

Chapitre 4

Table des matières

Chapitre 4. Épuration des eaux usées

4.1. Procédés d'épuration des eaux usées.....	18
4.1.1. Les prétraitements	18
4.1.1.1. Le dégrillage	18
4.1.1.2. Le dessablage	19
4.1.1.3. Le déshuilage-dégraissage	19
4.1.2. Les traitements primaires	20
4.1.2.1. Décantation classique	20
4.1.2.2. La coagulation-floculation.....	20
4.1.3. Traitements biologiques	21
4.1.3.1. Traitements anaérobies	21
4.1.3.2. Traitements aérobies.....	21
4.1.4. Traitements complémentaires (tertiaire).....	23
4.1.4.1. Elimination de l'azote et du phosphore	23
4.1.4.2. Les procédés de désinfection.....	24
4.2. Aspect réglementaire concernant la pollution des eaux usées industrielles.....	25
4.2.1. Normes internationales	25
4.2.2. Normes Algériennes.....	25

Chapitre 4.

Épuration des eaux usées

Les **eaux usées industrielles** regroupent toutes les eaux qui sont rejetées par l'usine dans le milieu extérieur, après avoir contribué à la **fabrication**, au **nettoyage**, au **transport** et au **refroidissement**. Après utilisation, ces eaux sont fortement contaminées par des substances de nature variable, cette contamination peut englober des matières en suspension, des colloïdes, de la matière organique dissoute et des éléments minéraux.



Figure 4.1. Des eaux usées industrielles.

La **station d'épuration des eaux usées** est une **installation** destinée à **épurer** les eaux usées domestiques, industrielles ou pluviales avant le rejet dans le milieu naturel. Le but du traitement est de **séparer** l'eau des **substances indésirables** pour le milieu récepteur.



Figure 4.2. Station d'épuration des eaux usées.

Objectifs principaux d'une station d'épuration

- ◆ Économie importante de l'eau ;
- ◆ Eviter la surexploitation des nappes souterraines et leurs protections contre la pollution ;
- ◆ Réutilisation des eaux épurées dans le domaine de l'irrigation ;
- ◆ Minimiser le risque des maladies à transmission hydrique.

Conditions d'implantation d'une station d'épuration

- ◆ Eviter le maximum les zones inondables ;
- ◆ Prendre en considération les zones urbanisées et urbanisables à cause des odeurs désagréables, maladies transmissibles par l'air, ... ;
- ◆ La position de la station d'épuration doit être dans un point où la collecte des eaux usées se fait au maximum.

Risques liés à la station d'épuration

- ◆ Risques de **chutes**, de **glissades**, liées à la circulation du personnel aux abords immédiats des équipements et matériels ;
- ◆ Le personnel exploitant peut être **contaminé par voie digestive, respiratoire ou cutanée** tout au long du processus de traitement de l'eau ;
- ◆ Les risques d'**incendie** et d'**explosion** liés à la présence de gaz de fermentation ou de résidus de produits inflammables, nécessaires à l'exploitation ou introduits accidentellement par les eaux résiduaires ;
- ◆ Les risques d'**asphyxie** liés aux espaces confinés, aux fosses ...

Le tableau 4.1 représente la consommation en eau de quelques industries.

Tableau 4.1. Consommation d'eau de quelques industries.

Secteur	Production	Quantité (L _{eau} /kg produit)
Sidérurgie : Avec recyclage	Acier	3-4
Papeterie	Carton	15
	Papier	52
Textile	Carton	300-800
Agroalimentaire	Lait pasteurisé	0,41-3,15
	Beurre	1,6-7,3
	Yaourt	2,7-5,85
	Fromagerie	0,6-2,8
	Sucre	8

4.1. Procédés d'épuration des eaux usées

Le traitement d'épuration des eaux usées des industries agroalimentaires est essentiel pour minimiser leur impact sur l'environnement. Le choix des technologies de traitement dépendra du type d'activité, de la composition des eaux usées, de la taille de l'usine et des réglementations locales. Les eaux usées peuvent être traitées par divers procédés qui reposent sur des phénomènes **physiques**, **chimiques** et **biologiques**. Les étapes de l'épuration regroupent les procédés suivants :

4.1.1. Les prétraitements

Le procédé de prétraitement regroupe : le dégrillage, le dessablage et le déshuilage-dégraissage.

