

**République algérienne démocratique et populaire**

**Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche  
scientifique**

**Ecole Nationale Polytechnique**



**Département d'hydraulique**

**Mémoire de fin d'études**

Pour l'obtention du diplôme d'ingénieur d'état en hydraulique

**Titre :**

Conception et dimensionnement de l'usine de production et de  
traitement d'eau potable de la commune d'Ondres.

**Présenté par :**

**M.LATBI Nacer**

**Encadré par :**

**M.NAKIB Mâamar  
M.Vergnais Thierry**

**Promotion 2007/2008**

# REMERCIEMENTS

*Les travaux présentés dans ce mémoire ont été réalisés au sein de l'entreprise Cabinet Merlin, Ingénieurs conseils dont je remercie tous les collaborateurs pour leur disponibilité et pour leur accueil notamment monsieur **Thierry Vergnais** qui a co-encadré ce mémoire.*

*Je tiens tout d'abord à remercier Monsieur **Nakib Mâamar**, qui a encadré ce mémoire de fin d'étude en me laissant une grande liberté et beaucoup d'autonomie. Je le remercie également pour sa disponibilité, la pertinence de ses remarques, la confiance qu'il m'a toujours témoignée et pour sa rigueur.*

*Je veux témoigner mon immense gratitude à Monsieur **Benziada Salim** et Je tiens à le remercier pour sa grande disponibilité ainsi que pour ses nombreux conseils, à lui exprimer toute ma reconnaissance pour sa bonne humeur, sa gentillesse et sa patience. Merci enfin pour tout ce qu'il m'a apporté sur le plan des relations humaines, tant professionnelles que personnelles.*

*Je remercie également les membres du jury pour avoir pris la peine d'évaluer ce modeste travail.*

*Je ne saurais oublier tous mes amis qui ont su m'encourager et me soutenir et à qui je dédie ce travail en témoignage de ma profonde affection.*

# DEDICACES

*Je dédie ce modeste travail à :*

*Mon père sans qui je n'aurais pas pu faire des études.*

*Ma mère*

*Mes frères*

*Mes sœurs*

*Ainsi qu'à tous mes amis de Bouraoui : Nabil, Mouloud, Mustapha, Naim, Nacer, Nadir(Zizi) avec lesquels j'ai partagé des moments inoubliables...*

*Sans oublier Amirouche et Sofiane à qui je souhaite du courage et beaucoup de réussite pour l'année prochaine.*

*A mes amis de Tidjounane : cheikh Rafik, cheikh Farouk, Idir Bouboul, Tintin, Toufik, Sofiane...*

## ملخص :

العمل المقدم في هذه الداكرة يرتكز في حساب قياسات مركز معالجة المياه الصالحة للشرب. المياه الخامة تحتوي على الحديد المونغاناز الارسنيك و النيتروجان بتركيز يفوق المقاييس. المعالجة تتركز على ازالة هذه المكونات بالاخذ بعين الاعتبار مقاييس المياه الصالحة للشرب.  
الكلمات المفتاحية : المياه الصالحة للشرب التقطير التطهير

## Résumé :

Notre travail consiste dans le dimensionnement d'une station de traitement des eaux potables. L'eau brute présente des teneurs élevées en fer, en manganèse, en arsenic et en azote sous forme d'ammonium. D'où, notre objectif de dimensionner les différentes phases de traitement afin de rendre cette eau propre à la consommation humaine en tenant compte des normes de potabilité.

Mots clés : eau potable, filtration, désinfection.

## Abstract :

The present work aims to calculate the dimension of a plant treatment of drinking water. The water which will be treated is highly concentrated in iron, manganese, arsenic and nitrogen. So, this treatment is done in order to make the water fresh to the human consumption by respecting the drinkability standards .

Key words : drinking water, filtration, desinfection.

## TABLE DES MATIERES

<b>INTRODUCTION GENERALE .....</b>	<b>1</b>
------------------------------------	----------

### **PARTIE I** : *présentation de la société*

<b>I.1. PRESENTATION DE LA SOCIETE .....</b>	<b>3</b>
--	----------

I.1.1. Les activités du Cabinet Merlin.....	3
---	---

I.1.2. Les missions du Cabinet Merlin .....	4
---	---

### **PARTIE II** : *Aspects théoriques du traitement des eaux potables*

<b>II.1. EAU POTABLE.....</b>	<b>5</b>
-------------------------------	----------

II.1.1. Introduction .....	5
----------------------------	---

II.1.2. Caractérisation de l'eau potable .....	5
--	---

II.1.3. Normes de potabilité d'une eau.....	8
---	---

II.1.3.1. Les paramètres organoleptiques .....	8
--	---

II.1.3.2. Les paramètres physico-chimiques .....	9
--	---

II.1.3.3. Les substances indésirables.....	9
--	---

II.1.3.4. Les paramètres de pollution .....	10
---	----

II.1.3.5. Les substances toxiques .....	11
---	----

II.1.3.6. Les paramètres bactériologiques.....	11
--	----

<b>II.2. COAGULATION-FLOCULATION .....</b>	<b>12</b>
--	-----------

II.2.1. Introduction .....	12
----------------------------	----

II.2.2. Les colloïdes.....	12
----------------------------	----

II.2.3. Coagulation .....	13
---------------------------	----

II.2.5. Les coagulants utilisés.....	15
--------------------------------------	----

II.2.6. Flocculation.....	16
---------------------------	----

II.2.7. Les flocculants utilisés : .....	16
--	----

---

II.2.8. Mise en œuvre de la coagulation-floculation .....	17
II.2.9. Le jar-test.....	17
<b>II.3. DECANTATION .....</b>	<b>18</b>
II.3.1. Introduction .....	18
II.3.2. Décantation.....	18
II.3.3. Les différents types de décantation .....	19
II.3.3.1. Décantation statique.....	19
II.3.3.2. Décantation lamellaire .....	20
II.3.3.3. Décantation à contact des boues .....	20
<b>II.4. FILTRATION .....</b>	<b>22</b>
II.4.1. Introduction .....	22
II.4.2. Filtration lente .....	22
II.4.3. Filtration rapide .....	22
II.4.4. Les différents types de filtres .....	23
II.4.5. Colmatage des filtres .....	24
II.4.6. Lavage des filtres .....	25
II.4.6.1. Lavage à l'eau et à l'air.....	25
II.4.6.2. Lavage à l'eau seule.....	25
II.4.7. Durée de lavage.....	26
II.4.8. Rinçage.....	26
<b>II.5. ADSORPTION SUR CHARBON ACTIF .....</b>	<b>27</b>
II.5.1. Introduction .....	27
II.5.2. Phénomène d'adsorption .....	27
II.5.3. Charbon actif en poudre .....	28
II.5.4. Charbon actif en grains .....	28
II.5.5. Description du processus.....	29
II.5.6. Régénération du charbon actif .....	29

---

<b>II.6. ELIMINATION DU FER ET DU MANGANESE .....</b>	<b>30</b>
II.6.1. Introduction .....	30
II.6.2. Elimination du fer.....	30
II.6.2.1. Elimination physico-chimique .....	30
II.6.2.2. Elimination biologique du fer .....	31
II.6.3. Elimination du manganèse .....	32
II.6.3.1. Elimination physico-chimique du manganèse .....	32
<b>II.7. ELIMINATION DE L'AZOTE.....</b>	<b>34</b>
II.7.1. Introduction .....	34
II.7.2. Elimination de l'ammonium .....	34
II.7.2.1. Elimination physico-chimique de l'ammonium.....	34
II.7.2.2. Elimination biologique de l'ammonium .....	35
<b>II.8. ELIMINATION DE L'ARSENIC .....</b>	<b>37</b>
II.8.1. Introduction .....	37
II.8.2. Oxydation à l'air.....	37
II.8.3. Oxydation à l'ozone O <sub>3</sub> .....	37
II.8.4. Oxydation à l'hypochlorite de sodium NaOCl.....	38
II.8.5. Oxydation au permanganate de potassium KMnO <sub>4</sub> .....	38
II.8.6. Oxydation au chlorure ferrique FeCl <sub>3</sub> .....	39
II.8.7. Elimination biologique de l'arsenic .....	39
II.8.8. Oxydation indirecte de l'arsenic .....	40
II.8.9. Oxydation bactérienne directe de L'arsenic.....	41
II.8.9.1 Oxydation par des bactéries hétérotrophes .....	41
<b>II.9. DESINFECTION .....</b>	<b>42</b>
II.9.1. Introduction .....	42
II.9.2. Principe de désinfection .....	42
II.9.3. Choix du désinfectant.....	42
II.9.4. Désinfection par le chlore .....	43

II.9.5. Désinfection par le dioxyde de chlore.....	43
II.9.6. Désinfection par l’ozone .....	44
II.9.7. Désinfection par rayonnement Ultra Violet .....	44
<b>II.10. EQUILIBRE CALCO-CARBONIQUE .....</b>	<b>46</b>
II.10.1. Introduction .....	46
II.10.2. Equilibre CO <sub>2</sub> -eau .....	47
II.10.3. Traitement des eaux agressives .....	47
II.10.3.1. Neutralisation.....	47
II.10.3.2. Reminéralisation-recarbonatation .....	48
II.10.4. Traitement des eaux incrustantes .....	48
II.10.4.1. Réduction de l’alcalinité .....	48
II.10.4.2. Adoucissement par décarbonatation .....	49
<b>II.11. TRAITEMENT DES BOUES.....</b>	<b>50</b>
II.11.1. Introduction .....	50
II.11.2. Epaissement .....	50
II.11.2.1. Epaissement par égouttage .....	50
II.11.2.2. Epaissement par flottation .....	51
II.11.3. Déshydratation .....	51
II.11.3.1. Déshydratation par centrifugation.....	52
II.11.3.2. Déshydratation par filtres à bandes presseuses .....	52
II.11.3.3. Déshydratation par lagunage .....	53
II.11.4. Séchage solaire .....	54
II.11.5. Séchage thermique .....	54
 <b>PARTIE III : <i>Dimensionnement de la station de traitement</i></b>	
<b>III.1. ORIGINE DES EAUX.....</b>	<b>55</b>
<b>III.2. PRESENTATION DE LA COMMUNE .....</b>	<b>55</b>
<b>III.3. CARACTERISTIQUES DES EAUX BRUTES .....</b>	<b>55</b>
<b>III.4. ANALYSE DES DONNEES .....</b>	<b>56</b>
<b>III.6. DIMENSIONNEMENT DE LA STATION DE TRAITEMENT .....</b>	<b>55</b>

III.6.1. Bâche des eaux brutes.....	56
III.6.2. Elimination biologique du fer et de l'arsenic.....	57
III.6.2.1. Calcul de la quantité d'air nécessaire .....	58
III.6.2.2. Dimensionnement des filtres .....	59
III.6.3. Elimination du manganèse.....	61
III.6.3.1. Calcul de la quantité de permanganate de potassium .....	61
III.6.3.2. Dimensionnement des filtres pour retenir le manganèse .....	63
III.6.4. Filtration sur charbon actif en grains CAG.....	65
III.6.4.1. Dimensionnement des filtres sur CAG .....	65
III.6.4.2. Régénération thermique du charbon actif.....	66
III.6.6. Désinfection .....	69
III.6.6.1. Désinfection par le chlore gazeux.....	69
III.6.6.2. Désinfection par le dioxyde de chlore .....	70
III.6.6.3. Désinfection par l'hypochlorite de sodium.....	71
III.6.6.4. Désinfection par l'ozone .....	71
III.6.6.5. Bassin de désinfection .....	72
III.6.6.5.1. Volume de la bâche .....	72
III.6.7. Remise à l'équilibre de l'eau .....	73
III.6.7.1. Correction de l'agressivité .....	73
III.6.7.1.1. Dégazage du CO <sub>2</sub> .....	73
III.6.7.1.2. Neutralisation du CO <sub>2</sub> par la chaux .....	73
III.6.7.1.3. Neutralisation par la soude .....	74
III.6.7.2. Correction de l'entartrage .....	74
III.6.7.2.1. Réduction de l'alcalinité.....	74
III.6.8. Traitement des boues .....	75
III.6.8.1. Bâche des eaux sales.....	75
III.6.8.2. Epaissement des boues .....	75
III.6.8.3. Déshydratation des boues .....	75
III.6.8.3.1. Option 1 : Déshydratation par filtre presse.....	75
III.6.8.3.2. Option 2 : Séchage solaire .....	76
III.6.8.4. Stockage des boues déshydratées .....	76
III.7. Schéma de la filière de traitement.....	77

---

III.8. Extension à 30000m <sup>3</sup> /j .....	79
III.9. Contraintes géotechniques et hydrogéologiques des terrains .....	80
III.9.1. Sondages et essais réalisés.....	80
III.9.2. Résultats .....	80
III.10. Contraintes d’urbanisme et d’environnement.....	81
III.10.1. Plan Local d’Urbanisme .....	81
III.10.1.1. Règles définies par le Plan Local d’Urbanisme.....	81
III.10.2. Contraintes liées aux réseaux aériens ou enterrés.....	83
III.10.3. Contraintes liées au patrimoine naturel et architectural.....	83
III.10.4. Contraintes d’exploitation .....	83
III.11. Aménagements particuliers.....	83
<b>CONCLUSION GENERALE .....</b>	<b>88</b>
<b>ANNEXES .....</b>	<b>89</b>
<b>BIBLIOGRAPHIE.....</b>	<b>92</b>

---

## Liste des tableaux

<b>Tableau 1 :</b> Qualité de l'eau en fonction de la valeur du TH .....	7
<b>Tableau 2 :</b> Tableau des normes des paramètres organoleptiques d'une eau potable. ..	8
<b>Tableau 3 :</b> Tableau des normes physico-chimiques d'une eau potable. ....	9
<b>Tableau 4 :</b> Tableau des normes des substances indésirables une eau potable .....	10
<b>Tableau 5 :</b> Tableau des normes des paramètres de pollution d'une eau potable. ....	10
<b>Tableau 6 :</b> Tableau des normes des substances toxiques d'une eau potable.....	11
<b>Tableau 7 :</b> Tableau des normes des paramètres bactériologiques d'une eau potable.	11
<b>Tableau 8 :</b> Qualité des eaux brutes.....	56

---

## Liste des figures

<b>Figure 1 :</b> Double couche d'une particule colloïdale.....	13
<b>Figure 2 :</b> Décanteur statique.....	19
<b>Figure 3 :</b> Schéma d'un filtre a sable .....	24
<b>Figure 4 :</b> Mécanisme de l'adsorption. ....	27
<b>Figure 5 :</b> Appareil de désinfection par Ultra Violets.....	45
<b>Figure 6 :</b> Domaine des eaux en fonction du pH et du TAC. ....	46
<b>Figure 7 :</b> Description du séchage solaire.....	54
<b>Figure 8 :</b> Schéma de la filière de traitement.....	78

---

---

# **Introduction Générale**

---

---

## Introduction générale

L'eau se trouve presque partout sur Terre, elle recouvre près des trois quarts de la superficie du globe et entre, pour 60% environ, dans la constitution des animaux, 80% dans celle des végétaux et est présente à hauteur de 70% dans le corps humain.

L'eau dont nous disposons dans la nature n'est pas directement utilisable pour la consommation humaine ni pour l'industrie car elle n'est pas suffisamment pure ; lors de sa circulation dans le sol, à la surface de la terre ou même dans l'air, l'eau se pollue et se charge de matières organiques et minérales en suspension ou en solution.

D'où l'importance primordiale de cerner les caractéristiques d'une eau, quelque soit son origine, afin de la rendre propre à la consommation humaine et ce en respectant des normes établies. Ces caractéristiques sont déterminées après une série d'analyses effectuées en amont du traitement.

Dans le cas présent, l'eau brute se caractérise par des teneurs élevées en certaines substances indésirables qui peuvent même s'avérer dangereuses, au-delà de certaines concentrations, pour la santé humaine. La présence simultanée de fer, de manganèse, d'arsenic et d'azote ajouté à cela une concentration élevée en matières organiques supposent un traitement poussé et un contrôle rigoureux. Donc, notre travail consiste à proposer des phases de traitement qui permettent d'éliminer les substances indésirables, ainsi que de dimensionner les ouvrages de la station de traitement. Ceci, en respectant les normes de potabilité en vigueur.

La première phase du traitement a pour objectif l'élimination simultanée du fer et de l'arsenic en aérant l'eau brute, puis retenir les hydroxydes formés sur des filtres à sables. En second lieu, l'élimination du manganèse est réalisée par l'ajout d'un oxydant fort, le permanganate de potassium en l'occurrence, ensuite piéger les hydroxydes de manganèse sur des filtres à sables. L'élimination des matières organiques, qui sont à l'origine des odeurs et du goût de l'eau, se fait par adsorption

sur charbon actif en grains. La dernière étape est la désinfection qui consiste à éliminer les germes pathogènes et les matières organiques résiduelles. Cette désinfection est réalisée par un désinfectant fort tel le chlore gazeux.

---

# **Partie I :**

Présentation de la société

---

## I.1. Présentation de la société

La société Cabinet Merlin est une entreprise familiale créée en 1922 par M. Marc Merlin. Elle regroupe environ 500 collaborateurs permanents, répartis dans toute la France au sein de 25 agences et de 11 filiales. Les agences sont regroupées en 6 régions, comportant chacune une Direction Régionale, le siège social du Cabinet étant situé à Lyon.

### I.1.1. Les activités du Cabinet Merlin

Au départ, l'activité principale du Cabinet Merlin était la Maîtrise d'œuvre pour la construction de réseaux d'eau potable et d'assainissement. Mais les activités se sont diversifiées et dorénavant, le Cabinet Merlin, ainsi que ses filiales, exercent des missions dans 6 domaines d'activités principaux :

- **Traitement des eaux** : production d'eau potable, dépollution des eaux usées, traitement des eaux industrielles, traitement des boues.
- **Infrastructures** : réseaux d'adduction d'eau potable, réseaux de collecte d'eaux usées, galeries, siphons, émissaires, ouvrages de stockage et de régulation, voiries, viabilisation, V.R.D (Voirie et Réseaux Divers).
- **Aménagements hydrauliques** : lutte contre les inondations, barrages, retenues, aménagements de rivières, irrigation, drainage, amélioration de la qualité des plans d'eau et des rivières, télégestion.
- **Déchets, énergies, air** : collectes traditionnelles, collectes sélectives, valorisation matière, décharges, déchetterie, tri sélectif, stations de transfert, valorisation énergétique, valorisation organique
- **Aménagements urbains** : installations sportives, parcs de stationnement, bâtiments publics, piscines.
- **Expertise de services publics** : audits techniques et réglementaires, assistance à la dévolution de contrats de délégation de services publics.

### **I.1.2. Les missions du Cabinet Merlin**

Dans chacun de ses domaines d'activité, le Cabinet Merlin assure, pour le compte de Collectivités Locales, plusieurs types de prestations :

- **Etudes préliminaires – audits – expertises** : consistent en des études de diagnostic, de faisabilité, de production, en la rédaction de dossiers d'autorisation et de schémas directeurs.
- **Assistance à Maîtrise d'ouvrage** : assistance administrative, technique et financière ; mise en place et contrôle technique et financier des services d'exploitation.
- **Maîtrise d'œuvre** : comprenant :
  - ❖ des études de conception, c'est à dire, la conception générale des ouvrages, le dimensionnement et l'estimation des coûts.
  - ❖ L'assistance pour la dévolution des travaux : ce qui inclut la rédaction de cahiers des charges, de spécifications et des marchés de travaux, la consultation des entreprises

---

---

## **Partie II :**

Aspects théoriques du traitement des eaux potables

---

---

## II.1. Eau potable

### II.1.1. Introduction

Une eau potable est une eau qu'on peut boire sans risque pour la santé. Afin de définir précisément une eau potable, des normes (AFNOR, OMS...) ont été établies. Ces dernières fixent notamment les teneurs limites à ne pas dépasser pour un certain nombre de substances nocives et susceptibles d'être présentes dans l'eau. Le fait qu'une eau soit conforme aux normes, c'est-à-dire potable, ne signifie donc pas qu'elle soit exempte de matières polluantes, mais que leur concentration a été jugée suffisamment faible pour ne pas mettre en danger la santé du consommateur.

