

République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche  
Scientifique

Université Djillali Liabès de Sidi Bel Abbès

Faculté de Technologie

Département d'Hydraulique



Polycopié de cours

**Traitement et épuration des eaux**  
Cours et Exercices

Réalisé par :

Dr., MAREF Noureddine

2019/2020

# Table des matières

|          |  |           |
|----------|--|-----------|
| <b>I</b> | <b>Traitement des eaux</b>                     | <b>7</b>  |
| <b>1</b> | <b>Généralité et normes</b>                    | <b>8</b>  |
| 1.1      | Caractéristiques des eaux naturelles . . . . . | 8         |
| 1.1.1    | Les eaux souterraines . . . . .                | 8         |
| 1.1.2    | Les eaux de surface . . . . .                  | 9         |
| 1.1.3    | Eaux de mer et eaux saumâtres . . . . .        | 9         |
| 1.2      | Normes de qualité des eaux . . . . .           | 9         |
| 1.2.1    | Les paramètres physicochimiques . . . . .      | 10        |
| 1.2.2    | Critères de potabilité . . . . .               | 11        |
| 1.3      | Usages de l'eau et leur exigence . . . . .     | 12        |
| 1.3.1    | Eau domestique . . . . .                       | 12        |
| 1.3.2    | Eaux industrielles . . . . .                   | 13        |
| <b>2</b> | <b>Traitement des eaux</b>                     | <b>14</b> |
| 2.1      | Procédés de Traitement des eau . . . . .       | 14        |
| 2.2      | Traitement de clarification . . . . .          | 15        |
| 2.2.1    | La coagulation-floculation . . . . .           | 15        |
| 2.2.2    | La décantation . . . . .                       | 16        |
| 2.2.3    | La filtration . . . . .                        | 19        |
| 2.3      | Les traitements complémentaires . . . . .      | 21        |
| 2.3.1    | Désinfection . . . . .                         | 21        |
| 2.3.2    | L'adsorption et l'échange d'ions . . . . .     | 23        |
| 2.3.3    | La défferrisation - démanganisation . . . . .  | 23        |
| 2.3.4    | La décarbonatation . . . . .                   | 24        |
| 2.3.5    | La défluoruration . . . . .                    | 24        |
| <b>3</b> | <b>Exercices corrigés</b>                      | <b>25</b> |

|           |  |           |
|-----------|--|-----------|
| <b>II</b> | <b>Épuration des eaux</b>  | <b>34</b> |
| <b>4</b>  | <b>Les paramètres de pollution et les normes de rejets</b>       | <b>35</b> |
| 4.1       | Définition . . . . .   | 35        |
| 4.2       | Paramètres de pollution . . . . .                                | 35        |
| 4.2.1     | Eaux résiduaires urbaines (ERU) . . . . .                        | 35        |
| 4.2.2     | Eaux résiduaires industrielles (ERI) . . . . .                   | 36        |
| 4.2.3     | Evaluation de la pollution des eaux . . . . .                    | 36        |
| 4.3       | Les normes des eaux de rejet . . . . .                           | 37        |
| 4.3.1     | Normes internationale . . . . .                                  | 37        |
| 4.3.2     | Normes Algériennes . . . . .                                     | 37        |
| <b>5</b>  | <b>Epuraton des eaux usées</b>                                   | <b>39</b> |
| 5.1       | Les procédés de l'épuration des eaux usées . . . . .             | 39        |
| 5.2       | Les prétraitements . . . . .                                     | 39        |
| 5.2.1     | Le dégrillage . . . . .  | 39        |
| 5.2.2     | Le dessablage . . . . .  | 40        |
| 5.2.3     | Le dégraissage . . . . .   | 40        |
| 5.3       | Les traitements primaires . . . . .                              | 41        |
| 5.3.1     | Procédés de décantation (décantation primaire) . . . . .         | 41        |
| 5.4       | Traitements secondaires . . . . .                                | 42        |
| 5.4.1     | Traitements biologiques . . . . .                                | 42        |
| 5.4.2     | Cultures libres (boues activées) . . . . .                       | 42        |
| 5.4.3     | Epuraton biologique à biomasse fixée (Cultures fixées) . . . . . | 43        |
| 5.5       | Traitement complémentaires . . . . .                             | 45        |
| 5.5.1     | Le traitement des boues . . . . .                                | 45        |
| <b>6</b>  | <b>Exercices corrigés</b>  | <b>47</b> |

# Table des figures

|      |   |    |
|------|---|----|
| 1.1  | Consommation domestique de l'eau . . . . .                                | 12 |
| 2.1  | Schéma type d'une station de traitement . . . . .                         | 14 |
| 2.2  | Processus de coagulation, floculation et de sédimentation . . . . .       | 15 |
| 2.3  | Principe de décantation des particules . . . . .                          | 17 |
| 2.4  | Décanteur longitudinal à pont racleur . . . . .                           | 18 |
| 2.5  | Décanteur cylindrique . . . . .   | 18 |
| 2.6  | Schéma d'un décanteur lamellaire . . . . .                                | 19 |
| 2.7  | Différents matériaux de filtration . . . . .                              | 19 |
| 2.8  | Schéma du système d'une filtration à sable . . . . .                      | 20 |
| 2.9  | Les membranes planes . . . . .  | 21 |
| 2.10 | Les membranes planes . . . . .  | 21 |
| 2.11 | Module UV de désinfection de l'eau . . . . .                              | 22 |
| 2.12 | Principe de procédé d'échange d'ion . . . . .                             | 23 |
| 3.1  | Géométrie standard d'un réacteur équipé par une turbine Rushton . . . . . | 28 |
| 3.2  | Schéma d'un décanteur à flux horizontal . . . . .                         | 29 |
| 3.3  | Schéma d'un module membranaire . . . . .                                  | 31 |
| 5.1  | Dégrilleur courbe . . . . .   | 40 |
| 5.2  | Bassin dégraisseur - dessableur . . . . .                                 | 40 |
| 5.3  | Décanteur rectangulaire avec raclage de boues . . . . .                   | 41 |
| 5.4  | Décanteur cylindro-conique . . . . .                                      | 41 |
| 5.5  | Décanteur circulaire avec raclage de boues . . . . .                      | 42 |
| 5.6  | Décanteur circulaire avec raclage de boues . . . . .                      | 43 |
| 5.7  | Schéma de principe d'une filière type par lit bactérien . . . . .         | 44 |
| 5.8  | Schéma de principe d'une filière type de disques biologiques . . . . .    | 44 |
| 5.9  | Disque biologique rotatif . . . . .                                       | 45 |
| 5.10 | Disque biologique rotatif . . . . .                                       | 46 |
| 6.1  | Schéma de dessableur/dégaisseur . . . . .                                 | 50 |

# Liste des tableaux

|     |   |    |
|-----|---|----|
| 1.1 | Salinité des eaux de quelques océans et mers . . . . .  | 9  |
| 1.2 | Classification des eaux en fonction de leur conductivité et résistivité . . . . .   | 10 |
| 1.3 | Plage de valeurs pour le titre hydrotimétrique . . . . .  | 11 |
| 1.4 | Classification des eaux en fonction de leur conductivité et résistivité . . . . .   | 11 |
| 1.5 | Normes Algériennes de potabilité . . . . .  | 12 |
| 2.1 | Temps de liaison de plusieurs particules selon le diamètre . . . . .  | 16 |
| 2.2 | Les principaux coagulants utilisés pour déstabiliser les particules . . . . .   | 16 |
| 2.3 | temps de désinfection pour différents types de micro-organismes pathogènes avec de l'eau chloré, celle-ci contenant une concentration en chlore de $1\text{mg/l}$ ( $1\text{ ppm}$ ) alors que $\text{PH} = 7,5$ et $\text{T}=25\text{C}$ . . . . . | 22 |
| 3.1 | Les composants chimiques de l'échantillon . . . . .   | 25 |
| 3.2 | Les différentes qualités de l'eau en fonction de TH . . . . .   | 27 |
| 4.1 | Les limites des paramètres de pollution dans les effluents des réseaux eaux usées . . . . .   | 36 |
| 4.2 | Normes de rejets internationales . . . . .  | 37 |
| 4.3 | Normes Algériennes de rejets des effluents liquides . . . . .   | 38 |
| 6.1 | Caractéristiques de la grille . . . . .   | 48 |

# Introduction

La pénurie d'eau propre est un problème persistant et de plus en plus grave, tant dans les pays développés que dans les pays en développement. Il est généralement rare de trouver l'eau douce et propre (Programme des Nations Unies pour le développement).

Une eau propre est essentielle pour l'homme. En effet, de nombreuses sources d'eau brute contiennent des micro-organismes nuisibles ou d'autres substances rendant l'eau impropre à la consommation humaine.

Ces organismes et substances doivent être éliminés par des procédés de traitement, afin de rendre l'eau propre à l'usage domestique. Le traitement de l'eau brute regroupe de nombreux processus intégrés dans une usine appelé station de traitement pour produire une eau de la qualité souhaitée.

L'utilisation de l'eau engendre un produit appelé l'effluent (eaux usées). Ce dernier contient plusieurs polluants qui modifieront l'eau de manière négative à la fois sur la santé et l'environnement. Le déversement de grandes quantités d'eaux usées dans le milieu naturel est devenu une source de préoccupation majeure pour plusieurs pays dont l'Algérie. Lorsque l'eau est polluée, sa décontamination devient nécessaire.

L'épuration des eaux usées est un procédé essentiel pour la protection et la réutilisation des ressources en eau. Les stations d'épurations intègrent de nombreux processus qui permettent d'atteindre les objectifs de qualité de l'eau susceptibles d'être rejetée ou réutilisée.

Le présent polycopié sur le traitement et épuration des eaux s'adresse spécifiquement aux étudiants de la filière d'hydraulique (3<sup>ème</sup> année licence et Master). Ce document est scindé en deux parties. La première partie est le traitement des eaux et la deuxième destinée pour l'épuration des eaux. Chaque partie regroupe trois chapitres et se termine par une série des exercices corrigés.

Ce support de cours et exercices permettra aux étudiants de maîtriser le domaine de traitement et épuration des eaux et aussi de pouvoir de dimensionner les installations de ces procédés.

Première partie

Traitement des eaux

# Chapitre 1

## Généralité et normes

Les eaux naturelles sont constituées des eaux souterraines (infiltrations, nappes), des eaux de surface retenues ou écoulement (barrage, lacs, rivières) et des eaux de mer.

### 1.1 Caractéristiques des eaux naturelles

Les eaux naturelles sont constituées des eaux souterraines (infiltrations, nappes), des eaux de surface retenues ou écoulement (barrage, lacs, rivières) et des eaux de mer.

#### 1.1.1 Les eaux souterraines

**1 Origine :** On distingue, trois types des nappes des eaux souterraines, à savoir

- **La nappe libre :** elle est alimentée directement par l'infiltration des eaux de ruissellement. Le niveau de cette nappe fluctue en fonction de la quantité d'eau retenue ;
- **La nappe captive :** elle est séparée de la surface du sol par une couche imperméable. Elle est généralement plus profonde.
- **La nappe alluviale :** c'est une nappe située dans les terrains alluvionnaires sur lesquels circule un cours d'eau. La qualité de ces eaux est alors directement influencée par la qualité de l'eau de la rivière.

**2 Caractéristiques générales :** La nature géologique du terrain a une influence déterminante sur la composition chimique de l'eau retenue. Par exemple, les eaux circulant dans un sous-sol sablonneux ou granitique sont acides et peu minéralisées. Les eaux circulant dans des sols calcaires sont bicarbonatées calciques. Les eaux souterraines sont souvent d'une grande pureté bactériologique.

**3 Potabilité :** Les eaux souterraines sont généralement propres et répondant naturellement aux normes de potabilité. Ces eaux sont en effet moins sensibles aux pollutions accidentelles.



### 1.1.2 Les eaux de surface

Ce terme englobe toutes les eaux circulantes ou stockées à la surface des continents.

- 1 Origine :** Elles viennent, soit des nappes profondes dont l'émergence constitue une source d'eau minérale ou de source soit par l'accumulation des eaux de pluie pour constituer de ruisseau, de rivière, etc. Elles peuvent se trouver stockées en réserves naturelles (lacs) ou artificielles (retenues, barrages) ;
- 2 Caractéristiques générales :** La composition chimique des eaux de surface dépend de la nature des terrains traversés par l'eau durant son parcours dans l'ensemble des bassins versants. Ces eaux se chargent en gaz dissous (oxygène, azote, gaz carbonique). Elles sont chargées d'une concentration importante en matières en suspension et matières organiques d'origine naturelle provenant de la décomposition des organismes végétaux ou animaux ;
- 3 Potabilité des eaux de surface :** Les eaux de surface sont rarement potables sans aucun traitement. Les eaux de surface sont généralement polluées bactériologiquement. De plus, elles peuvent présenter plusieurs pollutions :
  - d'origine urbaine : les eaux d'assainissement ;
  - d'origine industrielle : polluants et micropolluants organiques (hydrocarbures, solvants, produits de synthèse, phénols) ou inorganiques (métaux lourds, ammoniacque, produits toxiques ;
  - d'origine agricole : engrais et produits pesticides ou herbicides.

### 1.1.3 Eaux de mer et eaux saumâtres

Les eaux des mers sont caractérisées par une salinité importante, qui peut varier selon les origines (cf., tableau 1.1).

TABLE 1.1 – Salinité des eaux de quelques océans et mers

| Origine                 | Salinité (g/l) |
|-------------------------|----------------|
| Atlantique et Pacifique | 32 à 35        |
| Mer Méditerranée        | 38 à 40        |
| Mer Rouge               | 43 à 45        |
| Mer Morte               | 270            |

## 1.2 Normes de qualité des eaux

L'étude des eaux a pour objet de déterminer leurs possibilités d'utilisation. Elle comporte une analyse physico-chimique et un examen bactériologique. Grâce à ces analyses, on détermine les limites d'utilisation d'une eau soit :

- à usage domestique ;

– à usage industriel (réfrigération, fabrication).

L'analyse physico-chimique permet de détecter les eaux risquant d'exercer une action chimique sur les canalisations et permet de définir les traitements de potabilisation.

L'examen bactériologique permet de déterminer la qualité microbiologique de l'eau, notamment en vue de son emploi comme eau potable.

