

## I. Traitement des eaux

On peut diviser, grosso modo, le traitement de l'eau en quatre étapes :

- **Prétraitement** : les eaux brutes doivent généralement subir, avant leur traitement proprement dit, un prétraitement comportant un certain nombre d'opérations uniquement physiques ou mécaniques.
- **Traitement primaire** : élimine une grande partie de MES et constitue une préépuration non négligeable quoique insuffisant pour garantir la qualité en milieu naturel, il fait appel à différents procédés physiques ou chimiques.
- **Traitement secondaire** : Cette étape consiste en l'élimination des matières en solution dans l'eau (matières organiques, substances minérales).
- **Traitement tertiaire** : Au terme du traitement secondaire, l'eau débarrassée des éléments qui la polluaient, est épurée à 90%. Mais lorsque le lieu de rejet est fragile des traitements complémentaires peuvent s'avérer nécessaires.

### I.1. Les prétraitements des eaux

Les eaux brutes doivent généralement subir, avant leur traitement proprement dit, un prétraitement qui comporte un certain nombre d'opérations uniquement physiques ou mécaniques. Ils sont destinés à extraire de l'eau brute la plus grande quantité possible d'éléments dont la nature ou la dimension constituerait une gêne pour les traitements ultérieurs. Il s'agit du :

- Dégrillage
- Dilacération
- Tamisage
- Dessablage
- Déshuilage/dégraissage

Les termes de dégrillage et de tamisage sont des procédés mécaniques. Le terme de grille est réservé à des supports présentant des ouvertures de largeur définie, généralement supérieure à 5 mm, mais de très grande longueur, dont le nettoyage s'effectue par voie mécanique (raclage). Parallèlement, l'usage a consacré le terme de tamis à des supports minces, à orifices circulaires ou carrés, ou à mailles croisées, offrant un passage généralement inférieur à 3 mm, ces tamis pouvant être fixes ou rotatifs, avec nettoyage mécanique ou hydraulique

#### I.1. 1. Le Dégrillage

L'eau brute passe à travers des grilles composées de barreaux placés verticalement ou inclinés de 60 à 80° sur l'horizontale. L'espacement des barreaux varie de 3 à 100 mm. La vitesse moyenne de passage entre les barreaux est comprise entre 0,6 et 1 m/s. on distingue trois types de dégrillage, en fonction de la taille des débris à éliminer :

- 30 à 100 mm prédégrillage,
- 10 à 30 mm dégrillage moyen,
- 3 à 10 mm dégrillage fin

on distingue différents types de dégrillages

**Tableau. I.1** : Le type de dégrillage en fonction de l'espacement des barreaux

Type de dégrillage	Espacement entre les barreaux
Dégrillage grossier	30 - 100mm
Dégrillage moyen	10 - 25mm



**Figure I.1.** Opération de dégrillage.

L'élimination des matières retenues par les barreaux des grilles peut s'effectuer manuellement ou bien mécaniquement, on distingue

### **I.1.1.1. Les grilles manuelles**

Elles sont composées des barreaux inclinés de 60° à 80° par rapport à l'horizontale et sont munies de by pass pour éviter les débordements en cas d'obstruction. Elle nécessite un

nettoyage quotidien à l'aide d'un râteau. Ce type de grilles est utilisé dans les petites installations, l'espacement minimum entre les barreaux est de 30 mm

### **I.1.1.2. Les grilles mécaniques**

Elles sont destinées pour les stations dont le nombre d'équivalent habitant est supérieur ou égale à 2000 habitants.

La manoeuvre automatique de la grille permet d'éviter le colmatage rapide des canalisations.

On trouve deux types de ces grilles :

#### ➤ **Grilles courbes**

Elles sont formées de barreaux plats, et sont utilisées pour des profondeurs du canal variant de 0,5 à 1,8m.

#### ➤ **Grilles droites**

Elles sont inclinées de 90° par rapport à l'horizontal et sont parfois verticales. Ce type de grilles peut être utilisé pour les grandes profondeurs du canal (2 à 3m) avec un espacement des barreaux (40 à 60mm).

### **I.1.1.3. Nettoyage des grilles**

Pour éviter le colmatage de l'installation, une opération de nettoyage est obligatoire ; Elle peut être manuelle dans le cas des petites stations ou automatique lorsque le volume des déchets à évacuer est important. Les déchets extraits par le dispositif de nettoyage peuvent être évacués par bac amovible, bande transporteuse ou vis d'Archimède. On distingue quatre dispositifs de dégrillage :

- grille statique simple,
- dégrilleur fixe (à chaîne sans fin et râteau),
- grille à câble, à grappin,
- grille courbe à peigne

### **I.1.1.4. Caractéristiques de la grille**

La vitesse de passage de l'eau doit permettre l'application des matières sur la grille sans provoquer de pertes de charge importantes ni entraîner des colmatages en profondeur des barreaux.

- Vitesse de passage

La vitesse moyenne de passage entre les barreaux est comprise  $0.6 < V < 1$  m/s ou 1.2 à 1.4 m/s en débit maximal.

### **I.1. 2. Dilacération**

Il s'agit d'une opération de broyage des déchets qui sont évacués avec l'eau brute.

Ce système nécessite beaucoup d'impératifs liés à la nature des déchets, et à l'efficacité de ce traitement. Les broyeurs sont deux types :

- broyeurs à marteau
- tambours à râteau

### **I.1. 3. Le Tamisage**

Le tamisage est en fait un dégrillage poussé, Il consiste de faire passer l'eau à travers un filtre dont les mailles sont assez fines (dégrillage poussé), par exemple la filtration sur toile mettant en oeuvre des mailles de différentes dimensions (0,1 à 3mm)

Trois principales fonctions du tamisage peuvent être mentionnées

- la récupération de déchets recyclables ;
- la protection de canalisations et des pompes ;
- la limitation des risques de dépôts et de fermentation ;

#### **I.1. 3.1. Macro-tamisage**

Les éléments filtrants sont constitués de tôles perforées ou, le plus souvent, de toiles à mailles croisées en acier inoxydable ou en tissu synthétique, présentant des ouvertures de 0,15 à 2 mm.

Les tamis sont réalisables sous forme de tambours de 1,5 à 6 m de diamètre ou de bandes de 1 à 3 m de largeur et dont la hauteur de 3 à 15 m est adaptée aux rivières à niveau variable.

Selon le sens de circulation de l'eau, le système de lavage par pulvérisation est situé au-dessus du filtre ou à l'intérieur. Une goulotte évacue les effluents de lavage.

Dans les deux cas, la mise en place de panneaux en forme de dièdres ou de demi cylindres permet d'accroître la surface spécifique de filtration. La capacité de ces appareils peut aller jusqu'à plusieurs milliers de  $m^3.h^{-1}$ .

#### **I.1. 3.2. Micro-tamisage**

Les toiles filtrantes, en tissu synthétique, ont des ouvertures de mailles de 30-40 $\mu\text{m}$  à 150 $\mu\text{m}$ . Elles sont montées sur des tambours. Les équipements de lavage doivent assurer une pulvérisation plus intense sur la toile du fait de risques de colmatage accrus par les sables et limons fins (Figure 2.3). L'étanchéité des joints doit être assurée plus sévèrement.



**Figure I.2 :** Schéma d'un Micro-tamis à tambour

### I.1. 4. Le dessablage

Le dessablage débarrasse les eaux des sables pour éviter leur sédimentation ultérieure. L'écoulement de l'eau à une vitesse réduite dans un bassin appelé "désableur" entraîne leur dépôt au fond de l'ouvrage. Ces particules sont ensuite aspirées par une pompe. Les sables récupérés sont essorés, puis lavés avant d'être soit envoyés en décharge, soit réutilisés.