Outre ces dernières caractéristiques, une eau potable doit être exempte de germes pathogènes (bactéries, virus) et d'organismes parasites, car les risques sanitaires liés à ces micro-organismes sont grands. Elle ne doit contenir certaines substances chimiques qu'en quantité limitée : il s'agit en particulier de substances qualifiées d'indésirables ou de toxiques, comme les nitrates et les phosphates, les métaux lourds, ou encore les hydrocarbures et les pesticides, pour lesquelles des " concentrations maximales admissibles " ont été définies. À l'inverse, la présence de certaines substances peut être jugée nécessaire comme les oligo-éléments indispensables à l'organisme.

### II.1.2. Caractérisation de l'eau potable

Les principales caractéristiques d'une eau potable sont les suivantes [10]:

- **Température** : Il est important de connaître la température d'une eau puisque les équilibres physiques et chimiques en solution aqueuse en dépendent: la solubilité des sels et surtout des gaz, la dissociation des sels dissous et par là même la conductivité électrique, le pH. L'eau distribuée ne doit pas dépasser 25°C au delà, les risques de contaminations bactériennes et virales augmentent
- **pH** : L'eau peut être soit acide, soit neutre, soit alcaline mais pour une eau potable, on considère les valeurs comprises entre 7 et 8,5 comme acceptable et comme limites extrêmes les valeurs 6,5 et 9.

- **Turbidité :** La turbidité est due à la présence de matières en suspension (argiles, plancton, débris organiques...). Elle est mesurée à l'aide d'un turbidimètre. Les unités généralement utilisées sont :
  - Unité JTU (Jackson Turbidity Unit)
  - Unité FTU (Formazine Turbidity Unit)
  - Unité NTU (Nephelometric Turbidity Unit)

L'eau potable ne doit pas dépasser 1NTU.

- **Couleur :** La couleur de l'eau peut provenir de substances minérales comme le fer ou le manganèse et/ou de substances organiques. Les substances organiques comprennent généralement des algues, des protozoaires et des produits naturels provenant de la décomposition de la végétation (substances humiques, tanins, lignine). Il ne faut pas confondre couleur et turbidité. La couleur est très préjudiciable pour l'esthétique.
- **Odeur :** Dans l'eau, diverses molécules sont responsables des odeurs. Elles proviennent essentiellement de la dégradation des composés azotés ou soufrés : amines, ammoniacale. Mais la molécule qui pose le plus de problème est généralement l'hydrogène sulfuré ( $H_2S$ ), qui possède une odeur caractéristique d'oeuf pourri
- **Saveur :** La saveur de l'eau est due à de nombreuses molécules et ne révèle pas si l'eau est polluée ou non mais c'est l'une des principales préoccupations formulées par les utilisateurs à l'égard de l'eau qui leur est fournie.
- **conductivité électrique :** La conductivité électrique d'une eau est la conductance d'une colonne d'eau comprise entre deux électrodes métalliques de  $1cm^2$  de surface et séparées l'une de l'autre de 1cm. Etroitement liée à la concentration des substances dissoutes et à leur nature, elle varie de quelques  $\mu S/cm$  à environ  $3000\mu S/cm$ . Une eau de bonne qualité a, à une température de  $20^\circ C$ , une conductivité inférieure ou égale à  $400 \mu S/cm$ .
- **Taux alcalimétrique complet TAC :** Le taux alcalimétrique complet traduit l'alcalinité d'une eau. Il permet de connaître la quantité d'hydroxydes, de carbonates ou d'hydrogénocarbonates. La connaissance de la valeur de ce paramètre est essentielle pour l'étude de l'agressivité d'une eau. Le TAC est

exprimé en degrés français (°F) ou en milliéquivalent par litre avec la correspondance suivante :  $1^{\circ}\text{F} = 0,2 \text{ méq/l}$ . Le TAC d'une eau potable ne doit pas être inférieur à  $2,5^{\circ}\text{F}$ .

- **Taux hydrométrique TH :** Le taux hydrométrique correspond à la quantité des ions calcium  $\text{Ca}^{2+}$  et magnésium  $\text{Mg}^{2+}$  présents dans l'eau, ce paramètre nous renseigne sur la dureté d'une eau. Le TH est exprimé en degrés français avec  $1^{\circ}\text{F} = 10 \text{ mg/l}$  de carbonate de calcium  $\text{CaCO}_3$ . Le tableau suivant donne la qualité d'une eau en fonction de la valeur du TH.

**Tableau 1 :** Qualité de l'eau en fonction de la valeur du TH

Eau	Eau douce	Eau calcaire	Eau dure
TH (°F)	0 à 15	15 à 25	Au-delà de 25

- **Indice permanganate :** L'indice permanganate ou oxydabilité au permanganate de potassium est défini comme étant la quantité de matières organiques oxydables présentes dans l'eau. Il est exprimé en milligrammes d'oxygène par litre d'eau. Pour les eaux potables l'indice permanganate doit être de  $5\text{mg/l}$ .
- **Carbone organique total COT :** Le carbone organique total est la quantité de carbone due à la présence de matières organiques dans l'eau. L'origine de ces matières est liée aux activités industrielles, agricoles ainsi qu'aux activités naturelles (substances humiques). Les directives relatives à la qualité des eaux destinées à la consommation humaine imposent des teneurs en COT ne dépassant pas  $2\text{mg/l}$ .
- **Oxygène dissous :** C'est la quantité d'oxygène, exprimée en  $\text{mg/l}$ , présent dans l'eau. L'eau saturée d'air, à  $20^{\circ}\text{C}$  et sous la pression normale contient  $9,1\text{mg/l}$  d'oxygène. Les directives concernant l'eau destinée à la consommation préconisent que les niveaux d'oxygène dissous soient maintenus aussi près que possible de la saturation.

- **Résidus secs** : Ce sont les solides dissous et les solides en suspension qui restent après évaporation à 105°C.
- **Matières en suspension MES** : La mesure des matières en suspension fournit la quantité de substances non dissoutes présentes dans l'eau.
- **Potentiel électronique rH<sub>2</sub> ou potentiel d'oxydo-réduction** : Le rH<sub>2</sub> ou potentiel électronique est une mesure qui indique, pour un pH donné, l'état d'oxydation ou de réduction d'une solution.

0 ≤ rH<sub>2</sub> < 28 : milieu réducteur

rH<sub>2</sub> = 28 : milieu neutre

rH<sub>2</sub> > 28 : milieu oxydant

### II.1.3. Normes de potabilité d'une eau

Les normes de potabilité d'une eau destinée à la consommation humaine, concernant les paramètres organoleptiques, physico-chimiques, les substances indésirables et toxiques et les paramètres bactériologiques sont rapportées sur les tableaux ci-dessous :

#### II.1.3.1. Les paramètres organoleptiques

La turbidité, la couleur, l'odeur et la saveur représentent les paramètres organoleptiques d'une eau. Les normes des différentes caractéristiques, rapportées sur le tableau ci-dessous, sont des valeurs maximales admissibles pour une eau potable.

**Tableau 2** : Tableau des normes des paramètres organoleptiques d'une eau potable.

Paramètre organoleptique	Unité	Norme OMS	Norme CEE
<b>Turbidité</b>	NTU	5	2
<b>Couleur</b>	mg/l échelle P <sub>v</sub> /C <sub>0</sub>	25	15
<b>Odeur</b>	Seuil de perception à 25°C	4	2
<b>Saveur</b>	Seuil de perception à 25°C	4	2

### II.1.3.2. Les paramètres physico-chimiques

Les paramètres physico-chimiques, caractérisant une eau potable, sont reproduits sur le tableau suivant :

**Tableau 3** : Tableau des normes physico-chimiques d'une eau potable.

<b>Paramètres physico-chimiques</b>	<b>Unité</b>	<b>Normes OMS</b>	<b>Normes CEE</b>
<b>Température</b>	°C	≤25	≤25
<b>pH</b>	-	6,5-8,5	6,5-9
<b>Conductivité</b>	μS/cm	2800	1000
<b>TAC</b>	°F	≥2,5	≥2,5
<b>TH</b>	°F	≤15	≤15
<b>Résidus secs</b>	mg/l après séchage	max 2000	max 1500
<b>Sodium</b>	mg/l	200	150
<b>Potassium</b>	mg/l	20	12
<b>Sulfates</b>	mg/l	200	200
<b>Chlorures</b>	mg/l	200	200
<b>Oxydabilité au KMnO<sub>4</sub></b>	mg/l	500	5
<b>Oxygène dissous</b>	mg/l	5	5
<b>COT</b>	mg/l	5	2

### II.1.3.3. Les substances indésirables

Les substances indésirables contenues dans l'eau destinée à la consommation ne présentent aucun danger pour la santé humaine, mais dépassant un certain seuil, elles peuvent provoquer des désagréments d'ordre esthétique ou organoleptique. Les teneurs maximales admissibles de ces substances sont données par le tableau suivant :

**Tableau 4 :** Tableau des normes des substances indésirables une eau potable

<b>Paramètres indésirables</b>	<b>Unité</b>	<b>Normes OMS</b>	<b>Normes CEE</b>
<b>Fer total</b>	µg/l	300	200
<b>Manganèse</b>	µg/l	500	50
<b>Aluminium</b>	mg/l	0,2	0,2
<b>Cuivre</b>	mg/l	5	1
<b>Zinc</b>	mg/l	5	5
<b>Argent</b>	mg/l	15	10
<b>Fluor</b>	mg/l	5	1,5

#### II.1.3.4. Les paramètres de pollution

La pollution des eaux est due à plusieurs facteurs dont l'activité industrielle, l'activité agricole, le déversement des effluents domestiques et industriels etc. Les normes imposent les teneurs maximales admissibles des paramètres de pollution suivantes :

**Tableau 5 :** Tableau des normes des paramètres de pollution d'une eau potable.

<b>Paramètres de pollution</b>	<b>Unité</b>	<b>Normes OMS</b>	<b>Normes CEE</b>
<b>Nitrates NO<sub>3</sub><sup>-</sup></b>	mg/l	max 50	max 50
<b>Nitrites NO<sub>2</sub><sup>-</sup></b>	mg/l	max 0,1	max 0,1
<b>Ammonium NH<sub>4</sub><sup>+</sup></b>	mg/l	max 0,5	max 0,1
<b>Phosphate PO<sub>4</sub><sup>3-</sup></b>	mg/l	max 0,5	max 0,5

### II.1.3.5. Les substances toxiques

Les substances toxiques présentes dans l'eau peuvent s'avérer très dangereuses pour la santé humaine si elles dépassent certaines teneurs détaillées sur le tableau suivant :

**Tableau 6 :** Tableau des normes des substances toxiques d'une eau potable.

Substance toxique	Unité	Normes OMS	Normes CEE
<b>Arsenic</b>	µg/l	50	10
<b>Plomb</b>	µg/l	50	50
<b>Cadmium</b>	µg/l	5	5
<b>Mercure</b>	µg/l	1	1
<b>Chrome total</b>	µg/l	50	50
<b>Nickel</b>	µg/l	50	50

### II.1.3.6. Les paramètres bactériologiques

Une eau potable doit être exempte de tout germe pathogène et de tout virus pouvant présenter un danger pour la santé du consommateur.

**Tableau 7 :** Tableau des normes des paramètres bactériologiques d'une eau potable.

Paramètres bactériologiques	Unité	Normes OMS	Normes CEE
<b>Germe pathogènes</b>	Nbr/ml	0	0
<b>Coliformes totaux</b>	Nbr/ml	0	0
<b>Colibacilles</b>	Nbr/ml	0	0
<b>Streptocoques fécaux</b>	Nbr/ml	0	0
<b>Clostridium sulfite-réducteurs</b>	Nbr/ml	0	0

## **II.2. Coagulation-floculation**

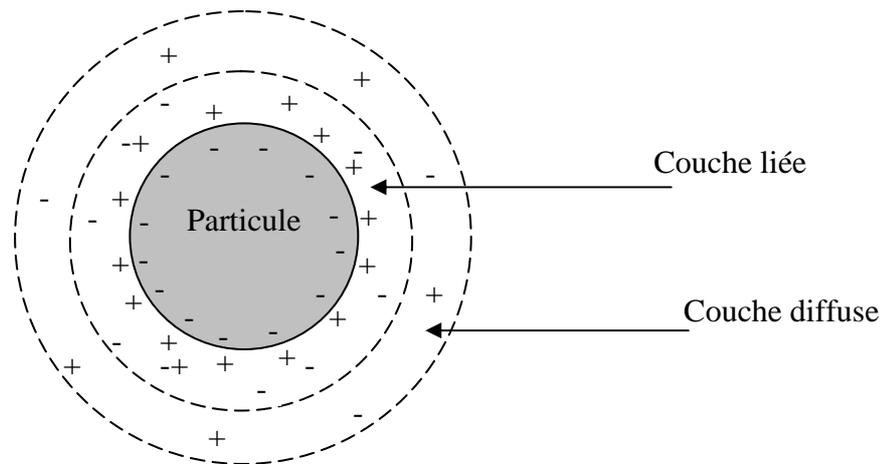
### **II.2.1. Introduction**

La turbidité de l'eau est principalement causée par des particules très petites, appelées particules colloïdales qui peuvent rester en suspension dans l'eau. Ces particules n'ont pas tendance à s'accrocher les unes aux autres à cause de leur concentration stable. On a alors recours aux procédés de coagulation et de floculation pour éliminer les matières en suspension (MES) qui sont soit de nature minérale (argiles, limons, sables...) soit de nature organique (produits de décomposition de matières végétales...). L'élimination des substances dissoutes nécessite pour chaque espèce un traitement spécifique.

La coagulation a pour but principal de déstabiliser les MES en facilitant leur agglomération. Ce procédé consiste dans l'injection de produits chimiques. La floculation a pour objectif de favoriser le contact entre les particules déstabilisées. Ces particules s'agglutinent pour former un floc qu'on peut facilement éliminer par d'autres procédés qu'on définira ultérieurement.

### **II.2.2. Les colloïdes**

Les colloïdes sont des particules qui décantent très lentement, ils sont à l'origine de la couleur et de la turbidité de l'eau. Ces particules sont caractérisées par deux points essentiels : d'une part, elles ont un diamètre très faible compris entre 1  $\mu\text{m}$  et 1nm, d'autre part, elles ont la particularité d'être chargées électronégativement engendrant des forces de répulsion intercolloïdales. Les colloïdes proviennent de la dissolution de substances minérales, de l'érosion, de la décomposition des matières organiques, des déchets agricoles et le déversement des eaux résiduaires.



**Figure 1:** Double couche d'une particule colloïdale.

Les particules colloïdales sont soit hydrophiles, soit hydrophobes. Les premières se dispersent spontanément. Par contre, la dispersion des particules hydrophobes n'étant pas spontanée, on doit la faciliter par des moyens chimiques. En général, peu de colloïdes sont exclusivement hydrophiles ou hydrophobes. La différence se fait sur la présence ou non de groupement de type hydrophile qui introduiront un degré d'hydratation plus ou moins important.[6]

### II.2.3. Coagulation

La coagulation est le phénomène de déstabilisation des particules colloïdales, consistant en la neutralisation de leurs charges électriques, par addition de réactifs chimiques appelés coagulants, généralement des sels métalliques (de fer et d'aluminium). Elle permet de supprimer les répulsions intercolloïdales : Les cations métalliques se lient aux colloïdes et les neutralisent, ce qui permet la rencontre de ces derniers.

#### **II.2.4. Les facteurs influençant la coagulation**

Afin d'optimiser la coagulation, il faut tenir compte de plusieurs paramètres comme le PH, les sels dissous, la température de l'eau, le coagulant utilisé, la turbidité et la couleur. Toutefois, on ne peut pas définir des concentrations optimales des coagulants. [6]

##### **Influence du PH :**

Le PH est le paramètre le plus important à prendre dans le procédé de la coagulation. Pour chaque eau, il y a un intervalle de PH pour lequel la coagulation a lieu rapidement qui est fonction du coagulant utilisé, de sa concentration et de la composition de l'eau à traiter. Pour les sels de fer et d'aluminium, les plages de PH s'étendent de 4 à 6 et de 5 à 7 respectivement. Dans certains cas, il est plus avantageux d'augmenter la quantité du coagulant pour abaisser le PH.

##### **Influence des sels dissous :**

Les sels contenus dans une eau exercent les influences suivantes sur la coagulation :

- Modification de la plage de PH optimal ;
- Modification de la quantité de coagulant requis ;
- Modification de la quantité résiduelle de coagulant ;

##### **Influence de la température de l'eau :**

L'influence de la température n'est pas bien définie mais il a été observé que lorsque l'eau est froide, les floccs se décantent plus difficilement. Car, la diminution de la température entraîne une augmentation de la viscosité.

##### **Influence du coagulant :**

Le choix du coagulant peut influencer les caractéristiques de la coagulation, même si les sels de fer et d'aluminium sont les coagulants les plus utilisés, il peut être plus avantageux de les remplacer par le sulfate ferrique. Ce dernier offre plusieurs intervalles de PH, de plus pour un même PH le sulfate ferrique est moins soluble que ces sels.

**Influence du mélange :**

Au cours de la coagulation, on procède au mélange des produits chimiques en deux étapes. Premièrement, on effectue un mélange rapide qui a pour but principal de diffuser les produits dans la totalité du volume d'eau à traiter. Deuxièmement, le mélange se fait plus lentement et a pour objectif de favoriser le contact entre les floccs.

**Influence de la turbidité :**

La turbidité de l'eau est causée par la présence de particules assez grosses pouvant se décanter naturellement, la coagulation de ces particules est donc assez facile à réaliser en maintenant le PH dans sa plage optimale.

**II.2.5. Les coagulants utilisés**

Les principaux coagulants utilisés pour déstabiliser les particules colloïdales et pour produire un flocc sont : [5]

- Le sulfate d'aluminium  $Al_2(SO_4)_3$  ;
- L'aluminate de sodium  $NaAlO_2$  ;
- Le chlorure d'aluminium  $AlCl_3$  ;
- Le chlorure ferrique  $FeCl_3$  ;
- Le sulfate ferrique  $Fe_2(SO_4)_3$  ;
- Le sulfate ferreux  $FeSO_4$  ;
- Le sulfate de cuivre  $CuSO_4$  ;
- La chaux  $Ca(OH)_2$ .

Pour attaquer la structure des particules colloïdales et favoriser la création d'un système moins stable susceptible d'être précipité, on utilise parfois un certain nombre de corps tels que :

- L'ozone  $O_3$  ;
- Les composés chlorés  $Cl_2$  ou  $ClONa$  ;
- Le permanganate de potassium  $KMnO_4$  ;

### II.2.6. Floculation

Après avoir été déstabilisées par le coagulant, les particules colloïdales s'agglomèrent lorsqu'elles entrent en contact. C'est le phénomène de floculation. L'agglomération des colloïdes est favorisée soit par floculation péricinétique définie comme étant la différence de vitesse des particules appelé mouvement brownien soit par floculation orthocinétique qui est une agitation mécanique de l'eau.

### II.2.7. Les flocculants utilisés :

Les flocculants, appelés aussi adjuvants de floculation, sont destinés à favoriser l'agglomération des particules, constituées en floccs après coagulation, afin qu'elles précipitent. On distingue les flocculants d'après leur nature (minérale ou organique), leur origine (naturelle ou synthétique) ou le signe de leur charge électrique (anionique ou cationique).

