

**Partiel : Traitement des eaux**

## I. Généralité et normes

### I.1. Caractéristiques des eaux naturelles

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

#### 1. Les eaux souterraines

##### a) Origine :

- La nappe libre.
- La nappe captive
- La nappe alluviale
- 

##### b) Caractéristiques générales :

- Les eaux circulant dans un sous-sol sablonneux ou granitique sont acides et peu minéralisées.
- Les eaux circulant dans des sols calcaires sont bicarbonatées calciques.
- Les eaux souterraines sont souvent d'une grande pureté bactériologique.

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

#### 2. Les eaux de surface

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

##### a) Origine

- les eaux des sources superficielles
- l'accumulation des eaux de pluie pour constituer de ruisseau, de rivière, etc.
- réserves naturelles (lacs) ou artificielles (retenues, barrages).

b) **Caractéristiques générales** : La composition chimique des eaux de surface dépend de la nature des terrains traversés par l'eau durant son parcours dans l'ensemble des bassins versants. Ces eaux se chargent en gaz dissous (oxygène, azote, gaz carbonique). Elles sont chargées d'une concentration importante en matières en suspension et matières organiques d'origine naturelle provenant de la décomposition des organismes végétaux ou animaux.

c) **potabilité des eaux de surface** : Les eaux de surface sont rarement potables sans aucun traitement. Les eaux de surface sont généralement polluées bactériologiquement. De plus, elles peuvent présenter plusieurs pollutions

- d'origine urbaine: les eaux d'assainissement
- d'origine industrielle: polluants et micropolluants organiques (hydrocarbures, solvants, produits de synthèse, phénols) ou inorganiques (métaux lourds, ammoniacque, produits toxiques),
- d'origine agricole: engrais et produits pesticides ou herbicides

### 3. Eaux de mer et eaux saumâtres

Les eaux des mers sont caractérisées par une **salinité** importante, qui peut varier selon les origines (tableau 1)

**Tableau 1 : Salinité des eaux de quelques océans et mers**

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

### I.2. Normes de qualité des eaux

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

- à usage domestique ;
- à usage industriel (réfrigération, fabrication).

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

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

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

#### 1. Les paramètres physicochimiques

- Température** : La température d'une eau potable devrait être inférieure en été et supérieure en hiver à la température de l'air. L'eau potable doit être désaltérante et sa température doit situer entre 8 et 15°C.
- pH** : Le pH exprime l'acidité ou l'alcalinité de l'eau. Le pH est indissociable de la température, de l'oxygène dissous et de la minéralisation totale.

PH<7 : eau acide

PH>7 : eau alcaline

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

**Tableau 2 : Classification des eaux en fonction de leur résistivité**

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

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

**Tableau 3 : Plage de valeurs pour le titre hydrotimétrique**

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

Une eau dure empêche le savon de mousser, ralentit la cuisson des légumes et provoque des dépôts dans les appareils ménagers (entartrage). Eaux de faible dureté peut engendrer des problèmes de corrosion. La réglementation Algérienne précise une valeur comprise entre 100-500 mg/l (10-50 °F).

## 2. Critères de potabilité

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

**Tableau 4 : Les concentrations admissible dans l'eau potable**

Eléments	Unité	O.M.S	C.E.E
PH	-	7-8,5	6,5-8,5
Conductivité	$\mu\text{S/cm}$	-	1250
Dureté	$^{\circ}\text{F}$	-	10-35
Ca <sup>2+</sup>	mg/l	200	100
Mg <sup>2+</sup>		150	50
Na <sup>+</sup>		-	100
K <sup>+</sup>		-	12
Al <sup>3+</sup>		-	0,2
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>		-	250
Cl <sup>-</sup>		200	200
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>		44	50
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>		-	0,1
NH <sub>4</sub> <sup>-</sup>		-	0,5

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

**C.E.E** : la Communauté Economique Européenne

**Tableau 5 : Normes Algériennes de potabilité**

Paramètres	Valeurs	Unités
Température	25	$^{\circ}\text{C}$
PH	6,5-8,5	-
Conductivité	2500	$\mu\text{S/cm}$
Résidu sec (180 $^{\circ}\text{C}$ )	2000	mg/l
Calcium (Ca <sup>2+</sup> )	200	mg/l
Magnésium (Mg <sup>2+</sup> )	150	mg/l
Sodium (Na <sup>+</sup> )	250	mg/l
Potassium (K <sup>+</sup> )	15	mg/l
Chlorure (Cl <sup>-</sup> )	600	mg/l
Sulfates (So <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )	400	mg/l
<b>Substances indésirables</b>		
Nitrates (No <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	50	mg/l
Nitrites (No <sub>2</sub> <sup>-</sup> )	0,1	mg/l

Outre, l'eau potable peut dissoudre jusqu'à 40ml de gaz par litre, dont 6 d'oxygène et 14 d'azote la diminution de la teneur en oxygène peut être un indice de présence de matière organiques.

L'eau potable doit être exemptée d'organismes pathogènes. L'eau est déclarée bactériologiquement pure s'il y a absence de :

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

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

1. **Eau domestique** : Aux besoins domestiques directs (100 l/j/h) à 300 l/j/h.