La technique de dessablage consiste à faire circuler l'eau dans une chambre de tranquillisation où il est tenté d'obtenir une vitesse constante quel que soit le débit. Une vitesse de 0,3m/s permet un dépôt de la majeure quantité des matières minérales contenues dans l'eau.

Le dessablage concerne les particules minérales de diamètre supérieur à 0,2 mm environ

On distingue différents types de désableurs à savoir :



Figure I.3. Opération de dessablage

#### I.1. 4.1. Dessableur rectangulaire à couloir

Il s'agit de dessableurs à couloirs simples qui sont des canaux à section élargies et rectangulaires dans lesquels la vitesse de passage est inférieure à 0,3m/s, de manière à éviter le réentraînement des particules par le courant.

#### VI.1. 4.2. Dessableur à couloir à vitesse constante :

Pour maintenir la vitesse constante dans ce type de dessableur on se base sur le canal de venturi.

#### I.1. 4.3. Dessableur circulaire

Ce type de dessableur est alimenté tangentiellement et dans lequel les sables sont projetés vers les parois et en décrivant une spirale à axe vertical. La vitesse de passage est de l'ordre de 0,8m/s.

#### I.1. 4.4. Dessableur rectangulaire aéré

Dans ce type de dessableur l'insufflation de l'air impose aux eaux un mouvement de rotation qui entraîne :

- décantation des grains de sable seulement par contre la matière organique reste en suspension.
- détachement de la matière organique fixée sur le sable par effet de tourbillonnement.
- un rafraîchissement des eaux par l'apport d'oxygène.

#### I.1. 4.5. Dessableur aéré à fond plat

L'eau est admise sur toute la largeur du bassin par le côté opposé. Les sables sont recueillis par raclage.

#### I.1. 4.6. Quantité de sable – caractérisation

La quantité de sable dans l'effluent est très variable, et dépend :

- des caractéristiques géologiques de la région ;
- de l'état et de la longueur des canalisations ;
- du type de réseau : séparatif, unitaire, mixte, et entretien du réseau ;
- de la fréquence des épisodes pluvieux.

La quantité de sable à extraire ne dépasse pas généralement 15 litres par an et par habitant.

### **I.1. 4.7. Traitement des sables**

Le sable est généralement traité pour réduire la quantité de matières organiques ; le « sable » repris en sortie du dessableur est envoyé sur un traitement particulier comportant :

- hydrocyclone ;
- classificateur ;
- laveur de sables.

### **I.1. 5. Dégraissage-déshuilage**

Les opérations de dégraissage et de déshuilage consistent à séparer des produits de densité légèrement inférieure à l'eau, par effet de flottation, naturelle ou assistée , dans une enceinte liquide de volume suffisant.

On a coutume d'appeler « huiles » des produits liquides non miscibles à l'eau aussi différents que les huiles végétales, les huiles minérales, les hydrocarbures légers et le terme déshuilage est habituellement réservé à l'élimination d'huiles présentes en quantité notable , en particulier dans les industries du pétrole (mais normalement absentes des ERU, leur rejet en égout étant interdit).

Donc le dégraissage-déshuilage vise à éliminer les graisses et les huiles dans les eaux , qui peuvent gêner l'efficacité des traitements biologiques qui interviennent ensuite. L'opération s'effectue par flottation. L'injection d'air au fond de l'ouvrage permet la remontée en surface des corps gras. Les graisses et huiles sont raclées à la surface, puis stockées avant d'être éliminées (mise en décharge ou incinération).

Il existe plusieurs types de dégraisseur

#### **I.1. 5.1. dessableur-dégraisseur circulaire**

De forme cylindroconique, l'ouvrage a un diamètre de 3 à 8 m et une profondeur liquide au centre de 3 à 5 m. Il est équipé d'un aérateur-mélangeur immergé genre « Aéroflot » placé dans l'axe

Le mélangeur-aérateur comporte un mobile centrifuge de pompage, noyé sous environ 2 m d'eau et entraîné par un moteur électrique immergé libérant une puissance spécifique de 15 à 30 W par m<sup>3</sup> de capacité liquide.

Le mobile :

- assure un flux d'écoulement giratoire dans les zones basses de l'ouvrage, facilitant l'écoulement des sables sur les pentes de la trémie à 45° ;
- crée une zone de turbulence ponctuelle favorisant la séparation des graisses et des matières agglutinées ;
- aspire un certain débit d'air atmosphérique par une conduite à l'air libre, et libère cet air dans la masse sous forme de fines bulles dispersées. Elles s'agglomèrent préférentiellement aux particules de graisses hydrophobes et les aident à flotter.



**Figure I.4.** Dessableur-dégraisseur circulaire

### **I.1. 5.2. dessableur-dégraisseur rectangulaire**

De taille identique au dessableur rectangulaire, il permet de traiter des débits importants, jusqu'à 5 000 m<sup>3</sup> · h<sup>-1</sup>

On distingue les zones de traitement suivantes :

zone 1 : zone aérée où se synthétisent les graisses ;

zone 2 : zone calme de concentration et de récupération par raclage des graisses ;

zone 3 : pont racler combiné avec raclage des graisses et extraction des sables par pompe.



**Figure I.5.** Dessableur-dégraisseur rectangulaire

### **I.2. Les traitement primaire des eaux**

L'eau contient de nombreux composés qui peuvent se regrouper en trois catégories :

- **Matières en suspension**

Ces produits peuvent être d'origine minérale (sables, limons, argiles, ...) ou organique (produits de la décomposition des matières végétales ou animales, acides humiques ou fulviques par exemple). A ces composés s'ajoutent les micro-organismes tels que bactéries, plancton, algues et virus. Ces substances sont responsables, en particulier, de la turbidité et de la couleur ;

- **Matières colloïdales (moins de 1 micron)**

Ce sont des MES de même origine que les précédentes mais de plus petite taille, dont la décantation est excessivement lente. Elles sont également génératrices de turbidité et de couleur ;

- **Matières dissoutes (moins de quelques nanomètres)**

Ce sont généralement des cations ou des anions. Une partie de la matière organique est également sous forme dissoute. On trouve aussi des gaz ( $O_2$ ,  $CO_2$ ,  $H_2S$ , ...).

Les procédés de coagulation et de floculation facilitent l'élimination des MES et colloïdales. Celle-ci est réalisée dans une étape ultérieure de séparation solide liquide: décantation, flottation ou filtration.

### I.2. 1. Décantation

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

#### I.2. 1.1 Décantation naturelle

La décantation est une opération de séparation solide/liquide par simple gravité. Si la densité des particules est supérieure à celle de l'eau, il y a une décantation, sinon on a une flottation. La décantation a pour but d'éliminer les MES et les colloïdes. Ce procédé est utilisé pratiquement dans toutes les usines d'eau potable ainsi que les stations d'épuration d'eaux usées. Le décanteur est un bassin rectangulaire ou circulaire dans lequel l'eau séjourne longtemps pour permettre la sédimentation entière des particules ou des flocons



**Figure. I.6 :** Bassin décanteur

D'autre part la décantation est un processus physique utilisé pour séparer les particules solides des liquides, basé sur leur différence de densité. Ce processus se déroule en plusieurs étapes dans un bassin de décantation.