Les principaux flocculants sont :

- **La silice activée** : la silice activée est le premier flocculant utilisé, elle peut donner les meilleurs résultats lorsqu'elle est employée conjointement avec le sulfate d'aluminium. Elle est constituée d'une solution d'acide polysilicique  $(\text{H}_2\text{SiO}_3)_4$  provenant de la polymérisation de l'acide silicique. Parmi les autres flocculants minéraux utilisés, on peut citer : certaines argiles, le blanc de Meudon ou le carbonate de calcium précipité et le sable fin.
- **Polymères organiques** : ce sont des molécules chimiques fabriquées à partir de produits naturels : les alginates (extraits d'algues), les amidons (extraits de graines végétales) et certains dérivés de la cellulose. Mais, leur utilisation dans le traitement des eaux destinées à la consommation fait l'objet de règlements sanitaires.
- **Polymères synthétiques** : on distingue les polyacrilamides (polymères anioniques) et les polyamines (polymères cationiques). Les premiers sont utilisés à la fois dans la clarification des eaux et la déshydratation des boues, alors que les polyamines sont employés exclusivement dans la clarification.

Aucune règle ne permet de prévoir lequel des flocculants peut donner les meilleurs résultats, il est donc nécessaire de faire des essais au laboratoire. Dans le cas de la clarification des eaux, le choix est à faire entre un flocculant anionique et un flocculant cationique. Si le PH est neutre et en présence de grandes quantités de matières organiques, on expérimente les flocculants cationiques.

### **II.2.8. Mise en œuvre de la coagulation-floculation**

Deux paramètres doivent être pris en considération lors du dimensionnement d'un traitement de coagulation-floculation : la quantité des réactifs à ajouter et la vitesse d'agitation du milieu réactionnel. Ces paramètres sont à déterminer en fonction de l'eau traitée mais dans ce domaine, il n'existe pas de règle ou de formule de dimensionnement : aussi ces valeurs ne peuvent être déterminées que de façon empirique et par des essais sur échantillons au laboratoire.

### **II.2.9. Le jar-test**

La détermination de ces grandeurs au laboratoire est réalisée par un appareil appelé jar-test, il consiste en une rangée de béchers alignés sous un appareillage qui permet de les agiter tous à la même vitesse. Les différents béchers ayant reçu une dose différente de réactif et à la fin de l'expérience, on détermine quels sont les couples quantité de réactif / vitesse et temps d'agitation qui permettent d'obtenir l'eau la plus limpide, les floccs les plus gros et les mieux décantés. Concernant la vitesse d'agitation, on sait que la coagulation nécessite une vitesse d'agitation plutôt rapide afin de permettre la rencontre des colloïdes et des cations métalliques alors que la floculation une vitesse relativement faible afin de favoriser l'agrégation des colloïdes sans détruire les floccs déjà formés.

## II.3. Décantation

### II.3.1. Introduction

La décantation est un procédé de séparation des matières en suspension et des colloïdes rassemblés en floc suite à l'étape de coagulation-floculation. Si la densité de ces floccs est supérieure à celle de l'eau, ceux-ci décantent grâce à la force de gravité. Dans le cas contraire, les particules flottent à la surface de l'eau.

### II.3.2. Décantation

Toute particule présente dans l'eau est soumise à trois forces : la force de pesanteur qui permet la chute de cette particule et la force de frottement due à la traînée du fluide qui s'oppose au mouvement de chute et poussée d'Archimède.

Stokes a établi une loi qui permet de calculer la vitesse de chute d'une particule dans l'eau :

$$V_p = \frac{g(\rho_p - \rho_{eau})d^2}{18\eta}$$

Où

$g$  : accélération gravitationnelle

$V_p$  : vitesse de chute de la particule

$\rho_p$  : masse volumique de la particule

$\rho_{eau}$  : masse volumique de l'eau

$d$  : diamètre apparent de la particule

$\eta$  : viscosité dynamique de l'eau

La vitesse de chute des particules présentes dans l'eau peut être influencée en agissant sur certains paramètres tels que l'augmentation de leur diamètre par le procédé de la floculation, la modification de leur densité par l'emploi de microsables injecté en tête du décanteur et l'augmentation de la température de l'eau, ce qui a pour conséquence de diminuer sa viscosité et ainsi favoriser la décantation des floccs. [2]

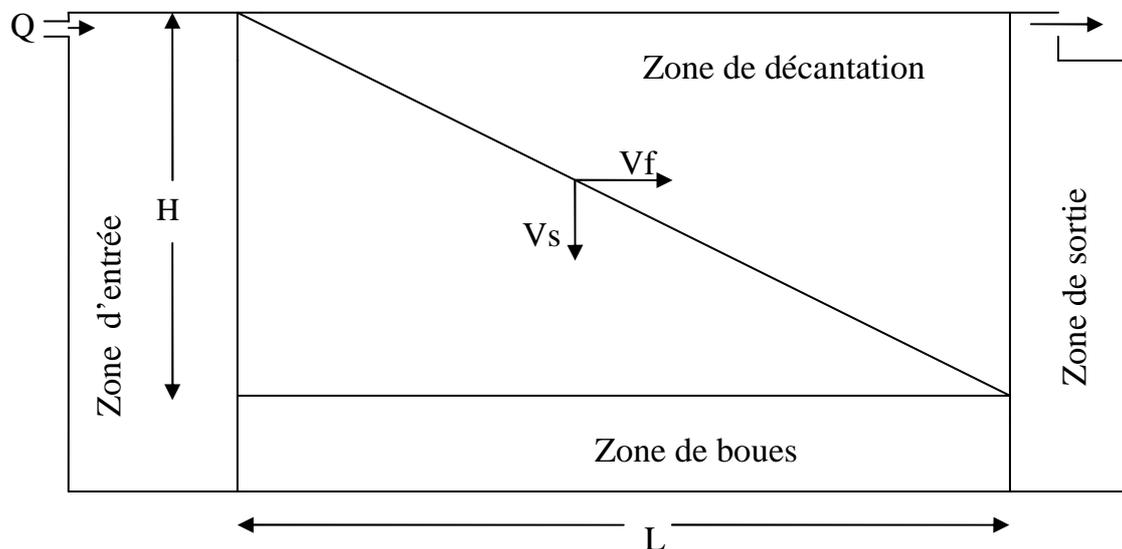
### II.3.3. Les différents types de décantation

Il existe plusieurs types de décantation dont voici les principales :

#### II.3.3.1. Décantation statique

Le principe dans la décantation statique est que les particules atteignent le fond du décanteur avant de sortir.

Cette décantation se fait sur un décanteur rectangulaire à flux horizontal, les particules étant considérées indépendantes et tombant à leur propre vitesse. L'écoulement doit être laminaire sans turbulences ni courants.



**Figure 2 :** Décanteur statique.

- $L$  : longueur effective du décanteur ;
- $H$  : profondeur totale de la zone de décantation ;
- $A$  : aire de la section longitudinale ;
- $A'$  : aire de la section transversale ;
- $V_f$  : vitesse horizontale de l'eau ;
- $V_s$  : vitesse de chute de la particule ;

On peut définir les zones suivantes :

1. Zone d'entrée : zone à l'intérieur de laquelle le débit est uniformément distribué à travers la section A' ;
2. Zone de décantation : à l'intérieur de laquelle a lieu la décantation dite tranquille
3. Zone de sortie : où a lieu l'évacuation de l'eau décantée.

### **II.3.3.2. Décantation lamellaire**

Afin de disposer de décanteurs de faible surface et admettant de forts débits, des lamelles, des tubes ou même des modules hexagonaux faisant un angle  $\alpha$  par rapport à l'horizontale ont été ajoutés aux décanteurs classiques.

Trois possibilités de circulation de l'eau et des boues, dans ce type de décanteurs, existent. En effet, si l'eau à traiter et les boues circulent dans le même sens, il s'agit d'une circulation à co-courant. Une circulation en sens contraire donne un décanteur à contre courant et une circulation mixte conduit à un décanteur à courant croisé.

Lors du fonctionnement de ces décanteurs, la boue s'accumule sur les lamelles ce qui engendre des vitesses de surverse importantes conduisant à la dégradation des performances de décantation. Donc, des systèmes d'extraction des boues doivent être prévus en utilisant des pompes à forts débits qui permettent une chasse par aspiration.

### **II.3.3.3. Décantation à contact des boues**

Dans ce type de décantation, les particules entrent en contact les unes avec les autres puis reposent au fond de l'ouvrage. En traitement des eaux de consommation, on combine la floculation et la décantation dans un appareil unique tel que le Circulator (qui utilise une recirculation des boues) ou le Pulsator (qui comporte un voile de boue au sein duquel la concentration en MES est élevée), qui permettent l'obtention de réactions complètes avec des précipités denses. On peut augmenter la vitesse de circulation de l'eau qui permet d'obtenir une eau décantée de bonne qualité et ceci quelle que soient la turbidité de l'eau brute et la nature du traitement.

Les systèmes de décantation à contact de boues permettent d'améliorer la floculation et d'utiliser au mieux la quantité de réactif introduit.

## **II.4. Filtration**

### **II.4.1. Introduction**

La filtration est un procédé qui permet de clarifier une eau contenant des solides en suspension en la faisant passer à travers un milieu poreux ou média filtrant constitué d'un matériau granulaire. La filtration, généralement précédée des traitements de coagulation-floculation et de décantation, permet d'obtenir une bonne élimination des bactéries, de la couleur, de la turbidité et certains goûts et odeurs.

Les matériaux utilisés pour la filtration doivent être composés de granulés inertes non adhérents les uns aux autres, insolubles, inattaquables ni par l'eau filtrée ni par les solides retenus et résistants aux phases de lavage.

### **II.4.2. Filtration lente**

La filtration lente a pour but le traitement de eaux de surface sans décantation ni coagulation préalable. La coagulation des particules colloïdales est réalisée par des enzymes sécrétées par des algues et des micro-organismes qui se fixent sur le sable. La filtration lente donne de très bons résultats de clarification si l'eau est peu chargée en matières en suspension et que la vitesse de filtration est faible. Néanmoins, dès que l'eau devient chargée, ce procédé s'avère inefficace. [6]

### **II.4.3. Filtration rapide**

La filtration rapide s'effectue à des vitesses très importantes qui peuvent atteindre 50 m/h. Il existe trois modes de filtration rapide :

1. filtration directe, où l'eau ne subit aucun apport de réactif ;
2. filtration avec coagulation de l'eau non décantée au préalable ;
3. filtration de l'eau coagulée et décantée ;

#### II.4.4. Les différents types de filtres

Pour le traitement des eaux potables, les filtres les plus utilisés sont :

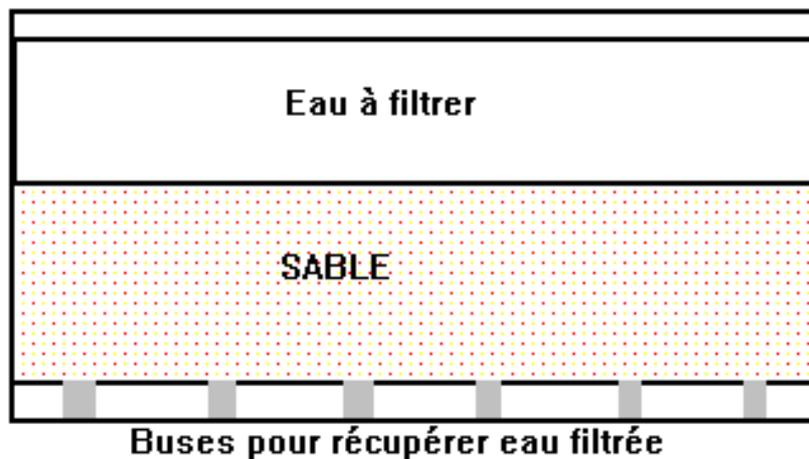
- ✓ **Les filtres à sable rapides** : Ces filtres sont les plus utilisés dans le traitement des eaux de consommation. L'écoulement de l'eau se fait de haut en bas et le matériau filtrant est maintenu en place par gravité. Le lavage du filtre s'effectue en inversant le sens de l'écoulement de l'eau : le milieu filtrant est en expansion et les impuretés, moins denses que les grains de sable, sont décollées et évacuées vers l'égout à l'aide de goulottes de lavage. Ce type de filtre doit être précédé par un traitement de coagulation-floculation car il élimine difficilement les particules non absorbées par le floc.

Les principaux éléments d'un filtre rapide sont :

- ❖ **Le fond du filtre** : C'est la structure qui sépare le milieu filtrant de l'eau filtrée. Il doit être suffisamment solide pour supporter le milieu filtrant (1m de sable et de gravier). Ce fond permet d'une part, de collecter et d'évacuer les eaux filtrées et d'autre part, de distribuer uniformément l'eau de lavage.
  - ❖ **Gravier de support** : Il est situé immédiatement au-dessus du fond de filtre. Son rôle est de retenir le sable du milieu filtrant et d'améliorer la répartition de l'eau de lavage dans le filtre.
  - ❖ **Milieu filtrant** : Les matériaux filtrants les plus utilisés sont le sable et l'antracite.
- ✓ **Les filtres à sable lents** : Ces filtres sont construits de telle façon que l'eau traverse lentement une couche de sable fin et que les particules les plus grosses soient arrêtées à la surface du sable. Les avantages des filtres lents sont multiples : ils permettent de ne pas recourir à la coagulation, la disponibilité du sable et leur construction simple.
  - ✓ **Les filtres à sable sous pression** : Ces filtres fonctionnent selon les mêmes principes que les filtres rapides, sauf que les couches de sable et de gravier ainsi que leur réseau de drainage sont situés sur des cylindres verticaux ou

horizontaux. Ces cylindres sont conçus pour résister à des pressions de l'ordre de 1MPa. Ces filtres présentent beaucoup d'inconvénients :

- L'addition de produits est difficile à réaliser sous pression ;
- L'eau ne peut pas être observée lors de la filtration ;
- Il est difficile d'examiner, de nettoyer et de remplacer le sable sous pression ;



**Figure 3** : Schéma d'un filtre a sable

#### II.4.5. Colmatage des filtres

L'écoulement de l'eau à travers un média filtrant entraîne une perte d'énergie, due au frottement des particules de sable et des substances contenues dans l'eau, elle est mesurée par la perte de charge ou chute de pression, que subit l'eau.

Quand le lit est propre, la perte de charge est liée à la perméabilité du lit filtrant selon la loi de Darcy :

$$Q = K * A * \frac{\Delta H}{L}$$

Avec :

Q : Débit de l'eau

A : Aire de la couche filtrante

$\Delta H$  : Chute de la pression à travers la couche filtrante

L : Epaisseur de la couche filtrante

K : Coefficient de perméabilité

Au cours de la filtration, le lit se colmate plus ou moins rapidement et la perte de charge augmente. Au bout d'un temps plus ou moins long d'utilisation, le filtre s'encrasse sur toute sa hauteur. Le filtre ne peut plus stocker de matières en suspension et il peut, éventuellement, les relarguer dans l'eau filtrée. Il a donc atteint sa capacité de stockage maximum : c'est la crevaision du filtre.

#### **II.4.6. Lavage des filtres**

Lorsque la perte de charge ou la turbidité de l'eau atteignent des valeurs maximales, on procède au lavage des filtres en injectant de l'eau par le fond, le milieu filtrant prend alors de l'expansion et libère les particules arrêtées par le filtre. Ces particules, moins denses que les grains de sable, sont aisément entraînées vers les goulottes de lavage. Il est important de rappeler que si l'eau de lavage est injectée brusquement dans un filtre, la couche de sable peut être soulevée au-dessus de la couche de gravier, ce qui provoque le déplacement de ce dernier.

Il existe deux modes de lavage des filtres :

##### **II.4.6.1. Lavage à l'eau et à l'air**

On injecte simultanément de l'air et de l'eau par le fond du filtre, l'eau entraîne les impuretés vers les goulottes de lavage alors que l'air assure un brassage suffisant pour décoller ces impuretés.

##### **II.4.6.2. Lavage à l'eau seule**

Lorsqu'on lave un filtre à l'eau seule, le brassage est assuré par des laveurs de surface, qui peuvent être soit fixes ou rotatifs. Chaque type de laveur envoie de jets de 3mm de diamètre faisant un angle de 15 à 30° avec l'horizontale.

**II.4.7. Durée de lavage**

Au cours du lavage la turbidité de l'eau qui se déverse par les goulottes baisse progressivement. La durée habituelle du lavage est d'environ 15 minutes et la consommation d'eau qu'exige ce lavage ne devrait pas dépasser 2,5% de l'eau produite.

**II.4.8. Rinçage**

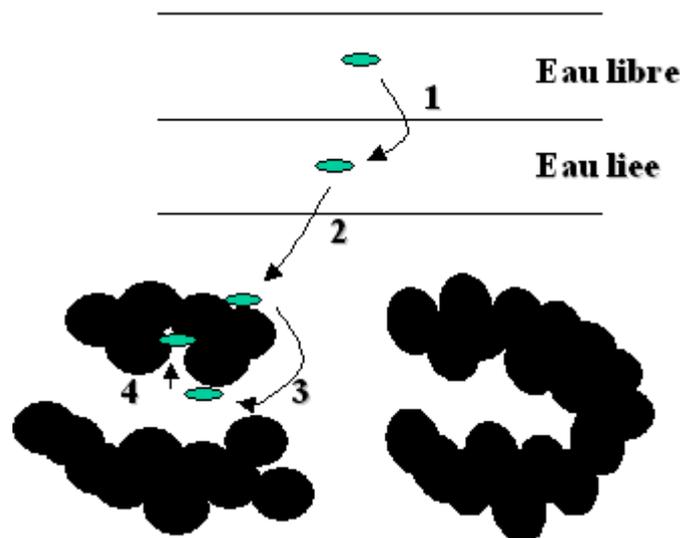
Certains filtres sont équipés de façon à permettre le rejet de l'eau filtrée à l'égout, quelques minutes après le retour à la phase de filtration. Le but de cette manœuvre est de débarrasser le lit filtrant des eaux de lavage dont il est encore saturé et qui pourraient parvenir au bassin d'eau filtrée.

## II.5. Adsorption sur charbon actif

### II.5.1. Introduction

Le charbon actif fait partie d'une gamme de substances présentant une très grande porosité et une surface spécifique importante de l'ordre de 500 à 1500m<sup>2</sup> par gramme de charbon. Ces qualités confèrent au charbon actif un grand pouvoir d'adsorption. L'adsorption sur charbon actif est utilisée dans le traitement des eaux potables pour fixer les matières organiques dissoutes, les pesticides et pour éliminer le carbone organique dissous. [2]

### II.5.2. Phénomène d'adsorption



**Figure 4 :** Mécanisme de l'adsorption.

L'adsorption sur charbon actif peut être définie comme la transformation de la phase liquide contenant la matière organique en phase solide avec rétention des solutés à la surface du charbon actif.

Ce processus comporte plusieurs étapes :

- 1) Transfert de la particule de la couche externe d'hydratation vers la couche interne.
- 2) Déplacement de l'eau liée jusqu'au contact du charbon.

- 3) Diffusion à l'intérieur du charbon actif sous l'influence du gradient de concentration.
- 4) Adsorption dans les micropores du charbon actif.

Le niveau d'activité de l'adsorption est basé sur la concentration de la substance dans l'eau, la température et la polarité de la substance. Une substance non polaire (soluble dans l'eau) ne peut pas ou est très mal supprimée par le charbon actif, alors qu'une substance polaire peut être totalement supprimée par le charbon actif. L'adsorption est moins efficace contre les solvants polaires et les composés chlorés avec une faible charge moléculaire. [2]

### **II.5.3. Charbon actif en poudre**

Le charbon actif en poudre est un réactif pulvérulent de granulométrie très fine. Il est placé en tête de filière au niveau du décanteur pour lutter contre la pollution par les pesticides et les matières toxiques diverses.

### **II.5.4. Charbon actif en grains**

Le charbon actif en grains est utilisé pour l'élimination des micropolluants organiques et de la matière organique. L'élimination du carbone organique dissous fait appel aux phénomènes d'adsorption et de biodégradation, elle est rendue possible par la présence d'une biomasse colonisatrice de la surface du charbon.

En outre, le charbon actif en grains permet la nitrification de l'ammonium, la réduction des oxydants chlorés et de certains sous-produits de désinfection.

Le charbon actif en grains est placé en deuxième étage de filtration en aval du sable. Sa hauteur est comprise entre 1 et 2m avec des vitesses de filtration variant de 8 à 15m/h. le lavage des filtres à charbon actif est similaire à celui des filtres à sable, néanmoins il faut prévoir une hauteur de garde suffisante entre le niveau supérieur du matériau et les goulottes d'évacuation des eaux sales à cause de l'expansion du charbon.

