

The image is a composite of two photographs from a water treatment plant. The left side shows a series of aeration basins with water cascading over a series of weirs, creating white foam. The right side shows a large aeration tank with a concrete structure and a large, circular, rotating diffuser or aeration device. The water in the tank is turbulent and brownish, indicating the presence of suspended solids or organic matter being treated.

Traitement et épuration de l'eau

Dr. BESSEDIK Madani
mabessedik@yahoo.fr
m_bessedik@mail.univ-tlemcen.dz

Partie 1: Traitement de l'eau

Chapitre I

Généralités sur les eaux de consommation et normes de potabilité.

Chapitre II

Prétraitement des eaux de consommation.

Chapitre III

Traitement de Clarification.

Chapitre IV

Traitement de finition.

Partie 2 : Epuration de l'eau

Chapitre I

Généralités sur les origines des eaux usées.

Chapitre II

Traitement mécanique des eaux usées.

Chapitre III

Traitement biologique et la clarification.

Chapitre IV

Traitement des boues.

A photograph of a water fountain with water spraying from a dark, polished metal spout. The water is captured in motion, creating a misty spray. The background shows green foliage and a clear blue sky with light clouds.

PARTIE 1 : **Traitement de** **l'eau**

CHAPITRE I : **Généralités sur les eaux de** **consommation et normes de** **potabilité.**

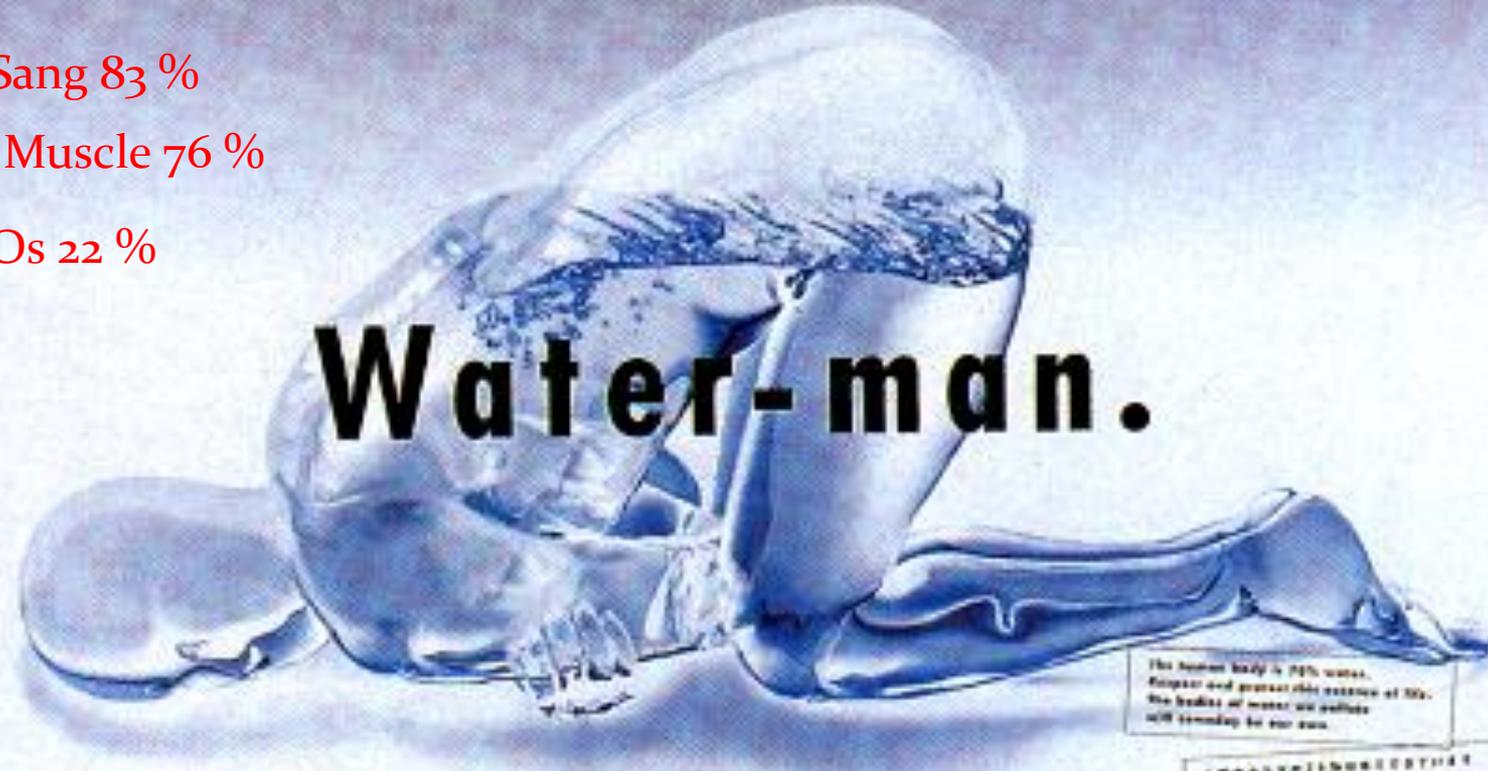
I.1- Introduction

و جعلنا من الماء كل شيء حي الأنبياء ٢٩

NOUS AVONS FAIT DE L'EAU TOUT ÊTRE VIVANT VERSET 29 SOURAT LES PROPHÈTES

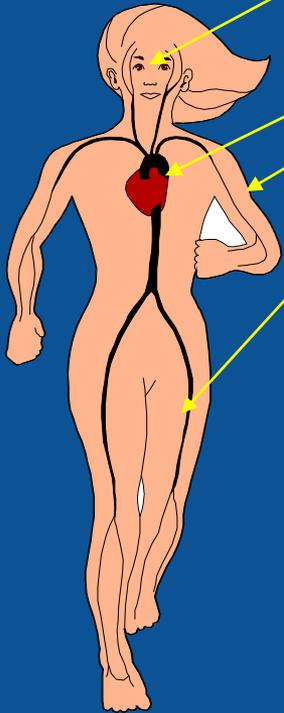
Le corps d'un être humain adulte contient 60% d'eau, c'est-à-dire environ 42 litres d'eau pour une personne de 70 kg.

Water-man.

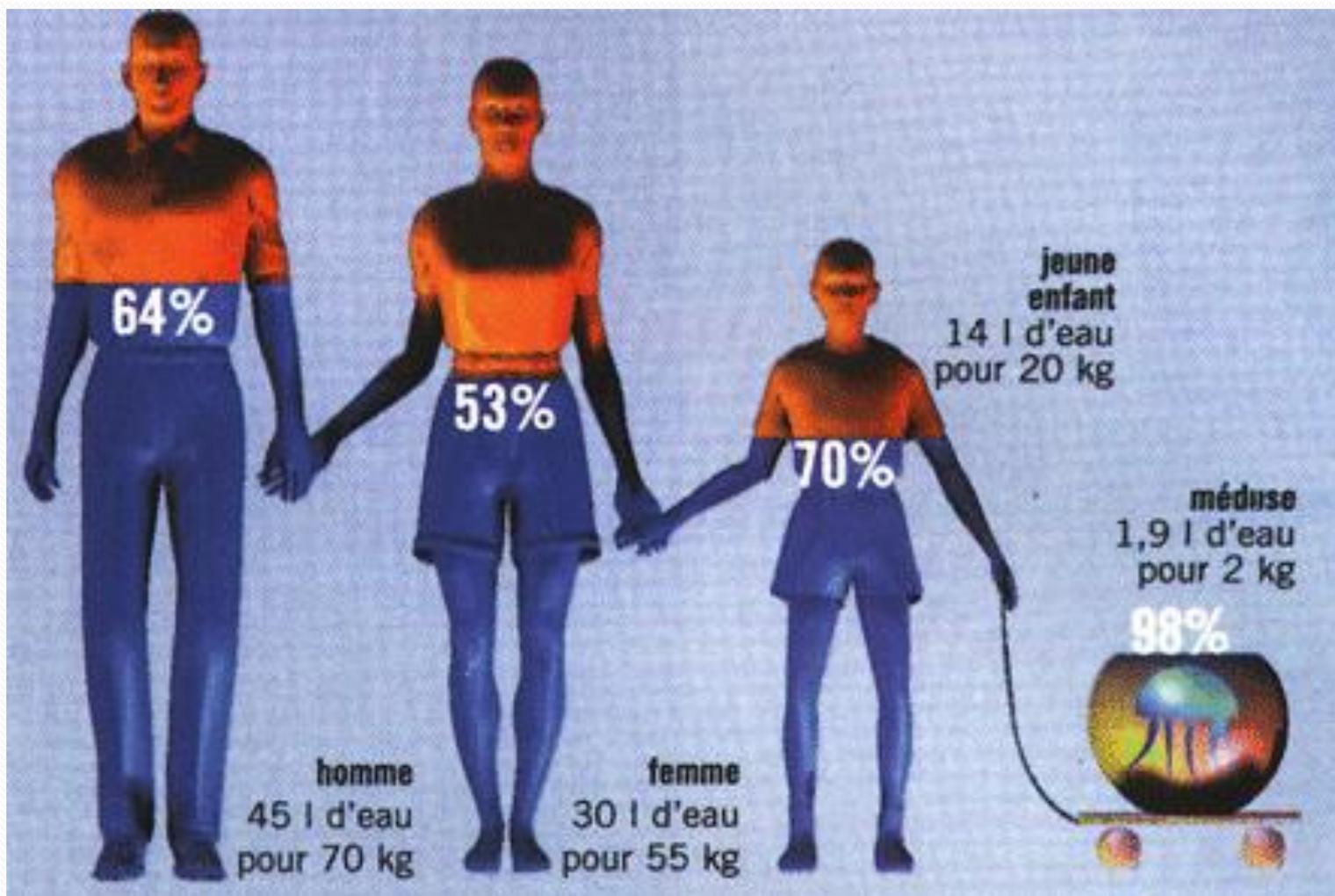


Cerveau 80 %
Sang 83 %
Muscle 76 %
Os 22 %

The human body is 70% water. Despite our gross total mass of 70kg, the bodies of water we contain will keep us for ever.



La part de l'eau dans le corps diminue avec l'âge :



Où se cache l'eau ?

En dehors de l'homme et de tous les êtres vivants, l'eau se cache partout, car la culture de toute plante et la fabrication de presque tous les objets exigent de l'eau à un moment donné



Champ de blé

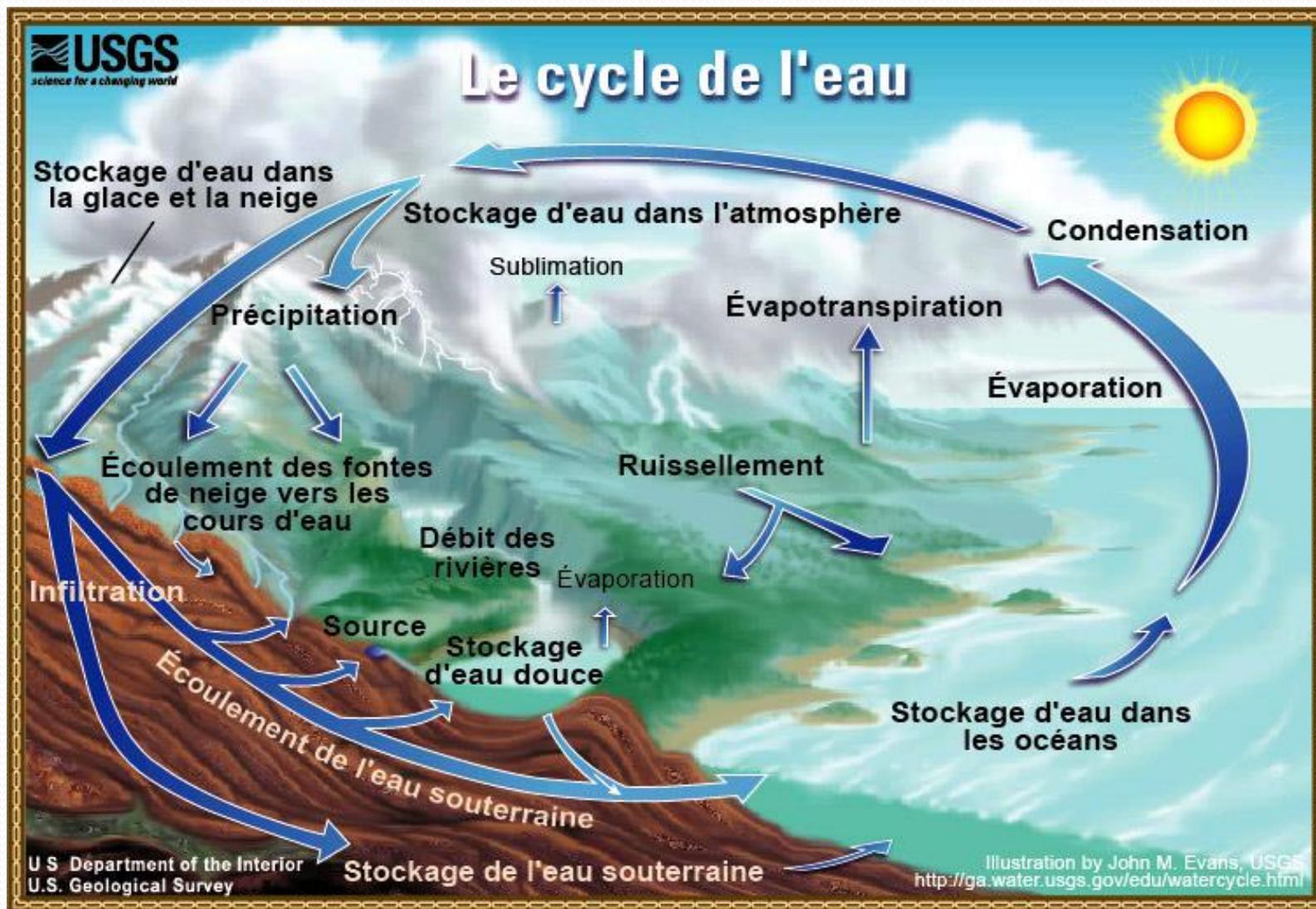


Rizières

Il faut :

- 1 000 l d'eau pour produire 1 œuf
- 400 l d'eau pour 1 kilo de maïs
- 1 500 l d'eau pour 1 kilo de blé
- 4 500 l d'eau pour 1 kilo de riz
- 10 000 l d'eau pour 1 kilo de coton

I.2- Le cycle de l'eau



I.2.1- Quelques données du cycle de l'eau

Le tableau suivant donne la répartition des stocks d'eau que l'on peut considérer comme participant au cycle de l'eau

Tableau I.1 : Estimation du volume d'eau total sur Terre, d'après World Resources

| | Stock (en kilomètres cubes = 10^9 m^3) | % du total | Temps de résidence |
|------------------------------|---|------------|----------------------------|
| Océans | 1 350 000 000 | 97,410 | 2 500 ans |
| Glaciers | 27 500 000 | 1,984 | De 1500 ans à 10000 ans |
| Eaux souterraines | 8 200 000 | 0,592 | 1400 ans |
| Mers intérieures | 105 000 | 0,00758 | Variable |
| Lacs d'eau douce | 100 000 | 0,00722 | 17 ans |
| Humidité des sols | 70 000 | 0,00505 | 1 an |
| Humidité de l'air | 13 000 | 0,00094 | 8 jours |
| Rivières | 1 700 | 0,00012 | 16 jours |
| Eau des cellules vivantes | 1 100 | 0,00008 | Quelques heures |
| Total | 1 385 990 800 | 100 | |

Les principaux flux d'échange atmosphériques sont présentés au tableau 2 et les flux échangés par les rivières, les nappes et les glaciers sont résumés au tableau 3.

Tableau I.2 : Valeurs globales des flux à l'échelle de la planète, d'après World Resources

| | | |
|-----------------------------------|-----------------------------|----------|
| Evaporation sur les océans | 425 000 km ³ /an | 1 250 mm |
| Evaporation sur les continents | 71 000 km ³ /an | 410 mm |
| Précipitations sur les océans | 385 000 km ³ /an | 1 120 mm |
| Précipitations sur les continents | 111 000 km ³ /an | 720 mm |

Tableau I.3 : Flux hydriques des continents aux océans (en km³/an), d'après World Resources

| | |
|---|---------------|
| Débit de ruissellement des rivières (débit de crue) | 27 000 |
| Débit de base total des nappes aux rivières et océans | 10 500 |
| Apport aux océans par la fonte des glaciers | 2 500 |
| Total | 40 000 |

I.2.3- Le cycle de l'eau : stocks en km³

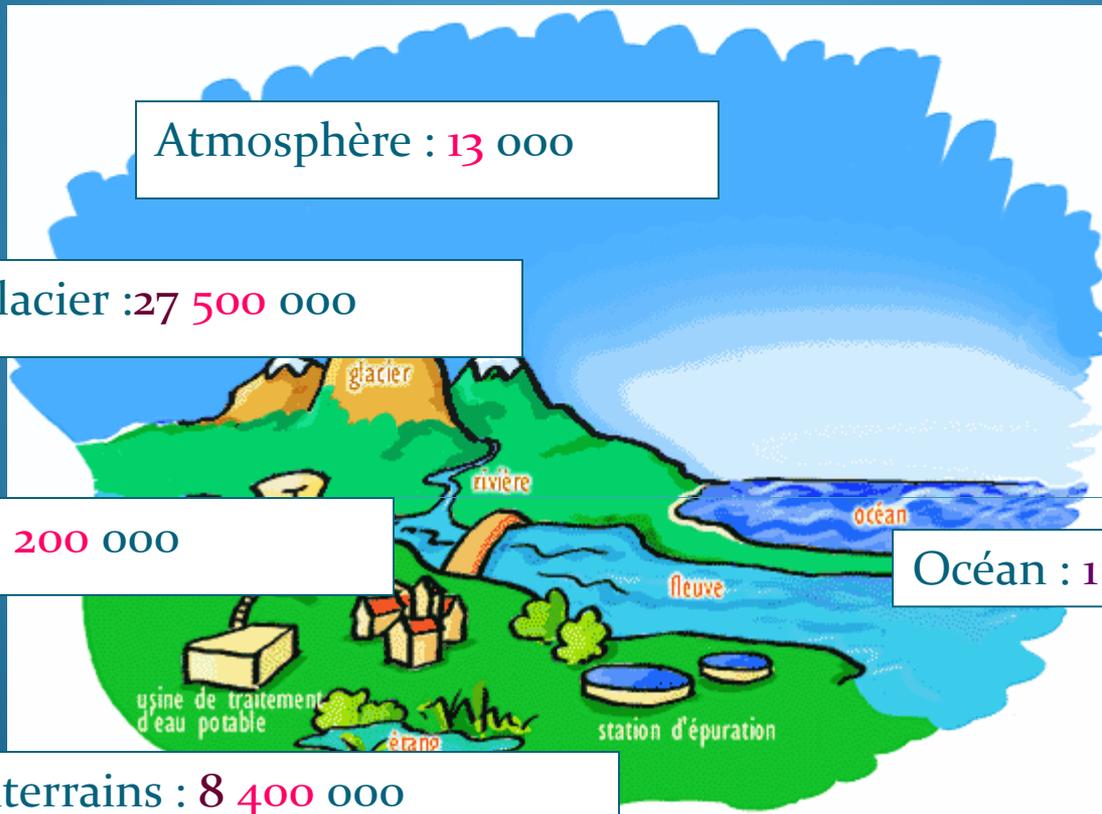
Atmosphère : 13 000

Glacier : 27 500 000

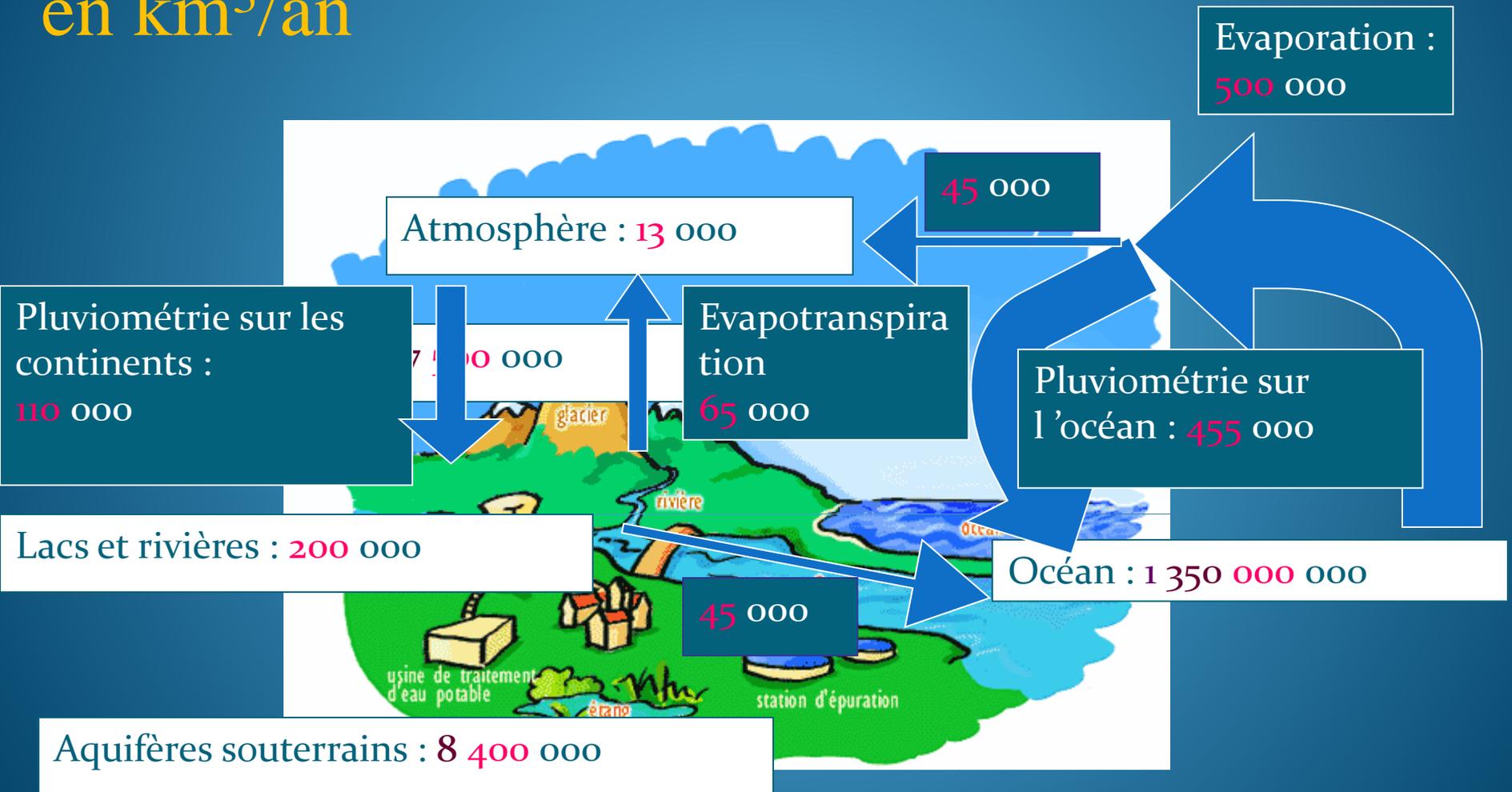
Lacs et rivières : 200 000

Océan : 1 350 000 000

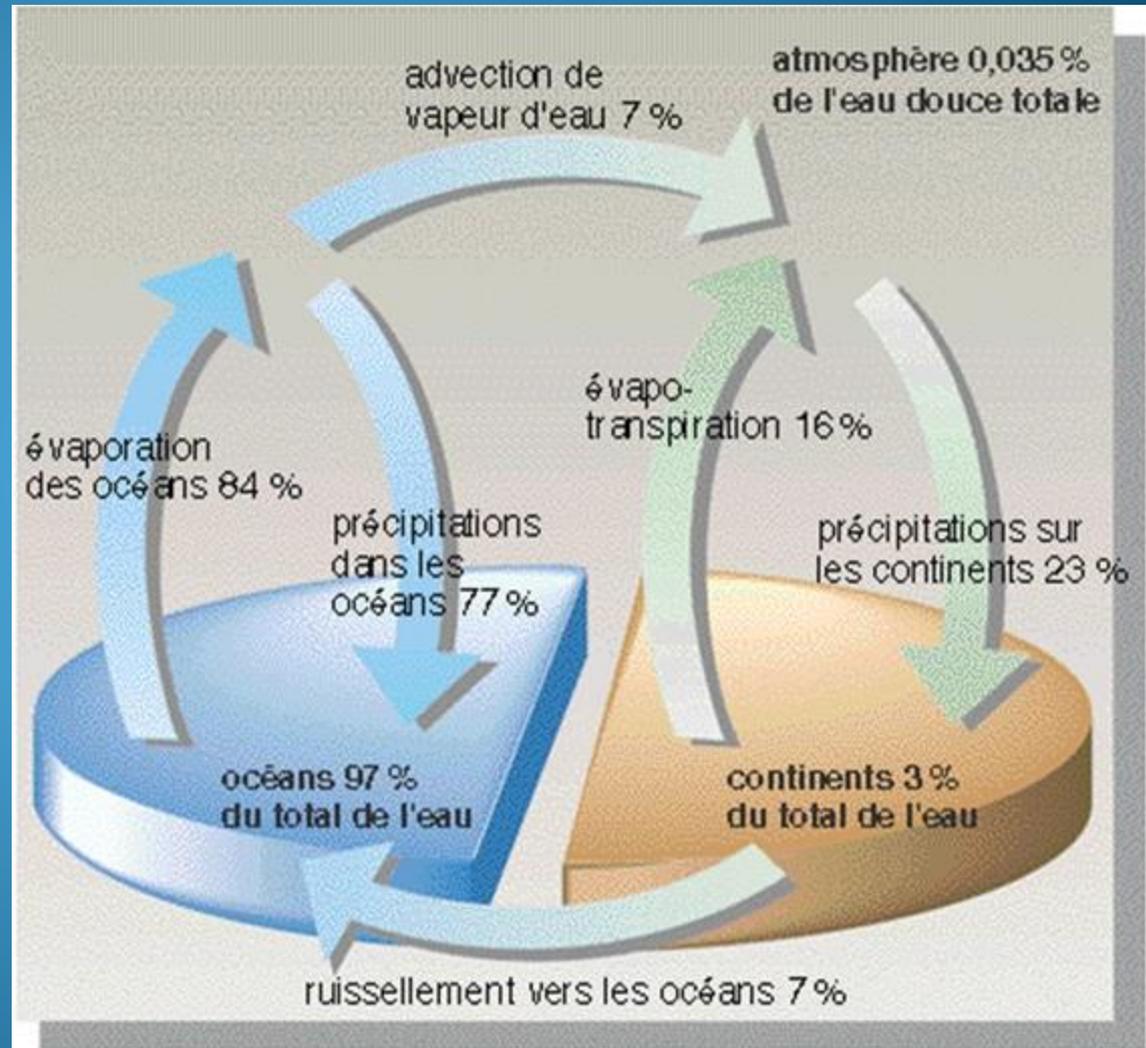
Aquifères souterrains : 8 400 000



I.2.4- Le cycle de l'eau : stocks en km³ et flux en km³/an



I.2.5- Bilan simplifié des flux d'eau (%)



Source : Larousse

وأرسلنا الرياح لواقح فأنزلنا من السماء ماء فأسقيناكموه وما أنتم له
بخازنين

سورة الحجر "آية 22"

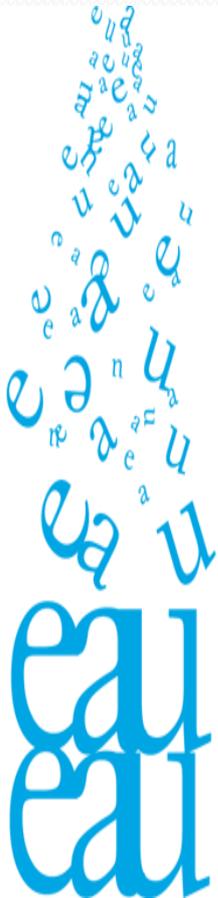
Et Nous envoyons les vents féconds; et Nous faisons
alors descendre du ciel une eau dont Nous vous abreuvons
et que vous n'êtes pas en mesure de conserver.



1.3- Caractéristiques des eaux de consommation

Les eaux de consommation encore appelées eaux potables peuvent se présenter sous deux formes : l'**eau du robinet** et les **eaux minérales**.

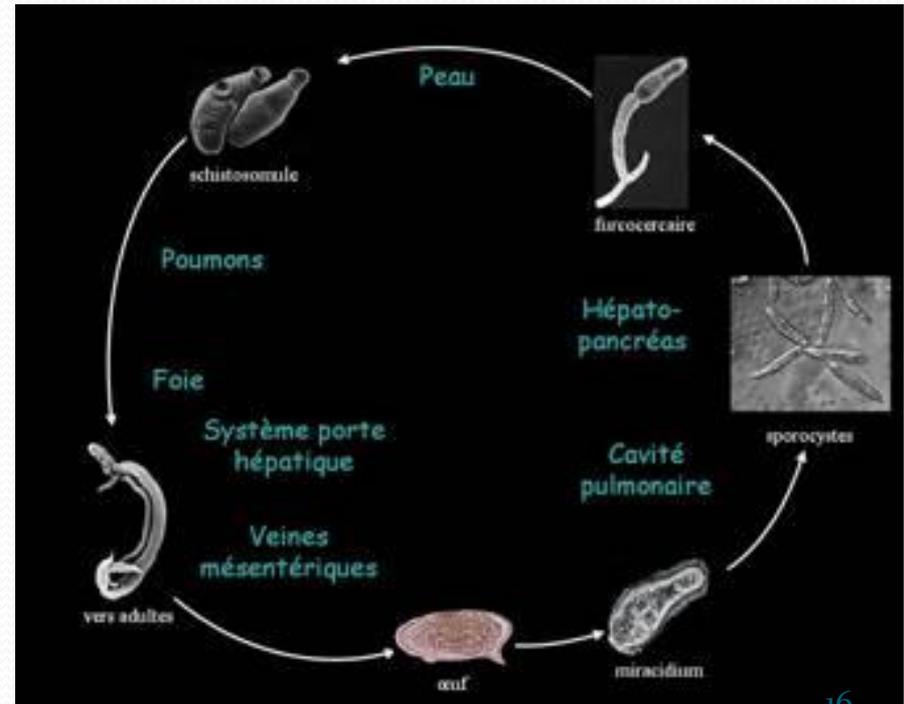
Toutes les eaux de consommation doivent répondre aux mêmes normes de qualité, à l'exception des eaux minérales naturelles qui peuvent présenter des caractéristiques particulières. Elles permettent les usages domestiques de l'eau (cuisine, hygiène, arrosage...).



I.4- Normes de qualités des eaux destinées à la consommation

Les normes portent sur :

a) La qualité microbiologique : l'eau ne doit contenir ni parasite, ni virus, ni pathogène.





b) la qualité chimique : les substances chimiques autres que les sels minéraux font l'objet de normes très sévères. Ces substances sont dites « indésirables » ou « toxiques ». Elles sont recherchées à l'état de trace (millionième de gramme par litre). Ces normes sont établies sur la base d'une consommation journalière normale, pendant toute la vie.



Tableau I.4 : Concentrations limites dans les eaux potables

| Corps chimiques | Concentration maximale (en milligrammes par litre) |
|-----------------------------|---|
| Composés phénoliques | 0 |
| Chrome hexavalent | 0 |
| Cyanures | 0 |
| Sélénium | 0,05 |
| Arsenic et composés | 0,05 (d'arsenic) |
| Plomb | 0,1 |
| Fer et manganèse (ensemble) | 0,3 (dont 0,2 de fer) |
| Fluorures | 1 (de fluor) |
| Cuivre | 1 |
| Zinc | 5 |
| Nitrates | 10 (d'azote) |
| Magnésium et composés | 125 (de magnésium) |
| Chlorures | 250 (de chlore) |
| Sulfates | 250 (d'ion SO ₄) |

Critères souhaitables

Ces critères se traduisent soit par des valeurs maximales ou minimales au-delà ou en deçà desquelles les eaux présentent des inconvénients, soit par des valeurs optimales.

- *Température : optimale entre 9 et 12 °C.*
- *Turbidité (matières solides fines en suspension) : se mesure par un nombre de gouttes d'un réactif approprié dans l'appareil de Dienert et Guillerd. Eviter de dépasser 25 à 30 gouttes.*
- *Couleur (due à des colloïdes en suspension) : se mesure de façon analogue, avec un réactif spécifique, définissant un indice n. Éviter de dépasser la valeur 20 pour n.*

c) la qualité physique et gustative : l'eau doit être limpide, claire, aérée et ne doit présenter ni saveur ni odeur désagréable. Cependant, une eau qui ne satisfait pas pleinement à ces critères ne présente pas forcément de risque pour la santé.



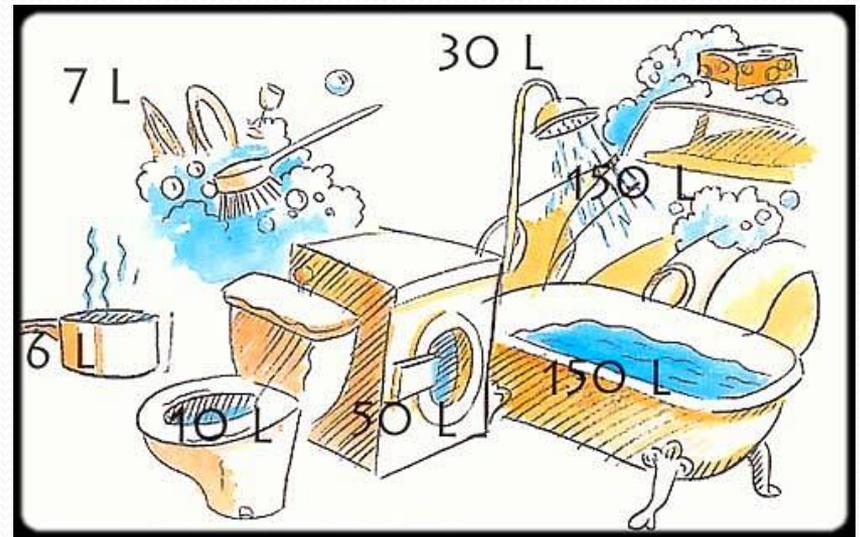
I.5- Usages de l'eau et leur exigences

L'eau est utilisée en milieu urbain d'abord comme élément vital pour les besoins physiologiques, puis comme moyen de lavage, comme solvant pour divers besoins domestiques et publics, et enfin comme évacuateur de déchets. Dans une évaluation des besoins en eau des centres urbains, il faut opposer nettement les besoins domestiques, propres à l'individu et les besoins publics, correspondant à sa vie en société. Par suite des conditions de distribution, toute l'eau fournie est potable, alors que certains besoins domestiques et publics n'exigeraient pas une eau de qualité aussi importante. Par contre, dans le cas de la consommation d'eau pour la boisson, une redoutable concurrence s'est instaurée dans maints pays développés entre eau potable et eau minérale.

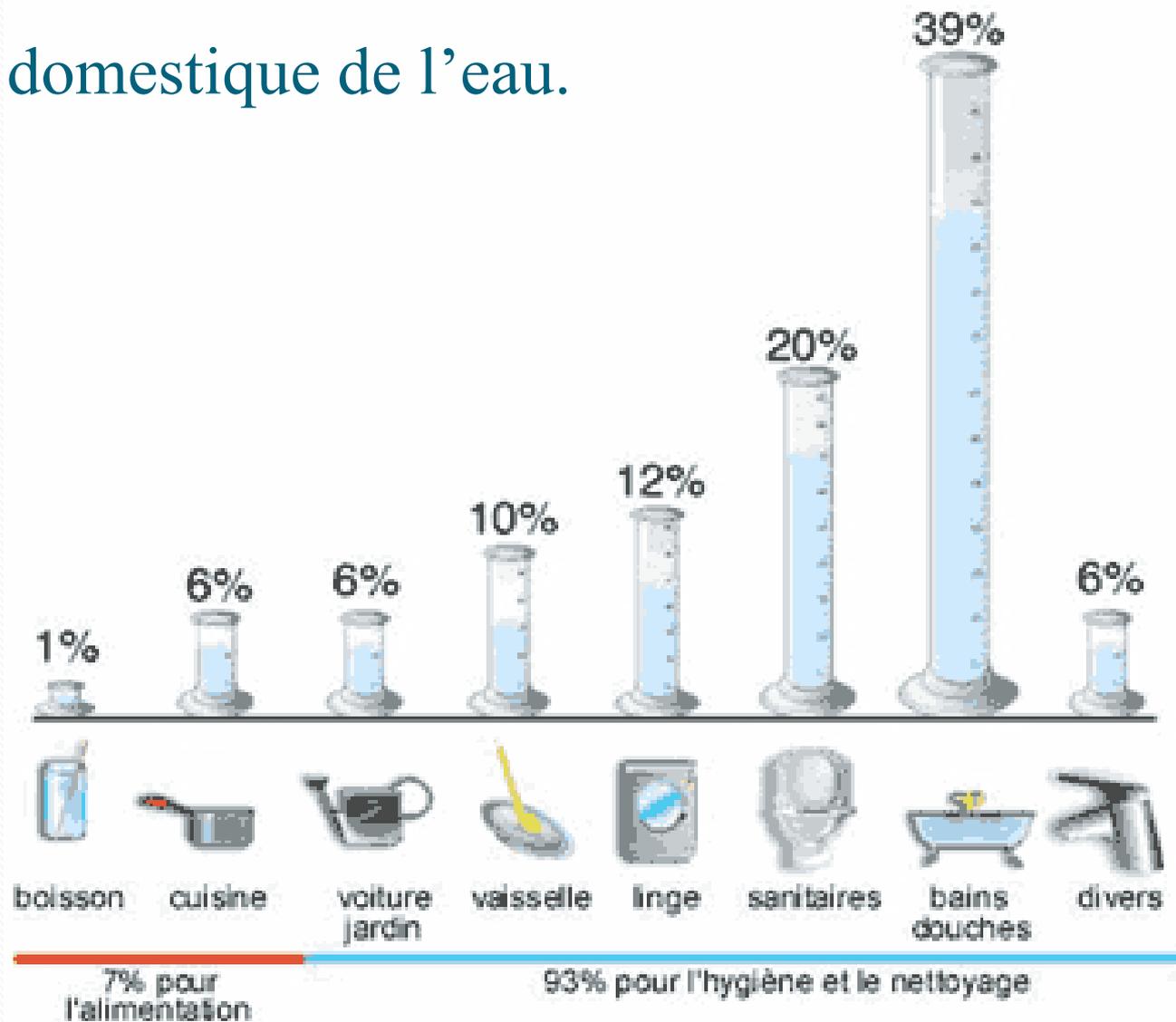
a) Eau domestique

Aux besoins domestiques directs (100 l/j/h) s'ajoutent donc des besoins d'au moins 200 l/j/h, soit un total de 300 l/j/h, soit 110 m³ /habitant/an environ. Ces besoins sont largement dépassés dans les grandes agglomérations et ils se répartissent en trois parts égales : celle des ménages, celle des commerces et des autres usagers collectifs, celle des services municipaux (les besoins domestiques et publics atteignent ainsi de 400 à 900 l/j/h).

On peut citer avec des réserves 836 l/j/h à Boston, 647 l/j/h à Montréal 606 l/j/h à Oslo, 565 l/j/h à Monaco, 500 l/j/h à Paris, 481 à Tokyo.



Consommation domestique de l'eau.



Ces eaux ne sont distribuées qu'après traitement, trois facteurs déterminent le choix d'un traitement :

- **La quantité** : La source doit couvrir la demande, en toute circonstance.
- **La qualité** : La qualité de l'eau brute dont on dispose doit être compatible avec la législation en vigueur.
- **L'économie** : Le coût d'investissement et de fonctionnement du procédé de traitement relatif à chacune des ressources disponibles est déterminant lors de la prise d'une décision.

Il faut signaler que les établissements distributeurs des eaux de consommation sont responsables de la conformité de ces eaux aux normes jusqu'à leurs arrivées au consommateur.