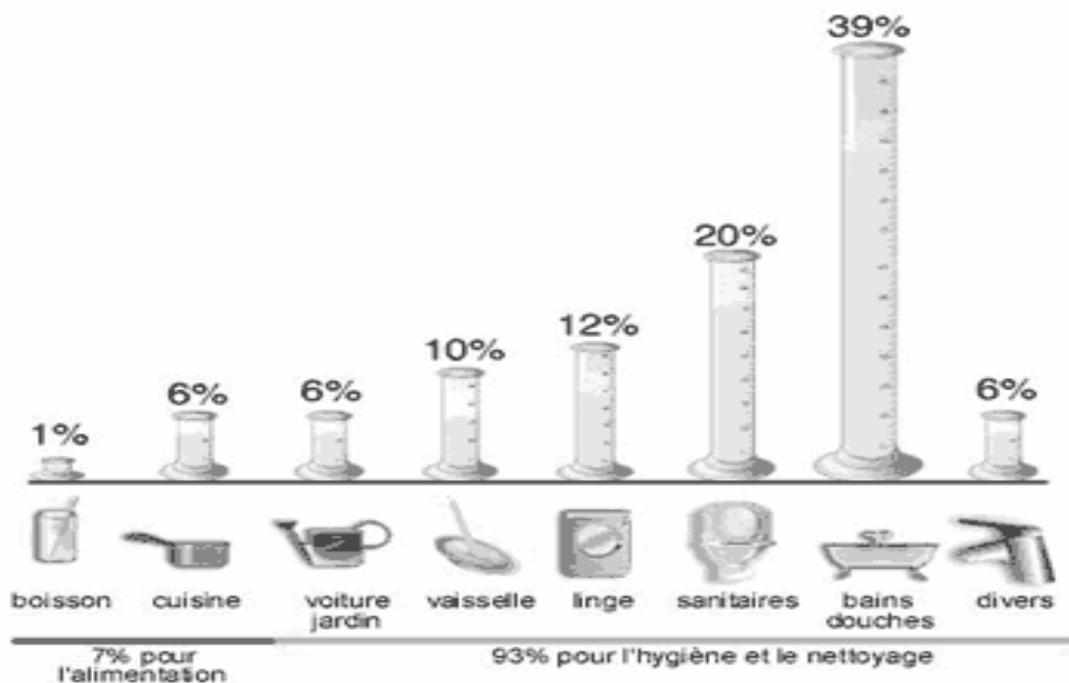


Figure 1 : Consommation domestique de l'eau.

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

### I.4. détermination la potabilité de l'eau

1. Déterminer le faciès chimique de l'eau :

- Classer à l'ordre décroissant les quantités des anions puis celles des cations
- Prendre les valeurs majeures des anions et des cations

2. Calculer le titre hydrotimétrique  $TH = [Ca^{2+}] + [Mg^{2+}] =$  en °F (1meq/l=5°F)

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

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

#### I.4. Traitement des eaux

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

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

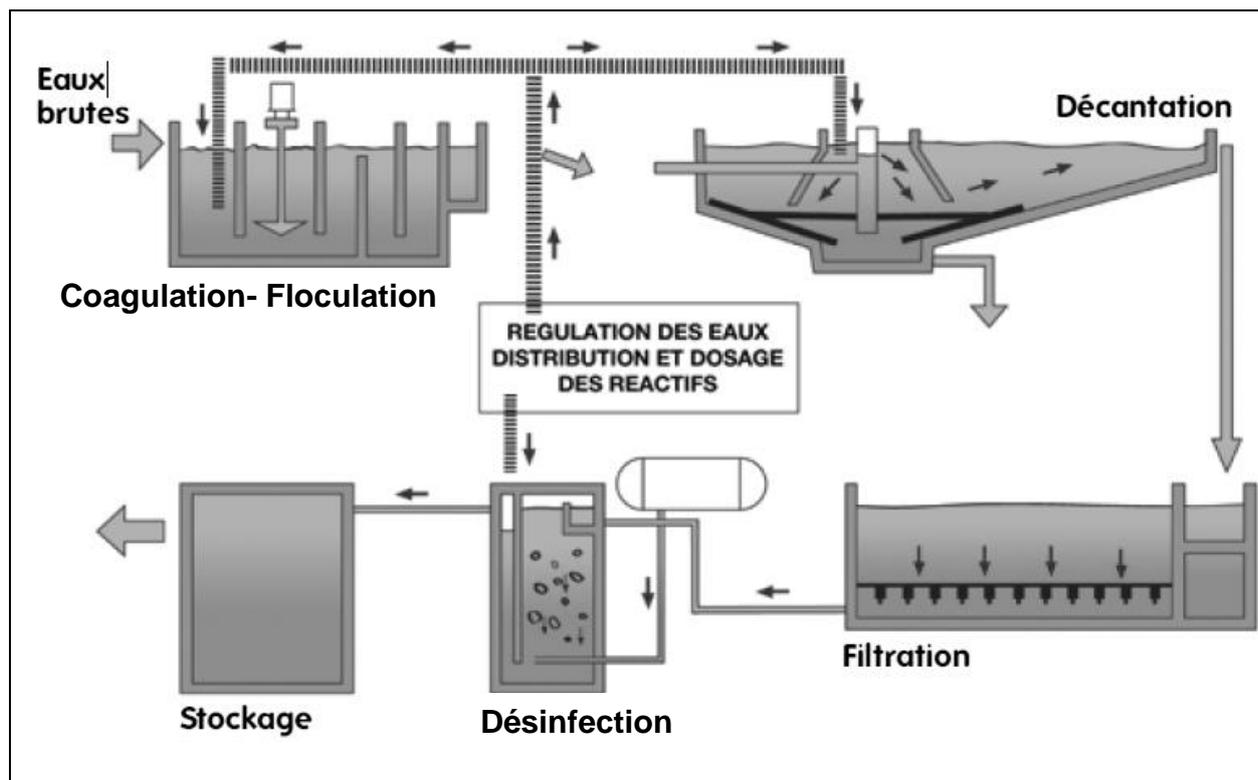


Figure 2 : Schéma type d'une station de traitement

## II. Traitement de clarification

### II.1. La coagulation-floculation :

- Principe** : Ce procédé permet ensuite de rendre l'eau limpide en la débarrassant des matières en suspension qu'elle contient dites particules colloïdales (de diamètre compris entre 0,1 et 10  $\mu\text{m}$ ). Elle s'effectue en deux temps : on injecte d'abord dans l'eau des réactifs chimiques (sel d'aluminium par exemple) qui provoquent la **coagulation** des particules. Ces produits chimiques s'appellent des coagulants. La charge positive du coagulant neutralise la charge négative des particules dissoutes et suspendues dans l'eau. Ces particules s'agglomèrent les unes aux autres et forment des "flocons" : c'est la **floculation**. Ces "flocons" plus lourds que l'eau, se déposent au fond d'un bassin de **décantation** et sont évacués régulièrement sous forme de boues (figure 3).

