



République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université Echahid Hamma Lakhdar – El Oued



Faculté de la Technologie
Département de Génie des Procédés et la Pétrochimie

Support de Cours

Technique de traitement des eaux

Domaine : Sciences et Technologies
Filière : Industries pétrochimiques
Spécialité : Industries pétrochimiques
Niveau : 3^{ème} année LMD



Présenté par :

BARANI Djamel

Maitre de Conférences – B –



République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université Echahid Hamma Lakhdar – El Oued



Faculté de la Technologie
Département de Génie des Procédés et la Pétrochimie

Support de Cours

Technique de traitement des eaux

Domaine : Sciences et Technologies
Filière : Industries pétrochimiques
Spécialité : Industries pétrochimiques
Niveau : 3^{ème} année LMD



Présenté par :

BARANI Djamel

Maitre de Conférences – B –

AVANT-PROPOS

La présente polycopie est adressée aux étudiants du 3^{ème} année industries pétrochimique licence LMD. Nous espérons qu'il sera d'une grande utilité pour mieux comprendre les techniques de traitement des eaux.

Nous nous sommes attachés à rester fidèles à l'approche pédagogique fondamentale du ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique, en conservant une méthodologie stricte et systématique dans la préparation de ce document, en offrant aux étudiants des possibilités de répondre aux objectifs du programme. Ce document est composé de Cinq chapitres.

SOMMAIRE

Sommaire	
Liste des tableaux	
Liste des figures	
Introduction générale	1
Chapitre I : Propriétés physico-chimiques de l'eau	
1. Le cycle de l'eau	4
2. Caractéristiques physico- chimiques de l'eau	5
3. Caractéristiques Organoleptiques	6
4. Paramètres physico-chimiques	6
4.1. La température	6
4.2. Le potentiel d'Hydrogène (pH)	6
4.3. La conductivité électrique	7
4.4. La dureté totale	7
4.5. L'oxygène dissous	7
4.6. Matières organiques	8
4.7. Matières en suspension (MES)	8
4.8. Matières azotées	8
4.9. Composés phosphorés	8
5. Paramètres biologiques	8
Chapitre II : Classement des eaux usées	
1. Définition	10
2. L'origine et le classement des eaux usées	10
2.1. Eaux résiduelles domestiques	10
2.2. Eaux usées industrielles	11
2.3. Eaux usées agricoles	12
2.4. Eaux de ruissellement	12
3. Processus de traitement des eaux usées	12
4. Normes de qualité des eaux de rejet	12
4.1 Les critères de rejet internationaux	13
4.2 Les critères de rejet national	14

Chapitre III : Méthodes physiques de traitement des eaux usées et industrielles	
1. Les prétraitements	16
1.1 Dégrillage	16
1.2 Dessablage	17
1.3 Déshuilage-Dégraissage	18
2. Le traitement primaire	19
Chapitre IV : Méthodes chimiques de traitement des eaux usées et industrielles	
1. Traitement de clarification	22
1.1 La coagulation-floculation	22
1.2 La décantation	24
2. La filtration	25
3. La désinfection	25
4. La décarbonatation	26
5. Elimination de fluor	26
6. Elimination de l'ammoniaque : la nitrification	26
7. Elimination des nitrates : Dénitrification	26
8. La déphosphatation	27
9. Traitement des boues	27
Chapitre V : Méthodes biologiques de traitement des eaux usées et industrielles	
1. Introduction	29
2. Principe de traitements biologique	29
3. processus de traitements biologique	30
4. Avantages de traitement biologique	30
5. Applications de traitement biologique	30
6. Fonctionnement de traitement biologique	31
6.1 Le système de traitement aérobie	31
6.2 Le système de traitement anaérobie	31

Liste des tableaux

Chapitre I : Propriétés physico-chimiques de l'eau

Tableau I.1 : Classement des eaux en fonction de la conductivité 7

Tableau I.2 : Classement des eaux selon la dureté 7

Chapitre II : Classement des eaux usées

Tableau II.1 : Critères de rejet internationaux 13

Tableau II.2 : Critères Algériennes de rejet des effluents liquides 14

Chapitre IV : Méthodes chimiques de traitement des eaux usées et industrielles

Tableau IV.1 : Le délai de fixation de différentes particules suivant leur diamètre 23

Tableau IV.2 : Principaux coagulants utilisés pour la coagulation 23

Liste des figures

Chapitre I : Propriétés physico-chimiques de l'eau

Figure I.1 : Schéma du cycle de l'eau 4

Chapitre III : Méthodes physiques de traitement des eaux usées et industrielles

Figure III.1 : Le dégrillage 16

Figure III.2 : Dessableur longitudinal 17

Figure III.3 : Dessableur circulaire 18

Figure III.4 : Le dégraissage 19

Figure III.5 : La décantation primaire 20

Chapitre IV : Méthodes chimiques de traitement des eaux usées et industrielles

Figure IV.1 : Système de coagulation-floculation 22

Figure IV.2 : La décantation 24

Figure IV.3 : Types de filtres employés dans la filtration des eaux 25

Introduction générale

Introduction

L'eau est destinée à la satisfaction des exigences de la consommation humaine quotidienne et des besoins en hygiène, pour la cuisine, l'hygiène individuelle, la fabrication et la transformation des aliments, la génération d'énergie et les loisirs, la désinfection de l'environnement. La demande en eau augmente, en raison de la croissance démographique, du changement climatique, de l'augmentation des exigences de la production agricole et industrielle.



Les eaux usées provenant des villes, ou eaux résiduaires, sont des eaux qui sont chargées de substances polluantes, notamment solubles ou non, essentiellement issues de toute activité humaine. Les eaux usées sont le plus souvent des cocktails de polluants de ces différentes catégories, sous forme dispersée ou soluble dans l'eau qui a été utilisée à des fins domestiques ou industrielles. Cependant, elles constituent une source importante de substances valorisables intéressantes : eau, matières fertilisantes, énergie, matières organiques et autres dérivés produits. Elles constituent un élément important du processus du cycle de l'eau et qui nécessite une gestion de génération pendant tout le cycle de vie de l'eau.