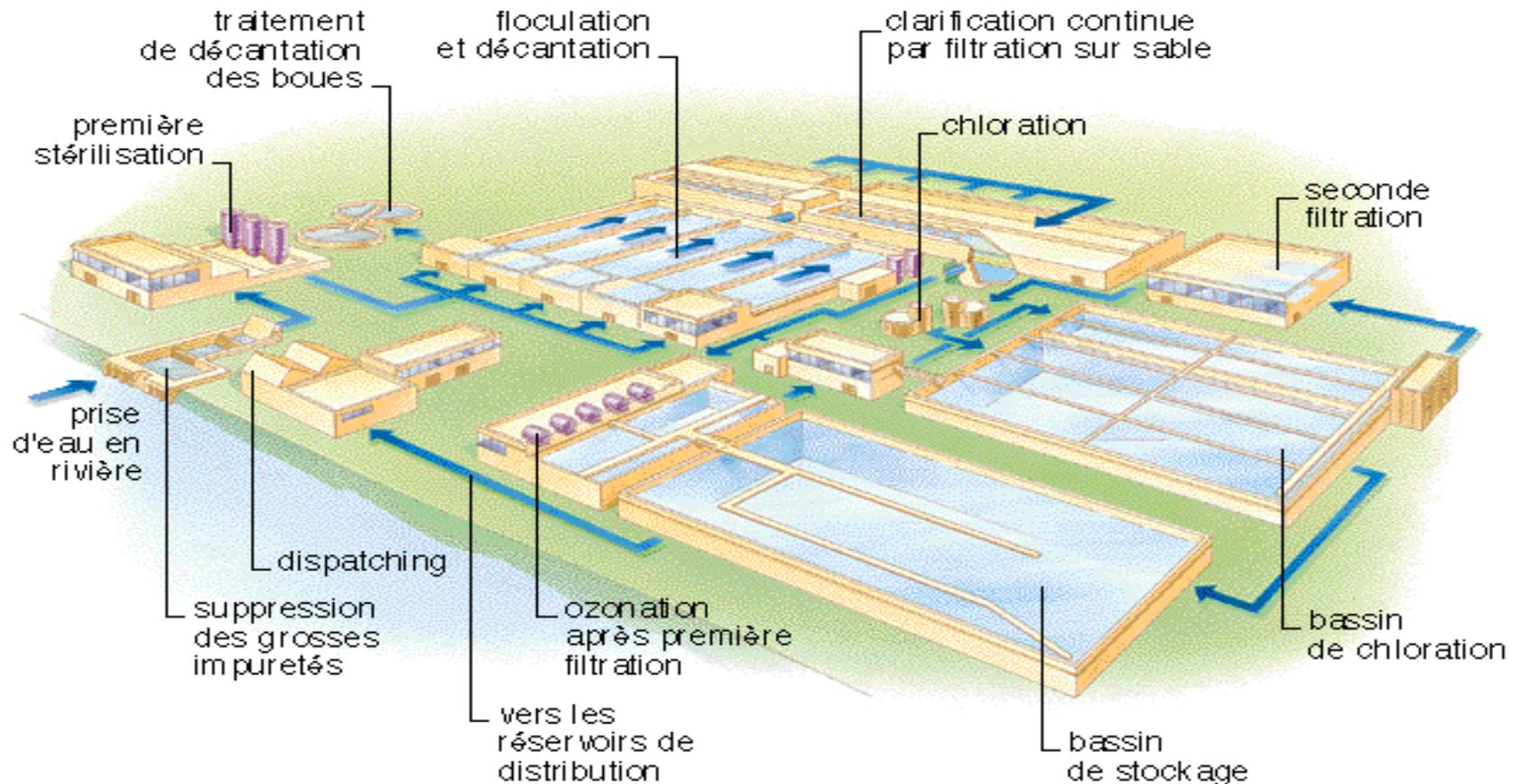
b) Eaux industrielles :

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 (voir tableau 4). Une eau qui va entrer dans un cycle de refroidissement d'une chaudière est moins exigeante que l'eau utilisée dans l'industrie électronique.

Tableau I.5 :
Principales
utilisations
industrielles de
l'eau et sources
d'eau possibles

| Utilisation | | Sources d'eau acceptables (souvent après un traitement adéquat) |
|---|---|--|
| Eau de fabrications nobles | <ul style="list-style-type: none"> - Agroalimentaire - Pharmacie - Papiers blancs - Textiles - Teintureries - Chimie | <ul style="list-style-type: none"> - Eau moyennement minéralisée - Eau potable - Eaux de forage - Eaux de surface peu polluées |
| Eau déminéralisée | <ul style="list-style-type: none"> - Pharmacie - Chaudières - Préparation des bains divers - Rinçages en galvanoplastie - Eau ultra pure - Dessalement par osmose inverse | <ul style="list-style-type: none"> - Eaux de forage - Eaux de surface peu polluées |
| Eau de refroidissement en circuit semi-ouvert | <ul style="list-style-type: none"> - Réfrigération atmosphérique | <ul style="list-style-type: none"> - Eaux de surface pauvres en Cl⁻ - Effluents après traitement tertiaire |
| Eau de refroidissement en circuit ouvert | <ul style="list-style-type: none"> - Condenseurs et échangeurs | <ul style="list-style-type: none"> - Eaux de surface - Eaux de mer - Effluents après traitement |
| Eau de lavage de gaz ou produit de transport | <ul style="list-style-type: none"> - Lavage gaz métallurgique et incinération - Lavage charbon | <ul style="list-style-type: none"> - Eaux de surface tamisées et prédécantées - Effluents secondaires |

I.6- Schéma type d'une station de traitement de l'eau



Chapitre II : Le prétraitement des eaux de consommation

II.1- Introduction

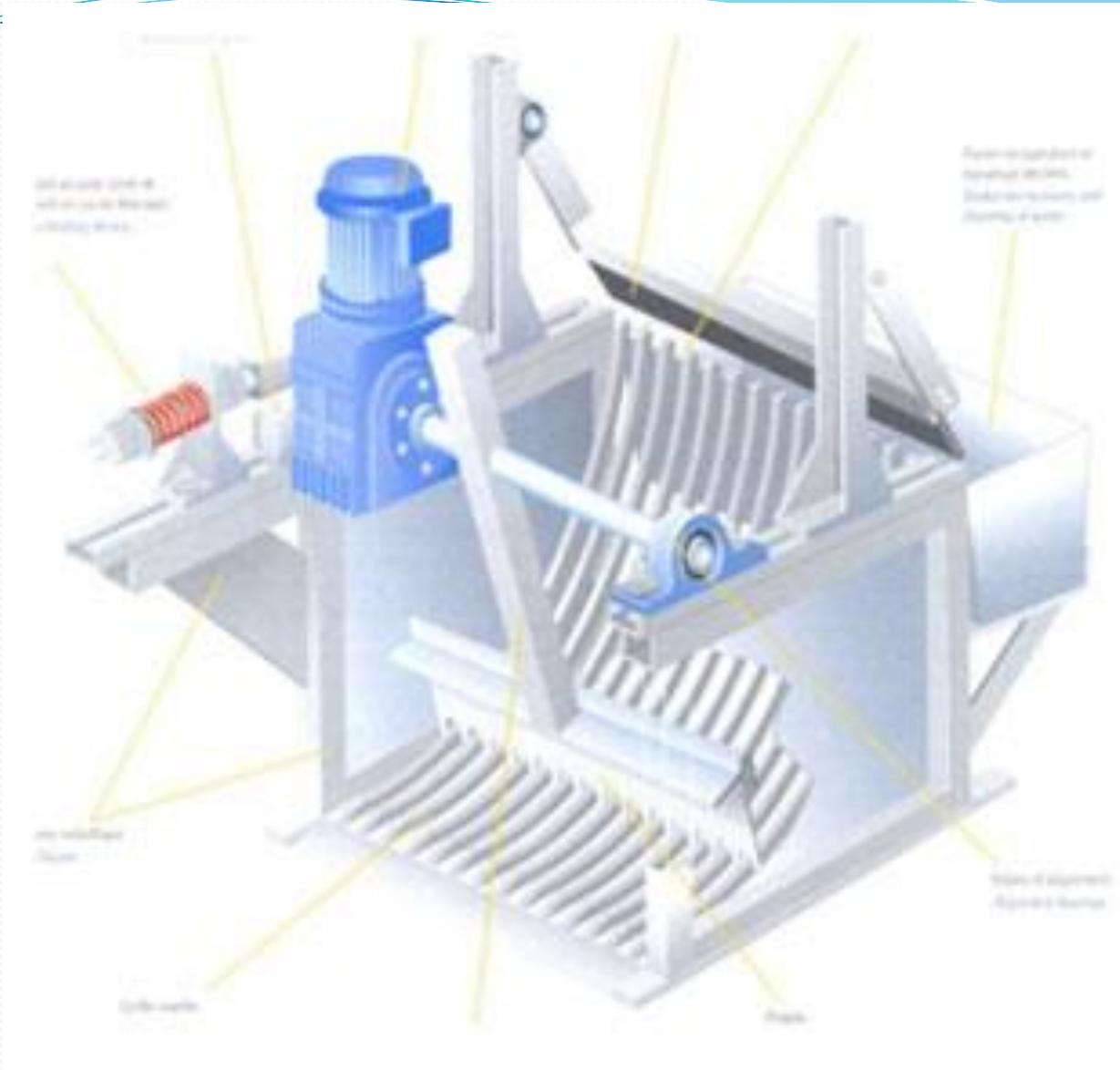
Les eaux brutes doivent subir, avant leur traitement proprement dit, un prétraitement. Il est destiné à extraire de l'eau brute la plus grande quantité d'éléments dont la nature ou les dimensions constituerait une gêne pour les traitements ultérieurs.

II.2- Le dégrillage

Dès sa prise, l'eau passe à travers des grilles pour arrêter les éléments grossiers (corps flottants et gros déchets tel que des branchages et des cailloux).

L'installation de dégrillage se compose : d'un canal, de la grille, du dégrilleur et d'une benne pour les déchets.

L'espacement entre les barreaux des grilles est soit plus de 3 cm (dégrillage grossier) ou de moins de 3 cm (fin).





Différents types de dégrillage sont définis selon l'espacement des barreaux.

Tableau II.2 : Les différents types de dégrillage.

| Type de dégrillage | Espacement des barreaux |
|--------------------|-------------------------|
| Dégrillage fin | < 10 mm |
| Dégrillage moyen | 10 – 30 mm |
| Pré - dégrillage | 30 – 100 mm |

Plusieurs dégrillages peuvent être associés en série. Pour les eaux de ruissellement, il s'agira en pratique dans la grande majorité des cas de pré-dégrillage suivi parfois de dégrillage moyen.

a- Emplacement

Les dégrilleurs sont généralement installés :

- ✓ en amont des bassins de retenue ;



Dégrilleur destiné à retenir les objets flottants avant l'entrée d'un étang



Exemples de flottants retenus par un dégrilleur.

✓ en amont des ouvrages de traitement au fil de l'eau (dessableurs, déshuileurs...) notamment en zone urbanisée où les déchets sont en abondance dans les eaux recueillies.



b- Dimensionnement

Lorsque les eaux brutes fortement chargées le colmatage accéléré peut provoquer un débordement. Le dégrilleur devra permettre le passage de l'eau par débordement en cas de colmatage.

Une grille génère une perte de charge hydraulique $i(m)$, telle que :

$$i (m) = D_s \cdot (e / E)^{4/3} \cdot V^2/2g \quad (II.1)$$

avec :

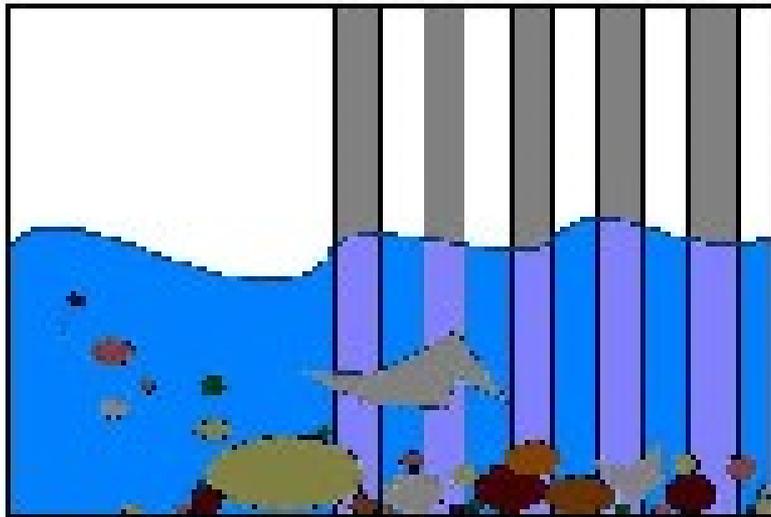
D_s : coefficient de forme des barreaux circulaire = 1,8 ; oblongue = 1,7

e : épaisseur des barreaux (m)

E : espace libre entre les barreaux (m), (écartement)

V : vitesse moyenne d'arrivée de l'eau

La vitesse de traversée de la grille ne doit pas être inférieure à 0,6 m/s afin d'obtenir l'application des matières sur la grille et d'éviter les dépôts de sables. La vitesse doit osciller entre 0,8 et 0,9 m/s et rester inférieure à 1,2 m/s en débit de pointe.



Calcul de la largeur de la grille :

$$\text{Surface immergée : } S = \frac{Q_{\text{pointe}}}{V.\theta.C} \quad (\text{II.2})$$

avec :

V : vitesse admise pour le débit Q considéré

C : coefficient de colmatage

θ : coefficient de passage libre = $E / [E + e]$ (voir (II.1))

La quantité de refus de dégrillage peut être variable selon la période de l'année et le secteur considéré au sein d'une même commune.

c- Les différents types de dégrilleurs

Le classement des dégrilleurs peut s'effectuer selon leur système d'évacuation des déchets :

- les grilles manuelles qui doivent être nettoyées à la main très régulièrement ;
- les grilles mécaniques qui sont équipées d'appareils assurant leur nettoyage automatique.

i. Les grilles manuelles

Elles sont réservées aux très petites installations. Le nettoyage est effectué à l'aide d'un râteau et les débris sont recueillis dans un bac récepteur percé : goulotte d'égouttage ou panier perforé.



ii. Les grilles mécaniques

De nombreux types existent :

- les dégrilleurs droits à nettoyage par l'amont :

ce sont les plus employés mais ils sont toutefois réservés à des profondeurs d'eaux moyennes d'environ 2 mètres ;



- les dégrilleurs droits à nettoyage par l'aval : ils sont utilisables pour les grandes profondeurs et pour des débits pouvant aller jusqu'à 30 000 l/s ;
- les dégrilleurs oscillants (ou à tête oscillante) : ils sont très fiables et utilisables pour des débits atteignant 30 000 l/s.



d- Avantages – inconvenients

| | Avantages | Inconvénients |
|---|--|---|
| Dégrilleurs à grille manuelle | <ul style="list-style-type: none"> - Faible coût - Pas d'apport d'énergie | <ul style="list-style-type: none"> - Entretien pénible et fréquent |
| Dégrilleurs à grille automatique | <ul style="list-style-type: none"> - Efficacité - Peu d'entretien | <ul style="list-style-type: none"> - Contrôle régulier du fonctionnement (sinon pannes assurées) |
| dégrilleur à nettoyage par l'amont | <ul style="list-style-type: none"> - Pression du peigne réglable nettoyant les grilles ⇒ optimisation du nettoyage | <ul style="list-style-type: none"> - Sensibilité au bourrage par les dépôts au pied de la grille |
| dégrilleur à nettoyage par l'aval | <ul style="list-style-type: none"> - Adapté à de forts débits et à de grandes profondeurs - Reprise d'importantes quantités de matières solides - Nettoyage des râteaux par un éjecteur qui déverse les détritrus dans une goulotte - Incolmatable | <ul style="list-style-type: none"> - Plus cher à l'achat et à l'entretien car changement fréquent des barreaux - Fragiles |
| dégrilleur oscillant | <ul style="list-style-type: none"> - Adapté à de forts débits | <ul style="list-style-type: none"> - Fiable et performant |

e- Entretien

Il dépendra du type de dégrilleur choisi :

- le dégrilleur à grille manuelle nécessite un entretien (enlèvement des détritrus) fréquent et régulier, donc très contraignant ;
- le dégrilleur à grille mécanique, lui, nécessite un entretien moins fréquent mais toujours régulier qui consiste à l'enlèvement des déchets et à un contrôle de fonctionnement (fréquence estimée à une fois par mois).

Il est difficile de fixer une fréquence d'enlèvement des déchets car elle dépend de la quantité de détritrus recueillis donc du bassin d'apport. Le lieu d'implantation du dégrilleur devra être accessible à des véhicules de chargement et d'évacuation des déchets.



f- Efficacité

L'efficacité du dégrillage dépend de 3 facteurs :

- la position du dispositif par rapport au reste du réseau,
- la vitesse de passage de l'eau dans l'ouvrage (qui conditionne le colmatage),
- la fréquence d'entretien.

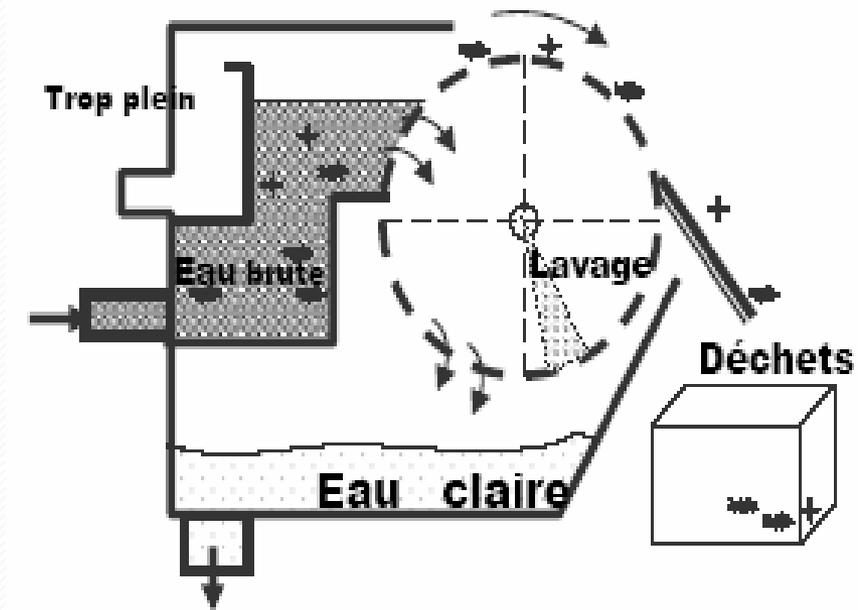
L'efficacité est aussi fonction du débit d'entrée dans le dégrilleur
En effet, l'installation d'un chenal d'approche rectiligne en amont de l'ouvrage permettra une bonne répartition du débit et de la vitesse des eaux et améliorera ainsi les performances du dispositif (en évitant le colmatage).

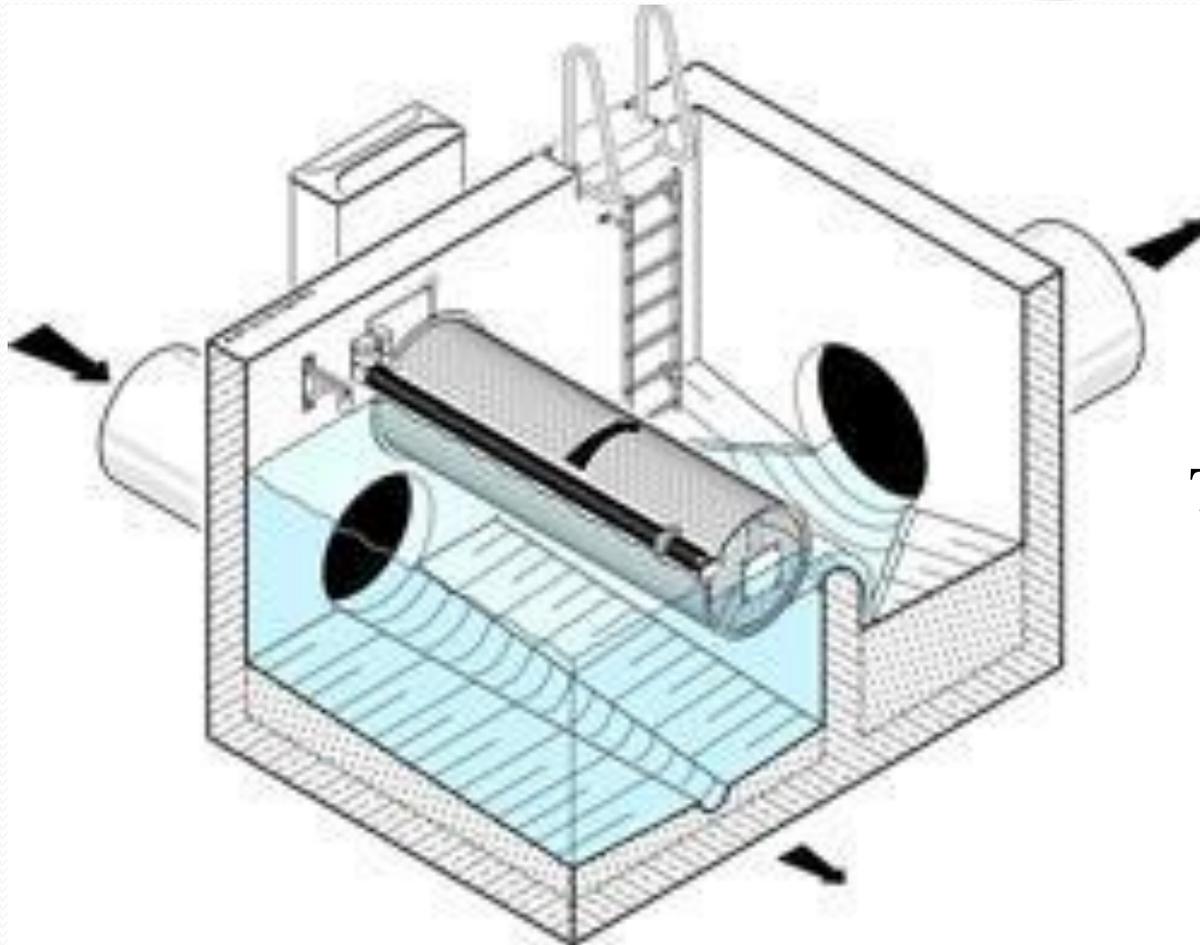
Un piège à cailloux diminuera la détérioration des barreaux du dégrilleur.

II.3- Le microtamisage

Ce procédé consiste en un filtrage plus fin de l'eau à travers une toile de fils ou de fibres ou à travers une membrane poreuse. Les particules organiques, minérales et le plancton sont interceptés si leur taille est supérieure à celle des ouvertures du microtamis. Celui-ci n'améliore, ni la turbidité causée par de fines particules, ni la couleur de l'eau ; les argiles, les substances dissoutes, les éléments colloïdaux minéraux et organiques ne se trouvant pas arrêter.

Tamis rotatif





Tamis rotatif

II.4- Dessableur

II.4.1. But / utilisation

Le but de ce dispositif est de piéger les particules solides charriées par les eaux et les matières en suspension de granulométrie comprise entre 200 et 500 μm : sables, graviers, etc.

les dessableurs-déshuileurs



En retenant les sables qui sont associés aux polluants, le dessableur participe à la protection du milieu récepteur ; il permet également :

- d'éviter la détérioration des ouvrages situés en aval (usure des pièces mécaniques),
- de limiter la réduction de la débitance des collecteurs.

Ainsi, l'implantation d'un dessableur diminuera les difficultés d'exploitation des réseaux et la quantité de sables rejetée dans le milieu.

Film dessableur

II.4.2. Principe

Ouvrage constitué d'une chambre profonde, ce dispositif a été conçu pour arrêter les particules minérales les plus denses, essentiellement les sables et graviers mais aussi les débris de verres et de métaux.

Cette séparation gravitaire s'effectue par limitation de la vitesse horizontale des fluides qui doit être inférieure à la vitesse de chute des particules minérales.

Le dessableur assure donc le tri des particules denses et légères :

- en retenant au fond de la chambre de dessablement les particules minérales de densité sèche $\approx 1,8$;
- en laissant en suspension les matières organiques de densité $\approx 1,2$.

II.4.3. Emplacement

L'implantation d'un dessableur en réseau séparatif eaux pluviales est recommandée :

- en aval lorsque le réseau est long et à faible pente (contre sédimentation et obturation),
- à l'exutoire,
- en amont de certains ouvrages de traitement dont le fonctionnement pourrait être perturbé.

II.4.4. Dimensionnement



Le dessableur doit être conçu pour que la vitesse de l'eau à l'intérieur de l'ouvrage soit comprise entre 0,2 et 0,4 m/s.

La conception du dessableur se fait en fonction du choix de la taille des particules à éliminer (0,2 mm) et de leur pourcentage à éliminer (80 à 95 %).

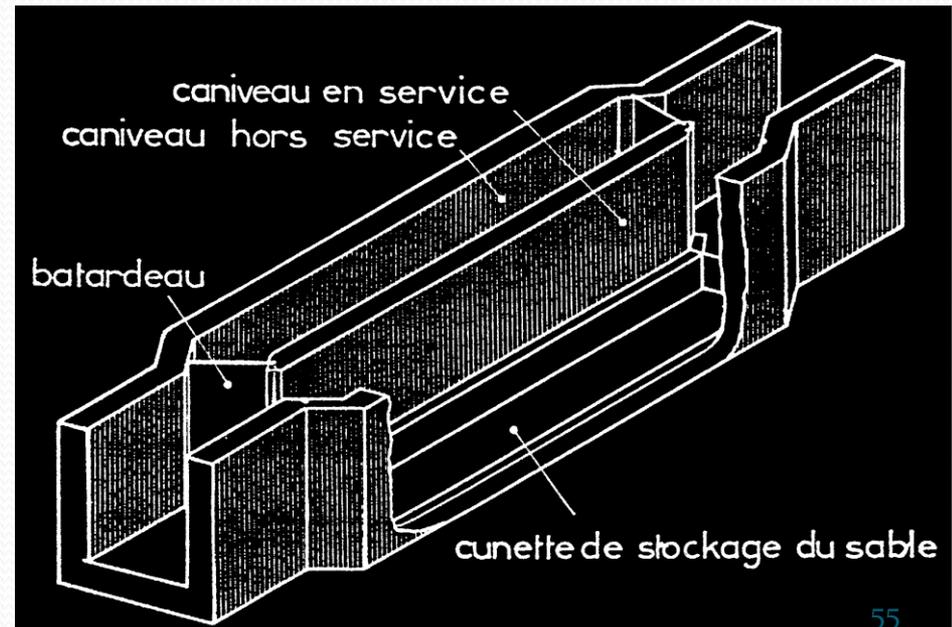
L'élargissement de la section du collecteur permet une réduction de la vitesse de l'eau et également une régulation (utile pour les autres ouvrages en aval).

II.4.5. Les différents types de dessableurs

Il existe plusieurs types de dessableurs.

a) Les dessableurs classiques

La vitesse à l'intérieur de ces ouvrages varie selon le débit. Ces ouvrages canaux (ou couloirs) simples sont les plus élémentaires. L'installation de deux canaux en parallèle (figure ci-dessous) permet la mise en service du deuxième canal lorsqu'on extrait les sables du premier.



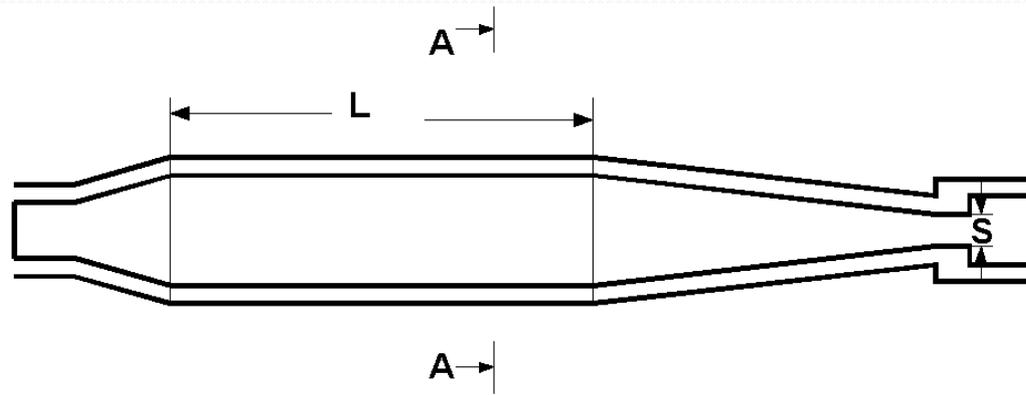
Dessableur à canal double.

b) Les dessableurs canaux à vitesse constante

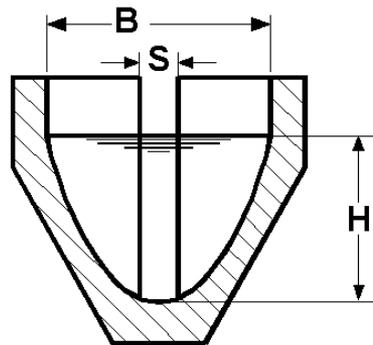
Afin d'obtenir une vitesse constante dans les dessableurs, la section immergée doit varier de la même façon que le débit.

Parmi les dessableurs à vitesse constante on compte :

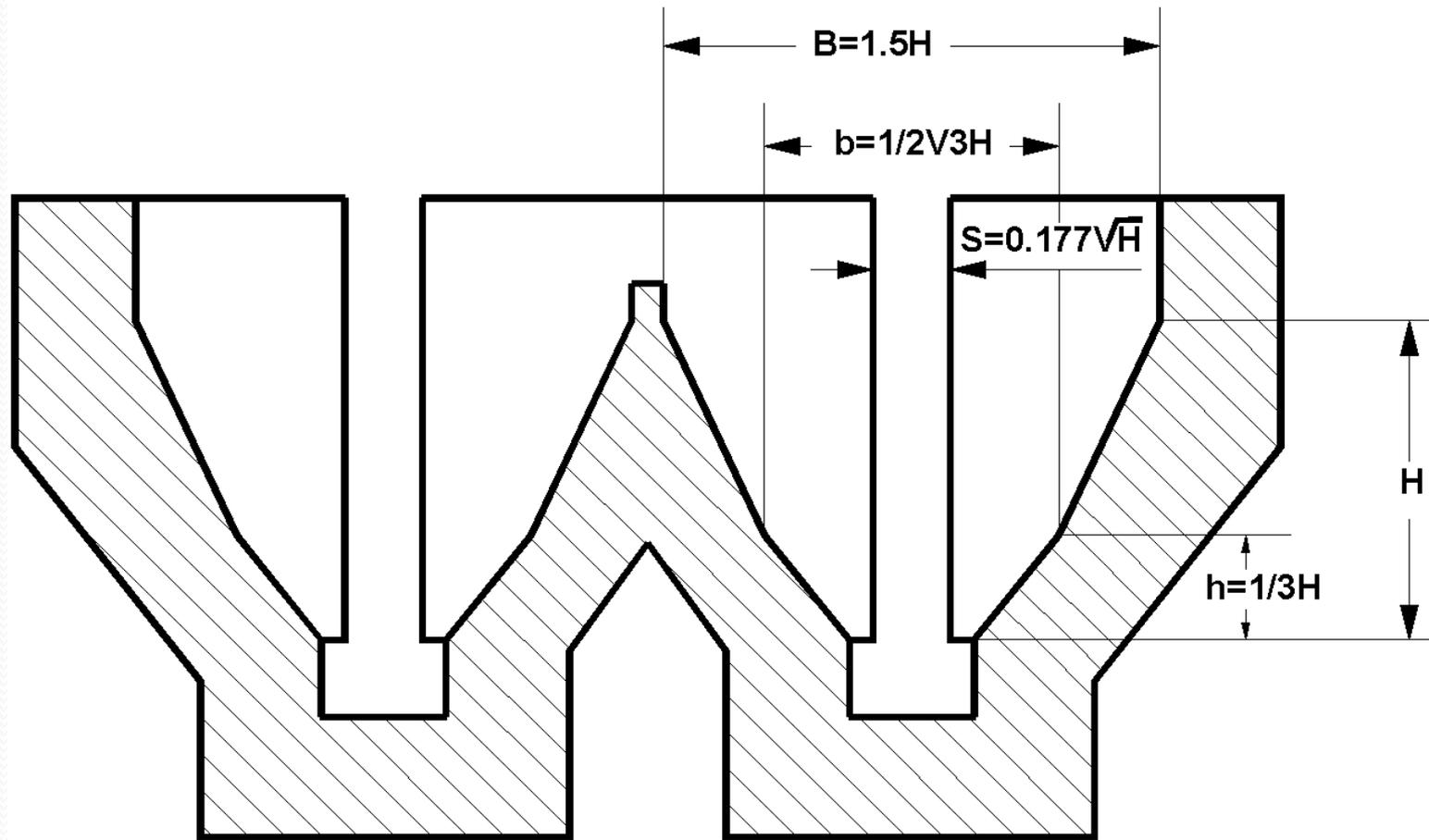
les dessableurs à section parabolique (figures ci-dessous). Cette solution consiste à adapter la section du dessableur aux variations de débit : rétrécissement du canal par une fenêtre verticale.



COUPE A-A



Dessableur à section parabolique.



Section hexagonale d'un dessableur à section parabolique.

Il existe d'autres types de dessableurs mais qui sont essentiellement utilisés pour le traitement des eaux usées comme : les dessableurs tangentiels, les dessableurs aérés (séparation des sables et des matières organiques), les dessableurs carrés à fond plat.



II.4.6. Avantages – inconvénients

| | Avantages | Inconvénients |
|--|--|--|
| Dessableurs classiques | - Peu coûteux car ouvrage simple | - Sables sales (faible différenciation sable / MO) |
| Dessableurs à vitesse constante | | |
| dessableur Venturi à section parabolique | - Faible perte de charge | - Onéreux à cause de la difficulté de conception de la section parabolique |
| dessableur à section rectangulaire et déversoirs conjugués | - Bonne décantation des sables grâce à la section rectangulaire - Moins onéreux que | - Fente du déversoir étroite donc grands risques d'obturation-colmatage |

II.4.7. Entretien

Il consiste en un curage de l'ouvrage, l'enlèvement des sables et leur évacuation. L'enlèvement des sables est indispensable au maintien des performances de l'ouvrage. En effet, il peut rapidement perdre son efficacité et relarguer une quantité importante de sables pouvant détériorer les ouvrages en aval.

Il est difficile de fixer une fréquence d'enlèvement des sables car elle dépend de l'origine des eaux recueillies et de la situation géographique des dispositifs de dépollution.



Extraction du sable d'un dessableur

II.4.6- Note de calcul d'un dessableur

Le calcul du dimensionnement se fait de manière suivante:

$$\text{Surface : } S = \frac{Q}{V_{asc}} \quad (\text{II.3})$$

$$\text{Volume : } V = \tau * Q \quad (\text{II.4})$$

$$\text{Hauteur: } H = \frac{V}{S} \quad (\text{II.5})$$

avec :

S : surface (m²)

Q : débit (m³/s)

V_{asc} : vitesse ascensionnelle des particules (m/s) (déterminée au laboratoire)

V : volume (m³)

τ : temps de séjour (jours)

Exo 2 :

On se fixe une vitesse ascensionnelle des particules de sable de 14 m/h. Notre débit à traiter est de 2000 m³ par jour et nous avons un temps de séjour hydraulique de 30 minutes.

Question :

Déterminer les caractéristiques d'un déssableur cylindrique?

Chapitre III

Traitement de Clarification.

III.1- LA COAGULATION – FLOCCULATION

III.1.1. Le principe

La turbidité et la couleur d'une eau sont principalement causées par des particules très petites (de diamètre compris entre 0.1 et 10 μm), dites particules colloïdales. Ces particules, qui peuvent rester en suspension dans l'eau durant de très longues périodes, peuvent même traverser un filtre très fin. Par ailleurs, puisque leur concentration est très stable, ces particules n'ont pas tendance à s'accrocher les unes aux autres.

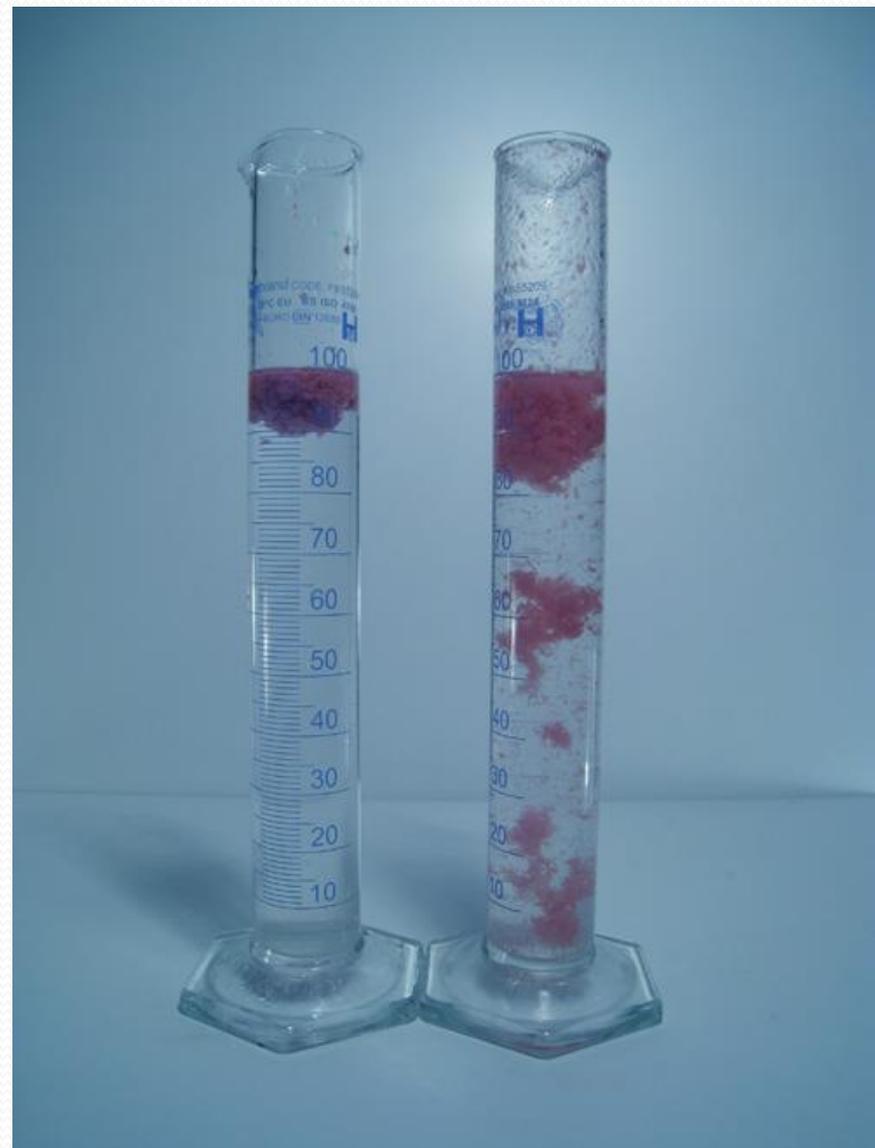
Les impuretés solides fréquemment en suspension dans les eaux de surfaces peuvent être :

- Soit chimiquement et biologiquement neutres (argiles et limons, qui constituent la **turbidité**, colloïdes qui donnent une couleur indésirable) mais désagréable au goût et à la vue;
- Soit nuisibles (déchets, corps organiques en voie de transformation).

On élimine ces matières par des procédés *coagulation et de flocculation*, en ajoutant des réactifs.



Il est important que les procédés de coagulation et de floculation soient utilisés correctement. En effet, la production d'un floc trop petit ou trop léger entraîne une décantation insuffisante : lorsque les eaux arrivent sur les filtres, elles contiennent une grande quantité de particules de floc, qui encrassent rapidement ces filtres, ce qui nécessite des lavages fréquents. Par ailleurs, lorsque le floc est fragile, il se brise en petites particules qui peuvent traverser le filtre et altérer la qualité de l'eau produite.



III.1.2. Particules en suspension

Les particules en suspension dans une eau de surface proviennent de l'érosion des terres, de la dissolution de substances minérales et de la décomposition de substances organiques. À cet apport naturel, il faut ajouter les déversements d'eaux d'égout domestiques, industrielles et agricoles. En général, la turbidité de l'eau est causée par des particules de matières inorganiques (particules de glaise et d'argile) alors que sa couleur est imputable à des particules de matières organiques et d'hydroxyde de métal (le fer, par exemple).



a) Taille des particules en suspension

On peut classer les particules en fonction de leur taille. Ainsi, les particules dont le diamètre est supérieur à $1\ \mu\text{m}$ sont des particules de matières organiques ou inorganiques qui se déposent facilement, alors que les particules dont le diamètre est inférieur à $1\ \mu\text{m}$ sont des particules colloïdales qui se déposent très lentement.