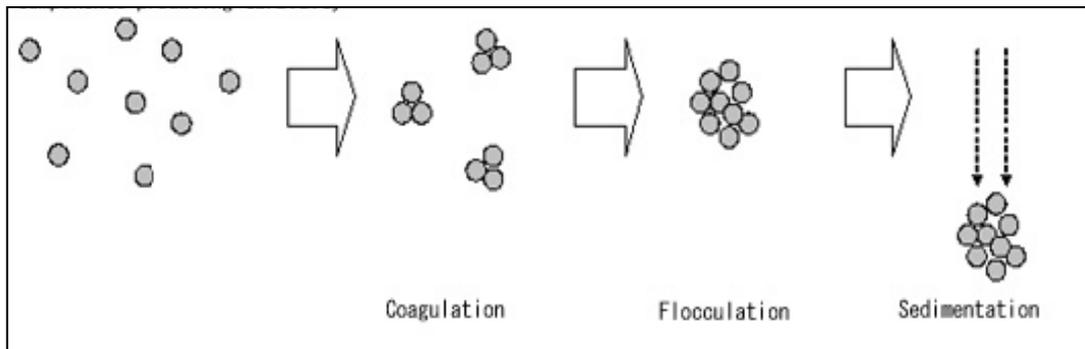


Figure 3 : Processus de coagulation, floculation et de sédimentation

Dans une usine de traitement des eaux, lorsque qu'un coagulant est ajouté à l'eau il est rapidement mélangé de sorte qu'il soit distribué partout dans l'eau (figure 2)

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

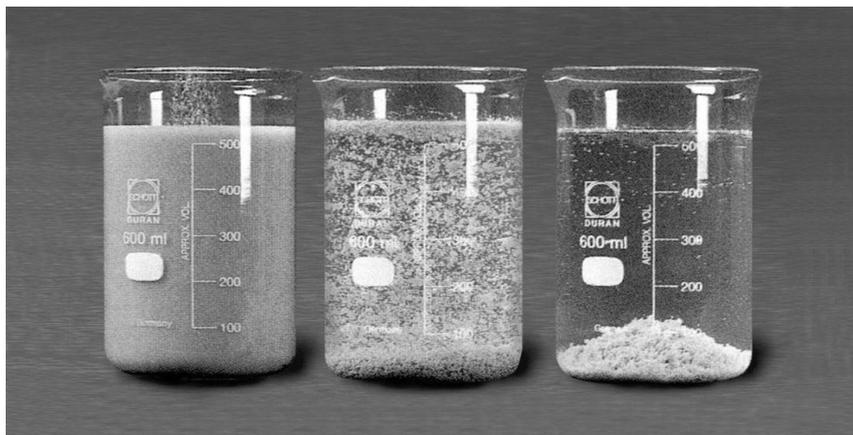


Figure 4 : Essai de coagulation dans une usine de traitement

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

**Tableau 7 : Temps de liaison de plusieurs particules selon le diamètre**

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

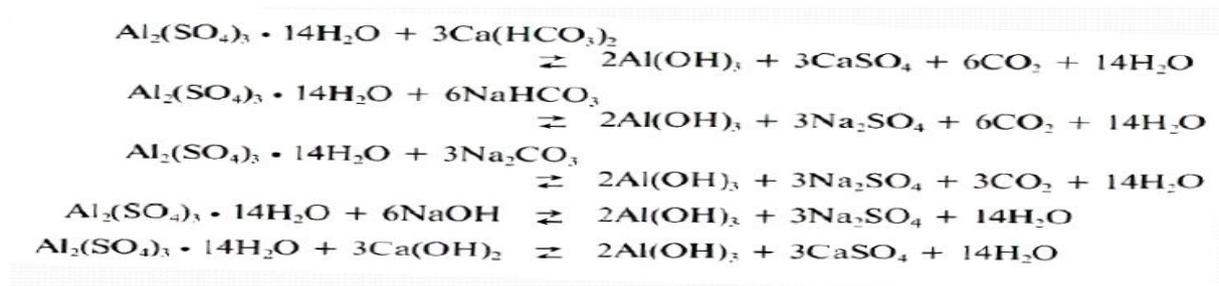
2. **Coagulants utilisés** : Les principaux coagulants utilisés pour déstabiliser les particules et pour produire un floc sont des électrolytes minéraux à polycations. Les plus utilisés sont :

**Tableau 8 : Les principaux coagulants utilisés pour déstabiliser les particules et produire des floes sont**

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

Les produits les plus utilisés pour la purification des eaux sont les sels d'aluminium et de fer qui libèrent des ions  $Al^{3+}$  et  $Fe^{3+}$ . Ces ions neutralisent la force de répulsion entre les particules colloïdales et favorisent ainsi la coagulation. Lorsqu'on additionne à l'eau les sels d'aluminium ou de fer, ces derniers réagissent avec l'alcalinité de l'eau et produisent des hydroxydes,  $Al(OH)_3$ , ou  $Fe(OH)_3$ , insolubles et formant un précipité.

Les principales réactions sont:



### 3) Dimensionnement de mélangeur de coagulation

L'efficacité de la coagulation dépend de la probabilité de contact entre les particules, c'est pourquoi le liquide est agité

Pour trouver la relation entre le nombre de particules et le temps nécessaire pour les réduire, on applique la théorie de Smoluchowski dont les hypothèses sont les suivantes

1. Particules sphériques
2. Régime permanent
3. Mélange parfait
4. Pas d'attrition, ni de fragmentation
5. Chaque collision conduit à une agrégation

1. le nombre total des particules en suspension au temps  $t = 0$

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

$\rho_{pc}$  : la masse volumique de particule

$d_{pc}$  : le diamètre de particule en m (le diamètre doit être compris entre  $1\mu\text{m} < d_{pc} < 3\mu\text{m}$ )

$V(\text{sphère})$  : volume de particule en supposant que les particules sont sphériques

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

2. Le temps de séjour des particules dans le mélangeur

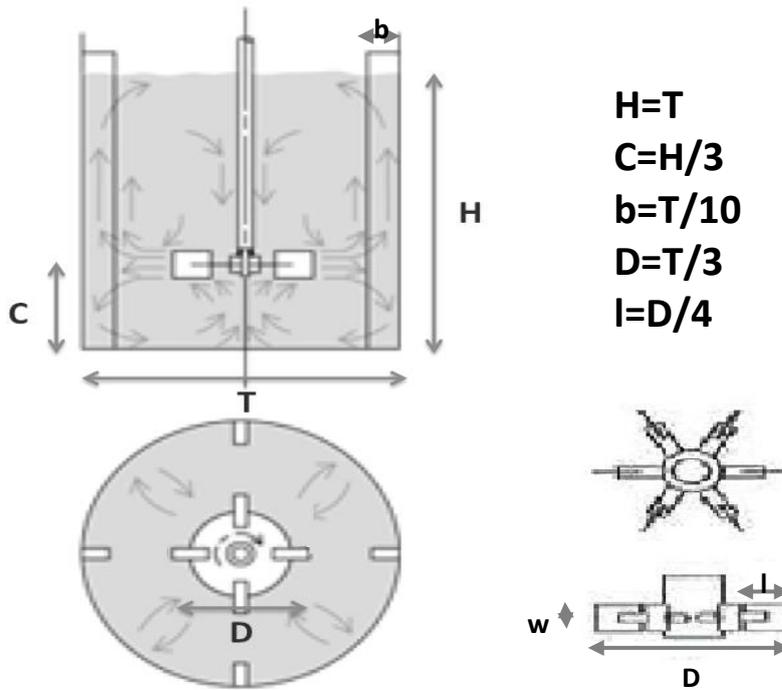
D'après l'équation de Smoluchowski et pour l'abattement de la pollution de 50 %, nous avons eu l'équation suivante :