Nous nous sommes attachés à rester fidèles à l'approche pédagogique fondamentale du ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique, en conservant une méthodologie stricte et systématique dans la préparation de ce document, en offrant aux étudiants des possibilités de répondre aux objectifs du programme.

Le présent document est adressé aux étudiants du 3^{ème} année industries pétrochimique licence LMD. Nous espérons qu'il sera d'une grande utilité pour mieux comprendre les techniques de traitement des eaux. Ce document est composé de Cinq chapitres :

- ❖ Le premier chapitre comporte les propriétés physico-chimiques de l'eau, comme par exemple : la mesure de la température, du pH, de la dureté totale, de la conductance électrique, l'oxygène dissous, matières organiques, matières en suspension (MES), matières azotées, composés phosphorés, ainsi que les paramètres biologiques. Dont le but est de présenter les différentes propriétés physico-chimiques et biologiques de manière claire et facile.
- ❖ Le deuxième chapitre constitue une classification des eaux usées qui existent réellement dans notre vie quotidienne. Selon leur origine et la composition des polluants, on peut identifier quatre différentes catégories d'eaux usées tels que : les eaux résiduaires domestiques, les eaux usées agricoles, les eaux de ruissellement. Nous avons également montré d'une manière générale les procédés de traitements des eaux usées et les normes des eaux de rejet.
- ❖ Le troisième chapitre se démarque les méthodes physiques de traitement des eaux usées et industrielles, comme : le dégrillage, dessablage, dégraissage et le déshuilage, ainsi que le traitement primaire.
- ❖ Le quatrième chapitre est réservé aux méthodes chimiques de traitement des eaux usées et industrielles tels que : la coagulation-floculation, la décantation, la filtration, la désinfection, la décarbonatation, élimination de fluor, élimination de l'ammoniaque, élimination des nitrates et la dé-phosphatation, ainsi que, le traitement des boues.
- ❖ Le cinquième chapitre est réservé aux méthodes biologiques de traitement des eaux usées et industrielles. Nous avons également montré dans ce chapitre le principe, le processus et le fonctionnement de traitements biologiques.

Enfin, nous souhaitons que ce document soit entièrement au service du lecteur, en espérant qu'il sera bien content.

Chapitre I :
Propriétés physico-chimiques
de l'eau

Chapitre I : Propriétés physico-chimiques de l'eau

1. Le cycle de l'eau

Le cycle de l'eau est le système dans lequel les eaux se déplacent à travers les diverses phases et les différents réservoirs de la planète. Le cycle débute par une évaporation de l'eau des mers et des océans, laquelle se transmet en phase vapeur et remonte vers l'atmosphère. Cette vapeur d'eau se condense alors en nuages qui sont portés en altitude par les vents et deviennent des précipitations (neige, grêle et pluie). Celles-ci retombent sur le sol où elles sont absorbées ou rassemblées dans les lacs, les mers et les rivières.

Le cycle de l'eau est une chaîne qui s'étend à l'infini. C'est pour cette raison qu'il est nécessaire de prendre en compte les sources d'eau comme un facteur de production dont il faut prendre soin. Lorsqu'un point du cycle est en pollution, c'est toute la chaîne de l'eau est en danger.

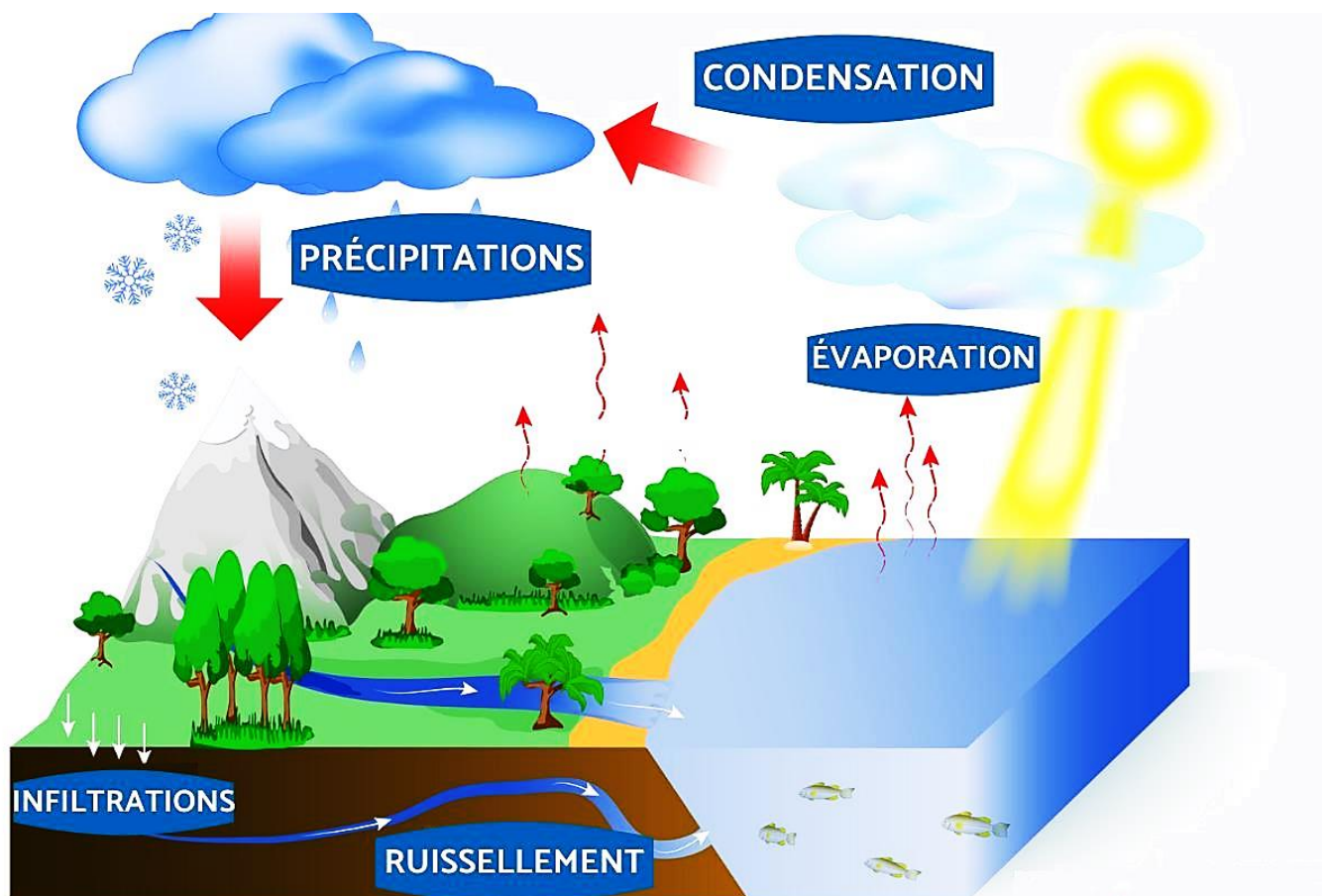
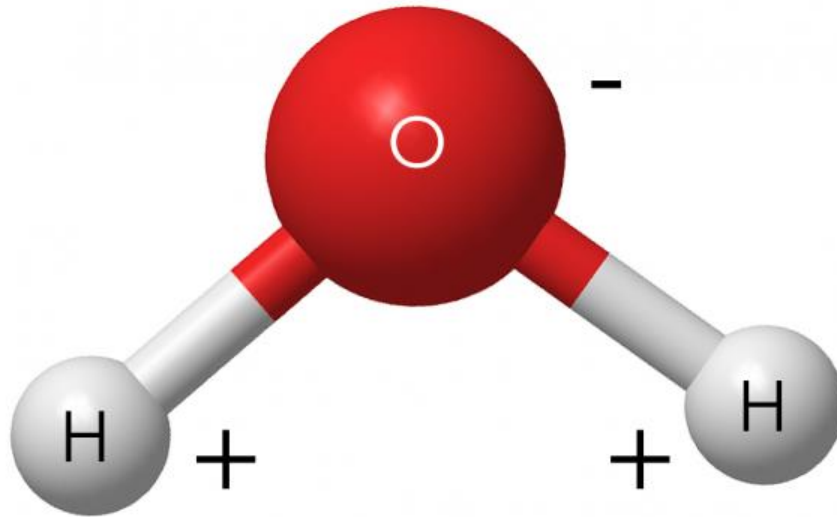