### II.5.5. Description du processus

L'eau est pompée dans une colonne qui contient du charbon actif, cette eau quitte la colonne à travers un système drainant. L'activité de la colonne de charbon actif dépend de la température des substances. L'eau passe à travers la colonne continuellement, ce qui entraîne une accumulation des substances sur le filtre d'où son remplacement périodique. Un filtre utilisé peut être régénéré de différentes manières, le charbon actif en grains est régénéré en oxydant la matière organique, son efficacité diminue alors de 5 à 10%.

### II.5.6. Régénération du charbon actif

Comme le charbon actif est un produit très coûteux, il n'est pas intéressant de remplacer le charbon actif saturé. Donc, la régénération s'impose comme solution alternative.

Le charbon actif peut être régénéré par trois méthodes :

1. **Régénération à la vapeur** : cette méthode est limitée au charbon n'ayant fixé que quelques produits volatils. Toutefois, l'application de la vapeur peut être intéressante pour décolmater la surface des grains et stériliser le charbon.
2. **Régénération thermique** : cette régénération se fait par combustion des substances organiques adsorbées.
3. **Régénération biologique** : ce mode de régénération est très peu utilisé. [4]

## II.6. Elimination du fer et du manganèse

### II.6.1. Introduction

Le fer et le manganèse sont des oligo-éléments indispensables à l'organisme humain, ils ne présentent donc aucun danger pour la santé. Néanmoins, ce sont des substances indésirables qui présentent des désagréments d'ordre esthétique et organoleptique. [2]

### II.6.2. Elimination du fer

#### II.6.2.1. Elimination physico-chimique

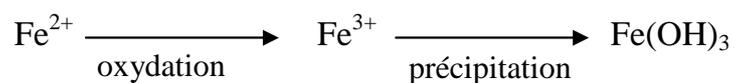
Le fer se présente sous trois états d'oxydation à l'état naturel :

- ❖ 0 : fer natif rencontré dans les mines
- ❖ +2 : fer ferreux existant sous forme dissoute  $Fe^{2+}$
- ❖ +3 : fer ferrique se présentant sous forme précipité  $Fe(OH)_3$

L'élimination physico-chimique du fer se fait par la transformation de sa forme dissoute en un précipité que l'on peut retenir dans un décanteur ou sur un filtre à sable.

Cette élimination est obtenue en élevant le potentiel rédox par simple aération.

Le processus se déroule en deux étapes :



La réaction globale de précipitation du fer est la suivante :



L'étape de précipitation par oxydation chimique peut aussi être réalisée à l'aide d'oxydants plus forts tels que le dioxyde de chlore  $ClO_2$ , l'ozone  $O_3$  ou le permanganate de potassium  $KMnO_4$ .

### II.6.2.2. Elimination biologique du fer

La déferrisation des eaux destinées à la consommation peut aussi être effectuée par voie biologique en utilisant les propriétés du métabolisme des ferrobactéries aérobies autotrophes. Ce procédé est réalisé sur des filtres à sable, dont les grains sont colonisés par des souches bactériennes spécifiques du fer. Ces micro-organismes sont très répandus dans la nature, en particulier dans les eaux souterraines. Un apport d'oxygène doit être réalisé en amont du filtre, afin de favoriser le développement des bactéries et en aval pour revenir à un taux d'oxygène normal dans l'eau après sa consommation par les bactéries. [2]

Dans le cas d'une simple déferrisation, les paramètres de dimensionnement à considérer sont les suivants : une vitesse de filtration comprise entre 20 et 40m/h, une taille effective du sable de 1,35mm en sachant que la teneur maximale du fer doit être d'environ 30mg/l. [2]

La déferrisation biologique présente plusieurs avantages en comparaison aux procédés classiques :

- ❖ **Augmentation des vitesses de filtration** : il faut assurer un renouvellement fréquent des ions  $Fe^{2+}$  au voisinage des cellules bactériennes pour permettre une oxydation rapide du fer. Ceci va permettre d'autoriser des vitesses de passage sur le filtre plus importantes que dans le cas d'une déferrisation physico-chimique. Avec des charges hydrauliques plus élevées, la compacité des ouvrages peut être optimisée.
- ❖ **Suppression de réactifs** : la déferrisation biologique ne nécessite aucun ajout de produits chimiques supplémentaires (oxydant, coagulant/floculant,...) puisque la zone d'activité des ferrobactéries est proche de celle de l'eau brute. Une simple aération de l'eau suffit. De plus, l'ajout de produits chimiques est incompatible avec un traitement biologique.
- ❖ **Grande capacité de rétention de fer et économie d'eau de lavage**: la quantité de fer retenue par cycle de filtration est largement supérieure à celle d'une déferrisation physico chimique. La quantité d'eau utilisée pour le lavage du filtre est donc plus faible.

- ❖ **Traitement des boues facilité** : Les boues produites de la déferrisation biologique sont facilement déshydratables, ce qui est intéressant si une filière de traitement des boues est mise en oeuvre.

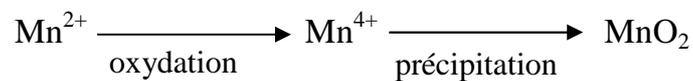
### II.6.3. Elimination du manganèse

#### II.6.3.1. Elimination physico-chimique du manganèse

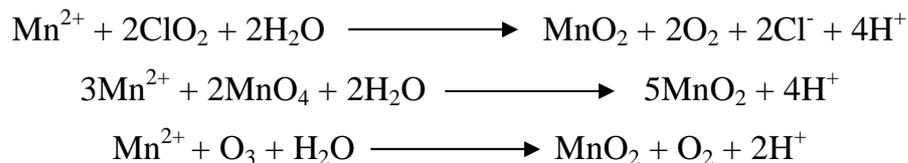
Dans l'eau, le manganèse se présente sous les formes suivantes :

- ❖ L'ion manganeux  $Mn^{2+}$  sous forme dissoute
- ❖ Le sesquioxyde de manganèse  $Mn_2O_3$  sous forme de précipité
- ❖ L'ion manganique  $Mn^{4+}$  sous forme dissoute et de précipité de dioxyde de manganèse  $MnO_2$

L'élimination du manganèse par voie physico-chimique, peut s'effectuer par une oxydation de l'ion manganeux  $Mn^{2+}$  en  $Mn^{4+}$  qui précipite ensuite en dioxyde de manganèse  $MnO_2$ . Le précipité est ensuite séparé de l'eau par filtration sur sable ou par décantation.



L'oxydation de l'ion manganeux s'effectue par l'ajout d'oxydants forts tels le dioxyde de chlore  $ClO_2$ , le dichlore  $Cl_2$ , le permanganate de potassium  $KMnO_4$  ou l'ozone  $O_3$ . Il est à noter que la démanganisation peut être réalisée sur les mêmes ouvrages que la déferrisation.



Une économie d'oxydant chimique est réalisée si, avant l'oxydation, on effectue une aération ce qui permet aux substances facilement oxydables (fer bivalent, hydrogène sulfuré....) de s'oxyder par aération et non par oxydant chimique. [2]

Si une eau présente à la fois du fer et du manganèse, il faut séparer le traitement en deux étapes successives. La première est réglée pour éliminer le fer tandis que la deuxième servira à l'élimination du manganèse en tenant compte de la différence de vitesse de filtration qu'il faudra adopter pour chacun des traitements. Des valeurs de 40m/h sont préconisées pour la déferrisation et de la moitié pour la démanganisation.

[2]

## II.7. Elimination de l'azote

### II.7.1. Introduction

L'azote existe principalement sous forme ionique à savoir l'ammonium  $\text{NH}_4^+$ , les nitrites  $\text{NO}_2^-$  et les nitrates  $\text{NO}_3^-$ . Ces substances sont considérées comme indésirables, mais au-delà d'une certaine concentration, elles peuvent être dangereuses pour l'environnement et la santé humaine. Leur origine est l'utilisation massive des engrais, les déversements industriels et le rejet des eaux résiduaires urbaines.

### II.7.2. Elimination de l'ammonium

#### II.7.2.1. Elimination physico-chimique de l'ammonium

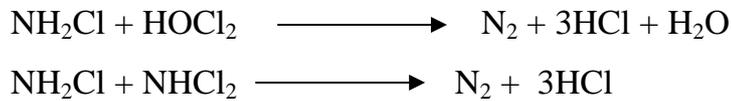
L'oxydant utilisé pour éliminer l'ammonium présent dans l'eau est le chlore et ses dérivés. L'acide hypochloreux  $\text{HOCl}$  ou l'ion hypochlorite  $\text{ClO}^-$  oxydent l'azote ammoniacal en diazote par une suite de réactions qui mènent dans un premier temps à la formation de chloramines.

Le pourcentage d'hydroxyde d'ammonium et d'ammonium dans l'eau dépend du pH et de la température. En effet, plus le pH est faible et la température élevée plus le pourcentage d'ions ammonium augmente dans l'eau. De même, plus le pH est faible plus la proportion de  $\text{HOCl}$  est grande lorsqu'on introduit du chlore dans l'eau. [5]

Ainsi, il en résulte les réactions suivantes :



En fait, plus le pH est faible et plus la dose de chlore est élevée, plus le degré de substitution est élevé. Les précipités formés sont instables en présence d'un excès d' $\text{HOCl}$  et conduisent à la formation de l'azote  $\text{N}_2$  selon les réactions :



### II.7.2.2. Elimination biologique de l'ammonium

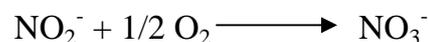
Le procédé visant à éliminer l'ammonium par voie biologique, appelé nitrification, consiste à transformer l'ammonium en nitrites puis en nitrates par oxydation, en utilisant des bactéries spécifiques autotrophes. Ce procédé nécessite un apport important d'oxygène. [2]

La nitrification se décompose en deux étapes principales car elle est réalisée par des genres bactériens différents :

- ❖ La nitritation : transformation de l'ammonium en nitrites sous l'influence de bactéries appelées *Nitrosomonas*



- ❖ La nitratisation : transformation de l'ammonium en nitrates par d'autres bactéries appelées *Nitrobacter*



La réaction globale de la nitrification de l'ammonium est donc la suivante :



Les conditions optimales au développement de ces bactéries sont : [15]

- ✓ Concentration en oxygène dissous suffisante, ces bactéries étant aérobies strictes.
- ✓ Ensemencement naturel assez long (1 à 3 mois) pour obtenir la pleine efficacité du procédé.
- ✓ Température pas trop basse puisque la nitrification est fortement ralentie au dessous de 10°C et totalement inhibée à 5°C.
- ✓ pH optimal de l'eau de 7 à 8,5,
- ✓ Teneur en bicarbonates (TAC) suffisante, ces bactéries étant autotrophes (c'est-à-dire qu'elles utilisent un substrat minéral pour se développer).
- ✓ Ces microorganismes ont donc besoin en théorie de 3,56grammes d'oxygène par gramme d'ammonium à oxyder.

## II.8. Elimination de l'arsenic

### II.8.1. Introduction

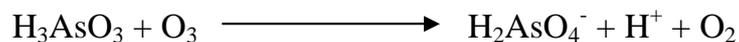
L'arsenic peut se trouver dans l'environnement sous quatre degrés d'oxydation : l'arsine As(-III), l'arsenic métallique As(0), l'arsénite As(III) et l'arséniate As(V). Ainsi, il est important de pouvoir pondérer la concentration totale en arsenic dans un milieu donné par sa spéciation car en découle la solubilité, la biodisponibilité et la toxicité de l'arsenic. On classe les dérivés d'arsenic en deux familles distinctes : les composés purement minéraux ou inorganiques (composés les plus répandus dans l'eau) et les composés organométalloïdiques. [9]

### II.8.2. Oxydation à l'air

As(III) peut s'oxyder en As(V) en présence de l'oxygène de l'air mais cette réaction est longue. Des recherches ont mis en évidence un phénomène d'oxydation de 54% d'As(III) en As(V) par l'air, à 20°C, au bout de 5 jours, dans une eau souterraine contenant 46 à 62 µg/l d'arsenic total dont plus de 70% se trouvent sous forme d'As(III). L'oxydation à l'oxygène pur n'améliore que peu le rendement d'oxydation de l'As(III). La cinétique d'oxydation à l'air est accélérée en présence d'ions  $Mn^{2+}$  mais également d'ions  $Cu^{2+}$  à pH 11,2. L'oxydation de l'As(III) en As(V) est donc une réaction trop lente pour être utilisée dans une unité de traitement des eaux. [9]

### II.8.3. Oxydation à l'ozone $O_3$

La réaction d'oxydation est la suivante :



La cinétique d'oxydation de l'As(III) est d'autant plus rapide que la concentration en  $O_3$  est importante. Le pH ainsi que la température n'ont pas d'effet sur l'efficacité de l'oxydation par l'ozone.

#### II.8.4. Oxydation à l'hypochlorite de sodium NaOCl

L'hypochlorite de sodium est très utilisé pour l'oxydation de l'As(III) en As(V), principalement en raison de son faible coût.

La réaction d'oxydation est la suivante :



Malgré son fort pouvoir oxydant, l'utilisation de l'hypochlorite de sodium en pré-oxydation dans les petites unités de production d'eau potable n'est pas conseillée à cause de la production de trihalométhanes (THM) en présence de matières organiques. Cependant, le NaOCl peut être utilisé pour l'oxydation de l'As(III) dans le cas des eaux souterraines, qui ont des concentrations faibles en carbone organique. Le fer, le manganèse et le carbone organique total (COT) n'ont pas d'influence sur l'efficacité de l'oxydation de l'As(III) en As(V) par l'hypochlorite de sodium. [9]

#### II.8.5. Oxydation au permanganate de potassium KMnO<sub>4</sub>

Le KMnO<sub>4</sub> est très utilisé comme oxydant vis-à-vis de l'As(III).

La réaction d'oxydation est la suivante :



Le KMnO<sub>4</sub> est donc un oxydant efficace vis-à-vis de l'As(III) mais il présente l'inconvénient d'être difficile à manipuler (très corrosif, coloration violette persistante).

### II.8.6. Oxydation au chlorure ferrique FeCl<sub>3</sub>

Le chlorure ferrique a fait l'objet de nombreuses études concernant l'oxydation de l'As(III). L'équilibre redox impliquant Fe<sup>3+</sup> est le suivant :



Le faible rapport stœchiométrique, la stabilité de ce produit ainsi que son faible coût font du FeCl<sub>3</sub> l'oxydant le plus performant, du point de vue de l'oxydation de l'As(III) en As(V). Cependant, la présence d'ions interférents (SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, Cl<sup>-</sup> ou NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) peut poser problème, de même que la génération de boues arséniées qui doivent être retraitées.

### II.8.7. Elimination biologique de l'arsenic

L'oxydation de l'arsénite As(III) en arséniate As(V) est généralement réalisée en utilisant des oxydants chimiques mais depuis quelques années, des traitements biologiques sont utilisés pour oxyder ou éliminer différents polluants rencontrés dans les eaux. L'oxydation de l'As(III) en As(V) dans l'environnement est davantage liée aux conditions microbiologiques du milieu qu'à une oxydation chimique généralement assez lente. [9]

L'oxydation bactérienne de l'As(III) en As(V) peut s'effectuer de deux manières différentes :

- 1) Une oxydation indirecte de l'As(III) en As(V) par des bactéries ferro-oxydantes ou manganèse oxydantes pour lesquelles la présence d'oxyhydroxydes de fer ou de manganèse permet l'oxydation de l'arsenic.
- 2) Une oxydation directe de l'As(III) par des bactéries hétérotrophes, autotrophes ou mixotrophes. Certaines bactéries tirent leur énergie de cette réaction et sont qualifiées de chimiolithotrophes.

### II.8.8. Oxydation indirecte de l'arsenic

L'oxydation indirecte de l'As(III) en As(V) est engendrée par les oxydes formés au cours de la déferrisation ou de la démanganisation biologique.

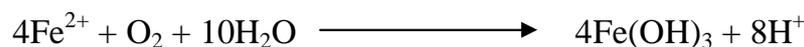
Ainsi, le mécanisme d'élimination biologique du manganèse en présence d'arsenic est le suivant :

- Oxydation biologique de  $Mn^{2+}$  en  $Mn^{4+}$  par les bactéries manganèse-oxydantes
- Oxydation biologique de As(III) en As(V) par  $H_2O_2$  produit par une enzyme de type peroxydase produite par les bactéries manganèse-oxydantes
- Précipitation des oxydes de  $Mn^{4+}$
- Oxydation de l'As(III) et adsorption de l'As(V) par les oxydes de manganèse

Cette oxydation biologique de l'As(III) et de  $Mn^{2+}$  pourrait s'avérer être très intéressante, notamment dans le cas des eaux présentant de fortes teneurs en arsenic et en manganèse.

Dans le cas d'une déferrisation biologique, l'oxydation biologique et l'élimination de l'As(III) peut se décrire de la façon suivante :

- ✓ Oxydation biologique de  $Fe^{2+}$  en hydroxydes par les bactéries ferro-oxydantes suivant la réaction :



- ✓ Oxydation biologique de l'As(III) en As(V) en milieu aérobie
- ✓ Adsorption de l'As(III) non oxydé sur les hydroxydes de fer formés

Dans un procédé de déferrisation biologique, les bactéries ferro-oxydantes, initialement présentes, oxydent le fer qui va ensuite précipiter avec l'arsenic au sein d'un filtre à sable. L'activité oxydante des bactéries ferro-oxydantes est liée au maintien d'un potentiel rédox relativement élevé. [9]

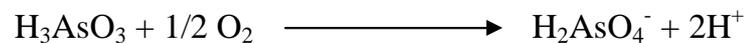
## II.8.9. Oxydation bactérienne directe de L'arsenic

### II.8.9.1 Oxydation par des bactéries hétérotrophes

Des microorganismes bactériens hétérotrophes résistant à des hautes teneurs en arsenic ont été identifiés dès 1918, en Afrique du Sud, dans des bacs destinés à la désinfection du bétail.

Il s'agit de bactéries du type *Bacillus arsenoxidans*, probablement une bactérie du genre *Achromobacter*. Parmi les espèces présentes, certaines étaient capables d'oxyder l'As(III) en As(V). En 1954, il fut découvert que l'oxydation de l'arsénite est liée à la synthèse d'une enzyme soluble nommée deshydrogénase. L'activité de cette enzyme semble être couplée au transport d'électrons jusqu'à l'oxygène. [9]

Pour ces bactéries, qui requièrent une source carbonée pour leur croissance et leur besoin énergétique, l'oxydation de l'arsenic est considérée comme un mécanisme de détoxification et la réaction mise en jeu est la suivante :



## **II.9. Désinfection**

### **II.9.1. Introduction**

La désinfection est un traitement visant à éliminer les micro-organismes pathogènes, les bactéries et les germes présents dans l'eau. En potabilisation des eaux, la désinfection est assurée par des oxydants chimiques tels que le chlore  $\text{Cl}_2$ , le dioxyde de chlore  $\text{ClO}_2$ , l'ozone  $\text{O}_3$ , et dans certains cas par un procédé physique comme le rayonnement Ultra Violet.

### **II.9.2. Principe de désinfection**

Le taux de destruction des micro-organismes par un désinfectant est lié à plusieurs paramètres : concentration du désinfectant, temps de contact, nombre et type des micro-organismes à éliminer, température et pH de l'eau. Il n'existe pas de loi mathématique qui permet de calculer le taux de destruction des micro-organismes en tenant compte de tous ces paramètres. C'est pourquoi, on doit d'abord effectuer des mesures au laboratoire avant d'opter pour une désinfection quelconque puis procéder à des vérifications concernant l'eau à traiter afin de déterminer la concentration du désinfectant à appliquer.

### **II.9.3. Choix du désinfectant**

Le désinfectant à utiliser est choisi en fonction des caractéristiques et la destination de l'eau à traiter et le type de micro-organismes à éliminer.