L'unité de base pour la chimie de l'eau est le milligramme par litre (mg/l). Une unité également employée est le milliéquivalent par litre (még/l) d'une substance dissoute et ionisée.

### 1.2.1 Les paramètres physicochimiques

**1 Température :** la température d'une eau potable devrait être inférieure en été et supérieure en hiver à la température de l'air. L'eau potable doit être désaltérante et sa température doit situer entre 8 et 15°C ;

**2 PH :** le PH exprime l'acidité ou l'alcalinité de l'eau. Le PH est indissociable de la température, de l'oxygène dissous et de la minéralisation totale.

– PH < 7 : eau acide

– PH > 7 : eau alcaline

**3 Résistivité et conductivité électriques :** La résistivité c'est la résistance électrique de la colonne du liquide considéré de 1 cm<sup>2</sup> de section et de 1 cm de hauteur. Elle est exprimée en ohms.centimètres (Ω.cm) et varie en raison inverse de la minéralisation. La conductivité est l'inverse de la résistivité. Elle est exprimée en micro-Siemens par centimètre (μS/cm) et varie proportionnellement avec la minéralisation. La mesure de la conductivité permet d'évaluer rapidement mais très approximativement la minéralisation globale de l'eau (sels dissous dans l'eau)(cf.,tableau 1.2).

TABLE 1.2 – Classification des eaux en fonction de leur conductivité et résistivité

| Nature de l'eau               | Conductivité    | Résistivité        |
|-------------------------------|-----------------|--------------------|
|                               | μS/m            | Ω.cm               |
| Eau très pure                 | Inférieure à 50 | Supérieur à 20 000 |
| Eau douce peu minéralisée     | 100 à 200       | 5 000 à 10 000     |
| Eau de minéralisation moyenne | 250 à 500       | 2 000 à 4 000      |
| Eau très minéralisée          | 1 000 à 2 500   | 400 à 1 000        |

**4 Dureté totale :** La dureté de l'eau (ou titre hydrotimétrique) TH, est l'indicateur de la minéralisation de l'eau. Elle est surtout due aux ions calcium Ca<sup>2+</sup> et magnésium Mg<sup>2+</sup>. La dureté s'exprime en °TH (degré hydrotimétrique) également appelé degré français (symbole : °F) en France. 1 degré français correspond à 4 milligrammes de Ca<sup>2+</sup> et à 2 milligrammes de Mg<sup>2+</sup> par litre d'eau.

TABLE 1.3 – Plage de valeurs pour le titre hydrotimétrique

|         |            |       |                  |         |                |
|---------|------------|-------|------------------|---------|----------------|
| TH (°F) | 0 à 7      | 7-15  | 15 à 25          | 25 à 42 | Supérieur à 42 |
| Eau     | Très douce | douce | Moyennement dure | dure    | Très dure      |

### 1.2.2 Critères de potabilité

Une eau potable doit présenter un certain nombre de caractéristiques physiques, chimiques, biologiques et en outre répondre à des critères organoleptiques essentiels (incolore, insipide, inodore, fraîche).

TABLE 1.4 – Classification des eaux en fonction de leur conductivité et résistivité

| Eléments           | Unité                   | O.M.S |
|--------------------|-------------------------|-------|
| PH                 | -                       | 7-8,5 |
| Conductivité       | $\mu\text{S}/\text{cm}$ | -     |
| Dureté             | °F                      | -     |
| $\text{Ca}^{2+}$   | mg/l                    | 200   |
| $\text{Mg}^{2+}$   |                         | 150   |
| $\text{Na}^{+}$    |                         | -     |
| $\text{K}^{+}$     |                         | -     |
| $\text{Al}^{3+}$   |                         | -     |
| $\text{SO}_4^{2-}$ |                         | -     |
| $\text{Cl}^{-}$    |                         | 200   |
| $\text{NO}^{3-}$   |                         | 44    |
| $\text{NO}^{2-}$   |                         | -     |
| $\text{NH}_4^{-}$  |                         | -     |

O.M.S : L'Organisation Mondiale de la Santé

Outre, l'eau potable ne doit pas contenir les organismes bactériologiques tels que :

- Bactéries coliformes ;
- Escherichia coli (= Entérobactéries), KES, salmonella ;
- Streptocoques fécaux ;
- Clostridium sulfatoréducteur ;
- Bactériophages ;
- virus et parasites ;
- Pseudomonas aeruginosa (ou Bacille pyocyanique) ;

TABLE 1.5 – Normes Algériennes de potabilité

| Paramètres                     | Valeurs | Unités                  |
|--------------------------------|---------|-------------------------|
| Température                    | 25      | °C                      |
| PH                             | 6,5-8,5 | -                       |
| Conductivité                   | 2500    | $\mu\text{S}/\text{cm}$ |
| Résidu sec (180°C)             | 2000    | mg/l                    |
| Calcium $\text{Ca}^{2+}$       | 200     | mg/l                    |
| Magnésium $\text{Mg}^{2+}$     | 150     | mg/l                    |
| Sodium $\text{Na}^+$           | 250     | mg/l                    |
| Potassium $\text{K}^+$         | 15      | mg/l                    |
| Chlorure $\text{Cl}^-$         | 600     | mg/l                    |
| Sulfates $\text{SO}_4^{2-}$    | 400     | mg/l                    |
| <b>Substances indésirables</b> |         |                         |
| Nitrates $\text{NO}_3^-$       | 50      | mg/l                    |
| Nitrites $\text{NO}_2^-$       | 0,1     | mg/l                    |

## 1.3 Usages de l'eau et leur exigence

### 1.3.1 Eau domestique

La quantité d'eau consommée pour les besoins domestiques directs est de (100 l/j/h à 300 l/j/h). Cette quantité est répartie comme suit :

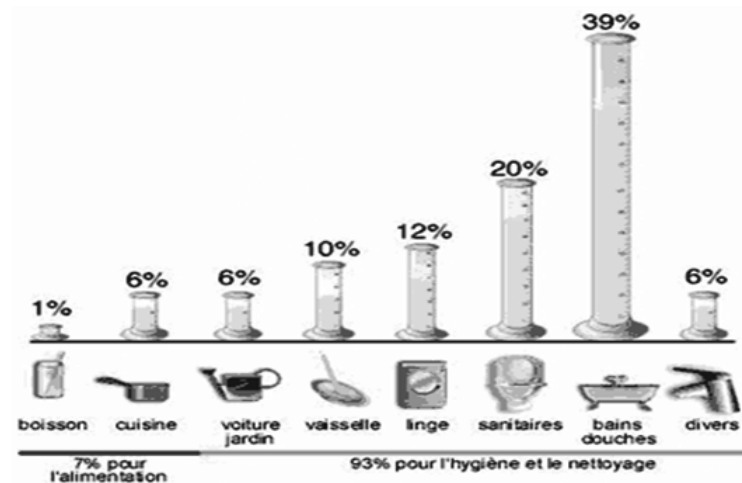


Fig. 1.1 – Consommation domestique de l'eau

### 1.3.2 Eaux industrielles

La qualité et la quantité des eaux utilisées dans l'industrie sont très variables, elles dépendent du type de l'entreprise productrice et de sa taille.

# Chapitre 2

## Traitement des eaux

### 2.1 Procédés de Traitement des eau

La plupart du temps, l'eau prélevée dans le milieu naturel n'est pas directement consommable. Elle est chargée de sables, de limons, de débris de matières organiques ou minérales, de substances colorantes dissoutes.

Pour rendre l'eau potable, on applique des traitements qui, s'ils peuvent varier suivant l'origine et la qualité de l'eau : on élimine les matières contenues dans l'eau par étapes successives, jusqu'aux organismes microscopiques comme les virus et les microbes. Ces procédés peuvent être résumés dans la figure ci-dessous.

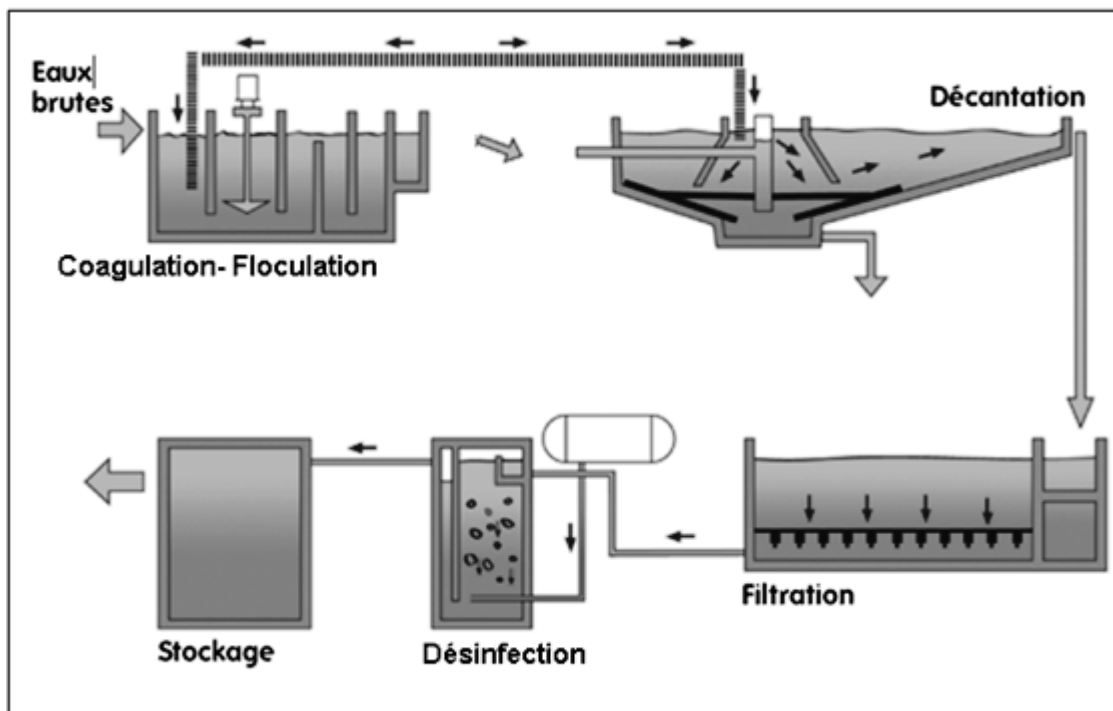
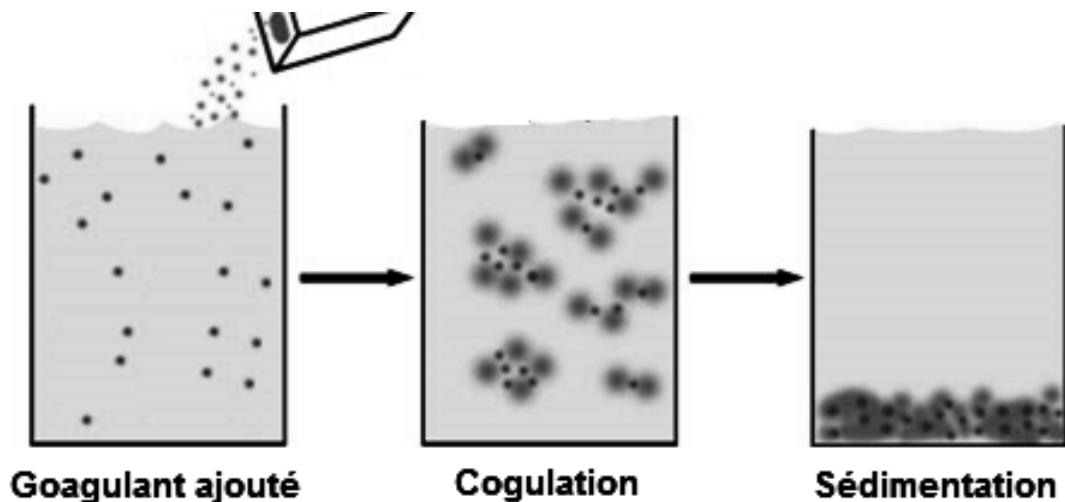


Fig. 2.1 – Schéma type d'une station de traitement

## 2.2 Traitement de clarification

### 2.2.1 La coagulation-floculation

**1 Principe :** Ce procédé permet ensuite de rendre l'eau limpide en la débarrassant des matières en suspension qu'elle contient dites particules colloïdales (de diamètre compris entre 0,1 et 10  $\mu$ m). Elle s'effectue en deux temps : on injecte d'abord dans l'eau des réactifs chimiques (sel d'aluminium par exemple) qui provoque la coagulation des particules. Ces produits chimiques s'appellent des coagulants. La charge positive du coagulant neutralise la charge négative des particules dissoutes et suspendues dans l'eau. Ces particules s'agglomèrent les unes aux autres et forment des "flocons" : c'est la floculation. Ces "flocons" plus lourds que l'eau, se déposent au fond d'un bassin de décantation et sont évacués régulièrement sous forme de boues (cf., figure 2.2).



**Fig. 2.2** – Processus de coagulation, floculation et de sédimentation

Dans une usine de traitement des eaux, lorsque qu'un coagulant est ajouté à l'eau il est rapidement mélangé de sorte qu'il soit distribué partout dans l'eau.

La coagulation peut enlever un grand nombre de particules organiques. La coagulation peut également enlever les particules suspendues, y compris les précipités inorganiques, tel que le fer et le carbone organique dissout peut donner une odeur et un goût à l'eau. désagréable.