Figure I.1 : Schéma du cycle de l'eau

2. Caractéristiques physico- chimiques de l'eau

L'eau est un élément de construction chimique qui provient de la liaison de deux atomes d'hydrogène et d'un atome d'oxygène pour constituer le produit bien connu "H₂O".

Les 2 atomes de l'hydrogène sont placés à un angle de 105°, ce qui forme une structure moléculaire dissymétrique avec une charge positive du côté de l'hydrogène et une charge négative du côté de l'oxygène (structure moléculaire bi polaire).



Cette constitution de l'eau lui confère des caractéristiques spécifiques, principalement les suivantes :

- L'eau permet de dissoudre les sels minéraux, les gaz et renferme des micro-organismes vivantes à son état liquide.
- Il est nécessaire de fournir 537 Kcal pour évaporer 1 kg d'eau à 100°C.
- L'eau est stable sous une forme gazeuse jusqu'à 2000°C, température à partir de laquelle elle commencera à se décomposer en O₂ et H₂.
- L'eau se présente sous la forme d'un liquide transparent sans odeur.
- Leur densité est de 1000 kg/m³ à 4°C.
- C'est un " meilleur " solvant.
- À partir de 374°C, l'eau est uniquement présente sous forme de vapeur.

3. Caractéristiques Organoleptiques

Les caractéristiques Organoleptiques sont depuis toujours les premières références à la disposition de ces personnes pour connaître la qualité de l'eau. Ces indices de qualité ne suffisent pas pour donner un véritable avis sur la qualité de l'eau, mais ils représentent un moyen de contrôle important.

❖ Odeur et saveur

Ces deux indicateurs sont les contrôles de principe permettant de déterminer la qualité de l'eau potable. L'eau potable doit être totalement libérée de toute trace d'odeur ou de goût. Il faut savoir que les procédés de traitement permettant de les éliminer sont des procédés coûteux et délicats.

❖ Couleur

L'eau utilisée pour la mise à la consommation doit être totalement transparente. Une éventuelle coloration peut être un indicateur de contamination et rendra de toute manière le consommateur méfiant.

Dans certaines eaux, qui sont initialement transparentes, la coloration peut ensuite prendre différentes teintes, en raison des réactions d'oxydation qui peuvent se produire au fur et à mesure du contact avec l'air.

4. Les paramètres physico-chimiques

La détermination de la conformité de la qualité de l'eau demande de multiples et diverses analyses, impliquant la mesure de multiples paramètres physico-chimiques et bactériologiques. Ces dernières sont effectuées par des techniques reposant sur des protocoles clairement spécifiés.

4.1 La température

La température de l'eau est un paramètre important à connaître avec une bonne précision. Elle intervient dans la détermination du pH, dans la solubilisation des sels et notamment des gaz, dans la connaissance de la provenance de l'eau et des éventuelles substances mélangées, ... etc.

4.2 Le potentiel d'Hydrogène (pH)

Généralement, le pH se trouve dans les eaux naturelles entre 6 et 8,5. Il diminue lorsque la quantité de matière organique est importante et au contraire augmente pendant les périodes de faible niveau de précipitation, quand le phénomène d'évaporation est plus important.

Le pH est également influencé par le rôle qu'il joue sur d'autres éléments tels que les métaux, dont ils peuvent réduire ou augmenter la libération et par conséquent la toxicité.

4.3 La conductivité électrique

La conductivité électrique correspond à la possibilité pour l'eau de transmettre un signal électrique. La conductivité est influencée par plusieurs facteurs tels que : la puissance d'ionisation, la charge des ions, la concentration de certaines composantes solubles, la fluidité et la température de l'eau. Elle est donc exprimée en micro-Siemens par centimètre ($\mu\text{S}/\text{cm}$). La détermination de la conductivité de l'eau nous permet de connaître la concentration en minéraux dissous dans l'eau (magnésium, sulfates, calcium, chlorures, sodium, ...etc.). Elle devient plus significative quand la température de l'eau est plus élevée.

