

Université Mohamed Boudiaf - M'sila

Faculté de Technologie
Département d'Hydraulique



جامعة محمد بوضياف - المسيلة

كلية التكنولوجيا

قسم الري

M'sila le, 18/04/2023

N : 06/2023/CSD/DH

Extrait du procès-verbal du comité scientifique du département

Le président,

Après avoir pris connaissance des trois avis favorables des trois experts désignés par le comité scientifique du département d'hydraulique (avoir l'extrait du PV en date du 07 /02/ 2023) pour évaluer le polycopié '**Epuration des eaux usées**' déposé par Mr **Guemache Abderezak** (MCA), maître de conférences classe A, le comité émet **un avis favorable**, et valide son contenu pour être publié dans la plateforme E-learning de l'université Mohamed Boudiaf de M'sila.

Le président du CSD



ورقة مصطفى

Avant-propos

Ce polycopié répond au canevas ministériel de cours d'épuration des eaux usées enseigné en première année S2_Master hydrauliques urbaine LMD. À l'échelle mondiale, l'épuration des eaux usées constituent la principale préoccupation en matière de santé publique. L'eau à l'état naturel doit être traitée par des usines de production qui la rendront potable.

Les eaux usées sont dépolluées dans les stations d'épuration, appelées également usines de dépollution en raison des traitements complexes qu'elles appliquent. La problématique des eaux usées est plus que jamais à l'ordre du jour, à cause des impacts néfastes de ces eaux usées sur le milieu naturel. Ces impacts sont de plus en plus grandissants en raison du développement industriel et de la croissance démographique.

Le but de ce polycopié est de fournir à l'étudiant l'ensemble des procédés visant à traiter non seulement l'eau potable mais aussi dépolluer l'eau usée avant son retour dans le milieu naturel dans un souci de protection des milieux récepteurs.

Dans la première partie de l'ouvrage, on y trouve les informations indispensables sur les caractéristiques des eaux suivies des normes de potabilité.

Dans une deuxième partie, sont exposés des généralités sur les eaux usées, ainsi les étapes et procédés de traitement des eaux usées.

Dans la troisième partie les différentes paramètres des choix des stations d'épurations.

Le dernier chapitre est réservé aux Normes des rejets des eaux usées.

Mots-clés : Propriétés des eaux de consommation, Epuration des eaux usées, paramètres des choix des stations d'épurations, Normes des rejets des eaux usées

Matière d'enseignement

Unité d'enseignement : UED 1.2

Matière : Epuration des eaux usées

VHS: 22h30 (Cours : 1h 30)

Crédits : 1

Coefficient : 1

Table des matières

| | |
|---|----|
| Avant-propos | |
| Chapitre I. Propriétés des eaux de consommation | |
| I. L'eau..... | 1 |
| I.1. Le cycle de l'eau..... | 1 |
| I.1. Définitions/explications | 2 |
| I.1.2. Les propriétés de l'eau..... | 3 |
| I.2. Normes de qualité des eaux destinées à la consommation humaine..... | 4 |
| I.2.1. Paramètres physico-chimiques en relation avec la structure naturelle des eaux..... | 4 |
| I.2.2. Paramètres concernant des substances indésirables..... | 5 |
| I.2.3. Paramètres concernant des substances toxiques..... | 6 |
| I.2.4. Paramètres microbiologiques..... | 7 |
| I.2.5. Pesticides et produits apparentés..... | 7 |
| I.3. Usages de l'eau et leur exigence | 8 |
| I.4. Les usages énergétiques..... | 9 |
| I.5. Traitement des eaux usées..... | 9 |
| Chapitre II : Epuration des eaux usées | |
| II.1. Généralités sur les eaux usées..... | 11 |
| II.2. Origine des eaux usées | 11 |
| II.3. Caractéristiques des eaux usées..... | 12 |
| II.4. Les impacts sociologiques et environnementaux..... | 14 |
| II.5. Définition d'une station d'épuration..... | 15 |
| II.5.1. Les étapes et procédés de traitement des eaux usées..... | 15 |
| II.5.2. Les traitements complémentaires..... | 20 |
| II.5.3. Le traitement des odeurs..... | 22 |
| II.5.4. Traitement par lagunage ou la phyto-épuration..... | 23 |
| II.5.4.1. Le principe général de lagunage..... | 23 |
| II.5.4.2. Les différents systèmes de lagunage..... | 23 |
| II.5.4.3. L'entretien..... | 24 |
| II.5.4.4. Avantages et inconvénients du lagunage..... | 24 |
| Chapitre III : Les paramètres des choix des stations d'épurations | |
| III. Principe de fonctionnement d'une station d'épuration..... | 25 |
| III.1. Implantation de la station..... | 26 |

| | |
|---|----|
| III.2. Qualité des matériaux..... | 27 |
| III.3. Hygiène et sécurité..... | 28 |
| III.4. Paramètres d'exploitation d'une station d'épuration..... | 29 |
| III.5. Avantages des micros - stations d'épuration..... | 29 |
| III.6. Inconvénients des micros - stations d'épuration..... | 30 |
| Chapitre IV : Normes des rejets des eaux usées | |
| IV. Généralité sur les normes de rejet..... | 31 |
| IV.1. Paramètres de pollution des eaux usées..... | 31 |
| IV.1.1. Eaux résiduaires urbaines (ERU)..... | 31 |
| IV.1.2. Eaux résiduaires industrielles (ERI)..... | 31 |
| IV.2. Normes de rejet des effluents..... | 32 |
| IV.2. Cadre réglementaire..... | 34 |
| IV.2.1. Normes Algériennes..... | 34 |
| IV.2.1.1. La loi cadre pour la protection de l'environnement..... | 34 |
| IV.2.1. Normes Internationales OMS..... | 35 |
| Références bibliographiques | |

Abréviations

pH : potentiel d'hydrogène

TH : Degré hydrotimétrique

DBO : Demande biologique en oxygène

DCO : Demande chimique en oxygène

UV : Rayonnement ultra violet

C : Concentration

T : Temps

°f : Le degré français

°C : Le degré Celsius

(Q, m³) : Débit horaire

(V, en m³) : Volume total d'eau à traiter

MES : Matière en suspension

TA : Titre alcalimétrique simple

TAC : Titre alcalimétrique complet

THM : Trihalométhanes

COT : Carbone Organique Total

P.C.B : Les pesticides ' polychlorobiphényles'

P.C.T : Les insecticides ' polychlorobiphényles'

AESN : Agence de l'Eau Seine Normandie

NTU : Nephelometric Turbidity Unit

G(Siemens) : Conductance

C : Concentration

PVC : Polychlorure de vinyle

MVS : Matière organique

Cm : La Charge Massique

Cv : La Charge Volumique

IM : L'indice de Molhmann

T_s : Temps de séjour

STEP : Station d'épuration industrielle ou urbaine

STEU : Station d'épuration urbaine

ERU : Eaux résiduaires urbaines

ERI : Eaux résiduaires industrielles

HAP : hydrocarbures aromatiques polycycliques

PCB: Polychlorobiphényles

COV: composés organiques volatils

OMS : L'Organisation mondiale de la Santé

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE

Université Mohamed Boudiaf - M'sila

Faculté de technologie
Département d'hydraulique



Polycopie de cours

Epuration des eaux usées

En Hydraulique Urbaine

Unité : UED : 1.2

Niveau : Master I (S2)

Matière : Epuration des eaux usées

VHS: 22h30 (Cours : 1h 30)

Crédits : 1

Coefficient : 1

Présenté par : Guemache Abderezak

Année Universitaire : 2022/2023

Avant-propos

Ce polycopié répond au canevas ministériel de cours d'épuration des eaux usées enseigné en première année S2_Master hydrauliques urbaine LMD. À l'échelle mondiale, l'épuration des eaux usées constituent la principale préoccupation en matière de santé publique. L'eau à l'état naturel doit être traitée par des usines de production qui la rendront potable.

Les eaux usées sont dépolluées dans les stations d'épuration, appelées également usines de dépollution en raison des traitements complexes qu'elles appliquent. La problématique des eaux usées est plus que jamais à l'ordre du jour, à cause des impacts néfastes de ces eaux usées sur le milieu naturel. Ces impacts sont de plus en plus grandissants en raison du développement industriel et de la croissance démographique.

Le but de ce polycopié est de fournir à l'étudiant l'ensemble des procédés visant à traiter non seulement l'eau potable mais aussi dépolluer l'eau usée avant son retour dans le milieu naturel dans un souci de protection des milieux récepteurs.

