

Chapitre IV

Procédés biologiques d'épuration des eaux usées

Procédé par Lagunage (culture libre)

IV.1. Introduction

C'est un système extensif dans lequel l'eau usée circule à travers un ou plusieurs bassins peu profonds (0,8 à 1,5 m) (figure 1). Tandis que les matières en suspension décantent au fond des bassins, l'auto-épuration est exercée de manière naturelle, et par conséquent assez lente, ce qui impose de longs temps de séjour (jusqu'à 60 jours) et donc les ouvrages de grandes surfaces. Aucune source d'énergie n'est nécessaire car l'oxygénation est naturelle et la circulation de l'eau se fait en gravitaire. Le lagunage est particulièrement intéressant pour les collectivités qui disposent du terrain nécessaire et qui n'ont pas les moyens financiers et humains pour entretenir une station d'épuration.

Donc, les procédés par lagunage sont les méthodes de traitement les plus communes lorsqu'on dispose de grandes surfaces de terrain, et lorsqu'on ne désire pas assurer en permanence une haute qualité de l'effluent. Le lagunage est très utilisé dans les pays en voie de développement.

Le principe de lagunage est identique à celui des boues activées, sauf qu'il n'y a pas de recyclage de boues.

On peut procéder selon la qualité de l'effluent et d'autres conditions techniques, à de différents types de lagunage :

- Lagunage naturel (aérobie) ;
- Lagunage anaérobie ;
- Lagunage aéré cas particulier du procédé à boues activées à aération artificielle.

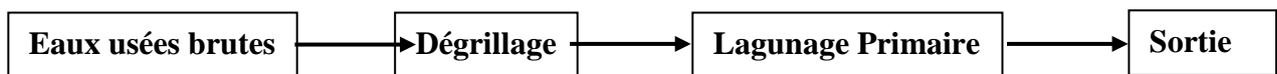
IV.2. Caractéristiques du lagunage

Le procédé de lagunage est le plus ancien et c'est celui qui est le plus proche des conditions naturelles, proche de l'auto-épuration.

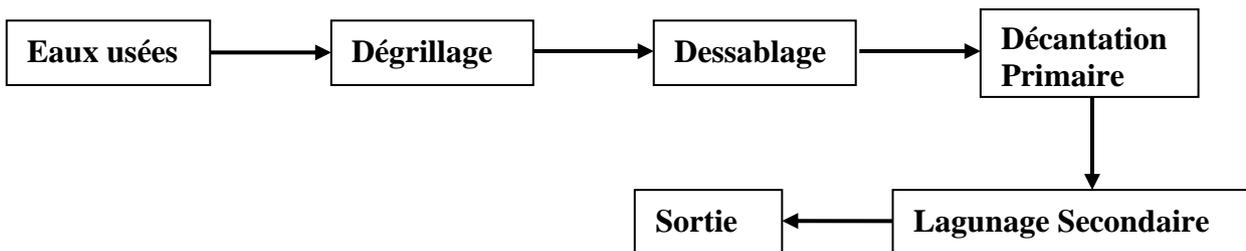
Le bassin de lagune = lagune = un étang de stabilisation.

- Une lagune est une excavation naturelle ou artificielle dont les parois sont constituées par des digues réalisées grâce aux matériaux déblayés.
- Ils n'ont pas de forme géométrique particulière.
- Les superficies sont importantes (1 à plusieurs hectares).
- Le temps de séjour est de plusieurs jours (2 à 60 jours).

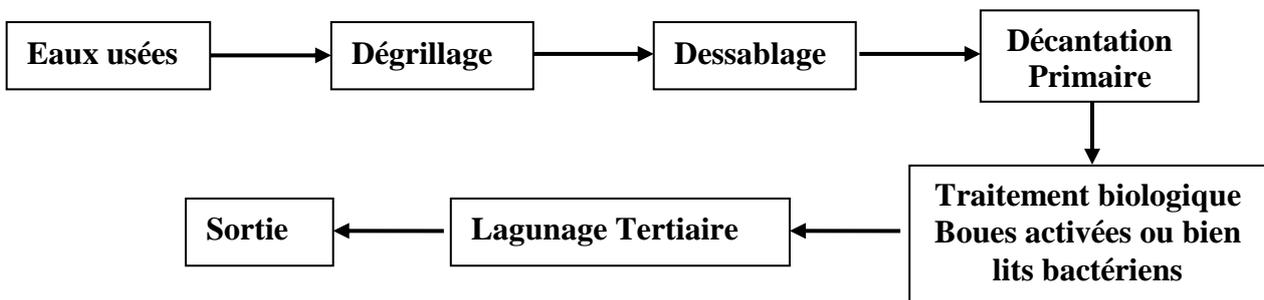
Les bassins de lagunage reçoivent soit des **effluents bruts** : C'est le lagunage primaire : (eau usée brute + dégrillage).