- Tout d'abord, on mélange les particules solides en suspension dans un liquide, puis on laisse reposer un certain temps.
- Pendant ce temps, les particules solides perdent de leur énergie cinétique, se déposent au fond du récipient et forment une couche séparée.

- L'objectif, c'est que les particules perdent leur énergie cinétique pour qu'on puisse facilement les ramasser en fond d'ouvrage.

### **I.2. 1.2. Les différents types de décantation**

Il existe plusieurs types de décantation utilisés dans différents domaines industriels. La décantation est un procédé de séparation physique utilisé pour séparer des liquides de densités différentes ou des solides en suspension dans un liquide. Et dans le domaine de l'eau, nous avons la décantation solide-liquide qui est largement répandue.

Cette méthode repose sur le repos d'un mélange solide-liquide pendant un temps défini. Ainsi, les particules solides se déposent au fond, créant alors une couche distincte. Son principe repose sur la séparation de deux liquides de densités différentes. Pour cela, on utilise un séparateur centrifuge ou un séparateur à gravité. Cependant, n'oubliez pas que les effluents à traiter contiennent très souvent une fraction flottante. Il faut aussi pouvoir l'extraire séparément.

### **I.2. 1.3. Applications de la décantation**

- **Traitement des eaux usées : pour éliminer les matières en suspension**

L'utilisation de la décantation pour éliminer les matières en suspension est un élément important de ce traitement. Le traitement primaire des eaux usées avec un bassin tampon est recommandé, car cela permet de nombreux avantages :

- Les bassins primaires réduisent la teneur de matières en suspension ainsi que les polluants incorporés dans ceux-ci.
- Peut aider à lisser le débit sur la biologique, pour faciliter la vie des microorganismes épurateurs.
- Réduction de la taille des équipements installés, notamment de l'aération biologique, ce qui peut entraîner des économies de coûts.
- Il permet de réaliser des économies d'électricité en évitant les pics de débits en période de pointe. De plus, le tampon élimine une partie de la pollution carbonée.
- Production d'eau potable : pour éliminer les impuretés et protéger le filtre en aval

Pour garantir la qualité de l'eau, il est important d'éliminer les impuretés avant de la filtrer. C'est là que la décantation entre en jeu.

Il s'agit d'un processus de séparation physique de la boue et des impuretés en suspension dans l'eau. Elle consiste à faire flotter les particules en suspension pour les séparer de l'eau claire.

Le processus se déroule en plusieurs étapes :

- On ajoute lentement l'eau à une cuve de décantation pour que les particules en suspension se déposent au fond.
- Ensuite, on pompe l'eau décantée claire depuis le dessus du réservoir, laissant les impuretés au fond. Cette étape est importante, car elle protège le filtre en aval et augmente son efficacité et sa rentabilité.

### I.2. 1.4. Les différents types de décanteurs

Il existe de Deux types de décanteurs

#### a- Décanteur primaire

Un décanteur primaire est un équipement de traitement des eaux utilisé pour séparer les solides lourds et les graisses des eaux usées. Il s'agit de la première étape du traitement des eaux usées. Elle consiste à préparer les eaux pour les traitements suivants.

Le décanteur primaire est essentiel dans une station d'épuration, car il sépare les gros déchets. Cette séparation prévient l'obstruction des équipements ultérieurs et optimise leur fonctionnement.

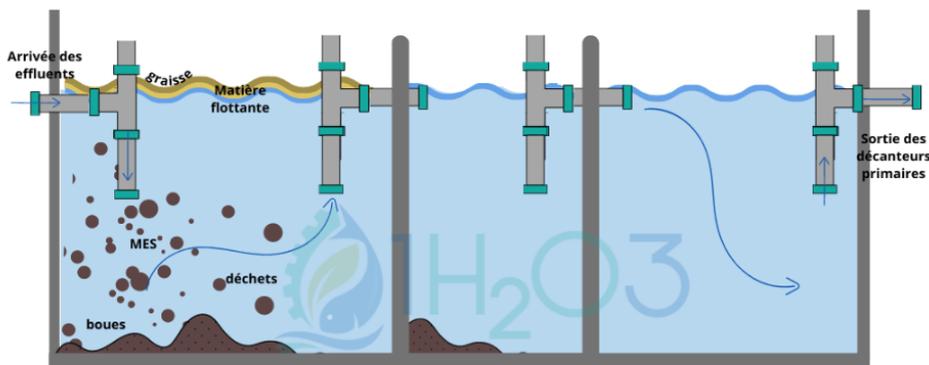


Figure. I.7 : Décanteur primaire

### b- Décanteur lamellaire

C'est un équipement de traitement de l'eau utilisé pour clarifier l'eau en séparant les particules en suspension. Les industries et les stations d'épuration utilisent fréquemment le décanteur lamellaire pour améliorer la qualité de l'eau traitée.

Le décanteur lamellaire se compose des lamelles anti-colmatages de 3 mm d'épaisseur pour faciliter l'écoulement de l'eau. Les particules en suspension sont retenues à la surface des lames et s'accumulent à mesure que l'eau circule.

Son fonctionnement repose sur la différence de densité entre les particules en suspension et l'eau. Une force centrifuge pousse les particules légères vers la surface, tandis que les lourdes restent en suspension.

Lorsque les particules en suspension s'accumulent à la surface des lames, un système de vidange rapide l'évacuera ensuite.

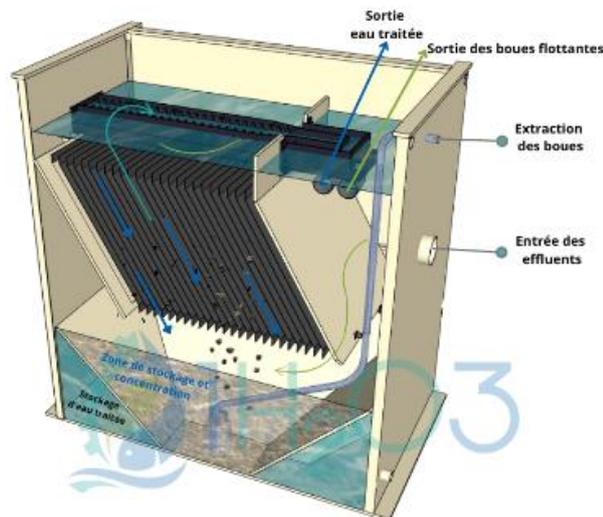


Figure. I.8 : Décanteur lamellaire

## I.2. 2. Coagulation –Floculation

La coagulation-floculation facilite l'élimination des MES (Matières En Suspension) et des colloïdes en les rassemblant sous forme de floccs dont la séparation s'effectue par décantation, flottation et/ou filtration. C'est donc un traitement physique qui permet d'éliminer tout ou partie des polluants des effluents notamment les fractions particulaires inertes ou vivantes, les fractions floculables des matières organiques et de certains métaux lourds, les micropolluants associés aux MES et les macromolécules colloïdales. Le temps de décantation des particules coagulées dépend du type de particules, du diamètre des particules et de leur surface spécifique. Ce temps va d'une seconde pour du gravier coagulé ayant un diamètre de 10 mm et une surface spécifique de  $6.102\text{m}^2 \cdot \text{m}^{-3}$  à 20 ans pour du colloïde de  $10^{-2} \mu\text{m}$  ayant une surface spécifique de  $6.108 \text{m}^2 \cdot \text{m}^{-3}$ . Il est donc impossible que certaines particules notamment les colloïdes et les particules à surface spécifique très élevée décantent naturellement. Pour obtenir la décantation de ces particules, il faudrait assembler un très grand nombre de colloïdes en agrégats d'au moins 10 à 100  $\mu\text{m}$ . Malheureusement, ces particules exercent entre elles des forces de répulsion de nature électrostatique empêchant leur assemblage. C'est ce phénomène qui rend certaines suspensions totalement stables.