Tableau I.1 : Classement des eaux en fonction de la conductivité

Nature de l'eau	Conductivité ($\mu\text{S}/\text{cm}$)
Eau très pure	Inférieure à 50
Eau douce peu minéralisée	100 à 200
Eau moyennement minéralisée	250 à 500
Eau très minéralisée	1 000 à 2 500

4.4 La dureté totale

La dureté totale est la concentration globale des ions magnésium et calcium. Elle est mesurée par le titrage avec l'EDTA à $\text{pH} = 10$, et par utilisation du NET (Noir Ériochrome T) un indicateur de fin de réaction. La dureté totale est exprimée en degrés d'hydrotimétrie $^{\circ}\text{TH}$, 1 $^{\circ}\text{TH}$ correspondant à une concentration de $1.10^{-4} \text{ mol.l}^{-1}$ en ions magnésium et calcium. $1^{\circ}\text{TH} = 10^{-4} ([\text{Ca}^{2+}] + [\text{Mg}^{2+}])$.

Tableau I.2 : Classement des eaux selon la dureté

$^{\circ}\text{TH}$	0 à 5	5 à 15	15 à 25	25 à 35	> 35
Eau	Très douce	Douce	Moyennement dure	Dure	Très dure

4.5 L'oxygène dissous

L'oxygène dissous permet de déterminer la quantité d'oxygène soluble présente dans l'eau. Il est généralement exprimé en mg/l ou en % de la capacité de saturation. L'oxygène dissous intervient dans la majorité des transformations chimiques et biologiques de notre environnement aquatique. La concentration normale dans les eaux de la surface non contaminées est de 8 mg/l et ne dépasse que rarement 10 mg/l.

4.6 Matières organiques

La Demande Biochimique en Oxygène (DBO) est la concentration d'oxygène que nécessite la décomposition de la substance organique biologique d'une eau par le phénomène de multiplication des microorganismes, durant 5 journées à 20°C, nous parlerons donc de DBO₅. Cette mesure est très souvent employée pour le contrôle des rejets en milieu urbain. Ce paramètre est généralement exprimé en mg O₂/l.

La demande chimique en oxygène (DCO) est la concentration d'oxygène indispensable pour oxyder la totalité de la substance organiques (biodégradable ou non) de l'eau grâce à un agent oxydant (bichromate de potassium). Ce paramètre est estimé en mg O₂/l. Habituellement, la DCO est de 1,5 à 2 fois la DBO₅ pour les eaux usées de type urbain et de 1 à 10 fois pour toutes les eaux usées de type industriel.

4.7 Matières en suspension

Il s'agit de la totalité de la charge polluante organique et minérale non soluble présente dans l'eau. Les matières en suspension seront la cause de l'envasement et de la pénétration insuffisante de la luminosité dans l'eau, ce qui conduira à une réduction de la photosynthèse.

4.8 Composés phosphorés

Le phosphore est un des éléments indispensables à la vie humaine et végétale. Les composants phosphoriques ont deux provenances, l'activité humaine et les substances détergentes. Le phosphore se présente sous forme d'ions ortho-phosphate isolés, d'ions phosphate condensés ou d'ions phosphate condensés sur des éléments de nature organique dans les eaux de rejets.

4.9 Matières azotées

L'azote qui est présent dans les eaux usées est de nature organique ou inorganique et se trouve donc sous quatre formes :

L'azote organique qui se transforme en azote de type ammoniacal (NH_4), azote nitrique (NO^{-3}), azote nitreux (NO^{-2}). Le plus souvent, dans les eaux usées, l'azote se retrouve dans sa forme ammoniacale. Les quantités de formes oxydées de l'azote sont peu importantes.

5. Paramètres biologiques

Les eaux de rejet urbaines comportent un grand nombre de micro-organismes (Bactéries, Champignons et virus), dont quelques-uns sont des agents pathogènes. La détection de coliformes et de streptocoques témoigne de la présence d'une certaine forme de contagion par des matières fécales présentes dans ce milieu, qui doivent être dépolluées pour en préserver la vie aquatique.

Chapitre II :
Classement des eaux usées

Chapitre II : Classement des eaux usées

1. Définition

Les eaux usées correspondent à des eaux qui sont saturées de substances polluantes, soit sous forme dissoute ou non dissoute, essentiellement dues à des interventions humaines. Les eaux usées sont habituellement un ensemble de substances polluantes de ces différentes espèces, qui sont dissoutes ou mises en suspension dans les eaux destinées à un usage domestique, agricoles, industriel, ou autre.

2. L'origine et le classement des eaux usées

En plus des pluies, les eaux usées urbaines peuvent être classées en eaux usées, notamment de provenance domestique, il existe également des eaux usées de provenance industrielle d'une diversité très large, de même que des eaux de provenance agricole.

On peut citer les quatre grandes classes d'eaux usées en fonction de leurs origines et de la nature des substances polluantes.

2.1 Eaux résiduaires domestiques

Les eaux résiduaires domestiques viennent des diverses utilisations ménagères de l'eau. Celle-ci est principalement un vecteur de pollution biologique. On distingue les eaux ménagères, qui ont comme origine les sanitaires et les cuisines, et sont le plus souvent chargées de produits détergents, de matières grasses, de solvants, de déchets organiques, etc. et les eaux de sanitaires, qui sont chargées de diverses matières azotées, organiques et de micro-organismes pathogènes.

Les eaux résiduaires domestiques principalement issu des :

- Eau de cuisine comportant des éléments organiques sous forme dispersés qui proviennent du nettoyage des légumes, des aliments à base de matières végétales.
- Des eaux de salle de bain et la vaisselle contenant principalement des détergents ;
- Des eaux de salle de bain chargées en produits utilisés pour l'hygiène corporelle.
- Des eaux de vannes qui proviennent des sanitaires (toilette), fortement enrichie en composants phosphatés et azotés, en substances organiques hydrocarbonés et en micro-organismes.