Dans la première partie de l'ouvrage, on y trouve les informations indispensables sur les caractéristiques des eaux suivies des normes de potabilité.

Dans une deuxième partie, sont exposés des généralités sur les eaux usées, ainsi les étapes et procédés de traitement des eaux usées.

Dans la troisième partie les différents paramètres des choix des stations d'épurations.

Le dernier chapitre est réservé aux Normes des rejets des eaux usées.

Matière d'enseignement

Unité d'enseignement : UED 1.2

Matière : Epuration des eaux usées

VHS: 22h30 (Cours : 1h 30)

Crédits : 1

Coefficient : 1

Table des matières

| | |
|---|----|
| Avant-propos | |
| Chapitre I. Propriétés des eaux de consommation | |
| I. L'eau..... | 1 |
| I.1. Le cycle de l'eau..... | 1 |
| I.1. Définitions/explications | 2 |
| I.1.2. Les propriétés de l'eau..... | 3 |
| I.2. Normes de qualité des eaux destinées à la consommation humaine..... | 4 |
| I.2.1. Paramètres physico-chimiques en relation avec la structure naturelle des eaux..... | 4 |
| I.2.2. Paramètres concernant des substances indésirables..... | 5 |
| I.2.3. Paramètres concernant des substances toxiques..... | 6 |
| I.2.4. Paramètres microbiologiques..... | 7 |
| I.2.5. Pesticides et produits apparentés..... | 7 |
| I.3. Usages de l'eau et leur exigence | 8 |
| I.4. Les usages énergétiques..... | 9 |
| I.5. Traitement des eaux usées..... | 9 |
| Chapitre II : Epuration des eaux usées | |
| II.1. Généralités sur les eaux usées..... | 11 |
| II.2. Origine des eaux usées | 11 |
| II.3. Caractéristiques des eaux usées..... | 12 |
| II.4. Les impacts sociologiques et environnementaux..... | 14 |
| II.5. Définition d'une station d'épuration..... | 15 |
| II.5.1. Les étapes et procédés de traitement des eaux usées..... | 15 |
| II.5.2. Les traitements complémentaires..... | 20 |
| II.5.3. Le traitement des odeurs..... | 22 |
| II.5.4. Traitement par lagunage ou la phyto-épuration..... | 23 |
| II.5.4.1. Le principe général de lagunage..... | 23 |
| II.5.4.2. Les différents systèmes de lagunage..... | 23 |
| II.5.4.3. L'entretien..... | 24 |
| II.5.4.4. Avantages et inconvénients du lagunage..... | 24 |
| Chapitre III : Les paramètres des choix des stations d'épurations | |
| III. Principe de fonctionnement d'une station d'épuration..... | 25 |
| III.1. Implantation de la station..... | 26 |

| | |
|---|----|
| III.2. Qualité des matériaux..... | 27 |
| III.3. Hygiène et sécurité..... | 28 |
| III.4. Paramètres d'exploitation d'une station d'épuration..... | 29 |
| III.5. Avantages des micros - stations d'épuration..... | 29 |
| III.6. Inconvénients des micros - stations d'épuration..... | 30 |
| Chapitre IV : Normes des rejets des eaux usées | |
| IV. Généralité sur les normes de rejet..... | 31 |
| IV.1. Paramètres de pollution des eaux usées..... | 31 |
| IV.1.1. Eaux résiduaires urbaines (ERU)..... | 31 |
| IV.1.2. Eaux résiduaires industrielles (ERI)..... | 31 |
| IV.2. Normes de rejet des effluents..... | 32 |
| IV.2. Cadre réglementaire..... | 34 |
| IV.2.1. Normes Algériennes..... | 34 |
| IV.2.1.1. La loi cadre pour la protection de l'environnement..... | 34 |
| IV.2.1. Normes Internationales OMS..... | 35 |
| Références bibliographiques | |

Abréviations

pH : potentiel d'hydrogène

TH : Degré hydrotimétrique

DBO : Demande biologique en oxygène

DCO : Demande chimique en oxygène

UV : Rayonnement ultra violet

C : Concentration

T : Temps

°f : Le degré français

°C : Le degré Celsius

(Q, m³) : Débit horaire

(V, en m³) : Volume total d'eau à traiter

MES : Matière en suspension

TA : Titre alcalimétrique simple

TAC : Titre alcalimétrique complet

THM : Trihalométhanes

COT : Carbone Organique Total

P.C.B : Les pesticides ' polychlorobiphényles'

P.C.T : Les insecticides ' polychlorobiphényles'

AESN : Agence de l'Eau Seine Normandie

NTU : Nephelometric Turbidity Unit

G(Siemens) : Conductance

C : Concentration

PVC : Polychlorure de vinyle

MVS : Matière organique

Cm : La Charge Massique

Cv : La Charge Volumique

IM : L'indice de Molhmann

T_s : Temps de séjour

STEP : Station d'épuration industrielle ou urbaine

STEU : Station d'épuration urbaine

ERU : Eaux résiduaires urbaines

ERI : Eaux résiduaires industrielles

HAP : hydrocarbures aromatiques polycycliques

PCB: Polychlorobiphényles

COV: composés organiques volatils

OMS : L'Organisation mondiale de la Santé

Chapitre I : Propriétés des eaux de consommation

I. L'eau

Introduction

Sur la planète bleue, l'eau est stockée sous quatre formes :

- les glaciers ;
- les océans;
- les eaux terrestres;
- l'atmosphère.

Les différents états de la matière

On peut classer les différentes formes de l'eau en trois catégories :

| Eau solide | Eau liquide | Eau solide |
|-------------------|--------------------|-------------------|
| Glace | Eau Pluie | Vapeur d'eau |
| Neige | Le brouillard | |
| Le givre | La buée | |
| | Nuage | |

La matière se présente sous trois formes, que l'appelle 'ETAT

Les trois états de la matière sont :

- L'état **liquide**;
- L'état **solide** ;
- L'état **gazeux**;

I.1. Le cycle de l'eau

L'eau se trouve sous trois états dans l'environnement : l'état solide (sous forme de glace), l'état liquide et l'état gazeux (sous forme de vapeur d'eau). Elle renferme cette capacité de changer d'état selon la température et la pression auxquelles elle est obéissante.

Le cycle de l'eau comprend les 5 **étapes** suivantes :

- L'évaporation;
- La condensation;
- Les précipitations;
- Le ruissellement;
- L'infiltration.



Figure I.1 : Les différentes étapes de cycle de l'eau

I.1.1. Définitions/explications :

1. **Evaporation :** Sous l'effet de la chaleur (le soleil), l'eau se transforme en vapeur d'eau (état gazeux). Cette transformation est une évaporation.
2. **Condensation :** Phénomène au cours duquel la vapeur d'eau se transforme en eau liquide. Lorsqu'il commence à faire de plus en plus froid, la goutte d'eau ne peut plus conserver sa forme de vapeur d'eau (comme du gaz). C'est alors que toutes les gouttes d'eau se transforment en petites gouttelettes très légères.
3. **Précipitation :** Formes variées sous lesquelles l'eau solide ou liquide contenue dans les nuages se dépose à la surface de la planète. Ce phénomène se produit quand, grâce à la condensation, les gouttelettes d'eau se collent les unes aux autres et deviennent alors plus lourdes.
 - ❖ **Les précipitations peuvent prendre plusieurs formes :**
 - ✓ Quand les nuages, formés de gouttelettes d'eau condensés, rencontrent de l'air froid, l'eau se liquéfie et retombe donc dans la mer ou sur la terre, on appelle ça la pluie ;
 - ✓ Quand il fait froid, les gouttes d'eau se changent en cristaux de glace : c'est la neige ;
 - ✓ Si le vent est fort, les petits cristaux se collent les uns aux autres, s'alourdissent et tombent sous la forme de petits glaçons, c'est la grêle ;
 - ✓ Quand de très fines gouttelettes flottent dans l'air près du sol, c'est le brouillard.
4. **Le ruissellement :** Sur les sols peu perméables ou déjà gorgés d'eau par les précipitations précédentes dans lesquels l'eau ne peut s'infiltrer, l'eau de pluie ou la neige fondue ruisselle. Elle va alors former des petits cours d'eau qui, en rencontrant d'autres, deviendront des rivières. Sur les sols peu perméables ou déjà gorgés d'eau par les précipitations précédentes dans lesquels l'eau ne peut s'infiltrer, l'eau de pluie ou la neige

fondue ruisselle. Elle va alors former des petits cours d'eau qui, en en rencontrant d'autres, deviendront des rivières

5. L'infiltration : Lorsque la pluie tombe et qu'elle atteint le sol, une partie de l'eau est directement utilisée par la végétation, une partie s'évapore (voir évaporation), une partie ruisselle sur la surface pour atteindre un cours d'eau et la dernière s'infiltré dans le sol. L'infiltration dépend directement de la nature du sol et du couvert végétal.