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

$G$  : gradient de vitesse (  $G$  varie entre 20 et 30  $\text{s}^{-1}$ )

Pour une bonne agitation le temps doit être multiplié par 2

3. Calcul de la géométrie standard d'un réacteur de coagulation-floculation, équipé par une turbine de type Rushton



**Figure 5:** Géométrie standard d'un réacteur par une turbine Rushton

4. Puissance nécessaire pour l'agitation (en watt)

$$P = \rho_{eau} G^3 l^5$$

## II.2. La décantation

- Principe :** La décantation est la méthode de séparation gravitaire la plus fréquente des MES et colloïdes (rassemblés sous forme de floc après l'étape de coagulation/floculation). Il s'agit d'un procédé de séparation solide/liquide basé sur la pesanteur. Cette séparation est induite par réduction de la vitesse horizontale qui doit être inférieure à la vitesse verticale (de chute, de décantation ou ascensionnelle) afin de favoriser la sédimentation des particules dans un piège. Ces particules s'accumulent au fond du bassin, d'où on les extrait périodiquement. L'eau récoltée en surface est dite clarifiée.

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

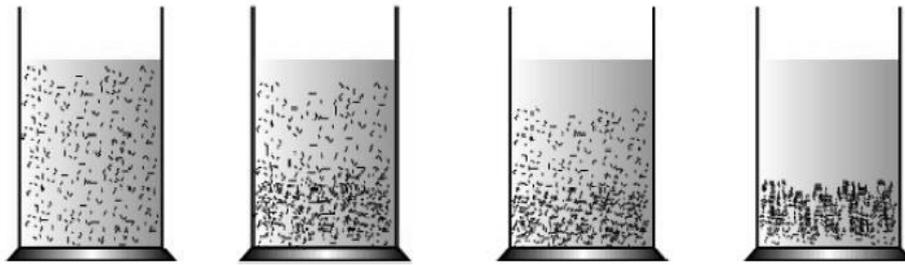


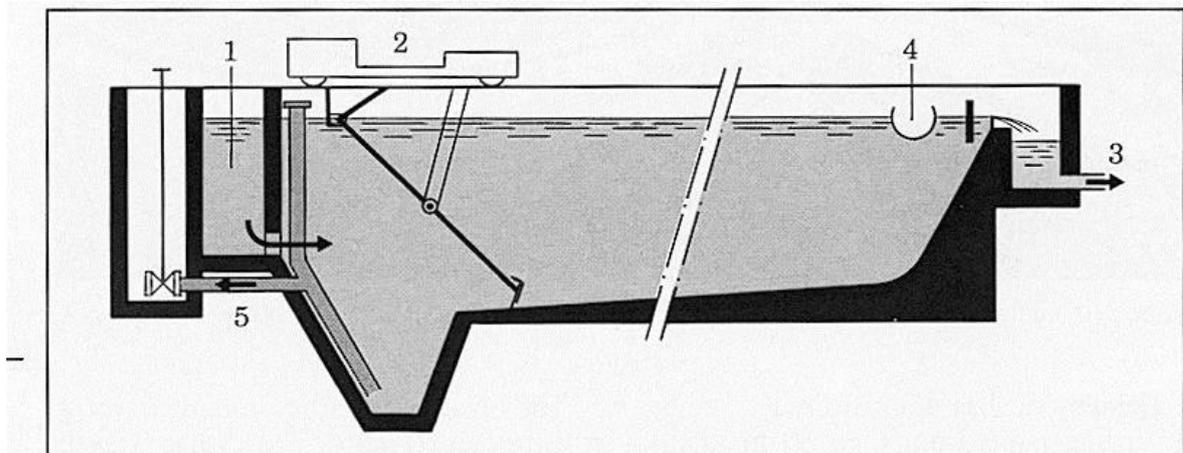
Figure 6: Principe de décantation des particules

## 2. Types de décanteur

Il existe deux types de décanteur :

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

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



- |                           |                            |
|---------------------------|----------------------------|
| 1 - Arrivée d'eau brute.  | 4 - Reprise des flottants. |
| 2 - Pont racleur.         | 5 - Évacuation des boues.  |
| 3 - Sortie d'eau décantée |                            |