**I.2. 2. 1. coagulation** : déstabilisation des particules colloïdales et formation de micro micelles constituées des hydroxydes métalliques et de colloïdes ;

Des sels de fer ou d'aluminium sont ajoutés à l'eau afin de réduire les forces électrostatiques de répulsion entre les particules et permettre ainsi leur coagulation ;

### a) Description de phénomène de la coagulation

La charge électrique et la couche d'eau qui entourent les particules tendent à éloigner les particules les unes des autres et, par conséquent, à les stabiliser dans la solution. Le but principal de la coagulation est de déstabiliser ces particules pour favoriser leur agglomération. Cette agglomération est, généralement, caractérisée par l'injection et la dispersion rapide de réactifs chimiques, ce procédé permet d'augmenter substantiellement l'efficacité des traitements ultérieurs (décantation et/ou filtration).

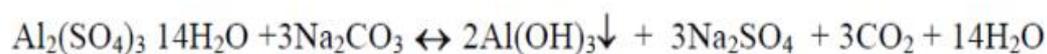
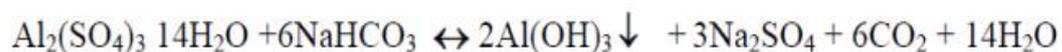
### b) Coagulants utilisés

L'efficacité de la clarification dépend d'abord du coagulant utilisé. Les coagulants les plus efficaces sont des sels de métaux, à bases d'aluminium ou de fer. Ils sont cités dans le tableau ci - dessous

**Dérivés des sels d'aluminium et de fer**

Sels d'aluminium	Formule chimique	Sels de fer	Formule chimique
Sulfate d'aluminium (alun)	$Al_2(SO_4)_3$	Chlorure ferrique	$FeCl_3$
Chlorure d'aluminium	$AlCl_3$	Sulfate ferrique	$Fe_2(SO_4)_3$
Aluminate de sodium	$NaAlO_2$	Sulfate ferreux	$FeSO_4$

Les produits les plus utilisés sont Sulfate d'aluminium (l'alun) et le chlorure ferrique. Ces coagulants, une fois introduits dans l'eau, forment des produits d'hydrolyse qui déterminent l'efficacité de la coagulation. Par exemple, lorsque l'alun est utilisé, plusieurs radicaux hydroxy-alumineux monomères ou polymères sont formés. Ces produits complexes ont une solubilité qui varie avec le pH. Dans le cas de l'alun. Les réactions suivantes décrivent comment est formé le précipité :



**I.2. 2. 2. Flocculation** : rassemblement des micromicelles sous forme séparable de la phase aqueuse ;

L'eau est lentement brassée, permettant ainsi aux particules de s'agglomérer et de former des amas de plus et plus gros. Leur masse élevée leur permet ensuite de se déposer plus rapidement dans le fond du bassin sous l'effet de la gravité.

Sous l'action d'un réactif généralement du micro-sable, les particules en suspension, non retenues par les tamis, forment des flocons (flocculation), plus gros et plus lourds, qui se déposent par décantation

**a) Description de la flocculation**

1- Après avoir été déstabilisées, les particules colloïdales ont tendance à s'agglomérer lorsqu'elles entrent en contact les unes avec les autres, pour former des microfloc puis des plus volumineux et décantables. Le taux d'agglomération des particules dépend de la probabilité des contacts et de l'efficacité de ces derniers. La flocculation a justement pour but d'augmenter la probabilité des contacts entre les particules, lesquels sont provoqués par la différence de vitesse entre ces particules.

2- Ces particules seront périodiquement éliminées du fond du bassin de décantation. L'eau clarifiée se situant à la surface du décanteur est ensuite redirigée vers un filtre. La vitesse de chute des particules est proportionnelle au diamètre et à la masse volumique de la particule.

Le mélange d'eau brute et des coagulants-floculants est introduit à la base du décanteur. Dans le décanteur se trouve du micro-sable qui « colle » aux flocons et les lestent. Ceux-ci tombent alors au fond du décanteur. L'eau décantée est évacuée par le haut de la cuve mais elle doit auparavant traverser des modules lamellaires inclinés qui forcent la décantation des particules plus légères entraînées par le courant ascensionnel de l'eau.

Au fond du décanteur, la boue est pompée en continu et envoyée vers un hydrocyclone, appareil simple qui sépare, grâce à la force centrifuge, la boue et le micro-sable. Il permet d'éliminer environ 80% des matières en suspension. Le micro-sable est ensuite réinjecté dans le décanteur alors que les boues sont dirigées vers l'unité de traitement des boues.

**b) Les différents Floculants Utilisés**

❖ **Les flocculants minéraux :**

- La Silice activée
- Silico-aluminate
- Certaines argiles (bentonite, kaolin)
- Blanc de Meudon ou carbonate de calcium précipité
- Charbon actif en poudre
- Diatomées

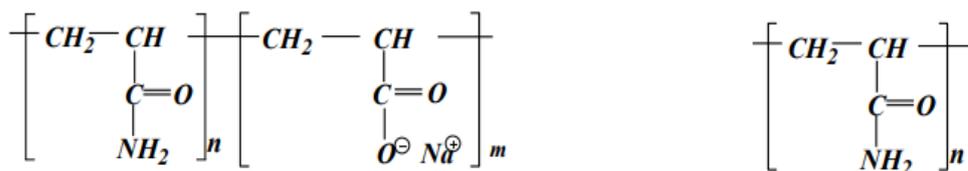
❖ **Les flocculants organiques:**

• Les polymères organiques d'origine naturelle : Aqualgine, Sobalgine, Cellalgine, Carboxyméthyl-cellulose de sodium,

• Les polymères organiques de synthèse :

1. Anioniques: Ce sont généralement des polymères de l'acrylamide et d'acrylate

2. Neutres ou non ioniques: ce sont essentiellement des polyacrylamides



**I.2. 2. 3. Précipitation**

La précipitation chimique regroupe un certain nombre de procédés qui réalisent tous l'application de la loi de Bertholet : on ajoute à l'eau un réactif soluble qui, par permutation ou combinaison avec les ions indésirables préexistants, forme un composé insoluble ou très peu soluble qui précipite jusqu'à sa limite de solubilité (déterminée par le produit de solubilité, cette dernière grandeur pouvant subir des variations importantes en fonction de la température, de la force ionique, de la nature des autres ions dissous, etc.). L'aboutissement

de ces réactions de précipitation combinées souvent avec une neutralisation des rejets, est toujours une séparation solide-liquide, mettant en oeuvre des traitements classiques de décantation, flottation, voire filtration.

### **I.2. 3. Filtration sur membranes**

Les filtrations sur membranes constituent une mini-révolution dans le domaine du traitement de l'eau. En effet, son principe consiste non plus à éliminer chimiquement les micropolluants mais à les extraire physiquement. Leur très gros avantage est de n'utiliser aucun réactif chimique pour traiter des eaux. Elles permettent de traiter des eaux très polluées et de produire une eau très pure, sans goût désagréable ni mauvaise odeur, et de qualité constante quelles que soient les variations de qualité de l'eau à traiter. Elles commencent depuis peu à être utilisées à grande échelle au niveau industriel. Le seul inconvénient de ces nouveaux traitements est leur coût élevé, mais le principe d'action de ces membranes est simple puisqu'il consiste ni plus ni moins en un filtrage mécanique.