➤ **Ressources destinées à l'alimentation**

- ✓ Eaux superficielles: (Lacs, Fleuves, Rivières...);
- ✓ Eaux souterraines: (Nappes phréatiques, Nappes profondes.);
- ✓ Eaux de pluie ;
- ✓ Eaux saumâtres et eaux salées

I.1.2. Les propriétés de l'eau

L'eau est une molécule composée d'un atome d'oxygène et de deux atomes d'hydrogène, sa formule chimique est H_2O . Une goutte d'eau de la taille d'une pointe d'épingle contient environ un milliard de milliards de molécules d'eau.

L'eau est, par ses propriétés électriques et sa constitution moléculaire, un solvant polaire particulièrement apte à la mise en solution de nombreux corps gazeux, liquides polaires, et surtout solides.

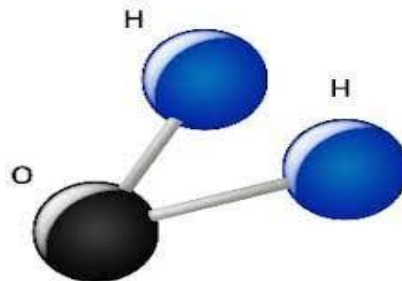


Figure I.2 : Molécule d'eau

L'eau est une substance chimique constituée de molécules H_2O . Ce composé est très stable et néanmoins très réactif, et l'eau liquide est aussi un excellent solvant.

Masse volumique : 997 kg/m³

Point d'ébullition : 100 °C

Masse molaire : 18,01528 g/mol

Formule : H₂O

Point de fusion : 0 °C

Moment dipolaire : 1.8546D

Viscosité dynamique : 1,002×10⁻³ Pa·s à 20 °C

Indice de réfraction : 1.33

Eco toxicologie : DL50 > 90 ml .Kg⁻¹

I.2. Normes de qualité des eaux destinées à la consommation humaine

L'eau ne doit pas présenter :

- I. Une coloration dépassant 15 mg/l de platine en référence à l'échelle platine/cobalt ;
- II. Une turbidité supérieure à une valeur équivalente à 2 unités Jackson ;
- III. D'odeur, de saveur, pour un taux de dilution de 2, à 12 degrés C, et de 3, à 25 degrés C.

I.2.1. Paramètres physico-chimiques en relation avec la structure naturelle des eaux

- a) La température ne doit pas dépasser 25 degrés C.
- b) Le **pH** doit être supérieur ou égal à 6,5 unités pH et inférieur ou égal à 9 unités pH, cette obligation ne s'applique pas aux eaux conditionnées non minérales.
- c) **Dureté / Alcalinité:**

On détermine le Titre hydrotimétrique (total) de l'eau =

$$\mathbf{TH = \Sigma TH [Ca^{2+}] + \Sigma TH [Mg^{2+}]} \quad \mathbf{(I.1)}$$

Ce TH se mesure par dosage à l'EDTA qui complexe les ions Ca^{2+} et Mg^{2+} . Le TH peut être remplacé par la Titre Alcalimétrie complet = TAC qui mesure la concentration des ions HCO_3^- mais aussi la concentration des ions CO_3 Il ne faut pas dépasser TAC = 50 degrés français.

- d) **Conductivité:** Elle se mesure en μS (micro-siemens). Cela nous donne une idée générale sur la salinité et la minéralisation de l'eau.

| Conductivité à 25°C ($\mu S/cm$) | TH estimatif (°f) | Dureté de l'eau |
|---------------------------------------|----------------------|----------------------|
| < 300 | <17 | Eau douce |
| Entre 300 et 550 | Entre 17 et 30 | Eau dure |
| Entre 550 et 950 | Entre 30 et 35 | Eau très dure |
| > 950 | > 55 | Eau extrêmement dure |

Figure I.2 : Norme de l'eau

- e) Pour les substances suivantes, les valeurs des concentrations doivent être inférieures ou égales aux valeurs indiquées ci-après :

| | |
|-----------------|-----------------------------|
| Chlorures | 200 mg/l (Cl) |
| Sulfates | 250 mg/l (SO ₄) |
| Magnésium | 50 mg/l (Mg) |
| Sodium.. | 150 mg/l (Na) |
| Potassium | 12 mg/l (K) |
| Aluminium total | 0,2 mg/l (Al) |

À l'exception de eaux ayant subi un traitement thermique pour la production d'eau chaude, pour lesquelles la valeur de 0,5 mg/l [Al] ne doit pas être dépassée)

- f) . La quantité de résidus secs, après dessiccation à 180 degrés C, doit être inférieure ou égale à 1 500 mg/l.

I.2.2. Paramètres concernant des substances indésirables

Pour les substances suivantes, les valeurs des concentrations doivent être inférieures ou égales aux valeurs indiquées ci-après :

| | |
|---|--------------------------------|
| Nitrates | 50 mg/l (NO ₃) |
| Nitrites | 0,1 mg/l (NO ₂) |
| Ammonium | 0,5 mg/l (NH ₄) |
| Azote Kjeldahl | 1 mg/l (en N) |
| N de NO ₃ et NO ₂ | exclus |

- ✓ L'oxydabilité au permanganate de potassium (KMnO₄), mesurée après 10 minutes en milieu acide, à chaud, doit être inférieure ou égale à 5 mg/l en oxygène ;
- ✓ La teneur en hydrogène sulfuré doit être telle que ce composé ne soit pas détectable organo-leptiquement. ;
- ✓ La valeur de la concentration en hydrocarbures dissous ou émulsionnés, après extraction au CCl₄, doit être inférieure à 10 microgrammes par litre ;
- ✓ La teneur en phénols doit être telle que les composés ne soient pas détectables organo-leptiquement après ajout de chlore.
- ✓ En cas de détection, la concentration en phénols, exprimée en indice phénol C₆H₅OH doit être inférieur ou égale à 0,5 µg/l, les phénols naturels ne réagissant pas au chlore étant exclus.

Pour les substances suivantes, les valeurs de concentrations doivent être inférieures ou égales aux valeurs indiquées ci-après:

| | |
|---|--|
| Agents de surface réagissant au bleu de méthylène | 200 µg/l (sulfate) |
| Fer | 200 µg/l(Fe) |
| Manganèse | 50µg/l(Mn) |
| Cuivre | 1mg/l(Cu) |
| Zinc | 5mg/l(Zn) |
| Phosphore | 5 mg/l(P ₂ O ₅) |
| Argent | 10 µg/l(Ag) |

- ✓ La teneur en fluor doit être inférieure à 1 500 microgrammes par litres (F) pour une température moyenne de l'aire géographique considérée comprise entre 8 degrés C et 12 degrés C et à 700 microgrammes par litres (F) pour une température moyenne de l'aire géographique considérée comprise entre 25 et 30 degrés C. Pour les températures moyennes comprises entre 12 et 25 degrés C, la teneur limite en fluor est calculée par interpolation linéaire.

I.2.3. Paramètres concernant des substances toxiques

Pour les substances suivantes, les valeurs des concentrations doivent être inférieures ou égales aux valeurs indiquées :

| | |
|--------------|--------------|
| Arsenic | 50µg/l (As) |
| Cadmium | 5 µg/l (Cd) |
| Cyanures | 50 µg/l (CN) |
| Chrome total | 50 µg/l (Cr) |
| Mercure | 1 µg/l (Hg) |
| Nickel | 50 µg/l (Ni) |
| Plomb. | 50 µg/l (Pb) |
| Antimoine | 10 µg/l (Sb) |
| Sélénium | 10 µg/l (Se) |

Hydrocarbures polycycliques aromatiques :

Pour le total des 6 substances suivantes 0,2 µg/l

- Fluoranthène ;
- Benzo (3,4) fluoranthène;
- Benzo (1,12) fluoranthène;
- Benzo (3,4) pyrène;
- Benzo (1,12) pérylène ;
- Indéno (1,3 c-d) –pyrène;
- Benzo(3,4) pyrène 0,01 µg/l.