Les particules de matières minérales de densité élevée ($\approx 2,65$) et de faible diamètre ($\leq 0,001\ \text{mm}$) se déposent très lentement et ne sont pas éliminées par un décanteur classique. Les particules de matières organiques, quant à elles, ont une densité faible; elles se déposent donc encore plus lentement.

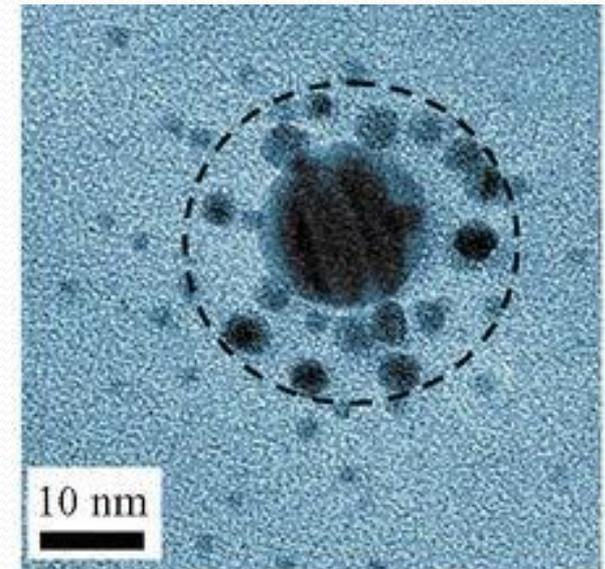
Temps requis pour que des particules de densités 2,65, 2,0 et 1,1 chutent de 1 m dans une eau à 15°C

| Type de particule | Diamètre (mm) | Temps de chute | | |
|-------------------|---------------|-----------------|----------------|----------------|
| | | densité de 2,65 | densité de 2,0 | densité de 1,1 |
| Gravier | 10,0 | 0,013 s | 0,02 s | 0,20 s |
| Sable grossier | 1,0 | 1,266 s | 2,09 s | 20,90 s |
| Sable fin | 0,1 | 126,66 s | 3,48 min | 34,83 min |
| Glaise | 0,01 | 3,52 h | 5,80 h | 58,0 h |
| Bactéries | 0,001 | 14,65 d | 24,19 d | 241,9 d |
| Colloïdales | 0,000 1 | 4,12 a | 6,66 a | 66,59 a |
| Colloïdales | 0,000 01 | 412,2 a | 665,9 a | 6 659 a |
| Colloïdales | 0,000 001 | 41 222,7 a | 66 590 a | 665 905 a |

b) Affinité des particules colloïdales pour l'eau

Les particules colloïdales sont soit hydrophiles, soit hydrophobes. Les particules hydrophiles déshydratées se dispersent spontanément dans l'eau et sont entourées de molécules d'eau qui préviennent tout contact ultérieur entre ces particules. Les particules hydrophobes ne sont pas entourées de molécules d'eau ; leur dispersion dans l'eau n'étant pas spontanée, on doit la faciliter à l'aide de moyens chimiques ou physiques.

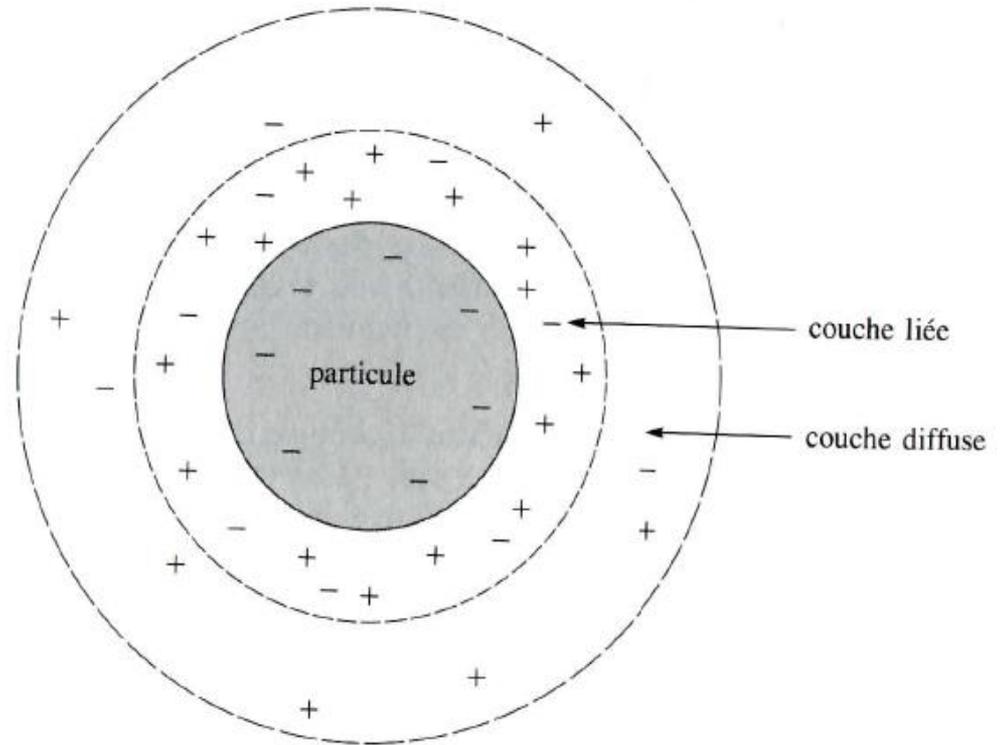
Les particules hydrophobes sont en général des particules de matières inorganiques, alors que les particules hydrophiles sont des particules de matières organiques. En fait, peu de particules sont exclusivement hydrophobes ou hydrophiles ; on retrouve plutôt des particules hydratées à différents degrés.



c) Charges électriques et double couche

Dans une eau de surface, les particules colloïdales possèdent habituellement une charge électrique négative située à leur surface.

Ces charges, dites primaires, attirent les ions positifs en solution dans l'eau, lesquels adhèrent fortement à la particule et attirent à leur tour des ions négatifs accompagnés d'une faible quantité d'ions positifs.



Double couche d'une particule colloïdale

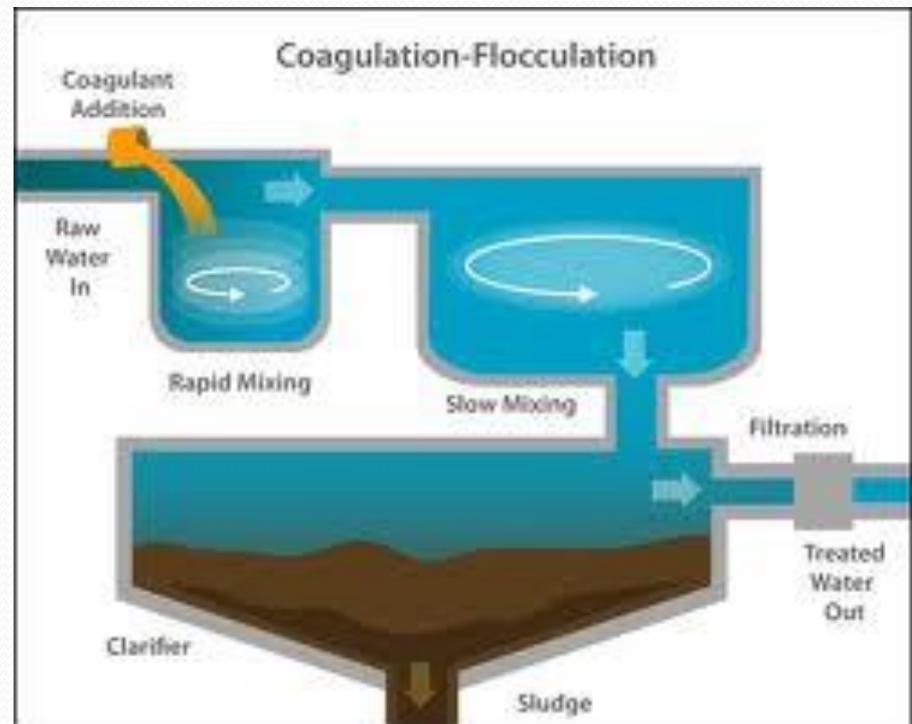
III.1.3. La coagulation

III.1.3.1 Principe

La charge électrique et la couche d'eau qui entourent les particules hydrophiles 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).

Emplacement du bassin de coagulation - floculation



III.1.3.2. 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 :

le sulfate d'alumine



l'aluminate de sodium



le chlorure d'aluminium



le chlorure ferrique



le sulfate ferrique



le sulfate ferreux



le sulfate de cuivre

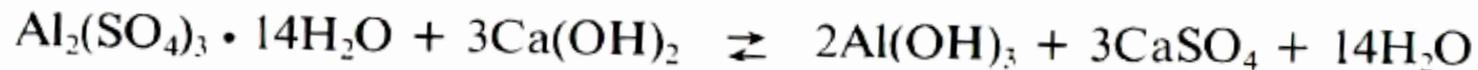
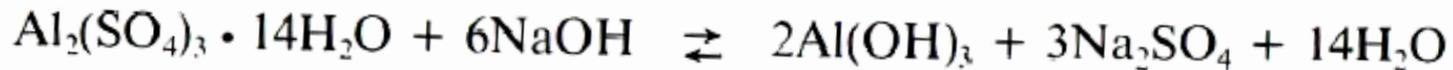


et les polyélectrolytes.

Les produits les plus utilisés pour la purification des eaux sont les sels d'aluminium et de fer. On a longtemps pensé que ces sels libéraient des ions Al^{3+} et Fe^{3+} qui neutralisaient la force de répulsion entre les particules colloïdales et favorisaient ainsi la coagulation. On sait maintenant que les mécanismes qui entrent en jeu sont plus complexes et que les produits d'hydrolyse des sels d'aluminium et de fer sont des coagulants plus efficaces que les ions eux mêmes.

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:



Les critères de choix d'un coagulant sont nombreux. Son efficacité à réduire la couleur, la turbidité et les matières organiques d'une eau est essentielle. Le tableau suivant résume les caractéristiques principales des coagulants les plus fréquents.



| Nom | Formule | Quantité (g/m ³) | Remarques |
|---------------------|---|---|--|
| Sulfate d'Aluminium | $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3, 18 \text{H}_2\text{O}$ | 10 à 150 pour les eaux de surface 50 à 300 pour les eaux résiduaires | obtention d'une eau de très faible turbidité poudre irritante, corrode les métaux ferreux |
| Aluminate de Sodium | NaAlO_2 | 5 à 50 pour les eaux de surface | irritant pour les yeux et les muqueuses corrode les métaux ferreux |
| Chlorure ferrique | $\text{FeCl}_3, 6 \text{H}_2\text{O}$ | 5 à 150 pour les eaux de surface 50 à 300 pour les eaux résiduaires | pour les eaux chargées en matière organique réactif acide, oxydant corrosif, dissolution exothermique |
| Sulfate ferrique | $\text{Fe}(\text{SO}_4)_3, 9 \text{H}_2\text{O}$ | 10 à 250 pour les eaux de surface | oxydant corrosif produit tachant |
| Sulfate ferreux | $\text{FeSO}_4, 7 \text{H}_2\text{O}$ | 5 à 150 pour les eaux de surface 100 à 400 pour les eaux résiduaires | corrode les métaux ferreux, produit tachant conservation à $T > 10^\circ\text{C}$ |

III.1.4. Flocculation

III.1.4.1. Principe

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 microflocs puis des floccs 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.



III.1.4.2. Calcul du volume d'un flocculateur

L'efficacité de la coagulation dépend de la probabilité de contact entre les particules ; c'est pourquoi, le fluide est agité. D'après l'équation de Smoluchowski et pour un objectif d'abattement de la pollution de 50%, il vient :

$$\frac{dN}{dt} = -\frac{2}{3} G d_{pc}^3 N^2 \quad (\text{III.1})$$

Avec :

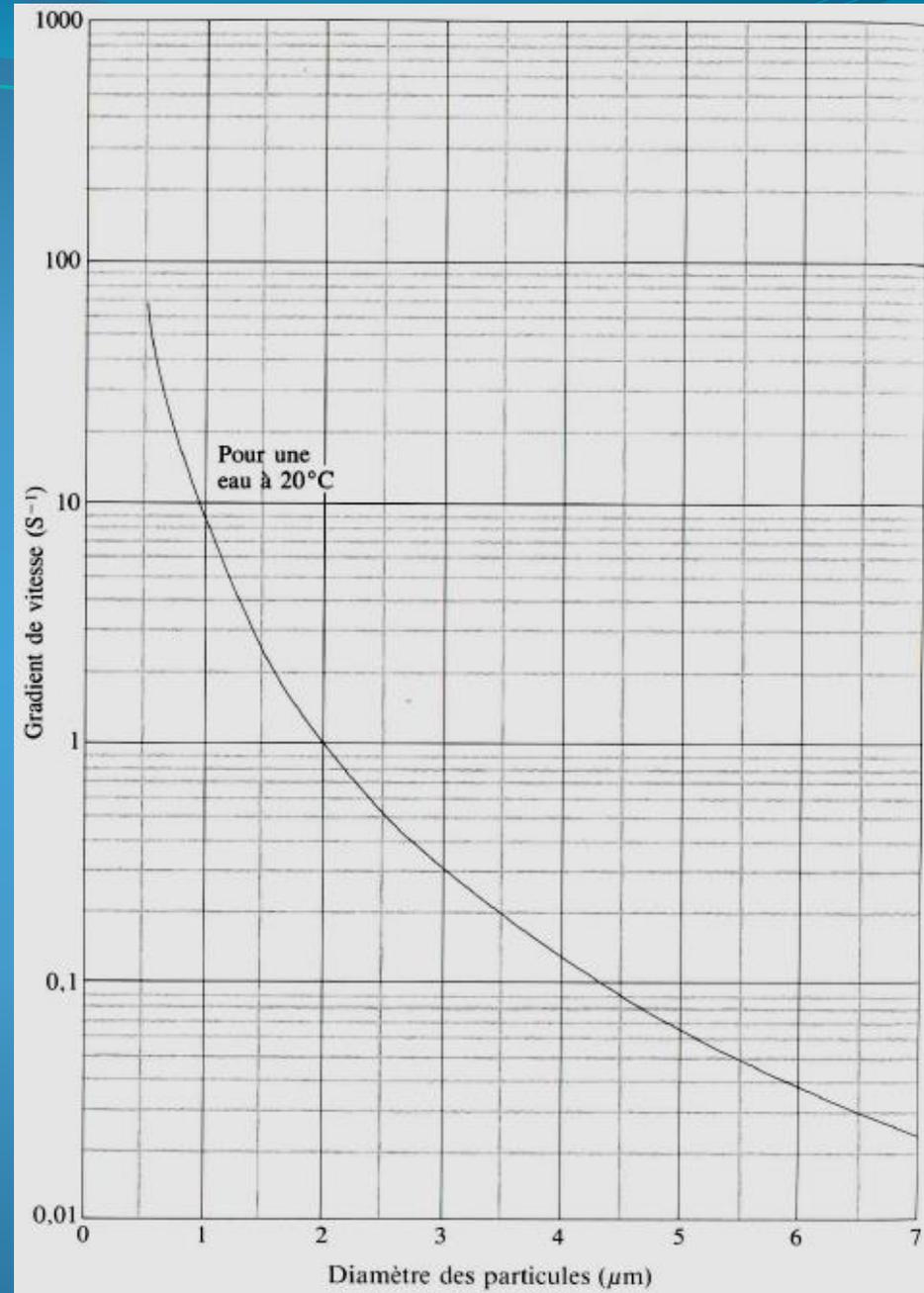
dN/dt : taux de collision entre les particules

G : gradient de vitesse

N : nombre de particules

d_{pc} : diamètre des particules. Les particules fines sont donc beaucoup plus nombreuses que les particules grossières et on a en général : $1 \mu\text{m} < d_{pc} < 3 \mu\text{m}$.

Variation du gradient de vitesse. G , en fonction du diamètre des particules. En floculation, on préconise des vitesses d'agitation comprises entre 20 et 30 s^{-1} .



Après intégration de l'équation (III.1), nous obtenons le temps nécessaire pour que la concentration des particules en suspension soit réduite de moitié avec la relation suivante :

$$\tau = \frac{3}{2Gd_{pc}^3} \frac{1}{N_0} \quad (\text{III.2})$$

N_0 : concentration totale des particules en suspension au temps $t = 0$
(nombre de particules / m^3)

Dans un flocculateur classique, l'agitation est causée par un ensemble de pales parallèles à l'axe de rotation, ensemble qui tourne à une vitesse constante. On peut calculer la puissance que ces pales doivent transmettre lorsqu'on souhaite obtenir un certain gradient de vitesse à l'aide de l'équation suivante:

$$P = \frac{1}{2} C_D A \rho v^3 \quad (\text{III.2})$$

P = puissance transmise (W)

C_D = coefficient de traînée (1,8 pour des pales plates)

A = surface de la pale (m^2)

ρ = masse volumique du liquide (kg/m^3)

v = vitesse relative de la pale par rapport à la vitesse du liquide, soit $\simeq 0,75 \times$ vitesse de la pale (m/s)

III.1.5. Principe du dosage de coagulant

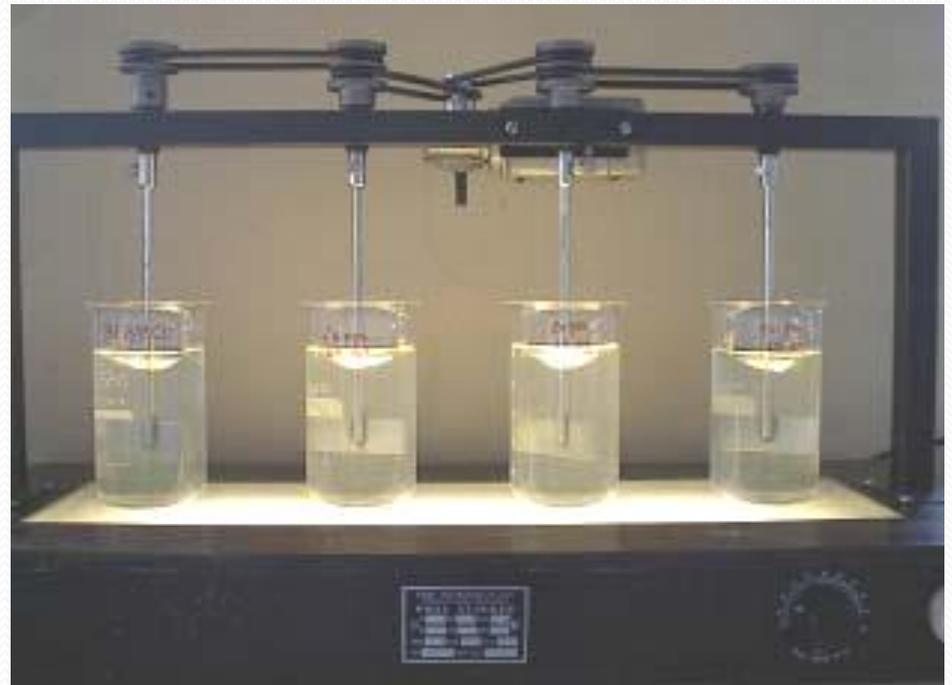
Les bases théoriques de la coagulation-floculation ne permettent pas à elles seules de préciser les dosages optimaux de coagulation-floculation d'une eau donnée.

Afin de déterminer les doses nécessaires pour une bonne coagulation floculation, il faut toujours avoir recours à l'expérience dite « Jar-test ».



En plus de la détermination la dose de la coagulation, les essais de jar-test permettent de visualiser la floculation et de connaître ses effets aussi bien sur l'eau décantée que sur les boues. Ils doivent être effectués à une température voisine de celle que possédera effectivement l'eau au cours de son traitement in situ.

JAR TEST

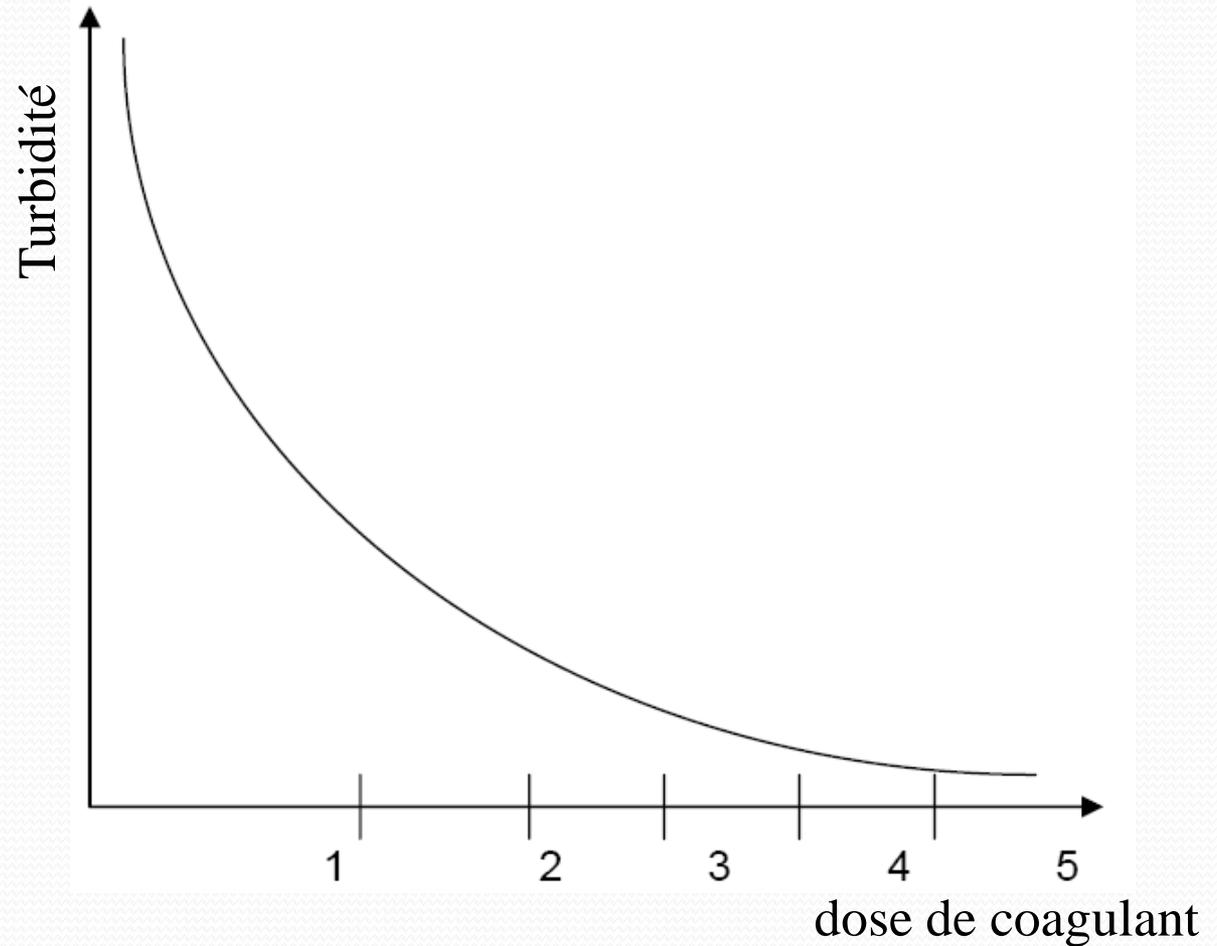


Une série de 4 béchers sont agités de façon identique. Un b cher contient une suspension témoin (sans addition de coagulant). Les autres contiennent la même suspension mais soumise à des doses croissantes de coagulant. Les réactifs sont d'abord mélangés rapidement pendant une courte durée. Puis l'agitation est réduite pour favoriser la floculation (5 min puis 1 min). Enfin les flocons sont laissés au repos et les résultats sont appréciés visuellement ou par des mesures de turbidité.

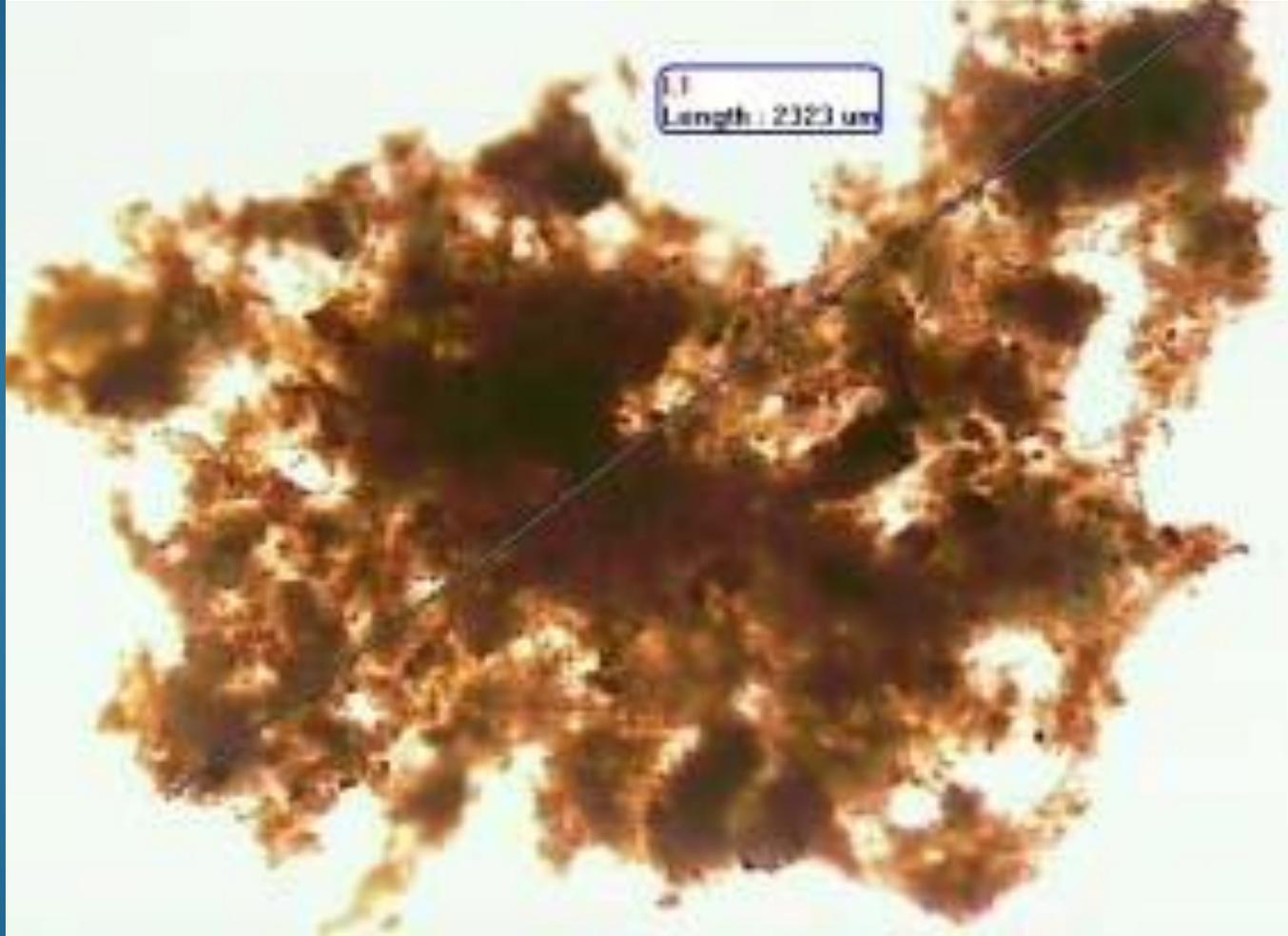
Turbidimètre



Exemple de courbe Turbidité = f(dose de coagulant) obtenue



On en déduit la dose optimale de coagulant à ajouter : ici 4 mg/l.



Formation d'un floc

Exo 3

Nous considérerons donc que notre solution est constituée de particules sphériques de diamètre $d_{pc} = 2 \mu\text{m}$. De plus, la densité de ces MES à 1,2. Ainsi, étant donné qu'un litre d'eau contient 5,33 mg de particules colloïdales, on en déduit qu'il y a $N_0 = 1,06 \cdot 10^{12}$ particules par mètre cube d'eau.

- Calculer le volume du flocculateur pour traiter un débit de 10 l/s.
- Déterminer la puissance transmise par une pale ($l=0.6$, $h=0.2$), qui est animée d'une vitesse de 1.5 m/s.

$$\eta_{\text{eau}} = 1,307 \cdot 10^{-3} \text{ Pa.s}$$

III.2. DÉCANTATION

III.2.1. 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 décantée.

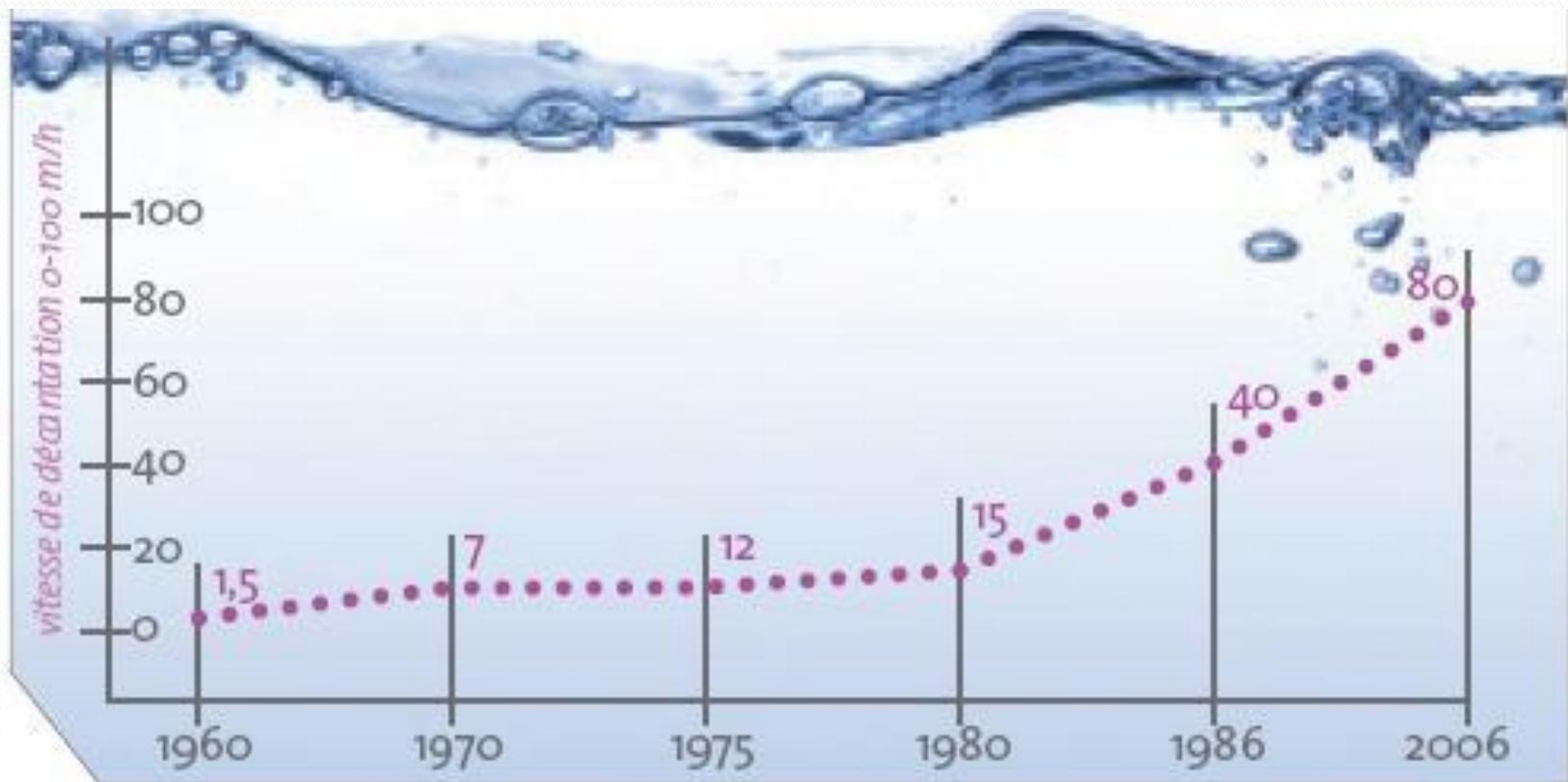
Les forces de frottement exercées sur la particule par le fluide, du fait de sa viscosité (ces frottements croissent avec le carré de la vitesse relative particule-fluide).

Lorsque les forces de frottement visqueux équilibrent la résultante du poids et de la poussée d'Archimède, la particule se déplace alors à une vitesse constante appelée vitesse de sédimentation.

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. Pour des particules de quelques microns, la vitesse de sédimentation (décantation) devient trop faible.



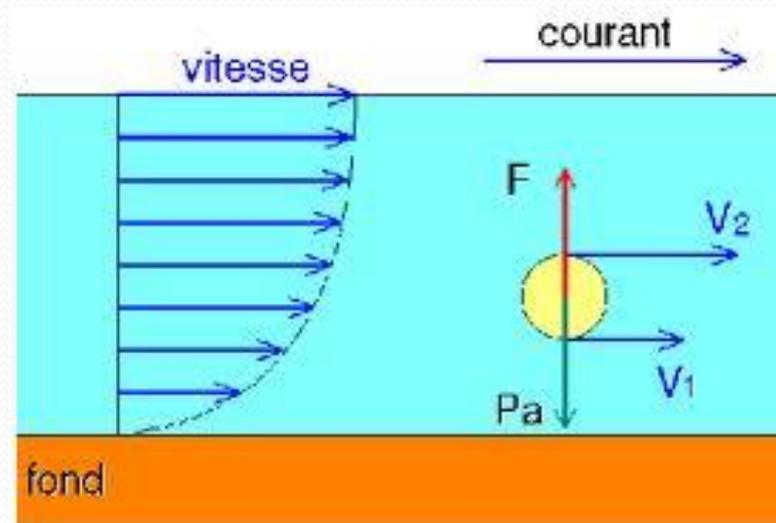
A noter que, au cours du temps, les appareils de clarifications sont devenus de plus en plus performants :



Sources : Veolia Eau [OTV-VWST].

III.2.2. Le bilan des forces de la décantation des particules

Toute particule présente dans l'eau est soumise à deux forces. La force de pesanteur, qui est l'élément moteur, permet la chute de cette particule. Les forces de frottement dues à la traînée du fluide s'opposent à ce mouvement. La force résultante en est la différence.



a) Vitesse de chute de la particule

Équilibre de force sur une particule en mouvement par rapport à un fluide :

$$I (=ma) = - R + G - P = 0 \quad (\text{III.10})$$

I = Force d'inertie sur la particule

R = Force de résistance à l'écoulement

G = Force de gravité sur la particule

P = Force de poussée du liquide sur la particule

b) Force de résistance à l'écoulement

Généralement décrite par l'équation de Newton:

$$R = C_D A_p \frac{\rho_l V^2}{2} \quad (\text{III.11})$$

Avec

C_D coefficient de résistance fonction du Reynolds suivant le type d'écoulement

$$R_e = \frac{du}{\eta} = \frac{du \rho_L}{\mu} \quad (\text{III.12})$$

A_p = la surface projetée de la particule dans la direction du courant

C_D : Coefficient de résistance

- Régime laminaire (Stokes)

$$C_D = \frac{24}{R_e} \quad (\text{III.13})$$

- Régime intermédiaire (Allen)

$$C_D = \frac{10}{\sqrt{R_e}} \quad (\text{III.14})$$

- Régime turbulent (Newton – Rittinger)

$$C_D = \frac{1}{2} \quad (\text{III.15})$$

V_{lim} : vitesse de chute limite

- Régime laminaire (Stokes)

$$V_{\text{lim}} = \frac{g(\rho_s - \rho_l)d^2}{18\mu} \quad (\text{III.16})$$

- Régime intermédiaire (Allen)

$$V_{\text{lim}} = \alpha \left(\frac{\rho_s - \rho_l}{\rho_l \sqrt{\nu}} \right)^{2/3} d \quad (\text{III.17})$$

- Régime turbulent (Newton – Rittinger)

$$V_{\text{lim}} = \alpha \sqrt{\frac{(\rho_s - \rho_l)d}{\rho_l}} \quad (\text{III.18})$$

c) Vitesse de chute en « Chute troublée »

- Correction sur la densité du liquide

$$\rho_l^* = (1-x)\rho_s + x\rho_l \quad (\text{III.19})$$

$$\rho_s - \rho_l^* = x(\rho_s - \rho_l) \quad (\text{III.20})$$

- x est la fraction de liquide
- Correction sur la viscosité

$$\mu^* = \mu \frac{10^{1.82}(1-x)}{x} \quad (\text{III.21})$$

- Après correction la vitesse de chute en « Chute troublée » devient :

- En régime laminaire
$$V_{\text{lim}} = \frac{g}{18} \frac{x^2 (\rho_s - \rho_l) d^2}{10^{1.82} \mu (1-x)} \quad (\text{III.22})$$

- Ou approximativement si $x \approx 0.7$

$$V_{\text{lim}} = \frac{g}{18} \frac{(\rho_s - \rho_l) d^2}{\mu} 0.123 \frac{x^3}{1-x} \quad (\text{III.23})$$

- Mais en pratique, nous prenons :

$$V_{\text{lim}} = \frac{g}{18} \frac{(\rho_s - \rho_l) d^2}{\mu} \quad (\text{III.24})$$

Exercice 4: calcul d'une vitesse de sédimentation

Calculer la vitesse de sédimentation d'une particule de diamètre $d=10$ micromètres, de masse volumique $\rho_S=1700 \text{ kg.m}^{-3}$, plongée dans un fluide de masse volumique $\rho_L=1000 \text{ kg.m}^{-3}$ et de viscosité $\mu=10^{-3} \text{ Pa.s}$.

Déterminer la surface du radier du décanteur pour un débit de 15 l/s

- En régime turbulent, loi de Newton :

$$V_{\text{lim}} = \sqrt{\frac{3g(\rho_s - \rho_l)d}{\rho_l}} \quad (\text{III.25})$$

III.2.4. Les décanteurs

D'une façon générale, le dimensionnement consistera à déterminer deux paramètres principaux :

- ✓ la surface du décanteur qui sera d'autant plus grande que les vitesses de décantation sont faibles.
- ✓ la profondeur du bassin qui déterminera le temps de séjour de la suspension dans le bassin. Ce temps devra être suffisant pour permettre la formation d'une boue au fond de l'appareil.

Il existe deux types de décanteur :

III.2.4.1. 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,**
- **A flux verticaux,**

a) **Décanteurs à 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.

Un décanteur horizontal est caractérisé par :

le débit traversier Q ,

sa surface S ,

sa hauteur entre le plan d'eau libre et le radier h .

Le ***temps de rétention*** dans l'ouvrage sera :

$$t = \frac{S \cdot h}{Q} \quad (\text{III.24})$$

Une particule en suspension arrivant en surface à l'entrée du décanteur décante avec une vitesse constante V_0 .

La décantation est terminée lorsque la particule s'est déposée sur le radier, la durée de chute est égale à h / V .

La possibilité pour les particules d'atteindre le fond de l'ouvrage est évidemment envisageable seulement si $t > h / V$, ou encore $V_0 > Q / S$.

Le terme Q / S est appelée *vitesse de Hazen*.

Théoriquement, l'efficacité d'un décanteur horizontal ne dépend que de sa *vitesse de Hazen* et non de sa hauteur ou de son temps de rétention. Généralement cette vitesse est comprise entre 0.5 et 1.5 m/h.

Cependant, les particules contenues dans l'eau flocculée entrant dans le décanteur présentent toute une gamme de dimensions. Pendant leur parcours dans l'ouvrage les plus petites peuvent s'agglutiner entre elle, c'est le phénomène *decoalescence*. Leur taille, et donc la vitesse de sédimentation augmente avec le temps. La trajectoire devient de ce fait curviligne et l'efficacité de la décantation dépend donc aussi du temps de rétention.

Pour optimiser le rendement du décanteur on le fait souvent précéder d'un compartiment de tranquillisation dans lequel une sensible diminution de la vitesse de transfert permet la décantation des particules les plus grosses et la coalescence du floc le plus fin.