#### **I.2. 3.1. La microfiltration**

Pour la microfiltration, on utilise des membranes avec des pores de taille comprise entre 0.1 et 10 micromètres. Les membranes de microfiltration retiennent toutes les bactéries. Par contre, elles n'éliminent pas les virus puisqu'ils sont plus petits que les pores de ces membranes. La microfiltration peut être mise en oeuvre dans beaucoup de procédés de traitements différents quand des particules avec un diamètre supérieur à 0.1mm ont besoin d'être éliminées.

#### **I.2. 3.2. ultrafiltration**

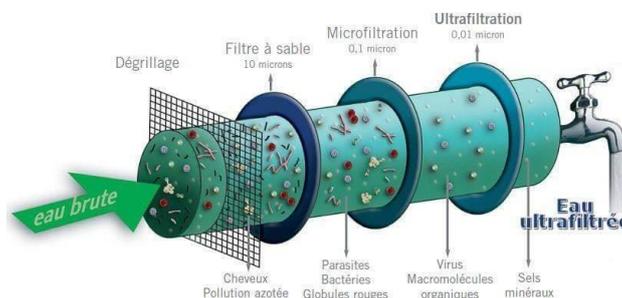
L'ultrafiltration est un procédé qui permet de séparer le soluté du solvant. Le principe de séparation est une différence de pression de part et d'autre de la membrane réalisée grâce à une pompe d'alimentation haute pression. Par ailleurs, la filtration est généralement de type tangentiel, c'est-à-dire que l'eau circule parallèlement à la membrane grâce à une pompe de circulation. Les parois de chacune des fibres de la membrane sont percées d'une multitude de pores microscopiques qui retiennent les molécules de la taille de 0,002 à 0,1 micromètre selon la membrane choisit car seule les substances inférieures à la taille des pores peuvent traverser la paroi. L'ultrafiltration permet d'éliminer toutes les particules en suspension, les bactéries et les virus, ainsi que les plus grosses molécules organiques. Mais certains pesticides et certaines molécules responsables de goûts et d'odeurs, de plus faible encombrement, ne sont pas retenus. Pour pallier cet inconvénient, du charbon actif en poudre est mélangé à l'eau à traiter. Ces substances s'adsorbent sur les grains de charbon lesquels, trop gros pour passer à travers les pores, sont retenus par les membranes. Il permet de réduire l'usage des désinfectants chimiques. Côté entretien, un lavage régulier doit être effectué avec de l'eau

propre circulant en sens inverse pour que les pores ne se colmatent pas.

### I.2. 3.3. Nanofiltration

La nanofiltration permet de produire une eau de très grande qualité grâce à son procédé de séparation utilisant la filtration au travers de membranes semi-perméables sous l'action d'une pression. Son principe est très semblable à celui de l'ultrafiltration, la différence essentielle étant que la membrane de nanofiltration offre une porosité dix fois plus faible, de l'ordre de 0.001 micromètres. Les modules actuellement proposés sont de type tubulaire ou spirale. Injectée sous pression, l'eau à traiter traverse la membrane et ressort filtrée par le tube central.

La nanofiltration permet de retenir tous les polluants dissous, qu'ils soient biologiques, organiques ou minéraux et quelle que soit leur concentration, sans avoir besoin d'utiliser l'absorption sur charbon actif. Elle constitue une technique sûre qui permet d'éliminer toutes les substances toxiques ou indésirables résultant des activités humaines, industrielles, agricoles ou provenant du milieu naturel. De plus, elle permet également de diminuer de manière significative l'usage du chlore. Son seul inconvénient réside dans le fait que l'eau produite est tellement pure qu'il est nécessaire de la reminéraliser. En effet, elle arrête certains ions comme  $\text{Ca}^{2+}$ .



**Figure I.9** : filtration sur membrane

### I.3. Les traitements secondaires des eaux (Biologiques)

Dans la grande majorité des cas, l'élimination des pollutions carbonées et azotées s'appuie sur des procédés de nature biologique, basés sur la croissance de micro-organismes aux dépens des matières organiques "biodégradables" qui constituent pour eux des aliments.

#### I.3.1. Traitements anaérobies

Les traitements anaérobies font appel à des bactéries n'utilisant pas de l'oxygène, en particulier, aux bactéries méthanogènes qui conduisent, comme leur nom l'indique, à la formation du méthane à partir de la matière organique, et à un degré moindre de  $\text{CO}_2$ .

C'est une opération délicate qui demande une surveillance importante. En effet, la température doit être maintenue à un niveau très stable et suffisamment élevée. Il faut aussi éviter les écarts brutaux de PH et les substances inhibitrices du développement bactérien, à titre d'exemple : les cyanures, les sels de métaux lourds et les phénols.

### **I.3.1.2. Traitements aérobies**

Les micro-organismes utilisés exigent un apport permanent d'oxygène.

#### **I.3.1.2. 1. Boues activées (Les cultures libres)**

En pratique, le procédé consiste à alimenter un bassin brassé et aéré (bassin d'aération) avec l'eau à épurer (effluent préalablement prétraité voir décanté) au sein d'un courant continu d'eau usée, les bactéries aérobies sont soumises à l'action prolongée d'une forte oxygénation obtenue par introduction d'air régulièrement répartie dans l'effluent, ces bactéries absorbent la matière organique et forment de gros floccs (bio flocc) qui décantent, lesquels à leur tour, constituent des boues ou des masses flocculeuses dites boues activées.

Le mélange eau usée + bio flocc forme une liqueur mixte.



**Figure I.10 :** Bassin d'aération

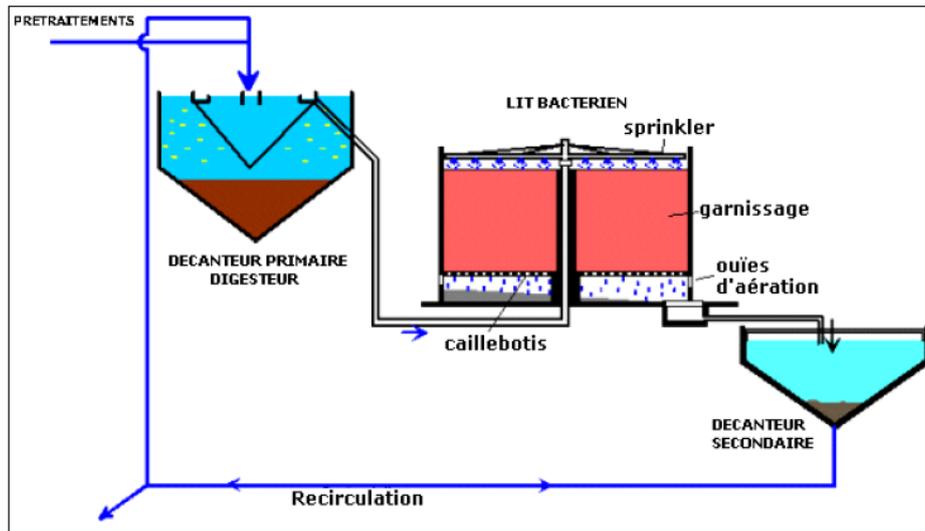
#### **I.3.1.2. 2. Lits bactériens (Cultures fixes)**

Un lit bactérien se présente comme une colonne circulaire pouvant atteindre 4 à 5 mètres de hauteur dans laquelle se trouve un matériau (Pouzzolane ou Plastique).