Le tableau 2.1 illustre la durée qui est exigée pour que des particules de différentes tailles se lient ensemble

TABLE 2.1 – Temps de liaison de plusieurs particules selon le diamètre

| Diamètres des particules | Type de particules             | Temps de liaison pour 1m d'eau |
|--------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| 10 mm                    | Gravel                         | 1 seconde                      |
| 1 mm                     | Sable                          | 10 secondes                    |
| 0,1 mm                   | Sable fin                      | 2 minutes                      |
| 10 micron                | Protozoaires, algues et argile | 2 heures                       |
| 1 micron                 | Bactéries, algues              | 8 jours                        |
| 0,1 micron               | Virus, colloïdes               | 2 ans                          |
| 10 nm                    | Virus, colloïdes               | 20 ans                         |
| 1 nm                     | Virus, colloïdes               | 200 ans                        |

**3 Coagulants utilisés :** Les principaux coagulants utilisés pour déstabiliser les particules et pour produire un floc sont des électrolytes minéraux à polycations. Les coagulants les plus répandus sont :

TABLE 2.2 – Les principaux coagulants utilisés pour déstabiliser les particules

| Coagulant                        | Forme chimique        |
|----------------------------------|-----------------------|
| Sulfate d'aluminium $Al_2(SO_4)$ | $18H_2O$              |
| Aluminate de sodium              | $NaAlO_2$             |
| Chlorure ferrique                | $FeCl_3, 6H_2O$       |
| Sulfate ferrique                 | $Fe_2(SO_4)_3, 9H_2O$ |
| Sulfate ferreux                  | $FeSO_4, 7H_2O$       |
| Sulfate de cuivre                | $CuSO_4$              |

Les produits les plus utilisés pour la purification des eaux sont les sels d'aluminium et de fer qui libèrent des ions  $Al^{3+}$  et  $Fe^{3+}$ . Ces ions neutralisent la force de répulsion entre les particules colloïdales et favorisent ainsi la coagulation. Lorsqu'on additionne à l'eau les sels d'aluminium ou de fer, ces derniers réagissent avec l'alcalinité de l'eau et produisent des hydroxydes,  $Al(OH)$ , ou  $Fe(OH)$ , insolubles et formant un précipité.

## 2.2.2 La décantation

**1 Principe :** La décantation est la méthode de séparation gravitaire la plus fréquente des MES (Matière en suspension) et colloïdes (rassemblés sous forme de floc après l'étape de coagulation/floculation). Il s'agit d'un procédé de séparation solide/liquide basé sur la pesanteur (cf. figure 2.3). Cette séparation est induite par réduction de la vitesse horizontale qui doit être inférieure à la vitesse verticale (de chute, de décantation ou ascensionnelle) afin de



favoriser la sédimentation des particules dans un piège. Ces particules s'accumulent au fond du bassin, d'où on les extrait périodiquement. L'eau récoltée en surface est dite clarifiée.

Les facteurs clés de la sédimentation sont la différence de masse volumique entre le solide et le liquide, la taille des particules et la viscosité du fluide.

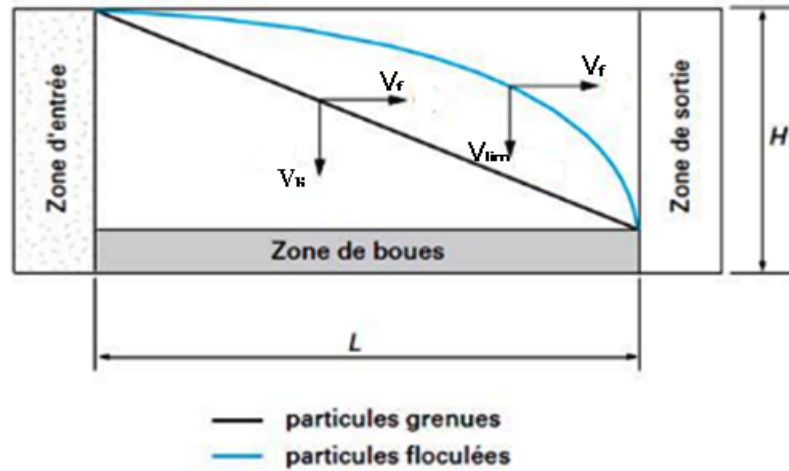


Fig. 2.3 – Principe de décantation des particules

**2 Vitesse de chute de la particule :** L'équilibre de force sur une particule en mouvement par rapport à un fluide détermine la vitesse de chute de la particule ( $V_{lim}$ ) (cf., figure 2.3).

– Régime laminaire (Stokes) : ( $10^{-4} < Re_p < 1$ )

$$V_{lim} = \frac{g(\rho_s - \rho_l)d_p^2}{18\mu_l} \quad (2.1)$$

– Régime intermédiaire (Allen) : ( $1 < Re_p < 10^3$ )

$$V_{lim} = \alpha \left( \frac{\rho_s - \rho_l}{\rho_l \sqrt{v_p}} \right)^{2/3} d_p \quad (2.2)$$

– Régime turbulent (Newton-Rittinger) : ( $10^3 < Re_p < 2.10^5$ )

$$V_{lim} = \alpha \sqrt{\frac{(\rho_s - \rho_l) d_p}{\rho_l}} \quad (2.3)$$

Avec,

$V_{lim}$  : vitesse limite de chute de la particule ( $m/s$ )

$d_p$  : diamètre de la particule ( $m$ )

$\rho_s$  : masse volumique du solide ( $kg/m^3$ )

$\rho_l$  : masse volumique du fluide ( $kg/m^3$ )

$g$  : accélération de la pesanteur ( $m/s^2$ )

$Re_p$  : nombre de Reynolds particulaire

$v_p$  : vitesse de la particule ( $m/s$ )

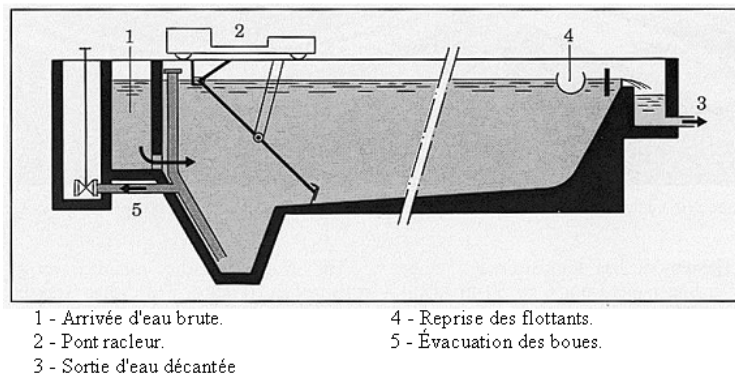
$\mu_l$  : viscosité de liquide ( $Pa.s$ )

### 3 Types de décanteur :

Il existe deux types de décanteur :

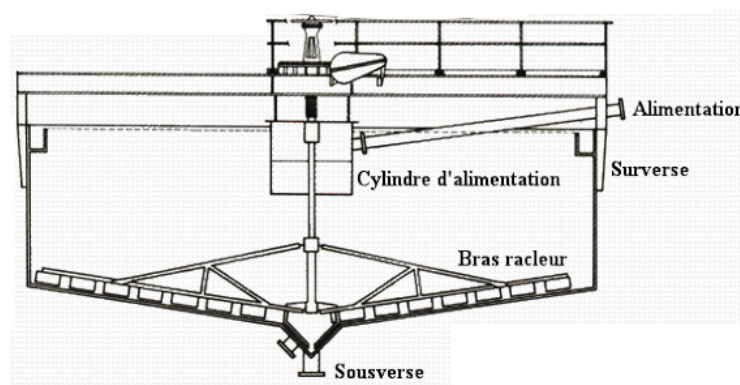
**A) Décanteur simple :** Les décanteurs classiques sont caractérisés par la surface de décantation égale la surface de base. Le décanteur le plus simple est constitué d'une cuve parallélépipédique munie d'une zone d'entrée et de deux zones de sortie (une pour la sur-verse et l'autre pour les boues). Il existe deux types de décanteur dit simple :

- **A flux verticaux :** Dans ces bassins, la condition pour qu'une particule soit retenue et qu'elle ait le temps d'atteindre le fond avant le débordement ou la sortie de l'ouvrage



**Fig. 2.4** – Décanteur longitudinal à pont raclleur

- **A flux verticaux :** Ce sont des ouvrages de forme conique ou pyramidale pour permettre un contrôle plus aisé du voile de boues.



**Fig. 2.5** – Décanteur cylindrique

**B)Décanteur lamellaire :** Les décanteurs dits lamellaires comportent souvent une série de lamelles qui permet de multiplier la surface de décantation utile tout en réduisant la surface au sol par rapport à un bassin de décantation classique à flux horizontal

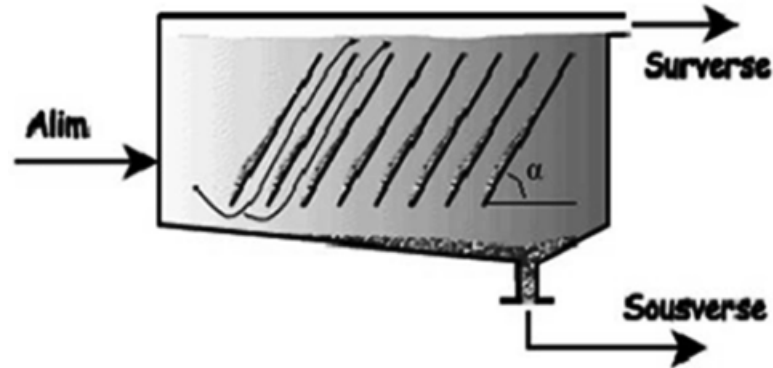
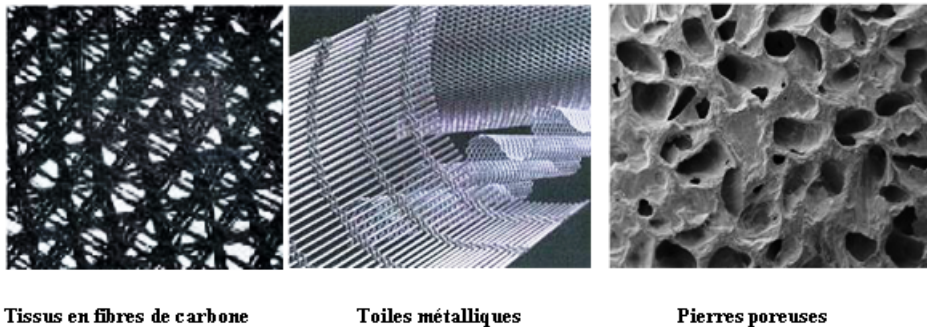


Fig. 2.6 – Schéma d'un décanteur lamellaire

### 2.2.3 La filtration

**1 Buts de la filtration :** La filtration est un procédé physique destiné à clarifier un liquide qui contient des MES en le faisant passer à travers un milieu poreux. La filtration permet d'obtenir une bonne élimination des bactéries, de la couleur, de la turbidité et, indirectement, de certains goûts et odeurs.

**2 Matériaux des filtres :** Les filtres les plus utilisés peuvent être : des tissus de fibres, des toiles métalliques ou des pierres poreuses à interstices très fins.



Tissus en fibres de carbone

Toiles métalliques

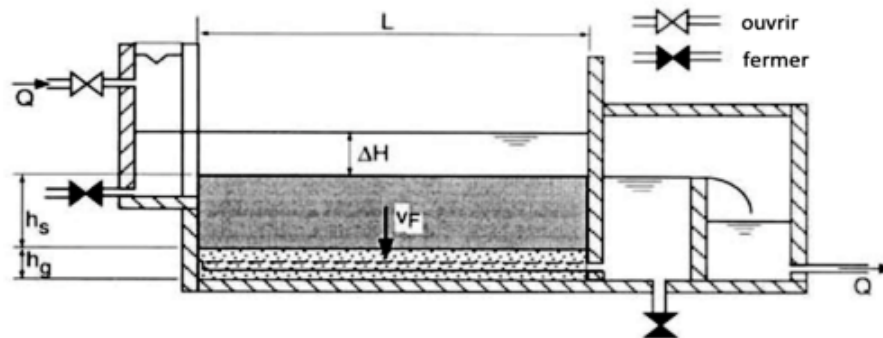
Pierres poreuses

Fig. 2.7 – Différents matériaux de filtration

**3 Types de filtration :** Pour le traitement des eaux potables, on utilise principalement : a) Filtration sur le sable (lente ou rapide) ; b) Filtration membranaire. En pratique, la filtration sur sable est la plus utilisée. En ce qui concerne la filtration lente sur sable, de construction et de fonctionnement simples, nécessite de grandes superficies ; c'est pourquoi on les utilise

surtout dans les pays où le climat est moins rigoureux, et lorsqu'on n'est pas limité par l'espace.

**a) Filtration sur le lit de sable :** Cette étape achève de clarifier l'eau en éliminant les derniers flocons. Elle consiste à faire passer l'eau à travers une épaisse couche de sable fin (80cm à 1,50m) disposée sur un plancher poreux. Ce filtre est nettoyé régulièrement par l'envoi d'eau et d'air à contre-courant (de bas en haut) pour permettre aux flocons de se détacher des grains de sable et éviter ainsi les risques de colmatage.



**Fig. 2.8** – Schéma du système d'une filtration à sable

Le sable déposé dans le lit filtrant est relativement fin, c'est-à-dire, ses gammes de taille effective comprise entre 0,15 et 0,30 millimètres. La perte de charge ( $\Delta H$ ) sur le filtre indique la nécessité d'un rétro lavage : plus le filtre est bouché, plus la perte de charge est importante. En général, la perte de charge ne peut pas être supérieure à 1 mètre.

**b) Filtration membranaire :** Les membranes (cf., figure (2.9)) sont fabriquées à partir de polymères organiques ou à partir de matières inorganiques (métaux, oxydes métalliques, verre, carbone, carbure de silicium, etc.). Les principaux polymères utilisés pour fabriquer des membranes sont :

- Les polymères dérivés de la cellulose (acétate, bi- ou tri-acétate, cellulose régénérée) ;
- Les polyamides ;
- Les polysulfones et les polyéthersulfones ;
- D'autres polymères (polypropylènes, fluorures de polyvinylidène, polycarbonates, etc.).

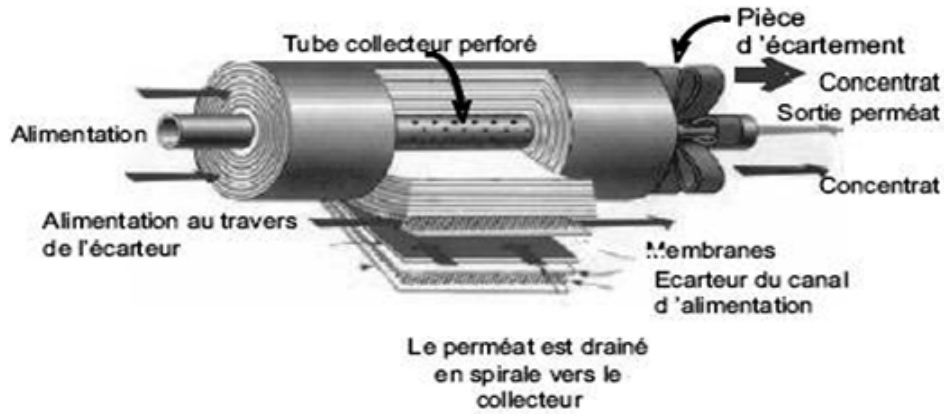


Fig. 2.9 – Les membranes planes

Pour les rendre opérationnelles, les membranes sont insérées dans des dispositifs compacts appelés modules membranaires (cf., figure (2.10)).