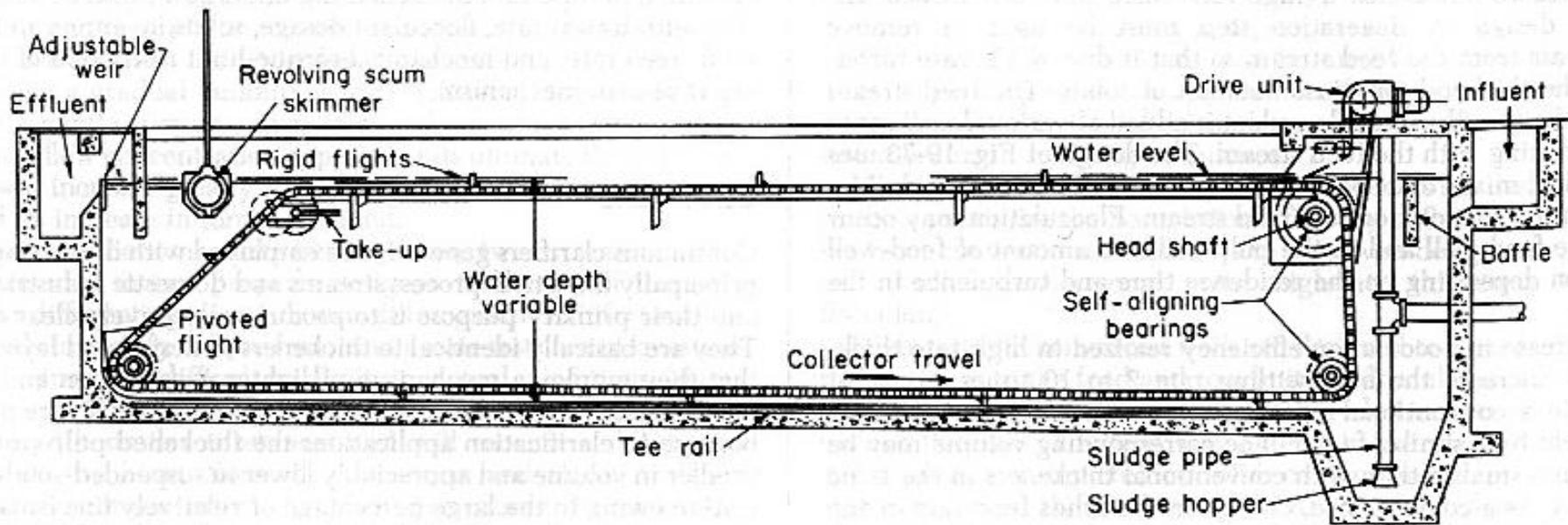
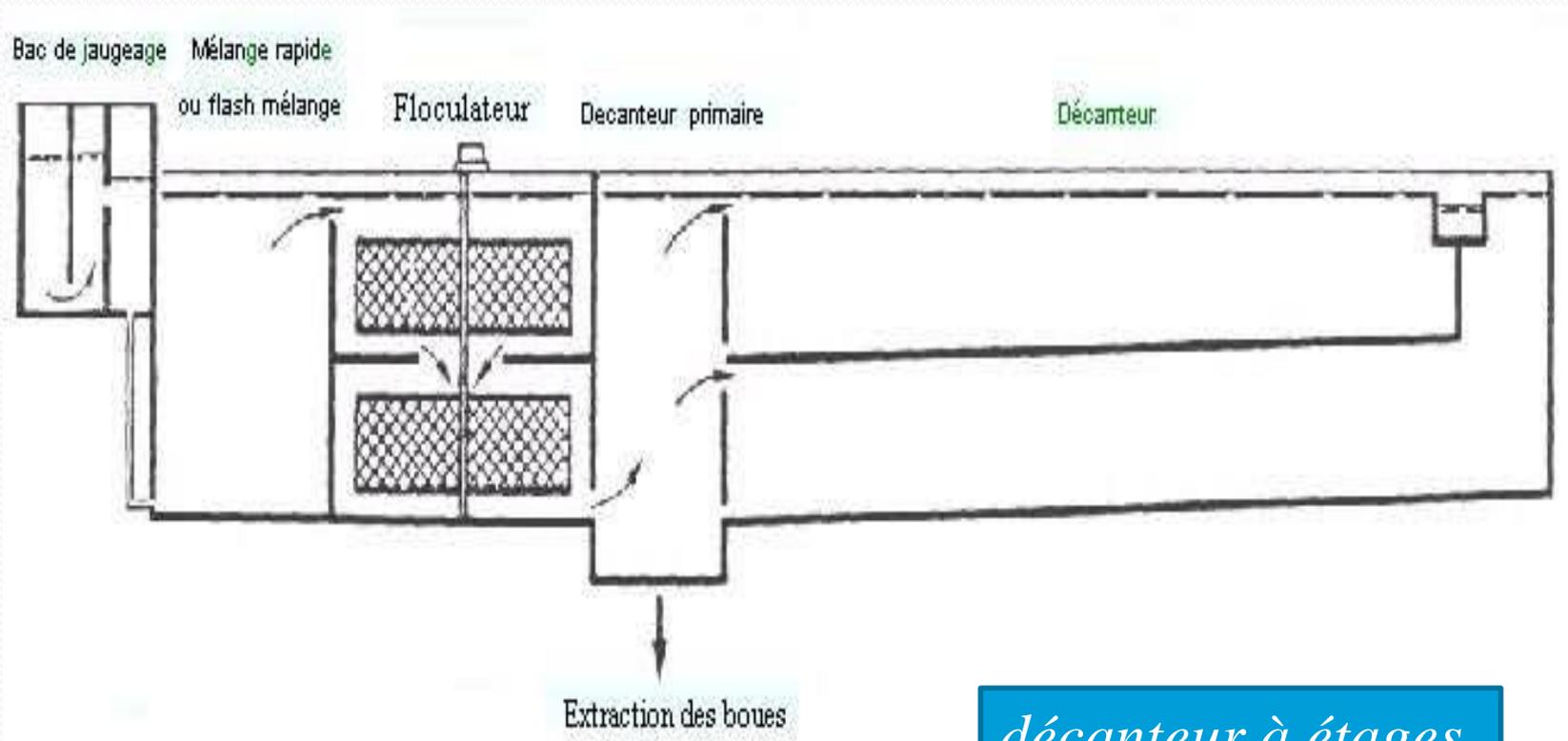


FIG. 19-74 Rectangular clarifier. (Rexnord Inc.)

Décanteur rectangulaire

Les décanteurs horizontaux à plusieurs étages (appelés quelquefois "couloirs") comportent un certain nombre d'aménagements indispensables à l'obtention du meilleur rendement possible.



décanteur à étages

Les décanteurs horizontaux à plusieurs étages visent au respect des conditions suivantes :

- répartir uniformément l'eau à l'entrée et la sortie du décanteur,
- éviter les zones mortes,
- supprimer les éléments perturbateurs.

Ces décanteurs peuvent comporter, de l'amont vers l'aval :

- une chambre de mélange rapide des réactifs,
- un flocculateur,
- une chambre de coalescence,
- les couloirs superposés de décantation dans lesquels l'eau pénètre par la partie supérieure.

L'eau décantée est reprise à la partie aval par des déversoirs longitudinaux. La purge des boues est assurée par des tuyaux perforés ou un racleur en fonctionnement continu.

Exercice 5: décanteur

On considère un décanteur de section rectangulaire, où $h=1$ m, $l=4$ m, et $L=10$ m. Une suspension contenant des particules de diamètre allant de 1 à 100 microns est alimentée à raison de $5 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ à la surface du bassin, à une de ses extrémités. On considère l'écoulement de liquide comme étant uniforme sur toute la section verticale du bassin. Le liquide clarifié sort par débordement à l'autre extrémité du bassin.

- Calculer la section de l'écoulement, le volume de la solution dans l'appareil, le temps de séjour moyen, la vitesse horizontale V_1 du liquide.
- Calculer la vitesse de sédimentation V_0 que doit avoir une particule pour qu'elle se retrouve au fond du bassin à l'aplomb du débordement (cette particule aura donc parcouru 10 m horizontalement et 1 m verticalement).
- Calculer le diamètre minimal des particules qui seront sédimentées dans ce bassin.

Données : $\rho_S=1700 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$, $\rho_L=1000 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ et $\mu=10^{-3} \text{ Pa} \cdot \text{s}$.

Exercice 5: corrigé

Le section du bassin est $S = h \times l = 4 \text{ m}^2$ et son volume $v = h \times l \times L = 40 \text{ m}^3$

La vitesse horizontale est $V_1 = Q_v/S = (5/3600)/4 = 0.000347 \text{ m.s}^{-1}$, soit 1.25 m.h^{-1} .

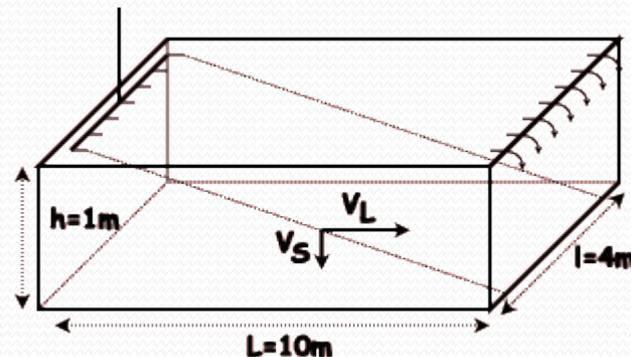
Le temps de séjour s'écrit $V/Q_v = 40/5 = 8 \text{ heures}$

Pour que la particule qui sédimente se retrouve au fond du bassin à l'aplomb du débordement, sa vitesse de sédimentation doit être telle que

$h/V_0 = L/V_1$, càd $V_0 = V_1 \times (h/L) = 1.25/10 = 0.125 \text{ m.h}^{-1}$, soit $0.0000347 \text{ m.s}^{-1}$.

Le diamètre de la particule qui sédimentera à cette vitesse est tel que:

$d = [(0.125 \times 18 \times 10^{-3} / 3600 / 9.81 / (1700 - 1000))]^{1/2} = 6.54 \times 10^{-6} \text{ m}$, soit 10 microns



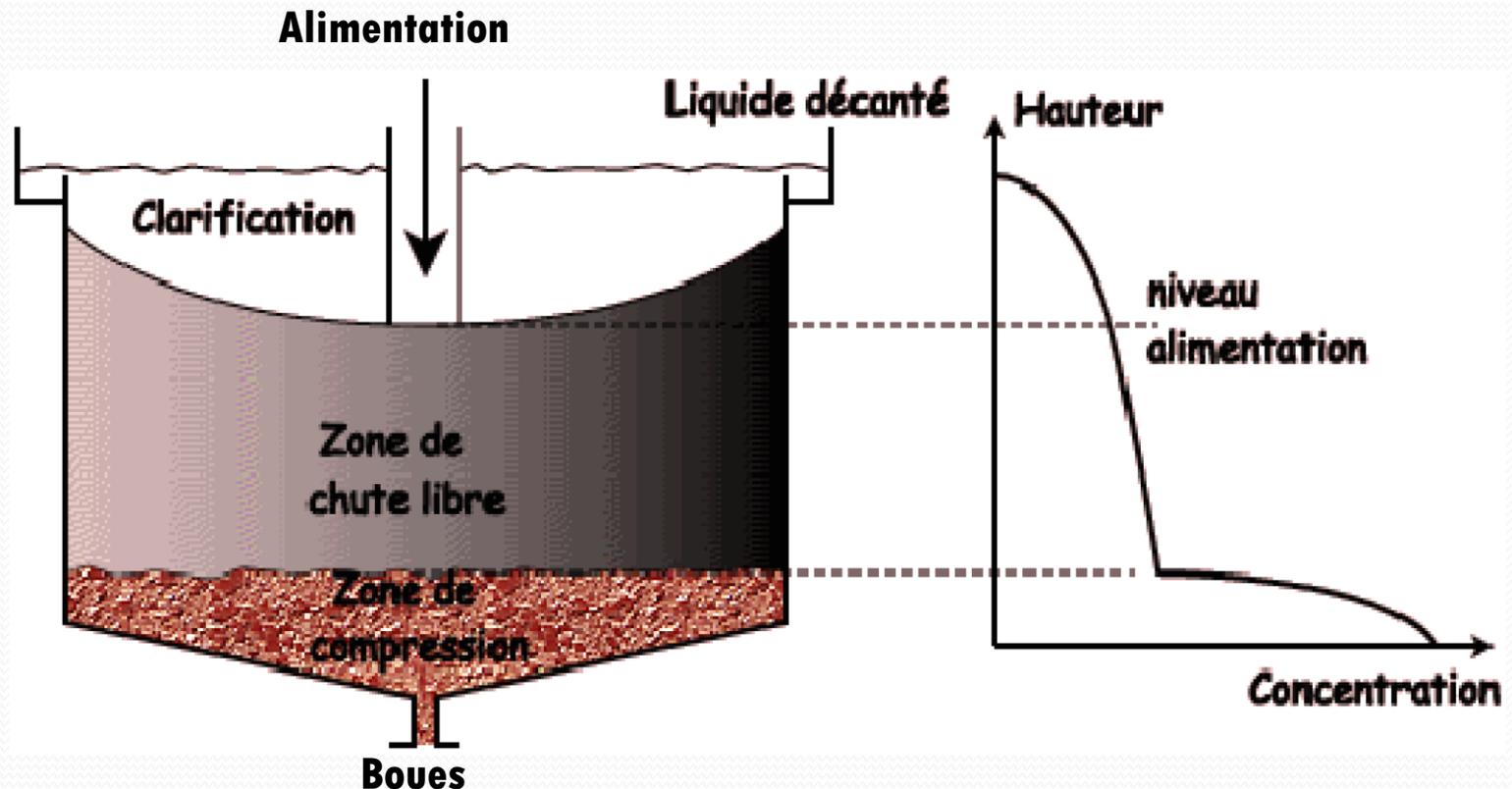
b) Les décanteurs à flux verticaux

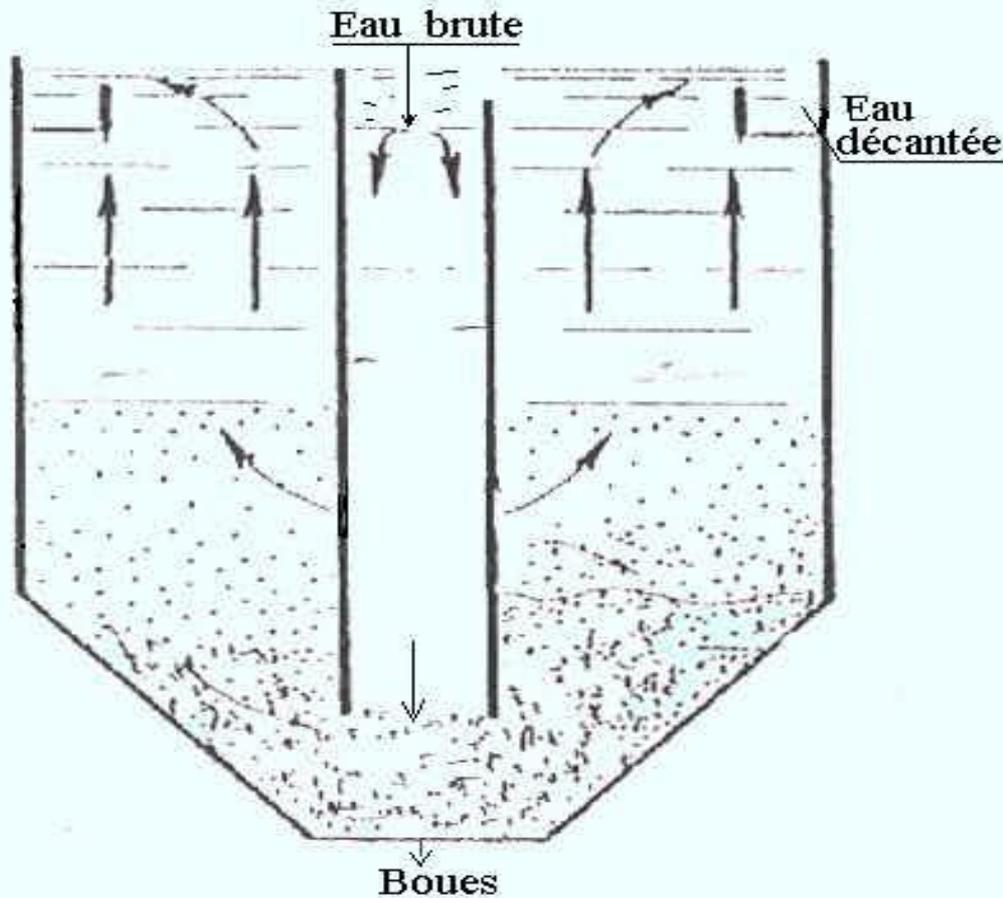
Dans ce type d'ouvrage l'eau suit un trajet vertical. La vitesse de chute des particules est contrariée par une force résultante de la composition de la force de frottement et de la vitesse ascensionnelle de l'eau.

Tous les décanteurs verticaux font appel au *voile de boue* du fait de cet équilibre des vitesses et ce, quelle que soit la technique utilisée avec ou sans flocculateur.

Le rôle du voile de boue est essentiel il joue également le rôle de filtre pour les flocons de faible dimensions. En son sein se produit le phénomène de coalescence.

Ce sont des ouvrages de forme conique ou pyramidale pour permettre un contrôle plus aisé du voile de boues.





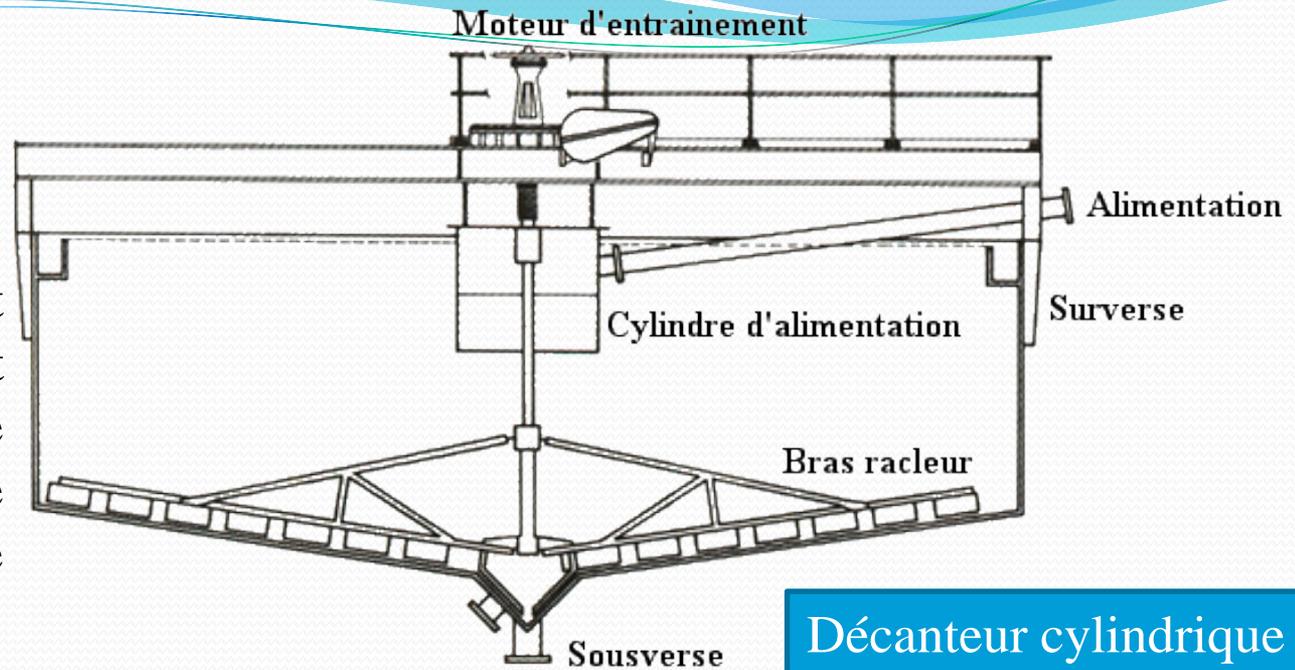
décanteur statique

Dans ce type d'ouvrage, la vitesse ascendante maximum vaut : $2 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}^2$ (m/h).



Décanteur statique à plusieurs compartiments

Ce type d'appareil est constitué essentiellement d'un pont support de mécanisme fixé sur le bord d'une cuve cylindrique.

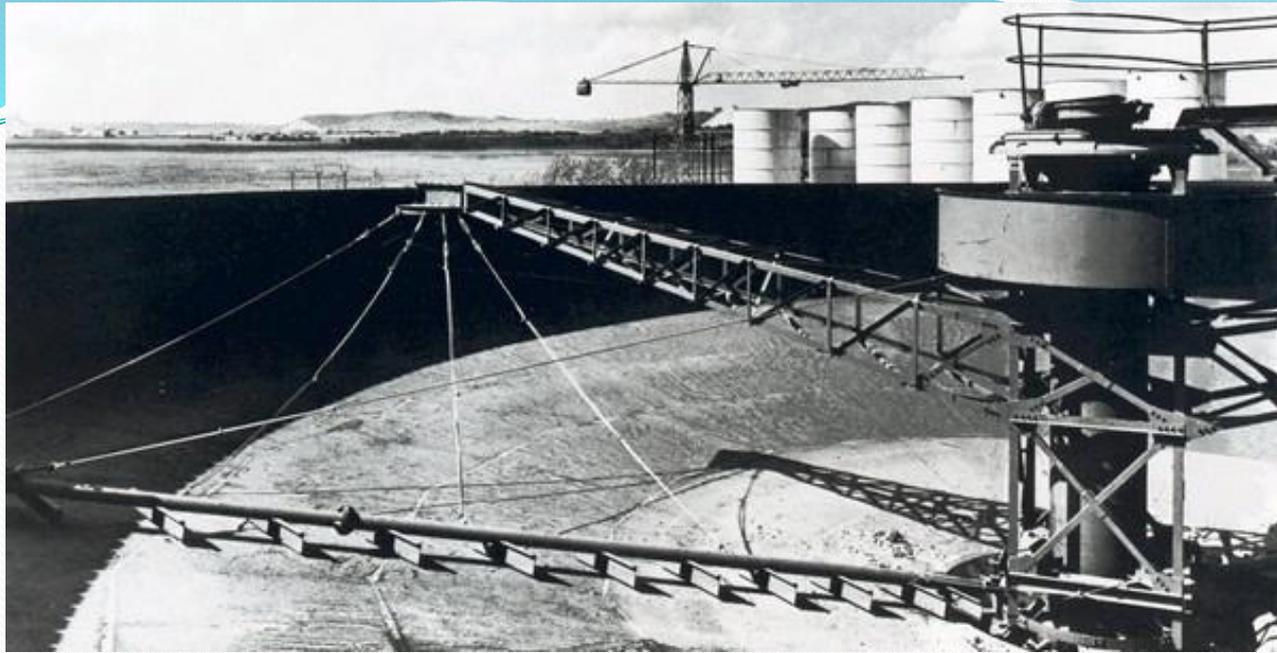


Décanteur cylindrique

Le groupe d'entraînement, monté au milieu de ce support, entraîne le mécanisme de raclage constitué d'un arbre vertical et de deux bras munis de raclettes. Différents modèles de mécanisme de raclage peuvent équiper ce type de décanteur selon le cas d'application. Ce type d'appareil existe dans la gamme de 2 à 45 m.

Les lames sont disposées de telle sorte que le fond de la cuve soit balayé une ou deux fois par tour. Pour les boues lourdes, deux bras courts de raclage supplémentaires balayent la zone centrale de la cuve quatre fois par tour.

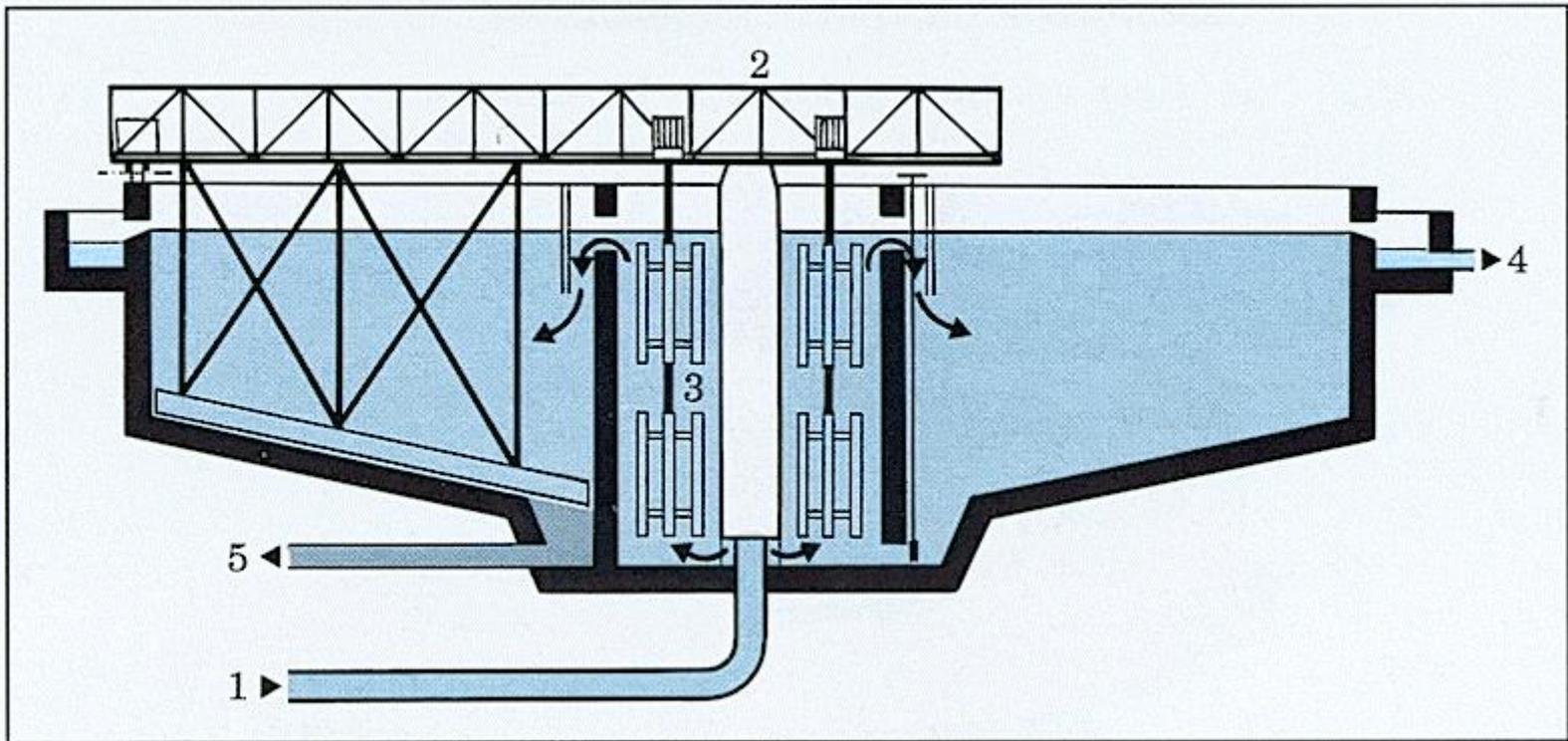




Systemes de
raclage



Décanteur flocculateur avec entraînement périphérique du pont.



1 - Arrivée d'eau brute
3 - Zone de flocculation.
5 - Évacuation des boues.

2 - Pont racleur.
4 - Sortie d'eau décantée.

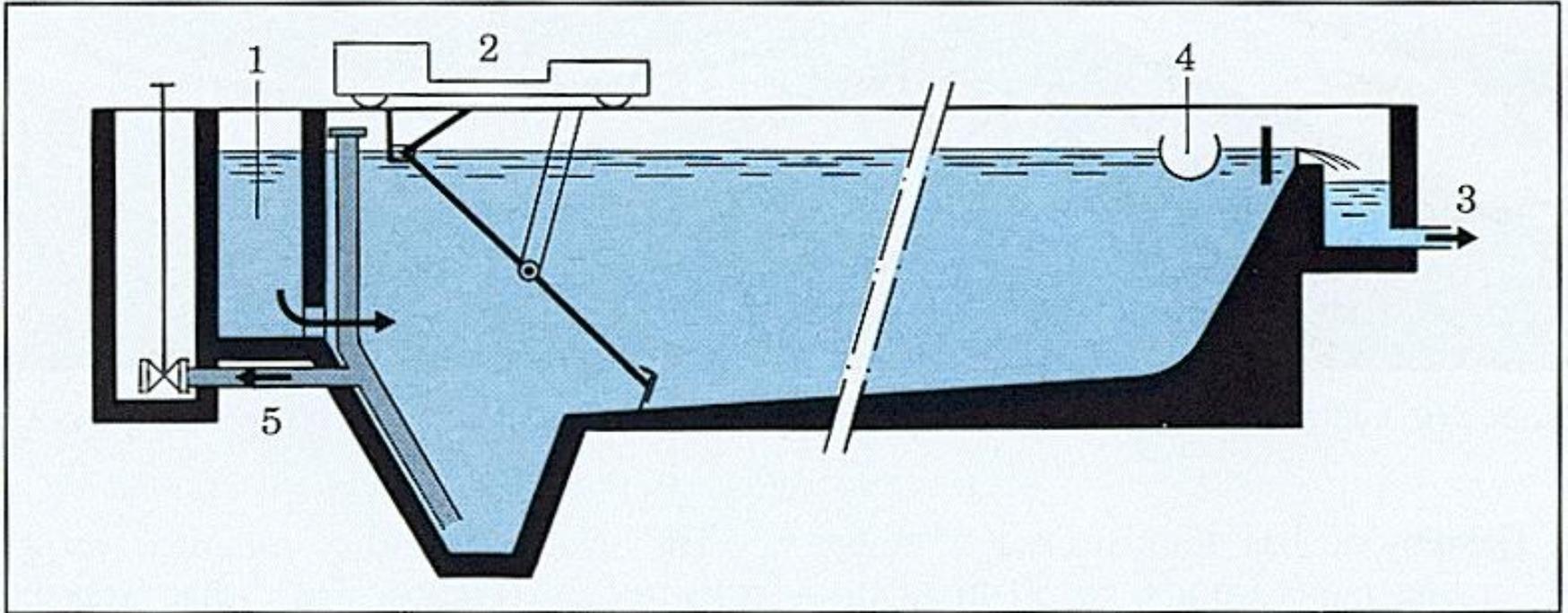


*Installation de CANNES (Alpes-Maritimes).
Débit maximum : 5500 m³ /h.
Décanteur-floculateur.*

Décanteurs
78 et 98 m de diamètre



Décanteur longitudinal à pont racleur.



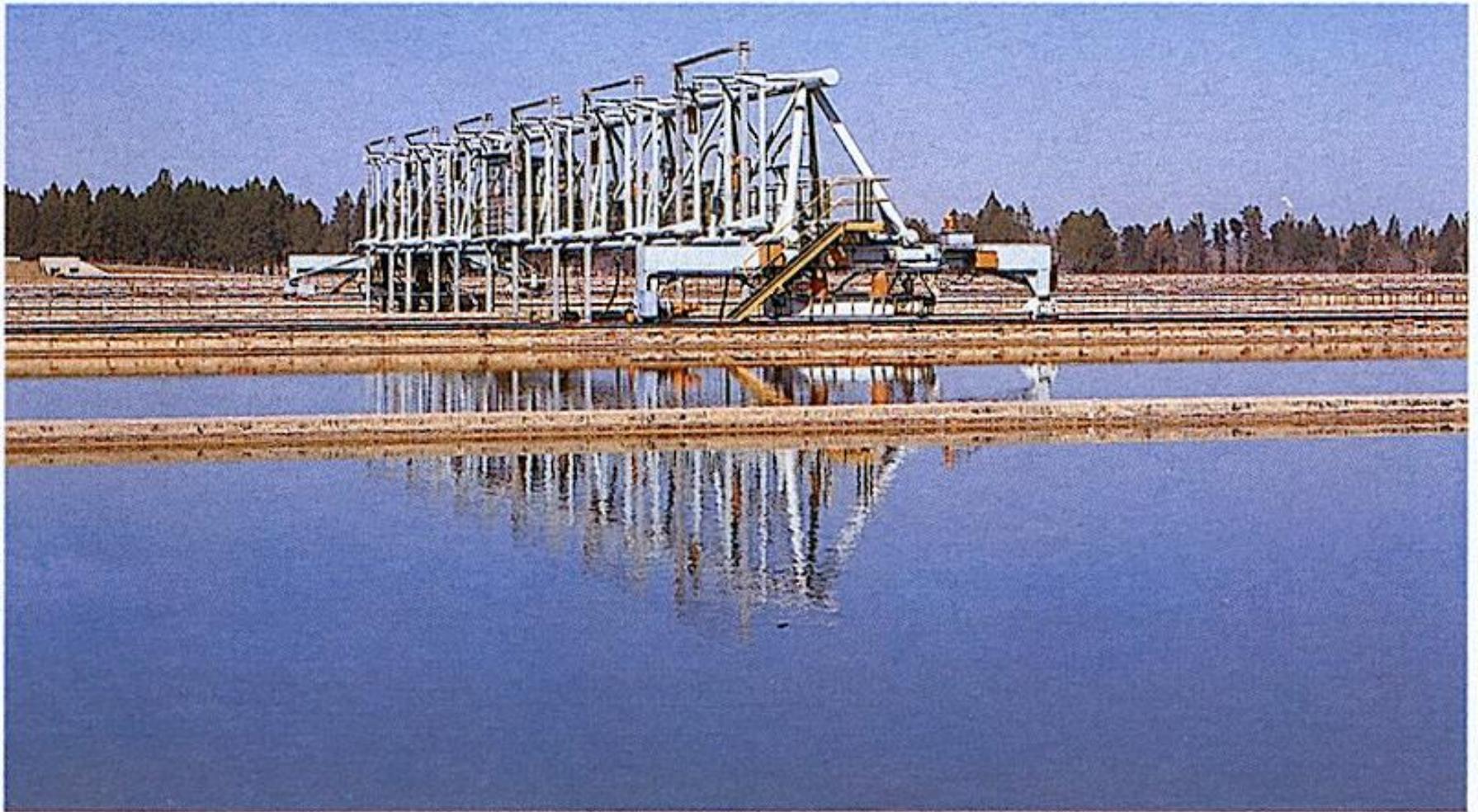
1 - Arrivée d'eau brute.

2 - Pont racleur.

3 - Sortie d'eau décantée.

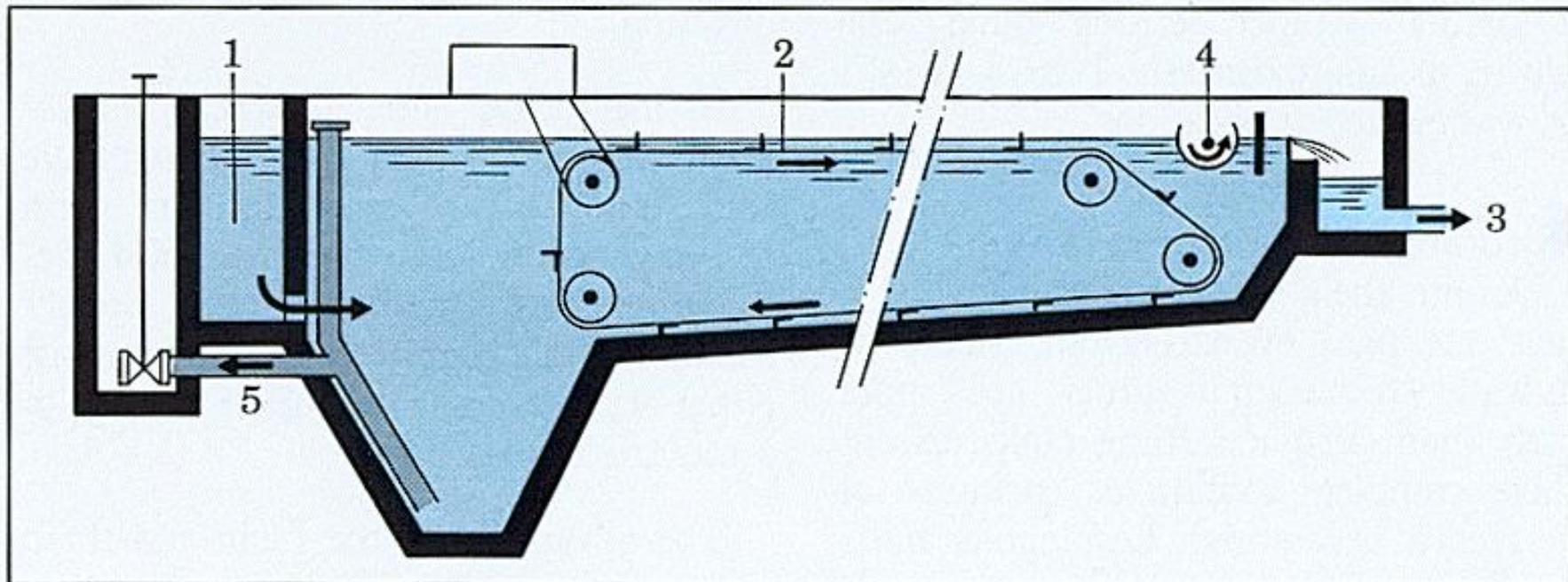
4 - Reprise des flottants.

5 - Évacuation des boues.



Décanteur à pont transbordeur (4 fois 50 m X 200 m).

Décanteur longitudinal à chaînes



1 - Arrivée d'eau brute.

2 - Chaîne racleuse.

3 - Sortie d'eau décantée.

4 - Reprise des flottants.

5 - Évacuation des boues.



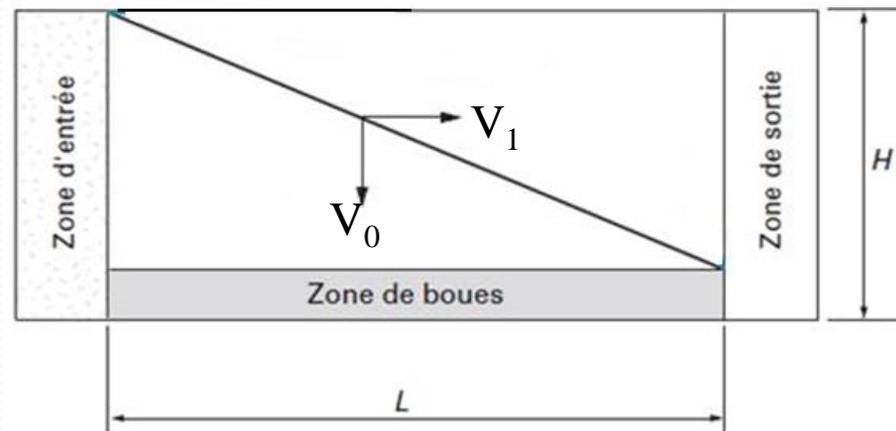
Installation de AÏRE pour le traitement des effluents de GENÈVE (Suisse).
Débit: $3,6 \text{ m}^3/\text{s}$. Un des 8 décanteur à chaînes de $70 \text{ m} \times 18,5 \text{ m}$.

III.2.4.2. Décanteur lamellaire

Dans un décanteur idéal, une particule est éliminée lorsqu'elle atteint la zone de boues. Dans le décanteur simple, cette particule doit parcourir une distance verticale H . On peut aisément montrer que, si on réduit de moitié la hauteur du bassin sans modifier le temps de rétention, on n'obtient aucune élimination supplémentaire de particules, puisque, pour conserver ce même temps de rétention, on doit doubler la longueur du bassin. Or, dans ce nouveau bassin, la section d'écoulement est réduite de moitié; par conséquent, la vitesse horizontale est doublée.