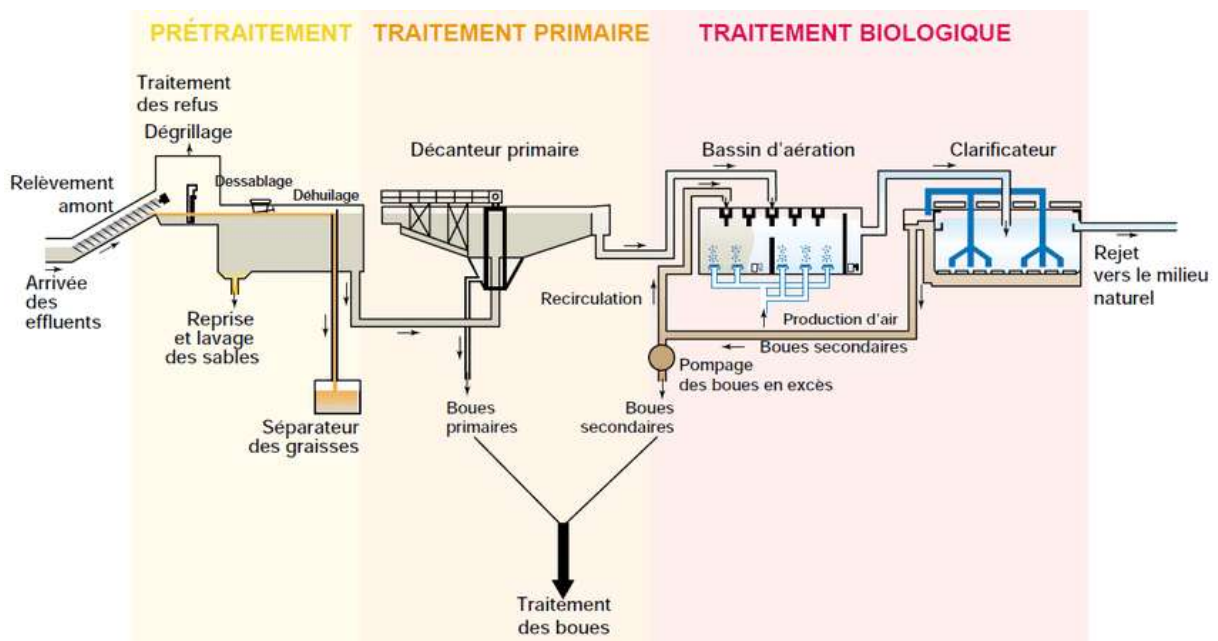


Figure 4.3. Les procédés de traitement des eaux usées.

4.1.1.1. Le dégrillage

Le dégrillage est réalisé par le passage des eaux usées à travers d'une grille caractérisée par l'écartement de ses barreaux, 30 à 100 mm, 10 à 25 mm, 3 à 10 mm pour un dégrillage grossier, moyen ou fin, respectivement. Les dégrilleurs assurent la protection des équipements électromécaniques et réduisent les risques de colmatage des conduites mises en place dans la station d'épuration. Après nettoyage des grilles par des moyens mécaniques, manuels ou automatiques, les déchets sont évacués avec les ordures ménagères.



Figure 4.4. Un dégrilleur.

4.1.1.2. Le dessablage

Le dessableur est un ouvrage dans lequel les particules denses, dont la vitesse est inférieure à 0,3 m/s, vont pouvoir se déposer. Il s'agit principalement des sables. Il est en effet souhaitable de les récupérer en amont de la station plutôt que de les laisser s'accumuler en certains points (bassin d'aération, ...) où ils engendrent des désordres divers. Par ailleurs, ils limitent la durée de vie des pièces métalliques des corps de pompe ou d'autres appareillages (effet abrasif, ...). Les sables récupérés sont essorés, puis lavés avant d'être soit envoyés en décharge, soit réutilisés.

4.1.1.3. Le déshuilage-dégraissage

Le dégraisseur a pour objet la rétention des graisses par flottation naturelle ou accélérée par injection de fines bulles. Ces matières grasses sont susceptibles de nuire à la phase biologique du traitement (mousses, ...).