La quantité de pollution quotidienne générée par une seule personne consommant 150 à 200 litres est estimée à :

- Entre 70 et 90 grammes de résidus en suspension.
- Entre 60 et 70 grammes de substances organiques.
- Entre 15 et 17 grammes de substances azotées.
- Environ 4 grammes de phosphore.
- Quelques milliards de micro-organismes pour 100 ml d'eau.

2.2 Eaux usées industrielles

Les rejets et les effluents des établissements industriels déterminent essentiellement la qualité et le degré de toxicité des eaux usées. Les industries nécessitent une très importante quantité d'eau qui est nécessaire à leur fonctionnement, mais leur consommation est très limitée, le reste étant rejeté dans l'environnement.

Les eaux résiduaires industrielles sont bien distinctes des eaux résiduaires à usage domestique. Ses propriétés sont variables entre les différentes industries. Elles peuvent non seulement contenir des substances azotées, organiques ou phosphorées, mais également :

- ❖ Pétrole et gaz (Raffineries).
- ❖ Divers résidus des produits chimiques (Diverses industries chimiques).
- ❖ Métaux (Métallurgie).
- ❖ Matériaux radiotoxiques (Usines de production d'énergie nucléaire, gestion des déchets radioactifs).
- ❖ Eau chaude (Centres de production d'énergie thermique).
- ❖ Matières grasses (Industrie Alimentaire).

Les eaux usées à caractère industriels possèdent le plus souvent une formulation plus particulière qui est strictement associée au secteur d'activité concerné. Quelles que soient la pollution minérale ou organique, leur nature biodégradable ou non dégradable, elles comportent des propriétés de toxicité spécifiques dues aux substances chimiques contenues dans les eaux usées.

Les eaux usées industrielles, avant leur évacuation dans les canalisations, sont obligatoirement pré-épurées par les industriels. Ces eaux ne seront mélangées avec les eaux urbaines que dans le cas où elles ne représentent plus de risque pour les systèmes de canalisation et ne présentent pas d'inconvénients pour le déroulement des opérations de dépollution.

2.3 Eaux usées agricoles

La pollution de l'eau par le secteur agricole n'est absolument pas négligeable puisqu'il apporte des fertilisants. Elle représente la principale cause de la pollution dans les eaux de surface.

En effet, la distribution d'engrais phosphatés et nitrés, en quantité suffisamment importante pour être finalement non absorbés par la terre, conduisent à des phénomènes d'enrichissement des eaux de nappes les plus superficielles en matières azotées ou phosphatées par phénomène de ruissellement. Par ailleurs, il faut également considérer, parmi les polluants d'origine agricole, les détergents diffusés au cours des épandages pour le traitement des plantes.

2.4 Eaux de ruissellement

Les eaux de ruissellement représentent une importante cause de pollution, surtout en temps de tempête. Les eaux de pluies se chargeront de nombreuses substances impures au fur et à mesure de leur contact avec les atmosphères (vapeurs et fumées des usines), puis, lorsqu'elles sont mouillées, avec les déchets qui se déposent sur les terrasses et les routes des zones urbaines (résidus de pneumatiques, carburants, huiles usagées, métaux, ... etc.) En milieu urbain, les zones bâties ne permettent pas une bonne imperméabilité des terrains et le risque d'excès augmente avec celui de la pollution.

3. Processus de traitement des eaux usées

Le système de traitement des eaux usées exige une série de démarches impliquant des procédés physiques, physicochimiques mais aussi des procédés biologiques. En plus des déchets les plus volumineux que comportent les eaux usées, le processus de traitement consiste à débarrasser les eaux usées d'une grande partie de la substance indésirable qui est déjà dissoute dans l'eau. Suivant le niveau de dépollution et les traitements utilisés, différents procédés de traitement sont établis : prétraitement, traitement primaire ainsi que traitement secondaire. Parfois, un traitement tertiaire est indispensable, particulièrement quand les eaux épurées sont destinées à être déversées dans un

environnement très sensible.

4. Normes de qualité des eaux de rejet

La valeur de la norme est exprimée sous la forme d'un nombre qui détermine une quantité maximale ne devant pas être dépassée ou une quantité minimale à faire respecter.

4.1 Les critères de rejet internationaux

Les valeurs respectives de normes internationales de l'Organisation mondiale de la santé (OMS) relatives aux eaux usées sont comme suit :

Tableau II.1 : Critères de rejet internationaux

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

4.2 Les critères de rejet national

Les valeurs limites de déversement des eaux usées industrielles sont déterminées par la norme N° 83-17 du 16 juillet 1983 portant sur le code de ces eaux, par le décret N° 96-13 du 15 juin 1996 correspondant au 28 Moharram 1417 modifié et complémentaire de la norme N° 83-17, par le décret exécutive N° 93-160 du 10 juillet 1993 déterminant les déversements des émissions liquides des entreprises industrielles et par le décret exécutive N° 06-141 du 19 avril 2006 de la République Algérienne déterminant les normes de déversement des émissions liquides des entreprises industrielles.

Tableau II.2 : Critères Algériennes de rejet des effluents liquides

Caractéristiques	Valeurs limites
MES	35 mg/l
DCO	120 mg/l
Azote total	30 mg/l
DBO ₅	30 mg/l
Furfural	50 mg/l
Phosphore total	10 mg/l
Hydrocarbures	10 mg/l
pH	6,5-8,5
Température	30 °C
Plomb	0,5 mg/l
Fer	3 mg/l
Mercure	0,01 mg/l
Cuivre	0,5 mg/l
Zinc	3 mg/l

Chapitre III :

*Méthodes physiques de
traitement des eaux usées et
industrielles*

Chapitre III : Méthodes physiques de traitement des eaux usées et industrielles

1. Les prétraitements

Le prétraitement vise à faire disparaître les particules les plus grosses. Il concerne les objets les plus volumineux, les grains de sable et de gravier, ainsi que les déchets huileux.

1.1 Dégrillage

Lors du processus de dégrillage, les eaux résiduaires traversent un grillage aux tiges relativement rapprochées qui permettent de fixer les matériaux les plus grossiers transportés par les eaux résiduaires et qui peuvent perturber le fonctionnement des autres processus de traitement ou en perturber le fonctionnement. Le dégrillage permet également de préserver la station de la pénétration des grosses matières qui risquent de boucher les installations de la station.