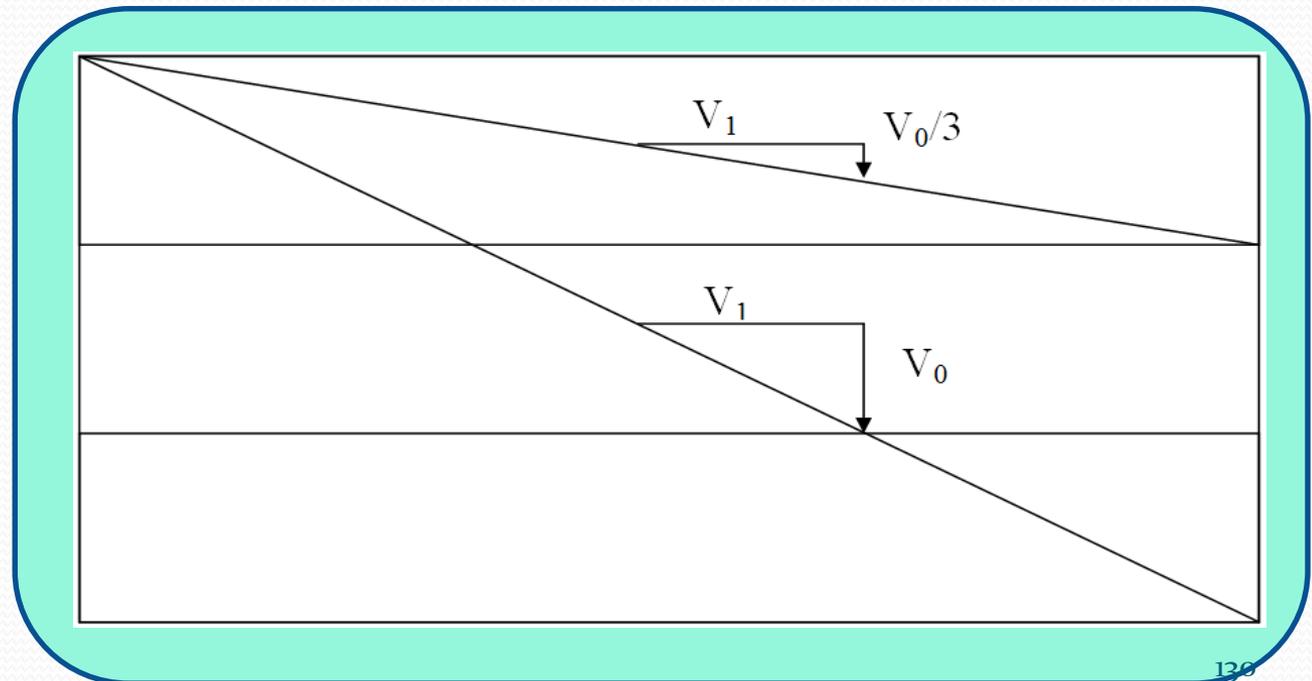
$$V_1 = \frac{Q}{S} = \frac{Q}{H.l}$$

$$2V_1 = \frac{Q}{\frac{H}{2}.l}$$



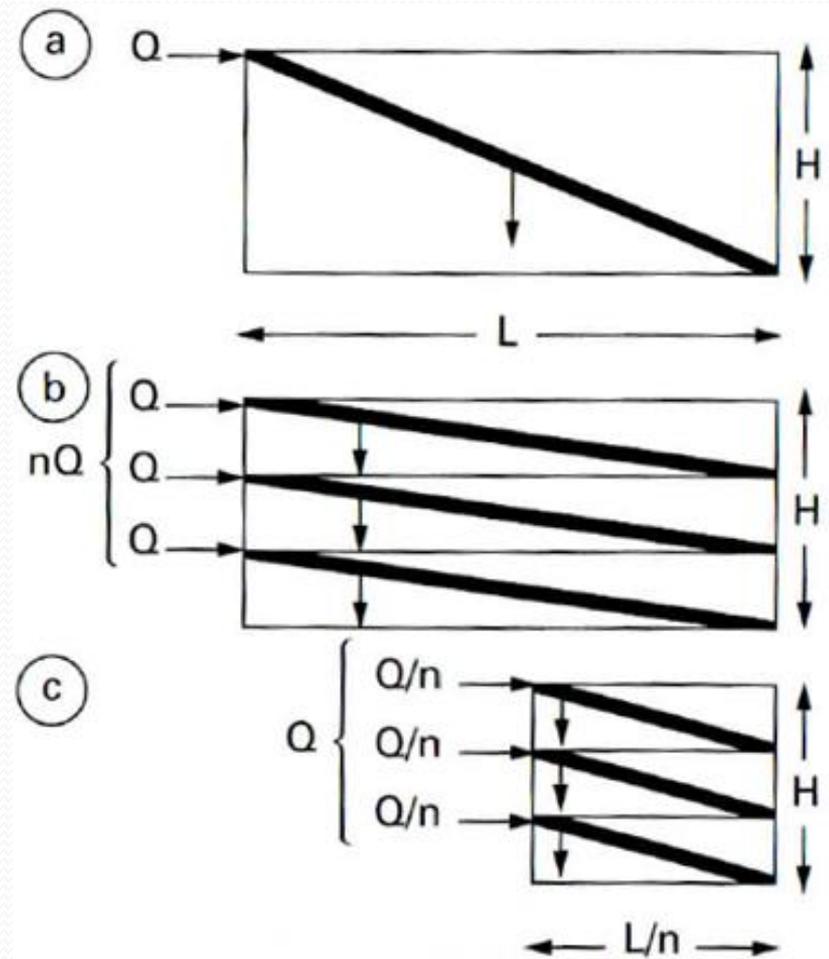
Par contre, on peut accroître considérablement la capacité d'un décanteur en augmentant la surface de décantation. Pour ce faire, il suffit d'ajouter des paliers dans le décanteur. En effet, alors que, dans un décanteur dépourvu de palier, les particules dont la vitesse de décantation est supérieure ou égale à V_0 sont complètement éliminées, dans un décanteur doté de 3 paliers, les particules dont la vitesse de décantation est supérieure ou égale à $V_0/3$ sont complètement éliminées.

Bassin de décantation idéal avec 3 paliers

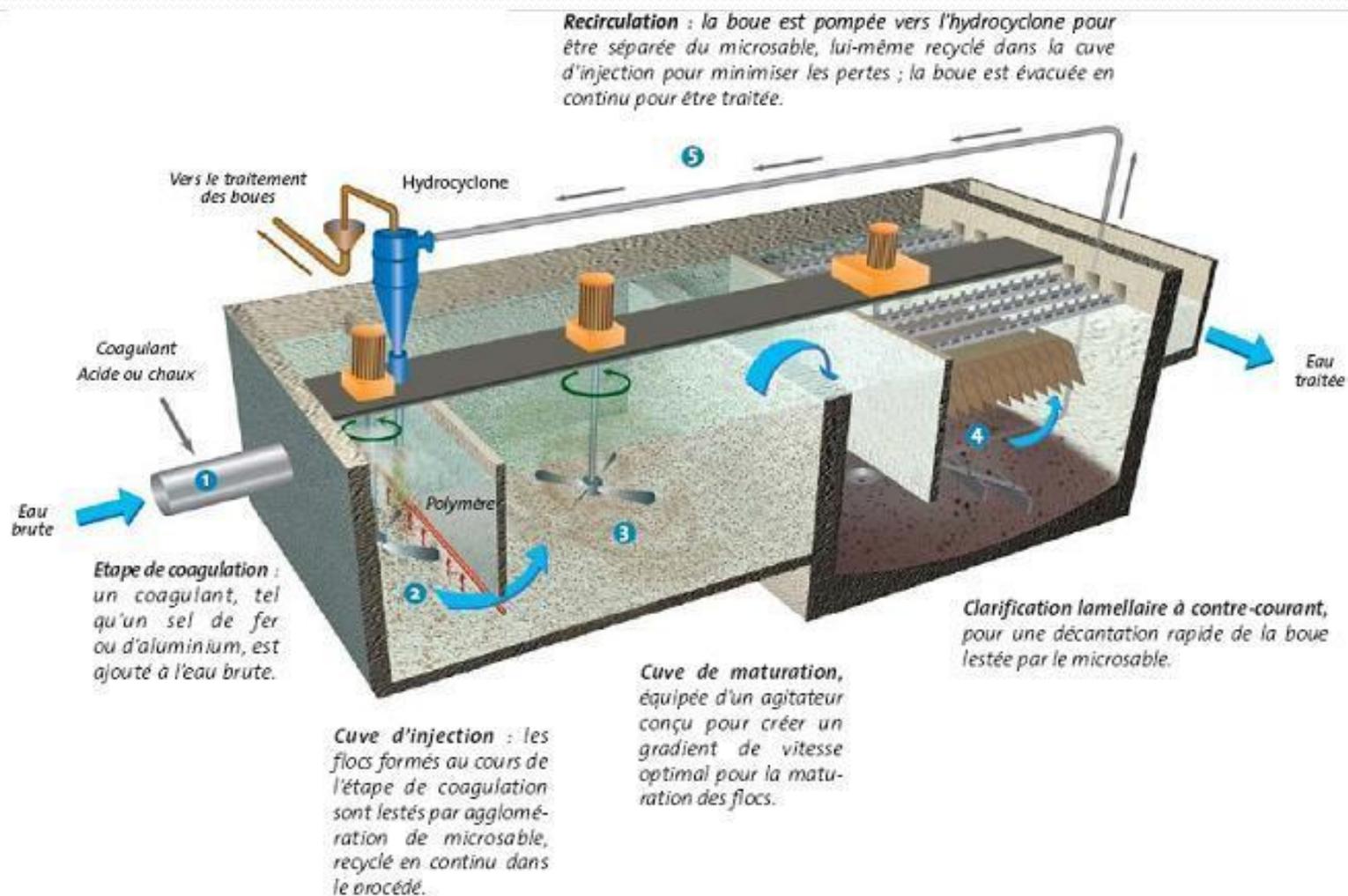


Il est donc possible d'augmenter de manière très importante la surface disponible à la décantation en superposant sur la hauteur de l'ouvrage un grand nombre de cellules de séparation eau/boue.

La figure ci-après présente les gains théoriques possibles sur un ouvrage, en débit ou en dimension, à efficacité de traitement équivalente en superposant n étages de hauteur H/n .

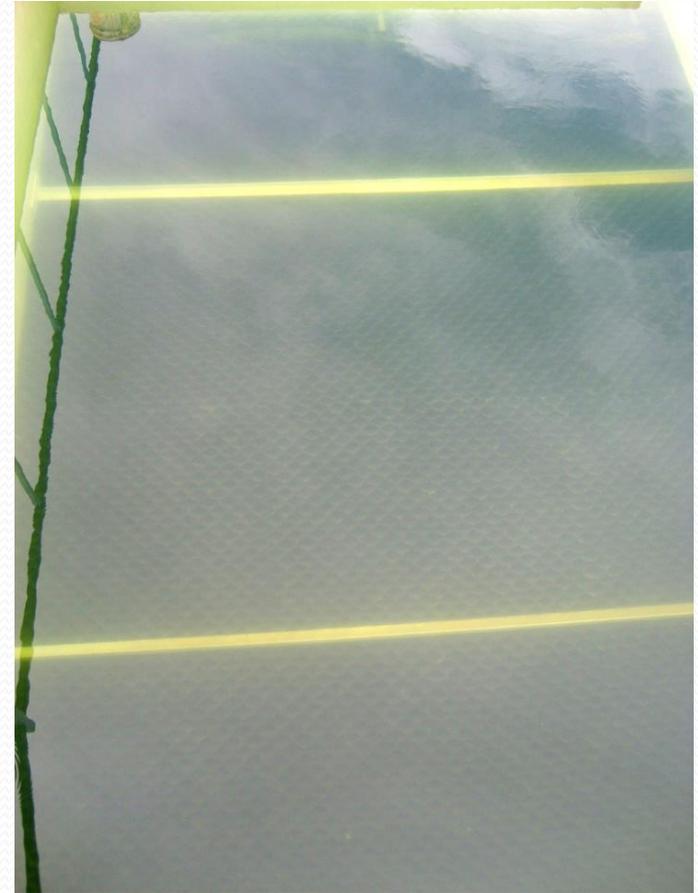


Les décanteurs dits lamellaires comportent souvent une série de lamelles qui permet de multiplier la surface de décantation utile tout en réduisant la surface au sol par rapport à un bassin de décantation classique à flux horizontal.



En théorie, pour augmenter la capacité d'un décanteur, on peut réduire à l'infini la hauteur qui sépare les paliers. En pratique, toutefois, on doit laisser entre chaque palier une distance suffisante pour qu'une certaine quantité de boues s'accumule. En général, la hauteur qui sépare chaque palier est de l'ordre de 5 cm.

De nombreux modèles de faisceaux lamellaires (ou lamelles) sont disponibles : plaques planes, plaques ondulées, tubes ronds, tubes carrés, chevrons, modules hexagonaux.



Décanteur à tubes hexagonaux

III.2.4.2.1- Décanteurs à tubes

On trouve sur le marché deux types de décanteurs à tubes : ceux dont les tubes sont légèrement inclinés par rapport à l'horizontale (7°) et ceux dont les tubes sont fortement inclinés par rapport à l'horizontale (60°). Ces deux types de décanteurs sont habituellement constitués d'un empilement de tubes de section carrée de 5 cm de côté.



Décanteur à tubes fortement inclinés

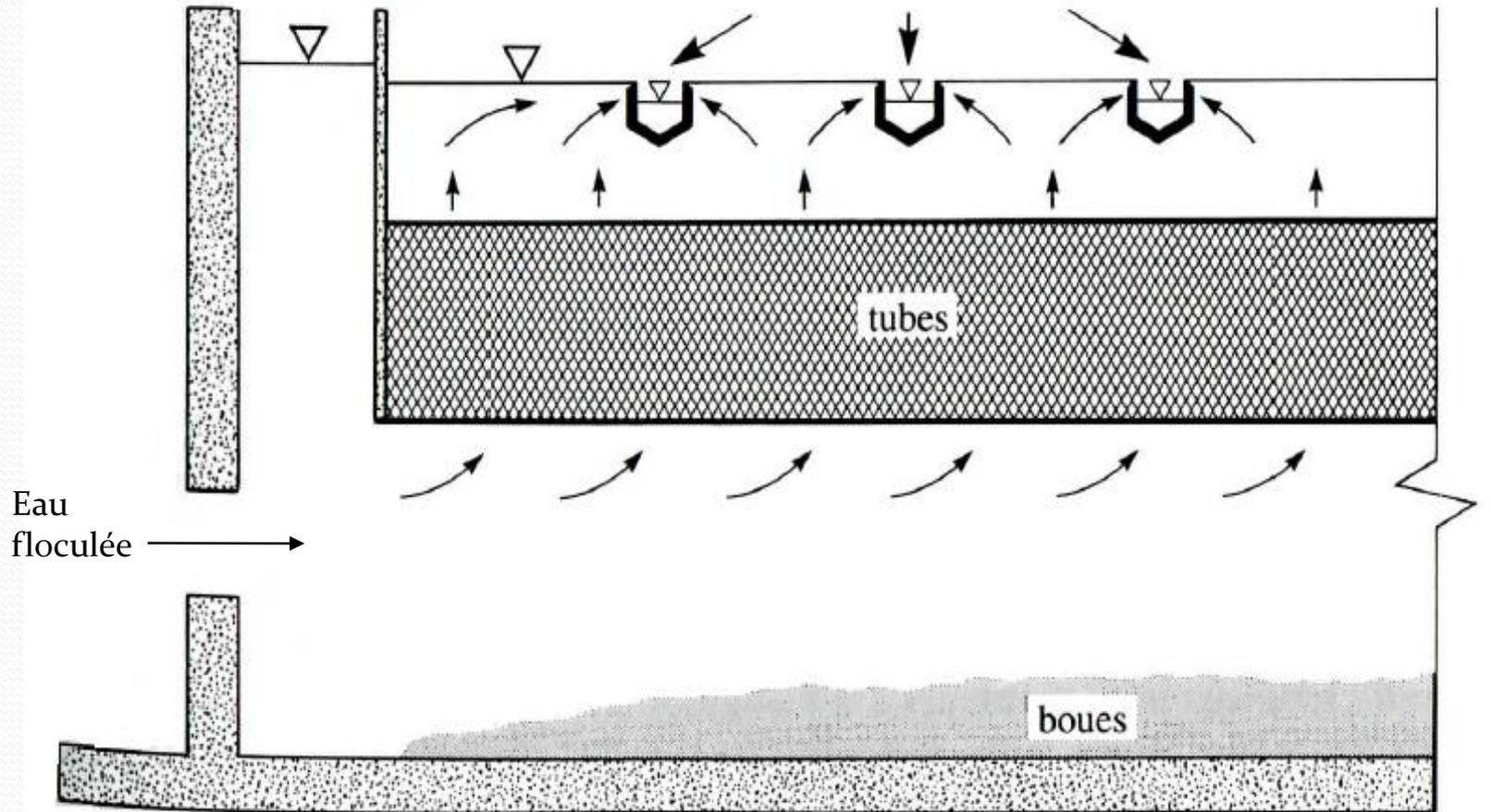
Les tubes inclinés à 7° ont une longueur de 0.6, 1.2 ,1.8 ou 2.4 m. Leur fonctionnement est associé à celui des filtres. Ainsi, lorsque l'eau flocculée pénètre dans le décanteur, les particules de floc s'y déposent et s'y accumulent, alors que le liquide surnageant est acheminé vers les filtres. L'accumulation des solides dans les tubes réduit la section d'écoulement, ce qui augmente la vitesse de l'eau, si bien que, lorsque cette vitesse est suffisamment élevée, les solides sont remis en suspension dans l'eau et entraînés vers les filtres. Pour l'élimination de ces solides se fait par acheminement d'une eau claire vers les décanteurs, ce qui permet d'entraîner vers l'égout la totalité des solides accumulés, ce nettoyage étant facilité par l'inclinaison de 7° . On utilise les décanteurs à tubes inclinés à 7° dans les stations dont la capacité de production est inférieure à $4000 \text{ m}^3/\text{j}$. pour des productions plus importantes, il est recommandé d'installer les tubes inclinés à 60° .

De plus, la forte inclinaison des tubes à 60° , permet d'obtenir un autonettoyage continu. Ces tubes ont une longueur de 0.6, 1.2, 1.8 ou 2.4 m. Comme le montre la figure ci-dessous l'eau s'écoule de bas en haut, et les solides se déposent sur la paroi inférieure pour glisser ensuite jusqu'au fond du bassin.

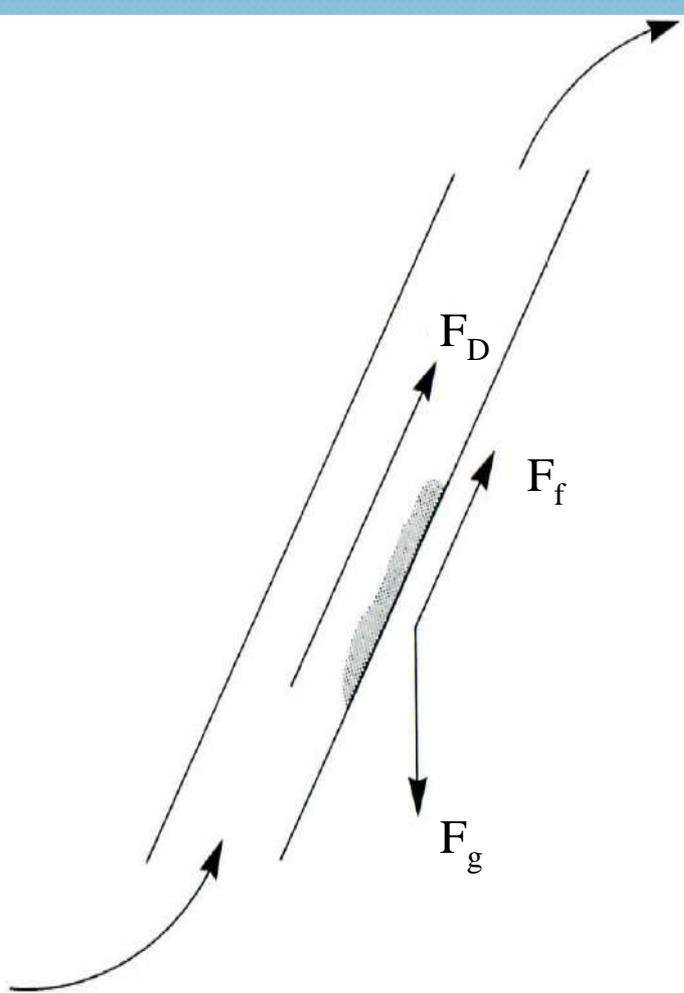
L'eau décantée est acheminée vers des goulottes situées près de la surface et déversée sur les filtres.



Goulottes
de collecte



Décanteur à tubes inclinés à 60°



À l'intérieur d'un tube, différentes forces agissent sur les particules accumulées. La force résultante, F_r , est donnée par :

$$F_r = F_g (\cos 30^\circ) - (F_D + F_f) \quad (\text{III.26})$$

Avec :

F_g : force due à la pesanteur,

F_D : force de traînée,

F_f : force de friction.

Lorsque F_r est positif, c'est-à-dire lorsque $F_g (\cos 30^\circ) > F_D + F_f$, les particules glissent vers le fond du bassin. Par contre, lorsque F_r est négatif, les particules sont entraînées vers la sortie et les filtres. Par conséquent, en augmentant la charge superficielle sur les décanteurs, on augmente la force de traînée et on risque ainsi d'augmenter la turbidité dans l'effluent des décanteurs.

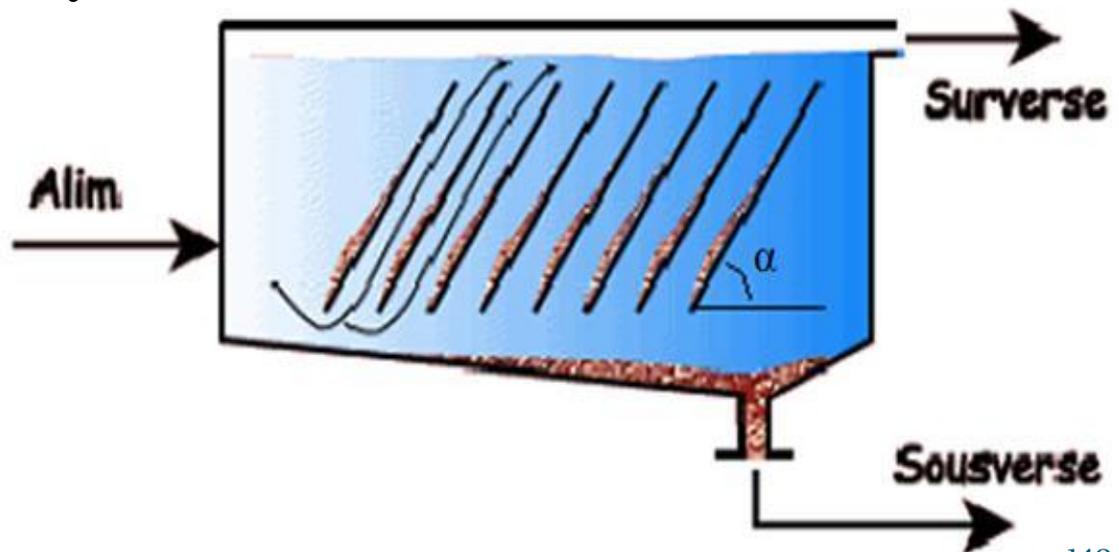
On peut toutefois augmenter la capacité des décanteurs en inversant le sens d'écoulement de l'eau : la force de traînée agit alors dans le même sens que la force due à la pesanteur. C'est ce qui se passe dans les décanteurs à lamelles.

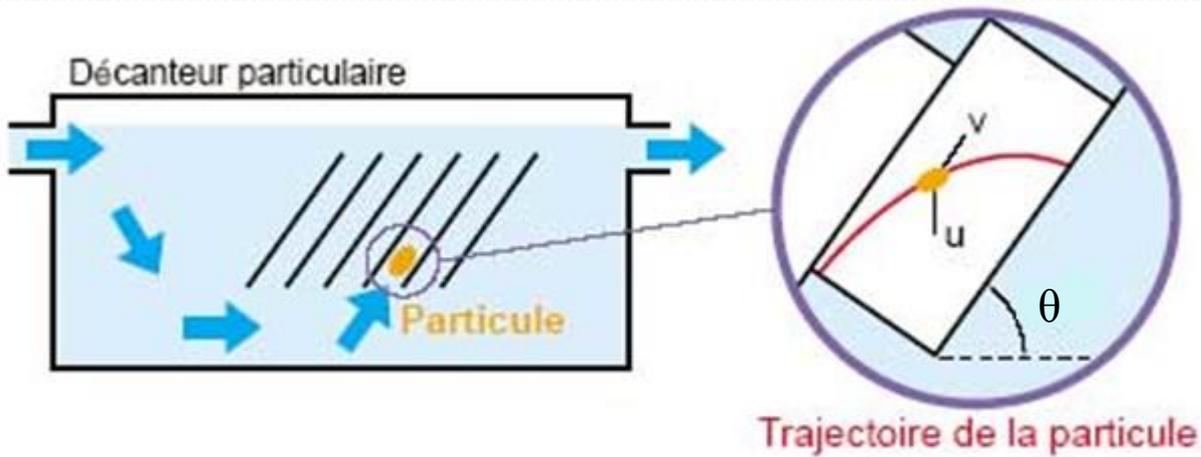


III.2.4.2.1- Décanteurs à lamelles

a) Principe

L'amélioration de la décantation passe par une évacuation du dépôt de boues plus rapide. Pour cela il suffit que la surface sur laquelle le floc se dépose soit inclinée pour que ce dernier puisse glisser vers le bas au fur et à mesure. D'où la réalisation de *modules lamellaires* insérés dans un décanteur, dont la surface S ($L \times l$) de chaque lamelle devient une surface de décantation, l'angle d'inclinaison étant un des éléments importants de ce système.

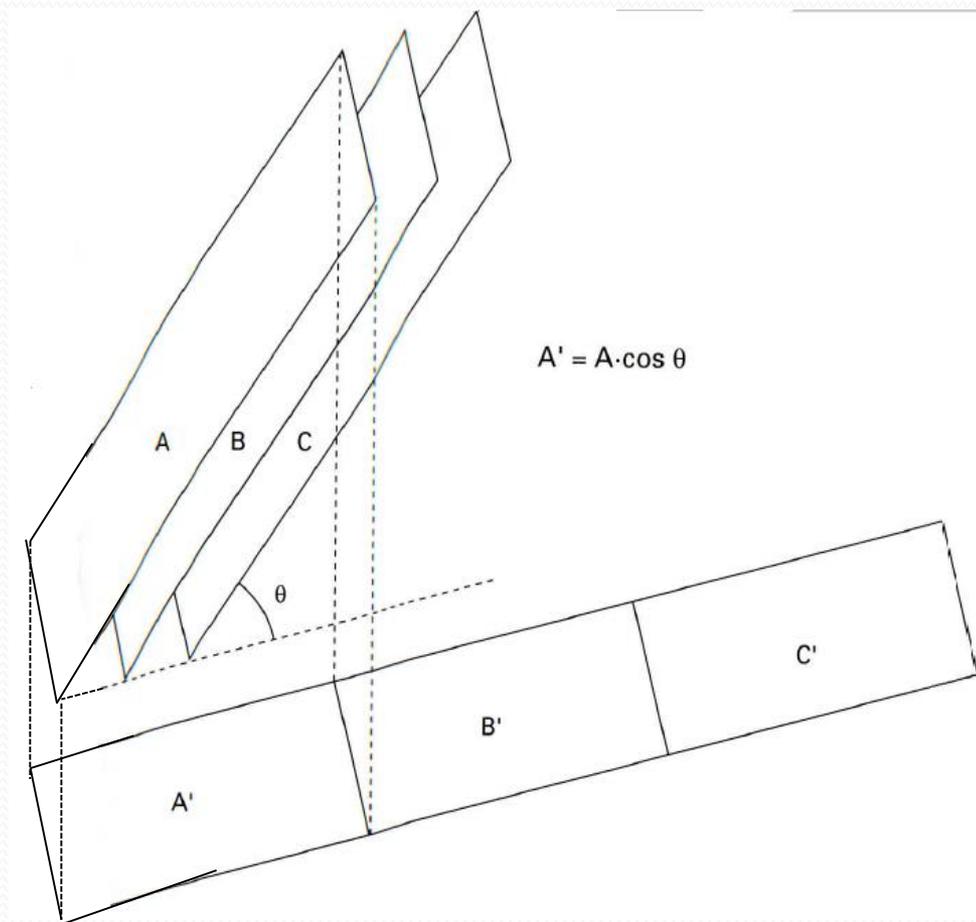




b) Mise en œuvre

Afin d'assurer l'évacuation gravitaire de la boue décantée, les lamelles sont inclinées d'un angle θ par rapport à l'horizontale.

La figure ci-après illustre ce principe pour un réseau de plaques parallèles et montre, dans ce cas, la surface de décantation équivalente au sol.



Les équations caractéristiques du décanteur lamellaires sont les suivantes:

$$STP = \frac{Q}{V_H} \quad (\text{III.27})$$

$$STP = n \cdot l_p \cdot L_p \cos \theta \quad (\text{III.28})$$

Avec :

STP : surface totale projetée (qui est la projection au sol de la surface de décantation) .

l_p : largeur des lamelles.

L_p : longueur des lamelles.

n : nombre total de lamelle sur l'étape de décantation lamellaire.

θ : inclinaison des plaques

La vitesse de Hazen se calcule alors sur la surface projetée de l'ensemble des éléments lamellaires :

$$V_H = \frac{Q}{n \cdot S_L \cdot \cos \theta} \quad (\text{III.28})$$

avec :

$$S_L = l_p \cdot L_p$$

S_L : Surface élémentaire de chaque lamelle.

Pour qu'un décanteur lamellaire puisse être efficace, les particules à décanter doivent changer de morphologie au sein des lamelles en s'agglomérant, Pour qu'une fois sorties des lamelles, elles ne soient pas réentraînées par le flux liquide et puissent s'écouler au fond du décanteur.

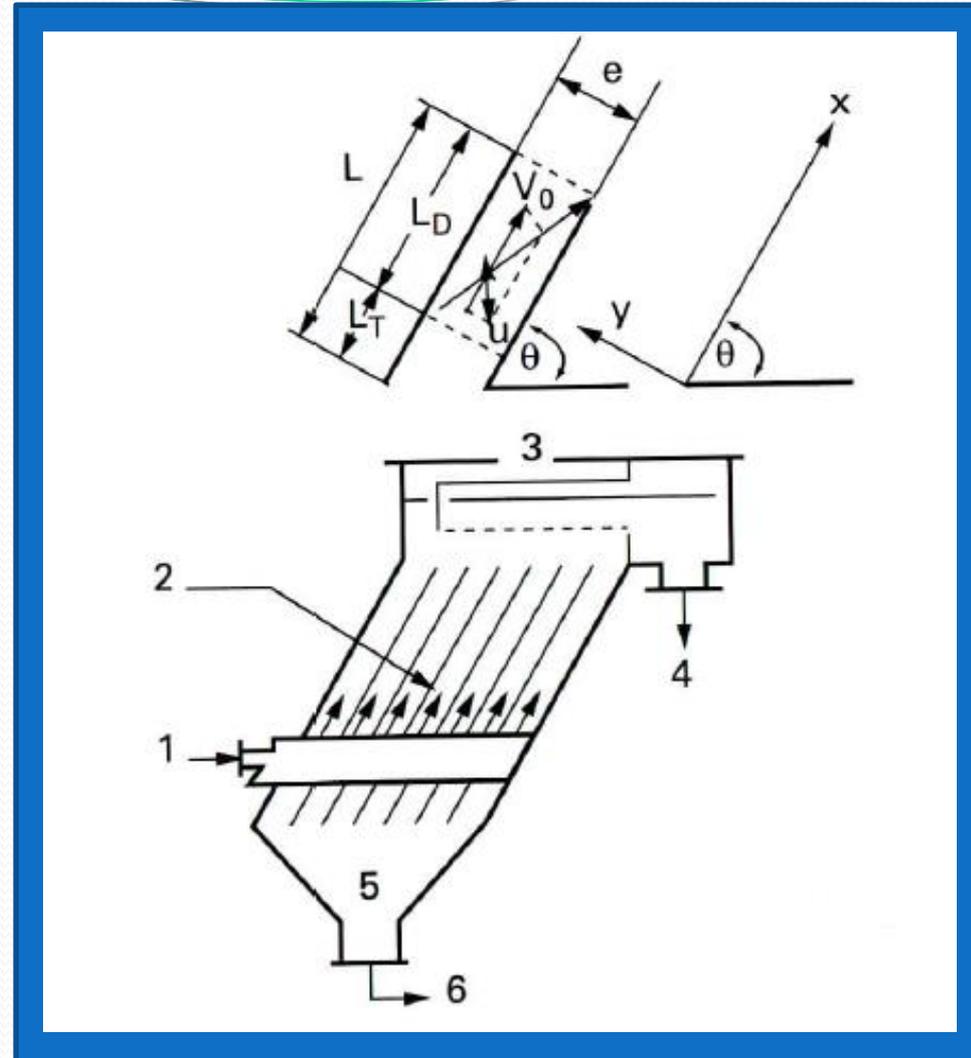
Trois types de décantation lamellaire sont possibles :

- ✓ A contre courant.
- ✓ A courants croisés.
- ✓ A cocourant.

i. À contre-courant

L'eau et la boue circulent en sens inverse (l'eau vers le haut à la vitesse V_0 et les boues vers le bas). À son entrée dans le système, le trajet d'une particule est la résultante de V_0 et de sa vitesse de chute u .

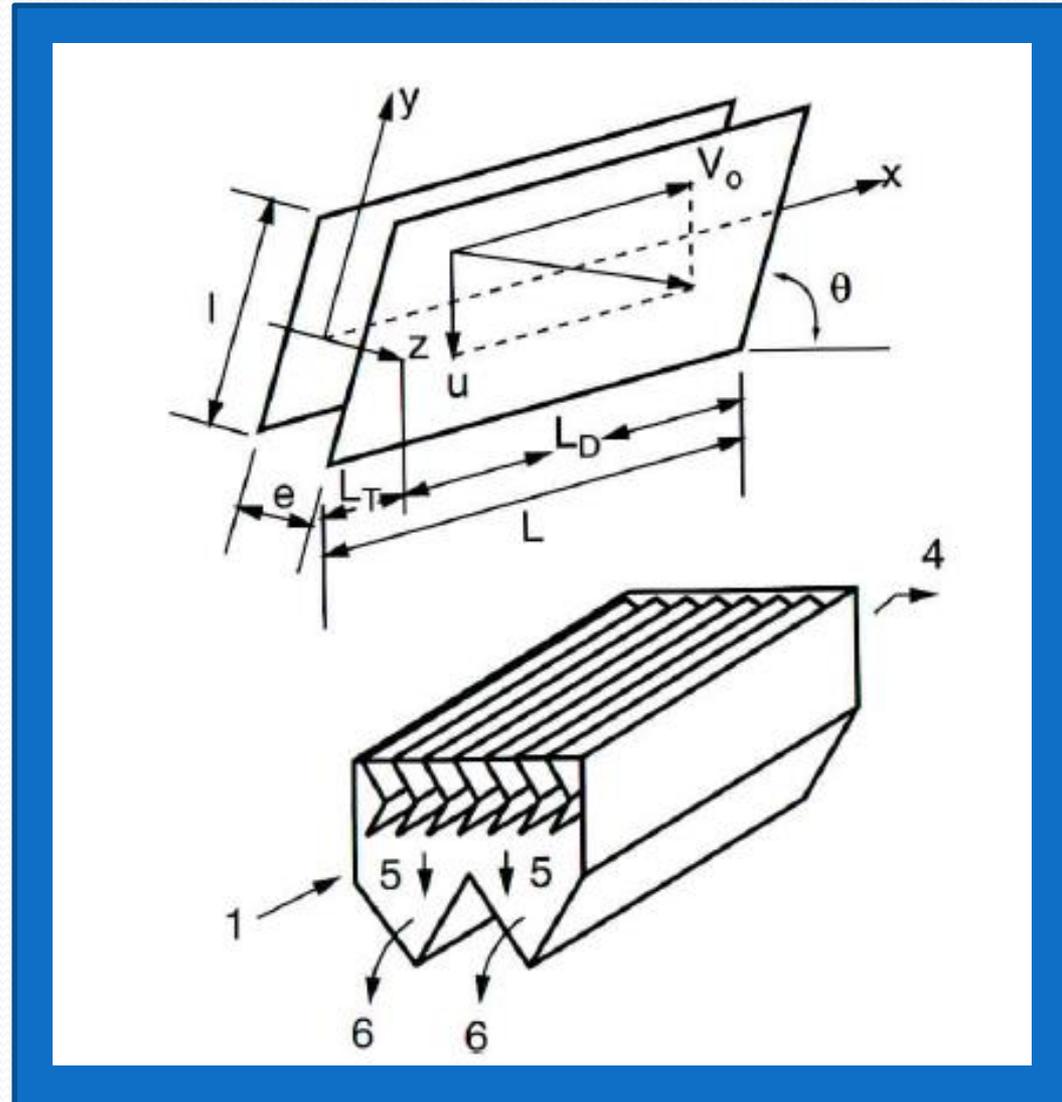
1. Entrée de l'eau flocculée.
2. Zone de distribution.
3. Récupération de l'eau décantée.
4. Sortie de l'eau décantée.
5. Fosse à boue.
6. Evacuation des boues.



ii. À courants croisés

L'eau et la boue circulent perpendiculairement l'un par rapport à l'autre (l'eau horizontalement et la boue du haut vers le bas).

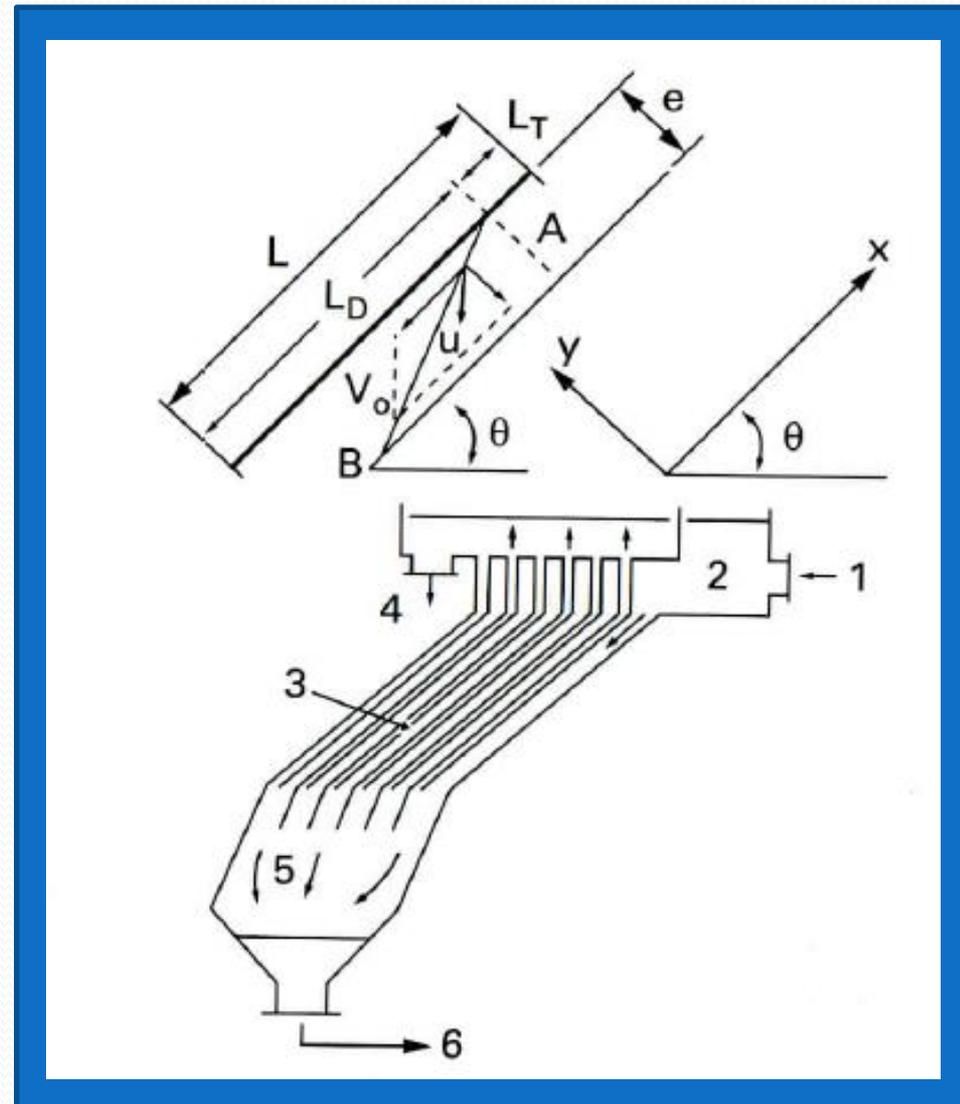
1. Entrée de l'eau floclée.
- (2.)
- (3.)
4. Sortie de l'eau décantée.
5. Fosse à boue.
6. Evacuation des boues.