En général, la désinfection se fait à l'aide du chlore car il présente plusieurs avantages, mais dans certains cas, il peut s'avérer insuffisant pour éliminer certains micro-organismes très résistants comme les virus et les protozoaires. Afin de remédier à ces carences, on utilise le dioxyde de chlore ou l'ozone qui toutefois, présentent l'inconvénient d'être instables.

#### II.9.4. Désinfection par le chlore

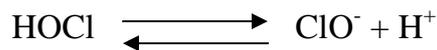
Les produits les plus utilisés pour obtenir une désinfection des eaux par le chlore sont : le chlore gazeux  $\text{Cl}_2$ , l'hypochlorite de sodium  $\text{NaOCl}$ , l'hypochlorite de calcium  $\text{Ca}(\text{OCl})_2$  et le dioxyde de chlore  $\text{ClO}_2$ . Le chlore gazeux est le plus utilisé pour le traitement des eaux destinées à la consommation humaine.

Le chlore réagit rapidement dans l'eau pour former de l'acide hyperchloreux  $\text{HOCl}$ , qui est le produit actif dans la désinfection.

La réaction du chlore gazeux dans l'eau se fait selon l'équation suivante :



qui est suivie de la réaction secondaire :



L'effet bactéricide du chlore étant plus grand lorsqu'il se trouve sous la forme  $\text{HOCl}$ , il est donc plus efficace dans un milieu acide qu'en milieu alcalin.

#### II.9.5. Désinfection par le dioxyde de chlore

Le dioxyde de chlore est un gaz de couleur jaune et possède une odeur piquante. Il doit être utilisé de préférence au chlore lorsque l'eau à traiter présente des traces de phénol susceptible de combiner avec le chlore et de donner à l'eau un goût désagréable de chlorophénol.

On utilise le dioxyde de chlore pour son pouvoir oxydant élevé, grâce auquel on peut éliminer les goûts, les odeurs, le fer et le manganèse présents dans l'eau. Le dioxyde de chlore est employé principalement lorsque l'eau à traiter contient beaucoup de matière organique. En effet, il permet de la désinfecter et de l'oxyder et d'éliminer les goûts et les odeurs. Lorsqu'une fraction importante de la matière organique est éliminée ou oxydée, on effectue une post chloration qui permet de maintenir une concentration résiduelle du chlore.

### II.9.6. Désinfection par l'ozone

L'ozone est un gaz de couleur bleue dont les principales caractéristiques physiques sont :

- Masse molaire : 48g/mole
- Densité par rapport à l'air : 1,657
- Masse volumique à 0°C : 2,143Kg/m<sup>3</sup>

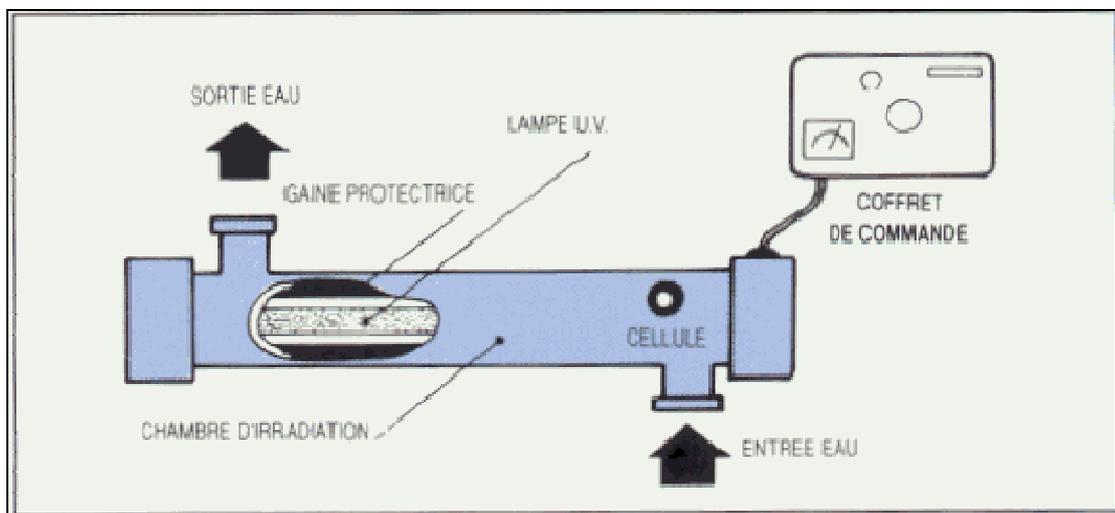
L'ozone est un gaz instable composé de molécules d'oxygène triatomique O<sub>3</sub>. Son pouvoir oxydant très élevé le rend intéressant pour le traitement des eaux. En effet, il permet de réduire la couleur, les goûts et les odeurs, d'oxyder les ions ferreux et manganés solubles en hydroxydes insolubles. [5]

La quantité d'ozone que nous devons ajouter à l'eau pour obtenir une bonne désinfection varie en fonction de la présence des matières organiques et inorganiques dans l'eau à traiter. Tout comme pour le chlore, nous devons maintenir une certaine concentration résiduelle après un temps de contact déterminé.

### II.9.7. Désinfection par rayonnement Ultra Violet

Les rayons Ultra Violets font partie des radiations non visibles émises par le soleil, de longueur d'onde comprise entre 100 et 400 nanomètres. Seuls les UVC (longueur d'onde : 200 à 280 nm) ont un effet germicide : ils détruisent les bactéries, virus, champignons, levures et algues en agissant directement sur des composés cellulaires essentiels.

La désinfection par Ultra Violets se fait à l'aide d'un appareil composé d'une chambre d'irradiation, à l'intérieur de laquelle l'eau est au contact avec des lampes à UV. Contrairement à la désinfection par le chlore et ses dérivés, une eau traitée par Ultra Violets ne contient pas une dose résiduelle de produits désinfectants. On peut donc craindre une dégradation de la qualité microbiologique des eaux en aval du traitement sur le réseau des distributions.



**Figure 5 :** Appareil de désinfection par Ultra Violets

## II.10. Equilibre calco-carbonique

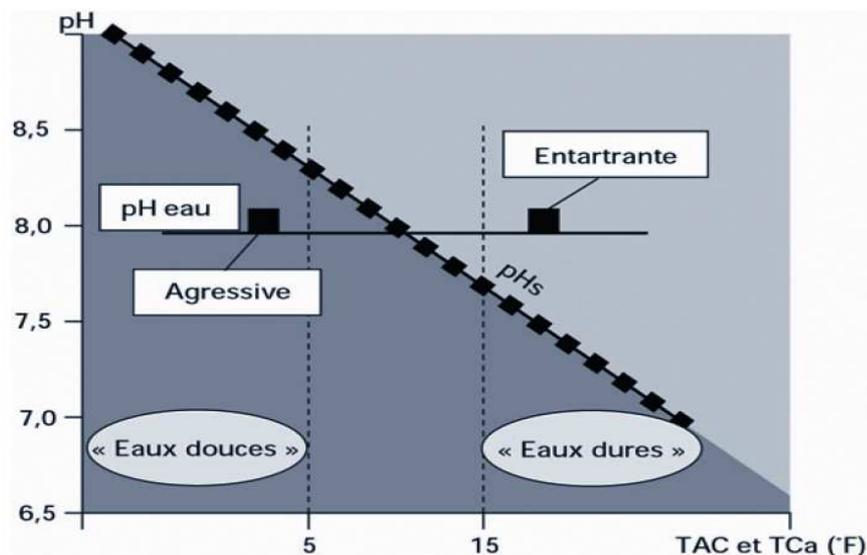
### II.10.1. Introduction

Toutes les eaux contiennent en quantité plus ou moins importante, de l'acide carbonique, des ions hydrogénocarbonates et carbonates. Toutes ces espèces chimiques sont interdépendantes, il s'agit de l'équilibre calco-carbonique. Ce dernier permet de caractériser les phénomènes de corrosion ou d'entartrage dans les réseaux de distribution.

Le comportement d'une eau dépend du fait qu'elle soit ou non équilibrée, celle qui est entartrante ou incrustante provoque le colmatage des canalisations par dépôt calcaire et celle qui est agressive ou corrosive attaque la couche calcaire des tuyaux et par la suite, la paroi des conduites. [2]

Les eaux peuvent donc être classées en fonction de la valeur de leur pH par rapport à leur pH de saturation :

- Si le pH est supérieur au pH d'équilibre, les eaux ont tendance à déposer du  $\text{CaCO}_3$ , elles sont dites entartrantes ;
- Si le pH est inférieur au pH d'équilibre, les eaux ont tendance à dissoudre du carbonate de calcium, elles sont dites agressives ;



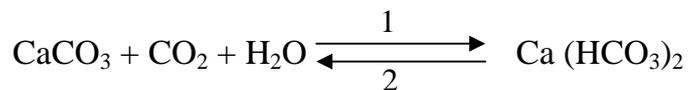
**Figure 6 :** Domaine des eaux en fonction du pH et du TAC.

### II.10.2. Equilibre CO<sub>2</sub>-eau

Le gaz carbonique apparaît dans les eaux sous trois formes :

- . la forme non dissociée (gaz dissous) H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>
- . ion bicarbonate HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>
- . ion carbonate CO<sub>3</sub><sup>-</sup>

Ces formes coexistent en quantités interdépendantes, il en résulte la réaction d'équilibre suivante :



Le carbonate de calcium CaCO<sub>3</sub> est insoluble alors que le dihydrogénocarbonate de calcium Ca (HCO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> est soluble. L'équilibre des ces deux espèces est fonction de la teneur en CO<sub>2</sub> dans l'eau défini comme concentration en CO<sub>2</sub> équilibrant. Si la concentration en CO<sub>2</sub> libre est supérieure à celle du CO<sub>2</sub> équilibrant, le sens 1 est prédominant en vertu de la loi de l'action de masse. Le CO<sub>2</sub> en excédent attaque la couche calcaire présente dans les canalisations, l'eau est donc agressive. Dans le cas contraire, le manque de dioxyde de carbone favorise le sens 2. Une partie du Ca (HCO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> se dépose en calcaire et augmente la teneur en CO<sub>2</sub> libre, l'eau est, dans ce cas, entartrante ou incrustante. [2]

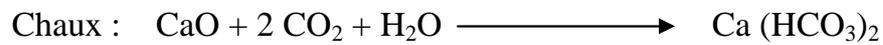
### II.10.3. Traitement des eaux agressives

#### II.10.3.1. Neutralisation

Ce traitement est réservé aux eaux dont le CO<sub>2</sub> libre est en excès. Il se situe en fin de filière pour mettre l'eau à l'équilibre afin d'atteindre le pH optimal. Il faut consommer le CO<sub>2</sub> agressif et augmenter le TAC, pour cela deux procédés sont possibles :

- 1) l'aération : la teneur en gaz carbonique chute ce qui entraîne la l'augmentation du pH tout en maintenant l'alcalinité constante.

- 2) la neutralisation chimique par addition de chaux vive, de soude ou par filtration sur calcaire : les équations de réaction sont les suivantes :



Un tel traitement augmente le pH et l'alcalinité. Tout excès de chaux entraîne une réaction d'adoucissement et par conséquent un dépôt de calcaire.

### **II.10.3.2. Reminéralisation-recarbonatation**

Le but de ce traitement est d'augmenter le TAC de l'eau pour permettre la formation de la couche protectrice au niveau du réseau de distribution. Ce traitement est préconisé pour les eaux très douces ou issues d'une filière de dessalement. La méthode la plus répandue est l'injection de CO<sub>2</sub> et de chaux.

### **II.10.4. Traitement des eaux incrustantes**

#### **II.10.4.1. Réduction de l'alcalinité**

Les eaux alcalines présentent un TAC élevé et un déficit en CO<sub>2</sub> libre, d'où la nécessité d'ajouter du dioxyde de carbone ou de consommer l'alcalinité mais l'injection de gaz carbonique reste la solution la plus simple.

### II.10.4.2. Adoucissement par décarbonatation

Il s'agit d'un traitement concernant les eaux à fort titre hydrométrique accompagné d'un TAC élevé. La décarbonatation se fait à l'aide de chaux, l'addition de ce réactif provoque les réactions chimiques suivantes :



L'élimination de la dureté bicarbonate calcique ou magnésienne s'effectue par la formation de précipités de carbonate de calcium et de magnésium.

## **II.11. Traitement des boues**

### **II.11.1. Introduction**

Les boues produites lors du traitement des eaux potables se présentent au départ sous forme liquide et avec une forte charge en matière organique hautement fermentescible. Ces deux caractéristiques sont gênantes quelle que soit la destination des boues et imposent la mise en place d'une filière de traitement, c'est-à-dire une suite organisée de procédés qui agissent de façon complémentaire. L'objectif du traitement des boues est de diminuer leur teneur en eau afin qu'elles soient acheminées soit vers les centres d'enfouissement technique (CET) soit vers les décharges.

Il existe plusieurs traitements de boues dont voici les principaux :

### **II.11.2. Epaissement**

L'épaississement vise à augmenter la siccité (teneur en matière sèche) des boues sans pour autant modifier le caractère liquide de la boue. Cet épaississement peut se faire simplement par voie gravitaire dans un concentrateur ou par des moyens mécaniques (égouttage, flottation ou centrifugation). La siccité des boues épaissies ne dépasse pas usuellement 7 % en moyenne. Généralement, les boues épaissies gravitairement ne sont pas conditionnées et leur siccité plafonne à 3 ou 3,5%.

#### **II.11.2.1. Epaissement par égouttage**

Pour obtenir des boues pouvant être pompées, il est possible d'avoir recours à l'égouttage naturel. Pour cela, il faut que la boue soit préalablement conditionnée de manière à modifier les forces de cohésion interne de la boue et augmenter artificiellement la taille des particules. Le conditionnement qui a pour but de rendre la boue drainable, s'effectue en général à l'aide de polyélectrolytes.

Il existe différents systèmes :

- Tambour
- Poches filtrantes
- Grille ou table d'égouttage

Toutefois ces systèmes, s'ils présentent l'avantage d'être compacts, rapides et de donner de bonnes performances, présentent des inconvénients importants :

- consommation importante de polymères ;
- mauvaise qualité des égouttures ;
- consommation énergétique importante ;

#### **II.11.2.2. Epaissement par flottation**

Par opposition à la décantation, la flottation est un procédé de séparation dynamique liquide-solide ou liquide-liquide qui s'applique à des particules dont la masse volumique est inférieure à celle du liquide qui les contient.

On distingue plusieurs types de flottation :

- naturelle : lorsque la différence de masse volumique est suffisante pour avoir la séparation des particules solides de l'eau.
- assistée : si l'on met en oeuvre des moyens extérieurs pour améliorer cette séparation.
- provoquée : lorsque, artificiellement, on réduit la masse volumique de la particule, à l'origine plus élevée que celle du liquide.

Ce type de flottation utilise l'aptitude de certaines particules solides à s'unir à des bulles de gaz pour former des attelages particule - gaz. Le phénomène mis en oeuvre est donc triphasique : gaz-liquide-solide.

#### **II.11.3. Déshydratation**

La déshydratation, qui correspond en fait à une augmentation forte de siccité, modifie l'état physique des boues, celles-ci passant de l'état liquide à l'état pâteux ou solide. Les filtres à bandes et les centrifugeuses (à noter que les centrifugeuses donnent selon leur réglage des boues liquides ou pâteuses) donnent des boues plutôt pâteuses en raison de performances de déshydratation qui plafonnent à 18-20 % de siccité pour la première famille de matériels, et 20-25 % de siccité pour la seconde.

Les filtres-presses produisent par contre des boues de structure solide (30 à 35 % de siccité) car conjuguant un conditionnement au lait de chaux et des pressions

élevées. Ces matériels sont réservés aux installations les plus importantes, car plus coûteux et contraignants d'emploi que les filtres à bande et les centrifugeuses. Des perfectionnements technologiques sont régulièrement enregistrés.

### **II.11.3.1. Déshydratation par centrifugation**

La centrifugation consiste à appliquer une force centrifuge sur les particules d'une suspension boueuse pour provoquer leur décantation accélérée, aboutissant à l'obtention de deux phases : le sédiment (ou culot de centrifugation) et le centrifugat (liquide surnageant).

L'alimentation ainsi que l'évacuation du centrifugat et du sédiment sont continues. Les centrifugeuses se composent d'un bol cylindro-conique tournant à grande vitesse, à l'intérieur duquel tourne, à une vitesse légèrement différente, une vis hélicoïdale d'extraction. Les centrifugeuses actuelles fonctionnent à plus de 3000 tours/min. La centrifugation nécessite une boue préalablement flocculée mais non nécessairement épaissie.

Certains produits abrasifs (chaux, sable) peuvent accélérer l'usure du bol de la centrifugeuse. La centrifugation permet d'obtenir des siccités entre 15 et 25 % en général, ce qui peut nécessiter un chaulage ultérieur important selon le type de débouché envisagé.

### **II.11.3.2. Déshydratation par filtres à bandes presseuses**

La boue flocculée est égouttée sur une première toile par drainage libre favorisé par l'action de rouleaux et de herse, avant d'être prise en compression progressive (inférieure à 2 bars) sous une deuxième toile (ou un tambour). L'essorage ainsi obtenu est amélioré par un effet de cisaillement produit par le cheminement des toiles sur des rouleaux très rapprochés. Enfin, un module de pressage supplémentaire (jusqu'à 10 bars) est parfois adapté afin d'optimiser la siccité finale du gâteau. En fin de traitement, des couteaux permettent de décoller le gâteau des toiles qui seront nettoyées par lavage à l'eau claire sous pression (6 à 8 bars).

Ce procédé nécessite une surveillance régulière pour le nettoyage des toiles et la surveillance du bon fonctionnement du filtre (risque de débordement de la boue sur les cotés des toiles qui ne sont pas fermées).

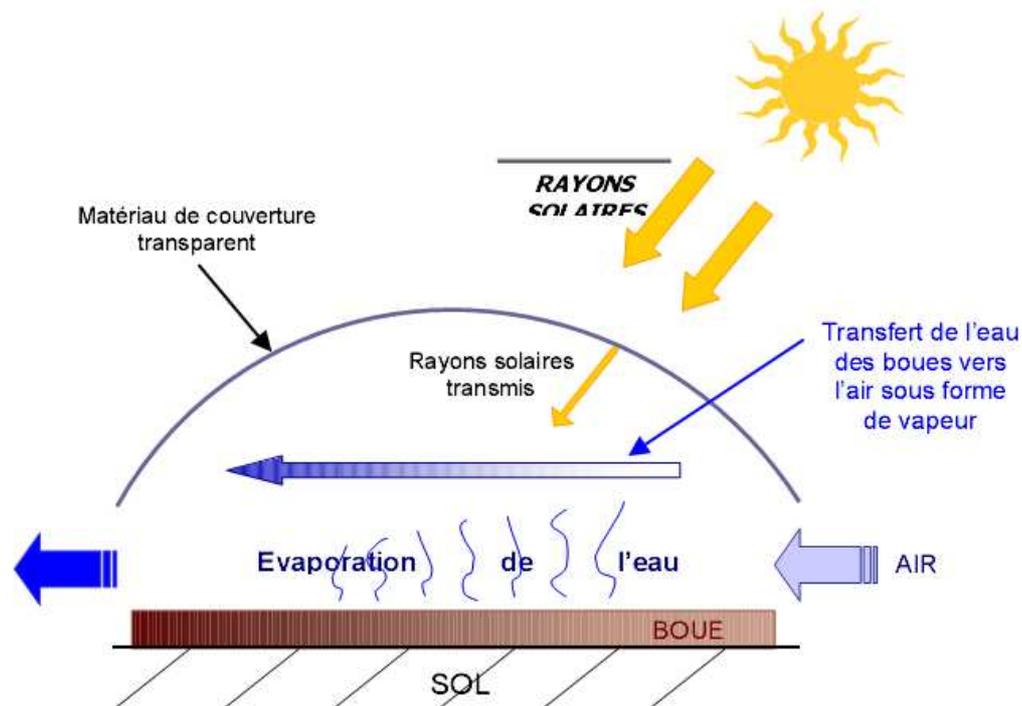
### **II.11.3.3. Déshydratation par lagunage**

Ce procédé consiste à stocker les boues dans un bassin creusé au sol :

- ✓ Dans un premier temps, la lagune fonctionne comme concentrateur de boues (fonction remplissage) c'est-à-dire que les boues se déposent dans la lagune et on récupère par débordement un surnageant clair.
- ✓ Dans un second temps, l'alimentation en boues de la lagune est stoppée et la déshydratation des boues est réalisée par infiltration d'une partie de l'eau et évaporation de l'autre (fonction séchage).