Figure III.1 : Le dégrillage

1.2 Dessablage

L'objectif du dessablage est d'éliminer le sable, le gravier et les fines impuretés qui se trouvent dans l'eau brute afin d'éviter les problèmes de précipitations dans les canalisations et les tubes, ainsi que la dégradation des systèmes de pompage et des autres équipements. Le sable de la récupération est déshydraté et est ensuite nettoyé puis envoyé à la décharge ou valorisé, en fonction de la qualité du nettoyage. Selon son principe de fonctionnement, il existe deux types de dessableurs : les dessableurs longitudinaux (figure III.2) et les dessableurs circulaires (figure III.3).



Figure III.2 : Dessableur longitudinal

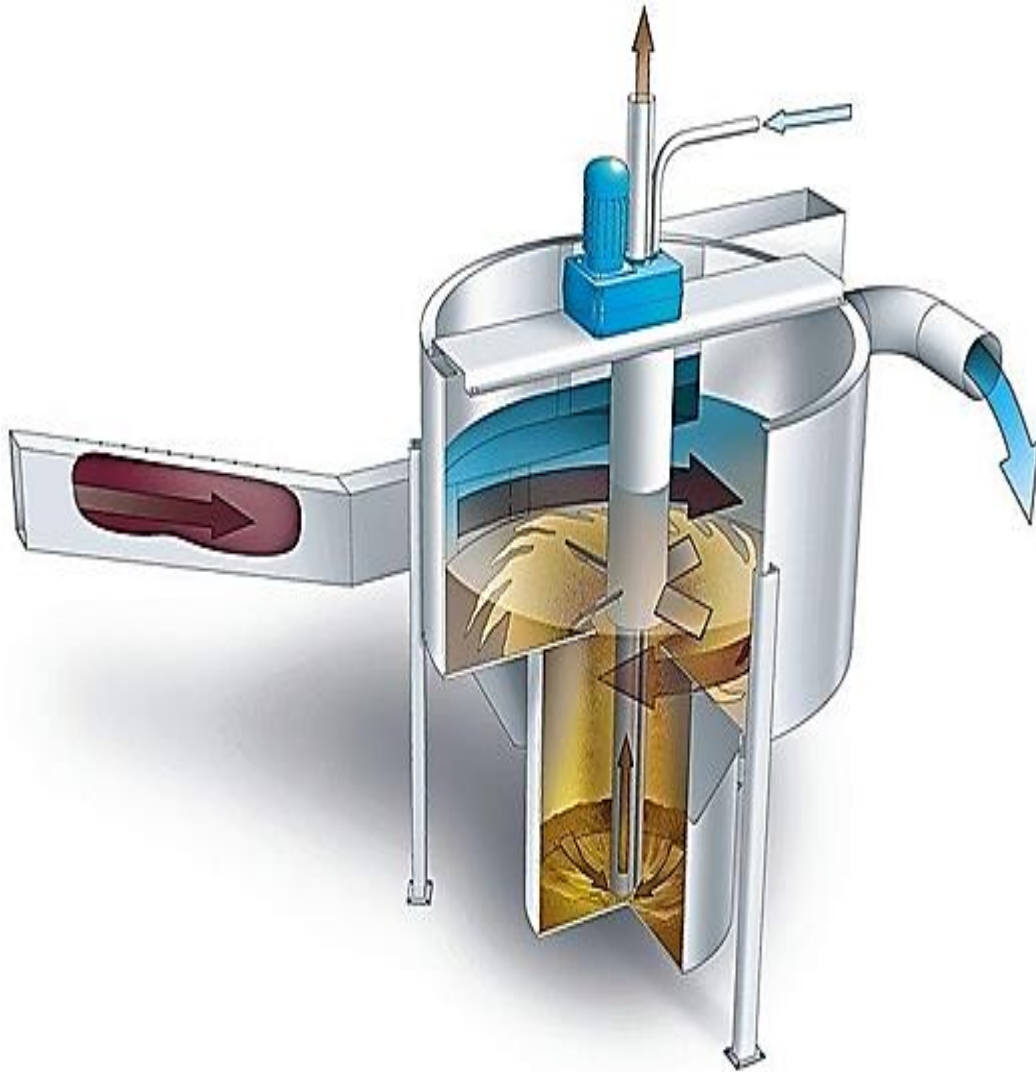


Figure III.3 : Dessableur circulaire

1.3 Déshuilage-Dégraissage

Le déshuilage est un procédé de la séparation liquide/liquide, tandis que le dégraissage est un procédé de la séparation solide/liquide. Ces opérations permettent de séparer les graisses à usage domestique ou encore industriel présentes à la surface des eaux usées, soit par gravité, soit par flottement (par introduction de bulles d'air plus ou moins fines), à l'aide de raclettes. Les deux processus ont pour objectif de débarrasser les eaux usées de la couche de graisses qui peut faire obstacle à un meilleur traitement biologique.



Figure III.4 : Le dégraissage

2. Le traitement primaire

Le processus de traitement « primaire » nécessite des procédures physiques. La sédimentation primaire habituelle correspond à la décantation des éléments solides grâce à la gravité. L'eau est dirigée vers les décanteurs à un faible débit afin que les éléments solides en suspension puissent se déposer. Les éléments solides se décantent au fond d'une bassine décanteur et forment des « boues primaires ». Ce système de traitement débarrasse l'eau de 50 jusqu'à 55 % des éléments solides en suspension.



Figure III.5 : La décantation primaire

Chapitre IV :

Méthodes chimiques de

traitement des eaux usées et

industrielles

Chapitre IV : Méthodes chimiques de traitement des eaux usées et industrielles

1. Traitement de clarification

1.1 La coagulation-floculation

Ce procédé a pour objectif de transformer l'eau en eau transparente, en éliminant les éléments en suspension contenus dans l'eau qui sont appelés « particules colloïdales ». Il est réalisé en deux stades : dans un premier temps, des réactifs chimiques sont introduits dans l'eau pour faire coaguler les substances. Ces réactifs sont des agents appelés coagulants. La charge (positive) du coagulant permet de neutraliser la charge (négative) des substances qui sont dissoutes dans l'eau. Ces substances se regroupent et deviennent des « flocons » : on parle de la floculation. Les « flocons » qui sont ainsi plus lourds par rapport à l'eau, tombent dans le fond du décanteur et sont périodiquement récupérés comme des boues.



