
- **Boues activées** : ce procédé imite l'épuration naturelle observée dans les cours d'eau, en l'intensifiant : l'eau, dans laquelle on insuffle de l'air, est brassée pour faire se multiplier rapidement les microorganismes épurateurs, qui évoluent librement dans les eaux sales. Les bactéries ainsi sollicitées sont ensuite séparées de l'eau par décantation. Le traitement des boues a pour objectif (Figure II.4):
  - Diminuer la fraction organique afin de diminuer leur pouvoir fermentescible et lesrisques de contamination (stabilisation) ;
  - Affaiblir leur volume total afin de réduire leur coût d'évacuation (déshydratation).

Figure II.4 : Station d'épuration à boues activées

- **Lagunage** : ce procédé, plus rustique, revient à laisser faire la nature, en exposant les eaux usées à la lumière du soleil dans une série de bassins de faible profondeur. Les micro algues vivant dans ces eaux s'y développent. Elles dégagent ainsi de l'oxygène

qui, ajouté à celui qui s'échange entre l'air et l'eau permet aux bactéries épuratrices de vite se reproduire.

Figure II.5 : Lagunage aéré

- **Biofiltres :** ce procédé s'inspire de l'épuration naturelle opérée par les sols l'eau usée passe à travers une couche formée de petites billes sur lesquelles les microorganismes épuratoires de cette eau affectionnent de se fixer. Le système est aéré artificiellement

  a) Clarification : elle permet de séparer par décantation l'eau des bactéries qui forment des boues. Les eaux clarifiées sont acheminées vers une canalisation de sortie tandis que les boues sont évacuées vers la filière de traitement des boues. L'eau qui sort d'une station de traitement des eaux usées n'est pas potable car elle contient encore des polluants et une charge microbienne résiduelle de faible concentration, que le milieu récepteur est en mesure de traiter naturellement. (Figure II.6)

Figure II.6 : Clarificateur (clarification des eaux usées de la boue)

II.5.2.Les traitements complémentaires : azote, phosphore, désinfection

Des traitements plus poussés sont effectués lorsque la nature des milieux recevant l'eau dépolluée l'exige : les zones sujettes aux phénomènes d'eutrophisation, les lieux de baignade et de conchyliculture (élevage de coquillages). Ils sont, la plupart du temps, concomitants au traitement biologique du carbone.

1. **Élimination de l'azote** : Les stations d'épuration prévues pour éliminer les matières carbonées n'éliminent qu'environ 20 % de l'azote présent dans les eaux usées. Pour satisfaire aux normes de rejet en zones sensibles, des traitements complémentaires doivent être mis en place. L'azote organique se transforme dans les eaux usées en azote ammoniacal (NH_4^+). L'élimination de l'azote ammoniacal est, le plus souvent, obtenue grâce à des traitements biologiques, de "nitrification-dénitrification
2. **Élimination du phosphore :** L'élimination du phosphore, ou "déphosphatation", peut être réalisée par des voies physico-chimiques ou biologiques.
3. **Désinfection** : Les traitements primaires et secondaires ne détruisent pas complètement les germes présents dans les rejets domestiques. Des procédés d'élimination supplémentaires sont donc employés lorsque les eaux traitées sont rejetées.
   b) **La désinfection par le chlore** : Le chlore est l'un des produits habituellement utilisés pour la désinfection de l'eau destinée à la consommation humaine. Il permet d'éliminer de façon efficace bactéries, microbes, virus et autres micro-organismes responsables de pathologies graves telles que la dysenterie, le choléra ou la typhoïde (Figure II.7)

Figure II.7 : Traitement des eaux usées par le chlore

c) **Désinfection par ultraviolets (UV)** : La désinfection par ultraviolets (UV) est de plus en plus utilisée, depuis quelques années, pour désinfecter les eaux usées urbaines. Assurant un bon rendement de désinfection (Figure II.8)

Figure II.8 : Traitement des eaux usées par ultraviolets (UV)

II.5.3. Traitement des odeurs

La dépollution des eaux usées produit des odeurs, qui sont parfois perçues comme une gêne par les riverains des stations d'épuration. Les principales sources de mauvaises odeurs sont les boues et leur traitement, ainsi que les installations de relevage et de prétraitement. Cependant, les exploitants de stations d'épuration cherchent à limiter les odeurs dégagées par les traitements. La conception des stations est le premier élément permettant de limiter l'émission d'odeurs dans le voisinage.

Des installations de désodorisation chimique ou biologique sont également mises en place au sein des stations d'épuration. La désodorisation chimique est la technique la plus utilisée.Les gaz malodorants sont captés puis envoyés dans des tours de lavage où un liquide désodorisant est pulvérisé (Figue II.9)

Figure II.9 : Biofiltre pour le trainement des odeurs

Ces lavages peuvent comporter de la soude, de l'acide et / ou de l'eau de javel, réactifs qui captent ou neutralisent les mauvaises odeurs. La désodorisation biologique consiste à faire passer l'air au travers d'un matériau poreux sur lequel on développe un biofilm, de façon analogue aux bios filtres utilisés pour le traitement de l'eau. Les stations d'épuration sont tenues de traiter l'eau afin que lors de sa restitution dans le milieu naturel (rivière, fleuve,…) la qualité de l'eau respecte un cahier des charges en termes de MES, pH, DCO, DBO, azote, métaux, etc. Ils nécessitent des étapes successives faisant appel à des procédés physiques, chimiques et biologiques.