Ce système nécessite donc de disposer d'au moins deux lagunes en fonctionnement alternatif. Les lagunes peuvent être soit réutilisées après curage soit remblayées. Ce procédé ne nécessite pas d'épaississement préalable, c'est le plus économique en terme d'exploitation. Il est en revanche très consommateur d'espace et son efficacité dépend du climat.

### II.11.4. Séchage solaire



**Figure 7 :** Description du séchage solaire.

Le séchage solaire élimine en grande partie ou en totalité l'eau par évaporation sur des lits de séchage. La technique des lits de séchage se pratique à l'air libre sur des boues liquides et combine évaporation naturelle et drainage de l'eau libre à travers une couche filtrante de sable et de graviers. Ce système extensif donne des boues solides à 35 - 40 % de siccité mais reste fort dépendant des conditions météorologiques.

### II.11.5. Séchage thermique

Le séchage thermique permet une élimination quasi-totale de l'eau (siccité d'environ 95%). Les boues obtenues sont pulvérulentes ou en granulés. En raison des coûts énergétiques, ce procédé reste peu utilisé, malgré son intérêt manifeste sur la réduction des volumes à manipuler. Le séchage thermique devrait connaître un nouveau développement dans les années à venir car les autres filières de traitement des boues, dont l'incinération, se renchérissent sous l'effet des nouvelles conditions réglementaires et économiques.

---

## **Partie III :**

Dimensionnement de la station de traitement des eaux  
potables

---

### **III.1. Origine des eaux**

Les eaux à traiter proviennent des forages effectués dans la commune d'Ondres dans le département des Landes.

La station de traitement est dimensionnée, dans un premier temps, pour un débit de  $15000\text{m}^3/\text{j}$  puis, dans un deuxième temps, pour une extension de la capacité de la station à  $30000\text{m}^3/\text{j}$ .

La station de traitement est dimensionnée pour un fonctionnement de 20 heures par jour.

### **III.2. Présentation de la commune**

La commune d'Ondres est située dans le département des Landes, faisant partie de la région de l'Aquitaine, dans le sud ouest de la France. Elle comptait 3650 habitants en 1999.

### **III.3. Caractéristiques des eaux brutes**

Les analyses effectuées sur les eaux souterraines ont donné les résultats rapportés sur le tableau ci-dessous :

**Tableau 8 : Qualité des eaux brutes.**

Paramètre	Unité	Valeur	Normes CEE
Température	°C	15	≤25
Ph	-	7,9	6,5-9
Turbidité	NTU	5	2
Conductivité électrique	µs/cm	600	1000
TAC	°F	34	≥2,5
TH	°F	25	≤15
Indice permanganate	mg/l	10	5
COT	mg/l	4,5	2
Fer	µg/l	6000	200
Manganèse	µg/l	300	50
Arsenic	µg/l	40	10
Ammonium	mg/l	1,1	0,1

### III.4. Analyse des données

D'après les résultats des analyses effectuées sur les eaux brutes, nous pouvons faire les remarques suivantes :

**Fer :** Le seuil réglementaire de 200µg/l est largement dépassé d'où la nécessité d'éliminer le fer en excès.

**Manganèse :** la concentration en manganèse total dépasse le seuil en vigueur. Les analyses sur les formes du manganèse indiquent une forte proportion de Mn<sup>2+</sup>.

**Ammonium :** l'ammonium présent dans l'eau brute est du, certainement, à l'activité agricole et industrielle.

**Arsenic :** la teneur en arsenic est assez élevée. Il est indispensable d'éliminer l'arsenic présent dans l'eau brute. Les analyses effectuées révèlent une forte présence de l'As(III).

**Matières organiques** : les mesures effectuées révèlent une concentration en carbone organique total légèrement supérieur à la norme requise.

**MES** : les analyses indiquent une faible présence des matières en suspension, due à l'origine souterraines des eaux.

### III.6. Dimensionnement de la station de traitement

Le dimensionnement de la station de traitement des eaux potables de la commune d'Ondres dans le département des Landes, en considérant la qualité des eaux brutes souterraines, est fait de telle sorte à :

- ❖ Eliminer le fer en excès
- ❖ Eliminer l'arsenic
- ❖ Eliminer le manganèse
- ❖ Eliminer le carbone organique total par adsorption sur charbon actif
- ❖ Désinfection de l'eau
- ❖ Remise à l'équilibre de l'eau

L'élimination simultanée du fer et de l'arsenic se fait par simple aération, les précipités obtenus sont retenus sur des filtres à sable. Ensuite, une injection de permanganate de potassium est effectuée pour oxyder le manganèse. Les précipités résultant de cette oxydation sont piégés sur des filtres à sable. L'élimination des matières organiques se fait par adsorption sur charbon actif en grains. A la fin du traitement, des analyses sur l'eau filtrée seront effectuées afin de déterminer le type et la dose du désinfectant à employer. Avant la distribution de l'eau, il est indispensable de la remettre en équilibre. De ce fait, le traitement adapté est déterminé après analyse de l'eau.

L'usine de traitement est dimensionnée pour un débit de pointe de  $15000\text{m}^3/\text{j}$ , soit  $750\text{m}^3/\text{h}$  sur 20 heures.

### III.6.1. Bâche des eaux brutes

La bâche d'eau brute a pour fonction la réception et le mélange de l'eau des différents forages, afin de réguler le débit de l'usine.

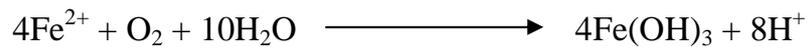
Cette bâche a un volume de  $800\text{m}^3$ , et elle est divisée en deux compartiments pour permettre l'entretien sans arrêt de l'usine. L'alimentation de l'usine en eau brute est assurée par un poste de pompage constitué de deux pompes de  $400\text{m}^3/\text{h}$  chacune et une pompe de secours de mêmes caractéristiques que les précédentes.

Ces pompes ne sont pas à débit variable, le fonctionnement sur une seule pompe, ou en réduisant la durée de fonctionnement journalière, permettent d'ajuster le volume produit quotidiennement.

### III.6.2. Elimination biologique du fer et de l'arsenic

Dans le cas d'une déferrisation biologique, l'oxydation biologique et l'élimination de l'As(III) peut se décrire de la façon suivante :

- oxydation biologique de  $\text{Fe}^{2+}$  en hydroxydes par les bactéries ferro-oxydantes suivant la réaction :



- oxydation biologique de l'As(III) en As(V) en milieu aérobie
- Adsorption de l'As(III) non oxydé sur les hydroxydes de fer formés

Dans un procédé de déferrisation biologique, les bactéries ferro-oxydantes, initialement présentes, oxydent le fer qui va ensuite précipiter avec l'arsenic au sein d'un filtre à sable. L'activité oxydante des bactéries ferro-oxydante est liée au maintien d'un potentiel rédox relativement élevé. [3]

### III.6.2.1. Calcul de la quantité d'air nécessaire

Concentration en fer  $C_{\text{fer}} = 6000\mu\text{g/l} = 6\text{mg/l}$

Débit d'eau  $Q = 750\text{m}^3/\text{h}$

L'équation de précipitation du fer s'écrit :



Nous avons donc

$$4n \text{O}_2 = n \text{Fe}^{2+} \Rightarrow m \text{O}_2 = \frac{1}{4} \frac{m\text{Fe}^{2+}}{M\text{Fe}^{2+}} M\text{O}_2 = \frac{1}{4} \left( \frac{10^{-3}}{56} \right) 32 = 0,143 \text{ mg d'O}_2$$

Il faut donc 0,143mg d'oxygène pour éliminer 1mg de fer.

Le flux de fer est égal à :

$$Q \cdot C_{\text{fer}} = 750 \cdot 6 = 4500\text{mg de fer par heure.}$$

Finalement, la quantité d'oxygène nécessaire est :

$$0,143 \cdot 4500 = 643,5\text{g d'oxygène par heure.}$$

Or,  $1\text{m}^3$  d'air contient 285,7g d'oxygène

$$\text{Il faut donc } \frac{643,5}{285,7} = 2250\text{l/h} = 2,25\text{m}^3/\text{h}$$

Le compresseur d'air débitera  $2,25\text{m}^3/\text{h}$

### III.6.2.2. Dimensionnement des filtres

#### Caractéristiques du sable

Le sable utilisé pour les filtres doit avoir une granulométrie moyenne comprise entre 0,3 et 0,8mm. Nous prendrons un sable ayant 0,5mm de granulométrie moyenne. La hauteur du sable est comprise entre 1 et 2m, nous prendrons une hauteur intermédiaire de 1,5m pour les filtres utilisés dans notre cas. La hauteur d'eau au dessus du lit filtrant est prise égale à 1m afin d'assurer un bon fonctionnement de la filtration, en sachant que cette hauteur se situe entre 0,8m et 1,2m.

La vitesse de filtration se situe entre 8 et 15m/h, pour notre cas nous prendrons une vitesse égale à 10m/h.

Le sable utilisé dans les lits filtrants doit avoir un coefficient d'uniformité proche de 1,5 et ne doit contenir aucune impureté.

#### Caractéristiques du gravier

Le gravier est placé entre le support des filtres et le lit de sable. Son rôle est de retenir le sable du milieu filtrant et d'améliorer la répartition de l'eau de lavage dans le filtre. La hauteur du support de gravier est prise égale à 0,2m.

#### Mode de lavage des filtres

Le lavage des filtres à sable se fait de façon ascendante à l'eau et l'air. Afin d'assurer un bon lavage des filtres, la séquence de lavage se déroule comme suit :

- Détassage à l'air
- Lavage à l'eau et à l'air
- Rinçage des filtres à l'eau

Vu l'importance de l'élimination du fer et de l'arsenic, les filtres doivent être dimensionnés en considérant les paramètres suivants :

- Vitesse de filtration : 10m/h
- Granulométrie du sable : 0,5mm
- Hauteur du sable : 1,5m
- Hauteur du gravier : 0,2m
- Hauteur d'eau au dessus du sable : 1m

### **Dimensionnement des filtres**

Vitesse de filtration :  $V = 10\text{m/h}$

Débit d'eau :  $Q = 750\text{m}^3/\text{h}$

Donc, la surface totale de filtration est :

$$S = \frac{Q}{V} = \frac{750}{10} = 75\text{m}^2$$

On doit prévoir 4 filtres de  $20\text{m}^2$  chacun. Ces filtres sont en béton armé et de forme parallélépipédique dont les dimensions sont :

- longueur du filtre :  $L = 10\text{m}$
- largeur du filtre :  $l = 2\text{m}$
- hauteur du filtre :  $H = 1,5 + 1 + 0,2 = 2,7\text{m}$

### **Lavage des filtres**

La séquence de lavage des filtres est la suivante :

- ✓ détassage à l'air à  $50 \text{ Nm}^3 / \text{h}$
- ✓ vitesse de lavage air+eau à  $15 \text{ m/h}$
- ✓ vitesse de rinçage à l'eau à  $25 \text{ m/h}$

### III.6.3. Elimination du manganèse

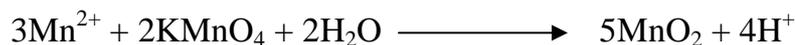
L'oxydation du manganèse est effectuée par l'injection de permanganate de potassium avant que le précipité ne soit piégé sur des filtres à sable. L'injection du permanganate de potassium se fait dans une bache avec un temps de contact suffisant pour assurer une bonne oxydation du manganèse. [2]

#### III.6.3.1. Calcul de la quantité de permanganate de potassium

Concentration du manganèse  $C_{Mn^{2+}} = 300\mu g/l = 0,3mg/l$

Débit d'eau  $Q = 750m^3/h$ .

L'oxydation du manganèse est donnée par l'équation :



Nous avons donc :

$$3nKMnO_4 = 2nMn^{2+} \Rightarrow \frac{2}{3} \frac{mMn^{2+}}{MMn^{2+}} MKMnO_4 = \frac{2}{3} \left( \frac{1}{55} \right) * 158 = 1,91 \text{ g de } KMnO_4$$

Il faut 1,91grammes de  $KMnO_4$  pour éliminer 1gramme de manganèse.

La quantité de permanganate de potassium nécessaire est :

$$1,91 * C_{Mn^{2+}} * Q = 1,91 * 0,3 * 750 = 429,75g/l$$

La solution de  $KMnO_4$  est à 0,1mole/l

$$\text{Soit } 0,1 * 158 = 15,8g/l$$

Le débit de la pompe doseuse est :

$$Q = \frac{429,75}{15,8} = 0,0272m^3 / h = 27,2l / h$$

Pour disposer d'une autonomie de trente jours en pointe, il faut :

$$15,8 * 15000 * 30 = 7110Kg.$$

Il est nécessaire, alors, de stocker 7110Kg de permanganate de potassium en poudre, en sacs de 25Kg.

Un temps de contact de dix minutes est prévu pour assurer une bonne oxydation du manganèse.

D'où, le volume de la bache

$$V = Q \cdot t = 750 \cdot \frac{10}{60} = 125 \text{m}^3$$

Les dimensions de la bache d'oxydation sont les suivantes :

- Hauteur de la bache : 5m.
- Longueur de la bache : 5m.
- Largeur de la bache : 5m.

Cette bache est alimentée gravitairement depuis la sortie des filtres de déferrisation. Elle est divisée en deux compartiments et est agitée, dans le but d'obtenir une bonne oxydation du manganèse. La bache d'oxydation alimente par surverse les filtres de démanganisation.

### III.6.3.2. Dimensionnement des filtres pour retenir le manganèse

#### Caractéristiques du sable

Le sable utilisé pour les filtres doit avoir une granulométrie moyenne comprise entre 0,3 et 0,8mm. Nous prendrons un sable ayant 0,5mm de granulométrie moyenne. La hauteur du sable est comprise entre 1 et 2m, nous prendrons une hauteur intermédiaire de 1,5m pour les filtres utilisés dans notre cas. La hauteur d'eau au dessus du lit filtrant est prise égale à 1m afin de permettre l'évacuation des eaux sales produites lors du lavage, en sachant que cette hauteur se situe entre 0,8m et 1,2m.

La vitesse de filtration se situe entre 8 et 15m/h, pour notre cas nous prendrons une vitesse égale à 12m/h.

Le sable utilisé dans les lits filtrants doit avoir un coefficient d'uniformité proche de 1,5 et ne doit contenir aucune impureté.

#### Caractéristiques du gravier

Le gravier est placé entre le support des filtres et le lit de sable. Son rôle est de retenir le sable du milieu filtrant et d'améliorer la répartition de l'eau de lavage dans le filtre. La hauteur du support de gravier est prise égale à 0,2m.

#### Mode de lavage des filtres

Le lavage des filtres à sable se fait de façon ascendante à l'eau et l'air. Afin d'assurer un bon lavage des filtres, la séquence de lavage se déroule comme suit :

- Détassage à l'air
- Lavage à l'eau et à l'air
- Rinçage des filtres à l'eau

Les filtres utilisés pour retenir le manganèse sont alimentés gravitairement, à partir de la bêche qui sert à l'oxydation du manganèse. Ils doivent avoir les caractéristiques suivantes :

- ❖ Vitesse de filtration égale à 12m/h.
- ❖ Granulométrie du sable de 0,6mm.
- ❖ Hauteur du sable de 1m.
- ❖ Hauteur du gravier 0,2m
- ❖ Hauteur du sable au dessus du matériau filtrant de 1m.

### Dimensionnement des filtres

La vitesse de filtration  $V = 12\text{m/h}$

Débit d'eau  $Q = 750\text{m}^3/\text{h}$

Donc, la surface de filtration est donné par :

$$S = \frac{Q}{V} = \frac{750}{12} = 62,5\text{m}^2$$

On doit disposer de 4 filtres à sable de  $16\text{m}^2$  chacun. Ces filtres sont en béton armé et de forme parallélépipédique dont les dimensions sont :

- longueur du filtre :  $L = 8\text{m}$ .
- largeur du filtre :  $l = 2\text{m}$ .
- hauteur du filtre  $H = 1 + 1 + 0,2 = 2,2\text{m}$ .

### Lavage des filtres

La séquence de lavage des filtres est la suivante :

- ✓ détassage à l'air à  $50 \text{ Nm}^3/\text{h}$
- ✓ vitesse de lavage air+eau à  $15 \text{ m/h}$
- ✓ vitesse de rinçage à l'eau à  $25 \text{ m/h}$

### III.6.4. Filtration sur charbon actif en grains CAG

Le charbon actif en grains présente l'avantage d'effectuer deux actions distinctes :

1. adsorption et rétention des micropolluants.
2. consommation du carbone organique dissous.

Le charbon actif en grains consomme en moyenne 100g de carbone organique par m<sup>3</sup> et par jour. [3]

Les règles de dimensionnement des filtres à CAG sont les suivantes :

- ✓ vitesse de filtration comprise entre 8 et 15m/h.
- ✓ hauteur du filtre comprise entre 1 et 2m.
- ✓ granulométrie du charbon actif située entre 0,5 et 0,8mm.

#### III.6.4.1. Dimensionnement des filtres sur CAG

Les filtres sur charbon actif sont dimensionnés avec une vitesse de filtration de 10m/h, afin d'éliminer les matières organiques responsables de la couleur, du goût et des odeurs.

La surface totale de filtration est :

$$S = \frac{Q}{V} = \frac{750}{10} = 75m^2 \text{ au minimum.}$$

La hauteur des filtres est prise égale à 1,5m.

Donc, Le volume du charbon nécessaire est :

$$V = S * h = 75 * 1,5 = 112,5m^3$$

Nous devons disposer de six filtres dont les caractéristiques sont les suivantes :

Volume unitaire de CAG : 20m<sup>3</sup>.

Surface unitaire : 12m<sup>2</sup>.

Hauteur d'un filtre : 1,5m.

Hauteur d'eau au dessus du filtre : 1m.

Les filtres à CAG sont de forme parallélépipédique dont les dimensions sont les suivantes :

- ❖ longueur d'un filtre :  $L = 6\text{m}$ .
- ❖ largeur d'un filtre :  $l = 2\text{m}$ .
- ❖ hauteur d'un filtre :  $H = 1,5 + 1 = 2,5\text{m}$ .