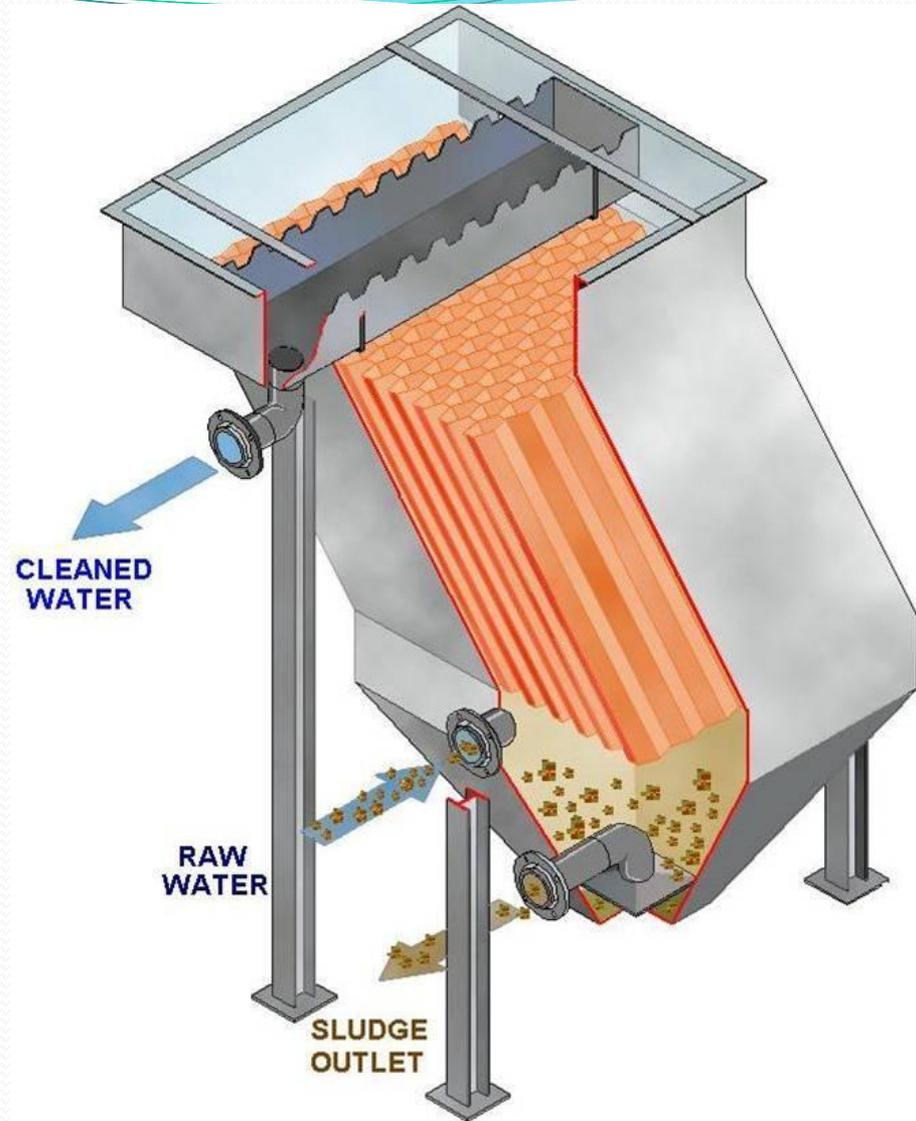
iii. À cocourant

L'eau et la boue circulent dans le même sens de haut vers le bas.

1. Entrée de l'eau floclée.
2. Zone de distribution.
3. Récupération de l'eau décantée.
4. Sortie de l'eau décantée.
5. Fosse à boue.
6. Évacuation des boues.



La décantation à contre-courant permet l'organisation hydraulique la plus simple et la plus fiable. En revanche, la décantation à cocourant se heurte à de grandes difficultés pour la reprise de l'eau traitée. Pour la décantation à courants croisés, l'équirépartition des flux hydrauliques est délicate.



c) Choix du type de faisceaux lamellaires

L'efficacité d'un système lamellaire est liée à différents paramètres :

i. Hydraulique

La forme des lamelles doit favoriser le passage du régime d'écoulement de turbulent (à l'entrée des lamelles, zone L_T) à laminaire (au sein des lamelles, zone L_D), et il faut donc éviter les systèmes de supportage de lamelles mettant en œuvre des entretoises qui perturbent l'écoulement et la décantation.

ii. Répartition de l'eau dans la cellule de décantation

Chaque cellule doit recevoir le même débit afin d'éviter les survitesses à l'origine de la dégradation de la décantation.

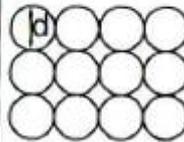
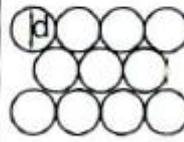
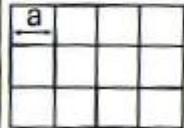
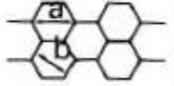
iii. Écartement des lamelles

Il doit être suffisant pour éviter le colmatage des lamelles par la boue décantée et pour permettre éventuellement leur nettoyage.

iv. Surface de décantation équivalente

Plus elle est importante, meilleure sera la décantation en tenant compte, toutefois, de la remarque précédente.

Dans la figure ci-dessous, l'efficacité des différents types de faisceaux lamellaires, présentés précédemment, est comparée en utilisant comme paramètre la surface de décantation équivalente.

| Types de faisceau lamellaire | Sans lamelles | Plaques planes | Plaques planes | Tubes circulaires alignés | Tubes circulaires en quinconce | Tubes carrés | Modules hexagonaux |
|--------------------------------------|---------------|---|--|---|---|---|---|
| Diamètre hydraulique équivalent (mm) | - | 80 mm (40 mm entre plaques) | 160 mm (80 mm entre plaques) | 80 mm | 80 mm | 80 mm | 80 mm |
| Forme | - |  |  |  |  |  |  |
| Surface de décantation équivalente | 1 | 16,2 | 8,1 | 6,4 | 7,4 | 8,1 | 10,8 |

Hypothèses utilisées pour la comparaison des six systèmes : diamètre hydraulique (80 mm), inclinaison (60°) et longueur de lamelles (1,5 m).

Le choix du type de faisceaux lamellaires ne doit pas se faire uniquement en considérant la plus grande surface de décantation équivalente possible ; les faisceaux à plaques parallèles peuvent développer des surfaces importantes à condition de réduire l'espace entre plaques et au risque de rendre l'installation non fiable (problème de bouchage) et inexploitable (impossible de procéder au nettoyage de l'espace entre les plaques).

Par ailleurs, la mise en place des plaques est délicate ; elle nécessite la pose de supports et d'entretoises qui, souvent, perturbent l'hydraulique et la décantation, et favorisent l'accrochage des boues.

L'efficacité hydraulique des modules hexagonaux est supérieure à celle des autres faisceaux tubulaires et des plaques parallèles. Ces modules minimisent considérablement les risques de colmatage tout en offrant une surface de décantation équivalente très importante.

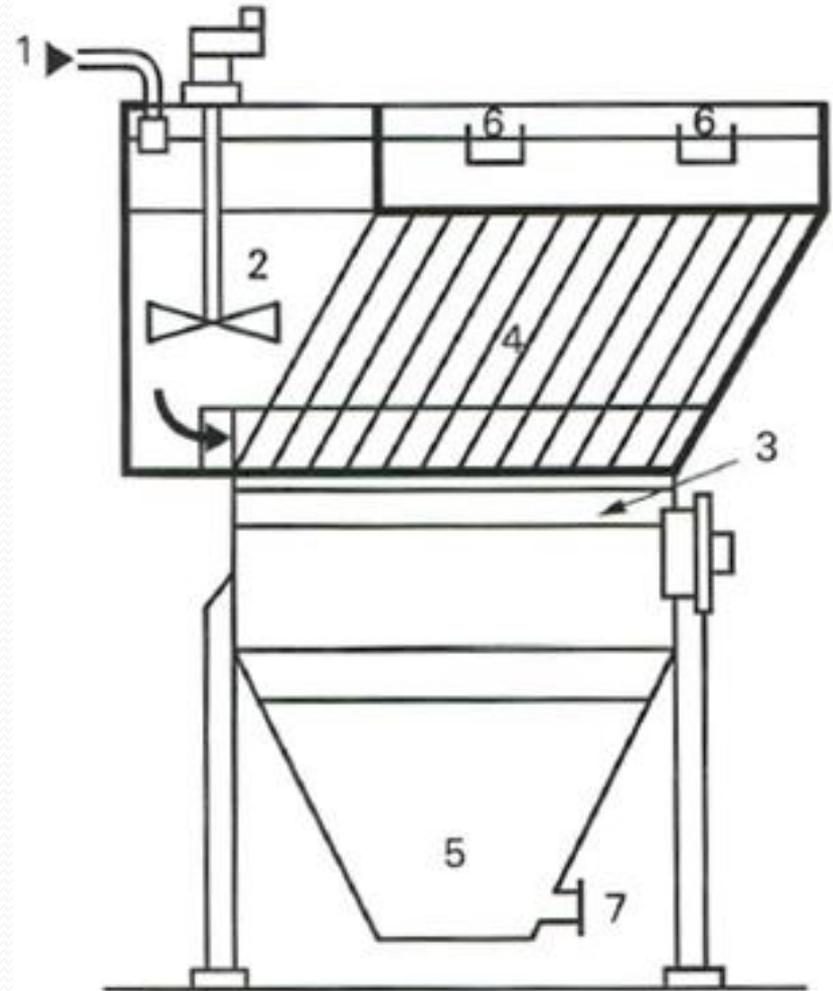


d) Exemples de décanteurs lamellaires

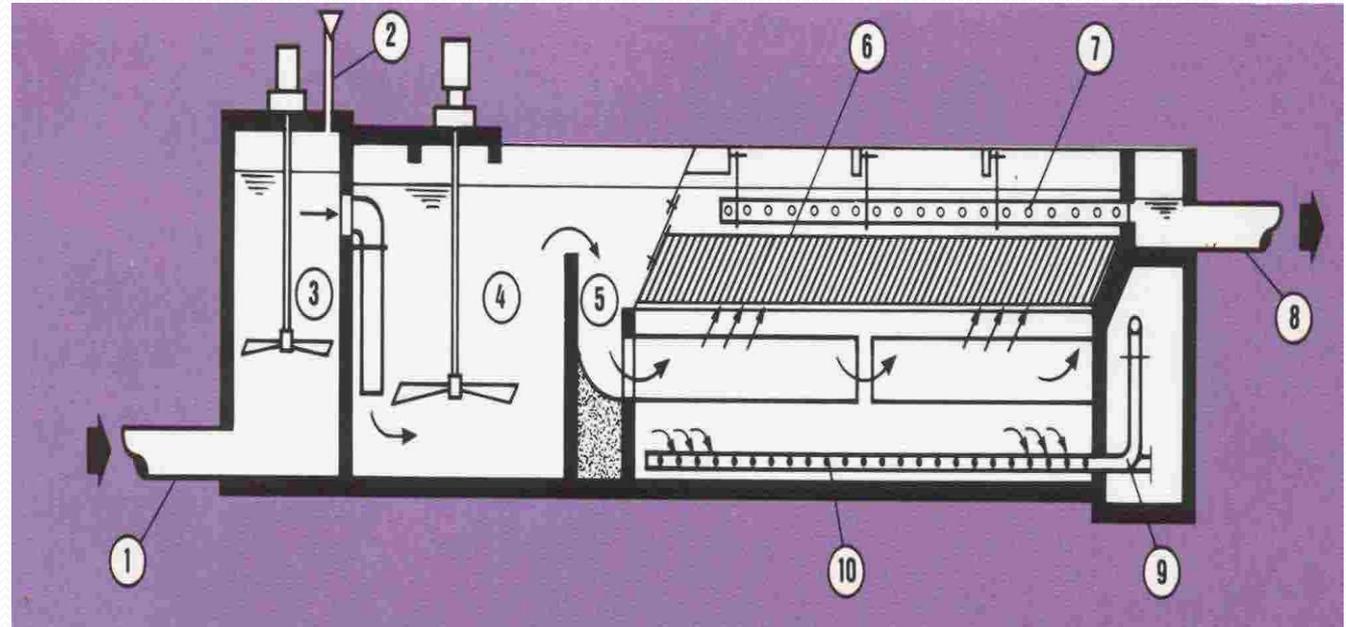
Le Sédipac FD

C'est un appareil combiné qui réunit, dans une même enceinte, une zone de coagulation-Floculation et une zone de Décantation lamellaire.

1. Entrée d'eau brute
2. Floculation
3. Canal de répartition d'eau floclée
4. Décantation lamellaire
5. Concentration des boues
6. Reprise d'eau décantée
7. Extraction des boue



Le MULTIFLO : la vitesse vraie est de l'ordre 1 m/h alors que la vitesse apparente est de l'ordre de 10/15 m/h.



- 1 - Arrivée d'eau à décanter
- 2 - Injection des réactifs
- 3 - Zone de mélange rapide
- 4 - Zone de coagulation/floculation
- 5 - Admission en décantation

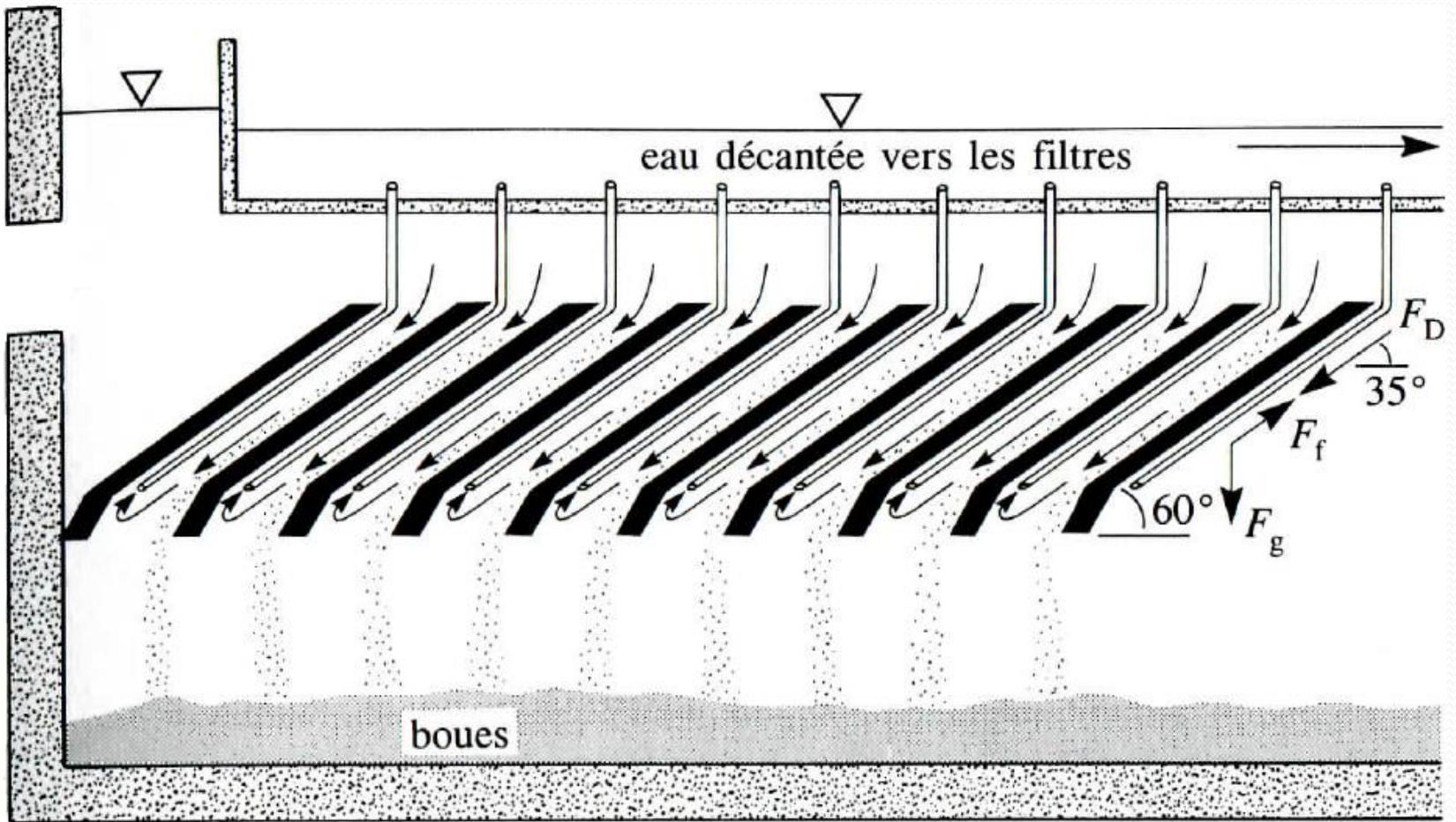
- 6 - Modules lamellaires
- 7 - Tubes de reprise d'eau décantée
- 8 - Sortie d'eau décantée
- 9 - Système de reprise des boues
- 10- Évacuation des boues

On remarque le gain de place résultant de l'adoption de cette technologie.

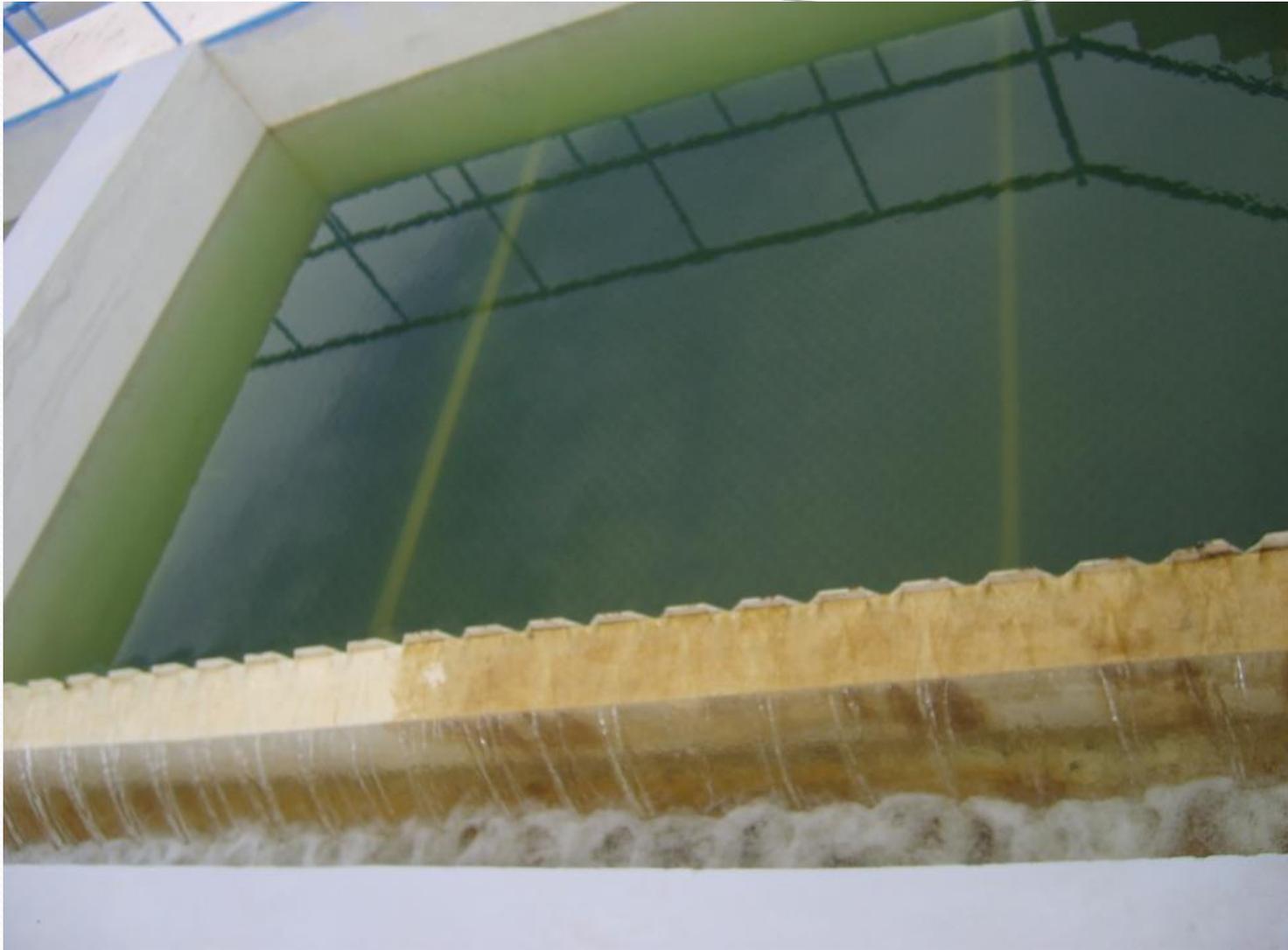
Le décanteur présente les avantages suivants :

- la compacité par rapports aux décanteurs statiques conventionnels qui conduits à des économies importantes de place et de coût,
- l'efficacité qui résulte de l'accroissement de la surface de décantation,
- la fiabilité qui est induite par la simplicité du décanteur

Une des qualités essentielles du système est sa simplicité de réalisation et d'exploitation puisqu'il ne comporte aucun équipement mobile immergé.



Décanteur à lamelles



Décanteur à lamelles de la station de Sikkak

À retenir

- Dimensionnement décanteur idéal

$$A = \frac{Q}{u_{\text{lim}}}$$

$$A = \frac{18}{g} \frac{\mu Q}{(\rho_s - \rho_l) d^2}$$

- Si décanteur lamellaire

$$A^* = nA \cos(\alpha)$$

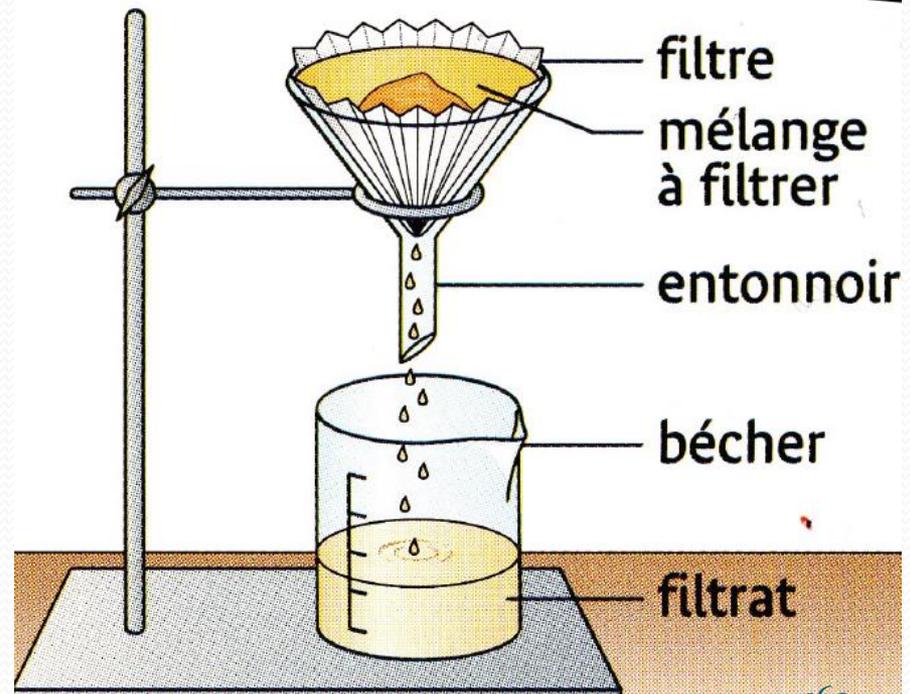
III.3- FILTRATION

III.3.1 Généralités

III.3.1.1 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. Les solides en suspension ainsi retenus par le milieu poreux s'y accumulent; il faut donc prévoir un nettoyage du filtre.

La filtration, habituellement précédée des traitements de coagulation, de floculation et de décantation, permet d'obtenir une bonne élimination des bactéries, de la couleur, de la turbidité et, indirectement, de certains goûts et odeurs.



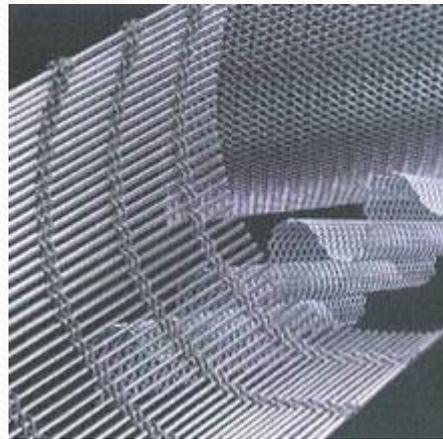
III.3.1.2 Matériaux des filtres

Selon le type de filtre adopté, on a recourt à divers matériaux filtrants; on utilise ainsi :

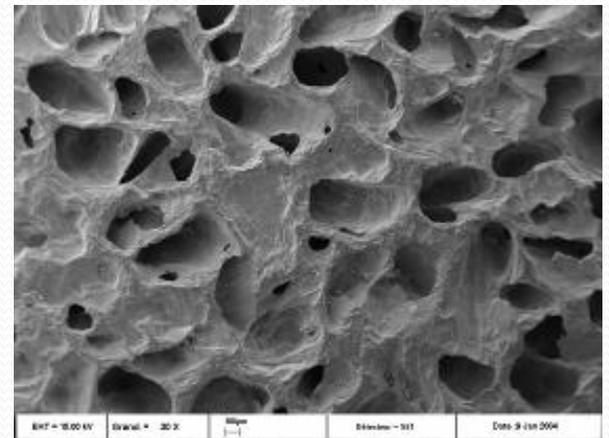
- a) Des tissus de fibres, des toiles métalliques ou des pierres poreuses à interstices très fins. Ces matériaux retiennent les solides en surface; on les utilise rarement pour traiter des quantités d'eau importantes.



Tissus en fibres de carbone



Toiles métalliques



Pierres poreuses

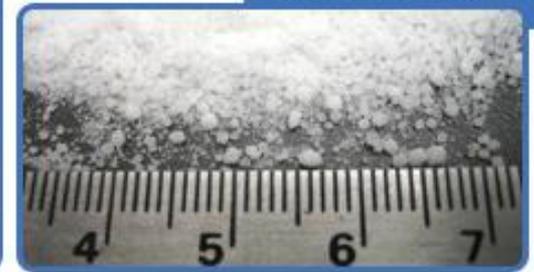
b) Des granules libres qui n'adhèrent pas les unes aux autres. Ces matériaux sont insolubles et inattaquables par le liquide filtré ou par les solides qui s'y déposent.

La filtration a lieu soit en surface, soit en profondeur, selon les caractéristiques granulométriques du matériau filtrant et selon la grosseur et la cohésion des solides en suspension.

Distribution Granulométrique



Taille De Granulés



Angle D'éboulement



Humidité (teneur en eau)

Le sable, l'anhracite et l'ilménite sont couramment utilisés dans les usines de traitement des eaux.



Sable



L'anhracite : combustible solide fossile le plus propre le plus dur et le plus estimé des charbons.



L'ilménite : un minéral accessoire commun dans les roches magmatiques basiques

III.3.1.3 Types de filtration

Pour le traitement des eaux potables, on utilise principalement:

- a) Filtration rapide sur sable;
- b) Filtration lente sur sable;

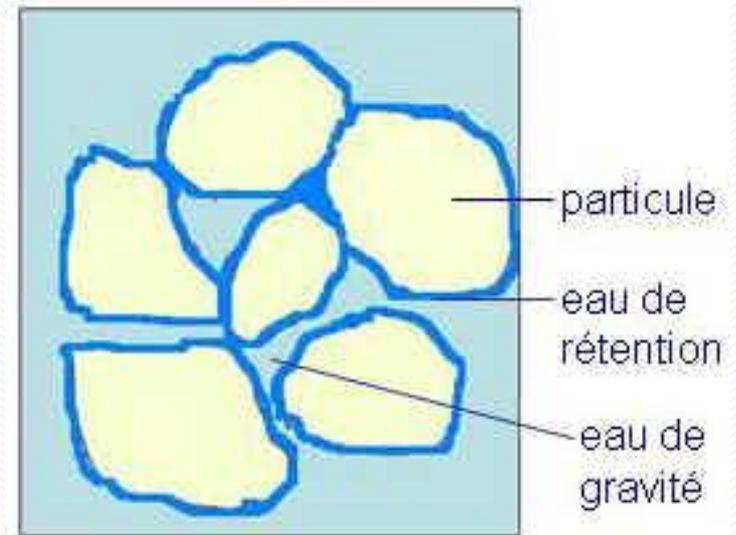
En pratique, la filtration rapide sur sable est la plus utilisée. En ce qui concerne la filtration lente sur sable, de construction et de fonctionnement simples, nécessite de grandes superficies; c'est pourquoi on les utilise surtout dans les pays où le climat est moins rigoureux, et lorsqu'on n'est pas limité par l'espace.

III.3.2 Caractéristiques des matériaux Filtrants

Les principales caractéristiques d'un matériau filtrant sont :

- le diamètre effectif et le coefficient d'uniformité,
- la densité relative,
- la masse unitaire sèche (maximale et minimale)
- la porosité (maximale et minimale).

Il existe d'autres caractéristiques, beaucoup plus difficiles à mesurer, comme la forme des grains et la surface spécifique.



III.3.3- Considérations techniques

Deux considérations techniques communes aux différents types de filtres à matériau granulaire doivent préalablement être rappelées. Elles concernent :

- les conditions de service ;
- les dispositions internes de lavage.

III.3.3.1. Conditions de service

a) Cycles

La presque totalité des filtres à matériau granulaire fonctionne par cycles comportant une période de filtration suivie d'un lavage final. Le paramètre essentiel limitant la durée de ces cycles est la perte de charge mais, en deçà d'une perte de charge maximale acceptable, d'autres paramètres peuvent être préférés :

- le volume filtré ou le temps de cycle (par exemple : 8 h, 24 h, 48 h) ;
- la turbidité, contrôlable par un capteur turbidimétrique, voire par un compteur de particules.

b) Remise en service

Dans une batterie filtrante, lors de la remise en service d'un filtre lavé, il faut éviter le surdébit du filtre qui vient d'être lavé. Le risque est d'autant plus important que le nombre de filtres est faible ; une équirépartition amont ou aval assure la meilleure qualité d'eau filtrée.

Dans certains cas, même sans sur-débit, il est opportun de mettre à l'égout les premières eaux filtrées plus chargées (filtrations très rapides, eaux préalablement non clarifiées, fortes exigences de qualité telles que : garanties de turbidité inférieure à 0,2 voire 0,1 NTU, de SOI...). Cette phase est souvent appelée maturation

Batterie filtrante



III.3.4- Choix du mode de filtration

Le choix entre les divers types de filtration sur support ou sur lit granulaire dépend de plusieurs critères :

- ✓ - caractéristiques du liquide à filtrer, de ses impuretés et de leur évolution dans le temps ;
- ✓ - qualité du filtrat à obtenir et tolérances admises ;
- ✓ - conditions d'installation ;
- ✓ - possibilités et moyens disponibles pour le lavage.

La possibilité d'un lavage aisé, efficace et économique est aussi importante dans le choix du filtre que l'obtention de la meilleure qualité de filtration, étant donné que cette dernière ne se conserve dans le temps que si le lavage permet de retrouver en début de chaque cycle les caractéristiques d'un filtre propre.

III.3.4.1- Filtration sur sable rapides

a) Principe

Le filtre à sable rapide est le type de filtre le plus utilisé dans le traitement des eaux de consommation. Le matériau filtrant est maintenu en place par gravité et l'écoulement de l'eau a lieu de haut en bas. Lorsque le milieu filtrant est encrassé, on lave le filtre en inversant le sens de l'écoulement de l'eau; le milieu filtrant est alors en expansion, et les particules d'impuretés, beaucoup moins denses que les grains de sable, sont décollées et évacuées vers l'égout à l'aide des goulottes de lavage.



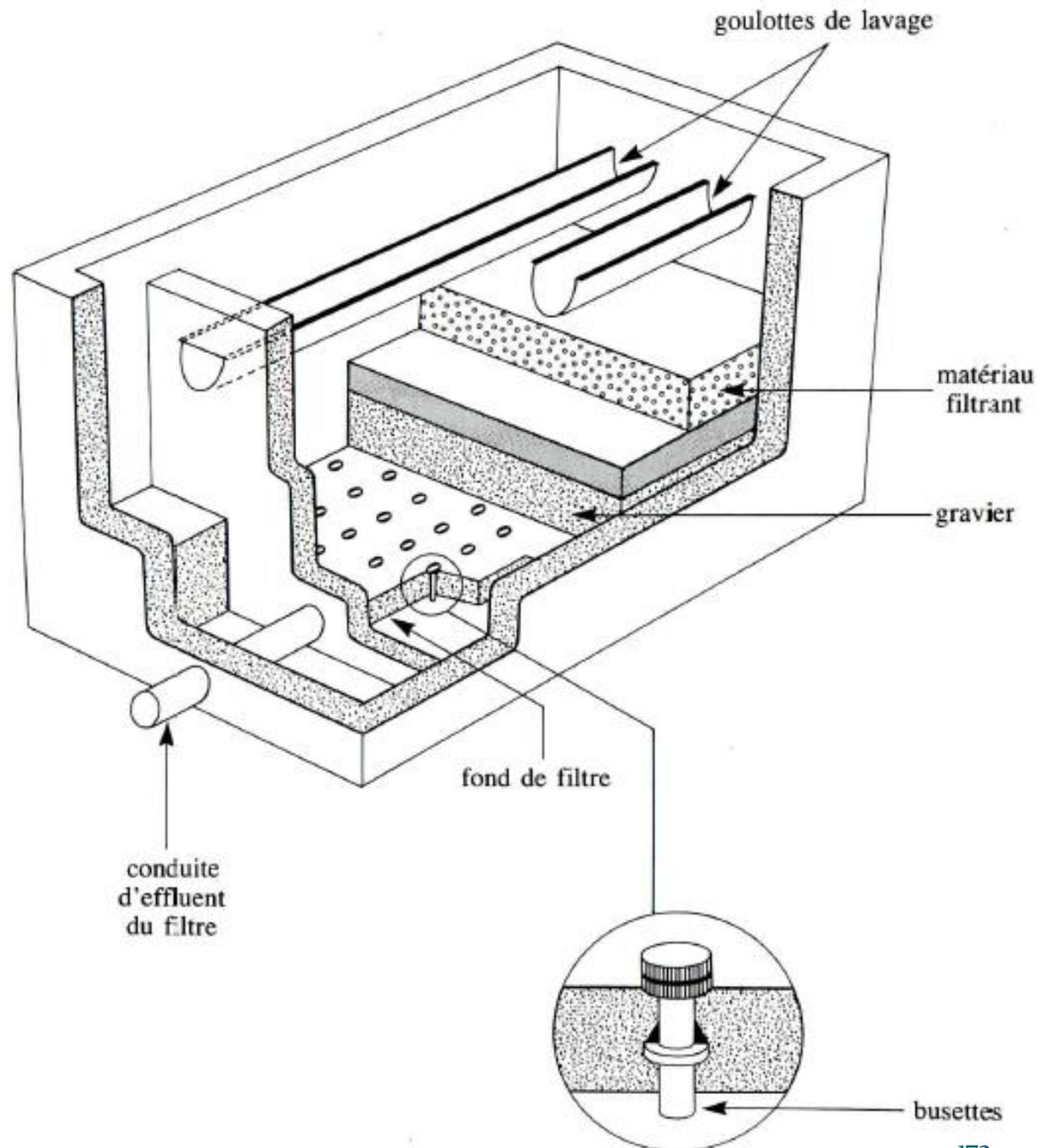
filtres à sable rapides
(écoulement gravitaire)
station de Sikkak.

Selon le cas elle se met en œuvre dans des appareils ouverts (à écoulement gravitaire) ou fermés sous pression à des vitesses allant de 4 à $50\text{m}^3\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}$. On l'appelle rapide par contraste avec les anciennes installations de filtration lente.



b) Éléments d'un filtre

Les principaux éléments d'un filtre rapide sont : le fond de filtre, le gravier de support et le milieu filtrant (figure ci-après).



Busettes Degrémont pour lavage air et eau



Busette en matière métallique avec bague de scellement sur plancher.



Busette en matière plastique avec bague de fixation sur plancher métallique

Problème

Sur une installation qui a une trentaine d'années, on peut remarquer que les dalles auront tendance à se soulever lors des opérations de contre-lavage, ce qui pourra présenter des fissures et les busettes céderont.

Dalles béton fendues





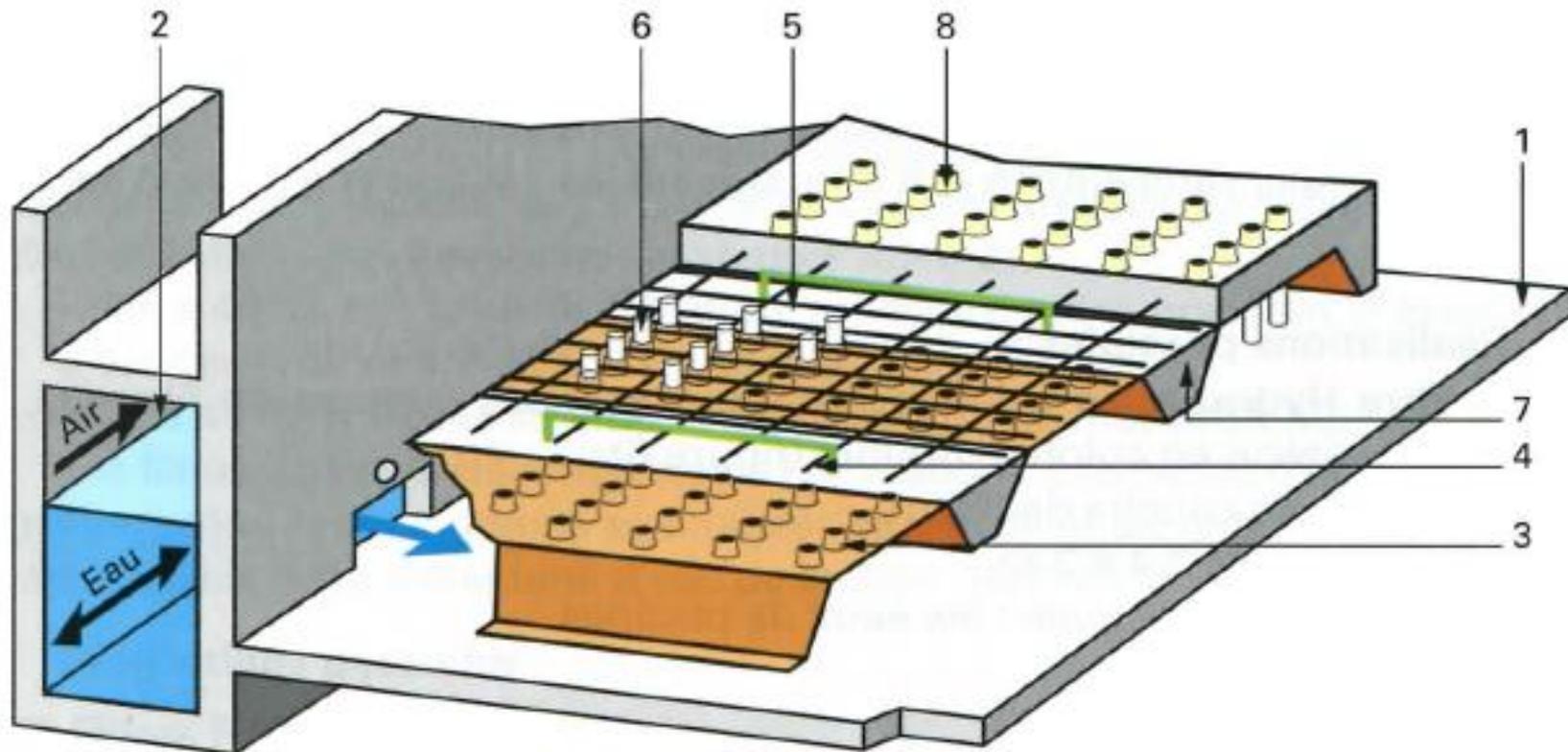
Busettes PVC détériorées

Fond de filtre

Le fond de filtre est la structure qui sépare le milieu filtrant de l'eau filtrée. Il doit donc être suffisamment solide pour supporter le milieu filtrant (1 m de sable et de gravier) et l'eau située au-dessus du milieu filtrant (2 m d'eau).