Figure IV.1 : Système de coagulation-floculation

Chapitre IV : Méthodes chimiques de traitement des eaux usées et industrielles

Le tableau IV.1 montre le temps nécessaire aux substances de dimensions différentes pour se lier entre elles.

Tableau IV.1 : Le délai de fixation de différentes particules suivant leur diamètre

Diamètres des substances	Nature des substances	Délai de fixation
1 nm	Virus, colloïdes	200 ans
10 nm	Virus, colloïdes	20 ans
0,1 micron	Virus, colloïdes	2 ans
1 micron	Bactéries	8 jours
10 micron	algues et argile	2 heures
0,1 mm	Sable fin	2 minutes
1 mm	Sable	10 secondes
10 mm	Gravel	1 seconde

Les principaux coagulants employés pour la coagulation des particules sont :

Tableau IV.2 : Principaux coagulants utilisés pour la coagulation

Coagulant	Composition chimique
Sulfate ferrique	$\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3, 9\text{H}_2\text{O}$
Sulfate de cuivre	CuSO_4
Sulfate d'aluminium	$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3, 18\text{H}_2\text{O}$
Chlorure ferrique	$\text{FeCl}_3, 6\text{H}_2\text{O}$
Sulfate ferreux	$\text{FeSO}_4, 7\text{H}_2\text{O}$
Aluminate de sodium	NaAlO_2

1.2 La décantation

La décantation représente la technique la plus répandue de la séparation par gravité des matières solides en suspension et des matières colloïdales. Cette méthode est un processus de séparation liquide-solide basé sur la gravité.

L'eau recueillie à la surface est appelée "clarifiée". En effet, les particules sont déposées dans le fond de la cuve, d'où elles sont régulièrement retirées.

Les principaux critères de décantation sont les suivants : la dimension des particules, la viscosité du liquide et la différence de densité entre le liquide et le solide.



Figure IV.2 : La décantation

2. La filtration

La filtration est un processus de purification d'un liquide contenant des matières en suspension par son passage dans un support de type poreux. Elle assure une bonne élimination des bactéries, de la couleur, de la turbidité et, de manière indirecte, de certains goûts et mauvaises odeurs.

Les types de filtration les plus couramment utilisés sont : les tamis métalliques, les tissus en fibre ou encore les pierres poreuses à très fins pores.



Figure IV.3 : Types de filtres employés dans la filtration des eaux

3. La désinfection

La désinfection consiste en un procédé permettant de faire disparaître les bactéries, les virus et les micro-organismes susceptibles de provoquer la propagation de certaines maladies. La désinfection peut être réalisée par addition à l'eau d'une quantité déterminée de composé chimique ayant des caractéristiques germicides. Il peut être réalisé par différentes méthodes, notamment la chloration, l'ozonation, la filtration et l'ultrafiltration. Les composants chimiques les plus fréquemment employés sont les suivants : dioxyde de chlore, iode, permanganate de potassium, chlore, ozone et brome. L'eau peut également être purifiée aussi par des méthodes physiques : ébullition, ultrasons, rayons ultraviolets ou gamma. La désinfection est également importante pour protéger l'environnement en réduisant les risques de contamination des cours d'eau et des nappes souterraines.

4. La décarbonatation

La décarbonatation des eaux usées est un procédé qui permet de retirer le CO_2 des eaux usées avant leur rejet dans la nature. Ce procédé est essentiel pour réduire la concentration de CO_2 dans l'environnement et protéger ainsi l'air et l'eau. La décarbonatation peut être effectuée par plusieurs voies, notamment le traitement chimique, la filtration et le traitement biologique.

La décarbonatation est un procédé de traitement d'une eau à forte concentration en calcium et en magnésium, deux substances qui provoquent la création de calcaire. Quand le TH de l'eau est important, la dureté de l'eau peut être réduite par la décarbonatation par la chaux. Cette méthode repose sur l'ajout de chaux (CaO) à l'eau afin de faire baisser la teneur en Mg^{2+} et Ca^{2+} .

Les techniques employées dépendent de la nature des eaux usées et des besoins écologiques visés.

5. Elimination de fluor

Une concentration trop élevée de fluorure dans l'eau de consommation pourrait avoir des conséquences néfastes sur la croissance des os (maladie des os et fluorose dentaire). Par conséquent, les recommandations pour cet élément sont de 1,5 mg/l. Si l'eau brute a une concentration en fluor supérieure à 1,5 mg/l, il convient de l'éliminer par : Précipitation de la chaux ou par adsorption sur alumine activée.

6. Elimination de l'ammoniaque : la nitrification

Le processus d'élimination de l'ammoniac est uniquement réalisable par la présence d'oxygène. La réaction d'oxydation est seulement effectuée par un très petit nombre de bactéries exclusivement aérobies. La réaction d'oxydation de l'ammoniac vers le nitrate est réalisée en deux stades :

- ❖ Le NH_3 est transformé en nitrite (NO_2^-) en premier lieu par des bactéries du type *Nitrosomonas*.
- ❖ Les nitrites sont alors oxydés en nitrates (NO_3^-) par certaines bactéries du type *Nitrobacter*.

7. Elimination des nitrates : Dénitrification

Dénitrification est une réaction nécessitant l'oxydation de manière parallèle d'une des molécules organiques ou inorganiques permettant de produire une énergie pour réduire le nitrate en nitrogène N_2 .

Il existe deux types de processus :

- ❖ Processus de culture en milieu fixe dans lequel la biomasse purificatrice a été déposée sur un socle. L'eau à épurer passe par le contact de ces socles. Par conséquent, les microorganismes vont capter la charge polluante organique et la décomposer (filtration biologique).
- ❖ Processus de culture en milieu libre dans lequel la biomasse est maintenue sous forme de suspension dans l'eau à épurer. Les micro-organismes captent alors la pollution et sont développés sous forme de boue biologique (boue activée) qui peut être extraite de l'eau épurée après décantation.