### III.6.4.2. Régénération thermique du charbon actif

La méthode la plus courante est de chauffer, à environ  $900^{\circ}\text{C}$ , le charbon actif sous atmosphère contrôlée pour éviter de l'enflammer. Cette opération se fait dans des fours verticaux à plateaux où le temps de séjour est de 90 minutes. Le charbon actif est alors refroidi à l'eau via un trommel (pas de contact direct) tandis que les fumées subissent un traitement d'épuration humide. Cette méthode régénère parfaitement les charbons actifs. Cependant, elle a quelques désavantages. En effet, elle est très coûteuse car elle nécessite l'achat de plusieurs fours. De plus, il y a une perte de charbon de l'ordre de 7-10 %. L'utilisation de fours électrique ou de résistances à l'intérieur des systèmes d'adsorption réduit ces pertes. [5]

Une variante consiste à désorber à l'air chaud ( $150$  à  $300^{\circ}\text{C}$ ) : le lit de charbon actif s'échauffe et les espèces désorbées sont entraînées par le flux d'air. L'inconvénient de cette méthode est que l'air a une faible capacité thermique et que par conséquent, un grand volume d'air chaud est nécessaire. Cette méthode est utilisée comme étape de pré-concentration avant incinération des composés organiques volatils. De plus, certaines installations d'adsorption sont équipées in situ de système de désorption par chauffage intrinsèque. Ainsi, une désorption par effet Joule sous air ou gaz inerte des tissus ou toiles de charbons actifs mise sous tension permet de régénérer l'adsorbant. La désorption par induction électromagnétique peut avoir lieu sur charbon en tissu ou en grain : le charbon est placé au cœur d'un solénoïde auquel on applique une différence de potentiel alternative. Les courants de Foucault ainsi créés provoquent un échauffement de l'adsorbant par effet Joule, et donc la désorption. [5]

### III.6.5. Calcul du canal collecteur de l'eau filtrée

La vitesse dans le canal est comprise entre 0,5 et 1m/s

La fraction du débit

$$\frac{Q}{Q_{ps}} = 0,8$$

Q : débit de l'eau

Q<sub>ps</sub> : débit à pleine section

$$\frac{Q}{Q_{ps}} = 0,8 \Rightarrow \frac{V}{V_{ps}} = 1,1 \text{ et } \frac{h}{d} = 0,68$$

Donc

$$\frac{Q}{Q_{ps}} = 0,8 \Rightarrow Q_{ps} = \frac{Q}{0,8} = \frac{750}{0,8} = 937,5 \text{ m}^3 / \text{h}$$

Le débit à pleine section Q<sub>ps</sub> = 937,5 m<sup>3</sup>/h = 0,26m<sup>3</sup>/s

La vitesse dans la canalisation est prise égale à 0,9m/s

D'où la vitesse à pleine section

$$V_{ps} = 0,99\text{m/s}$$

Nous avons :

$$Q_{ps} = V_{ps} * S \Rightarrow S = \frac{Q_{ps}}{V_{ps}} = \frac{0,26}{0,99} = 0,262\text{m}^2$$

D'autre part, nous avons

$$S = \frac{\pi d^2}{4}$$

Donc,

$$d = \sqrt{\frac{4S}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 * 0,34}{\pi}} = 0,57\text{m}$$

Nous prendrons d = 0,60m.

Donc, le diamètre de la canalisation est 0,60m.

Nous avons :

$$\frac{h}{d} = 0,68 \Rightarrow h = 0,68 * d = 0,408m$$

La hauteur de l'écoulement dans la canalisation est :

$$h = 0,408m.$$

Détermination de la pente de la canalisation

La formule de Manning

$$V_{ps} = K_s i^{1/2} \left( \frac{d}{4} \right)^{2/3}$$

avec

$$K_s = 100 \text{ (conduite en PVC)}$$

Donc, La pente de la canalisation est :

$$i = \left( \frac{4^{2/3} V_{ps}}{K_s d^{2/3}} \right)^2 = 0,0078 = 0,78\%$$

### III.6.6. Désinfection

La désinfection est un traitement visant à éliminer les micro-organismes pathogènes, les bactéries et les germes présents dans l'eau. En potabilisation des eaux, la désinfection est assurée par des oxydants chimiques tels que le chlore  $\text{Cl}_2$ , le dioxyde de chlore  $\text{ClO}_2$ , l'ozone  $\text{O}_3$ , et dans certains cas par un procédé physique comme le rayonnement Ultra Violet. Dans notre cas, nous utiliserons le chlore gazeux pour désinfecter les eaux issues du traitement.

#### III.6.6.1. Désinfection par le chlore gazeux

Le chlore tue les organismes pathogènes tels que les bactéries et les virus en cassant les liaisons chimiques de leurs molécules. Les désinfectants qui sont utilisés à cette fin sont des composés de chlore qui peuvent échanger des atomes avec d'autres composés, tels que des enzymes dans les bactéries et autres cellules. Lorsque l'enzyme vient en contact avec le chlore, un ou plusieurs atomes d'hydrogène de la molécule sont remplacés par le chlore. Ceci va modifier la structure entière de la molécule et dans la plupart des cas provoquer sa dissociation ou sa désactivation. Lorsque le chlore est ajouté à l'eau, l'acide hypochlorique est formé:



L'acide hypochlorique ( $\text{HOCl}$ , qui est électriquement neutre) et les ions d'hypochlorite ( $\text{ClO}^-$ , électriquement négatif) formeront du chlore libre quand ils agissent ensemble. Ceci provoque une désinfection efficace. Les deux substances ont de bons désinfectants. L'acide hypochlorite est plus réactif et est un désinfectant plus fort que l'hypochlorite. L'acide hypochlorite est dissocié en acide chlorhydrique ( $\text{HCl}$ ) et en atome d'oxygène. L'atome d'oxygène est un désinfectant puissant.

Les propriétés désinfectantes du chlore dans l'eau sont basées sur la puissance d'oxydation des atomes d'oxygène libres et sur les réactions de substitution de chlore. Quand on dose le chlore on doit prendre en compte le fait que le chlore réagit avec des composés dans l'eau. La dose doit être assez importante pour qu'une quantité significative de chlore reste dans l'eau et permette la désinfection. La demande en

chlore est déterminée par la quantité de matière organique dans l'eau, du pH, le temps de contact et la température. Le chlore réagit avec la matière organique pour donner des sous-produits de désinfection, tels que les trihalométhanes et les acides acétiques halogénés.

Le chlore peut être ajouté pour la désinfection de différentes manières. Quand une chloration ordinaire est appliquée, le chlore est simplement ajouté à l'eau et aucun traitement antérieur n'est nécessaire. Une pré ou une post chloration peuvent être effectuées en ajoutant du chlore à l'eau avant ou après d'autres étapes de traitement. Rechloration signifie l'addition de chlore à l'eau traitée dans un ou plusieurs points du système de distribution afin de préserver la désinfection.

### III.6.6.2. Désinfection par le dioxyde de chlore

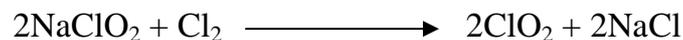
Le dioxyde de chlore est un gaz de couleur jaune qui possède une odeur piquante. C'est un agent très oxydant possédant un grand pouvoir décolorant et désodorisant. Le dioxyde de chlore est toujours produit in situ par réaction du chlore en solution ou de l'acide chlorhydrique sur le chlorite de sodium.

La réaction de préparation du dioxyde de chlore à partir de l'acide chlorhydrique est la suivante :



D'après la dernière réaction, il faut 10g de chlorite de sodium et 3,2g d'acide chlorhydrique pour produire 6g de dioxyde de chlore.

La réaction de préparation du dioxyde de chlore à partir du chlore s'écrit :



D'après cette réaction, 10g de chlorite de sodium correspondent à 3,9g de chlore gazeux et libèrent 7,45g de dioxyde de chlore.

### III.6.6.3. Désinfection par l'hypochlorite de sodium

La solution d'hypochlorite de sodium, communément appelé eau de javel, est ajoutée à l'eau à traiter forme commerciale concentrée ou sous forme diluée. Le dosage de solution d'hypochlorite de sodium se fait à l'aide d'un doseur, qui consiste en un appareil assurant la prise en surface de la solution. Celle-ci s'écoule régulièrement dans le temps, soit à débit constant soit proportionnellement au débit à traiter si ce dernier est variable.

Tout comme dans le cas d'une désinfection par le chlore gazeux, le contrôle consiste en des examens bactériologiques de l'eau traitée et à s'assurer de la présence d'une teneur résiduelle du réactif dans l'eau.

### III.6.6.4. Désinfection par l'ozone

L'ozone est un gaz qui se décompose lentement dans l'air sec à température ordinaire, mais très rapidement à température élevée ou en présence d'eau et de matières organiques.

L'ozone peut être injecté, dans l'eau à traiter, de plusieurs manières différentes. Les plus utilisées sont :

- L'hydro injection par tube venturi : consiste à injecter l'ozone via un orifice dans un tube venturi.
- La diffusion : Un diffuseur travaille sous pression afin de créer une colonne de bulles. Le rendement est élevé, la mise en place simple, et l'on peut traiter des débits importants. Cela dit, la surface d'échange doit être importante, et par conséquent la taille des appareils peut être conséquente. [5]

### III.6.6.5. Bassin de désinfection

A la sortie des filtres, l'eau est collectée dans une bêche. Celle-ci aura plusieurs fonctions dont :

- Assurer la désinfection de l'eau au moyen d'une pompe doseuse.
- Permettre le pompage pour le lavage des filtres.

#### III.6.6.5.1. Volume de la bêche

Afin d'obtenir une bonne désinfection de l'eau, un temps de séjour entre 30 minutes et une heure est prévu. Dans notre cas, nous prendrons un temps de séjour intermédiaire égal à 45 minutes.

#### Dimensionnement de la bêche

Temps de séjour :  $t_s = 45\text{mn}$

Débit de l'eau :  $Q = 750\text{m}^3/\text{h}$

Le volume du bassin est :

$$V = Q * t_s = 750 * \frac{45}{60} = 562,5\text{m}^3$$

La hauteur du bassin est prise égale à  $H = 5\text{m}$

La surface horizontale du bassin est :

$$S = \frac{V}{H} = \frac{562,5}{5} = 112,5\text{m}^2$$

Les dimensions du bassin sont :

- Hauteur de la bêche : 5m.
- Longueur de la bêche : 15m.
- Largeur de la bêche : 7,5m.

Le bassin sera muni de chicanes pour permettre un mélange homogène du désinfectant dans l'eau.

### III.6.7. Remise à l'équilibre de l'eau

Les réactifs introduits au cours des différents stades du traitement peuvent modifier l'équilibre de l'eau, la correction de cet équilibre doit être effectuée avant distribution. La neutralisation est l'opération par laquelle on modifie une eau agressive ou incrustante pour l'amener à l'équilibre vis-à-vis du calcaire.

A la fin du traitement, l'eau peut être soit agressive soit incrustante. Des méthodes de correction de l'équilibre de l'eau sont proposées, en fonction de la qualité des eaux à la sortie de la station.

#### III.6.7.1. Correction de l'agressivité

Cette correction vise essentiellement à éliminer le  $\text{CO}_2$  agressif ce qui a pour effet d'amener l'eau à l'équilibre vis-à-vis du  $\text{CaCO}_3$ .

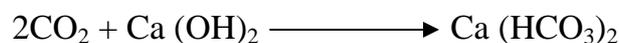
Plusieurs techniques sont utilisées pour éliminer le  $\text{CO}_2$  agressif :

##### III.6.7.1.1. Dégazage du $\text{CO}_2$

Ce dégazage se fait par échange à l'interface gaz-liquide en utilisant l'air atmosphérique de la façon suivante : l'aération est réalisée soit par pulvérisation de l'eau à l'air libre soit par cascades ou ruissellement.

##### III.6.7.1.2. Neutralisation du $\text{CO}_2$ par la chaux

Cette méthode consiste à transformer le  $\text{CO}_2$  agressif en hydrogénocarbonates en apportant des ions  $\text{OH}^-$  :



La chaux peut être apportée sous forme d'eau de chaux ou sous forme de lait de chaux, par une pompe doseuse. Le dosage doit être régulé avec précision puisqu'un excès de chaux transformerait l'eau, initialement agressive, en eau entartrante.

La quantité de chaux à introduire s'exprime, si on connaît le TAC de départ et le TAC après neutralisation, par la formule :

$$M_{\text{chaux}} = 7,4 \Delta\text{TAC} \text{ (g/m}^3\text{)}. \text{ [11]}$$

### III.6.7.1.3. Neutralisation par la soude

L'ajout de soude permet d'éliminer le CO<sub>2</sub> agressif et de diminuer le pH de l'eau. La soude réagit avec le gaz carbonique selon la réaction :



Pour éliminer 1 gramme de gaz carbonique, il faut injecter 0,91 grammes de soude pure. Ce procédé permet d'augmenter le TAC de l'eau en n'ayant aucune influence sur sa dureté.

### III.6.7.2. Correction de l'entartrage

#### III.6.7.2.1. Réduction de l'alcalinité

Les eaux alcalines présentent un TAC élevé et un déficit en CO<sub>2</sub> libre, il est donc indispensable d'ajouter du dioxyde de carbone ou de consommer de l'alcalinité. L'injection de gaz carbonique est la solution la plus simple, le taux de traitement est donné en déterminant la teneur en CO<sub>2</sub> libre nécessaire pour que l'eau atteigne son équilibre. En effet, ce taux est égal à la différence du CO<sub>2</sub> d'équilibre et du CO<sub>2</sub> de l'eau brute. Ce traitement modifie le pH mais l'alcalinité demeure constante. [2]

### **III.6.8. Traitement des boues**

#### **III.6.8.1. Bâche des eaux sales**

Les eaux sales, résultant du lavage des différents filtres, sont recueillies dans une bâche. Cette dernière permet aux matières solides de décanter au fond et à l'eau surnageante de se déverser dans la rivière par surverse. Les boues décantées sont récupérées puis dirigées vers l'épaississeur.

Les eaux sales contiennent :

- Des boues de déferrisation
- Des oxydes de manganèse
- Des matières en suspension présentes dans l'eau brute

#### **III.6.8.2. Epaississement des boues**

L'épaississement vise à augmenter la siccité (teneur en matières sèches) des boues sans pour autant modifier le caractère liquide de la boue. Ce procédé a pour objectif d'obtenir une siccité des boues de l'ordre de 5% en vue de leur déshydratation.

L'épaississement se fait sur un épaississeur de forme cylindrique. Il est prévu une injection de polymères ou de chaux afin d'améliorer la décantation des boues. L'épaississeur sert également de stockeur des boues épaissies dans sa partie basse. Les boues épaissies sont extraites ponctuellement pour être envoyées dans la bâche de conditionnement avant leur déshydratation.

#### **III.6.8.3. Déshydratation des boues**

La déshydratation correspond à l'augmentation de la siccité des boues ; c'est-à-dire à l'évacuation de l'eau interstitielle contenue dans les boues.

La déshydratation des boues peut être effectuée de plusieurs manières, nous proposons deux options parmi les plus utilisées :

##### **III.6.8.3.1. Option 1 : Déshydratation par filtre presse**

La déshydratation par filtre presse consiste en un équipement composé de plateaux métalliques, qui sont actionnés par des vérins. Le but de cette opération est

d'augmenter la siccité des boues avant de les acheminer vers leur destination finale. Les filtres-presses produisent par contre des boues de structure solide (30 à 35 % de siccité) car conjuguant un conditionnement au lait de chaux et des pressions élevées. Ces matériels sont réservés aux installations les plus importantes, car plus coûteux et contraignants d'emploi que les filtres à bande et les centrifugeuses.

#### **III.6.8.3.2. Option 2 : Séchage solaire**

Le séchage solaire permet d'augmenter la siccité des boues déshydratées de 30 à plus de 50%. Ceci est intéressant pour réduire les coûts de transport et d'acceptation des boues dans les centres d'enfouissement techniques (CET), surtout dans le cas présent où la composition des boues (présence de fer et d'arsenic) entraîne un stockage en CET de classe I.

Des réserves sont toutefois émises concernant l'efficacité de ce procédé sur des boues d'eau potable, dont la composition est très différente des boues d'épuration pour lesquelles le séchage solaire est généralement mis en œuvre.

#### **III.6.8.4. Stockage des boues déshydratées**

Les boues déshydratées sont stockées dans des bennes avant de les envoyer soit vers les centres d'enfouissement techniques (CET) soit vers les incinérateurs.

### III.7. Schéma de la filière de traitement

Le schéma de la filière de traitement des eaux retenue peut être résumée de la façon suivante :

- Une bêche de collecte des eaux brutes
- Une injection d'air pour l'oxydation du fer
- Rétention du fer et de l'arsenic sur des filtres à sable
- Une injection de permanganate de potassium dans un bassin pour oxyder le manganèse
- Rétention du manganèse sur des filtres à sable
- Elimination des matières organiques par adsorption sur charbon actif en grains
- Un bassin de désinfection
- Un bassin de stockage de l'eau traitée

Concernant la partie de traitement des boues, le schéma général se présente comme suit :

- Bêche de collecte des eaux sales, résultant du lavage des filtres
- Epaississeur des boues
- Déshydratation des boues

La configuration générale de la station de traitement est représentée sur le schéma suivant :

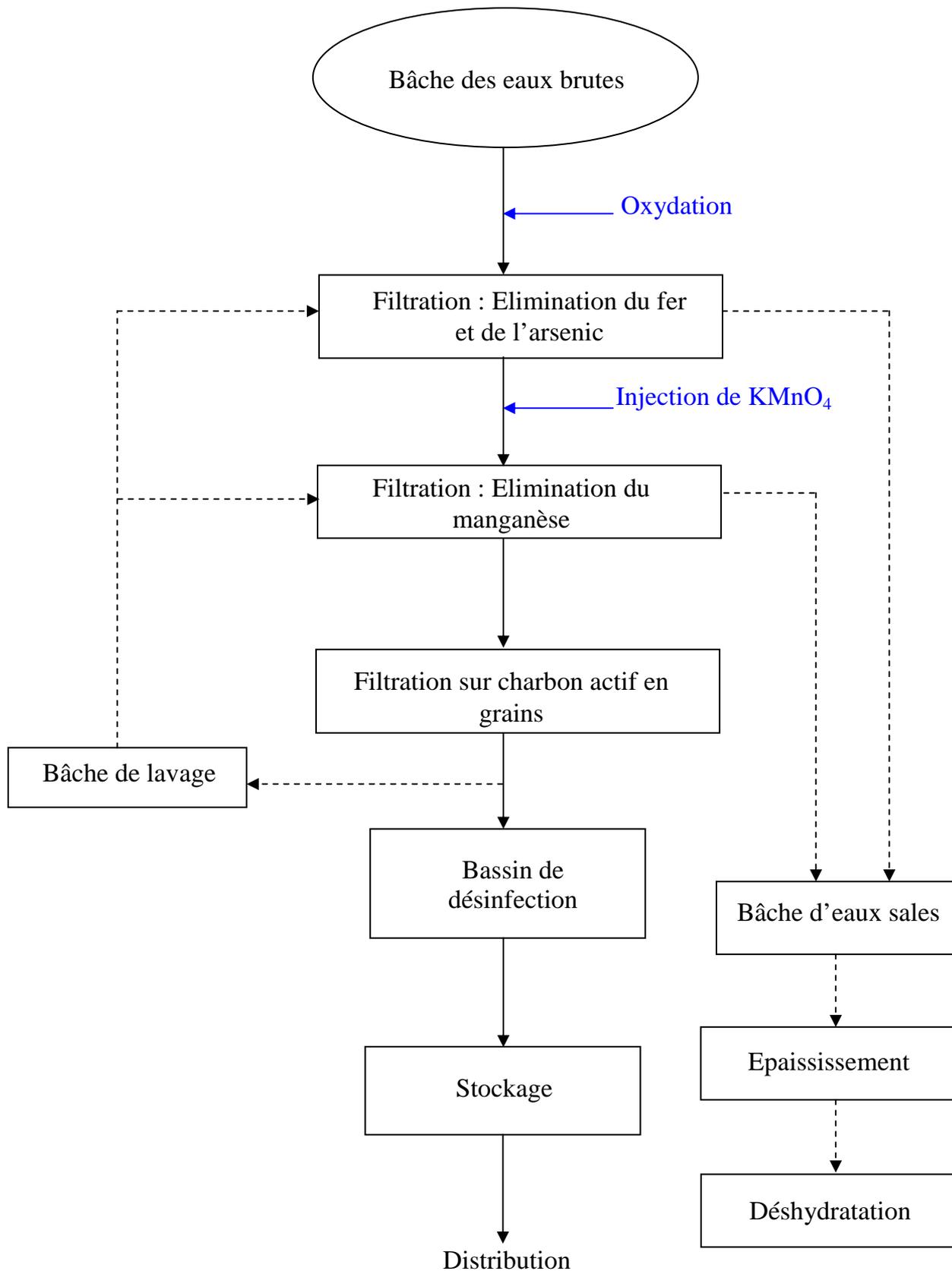


Figure 8 : Schéma de la filière de traitement

**III.8. Extension à 30000m<sup>3</sup>/j**

Le passage de la capacité de la station de 15000 à 30000m<sup>3</sup>/j n'a pas le même impact sur tous les postes de traitement. Les équipements à doubler sont :

- Les filtres
- Les postes de pompage des eaux brutes

Par contre, les pompes et les surpresseurs de lavage des filtres restent inchangés. Néanmoins, la fréquence de lavage des filtres doit être augmentée pour assurer un bon fonctionnement de la filtration.