Des effluents prétraitements : C'est le lagunage secondaire (eau usée brute + dégrillage + dessablage + décantation primaire).



Des effluents traités : C'est le lagunage tertiaire (eau usée traitée dans une chaîne classique).



IV.3. Les différents types de lagunage

IV.3.1. Lagunage naturel (aérobie)

Sont d'une profondeur de 1.2 à 1.5 m au maximum et de 0.8 m au minimum (afin d'éviter le développement de macrophytes), avec un temps de séjour de l'ordre du mois, ces bassins fonctionnent naturellement grâce à l'énergie solaire. Le passage d'un bassin à l'autre se fait par gravité. C'est un système qui utilise beaucoup de surface et qui est donc appliqué en zone rurale. On peut obtenir un rendement d'épuration de 90 %. Ces procédés sont très sensibles à la température et sont peu applicables aux régions froides.

Leur dimensionnement est généralement basé, pour un climat tempéré, sur une charge journalière de 50 DBO kg ha⁻¹ j⁻¹, soit environ 10 m² par habitant et le temps de séjour de l'effluent est de 50 à 60 jours.

La teneur en matière en suspension dans l'effluent traité reste élevée (de 50 à 150 mg L⁻¹). Aussi la DBO₅ en sortie est souvent supérieure à 50 mg L⁻¹.

Dans cette stratégie, la station d'épuration se limite à un prétraitement (dégrillage et un tamisage) et les lagunes. Les figures 1 et 2 illustrent ce procédé.

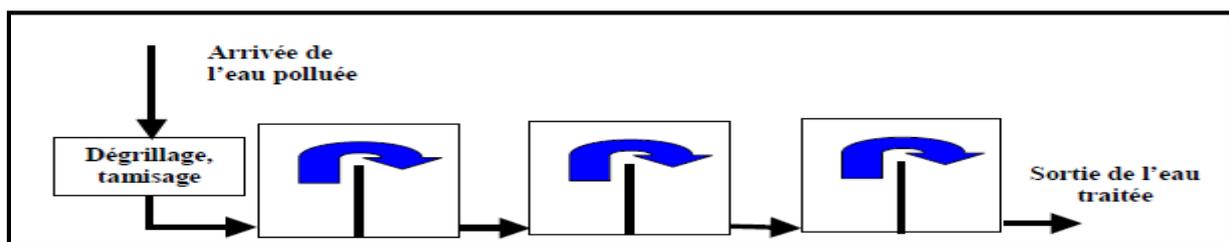


Figure 1: Schéma de principe du lagunage aérobie (vues de dessus)