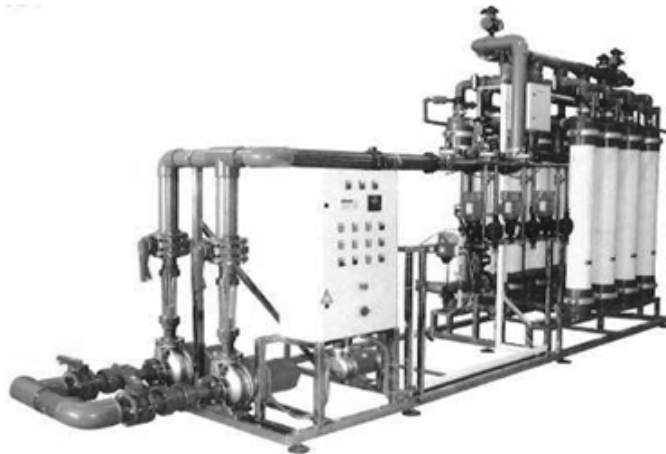


Fig. 2.10 – Les membranes planes

## 2.3 Les traitements complémentaires

### 2.3.1 Désinfection

**1 Principe :** La désinfection est un traitement qui permet d'éliminer les microorganismes susceptibles de transmettre des maladies. On peut procéder à la désinfection en ajoutant à l'eau une certaine quantité d'un produit chimique doté de propriétés germicides. Les produits chimiques les plus utilisés sont : le chlore, le dioxyde de chlore, l'ozone, le brome, l'iode et le permanganate de potassium. On peut également désinfecter l'eau grâce à des moyens physiques : ébullition, ultrasons, ultraviolets ou rayons gamma.

**2 Différents modes de désinfection :** Il existe diverses méthodes de désinfection : les plus répandues sont la chloration, l'ozonation, et la stérilisation aux rayons ultra-violet.

- a) La stérilisation par le chlore ou chloration : Est le procédé le plus utilisé. On injecte dans l'eau, de l'eau de javel ou du chlore gazeux suivant un dosage précis. Le bioxyde de chlore est parfois utilisé à la place du chlore. Il permet d'obtenir une eau de meilleure qualité gustative.

TABLE 2.3 – temps de désinfection pour différents types de micro-organismes pathogènes avec de l'eau chloré, celle-ci contenant une concentration en chlore de  $1\text{mg/l}$  ( $1\text{ ppm}$ ) alors que  $\text{PH} = 7,5$  et  $T=25\text{C}$

|                         |                        |
|-------------------------|------------------------|
| E. coli bacterium       | <1 minute              |
| Hepatitis A virus       | environ 16 min         |
| Giaria parasite environ | 45 min                 |
| Cryptosporidium environ | 16 9600 min (6-7jours) |

- b) La stérilisation par l'ozone ou ozonation : est un procédé plus coûteux. Des bulles d'air ozonées ( $20\text{g}$  d'ozone par  $\text{m}^3$  d'air) sont mises au contact de l'eau dans laquelle l'ozone se dissout. Une dissolution de  $1$  à  $4\text{mg}$  de ce gaz dans un litre d'eau garantit la destruction de tous les éléments pathogènes. Il ne donne aucune saveur particulière à l'eau et supprime les couleurs.
- c) La stérilisation par rayonnements ultra-violets : est un procédé peu coûteux, du fait de sa faible persistance. Il est utilisé par les communes ayant un réseau peu étendu. Il consiste à soumettre l'eau à un rayonnement ultraviolet d'une longueur d'onde précise. UV capable de détruire les bactéries et les virus.

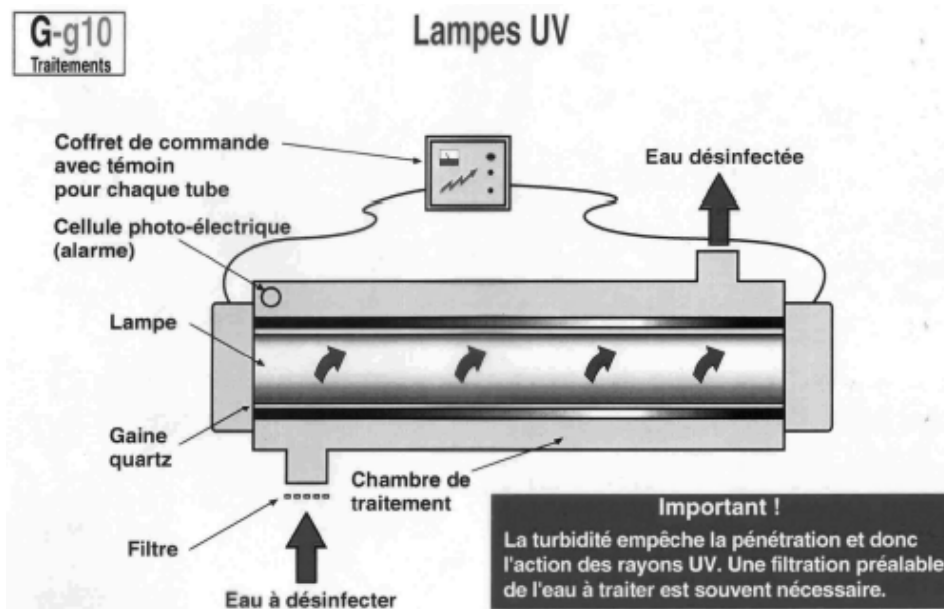


Fig. 2.11 – Module UV de désinfection de l'eau

### 2.3.2 L'adsorption et l'échange d'ions

**1 L'adsorption :** L'adsorption est un phénomène physique de fixation de molécules sur la surface d'un solide. Ce phénomène est utilisé pour "récupérer" des molécules indésirables de fluide (liquides ou gazeuses) dispersées dans un solvant. Le principal adsorbant utilisé en pratique est le charbon actif. Le charbon actif peut être obtenu soit sous forme de poudre (on obtient des pores de quelques  $\mu\text{m}$  de dimension), soit sous forme de grain. Pour le traitement de l'eau, on utilise en général du charbon actif en grains. L'adsorption sur charbon actif est destinée à traiter des matières organiques et utilisé avec succès dans le traitement des goûts et odeurs.

**2 Echange d'ions :** Les résines échangeuses d'ions captent les ions présents dans l'eau brute (ex : radium, baryum, cuivre, calcium, zinc, fer, magnésium, potassium, manganèse) pour les remplacer par du sodium. On fait le procédé d'échange d'ions pour adoucissement de l'eau.

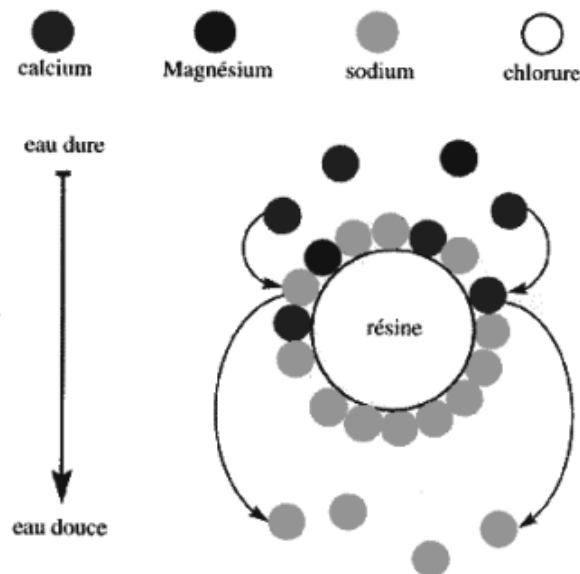


Fig. 2.12 – Principe de procédé d'échange d'ion

### 2.3.3 La déferrisation - démanganisation

Les sels de fer et de manganèse dans les eaux souterraines sont instables ; ils réagissent avec l'eau pour former des précipités insolubles qui sédimentent sous la forme d'un limon de couleur rouille (fer) ou noire (manganèse). L'OMS : précise la concentration en fer ( $Fe$ ) égale à  $0,3\text{mg/l}$  et manganèse ( $Mn$ ) de  $0,1\text{mg/l}$ . Pour diminuer leurs concentrations on applique le traitement de déferrisation - démanganisation

Les procédés de traitement d'élimination du fer et du manganèse sont basés sur l'oxydation des formes réduites dissoutes de ( $Fe^{2+}$ ) et ( $Mn^{2+}$ ) en formes insolubles ferriques ( $Fe^{3+}$ ) et

manganiques ( $Mn^{4+}$ ) grâce à une réaction d'oxydoréduction. Ces formes insolubles sont ensuite retenues sur un milieu filtrant granulaire.

**a) Oxydation physicochimique**

- **Oxydation par l'aération** : L'aération permet de mélanger l'air à l'eau pour favoriser les réactions d'oxydation et enlever les gaz dissous ou éliminer les goûts et odeurs.
- **Oxydation chimique** : Les oxydants chimiques jouent le même rôle que l'aération. Ce type d'aération est nécessaire si l'eau contient  $H_2S$  (hydrogène sulfuré)

**b) Déferrisation et/ou démanganisation par des procédés biologiques** : De nombreuses bactéries qui se trouvent naturellement dans la nature sont susceptibles d'oxyder le fer et le manganèse en formant un précipité plus compact et moins colmatant que les procédés d'oxydation conventionnels.

### 2.3.4 La décarbonatation

Lorsque le TH de l'eau est élevé, on peut adoucir l'eau par décarbonatation à la chaux. Ce procédé est basé sur l'addition la chaux ( $CaO$ ) à l'eau pour réduire la concentration de  $Mg^{2+}$  et  $Ca^{2+}$

### 2.3.5 La défluoruration

La présence de fluorure dans l'eau potable en trop grande quantité peut avoir des effets nocifs sur le développement des os (maladie de fluorose dentaire et osseuse). C'est pourquoi la recommandation concernant ce produit se situe à  $1,5mg/l$ . Par contre, lorsque l'eau brute contient plus de  $1,5mg/l$  de fluorure, on doit chercher à l'éliminer.

- a)** Par adsorption sur alumine activée : Pour ce type d'application, l'alumine activée est un produit granulaire de  $0,3mm$  utilisé en filtration. La vitesse de filtration sera fonction de la concentration de fluor à éliminer, à raison de 6 à  $20m/h$  pour des concentrations de 15 à  $5mg/l$ , respectivement.
- b)** Par précipitation à la chaux : Par l'addition d'une dose importante de chaux, il est possible de réduire la teneur en fluorure de l'eau brute et par l'ajout d'un coagulant peut s'avérer nécessaire pour clarifier l'eau traitée.



# Chapitre 3

## Exercices corrigés

**Exercice N°1** : Un échantillon d'eau de forage contient les minéraux illustrés dans le tableau ci-dessous

TABLE 3.1 – Les composants chimiques de l'échantillon

| Eléments     | mg/l   |
|--------------|--------|
| $Ca^{2+}$    | 168,34 |
| $Mg^{2+}$    | 136,12 |
| $Na^{2+}$    | 253    |
| $K^+$        | 8      |
| $Cl^-$       | 404,48 |
| $SO_4^{2-}$  | 325    |
| $HCO_3^{1-}$ | 240,43 |

Déterminer :

1. le faciès chimique
2. la dureté TH en °F
3. la potabilité de l'eau

### Solution

1. Le faciès chimique de l'eau de ce forage Les étapes pour déterminer le faciès chimique de l'eau sont comme suit :

a) Convertir les concentrations de mg/l en mq/l

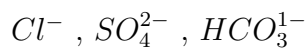
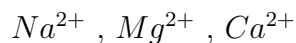
$$\text{méq/l} = \frac{(\text{mg/l}) \times \text{Nombre de valence}}{\text{Masse atomique}}$$

Donc,

| Eléments     | Nb de valence | Masse atomique |
|--------------|---------------|----------------|
| $Ca^{2+}$    | 2             | 40,08          |
| $Mg^{2+}$    | 2             | 24,31          |
| $Na^{2+}$    | 2             | 22,99          |
| $K^+$        | 1             | 39,10          |
| $Cl^-$       | 1             | 35,45          |
| $SO_4^{2-}$  | 2             | 96             |
| $HCO_3^{1-}$ | 1             | 61,02          |

| Eléments     | mg/l   | méq/l |
|--------------|--------|-------|
| $Ca^{2+}$    | 168,34 | 8,25  |
| $Mg^{2+}$    | 136,12 | 11,20 |
| $Na^{2+}$    | 253    | 22,01 |
| $K^+$        | 8      | 0,20  |
| $Cl^-$       | 404,48 | 11,41 |
| $SO_4^{2-}$  | 325    | 6,77  |
| $HCO_3^{1-}$ | 240,43 | 4     |

b) Classer à l'ordre décroissant les concentrations en méq/l des anions puis celles des cations



Pour déterminer le faciès chimique, on prend le minéral majeur des anions et aussi des cations. Alors, le faciès chimique de l'eau de ce forage est **Chlorio-Sodique**

2. Le titre hydrotimétrique TH en °F

On a,

$$TH = [Ca^{2+}] + [Mg^{2+}] = 8,25 + 11,20 = 19,45 \text{ méq/l}$$

On a,  $1 \text{ méq/l} = 5^\circ F$

Donc :

$$TH = 5 \times 19,45 = 97,25^\circ F$$

3. La potabilité de l'eau

Le tableau suivant montre la relation entre la potabilité de l'eau et le titre hydrotimétrique

TABLE 3.2 – Les différentes qualités de l'eau en fonction de TH

| Nature de l'eau  | TH (°F)        | Consommation domestique |
|------------------|----------------|-------------------------|
| Très douce       | 0 à 7          | potable                 |
| Douce            | 7-15           |                         |
| Moyennement dure | 15 à 25        | Acceptable              |
| Dure             | 25 à 42        | Médiocre                |
| Très dure        | Supérieur à 42 | Mauvaise                |