Figure 7 : Décanteur longitudinal à pont racleur

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

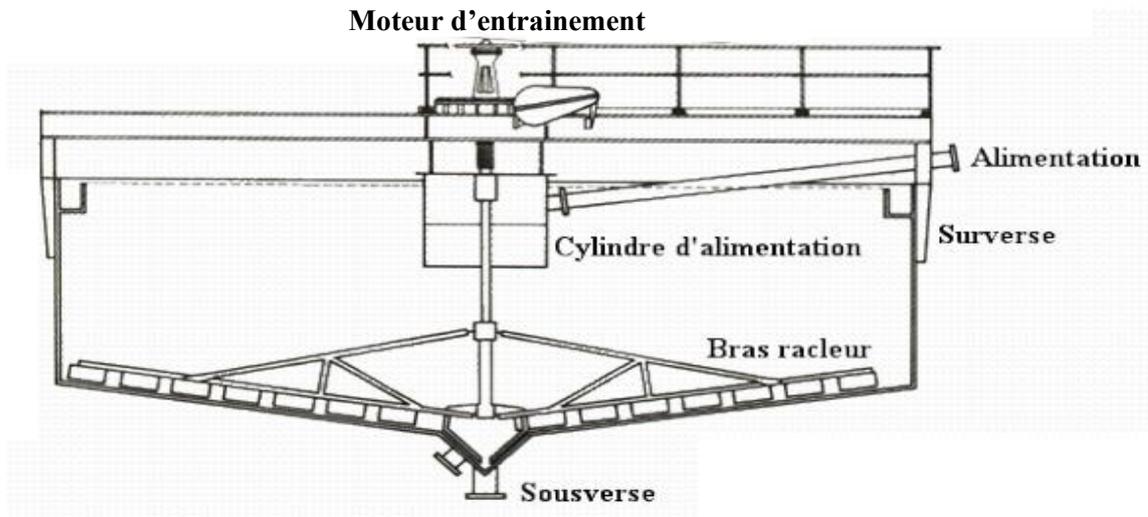


Figure 6: Décanteur cylindrique

### B. Décanteur lamellaire

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

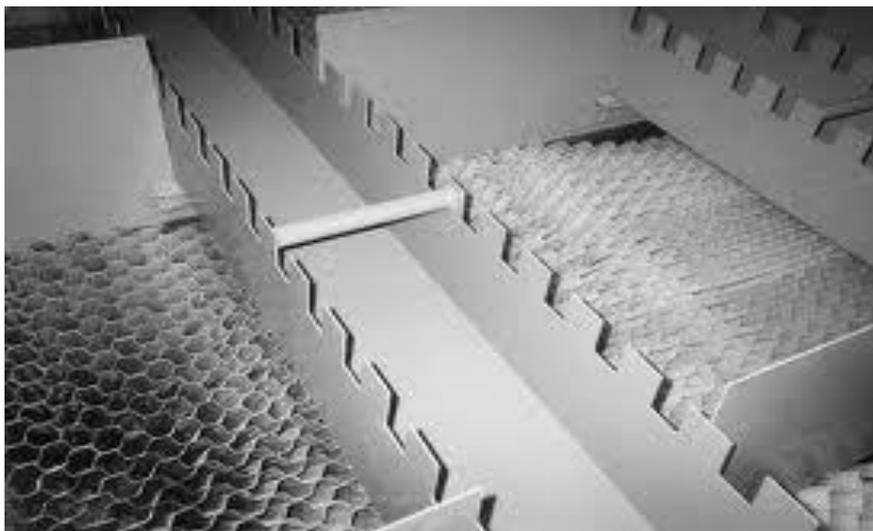
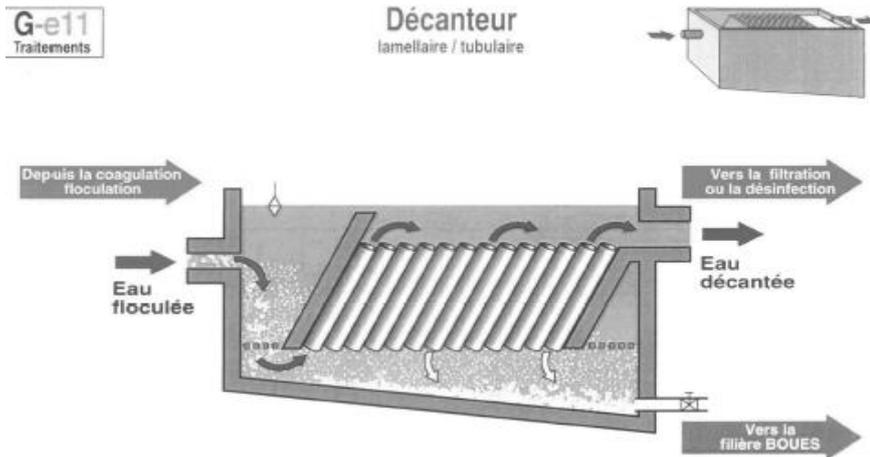
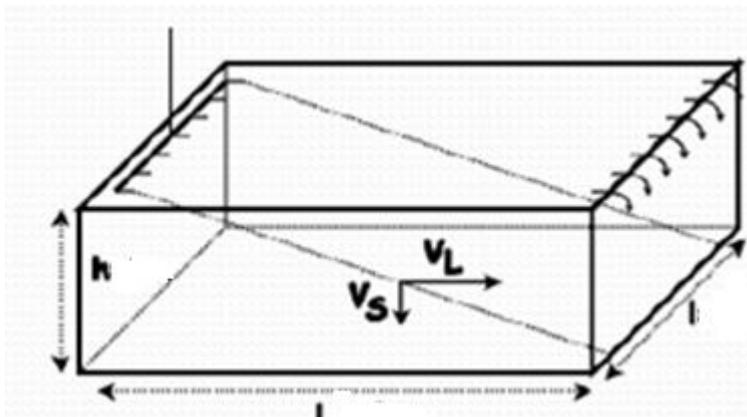


Figure 7 : Décanteur lamellaire

### 3. Dimensionnement de décanteur

#### A) Décanteur simple



1. **Vitesse de chute de la particule** : L'équilibre de force sur une particule en mouvement par rapport à un fluide détermine la vitesse de chute de la particule. En régime laminaire (Stokes) :  $(10^{-4} < Re_p < 1)$

$$V_{lim} = \frac{g(\rho_s - \rho_l)d_p^2}{18\mu_l} \quad (3)$$

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

$d_p$  : diamètre de la particule (m)

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

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

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

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

2. Pour que la particule qui sédimente atteignent le fond du bassin

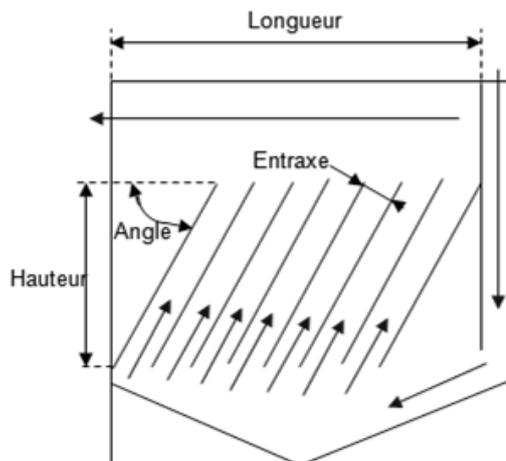
$$\frac{h}{V_{lim}} \geq \frac{L}{V_h}$$

- La vitesse horizontale est  $V_h = Q/S_h$

- La section de l'écoulement horizontale est  $S_h = h \times l$

### B) Décanteur lamellaire

La surface disponible pour la décantation correspond alors à la surface totale projetée STP sur l'horizontale de l'ensemble des plaques



La surface disponible pour la décantation correspond alors à la surface totale projetée STP (m<sup>2</sup>) sur l'horizontale de l'ensemble des plaques :

$$STP = n \cdot S_p \cdot \cos \alpha$$

Avec

n : nombre de plaques,

S<sub>p</sub> (m<sup>2</sup>) : surface unitaire de chaque plaque,

α : angle d'inclinaison des plaques par rapport à l'horizontale ; selon le modèle des lamelles, α est de 55° ou 60°.

$$V_h = \frac{Q}{STP}$$

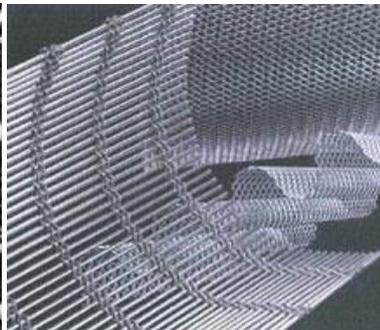
Q est le débit entrant le décanteur (m<sup>3</sup>/h), Les vitesses de Hazen (V<sub>h</sub>) en (m/h) utilisées pour les eaux usées urbaines sont comprises entre 0,8 et 1,2 m/h sur la pointe de débit de temps sec.