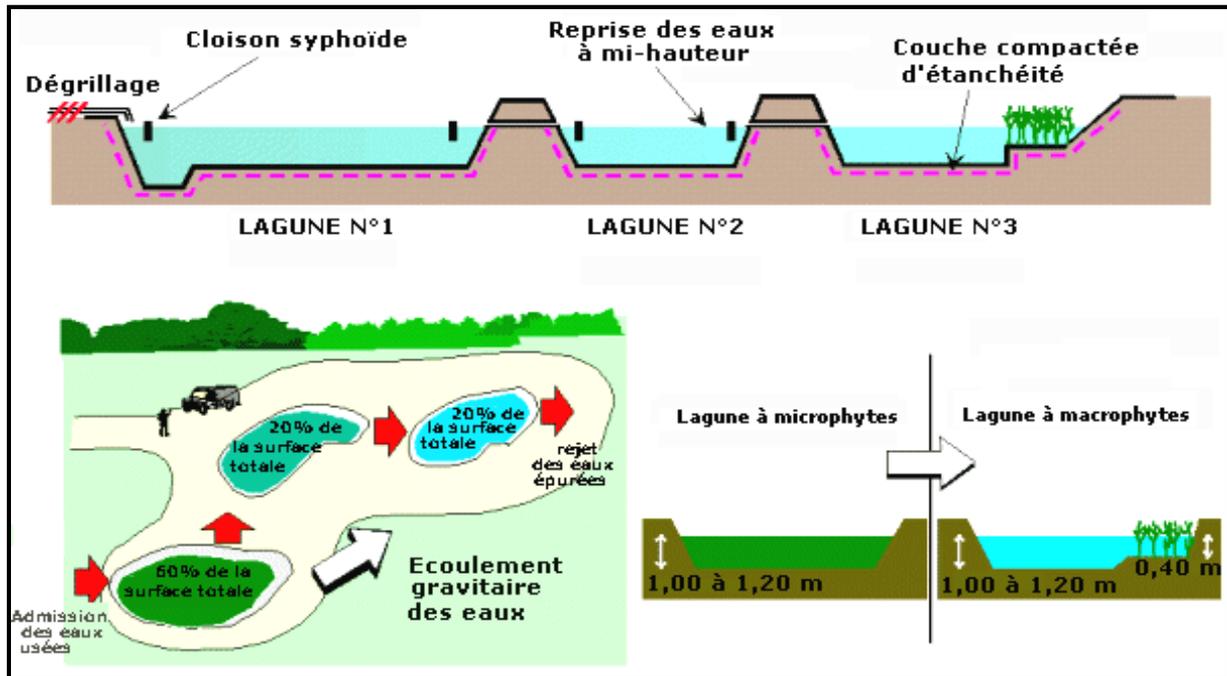


Figure 2 : Schéma de principe d'un lagunage naturel

Les matières en suspensions de l'eau usée et la biomasse microbienne formée se déposent dans les lagunes. Un écosystème complexe va transformer tout cela.

Elles sont en partie décomposées et minéralisées par d'autres micro-organismes, la faune et la flore présente (protozoaires, algues microscopiques, végétaux macrophytes...). Les lagunes nécessitent donc un curage après quelques années de fonctionnement. Afin de diminuer cette surface on peut mettre des aérateurs de surfaces (des turbines de surfaces) qui vont augmenter le transfert d'oxygène de l'air vers l'eau.

Principe de fonctionnement du lagunage naturel

Phénomène naturel, l'épuration par lagunage est réalisée grâce à un équilibre biologique, auquel participent des bactéries, du zooplancton, des algues et éventuellement des roseaux (figure 1).

Les matières en suspension de l'eau brute décantent dans le bassin de tête. Les bactéries assimilent la pollution dissoute, et l'oxygène nécessaire à cette dépollution est fourni par les

algues (photosynthèse). Le zooplancton consomme les algues. Éventuellement, les roseaux peuvent filtrer l'eau en sortie avant rejet.

L'ensemble de ces phénomènes se réalise dans deux ou trois bassins en série, ce qui permet l'étagement des phénomènes épuratoires.

Le lagunage naturel peut être utilisé en traitement complet des effluents ou en traitement tertiaire pour affiner la qualité de l'eau traitée par boue activée

IV.3.2. Lagunage aéré

L'oxygénation est, dans le cas du lagunage aéré, apportée mécaniquement par un aérateur de surface ou une insufflation d'air (Figure 3). 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.

Le temps de séjour est de l'ordre de 1 semaine et la profondeur de 1 à 4 m. Le rendement peut être 80 % et il n'y a pas de recyclage de boues. L'homogénéisation doit être satisfaisante pour éviter les dépôts.

En lagunage aéré, la population bactérienne sans recirculation conduit :

- A une densité de bactéries faible et à un temps de traitement important pour obtenir le niveau de qualité requis.
- A une floculation peu importante des bactéries, ce qui contraint à la mise en place d'une lagune de décantation largement dimensionnée.



Bord d'une lagune aéré

Aérateurs de surface amarrés

Figure 3 : Photos d'un lagunage aéré

IV.3.3. Lagunage anaérobie

Il n'est applicable que sur des effluents très concentrés et, le plus souvent comme prétraitement avant un étage aérobie.

Les temps de séjour sont souvent supérieurs à 50 jours. Les charges organiques appliquées sont de l'ordre de $0.01 \text{ kg DBO m}^{-3} \text{ j}^{-1}$. Une profondeur importante (5 à 6 m) est en principe un élément favorable au processus (Figure 4).

La couverture de ces lagunes et le traitement des gaz produits sont nécessaires vu les risques de nuisances élevés (odeurs) (Figure 5).



Figure 4 : Photos d'un Lagune anaérobie



Figure 5 : Photos d'un Lagune anaérobie

Dans la réalité, la classification aéro-anaérobie des lagunes n'est pas superflue, car dans les zones amont ou profondes des lagunes aérobies, on observe souvent un fort déficit en oxygène. Un curage des bassins tous les 10 ans est nécessaire du fait de la production des boues.

IV.4. Les avantages et les inconvénients du procédé par lagunage

IV.4.1. Avantages

- Bien adapté au réseau unitaire (charge hydraulique - dilution) ;
- Coûts d'investissement limités (en absence de forte contrainte d'étanchéité) ;
- Faibles coûts d'exploitation ;
- Bonne intégration dans l'environnement ;
- Bonne élimination des pathogènes ;
- Boues peu fermentescibles ;
- Raccordement électrique inutile ;
- Bonne élimination de l'azote (70 %) et du phosphore (60 %)
- Très faible technicité requise pour l'exploitant