I.2.4. Paramètres microbiologiques

- a) L'eau ne doit pas contenir d'organismes pathogènes, en particulier de salmonelles dans 5 litres d'eau prélevée, de staphylocoques pathogènes dans 100 ml d'eau prélevée, de " bactériophages fécaux dans 50 ml d'eau prélevée " et d'entérovirus dans un volume ramené à 10 litres d'eau prélevée.
- b) au moins des échantillons prélevés ne doivent pas contenir de coliformes dans 100 millilitres d'eau.
- c) L'eau ne doit pas contenir de coliformes thermo tolérants et de streptocoques fécaux, dans 100 ml d'eau prélevée.
- d) L'eau ne doit pas contenir plus d'une spore de bactéries anaérobies sulfite-réductrices par 20 ml d'eau prélevée.
- e) Lorsque les eaux sont livrées sous forme conditionnée, le dénombrement des bactéries aérobies revivifiables, à 37 degrés C et après vingt-quatre heures, doit être inférieur ou égal à 20 par millilitre d'eau prélevée, à 22 degrés Celsius et après soixante-douze heures, il doit être inférieur ou égal à 100 par millilitre d'eau prélevée. L'analyse est commencée dans les douze heures suivant le conditionnement.
- f) Lorsque les eaux sont livrées sous forme conditionnée, l'eau ne doit pas contenir de *Pseudomonas aeruginosa* dans 100 ml.

I.2.5. Pesticides et produits apparentés

Pour les insecticides organochlorés persistants, organophosphorés et carbamates, les herbicides, les fongicides, les **P.C.B.** et **P.C.T.**, les valeurs des concentrations doivent être inférieures ou égales aux valeurs indiquées ci-après :

✚ Par substance individualisée : 0,1 µg/l, à l'exception des substances suivantes :

- a) Aldrine et dieldrine : 0,03 µg/l ;
- b) Heptachlore et époxyde d'heptachlore : 0,03 µg/l.
- c) Pour le total des substances mesurées : 0,5 µg/l.

I.2.6. Paramètres concernant les eaux adoucies livrées à la consommation humaine

Les eaux adoucies livrées à la consommation humaine doivent satisfaire, en outre, aux exigences suivantes :

- La dureté totale ne doit pas être inférieure à 15 degrés français.
- L'alcalinité ne doit pas être inférieure à 2,5 degrés français.

I.3. Usages de l'eau et leur exigence

L'eau est nécessaire pour de nombreux usages qui dépendent de sa quantité et sa qualité. Mais certains usages peuvent avoir un impact sur la ressource et compromettre à la fois le bon fonctionnement du milieu naturel et les autres usages qui en dépendent

- ✓ Les usages de l'eau et du réseau hydrographique peuvent se classer selon leur nature :
Prélèvements : qui consomment de l'eau sans restitution directe au lieu de prélèvement.
- ✓ Altérations : qui modifient les paramètres physico-chimiques et bactériens de l'eau.
- ✓ Les autres usages qui utilisent l'eau à des fins énergétiques, de transport ou encore récréatives.

I.3. 1.L'usage agricole

L'irrigation des cultures représente 70% de l'ensemble des usages agricoles de l'eau **AESN** (Agence de l'Eau Seine Normandie). Ainsi, il faut environ :

- ✓ 1500 l d'eau pour produire 1 kg de blé ;
- ✓ 4500 l d'eau pour produire 1 kg de riz .

I.3. 2.Les usages domestiques

Chaque habitant consomme en moyenne de 150 à 200 litres d'eau par jour dont 93% pour l'hygiène corporelle, les sanitaires, l'entretien de l'habitat et les tâches ménagères. La consommation alimentaire représente 2 litres / jour / habitant.

Ainsi on consomme pour :

- ✓ Se doucher = 60 à 80 l d'eau ;
- ✓ Tirer la chasse d'eau des toilettes = 6 à 10 l d'eau ;
- ✓ Laver une voiture = 100 à 200 l d'eau - Faire la vaisselle = 15 l d'eau.

I.3. 3.Les usages industriels

Les usages industriels (agro-alimentaire, fabrication de produits...) sont gros consommateurs d'eau. Ainsi pour il faut pour fabriquer :

- ✓ 1 automobile = environ 10 000 l d'eau ;

Polycopie de cours épuration des eaux usées

- ✓ 1 litre de bière = environ 5 l d'eau ;
- ✓ 1 kg de papier = environ 20 l d'eau .

I.3. 4 .Les usages énergétiques

Les centrales électriques transforment l'énergie calorifique (combustion de combustibles fossiles : gaz, fioul, charbon ou fission atomique) en énergie mécanique (machine à vapeur) puis en énergie électrique. Le cycle de l'eau dans une centrale comprend un pompage en eau superficielle (rivière), l'injection dans un circuit de refroidissement, puis le rejet dans le milieu (rivière) ou l'évaporation. Selon la puissance de la centrale, l'eau évaporée peut se compter en m³/s.

I.4.Traitement de l'eau brute pour le rendre potable

Protéger la santé A partir des recommandations émises par l'Organisation Mondiale de la Santé (**OMS**), des réglementations nationales et internationales ont été mises en place afin d'éviter la présence de micro-organismes et de substances chimiques indésirables dans l'eau potable.

❖ Les étapes de la production d'eau potable

L'eau brute subit donc plusieurs traitements :

- 1) **Dégrillage et tamisage** : L'eau est d'abord filtrée à travers une grille afin d'arrêter les plus gros déchets, puis elle passe dans des tamis à mailles fines retenant des déchets plus petits .
- 2) **Clarification** : elle permet de rendre l'eau limpide en la débarrassant des petites matières en suspension qu'elle contient .
- 3) **Floculation/coagulation et décantation** : Un produit chimique (chlorure de fer ou sulfate d'aluminium) est ajouté à l'eau qui provoque le regroupement (agglomération) des particules encore présentes (poussières, particules de terre, etc.). en flocons. Ceux-ci s'agglomèrent et se déposent au fond du bassin par décantation. 90 % des matières en suspension (**MES**) sont ainsi éliminées.
- 4) **Filtration** : Pour éliminer les 10 % de **MES** restantes, l'eau traverse un filtre, lit de sable fin et/ou un filtre à charbon actif. La filtration sur sable élimine les matières encore visibles à l'œil nu. Les filtres à charbon actif retiennent en plus les micro - polluants, comme les pesticides et leurs sous produits, les composés à l'origine des goûts et des odeurs (cette filtration peut avoir lieu après la désinfection également car

Polycopie de cours épuration des eaux usées

ils retiennent également des sous-produits de désinfection) Il existe des procédés de filtration encore plus poussés comme la filtration sur membranes .

- 5) **Désinfection** : c'est la dernière étape : elle élimine tous les micro-organismes qui pourraient être dangereux pour notre santé.
- 6) **Ozonation** : L'eau est désinfectée grâce à l'ozone, qui a une action bactéricide et antiviral. Ce gaz, mélangé à l'eau, agit aussi sur les matières organiques en les cassant en morceaux. Il améliore également la couleur et la saveur de l'eau .
- 7) **Chloration**. Du chlore est ajouté à la sortie de l'usine de production et sur différents points du réseau de distribution afin d'éviter le développement de bactéries et de maintenir la qualité de l'eau tout au long de son parcours dans les canalisations.