### II.3. La filtration

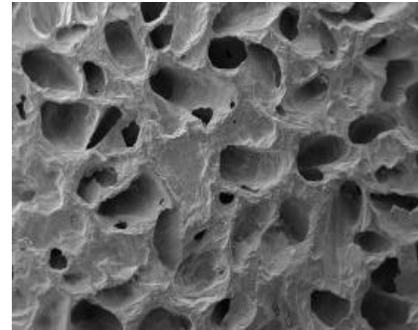
- 1. Buts de la filtration :** La filtration est un procédé physique destiné à clarifier un liquide qui contient des MES en le faisant passer à travers un milieu poreux. La filtration permet d'obtenir une bonne élimination des bactéries, de la couleur, de la turbidité et, indirectement, de certains goûts et odeurs.
- 2. Matériaux des filtres :** Les filtres les plus utilisés peuvent être : des tissus de fibres, des toiles métalliques ou des pierres poreuses à interstices très fins.



Tissus en fibres de carbone



Toiles métalliques



Pierres poreuses

- 3. Types de filtration :** Pour le traitement des eaux potables, on utilise principalement: a) Filtration sur le sable (lente ou rapide); b) Filtration membranaire. En pratique, la filtration sur sable est la plus utilisée. En ce qui concerne la filtration lente sur sable, de construction et de fonctionnement simples, nécessite de grandes superficies; c'est pourquoi on les utilise surtout dans les pays où le climat est moins rigoureux, et lorsqu'on n'est pas limité par l'espace.

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

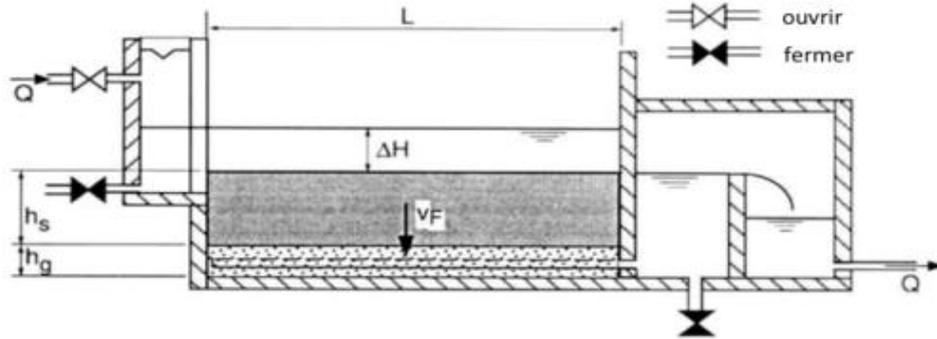


Figure 8 : Schéma du système d'une filtration à sable

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

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

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

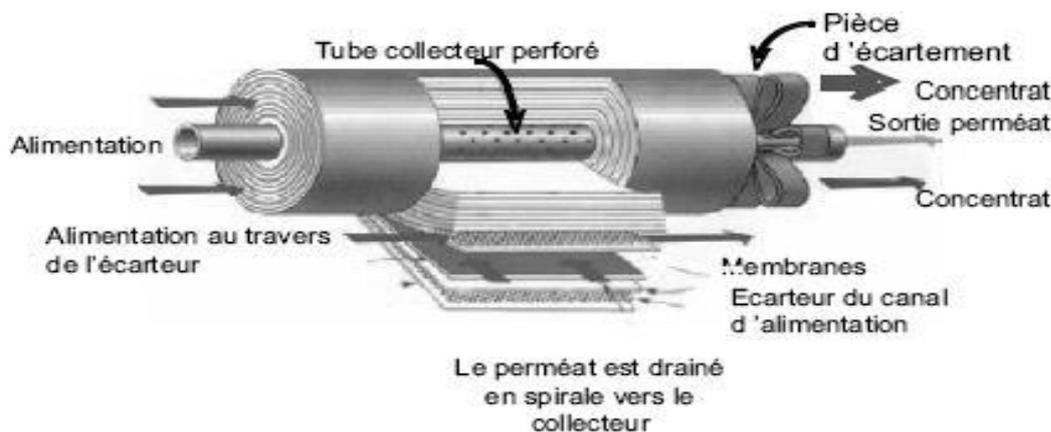
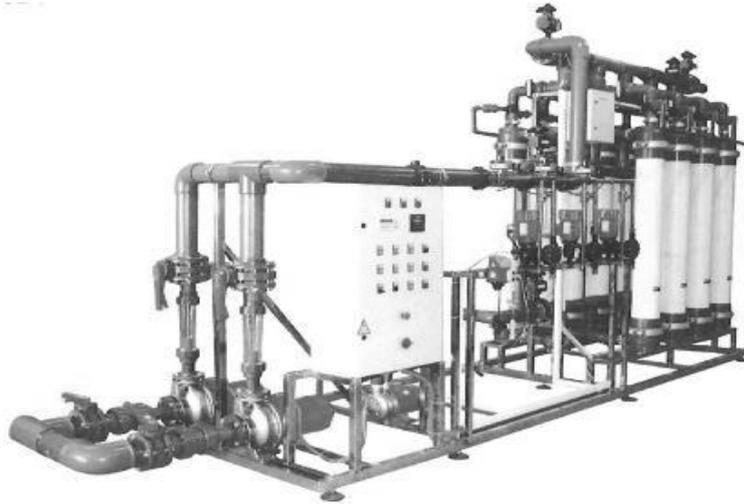


Figure 9 : Les membranes planes

Pour les rendre opérationnelles, les membranes sont insérées dans des dispositifs compacts appelés modules membranaires.