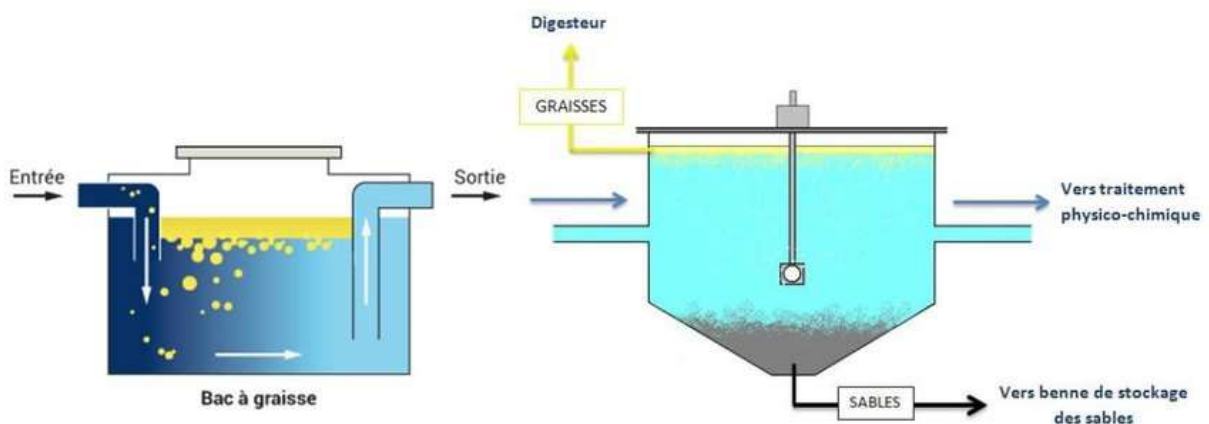


Figure 4.5. Le dessablage et le déshuilage-dégraissage.

4.1.2. Les traitements primaires

Après les prétraitements, les effluents conservent une charge polluante dissoute et des matières en suspension. Les procédés de traitement primaire sont physiques, comme la décantation, ou physico-chimique. Les matières issues de la décantation primaire constituent les boues primaires. Elles sont extraites par pompage vers la filière de traitement des boues. L'eau clarifiée est recueillie en surface par des goulottes et dirigée vers le traitement biologique.

4.1.2.1. Décantation classique

La base de ces procédés de séparation solide-liquide est la pesanteur. Ces procédés permettent d'éliminer, d'une part 50 à 60% des matières en suspension et réduit d'environ 30% la DBO et la DCO et d'autre part, de réduire leurs caractéristiques dimensionnelles (élimination des matières présentant une taille supérieure à 50 μm). Les matières solides se déposent au fond d'un ouvrage appelé « décanteur » pour former les « boues primaires ». Ces dernières sont récupérées au moyen d'un système de raclage. Il existe de nombreux types de décanteurs classiques :

- ◆ Décanteur horizontal avec raclage des boues ;
- ◆ Décanteur cylindro-conique ordinaire ;
- ◆ Décanteur circulaire avec raclage des boues.



Figure 4.6. Décanteur physico-chimique à recirculation de boues externes.

4.1.2.2. La coagulation-floculation

Pour éliminer la turbidité et la couleur d'une eau principalement causées par des particules très petites, dites particules colloïdales. On a recours aux procédés de coagulation et de floculation.

- ◆ **La coagulation** : ce procédé est caractérisé par l'injection et la dispersion rapide de produits chimiques : sels minéraux cationiques (sels de fer ou d'aluminium).
- ◆ **La floculation** : favorise, à l'aide d'un mélange lent, les contacts entre les particules déstabilisées par coagulation en les rassemblant pour former un floc qu'on peut facilement éliminer par le procédé de décantation.

4.1.3. Traitements biologiques

L'épuration biologique, une méthode qui exploite des micro-organismes pour dégrader les contaminants organiques présents dans les eaux usées, a pour but d'éliminer la matière polluante **biodégradable** contenue dans l'eau usée en la transformant en matières en suspension. La dégradation peut se réaliser par voie **aérobie** (en présence d'oxygène) ou **anaérobie** (en l'absence d'oxygène).

4.1.3.1. 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. Ce type de traitement n'est utilisé que pour des effluents très concentrés en pollution carbonée.

4.1.3.2. Traitements aérobies

A. Cultures libres (boues activées)

Le terme « cultures libres » regroupe les procédés où l'on provoque le développement d'une culture bactérienne dispersée au sein du liquide à traiter. Pour cela, on utilise un bassin brassé, pour conserver en suspension la culture, dans lequel est maintenue. Après un temps suffisant, la liqueur mixte est renvoyée dans un clarificateur ou décanteur secondaire où s'effectuera la séparation de l'eau épurée des boues.