IV.4.2. Inconvénients

- Emprise au sol importante ;
- Contraintes de la nature du sol et d'étanchéité ;
- Variation saisonnière de la qualité de l'eau traitée ;
- Nuisances en cas de défaut de conception et/ou d'exploitation (rongeurs, odeurs, moustiques) ;
- Difficultés d'extraction des boues ;
- Taille > 100 EH ;
- Pas de réglage possible en exploitation ;
- Sensibilité aux effluents septiques et concentrés.
- Curage contraignant et coûteux des boues tous les 1 à 5 ans dans le bassin de tête, tous les 10 à 20 ans dans tous les bassins ;
- Faucardage des roseaux tous les ans (hiver), s'ils sont présents

IV.5. Dimensionnement des lagunes

Pour le dimensionnement des bassins de lagunage, plusieurs facteurs doivent être pris en compte :

- effluents, population, débit, charge organique, concentrations bactériennes ;
- le climat : température et ensoleillement, vents et évaporation, pluviométrie ;
- le terrain : topographie, géologie, hydrogéologie.

À partir de ces données, il est possible de déterminer, avec l'aide de spécialistes, des éléments comme la surface, la forme, la profondeur et l'étanchéité des bassins. Les boues sédimentées au fond des bassins doivent être évacuées par périodes de 5 à 10 ans.

Après traitement, ces boues peuvent être utilisées comme composte pour l'agriculture.

Le critère principal de dimensionnement est la réduction de la DBO₅ de l'eau usée. Donc, il y'a deux méthodes :

- Méthode rationnelle : C'est la méthode de Morais (méthode applicable pour le Sud-Africaines, elle est basée sur la modélisation de la dégradation de la DBO₅).
- Méthode empirique : Elle est basée sur des observations aboutissant à des normes proposée par des chercheurs de l'OMS.

IV.5. 1. Méthode rationnelle (Méthode de MARAIS)

Ce type de dimensionnement est lié à l'application de la théorie de la dégradation de la matière organique suivant une loi d'ordre 1 (1^{er} ordre).

On exprime la variation de la DBO pendant un temps dt :

Si L est la concentration en DBO à l'instant t

L_0 est la concentration en DBO à l'instant t= 0

La dégradation de la DBO₅ est suit une loi exponentielle $L = L_0 e^{-Kt}$ (1)

Sachant que :

$$\frac{dL}{L} = -K dt$$

Avec K : la constante de dégradation de la matière organique d'ordre 1 en jour⁻¹. Cette constante est fonction de la température :

$$K = 1,20 \times (1,085)^{(T-35)}$$

T : température en °C

$$\frac{dL}{L} = -K dt \quad (2)$$

$$dL = -KL dt$$

$$L - L_0 = -K L dt \quad (3)$$

L est la concentration en DBO à l'instant t en mg/l

L_0 est la concentration en DBO à l'instant $t=0$ en mg/l

On multipliant par V (V : volume de la lagune en m³) l'équation 3 devient :

$$VL - VL_0 = -VKL dt \quad (4)$$

On sait que : $Q = \frac{V}{t}$ or $V = Q dt$

L'équation 4 devient :

$$QL dt - QL_0 dt = -VLK dt \quad (5)$$

Par simplification de dt l'équation 5 peut s'écrire :

$$QL + VKL = QL_0 \text{ Donc, cette équation s'écrit comme suit: } L(Q + KV) = QL_0 \quad (6)$$

Donc ;

$$L = \frac{QL_0}{Q + KV} \quad (7)$$

On divise par le débit Q en m³/j

$$L = \frac{L_0}{1 + K \frac{V}{Q}} \quad (8)$$

On sait que :

$$Q = \frac{V}{t} \text{ donc } \frac{V}{Q} = t_s$$

L'équation 8 devient finalement :

$$L = \frac{L_0}{1 + K t_s}$$

Avec t_s est le temps de séjour en (jours) ; L est la concentration en DBO à l'instant t en mg/l ; L_f est la DBO final (L_f) à la sortie de la station elle peut s'écrire :

$$L_f = \frac{L_0}{1 + K t_s}$$

IV.5.2. Méthode empirique

La méthode empirique, c'est un dimensionnement basé sur la charge de la DBO₅ reçue par unité de surface et par jour (Kg DBO₅/j/hectare)

L'Organisation Mondiale de la Santé a établi des normes qui tiennent compte d'une élimination de 80 à 90% de DBO₅ pour différentes zones climatiques.

Le tableau 1 donne la charge organique superficielle de la DBO₅ en fonction de la zone climatique dans le but est de dimensionner la lagune.

Tableau 1 : Charge superficielle en fonction du climat de la zone

Zones Climatiques	Glaciale	Froide	Tempérée	Semi Tempérée	Tropicale
Charge Superficielle (Kg DBO ₅ /j/hectare	< 10	10 à 50	50 à 100	100 à 150	150 à 300