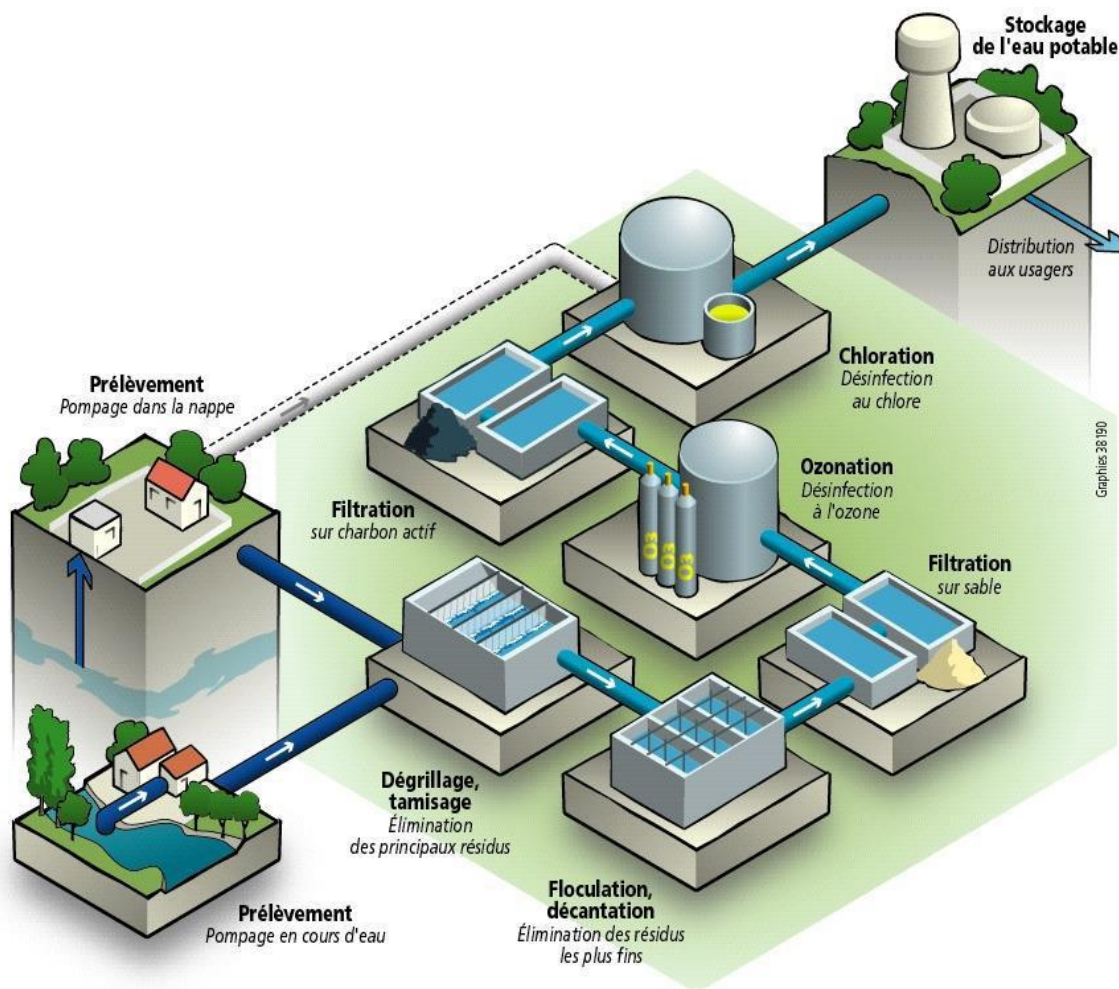


Figure I.3 : Station de traitement de l'eau potable

II. Epuration 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 industriels 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.

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
 - ✓ 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 H₃O⁺

$$\text{pH} = \log /[\text{H}_3\text{O}^+] \quad (\text{II.1})$$

- **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).

$$1 \text{ S/m} = 10^4 \mu\text{S/cm} = 10^3 \text{ mS/m.}$$

$$\text{G}=\text{k}'\times\text{C} \quad (\text{II.2})$$

Polycopie de cours épuration des eaux usées

- **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 O₂.
- **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'O₂/l.
- **La Demande Biochimique en Oxygène (DBO5)** : La demande biochimique en oxygène a un pouvoir auto-épuration 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 (DBO5) 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 / DBO5 donne un indice sur la provenance et l'origine de la pollution organique. Les mesures se rapprochant de 1 du rapport DCO / DBO5 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 CO₂ 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 majeure partie de l'azote total. Le plus souvent ces produits ne se trouvent qu'à de très faibles concentrations.
- **Les nitrates (NO₃⁻)** : 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.

Polycopie de cours épuration des eaux usées

- **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 $1\text{mg/l PO}_4^{2-} = 0,747 \text{ mg/L P}_2\text{O}_5 = 0,326 \text{ mg/L}$.
- **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 :

- **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.
- **Les streptocoques fécaux et Enterococcus** : Sous la dénomination générale de « streptocoques fécaux ». Toutefois, d'une façon générale, les concentrations en streptocoques fécaux sont, dans les milieux naturels autres que ceux nettement pollués par le bétail, inférieures 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.

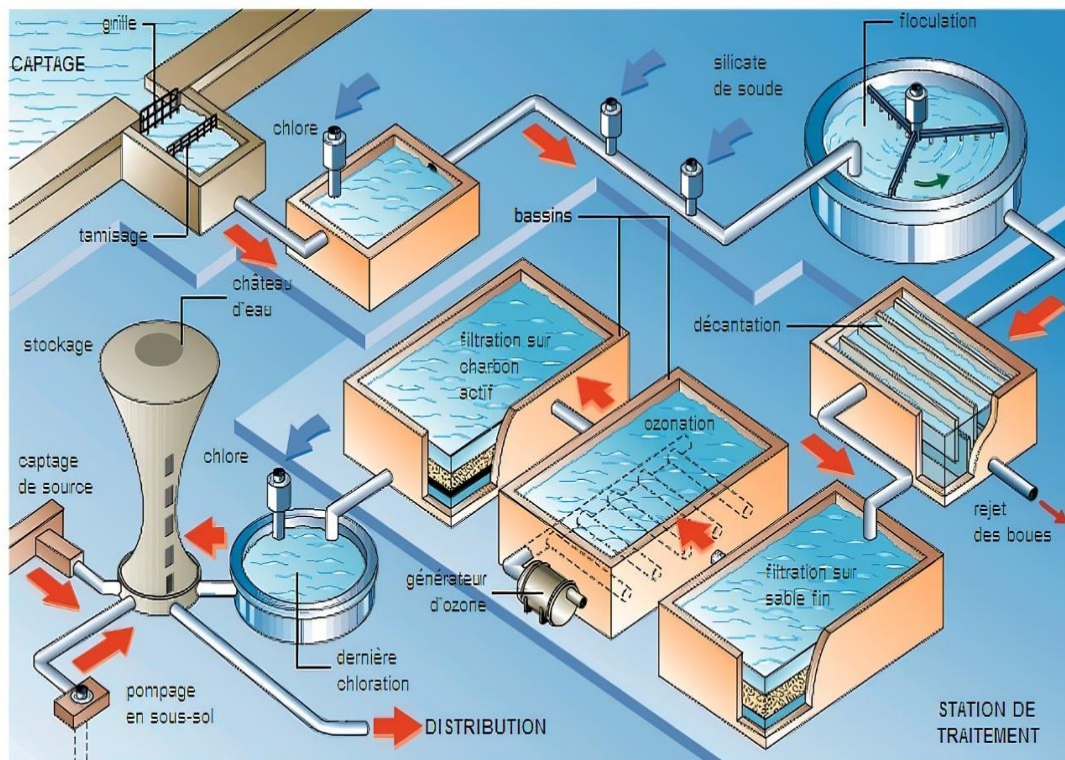


Figure II.1 : Station de traitement des eaux usées

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.

Polycopie de cours épuration des eaux usées

- 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.

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 ;

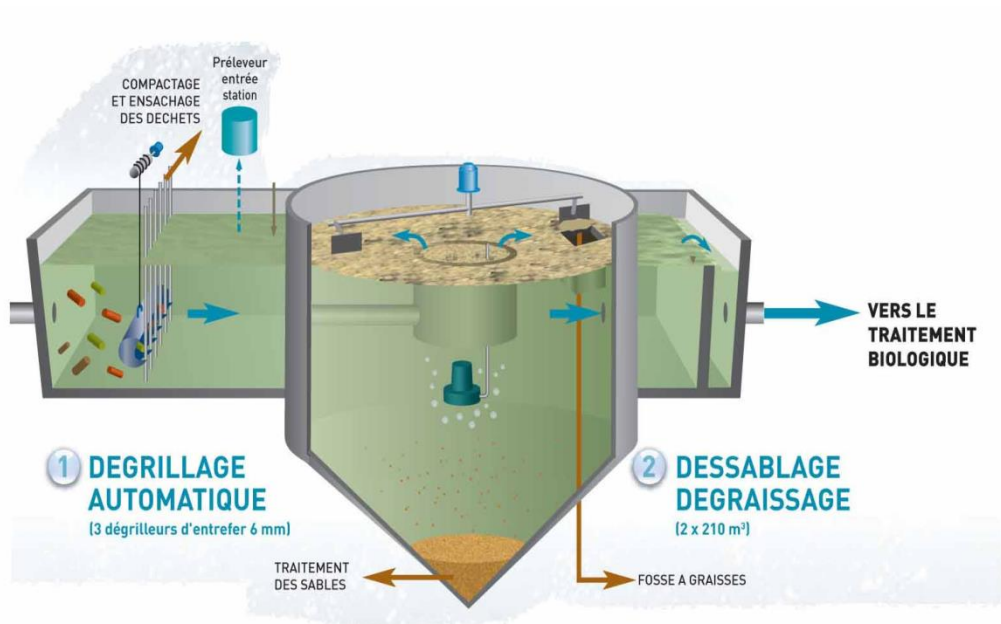


Figure II.2 : Procédés dégrillage – dessablage - dégraissage

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



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

- 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.
- 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 uns aux autres. Pour les éliminer, on a appel aux procédés de

Polycopie de cours épuration des eaux usées

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 on trouve : les flocculant minéraux, les flocculant organiques.