Donc : L'eau de ce forage est très dure et sa potabilité est mauvaise

**Exercice N°2** : Calculer le volume et les dimensions d'un mélangeur de coagulation équipé par la turbine de Rushton et la puissance d'agitation nécessaire, si les particules dans le mélangeur sont sphériques dont le diamètre moyen égal à  $2\mu m$ . Étant donné qu'un litre d'eau contient  $7,84mg$  de particules colloïdales (MES) et leur densité est égale à 1,2 et le débit entré dans le mélangeur égale à  $1,67m^3/h$ .

$$T_{eau} = 25^\circ C \text{ (température de l'eau)} \quad \rho_{eau} = 999,7kg/m^3 \quad d_{pc} = 2\mu m$$

**Solution**

1. Calcul la masse volumique de MES (particules)

$$\rho_{pc} = \rho_{eau} \cdot d_{pc}$$

$$\rho_{pc} = 999,7 \times 1,2 = 1199,64kg/m^3$$

2. Calcul le nombre totale des particules en suspension au temps  $t = 0$

$$N_0 = \frac{\text{concentration des particules}(\frac{kg}{m^3})}{\rho_{pc} \cdot V(\text{sphère})}$$

$$N_0 = \frac{7,84 \cdot 10^{-6} / 10^{-3}}{1199,64 \cdot (\frac{4}{3} \cdot \pi \cdot r_{pc}^3)} = 1,56 \cdot 10^{+12} \text{ particules}/m^3$$

3. Calcul le temps de séjour des particules dans le mélangeur

D'après l'équation de Smoluchowski et pour rabattement de la pollution de 50%, nous avons eu l'équation suivante :

$$t = \frac{3}{2(G \cdot d_{pc}^3 \cdot N_0)}$$

G varie entre 20 et 30  $s^{-1}$  et nous avons donc fixé  $G = 25s^{-1}$ .

$$t = \frac{3}{2(25 \cdot (2 \cdot 10^{-6})^3 \cdot (1,56 \cdot 10^{+12}))}$$

$$t = 4800 \text{ s} = 1,34 \text{ h}$$

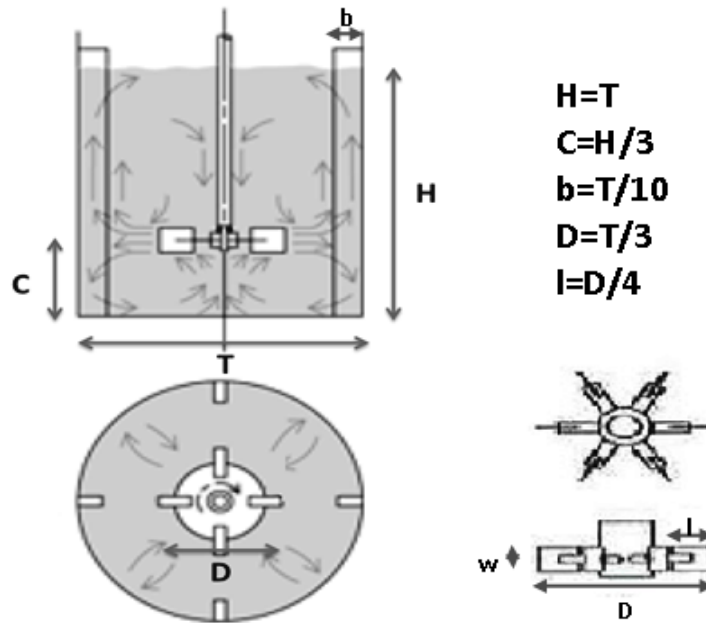


Fig. 3.1 – Géométrie standard d'un réacteur équipé par une turbine Rushton

4. Calcul les dimensions du réacteur de coagulation-floculation, équipé par une turbine de type Rushton

$$V = \frac{\pi}{4} \cdot T^3 \rightarrow T = \sqrt[3]{\frac{4 \cdot 46.4}{3.14}}$$

$T = H_{eau} = 1,8m$  et  $H_{total} = 2m$  en considérant le débordement de réservoir.  $C=0,6m$  ;  $b=0,18m$  ;  $D=0,6m$  ;  $l=0,15m$  ;  $w=0,12$

5. Puissance nécessaire pour l'agitation

$$P = \rho_{eau} G^3 l^5 = 999,7 \cdot (25)^3 \cdot (0,15)^5 = 1180 \text{ watt}$$

Donc la turbine de Rushton doit fournir une puissance égale à 1,18kw

**Exercice N°3 :** Un réservoir de sédimentation (clarification) ayant une capacité de  $132 \text{ m}^3$ . Si le débit horaire de clarificateur est de  $47 \text{ m}^3/h$ , quelle est le temps de clarification ?

**Solution**

$$\text{Temps de sdiementation} = \frac{V}{Q} = \frac{132}{47} = 2,8 \text{ heures}$$

**Exercice N°4 :** Un clarificateur circulaire reçoit un débit de  $16416 \text{ m}^3/j$  et son diamètre est de  $24m$ , quel est le débit déversant ( $l/s/m$ )

$$\text{Débit de déversoir} \left( \frac{l}{s} \right) = \frac{\text{débit}}{\text{longueur du déversoir}}$$

Calcul la longueur de déversoir

$$L_d = 3,14 \times 24 = 75,4m$$

On doit convertir  $m^3/j$  en  $l/s$  :

$$Q = \frac{16416.1000}{86400} = 190l/s$$

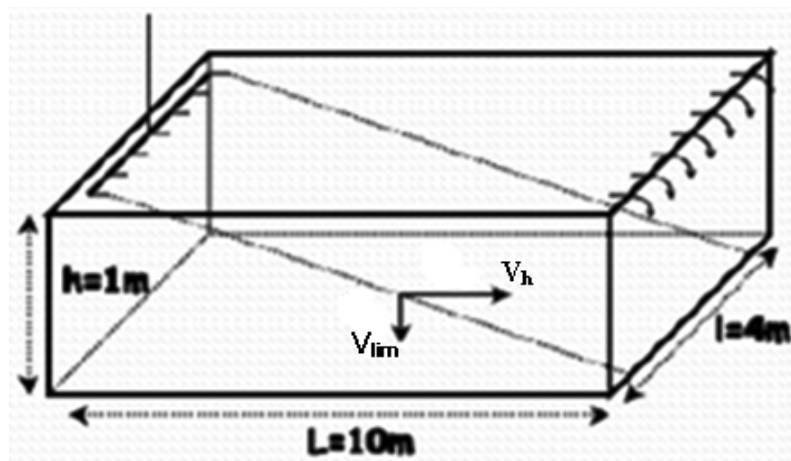
$$Q_d = \frac{190}{75.4} = 2.5l/s/m$$

**Exercice N°5 :** On considère d'un décanteur de section rectangulaire, où  $h = 1m$ ,  $l = 4m$ , et  $L = 10m$ . Une suspension contenant des particules de diamètre allant de 1 à  $100\mu m$  entre dans ce bassin à raison de  $5m^3/h$  à une de ses extrémités. On considère l'écoulement de liquide comme étant uniforme sur toute la section verticale du bassin. Le liquide clarifié sort par débordement à l'autre extrémité du bassin.

Calculer :

1. le volume de la solution dans le bassin ( $V$ )
2. la section de l'écoulement horizontale ( $S_h$ )
3. le temps de séjour moyen ( $t$ )
4. la vitesse horizontale  $V_h$  du liquide
5. la vitesse limite de sédimentation  $V_{lim}$
6. le diamètre minimal des particules qui sédimentent dans ce bassin.

Données :  $\rho_s = 1700kg/m$ ,  $\rho_l = 1000kg/m$  et  $\mu_l = 10^{-3}Pa.s$ .



**Fig. 3.2** – Schéma d'un décanteur à flux horizontal

**Solution**

1. Volume de la solution dans le bassin

$$V = h \times l \times L = 40 \text{ m}^3$$

2. La section de l'écoulement horizontale est

$$S_h = h \times l = 4 \text{ m}^2$$

3. La vitesse horizontale est

$$V_h = Q/S_h = (5/3600)/4 = 0.000347 \text{ m/s, soit } 1,25 \text{ m/h}$$

4. Le temps de séjour de particule dans le bassin

$$t = V/Q = 40/5 = 8 \text{ heures}$$

5. La vitesse limite de sédimentation  $V_{lim}$

Pour que, les particules atteignent le fond du bassin à l'autre extrémité, il faut

$$\frac{h}{V_{lim}} = \frac{L}{V_h} \Rightarrow V_{lim} = V_h \times \left(\frac{h}{L}\right) = 1,25 \times \left(\frac{1}{10}\right) = 0,125 \text{ m/h soit } 0,0000347 \text{ m/s}$$

6. Le diamètre des particules qui sédimenteront à cette vitesse est :

$$V_{lim} = \frac{g \cdot (\rho_s - \rho_l) \cdot d_p^2}{18 \cdot \mu_l}$$

$$d = \sqrt{\frac{18 \cdot 0,125 \cdot 10^{-3}}{3600 \cdot 9,81 \cdot (1700 - 1000)}}$$

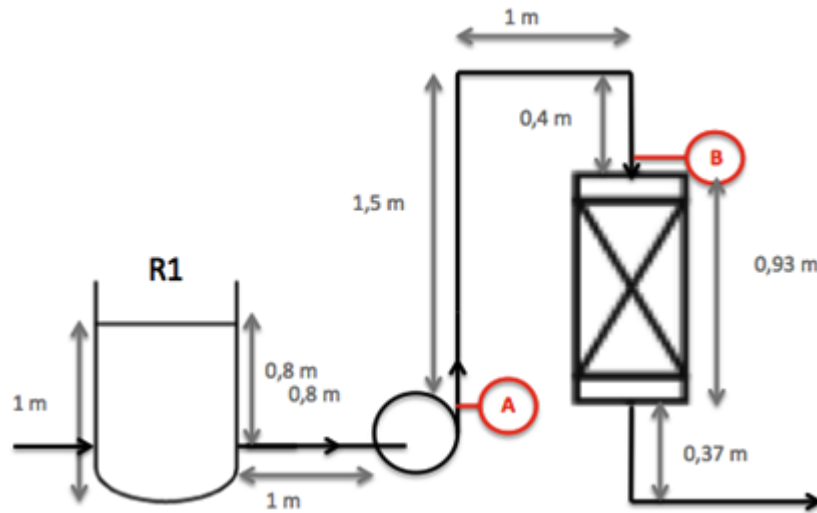
$$= 9,54 \times 10^{-6} \text{ m, soit } 10 \mu\text{m}$$

Alors, les particules ayant un diamètre varie de  $10 \mu\text{m}$  à  $100 \mu\text{m}$  sédimenteront dans le bassin

**Exercice N°6 :** On veut filtrer un débit d'eau de  $35 \text{ m}^3/\text{h}$  par un module membranaire comme le montre le schéma ci dessous. La membrane est alimentée par une pompe centrifuge qui va permettre de transporter l'eau pré-filtrée du réservoir de stockage R1 jusqu'à la membrane et ainsi d'appliquer la pression transmembranaire requise à la production de perméat envisagée

Données :

- Facteur correctif à  $5^\circ\text{C}$  :  $K_T=1,43$
- Pression transmembranaire :  $\text{PTM}=1 \text{ bar}$
- Perméabilité initiale de la membrane à  $20^\circ\text{C}$  (eau pure) :  $J_0=60 \text{ l}/(\text{h} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{bar})$
- Masse volumique :  $\rho_{eau}=1000,2 \text{ kg}/\text{m}^3$
- Rugosité dynamique de l'eau :  $\mu_{eau} = 1,48 \cdot 10^{-3} \text{ Pa} \cdot \text{s}$
- Le coefficient de rugosité de conduite en acier  $\epsilon=0,015 \text{ mm}$



**Fig. 3.3** – Schéma d'un module membranaire

1. Calculer le flux moyen de perméat produit  $J_{\text{perméat moyen}}$
2. Calculer la surface filtrante nécessaire à la production de  $35 \text{ m}^3/\text{h}$  de perméat  $S_{\text{filtrante}}$
3. Calculer le nombre de module membranaire si la surface filtrante d'un module est de  $114 \text{ m}^2$
4. Calculer le diamètre de la conduite alimentant la membrane si la vitesse de l'écoulement est  $1 \text{ m/s}$
5. Déterminer le régime d'écoulement et le coefficient de perte de charge ??
6. Calculer la perte de charge totale entre A et B en considérant une longueur de conduite de  $2,9 \text{ m}$
7. Calculer de la pression au point A en considérant une pression de 2 bars au point B

### Solution

1. Calcul le flux moyen de perméat produit

$$J_{\text{permat moyen}} = \frac{0,6 \cdot J_0 \cdot PTM}{K_T} = \frac{0,6 \cdot 60 \cdot 1}{1,43} = 25 \text{ l}/(\text{h} \cdot \text{m}^2)$$

2. Calcul la surface filtrante nécessaire pour la production de  $35 \text{ m}^3/\text{h}$  de perméat  $S_{\text{filtrante}}$

$$S_{\text{filtrante}} = (Q_{\text{permat}}) / J_{(\text{permatmoyen})} = (35 \cdot 10^3) / 25 = 1400 \text{ m}^2$$

3. Calcul le nombre de module membranaire

$$Nbr_{\text{module}} = \frac{1400}{114} = 13 \text{ modules}$$

4. Calcul le diamètre de la conduite alimentant la membrane

$$Q_{\text{perméat}} = V \cdot S = V \cdot \pi \cdot \frac{d^2}{4} \Rightarrow d = \sqrt{\frac{4 \cdot 35 / 3600}{1,3 \cdot 14}} = 0,111 \text{ m} = 110 \text{ mm}$$

5. Déterminer le régime d'écoulement

$$R_e = \frac{\rho.V.d}{\mu} = \frac{1000,2.1.0,110}{1,48.10^{-3}} \Rightarrow R_e = 74339,19 < 10^5$$

Donc : D'après le diagramme de Moody, le régime d'écoulement est turbulent lisse et le coefficient de perte de charge  $\lambda=0,020$