**Figure 10 : Modules membranaires**

#### 4. Dimensionnement d'un filtre à sable

##### A) Filtra à sable lente

- Calculer la section de filtration (la section de base du bassin de filtration)

$$S_f = Q / V_f$$

$S_f$  : la section de base de filtre

$V_f$  : la vitesse de filtration (0,1 et 0,2 m/h)

- Calculer la longueur et la largeur de filtre

On fixe la largeur pour calculer longueur  $L=S_f/l$

- Calculer le taux de charge du filtre en  $l / s / m^2$

Taux de la charge du filtre = débit/surface de filtre

**B) Filtre à sable rapide**

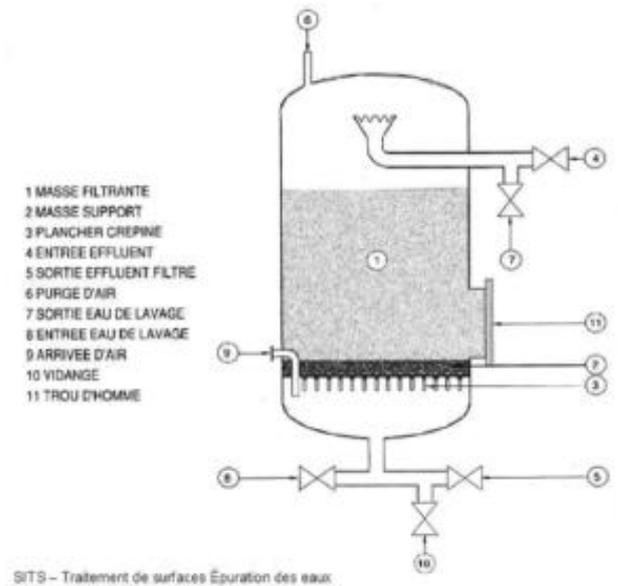


Figure 1 - Schéma d'un filtre à sable

- Calculer la surface de lit nécessaire en fonction de la vitesse de filtration  $V_F$  (ou vitesse en fût vide) et du débit souhaité  $Q$  selon la formule suivante :

$$S_{lit} = Q / V_F$$

- Déterminer le régime d'écoulement dans le milieu poreux avec le calcul du nombre de Reynolds particulaire :

$$R_{ep} = \frac{\rho_p \cdot V_F \cdot d_p}{\mu_a}$$

Avec,

$d_p$  : diamètre moyen des particules de sable (mm)

$\rho_p$  ; Masse volumique du sable (kg/m<sup>3</sup>)

$\mu_a$  : viscosité de l'air sec à 5°C (Pa.s)

- Calculer les pertes de charge engendrées par le filtre à sable selon la méthode adaptée au régime d'écoulement. La relation d'Ergun permet de calculer la perte de charge quelque soit le régime d'écoulement :

$$\frac{\Delta P}{L} = \frac{150 \cdot (1 - \epsilon)^2 \cdot \mu \cdot V_F}{\epsilon^3 \cdot d_p^2} + \frac{1,75 \cdot (1 - \epsilon) \cdot \rho \cdot V_F^2}{\epsilon^3 \cdot d_p}$$

$\epsilon$  : Porosité initiale du lit

- Déterminer les conditions de rétrolavage

Par détermination la vitesse de sédimentation du média filtrant. Celle-ci peut être calculée avec la relation simplifiée de Haider et Levenspiel valable en régime laminaire et turbulent :

$$V_t = V_t^* \cdot \left( \frac{\rho_f^2}{\mu_f \cdot (\rho_p - \rho_f) \cdot g} \right)^{-1/3}$$

$$V_t^* = \left( \frac{18}{d_p^{*2}} + \frac{2,335 - 1,744 \cdot \phi}{d_p^{*0,5}} \right)^{-1}$$

$$d_p^* = Ga^{1/3}$$

$$Ga = \frac{d_p^3 \cdot \rho_f \cdot (\rho_p - \rho_f) \cdot g}{\mu_f^2}$$

Avec :  $\mu_f$  : viscosité de l'eau à 5°C (Pa.s)

$\phi$  : Facteur de forme des particules de sable ( $\phi = 1$ )

$\rho_f$  : Masse volumique de l'eau à 5°C ( $\rho_f$ )

- Déterminer le débit d'eau et d'air de lavage sachant que la vitesse ascendante de l'eau doit être égale à approximativement 10% de la vitesse de sédimentation du média filtrant (Hubert Cabana, 2013) :

$$Q = 0,1 \cdot V_t \cdot S_{lit}$$

- Déterminer la perte de charge engendrée par le média filtrant. Celle-ci est égale à la masse de média présent dans le lit :

$$\Delta P = L \cdot g \cdot (1 - \epsilon_{lit}) \cdot (\rho_p - \rho_f)$$

- Fixer la durée et la fréquence des phases de rétrolavage en fonction de la qualité de l'eau à traiter  
 La durée d'une phase de rétrolavage est fixée à 10 minutes avec une première injection d'air pendant 4 minutes suivie d'une injection d'eau pendant 6 minutes. On suppose qu'un rétrolavage tous les 2 jours est suffisant à maintenir une perte de charge raisonnable dans le filtre à sable. Des essais laboratoires permettraient de déterminer ces paramètres plus précisément en fonction du pouvoir colmatant de l'eau brute.
- Déterminer le volume d'eau nécessaire à la phase de rétrolavage :

$$V = Q_{eau} \cdot t_{rétrolavage}$$

### III. Les traitements complémentaires

#### III.1. Désinfection

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

#### 2. Différents modes de désinfection

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

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

**Tableau 9** : temps de désinfection pour différents types de micro-organismes pathogènes avec de l'eau chloré, celle-ci contenant une concentration en chlore de 1 mg/l (1 ppm) alors que pH = 7,5 et T=25°C

<b>E. coli bacterium</b>	<b>&lt;1 minute</b>
<b>Hepatitis A virus</b>	<b>environ 16 min</b>
<b>Giaria parasite</b>	<b>environ 45 min</b>
<b>Cryptosporidium</b>	<b>environ 16 9600 min (6-7jours)</b>

#### Réaction du chlore gazeux



#### Réaction de l'hypochlorite de sodium



#### Réaction de l'hypochlorite de calcium



La concentration de chlore est déterminée par l'équation suivante

$$V_1.C_1=V_2.C_2$$

$V_1$  : est le volume de chlore liquide (litres)

$C_1$  : est la concentration de chlore de la solution d'hypochlorite de sodium (Naocl (74%))

$V_2$  est le volume de la solution finale

$C_2$  est la concentration de chlore de la solution finale (mg / l)

**B. la stérilisation par l'ozone ou ozonation :** Est un procédé plus coûteux. Des bulles d'air ozonées (20 g d'ozone par m<sup>3</sup> d'air) sont mises au contact de l'eau dans laquelle l'ozone se dissout. une dissolution de 1 à 4 mg de ce gaz dans un litre d'eau garantit la destruction de tous les éléments pathogènes. Il ne donne aucune saveur particulière à l'eau et supprime les couleurs.