- **Le 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 :
- **Les 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 :
 - Diminuer la fraction organique afin de diminuer leur pouvoir fermentescible et les risques de contamination (stabilisation) ;
 - Affaiblir leur volume total afin de réduire leur coût d'évacuation (déshydratation).



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

- **Le 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

Polycopie de cours épuration des eaux usées

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

- **Les 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
- **La 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 : 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. **L'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. **L'élimination du phosphore** : L'élimination du phosphore, ou "déphosphatation", peut être réalisée par des voies physico-chimiques ou biologiques.
3. **La 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.

I . **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 : Traitement des eaux usées par le chlore

II . 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, les UV nécessitent un investissement important, mais présentent l'avantage de ne pas



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

II.5.3. Le 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.



Figure II.9 : Biofiltre pour le traitement 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 héliophytes (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.

II.5.4.2. Les différents systèmes de lagunage

II.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 microphytes 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.

II.5.4.2.2. Le lagunage à macrophytes (phytoépuration)

Dans ce système, l'eau est appauvrie : 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 m² par usager.

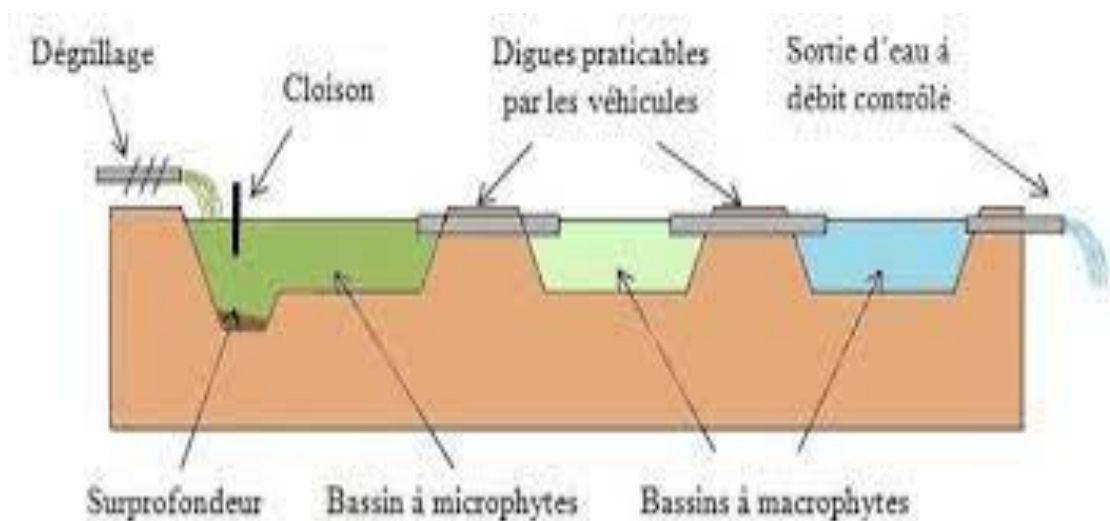


Figure II.10 : Schéma du lagunage micro et macrophytes

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.

III. Principe de fonctionnement d'une station d'épuration

Une station d'épuration est installée généralement à l'extrémité d'un réseau de collecte des effluents (eaux usées domestiques et urbaines et, par extension, les eaux usées industrielles ou agricoles) et juste en amont de la sortie des eaux qui seront épurées.

Lors du process d'épuration des traitements mécaniques, chimiques et biologiques sont effectués sur les eaux usées entrantes qui doivent avoir initialement un niveau d'altitude assez élevé pour permettre un écoulement gravitaire au cours du process.

C'est pour cette raison qu'il y a 2 stations hydrauliques, une à l'entrée et une au milieu du process, avec à chaque fois 4 pompes centrifuges. La station hydraulique à l'entrée est précédée d'un dégrilleur grossier qui a comme but de retenir des déchets grossiers.

❖ Les premiers traitements sont présents dans toutes les stations, ils consistent en :

- Un dégrillage : passage des eaux au travers d'une grille retenant les éléments les plus grossiers qui seront éliminés avec les ordures ménagères.
- Un dessablage, dégraissage, déshuilage : élimination des sables qui sont déposés et des graisses qui flottent et seront raclées en surface.

❖ Pour enlever les matières restantes, on utilise différents systèmes faisant intervenir :

- des micro-organismes (pour les matières biodégradables),
- et/ou des composés chimiques.



Figure III. 1 : Schéma de fonctionnement d'une station d'épuration

III.1. Implantation de la station

Les stations d'épuration des eaux usées, sont en général peu efficaces sur le plan énergétique. Il est donc possible de concevoir des hypothèses de chaînes épuratoires améliorées au plan de leur efficacité énergétique et de leur performance globale en y introduisant. Cette analyse multicritère intègre les aspects techniques, énergétiques, économiques, etc.

La station d'épuration reste un outil fondamental pour la protection des milieux naturels. La valorisation de l'image de la station passe par un ensemble de dispositions qui sont à prendre en considération dès l'élaboration du projet en commençant par le choix de l'emplacement du site.

A cette étude, quelques règles doivent être rappelées :

- Éviter les zones inondables ;
- éviter de construire à proximité d'habitations ;
- S'éloigner le plus possible des zones de captage ;
- Réaliser des études géotechniques (vérification de l'imperméabilité par exemple pour un lagunage) ;
- prendre des précautions particulières lorsqu'un aquifère se situe à faible profondeur (clapets en fond de bassins, ...) ;

Polycopie de cours épuration des eaux usées

- ne pas implanter les ouvrages dans les zones plantées d'arbres à feuilles caduques (lit bactérien, lagunage, bassin d'aération...);
- penser aux extensions ou aux aménagements futurs (disponibilité et réservations de terrains).

II.2. Accès à la station

La voirie d'accès à la station doit satisfaire à certains critères :

✚ Adéquation de la voirie aux véhicules utilisés pour les livraisons, dépotages, curage des boues et des sous produits, montages et démontages des équipements, unités de déshydratation mobiles ;

De plus en plus souvent, on utilise des véhicules :

- ✓ 40 tonnes sur 5 essieux ;
- ✓ longueur : 16,5 m;
- ✓ largeur : 2,55 m (sans les rétroviseurs) ;
- ✓ hauteur maxi : 4 m;
- ✓ giration : le véhicule en tournant s'inscrit dans un anneau de rayon intérieur 5,3 m et rayon extérieur 12,5 m;
- ✓ résistance du sol au ripage;
- ✓ facilité de manoeuvrer (courbures larges, largeur de portail, éviter les marches arrière, ...);
- ✓ dépotage des pulvérulents de plus en plus fréquemment réalisé à l'aide de citernes basculantes .

✚ L'accès à la station doit pouvoir se faire dans de bonnes conditions toute l'année (notamment en hiver dans les zones de montagne : déneigement prioritaire).

✚ La station doit comprendre une clôture. Les portes et portails d'accès à la station seront équipés de la même serrure (clé unique). L'éclairage extérieur de la station est souhaitable. Des panneaux interdisant l'accès au public seront prévus.

III.3. Qualité des matériaux

Le choix des matériaux métalliques doit privilégier l'aluminium et l'inox et proscrire autant que possible l'acier galvanisé. L'inox 304 est réservé pour la construction classique (caillebotis, canalisations, support de sondes,...). L'inox 316 L est à utiliser dans les cas de risque d'agression par des réactifs chimiques (chlorure ferrique, ...) et dans les cas d'ambiances salines et marines (bords de mer...).