6. Calcul la perte de charge total entre A et B

$$\Delta H_{total} = \Delta H_{linéaire} + \Delta H_{singulière}$$

– **Pertes de charges linéaires :**

D'après l'équation de Darcy-Weisbach

$$\Delta H_{linéaire} = \frac{\lambda.L.V^2}{d.2.g}$$

$$\Delta H_{linéaire} = \frac{0,02.2,9.1^2}{0,110.2.9,81} = 0,019m$$

– **Pertes de charges singulières : sont provoquées par deux coudes ( $\alpha=90^\circ$ ) et une vanne**

a) Pour les coudes

$$\Delta H_{coude} = K_s \frac{V^2}{2.g}$$

$K_s$  : le coefficient de perte de charge singulière

$$K_s = \sin^2(\alpha) + 2.\sin^4\left(\frac{\alpha}{2}\right) = \sin^2(90) + 2.\sin^4\left(\frac{90}{2}\right) \Rightarrow K_s = 1,5$$

$$K_s = 1,5 \cdot \frac{1^2}{2.9,81} = 0,076m$$

b) Pour la vanne

$$\Delta H_{vanne} = 0,09m$$

Donc

$$\Delta H_{singulière} = 2\Delta H_{coude} + \Delta H_{vanne} = 2.0,076 + 0,09 = 0,242m$$

Alors la perte de charge totale entre A et B est :

$$\Delta H_{Totale} = \Delta H_{linéaire} + \Delta H_{singulière} = 0,019 + 0,242 = 0,261m$$



7. Calcul la pression au point A

On applique l'équation de Bernoulli entre A et B

$$\frac{P_A}{\rho \cdot g} + \frac{V_A^2}{2 \cdot g} + Z_A - \Delta H_{totale} = \frac{P_B}{\rho \cdot g} + \frac{V_B^2}{2 \cdot g} + Z_B \Rightarrow \frac{P_A}{\rho \cdot g} = \frac{P_B}{\rho \cdot g} + (Z_B - Z_A) + \Delta H_{totale}$$

$$\frac{P_A}{\rho \cdot g} = \frac{2 \cdot 10^5}{1000,2 \times 9,81} + 1,1 + 0,261 = 21,74m \Rightarrow P_A = 21,74 \cdot 1000,2 \cdot 9,81 = 2,13bars$$

Deuxième partie  
Épuration des eaux

# Chapitre 4

## Les paramètres de pollution et les normes de rejets

### 4.1 Définition

L'utilisation des eaux engendre un nouveau produit appelé effluent ou eau usée qui se distingue :

- Eaux résiduaires urbaines (ERU)
- Eaux résiduaires industrielles (ERI)

### 4.2 Paramètres de pollution

#### 4.2.1 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 résiduaire 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, à cause des problèmes d'eutrophisation ;
- Les microorganismes excrétés avec les matières fécales. L'ensemble de ces organismes peut être classé en quatre grands groupes : les bactéries, les virus, les protozoaires et les helminthes.

### 4.2.2 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.

### 4.2.3 Evaluation de la pollution des eaux

Trois principaux paramètres mesurent les matières polluantes des eaux usées :

- Les matières en suspension (MES) exprimées en mg par litre. Ce sont les matières non dissoutes de diamètre supérieur à  $1\mu m$  contenues dans l'eau. Elles comportent à la fois des éléments minéraux et organiques et décantent spontanément ;
- La demande biochimique en oxygène (*DBO*), exprimée en mg d'oxygène par litre. Elle exprime la quantité de matières organiques biodégradables présentes dans l'eau. Plus précisément, ce paramètre mesure la quantité d'oxygène nécessaire à la destruction des matières organiques grâce aux phénomènes d'oxydation par voie aérobie. Pour mesurer ce paramètre, on prend comme référence la quantité d'oxygène consommé au bout de cinq jours. C'est la *DBO<sub>5</sub>*, demande biochimique en oxygène sur cinq jours ;
- La demande chimique en oxygène (*DCO*), exprimée en mg d'oxygène par litre. Elle représente la teneur totale de l'eau en matières oxydables. Ce paramètre correspond à la quantité d'oxygène qu'il faut fournir pour oxyder par voie chimique ces matières.

TABLE 4.1 – Les limites des paramètres de pollution dans les effluents des réseaux eaux usées

| Type de réseaux                | <i>MES</i><br>(mg/l) | <i>DCO</i><br>(mg/l) | <i>DBO<sub>5</sub></i><br>(mg/l) |
|--------------------------------|----------------------|----------------------|----------------------------------|
| Effluents de réseaux unitaires | 152 - 670            | 114 - 570            | 48 - 270                         |
| Effluent de réseaux séparatifs | 34 - 460             | 28 - 320             | 13 - 40                          |
| Eaux épurées                   | 35                   | 125                  | 25                               |

### 4.3 Les normes des eaux de rejet

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

#### 4.3.1 Normes internationale

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

TABLE 4.2 – Normes de rejets internationales

| Caractéristiques | Normes utilisées(OMS) |
|------------------|-----------------------|
| PH               | 6,5-8,5               |
| $DBO_5$          | <30mg/l               |
| $DCO$            | <90mg/l               |
| $MES$            | <20mg/l               |
| $NH_4^+$         | <0,5mg/l              |
| $NO_2$           | 1mg/l                 |
| $NO_3$           | <1mg/l                |
| $P_2O_5$         | <2mg/l                |
| Température      | <30°C                 |
| Couleur          | Incolore              |
| Odeur            | Inodore               |

#### 4.3.2 Normes Algériennes

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

TABLE 4.3 – Normes Algériennes de rejets des effluents liquides

| <b>Paramètres</b>      | <b>Unités</b> | <b>Valeurs limites</b> |
|------------------------|---------------|------------------------|
| Température            | °C            | 30                     |
| <i>PH</i>              | -             | 6,5- 8,5               |
| <i>DBO<sub>5</sub></i> | <i>mg/l</i>   | 30                     |
| <i>DCO</i>             | <i>mg/l</i>   | 120                    |
| <i>MES</i>             | <i>mg/l</i>   | 35                     |
| Azote total            | <i>mg/l</i>   | 30                     |
| Phosphore total        | <i>mg/l</i>   | 10                     |
| Furfural               | <i>mg/l</i>   | 50                     |
| Hydrocarbures          | <i>mg/l</i>   | 10                     |
| Plomb                  | <i>mg/l</i>   | 0,5                    |
| Fer                    | <i>mg/l</i>   | 3                      |
| Mercuré                | <i>mg/l</i>   | 0,01                   |
| Cuivre                 | <i>mg/l</i>   | 0,5                    |
| Zinc                   | <i>mg/l</i>   | 3                      |

# Chapitre 5

## Épuration des eaux usées

### 5.1 Les procédés de l'épuration des eaux usées

Les étapes de l'épuration regroupent les procédés suivants :

1. Prétraitement (physique) ;
2. Traitement primaire (physique) ;
3. Traitement secondaire (chimique et biologique) ;
4. Traitement tertiaire (physique et biologique) ;
5. Traitement des boues.

### 5.2 Les prétraitements

On trouve dans le procédé de prétraitements : le dégrillage, le dégraissage et le dessablage

#### 5.2.1 Le dégrillage

Le dégrillage (cf., figure (5.1)) est réalisé par le passage des eaux usées à travers d'une grille caractérisée par l'écartement de ses barreaux, 30 à 100mm, 10 à 25mm, 3 à 10 mm pour un dégrillage grossier, moyen ou fin respectivement. Les dégrilleurs assurent la protection des équipements électromécaniques et réduisent les risques de colmatage des conduites mises en place dans la station d'épuration.



Fig. 5.1 – Dégrilleur courbe

### 5.2.2 Le dessablage

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

### 5.2.3 Le dégraissage

Le dégraisseur a pour objet la rétention des graisses par flottation naturelle ou accélérée par injection de fines bulles (cf., figure (5.2)). Ces matières grasses sont susceptibles de nuire à la phase biologique du traitement (mousses, ...).

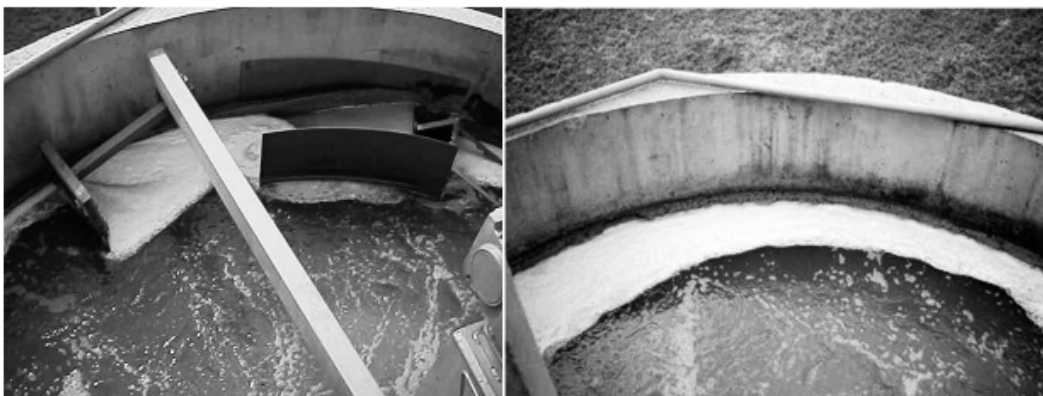


Fig. 5.2 – Bassin dégraisseur - dessableur



## 5.3 Les traitements primaires

Après les prétraitements, les effluents conservent une charge polluante dissoute et des matières en suspension. Les procédés de traitement primaire sont physiques, comme la décantation, ou physico-chimique. Ces traitements éliminent 50 à 60% des matières en suspension.

### 5.3.1 Procédés de décantation (décantation primaire)

1. Décantation classique : La base de ces procédés de séparation solide-liquide est la pesanteur. Ces procédés permettent d'éliminer, d'une part 50% à 60% des matières en suspension et réduit d'environ 30% la *DBO* et la *DCO* et d'autre part, de réduire leurs caractéristiques dimensionnelles (élimination des matières présentant une taille supérieure à  $50\mu m$ ). Les matières solides se déposent au fond d'un ouvrage appelé "décanteur" pour former les "boues primaires". Ces dernières sont récupérées au moyen d'un système de raclage.
2. Il existe de nombreux types de décanteurs classiques :
  - Décanteur horizontal avec raclage des boues (cf., figure (5.3)) ;
  - Décanteur cylindro-conique ordinaire (cf., figure (5.4)) ;
  - Décanteur circulaire avec raclage des boues (cf., figure (5.5)).

Le raclage s'effectue au moyen d'un pont racler qui entraîne une ou plusieurs lames poussant les boues vers une ou plusieurs trémies.

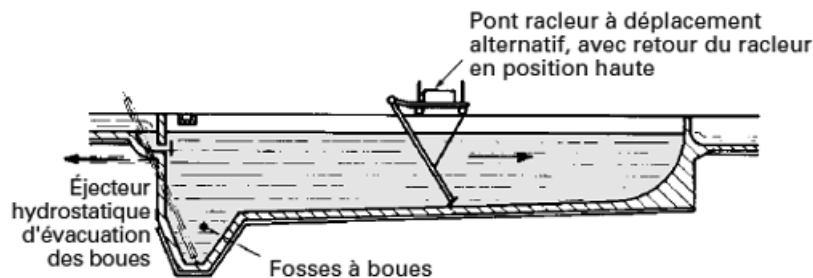


Fig. 5.3 – Décanteur rectangulaire avec raclage de boues

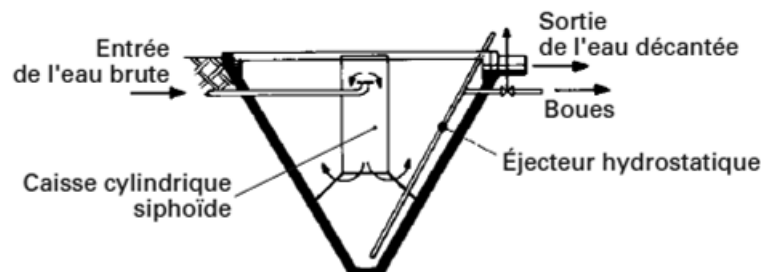


Fig. 5.4 – Décanteur cylindro-conique

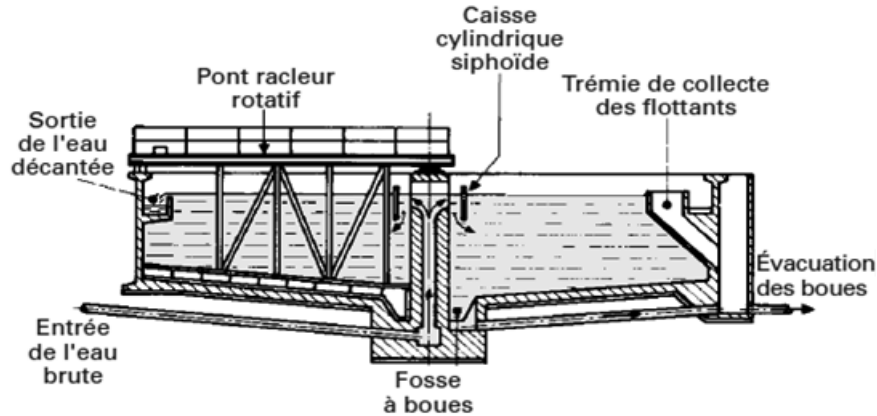


Fig. 5.5 – Décanteur circulaire avec raclage de boues

## 5.4 Traitements secondaires

### 5.4.1 Traitements biologiques

L'épuration biologique a pour but d'éliminer la matière polluante biodégradable contenue dans l'eau domestique en la transformant en matières en suspension. La dégradation peut se réaliser par voie aérobie (en présence d'oxygène) ou anaérobie (en l'absence d'oxygène). Dans ce dernier cas, où les réactions s'effectuent à l'abri de l'air, le carbone organique, après dégradation, se retrouve sous forme de  $CO_2$ , méthane et biomasse. Ce type de traitement appelé "digestion anaérobie" n'est utilisé que pour des effluents très concentrés en pollution carbonée. On peut décrire ce processus par l'équation :

Eau résiduaire + biomasse épuratrice +  $O_2 \rightarrow$  eau purifiée + accroissement de biomasse + gaz résiduaire ( $CO_2...$ ).