### **III.9. Contraintes géotechniques et hydrogéologiques des terrains**

Une campagne géotechnique a été réalisée sur l'ensemble de la parcelle prévue pour l'implantation de la station de production et de traitement d'eau potable d'Ondres. Cette première phase d'investigations avait pour but de caractériser la nature des sols sur la totalité de la parcelle.

#### **III.9.1. Sondages et essais réalisés**

- ❖ 10 sondages à la pelle mécanique descendus à 2m de profondeur par rapport au niveau du sol
- ❖ 2 sondages carottés de 15m de profondeur par rapport au niveau du sol
- ❖ 3 sondages pressiométriques de 12m de profondeur par rapport au niveau du sol avec 24 essais pressiométriques (8 par sondage)

#### **III.9.2. Résultats**

Les investigations géotechniques ont permis de mettre à jour une lithologie vraisemblablement assez homogène composée :

- ✓ de terre végétale sur 10 à 40cm de profondeur
- ✓ d'un faciès sableux jaunâtre à roux devenant grisâtre avec la profondeur et allant jusqu'à 15m de profondeur minimum

Dans certains sondages à la pelle mécanique, des petits horizons aliotiques (se présentant sous la forme d'accumulation de petits blocs sableux) ont été observés à environ 2m de profondeur.

Au même titre que la lithologie, les caractéristiques mécaniques sont assez homogènes avec des modules pressiométriques généralement compris entre 15 et 30 Mpa.

### **III.10. Contraintes d'urbanisme et d'environnement**

#### **III.10.1. Plan Local d'Urbanisme**

La commune d'Ondres est dotée d'un P.L.U. (Plan Local d'Urbanisme) dont la dernière révision date de janvier 2006.

##### **III.10.1.1. Règles définies par le Plan Local d'Urbanisme**

Le site de l'usine est classé en zone No « Zone naturelle ordinaire ». Les zones N du PLU comprennent les espaces équipés ou non, à protéger en raison soit de la qualité des sites, des milieux naturels, des paysages et/ou de leur intérêt, notamment du point de vue esthétique, historique ou écologique, soit de l'existence d'une exploitation forestière, soit de leur caractère d'espace naturel.

Les ouvrages techniques nécessaires au fonctionnement des services publics ou d'intérêt collectif sont autorisés dans toutes les zones du PLU.

Le règlement de la zone No précise :

**Accès :** pour les constructions autres qu'à usage d'habitation, il convient d'aménager un accès et/ou une desserte conformes aux prescriptions du Service Départemental d'Incendie et de Secours.

- 1) Le niveau des rez-de-chaussée des constructions et/ou des installations nouvelles doit être édifié au minimum à 0.2m au dessus de la voie desservant le projet. Les sous-sols complétement enterrés ne sont autorisés que dans les secteurs situés à l'Est de la RN10.
- 2) Les constructions et/ou les installations doivent prévoir un système de recueil et de traitement des eaux pluviales.
- 3) Les eaux usées des constructions et/ou des installations doivent être dirigés vers le réseau public d'assainissement dès qu'il existe. Le cas échéant, les dispositifs individuels conformes aux textes en vigueur devront être employés et contrôlés par le Service Public d'Assainissement Non Collectif (SPANC).
- 4) Les réseaux d'électricité, téléphone et éclairage extérieur doivent être enterrés.
- 5) Sauf dispositions contraires portées au plan de zonage, les constructions doivent être implantées à 5m minimum en retrait de l'alignement existant ou à créer.

- 6) Les constructions doivent être implantées sur limite séparative ou à une distance au moins égale à la moitié de leur hauteur, cela en tout point des constructions, avant-toits exclus. Cette distance ne peut être inférieure à 3m. Dans la marge d'isolement de 3 m (à compter de la limite séparative), la hauteur en tout point des constructions ne doit pas excéder 4,5m. Les constructions doivent être conçus de façon à s'insérer dans la structure existante en fonction du caractère du site et s'harmoniser avec l'environnement architectural et paysager.
- 7) Sauf pour poursuivre des alignements de clôtures existantes, dans le cas de murs de soutènement ou sur justification technique :
- ❖ Les clôtures sur voirie et emprises publiques ne doivent pas excéder 1,6m de hauteur. La clôture peut être constituée d'un muret ne dépassant pas 0,6m de hauteur. L'éventuel dispositif surmontant le muret doit être de type grille ou grillage.
  - ❖ Les murs non enduits, non crépis et/ou n'étant pas en harmonie avec le bâtiment principal sont interdits.

**Stationnement** : les constructeurs doivent aménager un nombre de places de stationnement correspondant aux besoins des constructions et des installations tels que défini au titre I du règlement. Le stationnement extérieur doit être végétalisé à l'aide des espèces locales recommandées dans la liste annexée au règlement du PLU.

Afin de s'harmoniser avec le milieu environnant et d'atténuer l'impact visuel des constructions, les espaces libres doivent être aménagés ou plantés à l'aide des essences locales indiquées au sein de la liste jointe en annexe au PLU. Les espèces locales doivent être conservées. Si l'implantation d'un bâtiment nécessite leur destruction, à titre de mesure compensatoire, pour une espèce détruite, deux arbres figurant dans la liste annexée au PLU doivent être plantés. Les espèces végétales envahissantes précisées dans la liste annexée au PLU sont proscrites. Dans le cas de bâtiments implantés en retrait de l'alignement, un espace paysager doit être créé entre le bâtiment et la voirie à l'aide des espèces locales mentionnées dans l'annexe au PLU. Dans un souci d'esthétique, les clôtures doivent être dissimulées au sein de cet espace paysager ou derrière une haie.

### **III.10.2. Contraintes liées aux réseaux aériens ou enterrés**

Une conduite de gaz enterrée passe en limite du terrain (borne GDF en bordure du cours d'eau). Elle a été levée lors de l'établissement du plan topographique.

### **III.10.3. Contraintes liées au patrimoine naturel et architectural**

Concernant le patrimoine architectural ou archéologique, une consultation de la DRAC est en cours. Toutefois les services techniques de la mairie d'Ondres ont indiqué qu'il n'y avait à priori aucun site architectural à proximité du site nécessitant un avis de l'ABF (Architecte des Bâtiments de France).

L'usine sera située en dehors de la bande des 100m soumise à la Loi Littoral. Le site est actuellement boisé et soumis au régime forestier. Une distraction du régime forestier de la parcelle devra être réalisée par la collectivité une fois l'emprise du projet définie.

Le site est en revanche concerné par le site inscrit des « étangs landais sud ». A ce titre une consultation de l'ABF (avis simple) est demandée. Le site Natura 2000 des zones humides associées au marais d'Orx ne concerne pas le site de l'usine, mais la rivière le Boudigau est classée. Le rejet éventuel de l'usine se ferait dans un affluent de cette rivière, des contraintes pourront donc être imposées pour ce rejet, et notamment concernant le dossier d'autorisation de rejet.

### **III.10.4. Contraintes d'exploitation**

Les horaires de travail du futur personnel exploitant pris en compte pour la conception des installations sont de :

- du lundi au vendredi : 8h-12h et 13h30-17h
- Une astreinte est assurée 24h/24 et 7j/7.

### **III.11. Aménagements particuliers**

Les locaux prévus sur l'usine sont les suivants :

- une salle de commande – 30m<sup>2</sup>
- un bureau – 20m<sup>2</sup>
- des sanitaires avec vestiaires et douches H/F, ainsi que des sanitaires pour le public

- un laboratoire – 20m<sup>2</sup>
- un local d'archives – 20m<sup>2</sup>
- une salle de réunion – 42m<sup>2</sup>
- un coin repos-tisanerie – 16m<sup>2</sup>
- un atelier et un magasin – 185m<sup>2</sup>
- des places de parking pour 10 voitures et un bus
- un circuit de visite simple (pas d'accès aux ouvrages, visite par groupes de moins de 20 personnes encadrée par le personnel du site). L'usine n'est pas classée en ERP (Etablissement Recevant du Public).
- Un monte charge permettant l'accès à l'étage ainsi que la manutention des matériels entre le sous-sol et l'atelier.

Il est également prévu un groupe électrogène de secours pour secourir l'ensemble de l'usine. **[15]**

---

---

## **Conclusion générale**

---

---

## **Conclusion générale**

En conclusion, nous pouvons affirmer qu'il est impossible de proposer un traitement pour une eau avant d'avoir effectué une série d'analyses sur les eaux brutes. En effet, des analyses poussées devraient systématiquement être effectuées sur les eaux à traiter afin de déterminer leurs caractéristiques et ainsi pouvoir proposer un traitement adéquat.

Les différentes phases de traitement choisies dans notre travail permettent de rendre l'eau brute propre à la consommation en tenant compte des normes de potabilité en vigueur. Néanmoins, après avoir opté pour ce traitement, des essais devraient être effectués au laboratoire sur une station pilote et des analyses, sur la qualité de l'eau, après chaque phase de traitement. La conformité ou non des ces analyses par rapport aux normes de potabilité prédéfinies nous renseignera sur la validité ou non des traitements choisis.

De plus, au cours de l'exploitation, des campagnes d'analyses de l'eau traitée devront être menées, à intervalles réguliers, afin de s'assurer du bon fonctionnement de l'ensemble des postes de traitement de la station et corriger, s'il y a lieu, les postes défectueux. En ce qui concerne les différents ouvrages composant la station de traitement, leur entretien devra s'effectuer périodiquement dans le but de les préserver des éventuelles avaries qui peuvent survenir lors de l'exploitation de la station de traitement des eaux potables.

---

---

# ANNEXES

---

---

## Annexes

Diagramme de stabilité du fer :

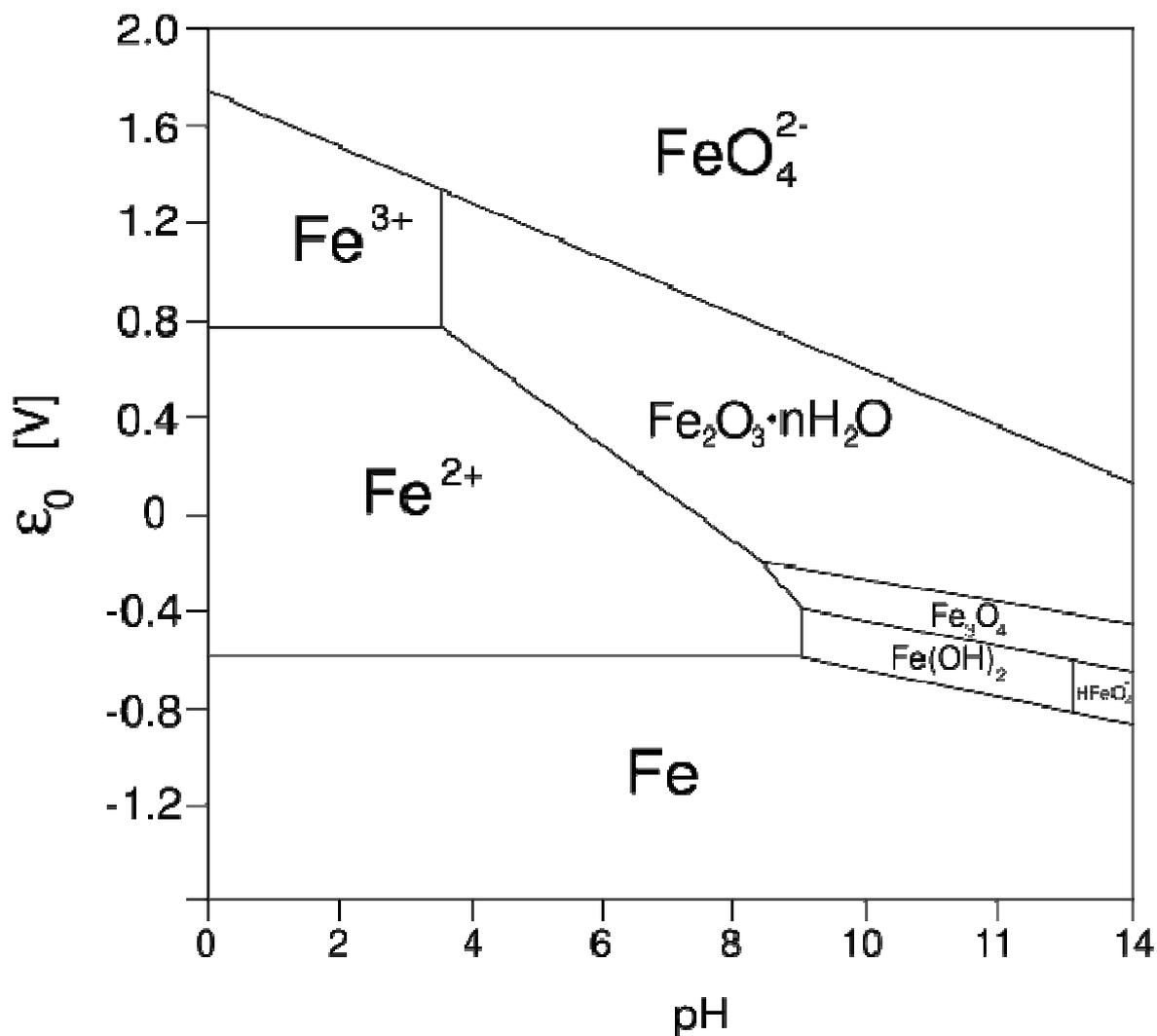
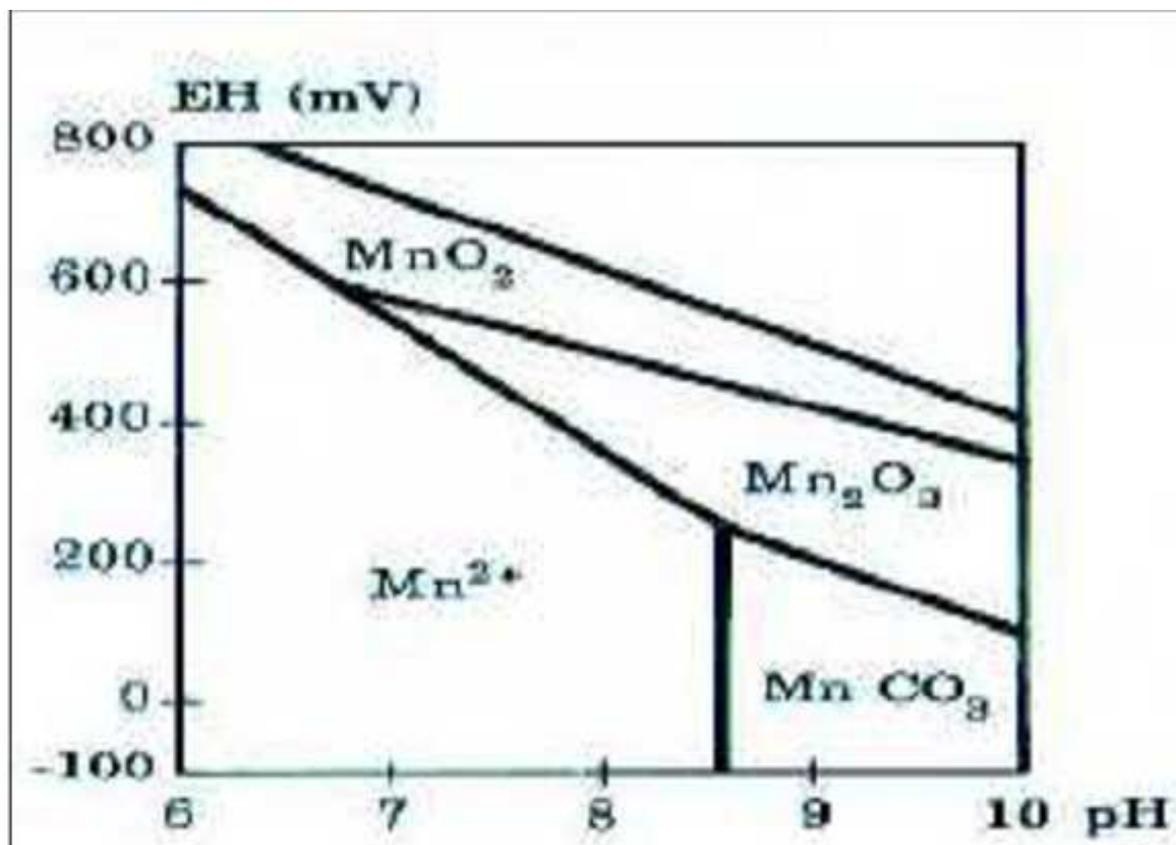


Diagramme de stabilité du manganèse :



Carte des forages existants et en cours de réalisation :

La cartographie ci-dessous représente l'emplacement des forages existants et ceux en cours de réalisation sur le territoire de la commune d'Ondres.



---

---

## **Bibliographie**

---

---

---

**Bibliographie**

- | <b>Référence</b> | <b>Détail</b>   |
|------------------|---|
| [1]              | <b>Jean-Pierre Béchac</b> , Traitement des eaux usées, Eyrolles (Paris) 1983.   |
| [2]              | <b>Claude Cardot</b> , Les traitements de l'eau, Ellipses 1999.   |
| [3]              | <b>Claude Cardot</b> , Techniques appliquées au traitement de l'eau, Ellipses 1999.   |
| [4]              | <b>Dégrémont</b> , Mémento technique de l'eau Huitième édition, Dégrémont 1978.   |
| [5]              | <b>Dégrémont</b> , Mémento technique de l'eau Neuvième édition, Dégrémont 1989.   |
| [6]              | <b>Raymond Desjardins</b> , Le traitement des eaux, Editions de l'Ecole Polytechnique de Montréal 1997.   |
| [7]              | <b>André Dupont</b> , Hydraulique urbaine Tome 1 : Hydraulique captage et traitement des eaux, Eyrolles 1981  |
| [8]              | <b>Cyril Gomella</b> , Les eaux usées dans les agglomérations urbaines ou rurales : le traitement, Collection des cours de l'Ecole chez soi 1978.   |
| [9]              | <b>Jérôme Michon</b> , Etudes de l'oxydation de l'arsenic As(III) par le consortium bactérien $CAso_1$ : Mise au point de méthodes de détection et Application à la détoxification d'effluents (Thèse de doctorat en chimie et microbiologie de l'eau de l'université de Limoges) 13 Décembre 2006.<br><a href="http://www.unilim.fr/theses/2006/sciences/2006limo0064/michon_j.pdf">www.unilim.fr/theses/2006/sciences/2006limo0064/michon_j.pdf</a> |
| [10]             | <b>Jean Rodier</b> , Analyse de l'eau, Dunod 1996   |

- [11] **Henri Roques**, Fondements théoriques du traitement chimique des eaux volume1, Technique et Documentation Lavoisier 1990.
- [12] **Henri Roques**, Fondements théoriques du traitement biologique de l'eau, Technique et Documentation Lavoisier 1990.
- [13] **Robert Thomazeau**, Stations d'épuration eaux potables-eaux usées précis technique et technologique, Technique et Documentation 1981.
- [14] **Yeddou Nacéra**, Etude de la conception de la station de traitement d'eau potable de Mohammadia (Mascara) PFE 1985 ENP.
- [15] Documentation interne de l'entreprise.

### Ressources Web

**<http://Wikipédia.org>** : l'encyclopédie en ligne.

**<http://lenntech.com>** : Traitement des eaux et de l'air.

**<http://enseiht.fr>** : Site de l'école nationale d'électrotechnique, d'électronique, d'informatique, d'hydraulique et des télécommunications de Toulouse.

**<http://cnrs.fr>** : Site du centre national de la recherche scientifique.

**<http://emse.fr>** : Site de l'école nationale supérieure des mines de Saint-Etienne.

**<http://actu-environnement.fr>** : Site traitant de l'eau et de l'environnement.

**<http://who.com>** : Site de l'Organisation Mondiale de la Santé.