Il permet en outre:

- de collecter et d'évacuer les eaux filtrées;
- de distribuer uniformément l'eau de lavage.



1. Radier
2. Canal latéral

3. Coffrage perdu
4. Fer d'ancrage

5. Ferrailage
6. Bague encliquetable

7. Béton
8. Buselure

Plancher Azurfloor

Gravier de support

Le gravier de support, situé immédiatement au-dessus du fond de filtre, permet :

- de retenir le sable du milieu filtrant;
- d'améliorer la répartition de l'eau de lavage dans le filtre.

L'épaisseur et les caractéristiques granulométriques de la couche de gravier de support dépendent des caractéristiques du fond de filtre et de celles du milieu filtrant.

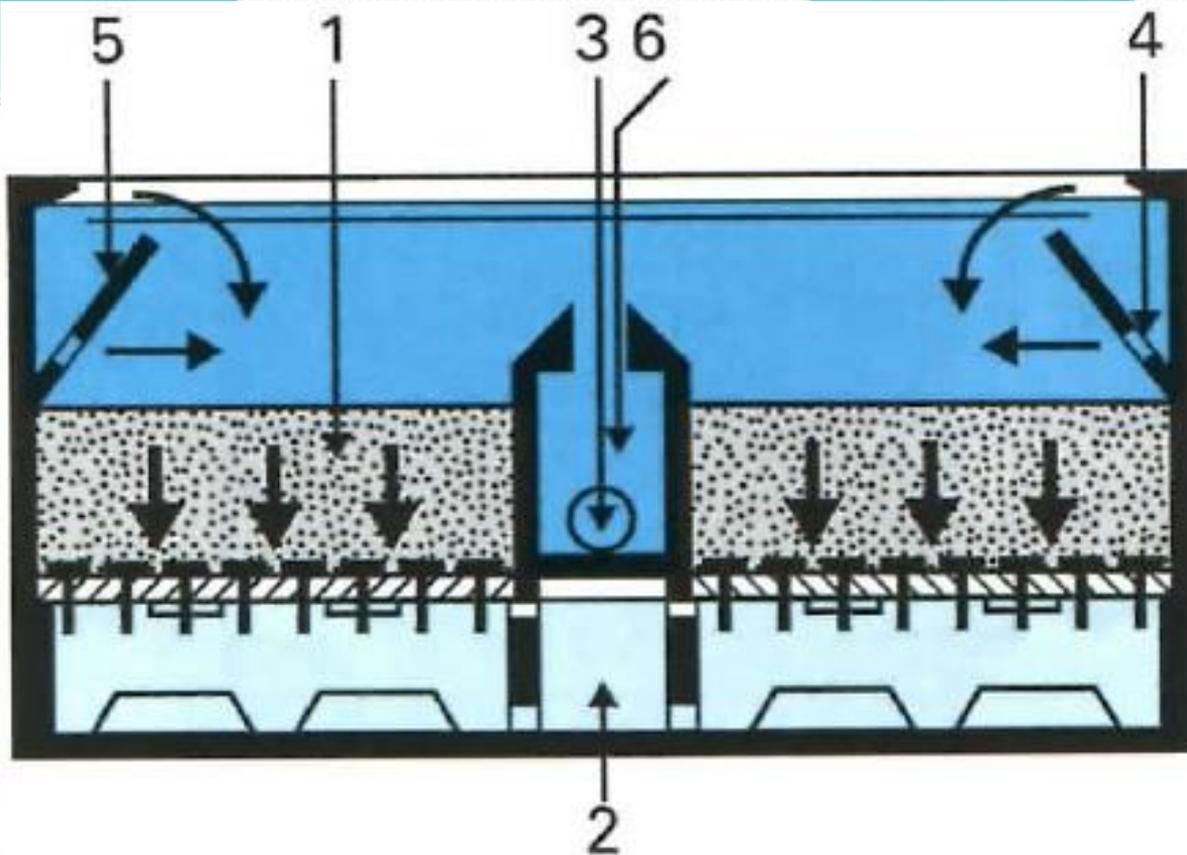
Milieu filtrant

Les matériaux filtrants les plus utilisés sont le sable et l'antracite. Lorsqu'on utilise un filtre constitué d'une seule couche de sable, la charge superficielle maximale est de 5 m/h. La couche filtrante, de 60 à 90 cm d'épaisseur, est composée d'un sable dont le diamètre effectif des grains varie de 0,35 à 0,50 mm et dont le coefficient d'uniformité varie de 1,3 à 1,7.

c) Fonctionnement d'un filtre à sable rapide

un filtre à sable rapide est peu efficace lorsqu'il doit traiter une eau n'ayant pas bénéficié d'une coagulation et d'une floculation. Un tel filtre élimine en effet difficilement les particules non absorbées par le floc, et ce même s'il est constitué d'une épaisse couche de sable fin. Le floc contenu dans l'eau doit par ailleurs résister aux forces de cisaillement qui s'exercent dans le filtre, faute de quoi il se brise et pénètre plus profondément dans le milieu filtrant. En plus de la résistance du floc, les facteurs suivants peuvent affecter la qualité de l'eau filtrée:

- caractéristiques granulométriques du milieu filtrant;
- porosité du milieu filtrant;
- épaisseur du milieu filtrant;
- charge superficielle.



1. Sable
2. Canal d'eau filtrée, air et eau de lavage
3. Vanne d'évacuation des eaux de lavage
4. Orifice d'entrée de l'eau de balayage
5. Goulotte en V
6. Goulotte de départ des eaux de lavage

Filtre Aquazur type V
(Degrémont).
Phase de filtration

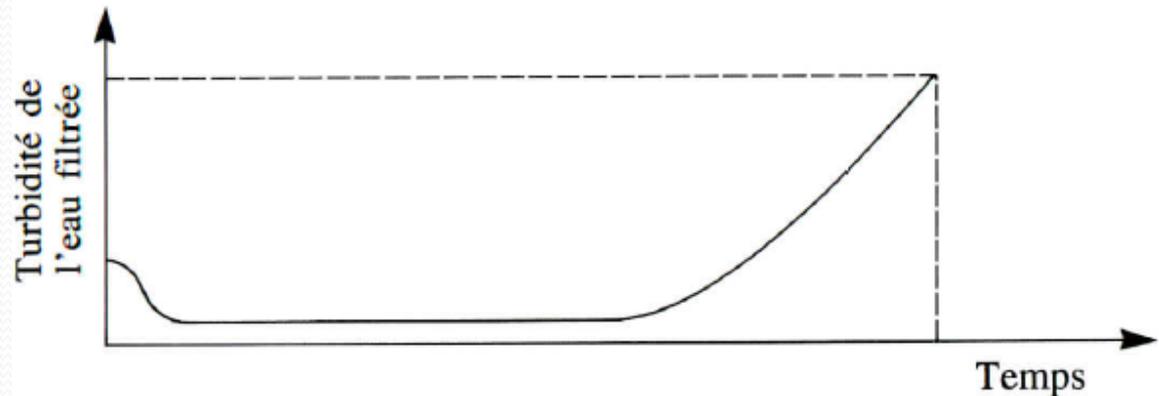
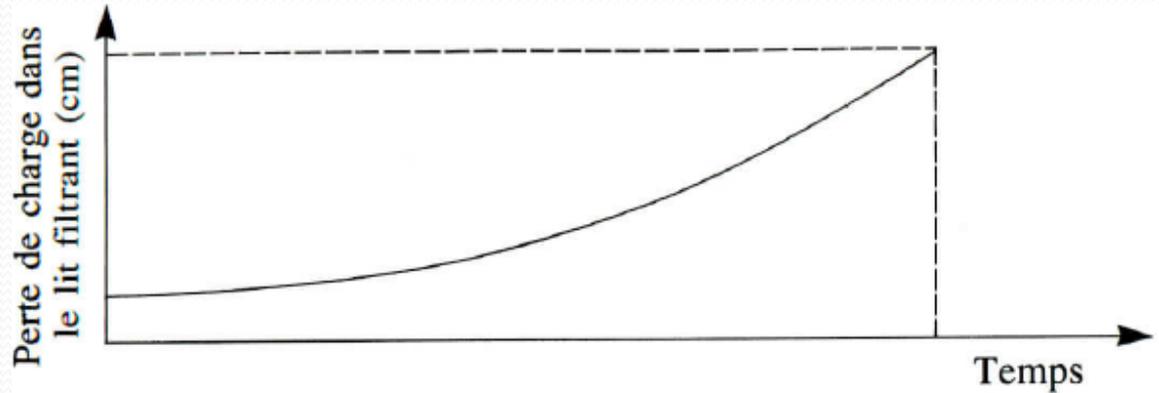
d) Variation de la turbidité et des pertes de charge

La turbidité de l'affluent d'un filtre et la perte de charge à travers le filtre sont les deux facteurs qui permettent de contrôler le fonctionnement d'un filtre. Ainsi, lorsque la perte de charge atteint une valeur de consigne prédéterminée ou que la turbidité de l'effluent du filtre dépasse une certaine valeur, on isole le filtre en question et on procède à un lavage. La période d'utilisation d'un filtre correspond donc à la durée de son utilisation entre deux lavages.

e) Optimisation de l'utilisation d'un filtre

Pour optimiser l'utilisation d'un filtre, on doit le faire fonctionner de telle sorte que, lorsque la turbidité de l'effluent atteint la valeur maximale permise, les pertes de charge atteignent, elles aussi, leurs limites maximales permises.

L'utilisation d'un filtre n'est pas optimale lorsque les deux situations ci-dessous se produisent.



f) Lavage des filtres

Lorsque la perte de charge ou la turbidité, ou les deux, atteignent leurs valeurs maximales, on lave le filtre en injectant de l'eau par le fond.

i. *Mécanisme de lavage*

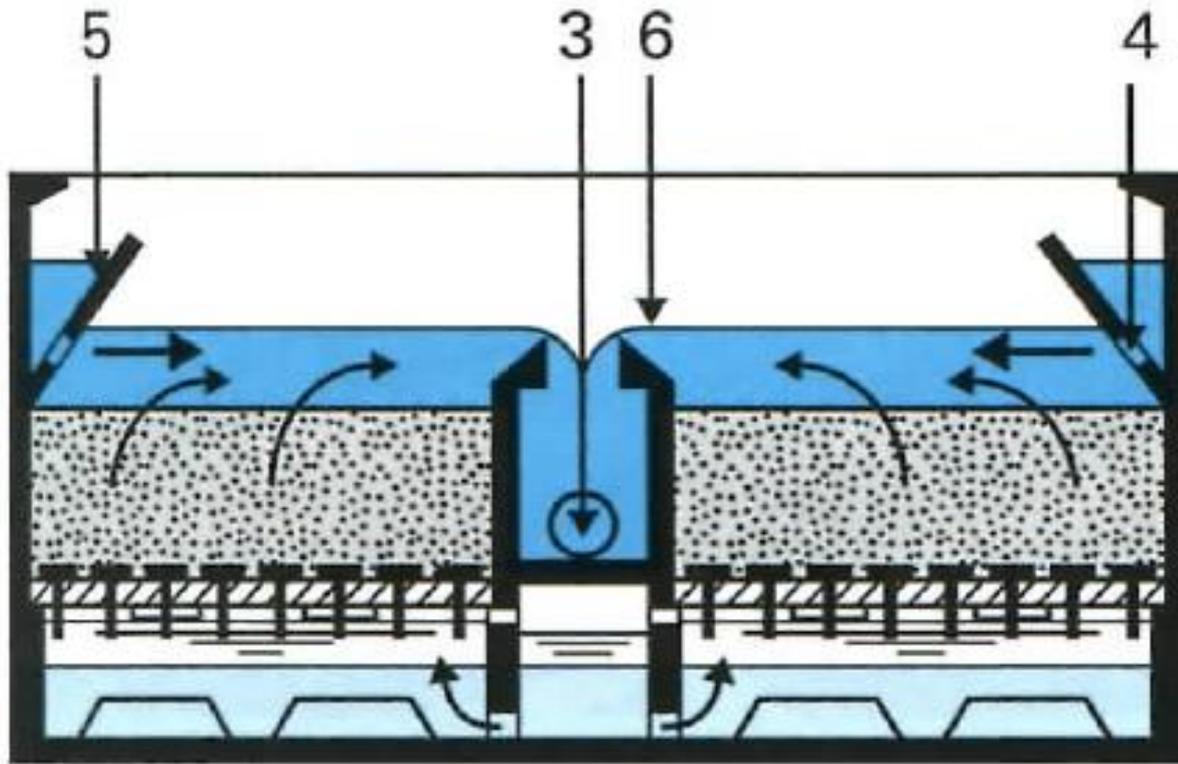
Lorsque l'eau de lavage est injectée par le fond, le milieu filtrant prend de l'expansion et libère les particules arrêtées par le filtre. Ces particules, beaucoup moins denses que les grains de sable, sont aisément entraînées vers les goulottes de lavage. Le niveau maximal du sable en expansion atteint 8 à 30 cm au-dessus de son niveau au repos. Le degré d'expansion du milieu filtrant dépend:

- du diamètre des grains de sable;
- de la densité des grains de sable;
- de la charge superficielle, ou vitesse, de l'eau de lavage;
- de la température de l'eau de lavage.

La charge superficielle la plus utilisée est de 37 m/h. Il est important de signaler que, si l'eau de lavage est injectée brusquement dans un filtre, la totalité de la couche de sable peut être soulevée au-dessus de la couche de gravier, ce qui provoque un bouillonnement pouvant entraîner le déplacement du gravier de support.

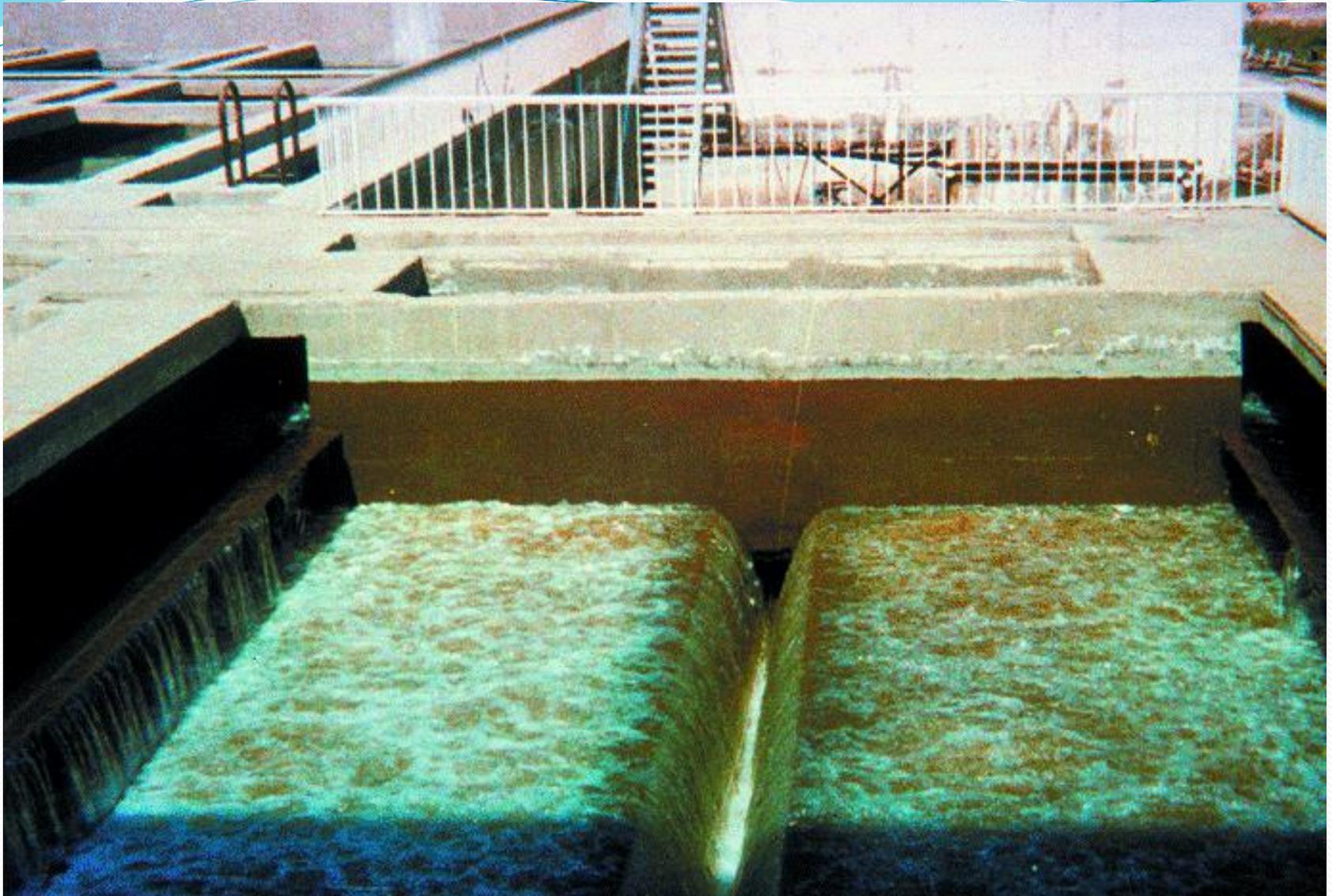


Lavage d'un bassin de filtration rapide



- 3. Vanne d'évacuation des eaux de lavage
- 4. Orifice d'entrée de l'eau de balayage
- 5. Goulotte en V
- 6. Goulotte de départ des eaux de lavage

Filtre Aquazur type V,
phase de lavage air-eau
avec balayage de surface



Filtre AQUAZUR. Phase de lavage air et eau.



Filtres AQUAZUR Yen cours de construction; vue ester armé, du plancher filtrant avec ses busettes, de la goulotte de balayage en Y et de la goulotte de départ des eaux de lavage.

ii. Mécanismes de brassage auxiliaires

La plupart des impuretés qui encrassent un filtre adhèrent aux grains de sable; elles ne sont donc pas éliminées par un simple lavage à l'eau. Pour décoller ces impuretés, il faut augmenter la turbulence dans le milieu filtrant en expansion; on favorise ainsi le frottement des grains de sable les uns contre les autres et, par conséquent, le décollement des impuretés. Or, on ne peut pas augmenter la charge superficielle au-delà d'une certaine limite; en effet, une charge superficielle trop élevée provoque une expansion excessive du milieu filtrant et, par le fait même, des pertes de sable; de plus, il faut alors utiliser des quantités plus importantes d'eau de lavage. Donc, pour augmenter la turbulence dans le milieu filtrant en expansion sans accroître la charge superficielle, on peut soit injecter de l'air, soit utiliser des agitateurs de surface.

iii. Lavage à l'eau et à l'air

On injecte simultanément, par le fond du filtre, de l'air et de l'eau. L'eau entraîne les impuretés vers les goulottes de lavage alors que l'air assure un brassage suffisant pour décoller ces impuretés. La charge superficielle (air) doit être supérieure à 5 m/h. Signalons qu'il n'est pas nécessaire que le milieu filtrant soit en expansion pour que le lavage soit efficace. Après l'arrêt des soufflantes, il faut toutefois continuer le lavage à l'eau afin d'entraîner toutes les impuretés vers les goulottes de lavage.

Dans le cas d'un filtre à sable et à l'antracite, il faut d'abord abaisser le niveau de l'eau jusqu'au niveau supérieur de la couche d'antracite, puis n'injecter que de l'air, puisqu'il est impossible d'injecter de l'air quand le niveau de l'eau dans le filtre atteint les goulottes de lavage, ou d'injecter l'eau de lavage en même temps que l'air. Dans ces deux cas, en effet, il se produit un entraînement massif de l'antracite vers les goulottes de lavage. Lorsque les impuretés sont décollées, on arrête la soufflante et on injecte l'eau de lavage. La vitesse de l'eau de lavage, ou charge superficielle, est alors de 37 m/h ou plus, car seule une vitesse élevée permet de chasser les impuretés vers les goulottes et de reclasser le matériau filtrant.

iv. Lavage à l'eau seule

Lorsqu'on lave un filtre rapide uniquement avec de l'eau, le brassage est assuré par des laveurs de surface, qui peuvent être soit fixes, soit rotatifs. Chaque type de laveur envoie des jets de 3 mm de diamètre faisant un angle de 15 à 30° vers le bas avec l'horizontale. La pression de ces jets, situés à 5 cm au-dessus du niveau du sable, est d'environ 515 kPa. La quantité d'eau injectée par les jets est de 80 à 160 $l/m^2 \cdot min^{-1}$ pour les laveurs fixes et de 20 $l/m^2 \cdot min^{-1}$ pour les laveurs rotatifs.



Prospect - Sydney Water Corporation

Type d'eau : eau de barrage

Débit (eau traitée) : $125\,000\text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$

Application : filtration directe

Batterie filtrante : 24 filtres double Aquazur V

Surface unitaire : 238 m^2

Surface totale de filtration : $5\,710\text{ m}^2$

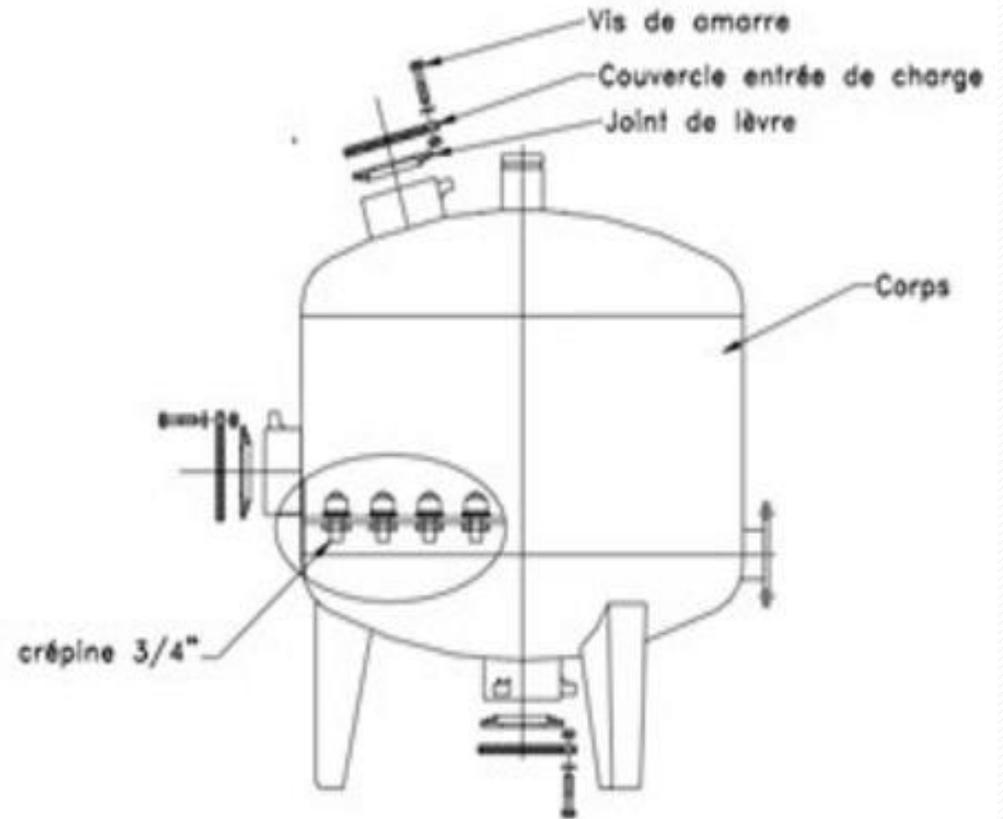
Media filtrant : sable 1,8 mm (TE)



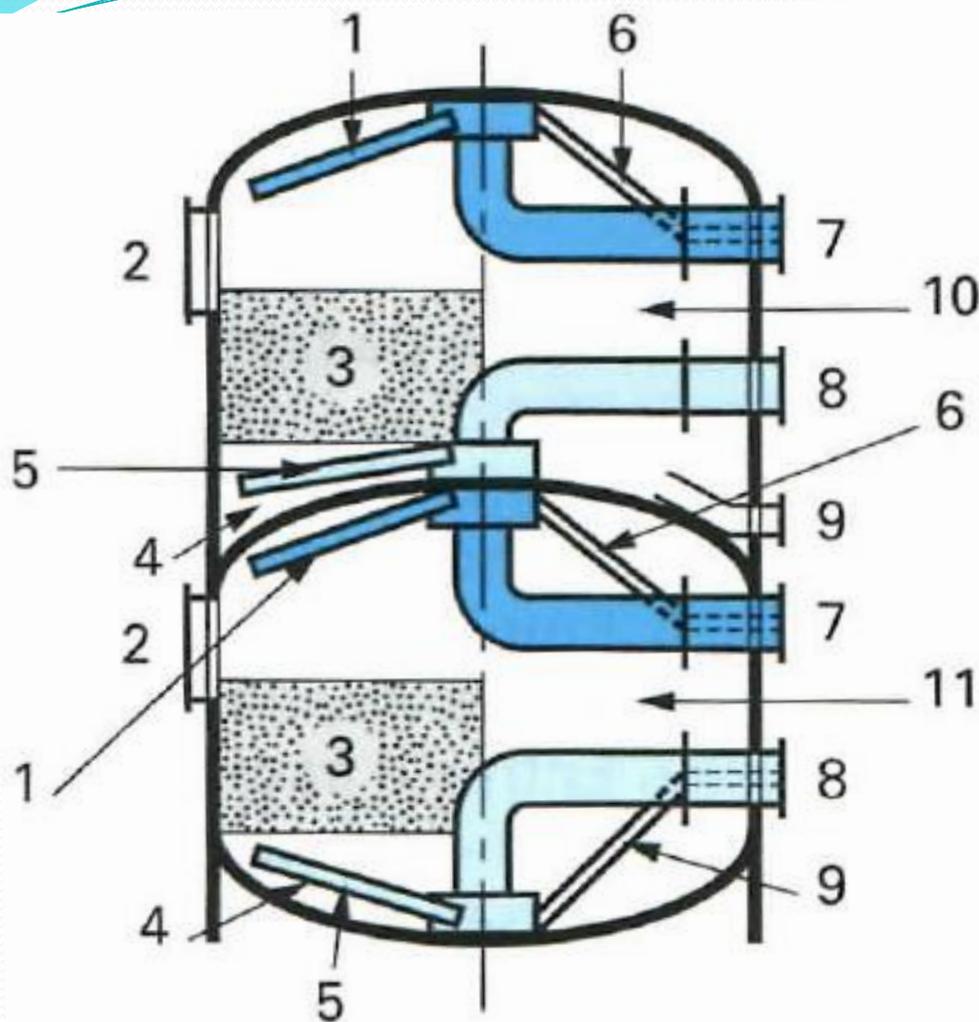
Installation de MOULLE (Pas-de-Calais) pour la Lyonnaise des Eaux.
Débit: $2\,000\text{ m}^3\cdot\text{h}^{-1}$. Batterie de 7 filtres MÉDIAZUR V pour CAG.

III.3.4.2- Filtres sous pression

Les filtres sous pression fonctionnent selon les mêmes principes que les filtres à sable rapides, sauf que leurs couches de sable et de gravier, ainsi que leur réseau de drainage, sont situés dans des cylindres horizontaux ou verticaux, lesquels sont conçus pour supporter des pressions de l'ordre de 1000 kPa. On peut ainsi filtrer de l'eau sous pression et la distribuer sans recourir au double pompage. Cet avantage ne compense toutefois pas les difficultés auxquelles on se heurte lorsque les filtres sont précédés d'unités de coagulation, de floculation et de décantation. En effet, pour éviter le double pompage, il faut alors que toutes ces unités de traitement fonctionnent sous pression.



Filtres sous pression



Colonne double Hydrazur

- 1- collecteur supérieur
- 2- Tampon d'accès
- 3- Couche filtrante
- 4- Couche support
- 5- Collecteur inférieur
- 6- Purge d'air
- 7- Entrée d'eau brute
- Sortie d'eau de lavage
- 8- Entrée d'eau de lavage
- Sortie d'eau filtrée
- 9- Vidange
- 10- Filtre supérieur
- 11- Filtre inférieur

Principe de fonctionnement :

- Les particules sont arrêtées sur toute la profondeur du sable. Le différentiel de pression mesure la perte de charge entre la pression d'entrée et de sortie du filtre.
- Lorsque la perte de charge devient supérieure au différentiel réglé, le programmeur lance une séquence de contre lavage.
- Le contre lavage s'effectue par inversion du flux d'eau (voir image ci-contre) qui permet de nettoyer le sable des impuretés arrêtées.



Mode Filtration



Mode contre lavage

III.3.4.2- Filtres à sable lents

Les filtres à sable lents doivent être construits de telle sorte que l'eau traverse lentement une couche de sable fin et que les particules les plus grosses soient arrêtées près de la surface du sable. Ces particules forment une couche poreuse très fine, dont la surface totale de veinules ou de pores est très grande, ce qui facilite l'adsorption des impuretés par cette couche ou par le sable sous-jacent. Cette couche poreuse est constituée de bactéries, d'algues et de protozoaires. La filtration lente combine donc les effets de processus physiques et de processus biologiques.

Avantages des filtres lents

- a) Les filtres lents permettent de ne pas recourir à la coagulation.
- b) Les matériaux de construction de ces filtres sont simples; on peut donc les trouver sur place.
- c) On peut aisément se procurer du sable sur place.
- d) La surveillance du fonctionnement de ces filtres est simple.
- e) Leur effluent est moins corrosif et de qualité plus constante que celui des filtres rapides, lesquels exigent un traitement chimique.
- f) Ils éliminent bien les bactéries.

Inconvénients des filtres lents

- a) Les filtres lents occupent une grande superficie; ils exigent donc une installation de grandes dimensions, un volume de sable important et des travaux coûteux.
- b) Leur exploitation manque de souplesse. Comme nous le verrons plus loin, leur mise en exploitation et leurs lavages requièrent de longues périodes de temps, au cours desquelles ils sont inutilisables.
- c) Leur utilisation est coûteuse lorsque la turbidité des eaux brutes dépasse 30 unités néphélométriques pendant de longues périodes de temps, sauf lorsqu'on fait préalablement sédimenter les impuretés de manière à abaisser suffisamment le degré de turbidité de ces eaux.
- d) Ils décolorent médiocrement les eaux colorées.
- e) Ils donnent de mauvais résultats lorsque les eaux sont riches en algues et qu'elles n'ont pas été préalablement traitées.

Chapitre IV

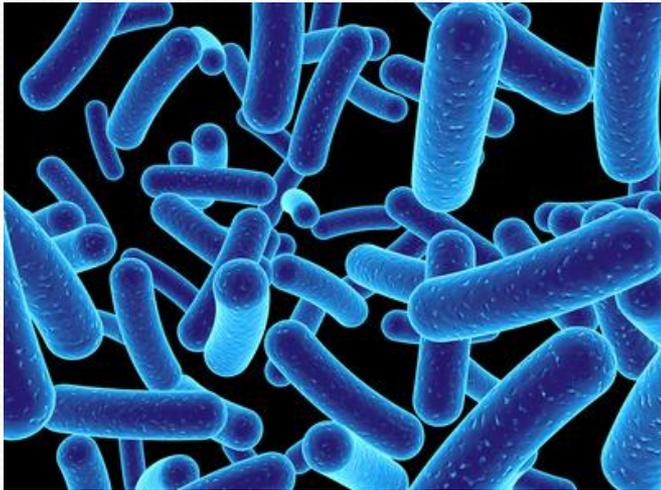
Traitement de finition.

IV.1 Désinfection

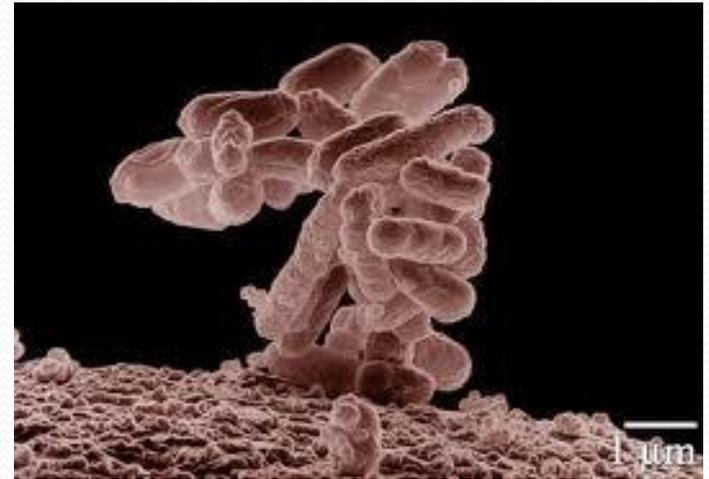
IV.1.1 Principe

La plupart des microorganismes pathogènes est éliminée de l'eau lors des précédentes phases de traitement. Cependant, la désinfection de l'eau est encore nécessaire afin d'empêcher que l'eau potable soit nocive pour notre santé. La désinfection est un traitement qui permet d'éliminer les microorganismes susceptibles de transmettre des maladies; ce traitement n'inclut pas nécessairement la stérilisation, qui est la destruction de tous les organismes vivants dans un milieu donné. 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.

Les maladies d'infection causées par les bactéries pathogènes, les virus, les parasites protozoaires sont parmi les plus courantes et étendent les risques sanitaires de l'eau potable. Les personnes sont contaminées par ces microorganismes à travers l'eau potable contaminée, les aérosols et les lavages ou les bains.



Bactérie Legionella



Bactérie d'E. Coli

IV.1.2- Différent modes de désinfection

Tous les procédés et les produits de désinfection n'étant pas équivalents, il faut choisir le procédé le plus approprié, compte tenu de certaines conditions particulières (caractéristiques et usages de l'eau, types de microorganismes à éliminer, qualité du réseau de distribution, etc.) et sachant qu'un désinfectant ou un procédé de désinfection doit:

- a) Ne pas être toxique pour les humains ou les animaux;
- b) être toxique, à de faibles concentrations, pour les microorganismes;
- c) être soluble dans l'eau;
- d) former avec l'eau une solution homogène;
- e) Être efficaces aux températures normales de l'eau de consommation (0 à 25°C).

- f) être stable, afin de favoriser le maintien d'une certaine concentration résiduelle pendant de longues périodes de temps;
- g) ne pas réagir avec la matière organique autre que celle des microorganismes;
- h) ne pas détériorer les métaux ni endommager les vêtements lors de la lessive;
- i) éliminer les odeurs;
- j) exister en grande quantité et être vendu à un prix abordable;
- k) être facile à manipuler et ne faire courir aucun danger aux opérateurs;
- l) permettre une mesure aisée de sa concentration.

La désinfection à l'aide de chlore représente 80 % de la désinfection dans le monde, car ce désinfectant présente plusieurs des avantages énoncés ci-dessus. Cependant, l'addition de ce produit peut entraîner des effets secondaires indésirables qui, dans certains cas, obligent à utiliser d'autres désinfectants. Ainsi, le chlore réagit avec la matière organique de l'eau, ce qui peut parfois entraîner la formation de substances cancérigènes (trihalométhanes) ou d'odeurs désagréables (chlorophénols). Par ailleurs, le chlore n'est pas suffisamment puissant pour éliminer complètement certains microorganismes très résistants comme les virus et les protozoaires. Afin de pallier ces carences, on utilise le dioxyde de chlore ou l'ozone. Ces désinfectants, beaucoup plus puissants que le chlore, ont toutefois l'inconvénient d'être instables.



IV.1.3- Facteurs fondamentaux de la désinfection

Le taux de destruction des microorganismes par un désinfectant est fonction de plusieurs variables : puissance du désinfectant, concentration de désinfectant, temps de contact, nombre de microorganismes à éliminer, type de microorganismes, température de l'eau, pH de l'eau et concentration de matières organiques dans l'eau. Il n'existe actuellement aucune loi mathématique connue qui permette de calculer le taux de destruction des microorganismes en fonction de ces variables. Cependant, sur la base de mesures effectuées en laboratoire, on peut énoncer certaines règles particulières.

IV.1.4 Désinfectants

La désinfection de l'eau peut-être réalisée à partir de plusieurs désinfectants. Les plus utilisés sont :

Le chlore, Cl_2

L'hypochlorite de sodium, $NaOCl$

Le dioxyde de chlore, ClO_2

Les chloramines, NH_2Cl

Peroxyde d'hydrogène, H_2O_2

Ionisation cuivre/argent

Autres désinfectants incluant l'ozone et les UV

IV.1.4.1. Le Chlore

a) Usage du chlore

Le chlore est l'un des désinfectants les plus utilisés. Il est facilement applicable et très efficace contre la désactivation des microorganismes pathogènes. Le chlore peut être facilement appliqué, mesuré et contrôlé. Il est assez persistant et relativement bon marché.

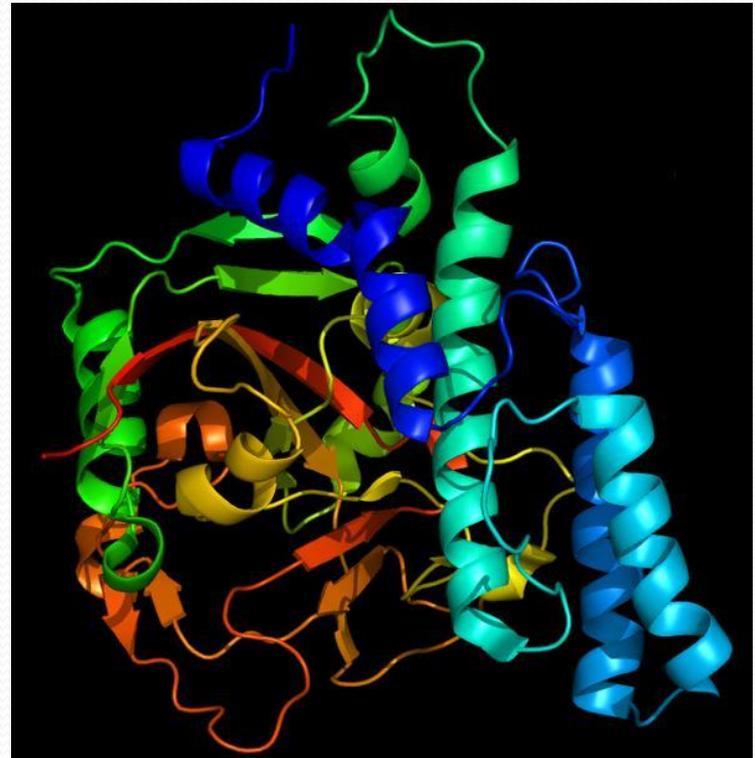
Le chlore a été utilisé pour des applications telles que la désactivation des organismes pathogènes dans l'eau destinée à la consommation, dans les piscines, et dans les eaux usées, pour la désinfection dans le ménage des maisons ou pour le blanchissement des textiles.



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.

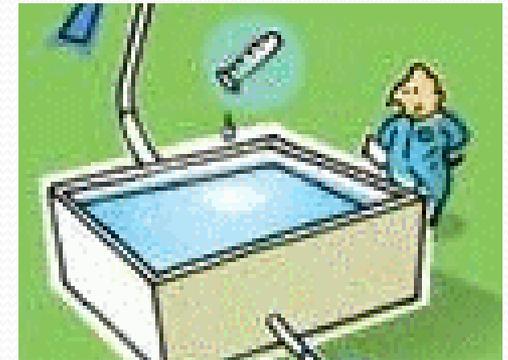
Ceci va modifier la structure entière de la molécule et dans la plupart des cas provoquer sa dissociation ou sa désactivation. Lorsque les enzymes ne fonctionnent pas correctement, la cellule ou la bactérie mourra.

Enzymes



b) Dosage 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. Rechlorination signifie l'addition de chlore à l'eau traitée dans un ou plusieurs points du système de distribution afin de préserver la désinfection.

Pour tuer des bactéries peu de chlore est nécessaire; environ 0.2-0.4 mg/l. Les concentrations en chlore ajoutées à l'eau sont habituellement plus hautes, en raison de la demande en chlore de l'eau.



e) Efficacité du chlore?

Les facteurs qui déterminent l'efficacité de la désinfection au chlore sont les suivants : concentrations en chlore, temps de contact, température, pH, nombre et types de micro-organismes, concentrations en matière organique dans l'eau.