La biomasse existe dans l'eau brute (usée) :

- Bactéries :  $10^{11}$  à  $10^{12}$
- Microfaune :  $10^6$  à  $10^8$

### 5.4.2 Cultures libres (boues activées)

Le terme "cultures libres" regroupe les procédés où l'on provoque le développement d'une culture bactérienne dispersée sous forme de floccs au sein du liquide à traiter. Pour cela, on utilise un bassin brassé, pour conserver en suspension la culture, dans lequel est maintenue :

- soit une concentration d'oxygène, pour les procédés aérobies ;
- soit une absence d'oxygène, pour les procédés anaérobies.

Le procédé par "boues activées" est le plus répandue des procédés par "cultures libres".

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

- la charge volumique  $C_v$  qui correspond à la quantité journalière de  $DBO_5$  (en  $kg/j$ ) à dégrader dans le volume  $V$  ( $m^3$ ) de l'ouvrage. Elle s'exprime en  $kgDBO_5/(j.m^3)$  ;
- la charge massique (biologique)  $C_b$  qui est la quantité de  $DBO_5$  (en  $kg/j$ ) rapportée à la masse de matières en suspension totales contenues dans l'ouvrage de volume  $V$ . Elle s'exprime en  $kgDBO_5/(j.kgMVS)$
- l'âge des boues qui est le rapport entre la masse de boues présentes dans le réacteur et la masse journalière de boues extraites. Il s'exprime en jours.

2) **Schémas possibles** : Une station de traitement par boues est illustrée dans la figure (5.6) :

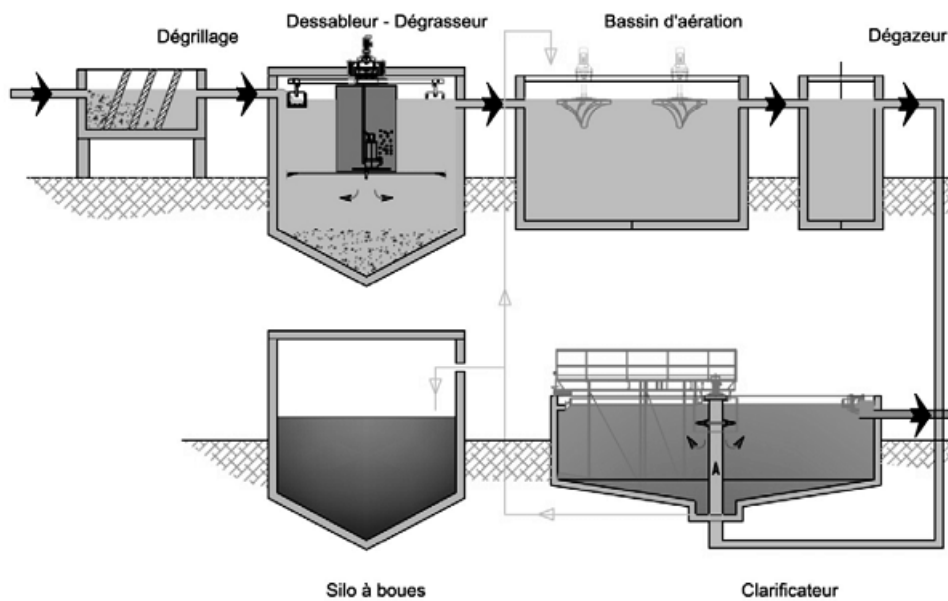


Fig. 5.6 – Décanteur circulaire avec raclage de boues

### 5.4.3 Epuration biologique à biomasse fixée (Cultures fixées)

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

1. **Lit bactérien** : Le plus ancien procédé à biomasse fixée est le lit bactérien (cf., figure (5.7)). La biomasse est fixée sur un matériau de grosse granulométrie (3 à 8 cm) sur lequel percole l'effluent à traiter. L'air est transféré par diffusion à travers le film d'eau ruisselant à la surface du matériau..

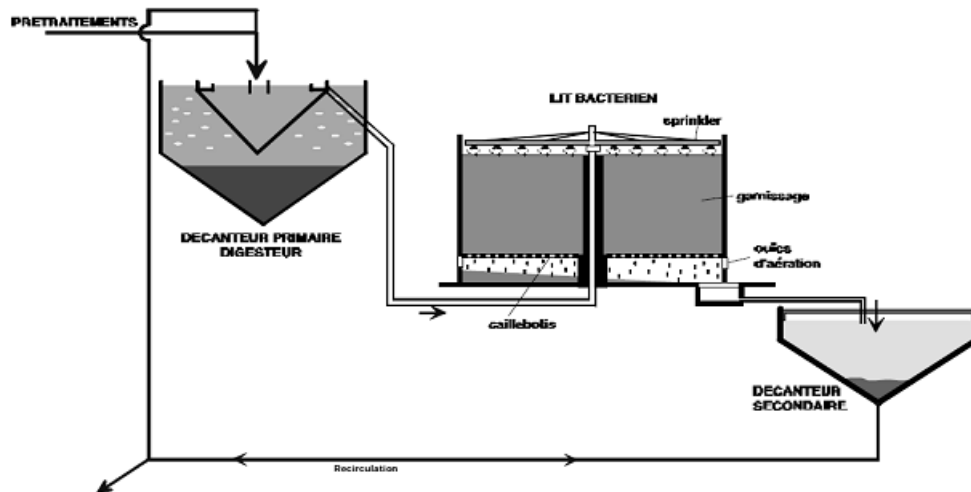


Fig. 5.7 – Schéma de principe d'une filière type par lit bactérien

## 2. Les bio-disques (les disques biologiques) :

a) **Principe** Ce procédé consiste à alimenter en eau usée, préalablement décantée voire tamisée, une cuve contenant des disques en rotation sur un axe horizontal (cf., figure (5.8)). Ces disques sont les supports d'un développement de microorganismes épurateurs (biofilm).

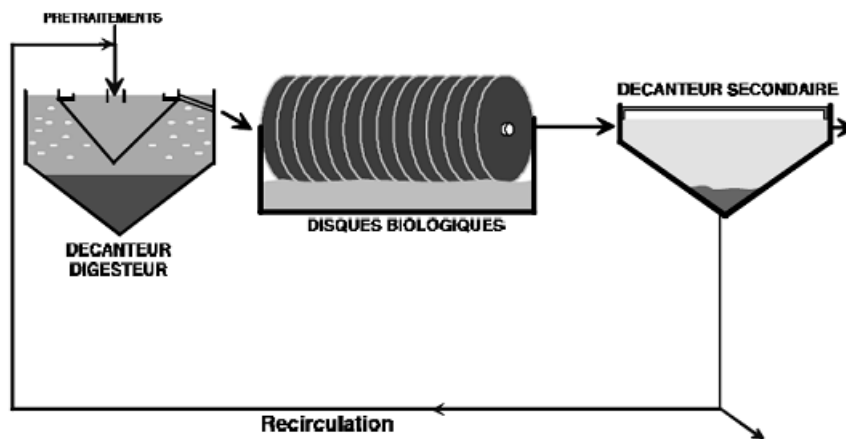


Fig. 5.8 – Schéma de principe d'une filière type de disques biologiques

## b) Dispositions constructives :

- La biomasse est fixée sur des disques en rotation immergés à 40% dans l'eau à traiter (cf., figure (5.9)) ;
- L'espace entre le fond de la cuve et le bas du support devra être compris entre 10 et 25cm pour limiter les dépôts.
- L'épaisseur du biofilm 1 à 3mm

- Diamètre des disques 2 à 4m
- Vitesse de rotation 1 à 2t/minute
- L'espacement entre les disques 2 à 3cm
- Le fond de la cuve doit être en pente vers une purge en point bas ;
- Les mises en service en plein hiver sont à éviter.



Fig. 5.9 – Disque biologique rotatif

## 5.5 Traitement complémentaires

### 5.5.1 Le traitement des boues

Il existe différents types de boues selon l'étape de traitement des eaux duquel elles sont issues. On rencontre ainsi des boues primaires, secondaires et des boues physico-chimiques. Trois étapes de traitement sont ici distinguées : la réduction de la teneur en eau via l'épaississement et la déshydratation, la stabilisation et l'hygiénisation.

1. **L'épaississement et déshydratation des boues** : il permet de réduire trois à six fois le volume des boues, réduisant ainsi les coûts de stockage et de transport. Cet épaississement peut se faire soit par simple égouttage, par flottation comme présenté sur la figure (5.10), par centrifugation ou par voie gravitaire au moyen d'un concentrateur. Cette étape a pour effet d'augmenter la proportion en matières sèches dans les boues.

La déshydratation est une étape de réduction de volume d'eau également, mais encore plus poussée que l'épaississement. On peut faire la déshydratation au moyen de centrifugeuses, filtres-presses ou des filtres à bandes, la siccité,



**Fig. 5.10** – Disque biologique rotatif

- 2. La stabilisation :** Les boues d'épuration sont composées de matières organiques dégradables, de matières minérales et d'organismes pathogènes. La stabilisation induit la stabilisation du caractère fermentescible des boues, en dégradant les matières organiques ou en bloquant les réactions. On distingue, en effet, différents procédés de stabilisation : par voie aérobie, anaérobie, et chimique. La stabilisation par voie aérobie peut se faire dans des bassins d'aération. Cette dernière s'effectue en deux étapes majeures : la première durant laquelle la matière organique fraîche est dégradée à hautes températures (50 à 70°C) sous l'action de bactéries. Cette élévation de température est essentiellement d'origine biologique due à l'activité microbienne ; la deuxième phase dite de maturation qui est une phase de dégradation moins soutenue. La stabilisation par voie chimique est également employée et se réalise par chaulage. Contrairement au compostage, le chaulage ne transforme pas la matière organique mais bloque toute évolution des boues par augmentation du *PH*. Comme son nom l'indique, la digestion anaérobie permet la digestion de l'essentiel de la matière organique contenue dans les boues.

# Chapitre 6

## Exercices corrigés

**Exercice N°1 :** On veut réaliser une station d'épuration pour ville de 3208 habitant (en 2017).  
Calculer :

1. Nombre de population pour l'horizon de 2047 (taux d'accroissement est 2,8%)
2. Débit moyen journalier ( $Q_{moy.j}$  en  $m^3/j$ ) si la dotation en eau moyenne par un habitant est de 150l/j/habitant et le volume rejeté par les habitants est estimé à 80% de la dotation d'approvisionnement en eau potable
3. Débit moyen horaire ( $Q_{moy.h}$  en  $m^3/h$ )
4. Débit de pointe ( $Q_p$  en  $m^3/h$ )
5. Débit diurne ( $Q_d$  en  $m^3/h$ )

**Solution :**

1. Calcul le nombre de population pour l'horizon 2047 (30ans)

$$P_f = P_0 \cdot (1 + T)^n$$

$$P_f = 3208 \times (1 + 0,028)^{30} = 7346 \text{ habitants}$$

2. Calcul  $Q_{moy.j}$

$$Q_{moy.j} = 0.80 \cdot P_f \cdot D = 0.80 \cdot 7346 \cdot 150 \cdot 10^{-3} = 881,52 m^3/j$$

3. Calcul  $Q_{moy.h}$

$$Q_{moy.h} = \frac{Q_{moy.j}}{24} = \frac{881,52}{24} = 36,73 m^3/h$$

4. Calcul  $Q_p$

$$Q_p = C_p \cdot Q_m$$

Avec :

$$\begin{cases} C_p = 1,5 + \frac{2,5}{\sqrt{Q_m}} \text{ si } Q_m \geq 2,8 \text{ l/s} \\ C_p = 3 \text{ si } Q_m < 2,8 \text{ l/s} \end{cases}$$

On doit convertir  $Q_{moy,j}$  en  $l/s \Rightarrow Q_{moy,j} = 10,2 \text{ l/s}$

5. Calcul  $Q_d$

Le débit diurne correspond à la période diurne de 16 heures consécutives au cours de laquelle la station reçoit le plus grand volume d'eau usée, soit :

$$Q_d = \frac{Q_{moy,j}}{16} = \frac{881,52}{16} = 55 \text{ m}^3/\text{h}$$

**Exercice N°2 :** Calculer les dimensionnements de la grille d'une station d'épuration reçoit un débit de pointe instantané de ( $Q_p = 0,15 \text{ m}^3/\text{s}$ ) Données :

TABLE 6.1 – Caractéristiques de la grille

|                           |            |         |
|---------------------------|------------|---------|
| Espacement entre barreaux | $e(mm)$    | 15      |
| Diamètre des barreaux     | $d(mm)$    | 10      |
| Coefficient de colmatage  | $C(-)$     | 0,5     |
| Angle d'inclinaison       | $\alpha()$ | 60      |
| $V_{max}$                 | m/s        | 0,6 à 1 |

**Solution :**

1. Calcul le coefficient de vide de la grille(O)

$$O = \frac{e}{e + d} = \frac{15}{10 + 15} = 0,6$$

2. Calcul de la surface de la grille

$$S_{grille} = \frac{Q_p}{V_{max} \cdot O \cdot C}$$

$$\begin{cases} 0,10 \text{ à } 0,30 \text{ pour une grille manuelle} \\ 0,4 \text{ à } 0,5 \text{ pour une grille automatique} \end{cases}$$

On prend :  $C=0,5$  et  $V_{max}=0,8 \text{ m/s}$



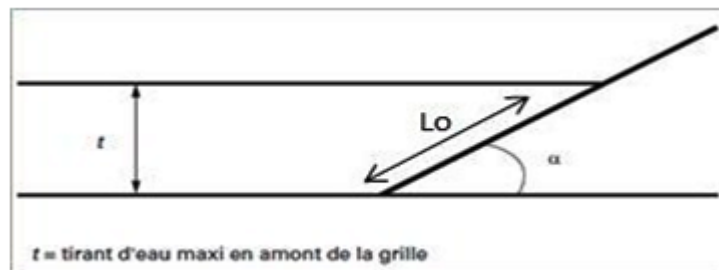
$$S_{grille} = \frac{0,15}{0,8 \cdot 0,6 \cdot 0,5} = 0,63 \text{m}^2$$

3. Calcul de la longueur et largeur de la grille

$$L_0 = \frac{t}{\sin \alpha}$$

On prend  $t = 1 \text{m} \Rightarrow$

$$L_0 = \frac{t}{\sin \alpha} = \frac{1}{0,87} = 1,15 \text{m}$$



$t$  : tirant d'eau dans le canal d'amener  $\alpha$  : angle d'inclinaison de la grille (Pour une grille droite  $\alpha=60^\circ-80^\circ$ ), on prend ( $\alpha=60^\circ$ )

$$l = \frac{S_{grille}}{L_0} = \frac{0,63}{1,15} = 0,54 \text{m}$$

4. Calcul le nombre des barreaux

$$N_b = \frac{l - e}{d + e} = \frac{540 - 15}{10 + 15} = 21 \text{barreaux}$$

5. Calcul de la perte de charge à travers la grille (formule de Kirschmer)

$$\Delta H = \beta \left(\frac{d}{e}\right)^{4/3} \frac{V_{\max}^2}{2g} \sin \alpha$$

Avec,  $\Delta H$  : perte de charge,  $\beta$  : facteur de forme des barreaux (2,42 rectangulaire, 1,67 à 1,83 circulaire).