- ✚ Les postes les plus sensibles à la corrosion sont, en général, les suivants :
- ✓ lieu de stockage et d'utilisation des réactifs,

Polycopie de cours épuration des eaux usées

- ✓ prétraitements,
 - ✓ traitement des boues.
- ✚ Les matériaux composite du type résine sont également intéressants. Les **PVC** exposés au soleil doivent être traités anti UV.
- Les principaux points à surveiller au niveau génie civil des stations d'épuration sont :
- ✓ Une étude géotechnique permettant de valider le mode de fondation des ouvrages,
 - ✓ Une définition précise de l'agressivité des effluents au sens des normes (ce n'est qu'à partir de ces analyses que l'on est capable de choisir la qualité du béton et ses protections éventuelles) ;
 - ✓ Le classement des ouvrages en fonction de l'étanchéité requise



Figure III. 2 : Les paramètres des choix des saltations d'épurations

III.4. Hygiène et sécurité

- ✚ Il faut prévoir une hauteur de revanche ($h = 1 \text{ m}$) autour d'une bache ouverte.
- ✚ Si le personnel doit travailler à proximité des trappes ouvertes, des barrières amovibles protégeant contre les chutes dans le poste, devront être mises en place.
- Toute intervention humaine dans un poste de relèvement fermé doit être précédée par un contrôle de l'atmosphère et si nécessaire par une ventilation efficace. Il est important que la couverture soit rigide mais légère pour pouvoir être retirée facilement.
- On prévoira un dispositif permettant de fixer une échelle en cas de nécessité d'une intervention au fond de poste.
- Prévoir un sol en dur (enrobé ou béton) autour du poste avec un accès afin de pouvoir transporter les pompes sur un véhicule ou un chariot.
- Nécessité de séparer le poste de relèvement (et tout élément relatif au prétraitement) du local d'exploitation.

III.5. Paramètres d'exploitation d'une station d'épuration

- 1) **La Charge Massique (C_m)** : Représente le rapport de la quantité de matière organique journalière (en termes de DBO5 par jour) ramenée à la masse totale de boue (MVS).

$$C_m = Q_{[DBO5]} / V_{[MVS]} \quad \text{(III.1)}$$

Avec Q : débit (m^3/J), V : Volume du bassin d'aération (m^3).

- 2) **La Charge Volumique (C_v)** est la quantité de matière organique journalière ramenée au volume unitaire de bassin. C'est un paramètre dimensionnel. Elle s'exprime en kg DBO5/ m^3 de bassin

$$C_v = Q_{[DBO5]} / V \quad \text{(III.2)}$$

- 3) **L'indice de Molhmann (I_m)** : Représentant l'aptitude qu'ont les boues à décantation est le volume V en ml occupé par 1 g de MVS (M) après une décantation d'1/2 h. Avec une bonne décantation, les bactéries occupent un faible volume. L'indice est faible.

Les plages de fonctionnement en fonction de l'indice sont :

- 50 - 100 Très bonne décantation ;
- 150 : Bonne décantation ;
- 200-250 : problème de séparation eau/Bactéries ;
- supérieur à 400 pas de décantation.

$$I_m = V / M \quad \text{(III.3)}$$

Polycopie de cours épuration des eaux usées

- 4) **Temps de séjour (h)** : Le temps de séjour hydraulique représente le rapport entre le volume d'un réacteur et le débit traversier. Le temps de séjour moyen peut être obtenu par le calcul du moment d'ordre 1 de la distribution des temps de séjour. Ages des boues (jour).

$$T_s = V/Q \quad (\text{III.4})$$

- 5) **Ages des boues (jour)** : représente le rapport entre les boues présentes dans le bassin d'aération et la production de boue biologique. Il s'exprime comme le produit entre la masse de MVS en m³ et l'estimation de la production de boues en kgMVS/J

$$A = \frac{[MVS]_{\text{Présente}} \cdot V}{[MVS]_{\text{Produite}}} \quad (\text{III.5})$$

- 6) **La consommation d'O₂ (OUR : oxygen Uptake Rate)** : Résulte de l'oxydation directe des matières organiques, de l'oxydation indirecte (respiration endogène) et de l'oxydation de l'ammoniaque. Elle correspond environ à 0,6 kg d'O₂/kg DBO₅ entrant.

III.6. Avantages des micros - stations d'épuration :

Toutes les propriétés industrielles et commerciales qui n'ont pas accès à une station d'épuration publique doivent disposer d'un système d'assainissement privé

- permet la construction dans des zones non desservies par le tout-à-l'égout ;
- faible occupation de terrain (minimum entre 5 et 10 m²) ;
- pas de dégagement d'odeurs nauséabondes ;
- très bon rendement de dépollution (entre 90 et 99 %) ;
- certains modèles sont utilisables en zone sensible.

III.7. Inconvénients des micros - stations d'épuration :

- alimentation électrique indispensable ;
- utilisation continue, même si certaines technologies tendent à palier cet inconvénient ;
- entretiens réguliers contraignants pour l'utilisateur ;
- maintenance annuelle par une entreprise spécialisée, fortement préconisée ;
- vidange obligatoire, par une entreprise agréée, lorsque les boues atteignent 30 % du volume de la cuve.

IV. Généralité sur les normes de rejets

Le suivi de la pollution toxique dans l'environnement due aux rejets issus d'une station d'épuration industrielle (**STEP**) ou urbaine (**STEU**) se fait essentiellement au moyen de mesures analytiques de plusieurs paramètres chimiques et physiques de suivi de l'eau et de concentration de certaines substances chimiques appelés micropolluants, et par des tests biologiques de toxicité aiguë de plus en plus, à certaines installations dites classées pour la protection de l'environnement. Dans le principe de base, l'utilisateur ou l'exploitant (par exemple l'industriel) est considéré comme responsable du contrôle de la qualité de ses effluents (bains de traitement, eaux usées, eaux traitées/décontaminées ou rejets), et il est donc tenu de surveiller régulièrement ses rejets dans l'environnement (rejet direct ou indirect).

IV.1. Paramètres de pollution des eaux usées

IV.1.1. Eaux résiduaires urbaines (ERU)

Les eaux résiduaires urbaines (ERU) regroupent les eaux ménagères, les eaux vannes et les eaux de ruissellement. La composition et les caractéristiques d'une eau résiduaires urbaine sont :

- ✓ Peu variables par rapport aux eaux usées industrielles.
- ✓ Les matières en suspension (**MES**) ;
- ✓ La demande biochimique en oxygène (**DBO**) ;
- ✓ La demande chimique en oxygène (**DCO**) ;
- ✓ Les teneurs en azote et en phosphore sont également des paramètres très importants, a cause des problèmes d'eutrophisation ;
- ✓ Les microorganismes excrétés avec les matières fécales. L'ensemble de ces organismes peut être classée en quatre grands groupes : les bactéries, les virus, les protozoaires et les helminthes.

IV.1.2. Eaux résiduaires industrielles (ERI)

Sont des eaux rejetées après la fabrication des produits ou nettoyage. Les principaux polluants transitant dans les eaux usées d'origine industrielle sont :

- ✓ Les métaux toxiques ;
- ✓ Les toxines organiques ;
- ✓ Les matières colorées ;
- ✓ Les huiles et graisses ;
- ✓ Les sels

Polycopie de cours épuration des eaux usées

Tableau IV1. Classement des paramètres de suivi de la qualité d'une eau et des substances chimiques présentes et exemples de paramètres.

| Paramètres/Substances | Exemples |
|------------------------------|--|
| Paramètres généraux | pH, température, conductivité, oxygène dissous |
| Paramètres globaux | MES, DCO, DBO5, demande en oxygène |
| Paramètres complémentaires | azote, nitrates, nitrites, phosphore, phosphates |
| Autres paramètres | titre alcalimétrique, indice hydrocarbures, cyanures aisément libérables |
| Métal et ses composés | métaux lourds, métaux nobles, métalloïdes |
| Substances dangereuses | HAP, PCB, COV |
| Autres substances | calcium, sodium, fluorures, sulfates, chlorures, bromures |

IV.2. Normes de rejet des effluents

Les Normes de rejet des eaux usées sont à la libre appréciation du pays dans lequel l'infrastructure doit être installée

- prévenir la détérioration ;
- améliorer et restaurer l'état des masses d'eau de surface ;
- atteindre un bon état chimique et écologique de celles-ci ;
- réduire la pollution due aux rejets et émissions de substances dangereuses;
- protéger, améliorer et restaurer les eaux souterraines ;
- prévenir leur pollution, leur détérioration ;
- assurer un équilibre entre leurs captages et leur renouvellement;
- préserver (restaurer le cas échéant) les zones protégées.