Caractéristiques : Différents paramètres permettent de définir le fonctionnement d'une boue activée :

- ◆ La charge volumique C_v qui correspond à la quantité journalière de DBO₅ (en kg/j) à dégrader dans le volume V (m³) de l'ouvrage. Elle s'exprime en $\text{kgDBO}_5 = (j \cdot \text{m}^3)$;
- ◆ La charge massique (biologique) C_b qui est la quantité de DBO₅ (en kg/j) rapportée à la masse de matières en suspension totales contenues dans l'ouvrage de volume V . Elle s'exprime en $\text{kgDBO}_5 = (j : \text{kg MV S})$;
- ◆ L'âge des boues qui est le rapport entre la masse de boues présentées dans le réacteur et la masse journalière de boues extraites. Il s'exprime en jours.

B. Cultures fixées

Ce terme regroupe tous les procédés où la biomasse épuratrice est accrochée sur un support solide à travers lequel percole l'eau à traiter. On utilise pour les cultures fixées soit : le lit bactérien ou le disque biologique.

- ◆ **Lit bactérien** : Le plus ancien procédé à biomasse fixée est le lit bactérien. La biomasse est fixée sur un matériau de grosse granulométrie (3 à 8 cm) sur lequel percole l'effluent à traiter. L'air est transféré par diffusion à travers le film d'eau ruisselant à la surface du matériau.
- ◆ **Les bio-disques (les disques biologiques)** : Ce procédé consiste à alimenter en eau usée, préalablement décantée voire tamisée, une cuve contenant des disques en rotation sur un axe horizontal. Ces disques sont les supports d'un développement de microorganismes épurateurs (biofilm).

C. Cultures mixtes

Le traitement d'épuration par culture mixte est un procédé biologique conçu pour l'élimination d'azote et de carbone. Une solution hybride alliant les avantages du procédé à film fixe (comme la biofiltration) et la technologie de la biomasse en suspension (comme celle des boues activées).

D. Lagunage

D1. Lagunage naturel : Le lagunage est un procédé d'épuration naturelle qui a pour principe d'utiliser la **végétation aquatique** comme agent épurateur des eaux polluées. Les plantes aquatiques sont ici utilisées comme **support aux colonies bactériennes**.

Bassin 1 : (La minéralisation par les bactéries)

- ◆ **La voie physico-chimique** : naturellement des réactions chimiques ont lieu dans l'eau entre les différents éléments minéraux déjà présents.
- ◆ **La voie microbiologique** : C'est le moyen le plus efficace où les déchets organiques sont progressivement dégradés par les bactéries.

Bassin 2 : (Le rôle des plantes)

- ◆ Les nutriments présents (sels minéraux, dérivés des lessives et dans une moindre mesure des engrais minéraux issus de l'agriculture) et le CO₂ (déchet de la respiration de certaines bactéries) vont être assimilés par les plantes pour permettre leur croissance. Ces organismes autotrophes vont transformer, directement grâce à

l'énergie solaire, les différents sels minéraux et le CO₂ en tissu organique (sucres) pour la plante et en oxygène évacué dans le milieu extérieur : c'est le phénomène de la **photosynthèse**.

Bassin 3 : (Le rôle du zooplancton)

- ◆ Le rôle du zooplancton est d'assurer la finition de l'épuration des eaux. Ils vont jouer un rôle important comme consommateur de micro-algues, et donc comme régulateur de ces populations phytoplanctoniques.

D2. Lagunage aéré : Dans un **premier bassin**, des bactéries interviennent pour éliminer les déchets (la matière organique) et les transformer en sels minéraux et en gaz. Par la suite, dans un **deuxième bassin**, ces produits sont récupérés par les plantes pour permettre leur développement. Celles-ci vont alors produire de l'oxygène (par photosynthèse). Les micro-algues (phytoplancton) seront consommées dans les derniers bassins par le zooplancton (animaux microscopiques). A la fin de cette étape (80 jours environ après l'entrée dans le premier bassin), les eaux sont aptes à être rejetées dans le milieu naturel.

4.1.4. Traitements complémentaires (tertiaire)

Les traitements tertiaires permettent d'affiner ou d'améliorer le traitement secondaire. Ces traitements sont réalisés lorsque le milieu récepteur l'exige. On y distingue généralement les opérations suivantes :

- ◆ La nitrification-dénitrification et déphosphatation biologique ou mixte (biologique et physico-chimique);
- ◆ La désinfection bactériologique et virologique.