L'effluent ruisselle à la surface de la pellicule biologique qui prolifère sur le support (interstices), celle-ci renferme une forte concentration de bactéries, de champignons.

Ces organismes absorbent et métabolisent la matière organique de l'effluent, l'appauvrissent progressivement au cours de son trajet.

L'approvisionnement en oxygène se fait naturellement à l'aide d'Ouïes d'aération assurant ainsi les besoins en oxygène de la biomasse



**Figure I.11** : Lits Bactérien

### I.3.1.2. 3. Disques biologiques (Cultures fixes)

L'eau usée, préalablement décantée, alimente un ouvrage dans lequel des disques fixés sur un axe sont mis en rotation à vitesse lente. Sur ces disques biologiques en plastique se développe alors un film bactérien. Lors de leur émergence, ces bactéries prélèvent l'oxygène nécessaire à leur respiration et lors de l'immersion, elles absorbent la pollution dissoute dont elles se nourrissent.

Dès que le film biologique dépasse une épaisseur de quelques millimètres, il se détache et est entraîné vers le décanteur final où il est séparé de l'eau épurée. Les boues ainsi piégées sont renvoyées par pompage périodique vers l'ouvrage de tête pour y être stockées et digérées.



**Figure I.12**: Disques biologiques

#### I.3.1.2. 4. Le lagunage

Ce sont des procédés utilisant de grandes surfaces (lagunes) s'appuyant sur les propriétés épuratrices d'un plan d'eau peu profond. On a deux types de lagunage :

##### ❖ Le lagunage naturel

Ce mode a pour principe d'utiliser la végétation aquatique comme agent épurateur des eaux polluées. L'épuration des effluents est réalisée essentiellement par des bactéries aérobies dont l'oxygénation est assurée par l'action chlorophyllienne de végétaux qui participent aussi à la synthèse directe de la matière organique

- Les microphytes ou algues microscopiques sont essentiellement des algues bleues ou vertes difficilement séparables ;
- Les macrophytes ou végétaux macroscopiques qui comprennent des formes libres (exemple : lentilles d'eau) ou fixées (exemple : roseaux).

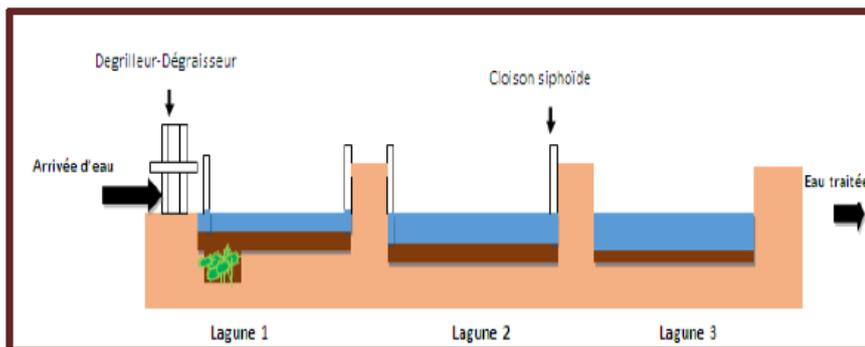


Figure I.13 : Lagunage naturel.

##### ➤ Avantages :

- généralement pour des petites stations de taille inférieure à 2000 EH
- bien adapté au réseau unitaire (charge hydraulique - dilution) ;
- faibles coûts d'exploitation ;
- bonne intégration dans l'environnement ;
- bonne élimination des pathogènes ;
- boues peu fermentescibles ;
- raccordement électrique inutile ;
- bonne élimination de l'azote (70 %) et du phosphore (60 %).

### ❖ **Le lagunage aéré**

L'apport d'oxygène est essentiellement assuré de façon artificielle : aérateurs mécanique flottants ou fixes, insufflation d'air.

### ❖ **Le lagunage anaérobie**

Dans ces algues, le rendement d'épuration dépend essentiellement du développement d'une fermentation méthanique. Il n'est, de ce fait, applicable que sur des effluents à forte concentration, et le plus souvent, à titre de prétraitement avant un deuxième stade d'épuration de type aérobie.

## II.1. ELIMINATION DU FER ET DU MANGANESE

### II.1.1. Introduction

Le fer et le manganèse étant présents dans la plupart des sols sous forme de minéraux, la solubilisation de ces derniers est responsable des concentrations élevées de fer et de manganèse dans les eaux. Le fer est l'un des éléments les plus abondants dans les sols; on le retrouve donc plus fréquemment et en concentration plus élevée que le manganèse. Les concentrations de fer sont rarement supérieures à 10 mg/L et celles de manganèse, à 2 mg/L.

Le fer et le manganèse ne sont pas des éléments nuisibles pour la santé- au contraire même, le fer est un élément nutritif essentiel. On doit cependant en contrôler les concentrations et ce pour des raisons d'esthétique.

En effet, la présence d'une certaine quantité de ces métaux dans l'eau peut entraîner certains inconvénients ; cela peut:

- Donner à l'eau un goût métallique désagréable;
- Tacher les tissus lors de la lessive, tacher les équipements sanitaires (cuvettes de porcelaine, baignoires, etc.);
- Former un précipité dans les conduites, ce qui favorise la croissance de bactéries ferrugineuses.

À cause de tous ces inconvénients, **la réglementation algérienne** relative à la qualité de l'eau de consommation humaine, recommande **des concentrations maximales de 0,3mg/L de fer et de 0,05 mg/L (ou 50µg/l) de manganèse**

### II.1.2. Chimie du fer et du manganèse

Les principales observations relatives à la stabilité du fer et manganèse sont :

- En solution dans l'eau, le fer et le manganèse sont toujours présents sous forme de  $Fe^{2+}$  et de  $Mn^{2+}$  ;
- La concentration en oxygène dissous des eaux souterraines qui contiennent de grandes quantités de fer et de manganèse en solution est toujours nulle, et leur concentration en  $CO_2$  est élevée. Les eaux de surface peuvent être riches en fer et en manganèse lorsque leur concentration en oxygène dissous est faible ou nulle ;

- Le fer et le manganèse sont stables en présence d'oxygène dissous uniquement lorsqu'ils existent sous forme de  $\text{Fe}^{3+}$  et de  $\text{Mn}^{4+}$ .
- Ces métaux ont tendance à se combiner à d'autres substances et composés chimiques pour former **des complexes minéraux et organiques**. Les principaux complexes minéraux du fer et du manganèse sont les suivants:  $\text{FeOH}^+$ ,  $\text{Fe}(\text{OH})_3^-$ ,  $\text{MnOH}^+$  et  $\text{Mn}(\text{OH})_3^-$ .
- Dans les eaux naturelles, le fer et le manganèse ont une forte tendance à former des **complexes chimiques avec les substances humiques** (l'acide fulvique, l'acide humique et l'humine) ;
- La stabilité dans l'eau de ces différents complexes dépend de plusieurs variables, comme le pH de l'eau, la présence d'éléments chimiques (et leurs concentrations) et le potentiel d'électrode de la solution.
- Pour le cas du fer, les différentes formes sous lesquelles, cet élément est susceptible de se présenter dans l'eau sont résumées dans la figure