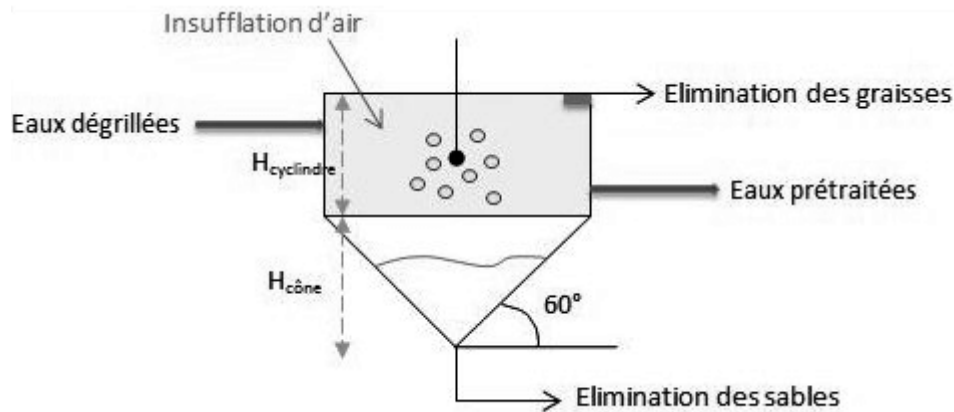
$$\Delta H = \beta \left(\frac{d}{e}\right)^{4/3} \frac{V^2}{2g} \sin \alpha = 2,42 \cdot \left(\frac{10}{15}\right)^{4/3} \cdot \frac{0,8^2}{2 \cdot 9,81} \cdot 0,87$$

La perte de charge au travers de la grille pour une vitesse maximale de  $0,8 \text{m/s}$  est de  $40 \text{mm}$ ,

**Exercice N°3 :** Calculer les dimensions d'un bassin dessableur/dégaisseur (cf, figure) caractérisé par les paramètres indiqués dans le tableau ci-dessous et le débit de pointe instantané par temps sec est de 537 m<sup>3</sup>/h.

Données

- Vitesse ascensionnelle,  $V_a = 15\text{m/h}$
- Temps de séjour,  $\tau = 10\text{min}$



**Fig. 6.1** – Schéma de dessableur/dégaisseur

1. Calcul de la surface et de diamètre

$$S = \frac{Q_{p.sec}}{V_a} = \frac{537}{15} = 35,8\text{m}^2$$

$$D = \sqrt{\frac{4.S}{\pi}} = \sqrt{\frac{4.35,8}{3,14}} = 6,8\text{m}$$

2. Calcul du volume total de l'ouvrage

Connaissant le temps de séjour et le débit de pointe, on peut déduire le volume de l'équipement.

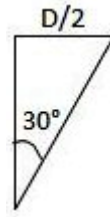
$$V = \tau \cdot Q_{p.sec} = 10 \cdot \frac{537}{60} = 90\text{m}^3$$

Le volume de l'ouvrage sur sa surface doit être compris entre 1,25 et 2,5 m.

$$\frac{V}{S} > 2,5\text{m} \Rightarrow \frac{90}{35,8} = 2,51\text{m}$$

3. Calcul de la hauteur cylindrique

Le volume calculé correspond au volume total soit la somme des volumes de la partie cylindrique et de la partie conique.



$$V = V_{cylindre} + V_{cône} = S.H_{cylindre} + \frac{\pi.D^2.H_{cône}}{12}$$

On peut facilement déterminer la hauteur du cône par des considérations géométriques.

$$H_{cône} = \frac{D}{2.tg(30°)} = \frac{6,8}{2.0,58} = 5,86m = 6m$$

$$H_{cylindre} = \frac{V - \frac{\pi.D^2.H_{cône}}{12}}{S} = \frac{90 - \frac{3.14.6,8^2.6}{12}}{35,8} = 0,49m = 0,5m$$

**Exercice N°4 :** Dimensionner le décanteur primaire pour une station d'épuration

Données :

- Débit  $Q = 82l/s$
- Nombre de population = 25000habitants
- Diamètre de la plus petite particule  $d_p = 0,10mm$
- Poids spécifique des particules  $\rho_s = 1200kg/m^3$
- Poids spécifique de l'eau  $\rho_{eau} = 1000kg/m^3$
- Viscosité cinématique de l'eau  $\nu_l = 0,89.10^{-6}m^2/s$
- Température moyenne des eaux usées  $T = 25°C$
- Temps de rétention (temps de séjour)  $t_r = 2h$
- $g = 9,81m/s^2$

**Solution**

1. Calcul la vitesse de sédimentation (décantation) On applique la loi de Stockes

$$v_s = \frac{g(\rho_s - \rho_l)d_p^2}{18\mu_l}$$

$$\mu_l = \rho_l.\nu_l \Rightarrow v_s = \frac{g(\rho_s - \rho_l)d_p^2}{18\rho_l\nu_l} = \frac{9,81.(1,2 - 1).10^3.(0,1.10^{-3})^2}{18.9,81.10^{-6}.10^3} = 1,22.10^{-3} \frac{m}{s} = 0,1cm/s$$

2. Calcul de la profondeur du décanteur

La sédimentation aurait lieu si le temps de rétention soit supérieur ou égal au temps de sédimentation

$$t_r > t_s \Rightarrow t_r \geq \frac{h}{v_s}$$

- $h$  = profondeur du décanteur ( $m$ )
- $t_s$  = temps de sédimentation (heure)
- $t_r$  = temps de rétention (heure)

$$h < t_r \cdot v_s = 2 \times 3600 \times 0,1 \times 10^{-2} = 7,2m$$

Donc,  $h \leq 7.2m$ . Pour des raisons pratiques et puisque l'efficacité du traitement ne dépend pas de la profondeur, on prend  $h = 6m$

3. Calcul de la longueur du décanteur

Soit  $V_c$  la capacité du bassin (volume d'eau dans le bassin)

$$V_c = Q \cdot t_r = 0,082 \times 2 \times 3600 = 590,4m^3$$

Il convient d'ajouter le volume occupé par les boues estimé à 1,08 litres de boues par personne par jour. Soit  $V_b$  volume de boues produites par 25000 habs pendant une année

$$V_b = 1,08 \times 25000 \times 365 = 9855 \cdot 10^3 \text{ litres/an} = 9855m^3/\text{an}$$

Si on effectue 6 extractions de boues par an, le volume des boues extraites de bassin est de

$$V_{ex} = \frac{9855}{6} = 1642,5m^3$$

Le bassin de décantation aura finalement comme volume  $V_b = V_c + V_{ex} = 590,4 + 1642,5 = 2232,9m^3$

4. Surface ( $S$ ) du bassin de décantation

$$S_b = \frac{V_b}{h} = \frac{2232,9}{6} = 372,15 = 373m^2$$

5. Calcul du diamètre de décanteur

$$D = \sqrt{\frac{4V}{\pi H}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 2232,9}{3,14 \cdot 6}} = 21,77 = 22m$$

**Exercice N°5 :** On veut réaliser un bassin d'aération pour une STEP à boues activées qui reçoit un débit d'eau usée de  $7125m^3/j$ . Calculer :

1. L'âge des boues "  $\theta_c$  "
2. La charge biologique "  $C_b$  "
3. La concentration des boues "  $B$  "
4. La  $DBO_5$  à la sortie du bassin "  $S$  "
5. L'efficacité du traitement "  $r$  "
6. Le volume du bassin d'aération
7. Le diamètre du bassin
8. La quantité de boues produite "  $P$  "
9. La quantité  $O_2$  requise "  $O_2$  "
10. La puissance d'aération requise pour l'aération "  $W$  "

Données :

- $T$  : température de l'effluent ( $25^\circ\text{C}$ )
- $\theta_t$  : la durée d'aération ( $1 \text{ heure} < \theta_t < 8 \text{ heures}$ )
- $S_o$  :  $DBO_5$  de l'eau brute ( $185 \text{ mg/l}$ )
- $K$  : constante de Eckenfelder ( $0,15$ )
- $f$  : facteur de conversion ( $0,45 < f < 0,68$ )

1. Calcul l'âge des boues : C'est le temps de renouvellement de la biomasse dans le bassin d'aération

$$\theta_c = 6,5 \cdot [0,914]^{(T-20^\circ)} = 6,5 \cdot [0,914]^{(25-20)}$$

$\theta_c$  = âge des boues (en jours)

$$\theta_c = 4,15 \text{ jours}$$

2. Calcul la charge biologique

$$\theta_c = 1,224 C_b^{-1,125}$$

Ce qui donne :

$$C_b = \left( \frac{\theta_c}{1,224} \right)^{\frac{-1}{1,125}} = \left( \frac{4,15}{1,224} \right)^{\frac{-1}{1,125}}$$

$C_b = 0,338 \text{ kg } DBO_5 / \text{kg } MVS \cdot j$  ( $MVS$  : concentration en matières volatiles en suspension / concentration en matières volatiles sèches)

3. Calcul la concentration des boues

Elle exprime la teneur en boues dans le bassin d'aération

$$C_b = \frac{QS_0}{BV}$$

Avec,  $Q = V / \theta_t$  : volume du bassin, ce qui permet d'écrire

$$C_b = \frac{VS_0}{BV\theta_t} = \frac{S_0}{B\theta_t} \Rightarrow B = \frac{S_0}{C_b \cdot \theta_t}$$

On prend  $\theta_t = 6$  heures

$$B = \frac{158}{0,338 \cdot \frac{6}{24}}$$

Concentration des boues :  $B = 1870 \text{ mg/l} = 1,870 \text{ g/l}$

4. Calcul la DBO5 à la sortie du bassin " S "

$$\frac{S}{S_0} = \exp(-KB\theta_t)$$

$$\frac{S}{S_0} = e^{(-0,15 \cdot 1,87 \cdot 6)} = 0,186$$

On peut calculer la DBO5 à la sortie :

$$S = 0,186 \cdot 158 \Rightarrow S = 29,39 \text{ mg/l}$$

5. Calcul de l'efficacité du traitement

La qualité de l'effluent est appréciée par la  $DBO_5$  à la sortie du bassin d'aération qui est calculée à partir de la relation :

$$r = \frac{S_0 - S}{S_0} = \frac{158 - 29,39}{158} = 0,814 = 81,1\%$$

6. Calcul le volume du bassin d'aération

$$V = Q \cdot \theta_t = \frac{7125,6}{24} = 1781,25 \text{ m}^3$$

7. Calcul le diamètre du bassin

Le bassin étant circulaire, avec un volume  $V = 1781,25 \text{ m}^3$ . Pour déterminer le diamètre, on fixe une hauteur  $H = 3,5 \text{ m}$

On a l'expression du volume :

$$V = \frac{\pi \cdot D^2 H}{4} \Rightarrow D = \sqrt{\frac{4 \cdot V}{H \cdot \pi}} = 25m$$

8. Calcul la quantité de boues produite "  $P$  "

$$P = \frac{B \cdot V}{\theta_c} = \frac{1,870 \cdot 1781,25}{4,15} = 802,6kg/j$$

9. La quantité  $O_2$  requise "  $O_2$  "

$$O_2 = \frac{Q(S_0 - S) \cdot 10^{-3}}{f} - 1,42P$$

On prend  $f = 0,5$

$$O_2 = \frac{7125(158 - 29,39) \cdot 10^{-3}}{0,5} - (1,42 \times 802,6) = 693kgO_2/j$$

10. La puissance d'aération requise "  $W$  "

Le taux de transfert d'oxygène pour des aérateurs de surface est compris entre 1,94 et 2,3  $kgO_2/j/KWh$ . On prend un taux de transfert de  $2kg/Kwh$ . L'énergie requise ( $E$ ) est calculée comme suivant

$$E = \frac{693}{2} = 346,5KWh$$

La puissance requise pour l'aération est donnée par :

$$W = \frac{E}{24} = \frac{346,5}{24} = 14,44KW$$

# Bibliographie

- **Bessedik, M. (2015)**. Traitement et épuration de l'eau. Cours, <https://ft.univ-tlemcen.dz/assets/u>
- **Sadowski, A., G. (2002)**. Méthode de calcul d'une filière de traitement " Boues activées - Très faible charge - Nitrification et dénitrification - traitement de phosphore ". Laboratoire SHU-ENGEES
- **Zeghoud, M., S. (2014)**. Etude de système d'épuration des eaux usées urbaines par lagunage naturel de village de Méghibra, Mémoire, Maroc.
- **JORA (1993)**. Valeurs limites des paramètres de rejets d'effluents liquides industriels. Journal Officiel de la République Algérienne, Décret exécutif N° 93-160 du 1993.
- **Salghi, R. (2004)**. Dimensionnement d'une Station d'épuration par boues activées. Note théoriques, Ecole Nationale des sciences appliquée-Agadir, Maroc.
- **Jarid, H. ; Amzil, K. (2012)**. Optimisation de la filtration sur sable pour le traitement des eaux. Mémoire, Marrakech, Université Cadi Ayyad.
- **Jestin, E. (2006)**. La production et le traitement des eaux destinées à l'alimentation et à la préparation de denrées alimentaire. Agence de l'eau Seine-Normandie.
- <http://hmf.enseeiht.fr/travaux/CD0910/bei/beiere/groupe3/node/118.html>