**C. la stérilisation par rayonnements ultra-violets :** est un procédé peu coûteux. Du fait de sa faible persistance, il est utilisé par les communes ayant un réseau peu étendu. Il consiste à soumettre l'eau à un rayonnement ultraviolet d'une longueur d'onde précise. UV capable de détruire les bactéries et les virus.

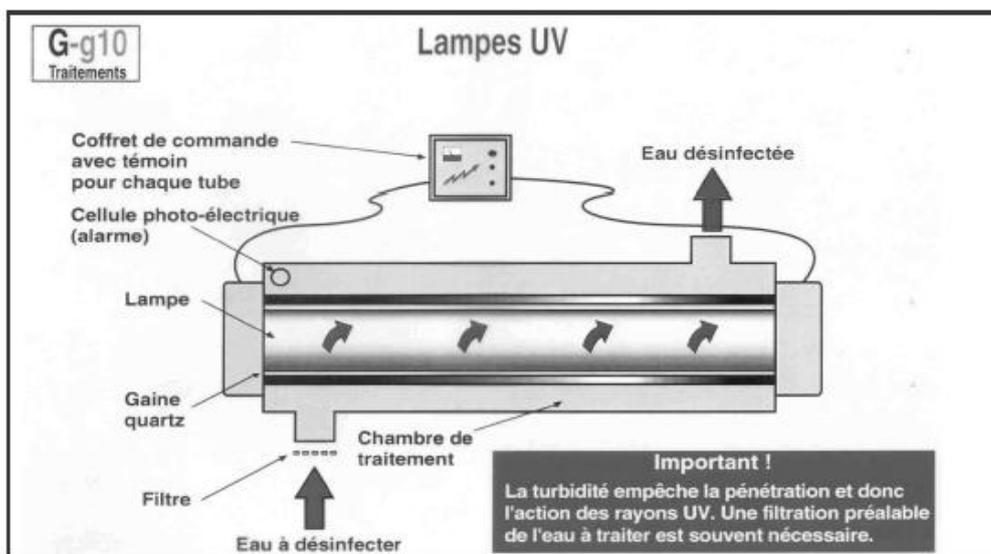


Figure 11 : Module UV de désinfection de l'eau

### III.2. L'adsorption et l'échange d'ions

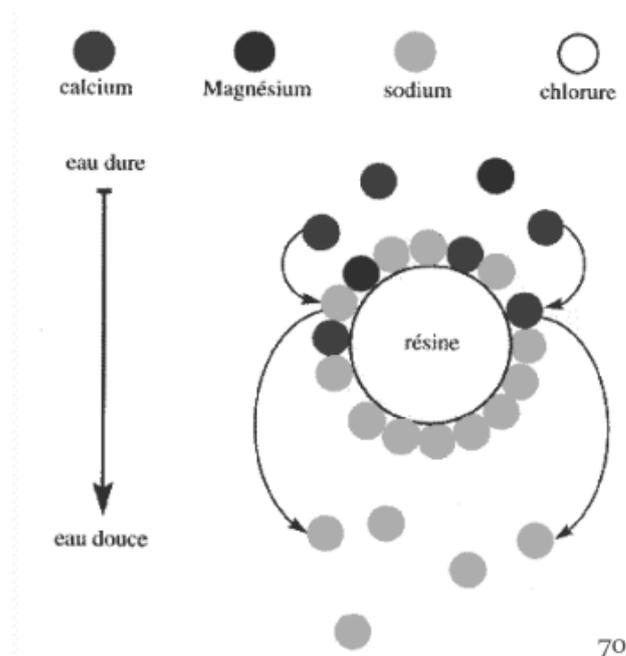
1. **L'adsorption :** L'adsorption est un phénomène physique de fixation de molécules sur la surface d'un solide. Ce phénomène est utilisé pour "récupérer" des molécules indésirables de fluide (liquides ou gazeuses) dispersées dans un solvant.

Le principal adsorbant utilisé en pratique est le charbon actif. Le charbon actif peut être obtenu soit sous forme de poudre (on obtient des pores de quelques  $\mu\text{m}$  de dimension), soit sous forme de grain.

Pour le traitement de l'eau, on utilise en général du charbon actif en grains. L'adsorption sur charbon actif est destinée à traiter des matières organiques et utilisé avec succès dans le traitement des goûts et odeurs

## 2. Echange d'ions :

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



70

### III.3. La déferrisation – démanganisation

Les sels de fer et de manganèse dans les eaux souterraines sont instables; ils réagissent avec l'eau pour former des précipités insolubles qui sédimentent sous la forme d'un limon de couleur rouille (fer) ou noire (manganèse).

OMS : précise la concentration en fer (Fe) égale à 0,3 mg/l et manganèse (Mn) de 0,1 mg/l

Pour diminuer leurs concentrations on applique le traitement de déferrisation – démanganisation

- Déferrisation et/ou démanganisation par oxydation et filtration :** Les procédés de traitement d'élimination du fer et du manganèse sont basés sur l'oxydation des formes réduites dissoutes ( $\text{Fe}^{2+}$ ) et ( $\text{Mn}^{2+}$ ) en formes insolubles ferriques ( $\text{Fe}^{3+}$ ) et manganiques ( $\text{Mn}^{4+}$ ) grâce à une réaction d'oxydoréduction. Ces formes insolubles sont ensuite retenues sur un milieu filtrant granulaire.

### A. Oxydation physicochimique

- **Oxydation par l'aération** : L'aération permet de mélanger l'air à l'eau pour favoriser les réactions d'oxydation et enlever les gaz dissous ou éliminer les goûts et odeurs.
- **Oxydation chimique** : Les oxydants chimiques jouent le même rôle que l'aération. Ce type d'aération est nécessaire si l'eau contient H<sub>2</sub>S (hydrogène sulfuré)

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

### III.4. La décarbonatation

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

### III.5. La défluoruration

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

- Par adsorption sur alumine activée** : Pour ce type d'application, l'alumine activée est un produit granulaire de 0,3 mm utilisé en filtration. La vitesse de filtration sera fonction de la concentration de fluor à éliminer, à raison de 6 à 20 m/h pour des concentrations de 15 à 5 mg/L, respectivement. L'épaisseur de la couche de média sera de 1,5 m.
- Par précipitation à la chaux** : Par l'addition d'une dose importante de chaux, il est possible de réduire la teneur en fluorure de l'eau brute et par l'ajout d'un coagulant peut s'avérer nécessaire pour clarifier l'eau traitée.