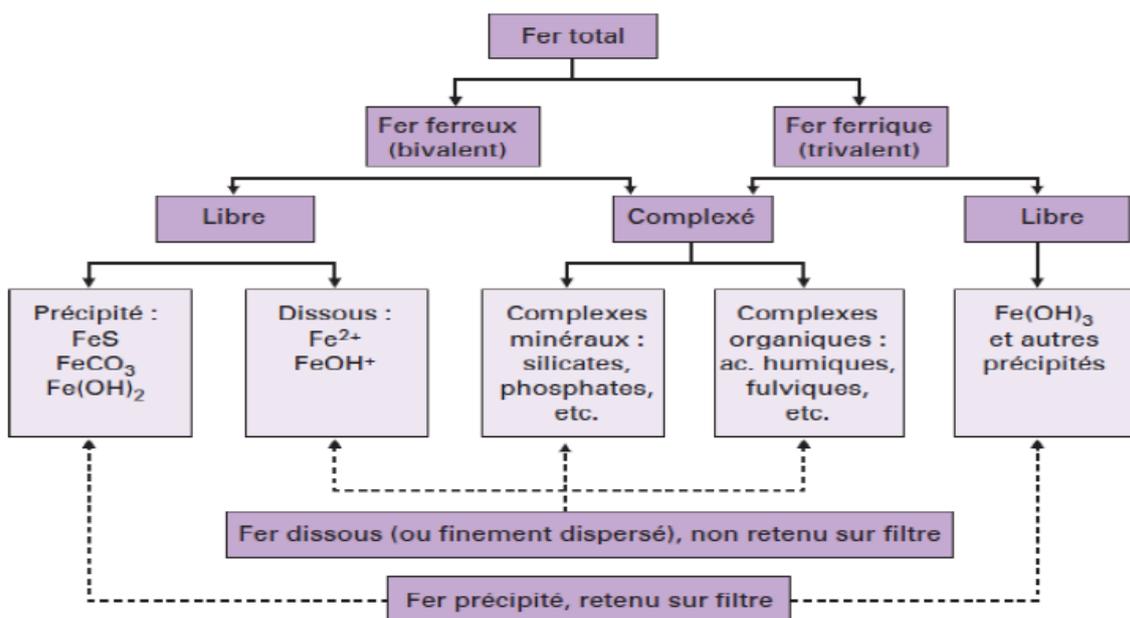


Figure.14: Formes d'existence du fer dans l'eau

### II.1.3. Stabilité du fer et du Manganèse

Pour définir un traitement de déferrisation ou de démannanisation, il ne suffit donc pas de connaître la teneur totale de ces métaux, mais aussi les différentes formes sous lesquelles ces éléments sont susceptibles de se présenter. Les Diagrammes de stabilité du fer et du

manganèse dans des eaux contenant de carbonates (Potentiel oxydoréduction en fonction du pH) sont donnés dans les figures 6.5 et 6.6.

- On voit qu'il est possible de passer d'une forme dissoute du fer (par exemple  $\text{Fe}^{2+}$  ou  $\text{FeOH}^+$ ) à une forme précipitée ( $\text{FeCO}_3$ ,  $\text{Fe}(\text{OH})_2$  ou  $\text{Fe}(\text{OH})_3$ ) en élevant soit le potentiel (oxydation), soit le pH, soit les deux à la fois. C'est sur ces principes, et plus particulièrement sur la séquence [oxydation  $\text{Fe}^{2+}$  – précipitation  $\text{Fe}(\text{OH})_3$ , puis filtration], que sont fondés les différents traitements physico-chimiques envisageables.

- La chimie du manganèse est semblable, à plusieurs points de vue, à la chimie du fer. Ainsi, lorsque le pH de l'eau et le potentiel d'électrode de la solution sont faibles, le manganèse est stable sous forme divalente. Les carbonates, les sulfures et les silicates sont pratiquement insolubles dans les solutions neutres ou basiques.

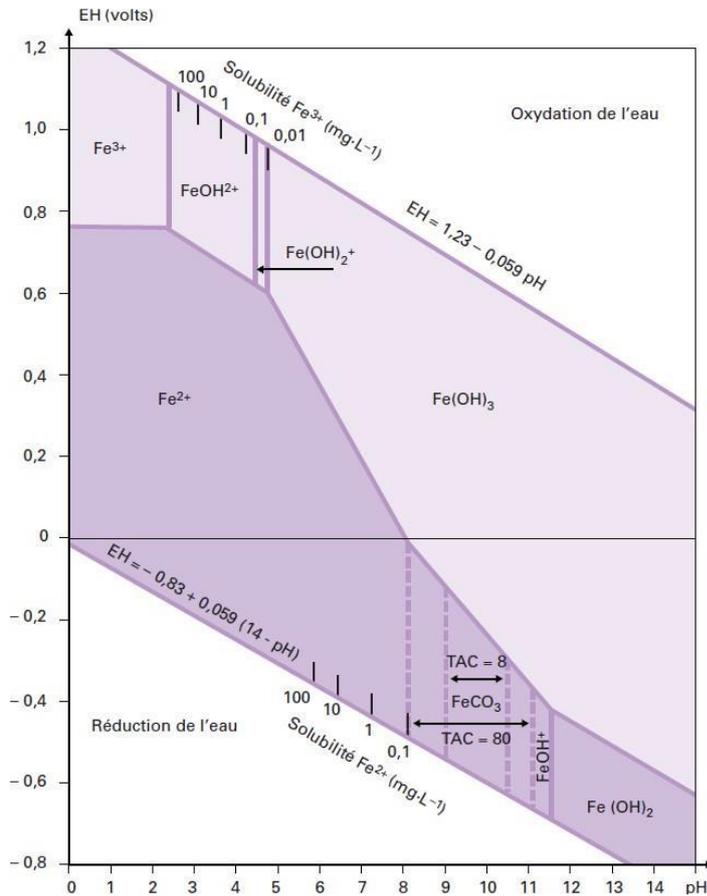
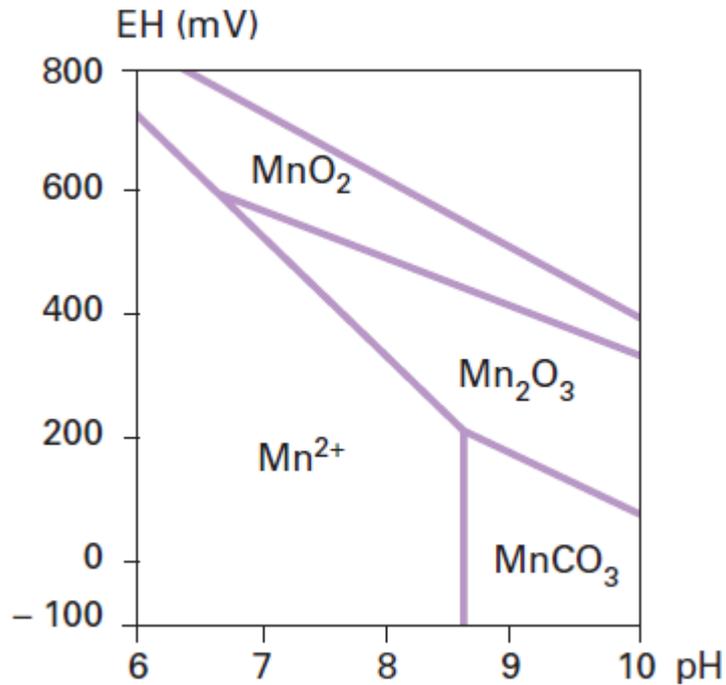


Figure.15: Diagramme de stabilité du fer



**Figure.16:** Diagramme de stabilité du Manganèse

Le fer et le manganèse sont oxydés dans des eaux bien oxygénées; ils produisent alors des oxydes insolubles,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  et  $\text{MnO}_2$ ; l'oxydation du manganèse exige cependant un potentiel d'électrode plus élevé. Lorsqu'on compare les figures 6.5 et 6.6, on remarque la grande surface occupée par la représentation des carbonates de manganèse,  $\text{MnCO}_3$ , et la surface beaucoup plus petite occupée par celle des carbonates de fer,  $\text{FeCO}_3$ . Dans des eaux riches en carbonates, le manganèse précipite sous forme d'oxydes ou de carbonates, selon le potentiel d'électrode.