4.1.4.1. Elimination de l'azote et du phosphore

Elimination de l'azote : L'azote peut être éliminé par trois voies possibles :

- ◆ **Physique :** par décantation lorsqu'il est lié aux matières en suspension.
- ◆ **Physico-chimique :** un soluté gazeux est chassé de l'eau par l'action d'un autre gaz appelé gaz laveur.
- ◆ **Biologique :** L'élimination de l'azote est le plus souvent, obtenue grâce à des traitements biologiques, de " nitrification-dénitrification ".

A. Nitrification : La nitrification est un processus contrôlé par l'action de certains micro-organismes spécifiques, qui conduit à la transformation de l'ammoniaque ou de l'ammonium en nitrate, c'est à dire la conversion biologique de la forme réduite, NH_4^+ , NH_3 en la forme oxydée NO_3^- .

B. Dénitrification : La dénitrification se fait généralement dans le même bassin que la nitrification par syncopage (arrêt de l'aération, phase anoxie). Cette étape a pour but de protéger le milieu naturel.

Élimination du phosphore : L'élimination du phosphore, ou « déphosphatation », peut être réalisée par deux voies :

- ◆ **Voie chimique :** (pour les petites installations) Il s'agit d'une précipitation des phosphates par des sels de fer ou d'aluminium, ou encore par de la chaux ; on obtient alors des précipités insolubles de phosphates métalliques.
- ◆ **Voie biologique :** La déphosphatation biologique consiste à provoquer l'accumulation du phosphore dans les cultures bactériennes des boues.

4.1.4.2. Les procédés de désinfection

A. Les traitements chimiques de désinfection

- ◆ **La chloration :** Le chlore est un agent oxydant fort qui réagit facilement avec plusieurs substances organiques et inorganiques trouvées dans les eaux usées.
- ◆ **L'ozonation :** C'est le seul procédé vraiment efficace contre les virus, l'ozone est un gaz instable que l'on doit générer sur place, dans les stations d'épuration, au moyen d'une décharge électrique produite dans de l'air ou de l'oxygène. L'opération consiste à transformer l'oxygène sous forme « O_2 » en oxygène sous forme « O_3 ».

B. Les traitements physiques de désinfection

Le rayonnement ultraviolet : Il consiste à faire passer les eaux dans un canal ouvert muni de lampes à rayons ultraviolets. Les principaux avantages de cette technologie sont l'absence de formation de produits secondaires indésirables, de même que la simplicité et la sécurité d'exploitation comparativement aux méthodes chimiques.

4.2. Aspect réglementaire concernant la pollution des eaux usées industrielles

La norme est représentée par un chiffre qui fixe une limite supérieure à ne pas dépasser ou une limite inférieure à respecter.

4.2.1. Normes internationales

Les normes internationales selon l'organisation mondiale de la santé (OMS) respective pour les eaux usées.

Tableau 4.2. Normes de rejets internationales

Caractéristiques	Normes utilisées (OMS)
pH	6,5-8,5
DBO ₅	< 30 mg/l
DCO	< 90 mg/l
MES	< 20 mg/l
NH ₄ ⁺	< 0,5 mg/l
NO ₂	1 mg/l
NO ₃	< 1 mg/l
P ₂ O ₅	< 2 mg/l
Température	< 30°C
Couleur	Incolore
Odeur	Incolore

4.2.2. Normes Algériennes

Les normes de rejets des effluents industriels sont fixées par la loi n° 83-17 du 16 Juillet 1983 portant code des eaux, de l'ordonnance n° 96-13 du 15 Juin 1996 modifiant et complétant la loi n° 83-17, du décret exécutif n° 93-160 du 10 Juillet 1993 réglementant les rejets d'effluents liquides des industriels et du décret exécutif n° 06-141 du 19 avril 2006 de la république Algérienne définissant les valeurs limites des rejets d'effluents liquides industriels. Pour quelques industries agro-alimentaires, les valeurs limites de rejets sont regroupées dans le tableau suivant :

Tableau 4.3. Valeurs limites selon la réglementation algérienne des rejets des IAA.

Industrie	Paramètres	Valeurs limites
Abattoirs et transformation de la viande	Volume/quantité (m ³ /t carcasse traitée)	6
	pH	5,5-8,5
	DBO ₅ (g/t)	250
	DCO (g/t)	800
	Matières décantables (g/t)	200
Sucrierie	Température (°C)	30
	pH	6-9
	DBO ₅ (mg/l)	400
	DCO (mg/l)	250
	MES (mg/l)	350
	Huiles et graisses (mg/l)	5
Levurerie	Température (°C)	30
	pH	5,5-8,5
	DBO ₅ (mg/l)	100
	DCO (mg/l)	7000
	MES (mg/l)	30