8. La déphosphatation

La déphosphatation peut être réalisée soit au moyen d'une précipitation physico-chimique par la présence de sels minéraux tels que le chlorure de fer ou le sulfate d'ammonium dans le traitement terminal, soit parallèlement au processus de traitement biologique en bassin de boues activées, cependant son efficacité est généralement plus faible que celle de la phosphatation physico-chimique.

9. Traitement des boues

Les procédés de traitement biologique ou physico-chimique appliqués pour épurer les eaux usées produisent une quantité considérable de boues dissoutes chargées en matières organiques fermentescibles. Par conséquent, les deux objectifs essentiels du processus de traitement des boues sont les suivants :

- ❖ La stabilisation des substances organiques afin de limiter la réaction de fermentation non contrôlée qui provoquerait des odeurs désagréables, par une augmentation de leur pH en ajoutant de la chaux.
- ❖ Enlever une quantité d'eau suffisante afin de réduire la quantité de boues à éliminer. Par déshydratation, on élimine la plus grande quantité d'eau possible, généralement par des procédés mécaniques ou thermiques (incinération).

Chapitre V :

Méthodes biologiques de

traitement des eaux usées et

industrielles

Chapitre V : Méthodes biologiques de traitement des eaux usées et industrielles

1. Introduction

Quand les eaux usées possèdent une forte teneur en matière organique soluble, la solution la plus intéressante est le traitement biologique, en raison de sa facilité et de son coût relativement peu élevé. Les deux conditions nécessaires à la bonne application de ce traitement biologique sont que la contamination soit biodégradable et que les eaux usées à épurer ne contiennent pas de composants chimiques toxiques.

2. Principe de traitements biologique

Le principe du procédé de traitement biologique consiste à utiliser des "boues activées" pour le traitement des eaux usées. La substance organique en suspension ou soluble dans les eaux usées est décomposée par des micro-organismes qui se nourrissent eux-mêmes de diverses bactéries, ce qui permet de purifier graduellement l'eau usée.



Figure V.1 : Bassin biologique

3. Processus de traitements biologique

Le système de traitement biologique des eaux usées repose sur la puissance d'un certain nombre de micro-organismes qui sont également capables de décomposer la masse organique contenue dans les eaux usées afin d'assurer leur propre développement. Pour que les micro-organismes se développent, il est nécessaire qu'en plus de la matière organique, l'eau renferme des éléments nutritifs, notamment du phosphore et de l'azote. De plus, la récupération de ces microorganismes dans l'eau est facile et peu coûteuse. La suppression des substances organiques dégradables, mais aussi des matières phosphorées et azotées, par épuration biologique est le moyen le plus efficace et le moins coûteux pour épurer les eaux usées. Par conséquent, c'est le traitement le plus largement répandu, non pas uniquement pour le traitement des eaux résiduelles urbaines, mais également pour les eaux résiduelles industrielles.

4. Avantages de système de traitement biologique

Il existe plusieurs avantages de traitement biologique, on peut citer comme suit :

- Le système de dépollution des eaux usées par voie biologique est la méthode la plus rentable pour éliminer la charge biodégradable des eaux usées.
- Il permet de générer des déchets qui pourront être réutilisés ultérieurement.
- Cette méthode de traitement est adaptée à une large gamme d'eaux usées.
- L'opération est facile et essentiellement effectuée de manière automatisée.
- Avec le système de traitement anaérobie, la formation de la boue est réduite au niveau minimum et du biogaz peut être produit, lequel peut être valorisé et qui représente une excellente source d'énergie.

5. Applications de traitement biologique

Le traitement biologique est adapté à une large gamme d'eaux usées tel que :

- Eaux résiduelles urbaines
- Eaux résiduelles domestiques
- Eaux industrielles de l'industrie alimentaire
- Eaux résiduelles de l'industrie textile
- Eaux résiduelles de fermes et abattoirs

6. Fonctionnement de traitement biologique

Le processus de réduction des pollutions par les composés azotés et carbonés repose sur des processus biologiques, reposant sur le développement de microorganismes qui se nourrissent de la matière organique « biodégradable » qui est leur principale source de nourriture.

Le but de la dépollution biologique consiste à débarrasser les eaux usées (décantées ou non) des substances polluantes biodégradables qu'elles contiennent, par leur conversion en matières en suspension : des microorganismes et leurs résidus, qui seront valorisables par la suite. La décomposition de la matière organique peut avoir lieu en aérobie ou en anaérobie.

6.1 Le système de traitement aérobie

Dans le système de traitement aérobie, les micro-organismes qui sont employés exigent un débit d'oxygène permanent. Le procédé permet de décomposer les polluants par intervention d'une biomasse purificatrice qui doit recevoir l'oxygène indispensable pour se multiplier.

6.2 Le système de traitement anaérobie

Pour ce qui est du traitement anaérobie, on utilise des bactéries qui ne consomment aucun oxygène, notamment des bactéries dites méthanogènes qui produisent le méthane à base de matière organique. Cette opération de fermentation est particulièrement complexe et nécessite une attention particulière à la température, laquelle doit être suffisamment élevée et bien stabilisée. Il faut également prévenir les variations brusques du pH et les perturbations du fonctionnement des bactéries, notamment les sels de métaux, les phénols et les cyanures.

Références

- [1] Claggett, F. G, & Wong, J, Traitement des eaux usées rejetées par les usines detransformation du poisson (1975).
- [2] Berné. F, Traitement des eaux. Editions TECHNIP, 1991.
- [3] Lior, Noam, ed. Advances in water desalination. Vol. 1. John Wiley & Sons, 2012.
- [4] Emilian Koller Traitement des pollutions industrielles : Eau, air, déchets, sols.
- [5] boues.2009. Ed. Dunod. DU MAROC, R. O. Y. A. U. M. E. "Guide DE Travaux Pratiques." (2003)