II.5.4. Traitement par lagunage ou la phyto-épuration

L'épuration par lagunage consiste à faire passer les effluents des eaux usées brutes ou prétraitées dans un bassin naturel. La pollution est alors dégradée par l'activité bactérienne, l'activité photosynthétique et l'assimilation des substances minérales.

II.5.4.1. Le principe général de lagunage

Cette filière d'épuration s'appuie sur le pouvoir épurateur des végétaux aquatiques : algues, hydrophytes (plantes d'eau libre) et hélophytes (plantes du bord des eaux).Tous les lagunages appliquent le principe suivant : après une première décantation, les eaux usées traversent des bassins de lagunage plantés ou non. L'épuration s'effectue par les plantes et par les micro-organismes fixés sur leurs racines et sur des substrats (graviers, sable…), grâce à l'effet filtrant du sol **(Bontoux, J.1994).**

I1.5.4.2.Les différents systèmes de lagunage

I1.5.4.2.1. Le lagunage à microphytes (lagunage naturel)

Un lagunage naturel est un procédé de traitement biologique des eaux usées se faisant dans des bassins où est maintenue une tranche d'eau de 0,8 à 1,5 m. Les micropyles qui sont des algues, les petits animaux (protozoaires, rotifères, crustacés) et les bactéries en présence d'oxygène, vont transformer les charges polluantes et stabiliser les boues.

I1.5.4.2.2. Le lagunage à macrophytes (phytoépuration)

Dans ce système, l'eau est apparente : 30 - 40 cm d'eau au-dessus d'un substrat composé le plus souvent de graviers ou de sable dans lequel sont repiqués les végétaux aquatiques. Ce système nécessite une superficie suffisamment grande : 10-12 m^2 par usager. Un schéma représentatif (Figure II.10)

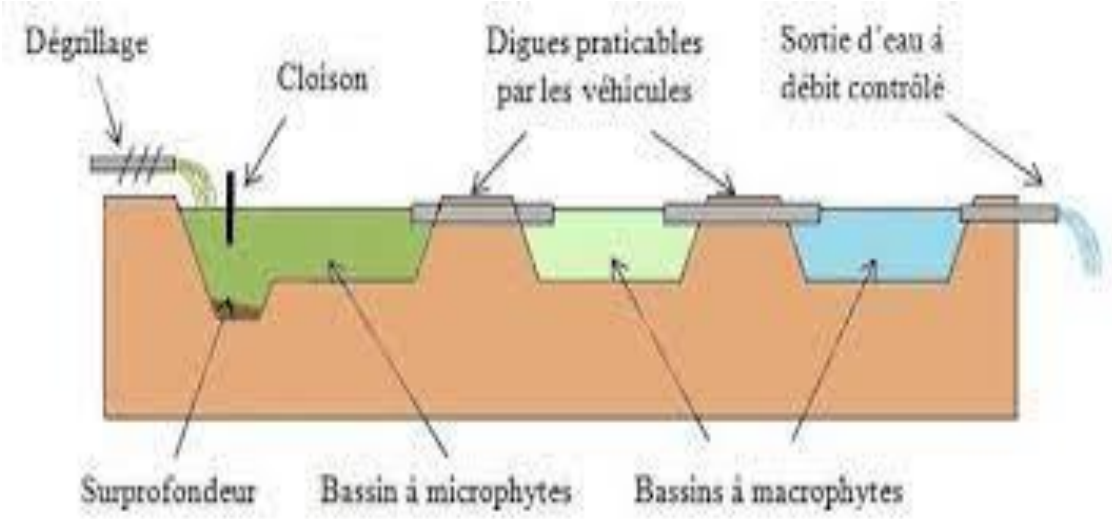

Figure II.10 : Schéma du lagunage micro et macorphytes

I1.5.4.3. L'entretien

Une fois mis en place, le lagunage naturel ne nécessite qu'un entretien restreint dont la partie hebdomadaire peut être assurée par un employé communal :

• Nettoyer les installations de pré-traitement une fois par semaine
• Surveiller une fois par semaine l'ensemble de la station
• Tondre les abords et enlever les lentilles d'eau
• Entretien et maintenance du poste de relèvement si écoulement non gravitaire
• Faucarder (faucher) les plantes chaque année à l'automne
• Curer les bassins à microphytes tous les 1 ou 2 ans
• Curer les bassins à macrophytes tous les 5 à 10 ans

I1.5.4.4. Avantages et inconvénients du lagunage

Les plus :

• Procédé simple, naturel, efficace

• Entretien facile et économique

• S'intègre très bien dans le paysage rural

• Valorisation agricole des boues

• Participe à la biodiversité (plantes, oiseaux, amphibiens, insectes…)

• Est un excellent support de pédagogie

• Lagunage naturel adapté au réseau unitaire

• Lagunage aéré adapté au réseau séparatif, compatible avec réseau unitaire mais avec un ouvrage de régulation

Les moins :

• Nécessite beaucoup de terrain

• Baignade interdite (pathogènes)

• Lagunage naturel peu adapté aux effluents industriels et au réseau séparatif

• Rendement plus faible en hiver

• Risque d'odeur si dysfonctionnement

• Incompatible avec une nappe très proche en sous-sol

Le coût d'investissement est variable en fonction du prix du foncier, de la taille de la station et de la nécessité ou non d'ajouter une imperméabilisation des bassins. Il peut donc être un avantage ou un inconvénient selon les circonstances.