### II.1.3. Procédés de déferrisation et de démantanisation

On peut réduire les concentrations de fer et de manganèse dissous dans l'eau à l'aide des **procédés d'oxydation**, de la **précipitation sous forme de carbonates par échangeurs d'ions** et par **élimination biologique**.

Puisque l'oxydation permet de traiter de façon économique des volumes d'eau importants, c'est le procédé qu'on utilise le plus dans les usines de traitement municipales. La précipitation sous forme de carbonates est intéressante à réaliser dans les usines où on effectue déjà un adoucissement par précipitation à la chaux; les carbonates ferreux précipitent alors en même temps que le carbonate de calcium. On utilise les autres procédés de

déferrisation et de démanganisation principalement lorsque le débit à traiter et les concentrations de fer et de manganèse sont faibles (par exemple, dans les installations domestiques).

### II.1.3.1. Procédés d'oxydation (Déferrisation physicochimique)

Le fer et le manganèse peuvent être oxydés par différents produits chimiques. Le fer bivalent,  $Fe^{2+}$ , est alors transformé en fer trivalent,  $Fe^{3+}$ , tandis que le manganèse passe de la forme  $Mn^{2+}$  à  $Mn^{4+}$ . Ces métaux ont alors fortement tendance à se combiner à d'autres substances et à précipiter.

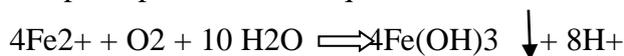
Cette technique, d'oxydation, a longtemps été la plus couramment utilisée, en particulier pour les eaux de forage. Éventuellement, on peut y ajouter un certain nombre de traitements supplémentaires tels que: correction de pH, oxydation chimique, décantation... Il est toujours utile d'aérer une eau d'origine profonde dépourvue d'oxygène, même si on utilise également un oxydant chimique. Cette aération est nécessaire si l'eau contient du  $H_2S$ .

Les principaux produits qui permettent d'oxyder ces métaux sont l'oxygène, le chlore, le permanganate de potassium, le dioxyde de chlore et l'ozone.

Au cas où l'eau contient une forte proportion de MO ou de manganèse, il faut déterminer avec soin la dose à introduire.

- **Oxydation par l'oxygène**

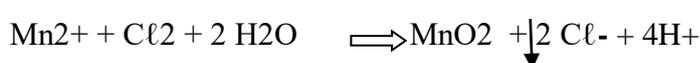
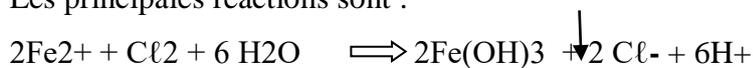
Les principales réactions qui ont lieu sont les suivantes:



On remarque que la quantité d'oxygène requis est deux fois plus élevée pour l'oxydation du manganèse que pour celle du fer et il y a production d'ions hydrogène, ce qui a tendance, lorsque l'alcalinité est faible, à abaisser le pH.

- **Oxydation par le chlore**

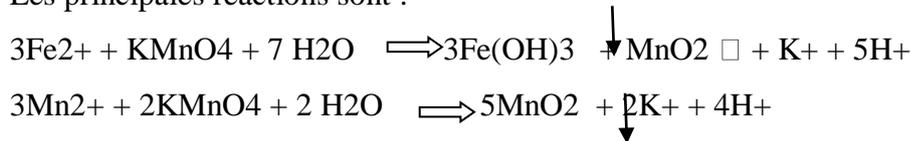
Les principales réactions sont :



Ces réactions d'oxydation par le chlore libèrent des ions hydrogène, ce qui a tendance à abaisser le pH et exercent une importante influence sur l'alcalinité, surtout dans le cas du manganèse.

- **Oxydation par le permanganate de potassium**

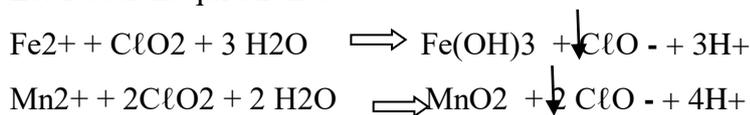
Les principales réactions sont :



On remarque que les quantités de  $\text{KMnO}_4$  requis pour oxyder le fer sont en général plus faibles que celles pour le Manganèse.

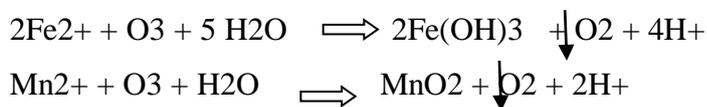
- **Oxydation par le dioxyde de chlore**

Les réactions qui ont lieu :



Le dioxyde de chlore requis est plus important pour le cas du manganèse.

- **Oxydation par l'ozone**



L'ozone requis est plus important pour le cas du manganèse.

**En conclusion, on peut dire que:** Le manganèse est plus difficile à oxyder que le fer ; les vitesses de réaction sont toujours plus lentes, et ce quel que soit l'oxydant utilisé

### II.1.3.2. Procédés par échangeurs d'ions

On utilise les échangeurs d'ions pour traiter les eaux contenant de **faibles concentrations de  $\text{Fe}^{2+}$  et de  $\text{Mn}^{2+}$** , par exemple dans le cas d'approvisionnements individuels (procédés domestiques). Lorsqu'on traite une eau souterraine, il faut éviter de la mettre en contact avec l'oxygène de l'air avant de l'acheminer vers l'échangeur d'ions; l'oxygène de l'air peut en effet oxyder le fer, ce qui favorise la formation d'un précipité pouvant colmater la colonne de résine. En outre, les résines échangeuses d'ions éliminent d'autres cations comme les  $\text{Ca}^{2+}$ ; on les utilise donc seulement lorsque les débits et les concentrations de fer et de manganèse sont faibles.

La déferrisation de l'eau est utilisée dans le cas de l'échange d'ions sur zéolite régénérable au chlorure de sodium. Cette zéolite, qui est développée pour le traitement des eaux de source, assure plusieurs traitements en simultané : l'élimination du fer, du manganèse, la neutralisation des pH acides, ... Comme tous les autres médias de traitement de l'eau, cette zéolite doit respecter des conditions d'entretien et d'emploi dans le but de durer un maximum de temps. Si ces conditions sont respectées, la zéolite dure en moyenne une dizaine d'années.

### **VI.1.3.3. Procédés de Précipitation sous forme de carbonates**

La décarbonatation à la chaux, génératrice d'un pH élevé, est favorable à l'élimination du fer et du manganèse. Ainsi, la précipitation du carbonate ferreux est pratiquement totale à pH 8,2 et celle de l'hydroxyde ferreux à pH 10,5 (Figure 6.10). En présence d'un potentiel redox élevé, le fer (II) dissous peut-être précipiter sous forme de  $\text{Fe}(\text{OH})_3$ . Pour le manganèse, les pH de précipitation sont voisins de 9,2 pour le carbonate et de 11,5 pour l'hydroxyde, respectivement.