Polycopie de cours épuration des eaux usées

Tableau IV.2 : Les taux relatifs aux normes de rejet des effluents

| | |
|--------------------------------|--|
| pH: | 5.5 < pH < 8.5 ; 9.5 s'il y a neutralisation alcaline |
| Température: | inférieure à 30 ° C |
| DCO: | 150 mg/l Pour effluent non décanté: 300 mg/l si le flux journalier maximal autorisé n'excède pas 100 kg/j. |
| Eaux réceptrices : | 50 kg/j ; 125 mg/l au-delà. |
| DBO 5: | pour effluent non décanté: 100 mg/l si le flux journalier maximal autorisé n'excède pas 30 kg/j. |
| Eaux réceptrices: | 15 kg/j ; 30 mg/l |
| MEST: | 100 mg/l si le taux journalier maximal autorisé par l'arrêté n'excède pas 15 kg/j ; 35 mg/l au-delà. 150 mg/l pour une station d'épuration en lagunage |
| Indice Phénols: | 0.3 mg/l si le rejet dépasse 3 g/j |
| Cyanures: | 0.1 mg/l |
| Chrome hexavalent et composés: | 0.1 mg/l si le rejet dépasse 1g/j |
| Plomb et composés: | 0.5 mg/l si le rejet dépasse 5 g/j |
| Cuivre et composés: | 0.5 mg/l si le rejet dépasse 5 g/j |
| Chrome et composés: | 0.5 mg/l si le rejet dépasse 5 g/j |
| Nickel et composés: | 0.5 mg/l si le rejet dépasse 5 g/j |
| Zinc et composés: | 2 mg/l si le rejet dépasse 20 g/j |
| Manganèse et composés: | 1mg/l si le rejet dépasse 10 g/j |
| Etain et composés: | 2 mg/l si le rejet dépasse 20 g/j |
| Fer, aluminium et composés: | 5 mg/l si le rejet dépasse 20 g/j |
| Composés organiques halogénés: | 1mg/l si le rejet dépasse 30 g/j |

IV.2.Cadre règlementaire

IV.2.1.Normes Algériennes

IV.2.1.1.La loi cadre pour la protection de l'environnement :

Elle fixe les principes fondamentaux et les règles de gestion de l'environnement: la protection, la restructuration et la valorisation des ressources naturelles; la restauration des milieux endommagés, la prévention et la lutte contre toute forme de pollution et nuisance, l'amélioration du cadre et de la qualité de la vie.

- ✓ **Décret exécutif n° 09-209** du 17 Joumada Ethania 1430 correspondant au 11 juin 2009 fixant les modalités d'octroi de l'autorisation de déversement des eaux usées autres que domestiques dans un réseau public d'assainissement ou dans une station de dépuratation.
- ✓ **Décret exécutif N°03-10** du 19 juillet 2003 relative à la protection de l'environnement dans le cadre du développement durable.
- **Article :** La protection de l'environnement dans le cadre du développement durable a pour objectif notamment
 - De fixer les principes fondamentaux et les règles de gestion de l'environnement ;
 - De promouvoir un développement national durable en améliorant les conditions de vie et en œuvrant à garantir un cadre de vie sain ;
 - De prévenir toute forme de pollution ou de nuisance causée à l'environnement en garantissant la sauvegarde de ses composantes ;
 - De restaurer les milieux endommagés ;
 - De promouvoir l'utilisation écologiquement rationnelle des ressources naturelles disponibles, ainsi que l'usage de technologies plus propres ;
 - De renforcer l'information, la sensibilisation et la participation du public et des différents intervenants aux mesures de protection de l'environnement.
- **Législation et réglementation pour la gestion des eaux :**

Le cadre législatif qui régit la gestion des eaux et ses dispositions sont fournies par :

- ✓ **Loi N°05-12 du 04 Aout 2005** relative à l'eau.
- ✓ **Loi N°09-06 du 11 octobre 2009** fixant portant approbation de l'ordonnance N°09-02 du 22 juillet 2009 modifiant et complétant la loi n°05-12 du 04 Aout 2005 relative à l'eau.

Polycopie de cours épuration des eaux usées

Tableau IV.3 : Valeurs limites des paramètres de rejets défluent liquides industriels

| Ordre | Paramètres | Unité | Valeurs Limites |
|-------|-----------------------------|-------|-----------------|
| 01 | Température | °C | 30 |
| 02 | pH | / | 6,5 - 8,5 |
| 03 | MES | mg/l | 35 |
| 04 | Azote Kjeldahl | mg/l | 30 |
| 05 | Phosphore total | mg/l | 10 |
| 06 | DCO | mg/l | 120 |
| 07 | DBO5 | mg/l | 35 |
| 08 | Hydrocarbures totaux | mg/l | 10 |
| 09 | Huiles et graisses | mg/l | 20 |
| 10 | Indice de phénols | mg/l | 0.3 |
| 11 | Composés organiques chlorés | mg/l | 5 |
| 12 | Nickel total | mg/l | 3 |
| 13 | Zinc total | mg/l | 3 |
| 14 | Mercure total | mg/l | 0.01 |
| 15 | Plomb total | mg/l | 0.5 |
| 16 | Fer | mg/l | 5 |

IV.2.1. Normes Internationales OMS

L'Organisation mondiale de la Santé (OMS) a publié quatre éditions des Directives de qualité pour l'eau de boisson (en 1983–1984, 1993–1997, 2004, et 2011), qui ont fait suite aux Normes internationales relatives à l'eau de boisson de l'OMS. L'Organisation mondiale de la Santé assure un rôle de chef de file mondial dans le domaine de la santé publique au sein du système des Nations Unies.

Les normes de rejet des eaux usées sont différentes d'un pays à l'autre, et d'une application à l'autre. Normes Européennes La Directive européenne n° 91-271 du 21/05/1991 est relatif au traitement des eaux résiduaires urbaines et la protection des milieux aquatiques.

Polycopie de cours épuration des eaux usées

Tableau 2 : Normes Internationales OMS des rejets liquides

| Paramètres | Unité | Normes OMS |
|-------------------------------|-------|------------|
| pH | - | 6.5-8.5 |
| DBO5 | mg/l | <30 |
| DCO | mg/l | <90 |
| MES | mg/l | <20 |
| NH ₄ ⁺ | mg/l | <0,5 |
| NO ₂ | mg/l | 1 |
| NO ₃ | mg/l | <1 |
| P ₂ O ₅ | mg/l | <2 |
| Température | C | <30 |
| Couleur | - | Incolore |
| Odeur | - | Inodore |

Références bibliographiques

[1] Abegunrin, T.P., Awe, G.O., Idowu, D.O., Adejumobi, M.A., 2016. Impact of wastewater irrigation on soil physico-chemical properties, growth and water use pattern of two indigenous vegetables in southwest Nigeria. CATENA 139, 167–178.

[2] Joanne E. Drinan, Frank Spellman · 2012. Water and Wastewater Treatment
books.google.com books.google.com.

[3] Asma Ben Rajeb, 2013. Epuration des eaux usées urbaines par infiltration-percolation: Etude hydrobiologique à l'échelle pilote du procédé d'infiltration-percolation: Cas d'une colonne. Éditions universitaires européennes.

[5] Nihed Ben Halima, 2019. Traitement des eaux usées dans leurs stations d'épuration en Tunisie: Cas d'étude de la STEP Sfax Nord. Presses Académiques Francophones.

[6] Franck Seukep, 2020. La valorisation des boues d'épuration séchées dans la brique de terre cuite. Faisabilité technique et environnementale .Bod Third Party Titles.

[7] Legrand L. et Leroy P. (1995) Prévention de la corrosion et de l'entarirage dans les réseaux de distribution d'eau. Ed. Cifec, p.356.

[8] Salghi, R. (2004). Dimensionnement d'une Station d'épuration par boues activées. Note théoriques, Ecole Nationale des sciences appliquée-Agadir, Maroc

[9] JORA(2009) les modalités d'octroi de l'autorisation de déversement des eaux usées autres que domestiques dans un réseau public d'assainissement ou dans une station d'épuration. Journal Officiel de la République Algérienne .Décret exécutif n° 09-209 du 17 Jomada Ethania 1430 correspondant au 11 juin 2009.

[10] JORA(2003) .la protection de l'environnement dans le cadre du développement durable. Journal Officiel de la République Algérienne. Décret exécutif N°03-10 du 19 juillet 2003.