Tableau : 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 $\text{pH} = 7.5$ et $T=25^{\circ}\text{C}$

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

IV.1.4.2. Hypochlorite de sodium $NaOCl$

L'hypochlorite de sodium est un composé qui peut être utilisé efficacement dans le cadre de la purification de l'eau. Il est utilisé pour de nombreuses applications telles que la purification de surface, le blanchiment, l'élimination d'odeurs et la désinfection de l'eau. La compagnie Javel introduisit ce produit et le baptisa 'liqueur de Javel'.



En additionnant de l'hypochlorite à l'eau, de l'acide hypochlorite (HOCl) est formé:



L'acide hypochlorite est divisé en acide chlorhydrique et en oxygène.

L'atome d'oxygène est un oxydant très puissant. L'hypochlorite de sodium est efficace contre les bactéries, les virus et les champignons. L'hypochlorite de sodium désinfecte de la même manière que le chlore le fait.



Avantages

L'hypochlorite de sodium comme désinfectant a les avantages suivants:

- Il peut être facilement transporté et stocké lorsqu'il est produit sur site.
- Son dosage est simple.
- Le transport et le dosage de l'hypochlorite de sodium est sûr.
- L'hypochlorite de sodium est aussi efficace que le chlore gazeux pour la désinfection.
- L'hypochlorite de sodium produit des désinfectants résiduels.

Désavantages

- L'hypochlorite de sodium est une substance dangereuse et corrosive.
- Lorsque l'on travaille avec de l'hypochlorite de sodium des mesures de sécurité doivent être prises pour protéger les travailleurs et leur environnement.
- L'hypochlorite de sodium ne devrait pas rester en contact avec l'air, car cela peut provoquer sa désintégration.
- L'hypochlorite de sodium et le chlore ne désactivent pas les *Giardia Lambia* et *Cryptosporidium*.

Chlore



IV.1.4.3. Dioxyde de chlore

Le traitement de l'eau potable est la principale application de désinfection du dioxyde de chlore. Grâce à ses facultés de biocide, le dioxyde de chlore est aussi utilisé dans la désinfection des eaux d'égouts, les procédés industriels de traitement de l'eau, la désinfection de l'eau des tours de refroidissement, le traitement de l'air industriel, production et traitement de produits alimentaires, l'oxydation des rejets industriels et la stérilisation de gaz d'équipement médical.



Les substances organiques naturelles des cellules des bactéries réagissent avec le dioxyde de chlore entraînant l'interruption de plusieurs processus cellulaires. Le dioxyde de chlore réagit directement avec les acides aminés et l'ARN des cellules. Le dioxyde de chlore affecte la membrane des cellules en changeant les protéines et les corps gras de membrane et en empêchant l'inhalation.

Lorsqu'on élimine les bactéries, le dioxyde de chlore pénètre dans la paroi des cellules. Les virus sont éliminés de différentes manières; le dioxyde de chlore réagit avec la peptone, une substance hydrosoluble qui provient de l'hydrolyse des protéines aux acides aminés. Le dioxyde de chlore tue les virus en empêchant la formation des protéines. Le dioxyde de chlore est plus efficace contre les virus que le chlore ou l'ozone.

Pour le traitement de l'eau potable, le dioxyde de chlore peut être utilisé à la fois comme désinfectant et comme agent d'oxydation. Il peut être utilisé pour les étapes de pré-oxydation et de post-oxydation. En ajoutant du dioxyde de chlore dans l'étape de pré-oxydation du traitement des eaux de surface, le développement des algues et des bactéries peut être évité. Le dioxyde de chlore oxyde les particules flottantes et a un effet bénéfique sur le procédé de coagulation et l'élimination de la turbidité de l'eau.

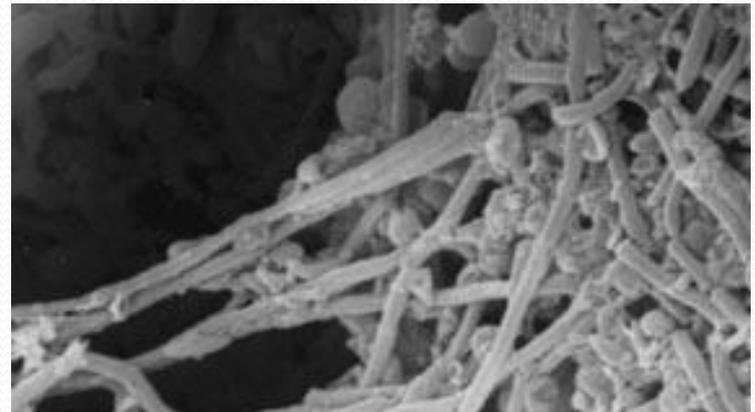


Installations au dioxyde de chlore dans le traitement de l'eau

Le dioxyde de chlore est un puissant désinfectant contre les bactéries et les virus. Dans l'eau, le dioxyde de chlore est actif en tant que biocide pour au moins 48 heures.

Le dioxyde de chlore empêche la croissance des bactéries dans le réseau de distribution de l'eau potable. C'est aussi un agent actif contre la formation de bio film dans le réseau de distribution. Un bio film est souvent très dure à défaire. Il forme une couche protectrice sur les microorganismes pathogènes. La plupart des désinfectants ne peuvent atteindre les microorganismes protégés.

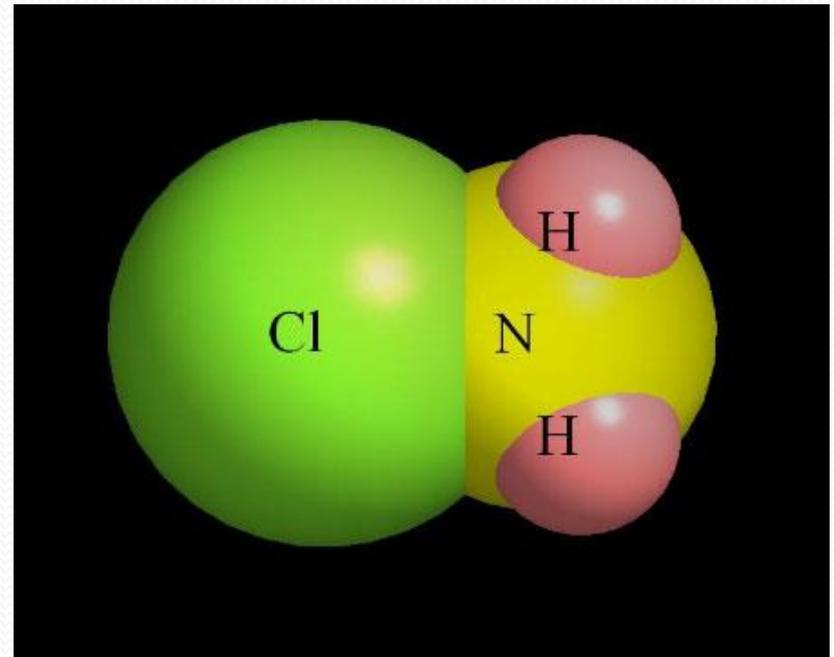
Cependant, le dioxyde de chlore élimine les bio films et tue les microorganismes pathogènes. Le dioxyde de chlore empêche aussi la formation de bio film parce qu'il reste actif dans le système pendant un long moment.



IV.1.4.4. Les chloramines NH_2Cl

Les chloramines sont formées lors d'une réaction entre le dichlore (Cl_2) et l'ammoniac (NH_3). Ce sont des amines qui contiennent au moins un atome de chlore, qui est directement lié à un atome d'azote (N). Lorsque les chloramines sont utilisées comme désinfectant, l'ammoniac est ajouté au chlore pour traiter l'eau.

Les chloramines sont aussi efficaces que le chlore pour la partie qui concerne la désactivation de bactéries ou autres micro-organismes, cependant le mécanisme de réaction est plus lent.



Les chloramines comme le chlore sont des agents oxydants. Les chloramines peuvent tuer les bactéries par pénétration de la cellule et blocage du métabolisme. Les chloramines primaires sont les plus efficaces en tant que désinfectant. Elles réagissent directement avec les aminoacides présents dans l'ADN. Pendant la désactivation des microorganismes, les chloramines détruisent les cellules qui protègent les virus. Lorsque la valeur du pH est supérieure ou égale 7, les chloramines primaires sont les chloramines présents en majorité. La valeur du pH n'influence pas l'efficacité des chloramines.

Les chloramines restent actives plus longtemps dans les canalisations. Cela provient du fait qu'il faut un long moment avant de pouvoir les casser.

Les chloramines ne provoquent pas de goûts ou d'odeurs désagréables et sont relativement inoffensifs.

Les avantages

- Peu de sous-produits créés par la désinfection
- Les chloramines restent actives pendant de longues périodes
- Les chloramines améliorent le goût et l'odeur de l'eau
- La désinfection par les chloramines peut être améliorée en augmentant la température.

Les désavantages

- Lorsque des grandes quantités de matières organiques sont présentes dans l'eau, l'azote organique permet la formation de chloramines organiques.
- Le principal désavantage des chloramines est qu'ils sont moins réactifs que le chlore pour l'élimination des microorganismes pathogènes.
- Des quantités importantes d'ammoniac servent de nutriments pour les bactéries dans l'eau, ce qui peut causer des niveaux en nitrate trop importants dans l'eau.
- Lorsque les chloramines sont éliminées chimiquement, de l'ammoniac peut persister dans certains cas, et ainsi provoquer la corrosion.

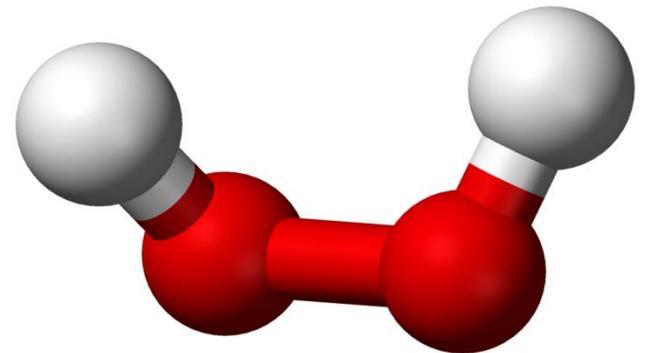
IV.1.4.5. Peroxyde d'hydrogène H₂O₂

Le peroxyde d'hydrogène est un composé polyvalent, il peut être utilisé pour beaucoup d'applications. Il peut aussi bien être utilisé pour l'air que pour l'eau, l'eau usée ou le sol. Il est parfois combiné avec d'autres agents, pour améliorer et accélérer les procédés. Le peroxyde d'hydrogène est plus communément utilisé pour éliminer les polluants de l'eau et de l'air.

Il est connu pour son importante capacité d'oxydation et son efficacité en tant que biocide. Le peroxyde d'hydrogène n'a pas souvent été utilisé pour la désinfection de l'eau destinée à la consommation, mais sa popularité semble croître.

Il est souvent combiné à un traitement par l'ozone, l'argent, ou les UV.

La plupart des gens connaissent le peroxyde d'hydrogène en tant que composé utilisé pour le blanchissement des cheveux.



Avantages

Contrairement aux autres substances chimiques, le peroxyde d'hydrogène ne produit pas de résidus ou de gaz. La sureté de son application dépend de la concentration mise en jeu, car le peroxyde d'hydrogène est complètement soluble dans l'eau.

Désavantages

- Pour des désinfections au peroxyde d'hydrogène, des concentrations très importantes sont requises.
- Le peroxyde d'hydrogène se décompose lentement en eau et en oxygène. Une élévation de la température et la présence de pollution peuvent accélérer le procédé.
- L'efficacité du peroxyde d'hydrogène dépend de plusieurs facteurs, tels que le pH, les catalyseurs, la température, la concentration en peroxyde et le temps de réaction.

IV.1.4.6. L'ionisation cuivre-argent

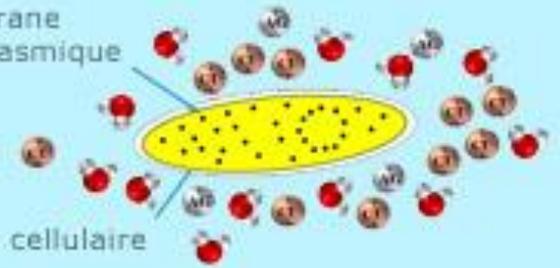
Les ions de cuivre électriquement chargés (Cu^{2+}) dans l'eau cherchent des particules de polarité opposée, telles que les bactéries, les virus et les mycètes. Les ions cuivre chargés positivement forment des composés électrostatiques avec les membranes des cellules des microorganismes chargées négativement. Ces composés modifient la perméabilité des membranes des cellules et font échouer la prise nutritive des cellules. Les ions cuivre pénètrent à l'intérieur des membranes des cellules et permettent la création d'une entrée pour les ions argent (Ag^+). Ceux-ci pénètrent le noyau du microorganisme.

Les ions argent s'assimilent à différentes parties de la cellule, telles que l'ADN et l'ARN, les protéines cellulaires et les enzymes respiratoires, provoquant l'immobilisation de tous les systèmes de vie des cellules. Cela provoque en effet l'arrêt de la croissance et de la division des cellules, causant donc l'arrêt de la multiplication des bactéries et éventuellement leur mort. Les ions restent actifs jusqu'à ce qu'ils soient absorbés par un microorganisme.

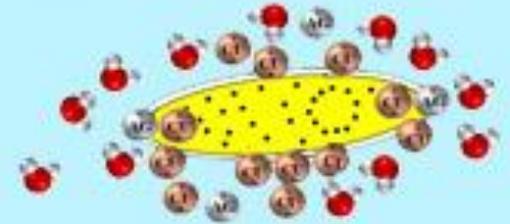
1 Micro-organisme entouré d'eau, d'ions de cuivre et d'argent

Membrane cytoplasmique

Paroi cellulaire



2 Dégénérescence du micro-organisme



3 Lyse et mort du micro-organisme



Molécule d'eau



Ion d'argent

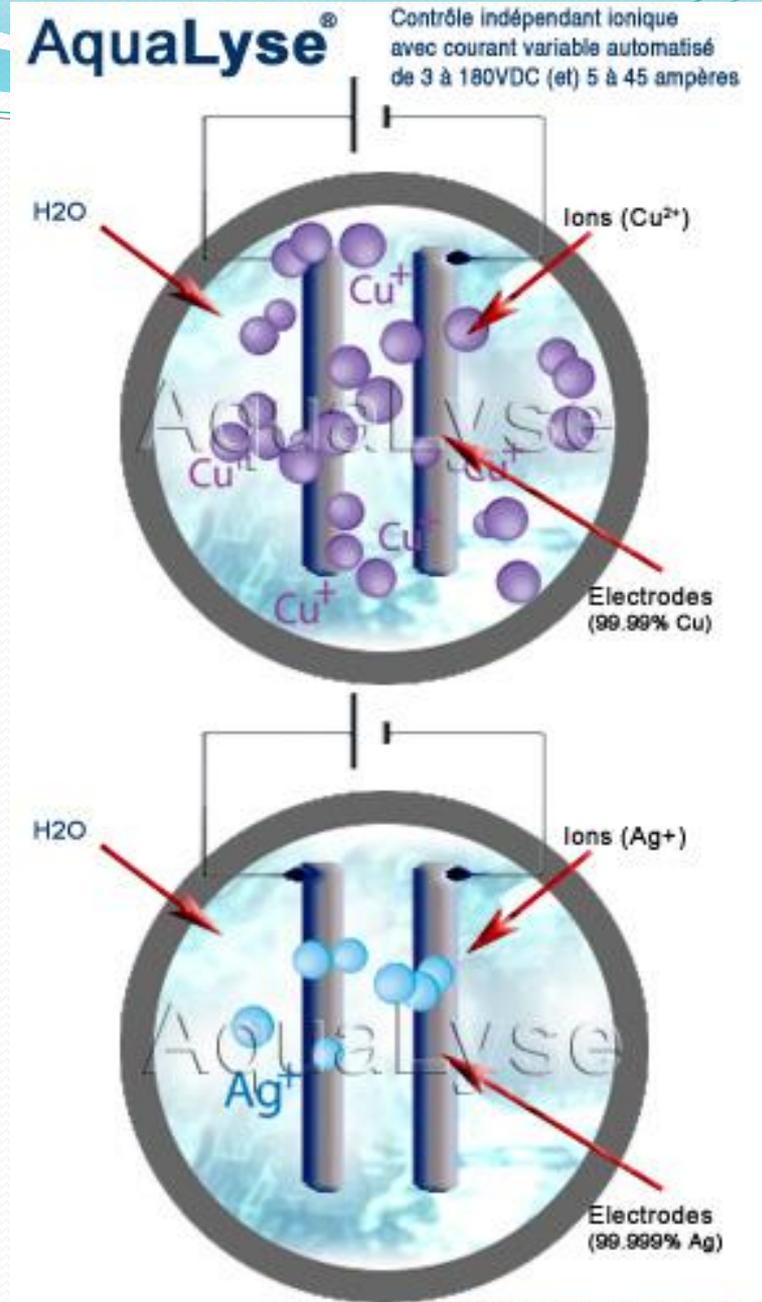


Ion de cuivre

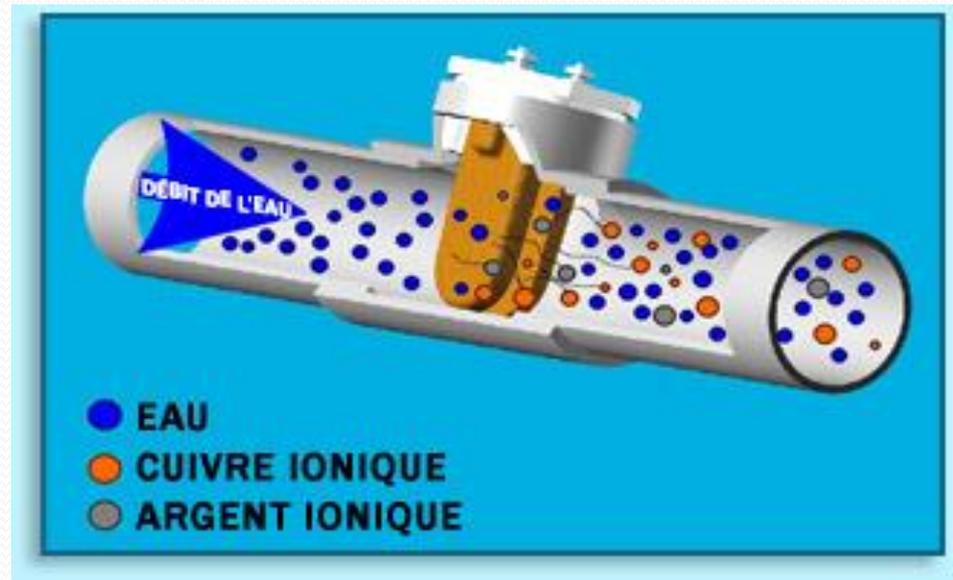
Production des ions cuivres-argent

L'ionisation cuivre-argent est provoqué par électrolyse. Un courant électrique est créé à travers le système cuivre-argent, provoquant la formation d'ions chargés positivement de cuivre et d'argent.

Pendant l'ionisation, l'atome devient cation ou anion. Lorsqu'une ionisation cuivre-argent est appliquée, des ions positivement chargés de cuivre (Cu^+ et Cu^{2+}) et d'argent (Ag^+) sont formés.



Les électrodes sont placées de manière à ce qu'elles soient proche l'une de l'autre. Le flux d'eau à désinfecter passe par ces électrodes. Un courant électrique est créé, provoquant la perte progressive d'un électron des atomes externes de l'électrode et ceux-ci devenant positivement chargé. La plus grande partie des ions s'éloignent à travers l'eau, avant de retrouver l'électrode opposée. Généralement, la quantité d'ions argent pour une quantité de cuivre oscillent entre 0.15 et 0.4 ppm est environ entre 5 et 50 ppm.



La concentration en ions est déterminée par le débit d'eau. Le nombre d'ions libérés augmente lorsque la charge électrique est plus importante.

Lorsque les ions cuivres (Cu^+) sont dissous dans l'eau, ils sont immédiatement oxydés pour former des ions Cu^{2+} . Le cuivre peut être trouvé dans l'eau sous forme libre. Il est communément lié aux particules d'eau. Les ions de cuivre (Cu^+) sont instables dans l'eau, à moins qu'un ligand stabilisant soit présent

Chambre ionique anti-légionelles
en acier inoxydable



AquaLyse[®]
Patented & Industrial Size Copper Silver Ion Chamber Cell
© 2008 – ProCare Water Treatment Inc.

Avantages

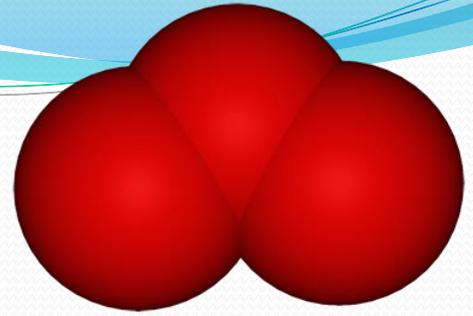
L'ionisation cuivre-argent désactive effectivement les bactéries *Legionella* et le biofilm et améliore la qualité de l'eau. Elle a un plus large effet résiduel que la plupart des autres désinfectants. Les ions cuivre et argent restent dans l'eau pendant une longue période. En raison de leur efficacité locale, l'effet est plus large que celui des UV. L'efficacité de ce système ne dépend pas de la température. Lorsque le système cuivre-argent est utilisé, la maintenance du système d'eau devient moins importante. Le cuivre-argent n'est pas corrosif. En raison d'une baisse de l'utilisation de produits chimiques, les vannes et les pompes ne sont pas affectées.

Désavantages

L'efficacité du système cuivre-argent dépend de la valeur du pH de l'eau. Pour une valeur du pH de 9, seulement un dixième des bactéries *Legionella* sont éliminés. Lorsque la concentration en solides dissous est élevée, l'argent a de fortes chances de précipiter. Cela signifie que les ions argent ne sont alors plus efficaces pour la désinfection. Les ions argent réagissent aisément avec les chlorures et les nitrates qui sont présents dans l'eau, et sont donc désactivés. Certaines espèces de microorganismes peuvent devenir résistantes aux ions argent.

Pour tuer efficacement les microorganismes pathogènes, les ions cuivre et argent devraient être présents dans la totalité du système de traitement de l'eau. Lorsque le système utilisé est petit et que le débit est assez lent, ou lorsque il y a des points morts dans le système, cela peut poser des problèmes pour la désinfection.

IV.1.4.7. Désinfection par l'ozone O₃



L'ozone est un gaz instable composé de molécules d'oxygène triatomique. Puisque l'ozone se décompose rapidement en oxygène, on doit le produire immédiatement avant son utilisation, grâce à l'émission d'un effluve électrique sous haute tension dans une atmosphère contenant de l'air sec. Dans la production de l'ozone, les coûts imputables à l'énergie électrique utilisée et à l'entretien sont très importants.

Le pouvoir désinfectant de l'ozone est de 10 à 100 fois supérieur à celui du chlore, et ce pour tous les types de microorganismes. Il est même efficace contre les spores et les kystes, qui sont pourtant les microorganismes les plus résistants.

Étant donné le faible nombre d'études effectuées à ce sujet, on connaît mal le comportement de l'ozone en fonction des variations du pH de l'eau. Il semble cependant que le pouvoir désinfectant de l'ozone ne soit pas affecté dans la plage de pH située entre 6 et 8.5. On ne connaît pas davantage l'influence de la température sur le pouvoir désinfectant de l'ozone. Néanmoins, on sait que, à des températures élevées, l'ozone est moins stable et que le transfert de l'ozone à l'eau est plus difficile, puisque sa solubilité dans l'eau est réduite.



Générateur d'ozone

La quantité d'ozone qu'on doit ajouter à l'eau pour obtenir une bonne désinfection varie d'une eau à l'autre en fonction de la demande d'ozone due aux matières organiques et inorganiques oxydées par l'ozone. Tout comme pour le chlore, on suggère donc de maintenir une certaine concentration résiduelle après un temps de contact déterminé. Ainsi, à l'usine de traitement des eaux *Charles-J. Des Bailleurs*, à Montréal, on maintient une concentration résiduelle d'ozone de 0,4 mg/l après un temps de contact de 5 à 8 min.

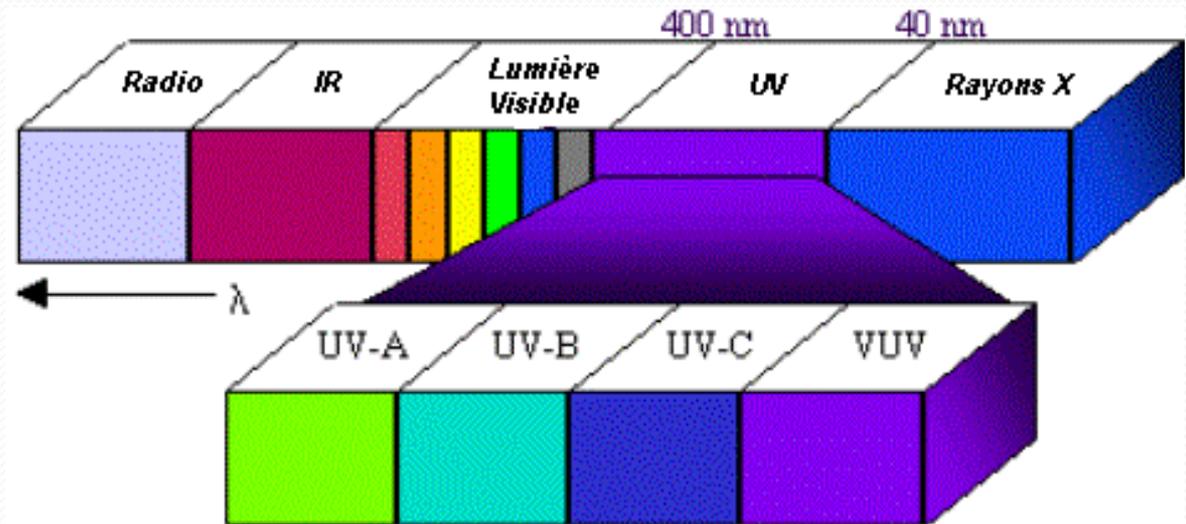


Générateurs d'ozone de l'usine de traitement des eaux Charles-J. Des Bailleurs

IV.1.4.8. Désinfection par rayonnement Ultra-violet

Durant les 100 dernières années, la science a pu identifier les effets bactéricides du rayonnement UV du spectre électromagnétique.

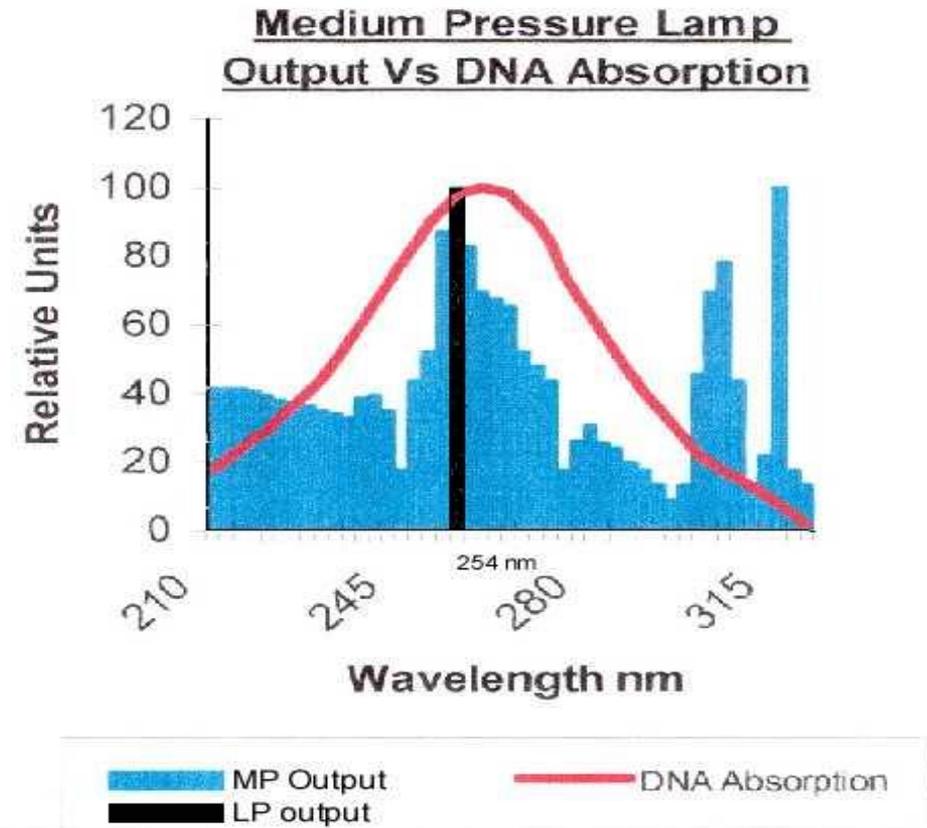
Les longueurs d'ondes spécifiques responsables de ces effets sont celles situées entre 240 et 280 nm, avec un pic à 253.7 nm. Ces longueurs d'onde sont situées dans le domaines des UV-C.



Localisation des UV-C dans le spectre électromagnétique.

a) Effet du rayonnement UV

Lorsqu'un micro-organisme est exposé à un rayonnement UV-C, le noyau de la cellule est atteint, et la duplication de l'ADN est stoppée. Les rayonnements UV ont un effet sur l'ADN, l'acide nucléique et les enzymes. Les organismes pathogènes sont donc inactivés ou détruits.

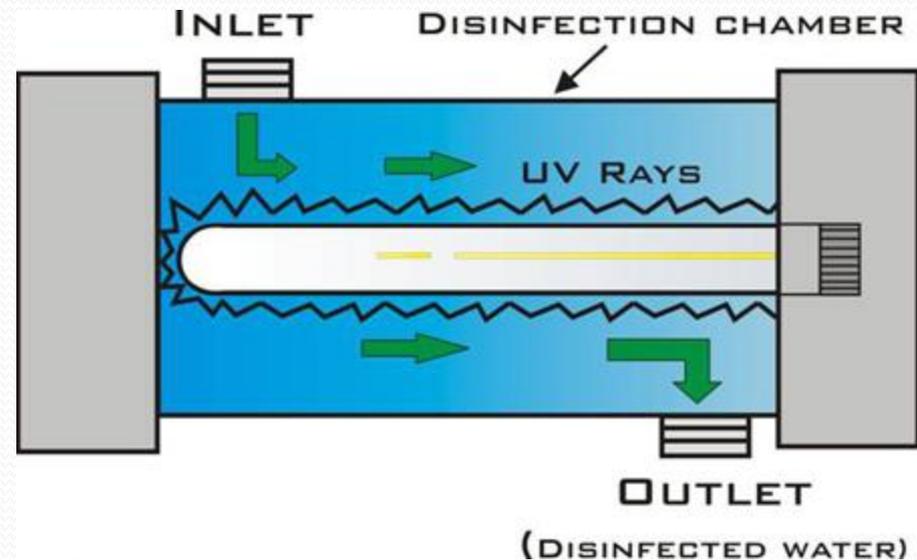


Distribution des longueurs d'ondes émises par des lampes basse pression (noir) et moyenne pression (bleu). La courbe rouge représente le spectre d'absorption de l'ADN.

b) Production d'UV-C

Les sources d'UV-C sont typiquement des tubes de type néon, contenant du quartz et de la silice, d'un diamètre allant de 15 à 25 mm pour une longueur de 100 à 1200 mm. Ce tube est rempli d'un gaz chargé de vapeur de mercure.

Les lampes basses pression sont seulement capables de produire 2 raies, à 185 et 254 nm. Une augmentation de la tension d'alimentation provoque rapidement un échauffement de la lampe; entraînant ainsi une augmentation de la pression dans la lampe. On obtient ainsi un spectre typique moyenne pression.



c) Dose d'exposition

La dose d'exposition s'exprime par le produit de l'intensité du rayonnement (énergie par unité de surface) par le temps d'exposition.
soit :

$$\text{DOSE} = I \times T \quad (\text{IV.1})$$

Avec :

I : l'intensité du rayonnement

T : le temps d'exposition

L'unité couramment utilisée est le mJ/cm², équivalent à 1000 micro watt seconde/cm².

d) Relation dose d'exposition/ effets destructifs

La relation entre la dose d'exposition et l'effet destructif sur un type de micro-organisme visé est donnée par la formule suivante :

$$N/N_0 = e^{-KD} \quad (IV.2)$$

Où :

N= Nombre de micro-organismes après traitement

No = Nombre initial de micro-organismes visés

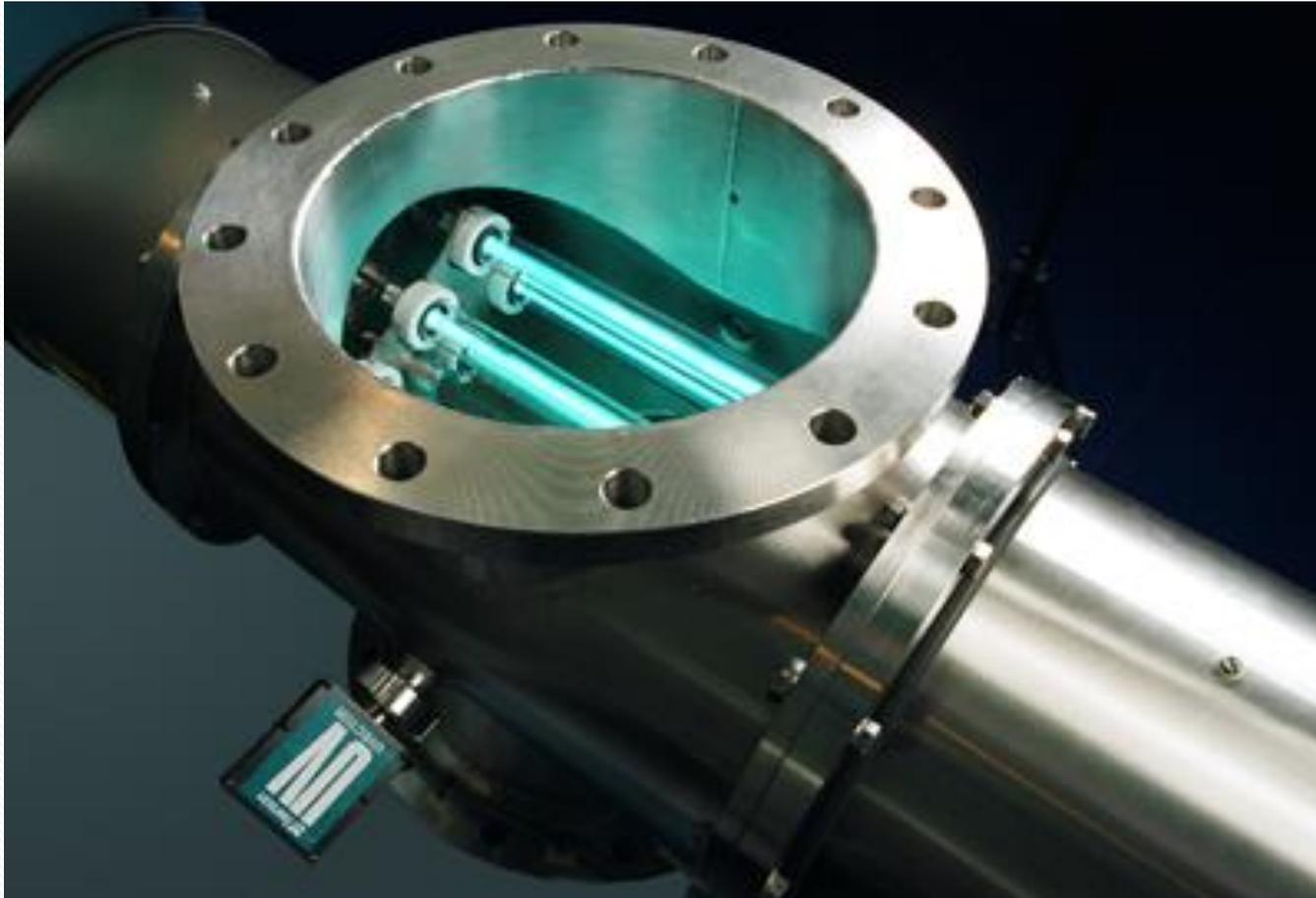
K = Constante associée au type de micro-organisme

D = Dose

La relation ci-dessus indique donc que doubler la dose d'exposition multiplie l'effet destructif par 10. Pour augmenter l'effet destructif de 90 à 99%, il faut donc doubler la dose. Pour passer à 99,9% il faudra la tripler, etc.



Fonctionnement d'un désinfecteur UV



Fonctionnement d'un désinfecteur UV



Désinfection par rayonnement Ultra-violet,
pour consommation domestique



Plus grand système de désinfection par rayon UV , installé dans une usine de traitement de l'eau en Allemagne. Chacune des quatre chambres désinfecte jusqu'à 1060 m³/h



Trojan Technologies Europe a fourni, pour la ville de Rotterdam, la plus grande installation de traitement UV en Europe. Les 24 réacteurs (2 x 12) UV Swift peuvent traiter 16'000 m³/h.



Installation de désinfection par UV



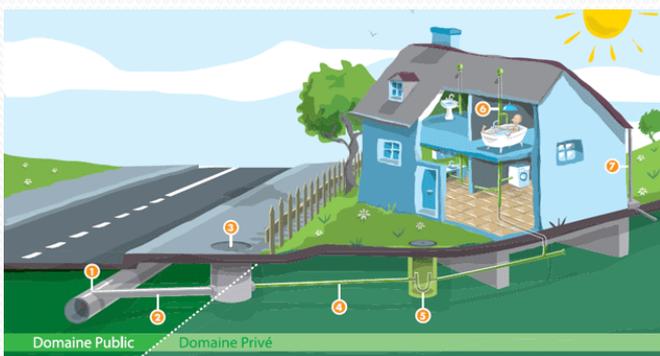
Installation de désinfection par UV

Partie 2 : Epuration de l'eau

Chapitre I : Généralités sur les origines des eaux usées.

I.1- LES EAUX USÉES

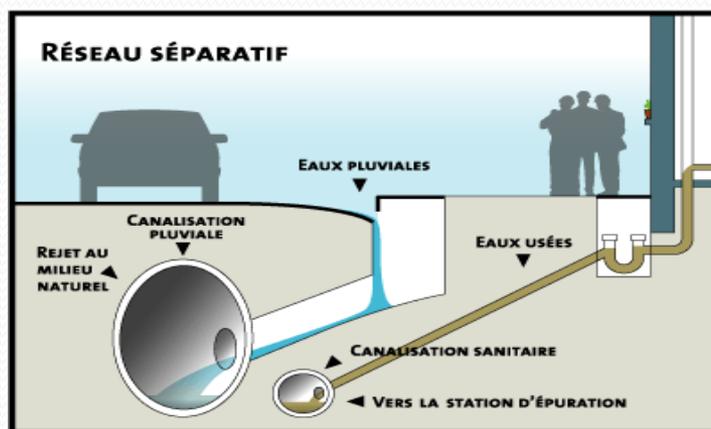
Les effluents à traiter ont des origines différentes, on distingue trois grandes catégories d'eaux usées :



les eaux domestiques,



les eaux industrielles,



les eaux pluviales.

I.1.1- Les eaux usées domestiques

Elles proviennent des différents usages domestiques de l'eau. Elles sont essentiellement porteuses de pollution organique. Elles se répartissent en eaux ménagères, qui ont pour origine les salles de bains et les cuisines, et sont généralement chargées de détergents, de graisses, de solvants, de débris organiques, etc. et en eaux "vannes" ; il s'agit des rejets des toilettes, chargés de diverses matières organiques azotées et de germes fécaux.



La pollution journalière produite par une personne utilisant de 150 à 200 litres d'eau est évaluée à :

- a) de 70 à 90 grammes de matières en suspension
- b) de 60 à 70 grammes de matières organiques
- c) de 15 à 17 grammes de matières azotées
- d) 4 grammes de phosphore
- e) plusieurs milliards de germes pour 100 ml.

I.1.2- Les eaux industrielles

Elles sont très différentes des eaux usées domestiques. Leurs caractéristiques varient d'une industrie à l'autre. En plus de matières organiques, azotées ou phosphorées, elles peuvent également contenir des produits toxiques, des solvants, des métaux lourds, des micropolluants organiques, des hydrocarbures. Certaines d'entre elles doivent faire l'objet d'un prétraitement de la part des industriels avant d'être rejetées dans les réseaux de collecte. Elles sont mêlées aux eaux domestiques que lorsqu'elles ne présentent plus de danger pour les réseaux de collecte et ne perturbent pas le fonctionnement des usines de dépollution.

I.1.3- Les eaux pluviales

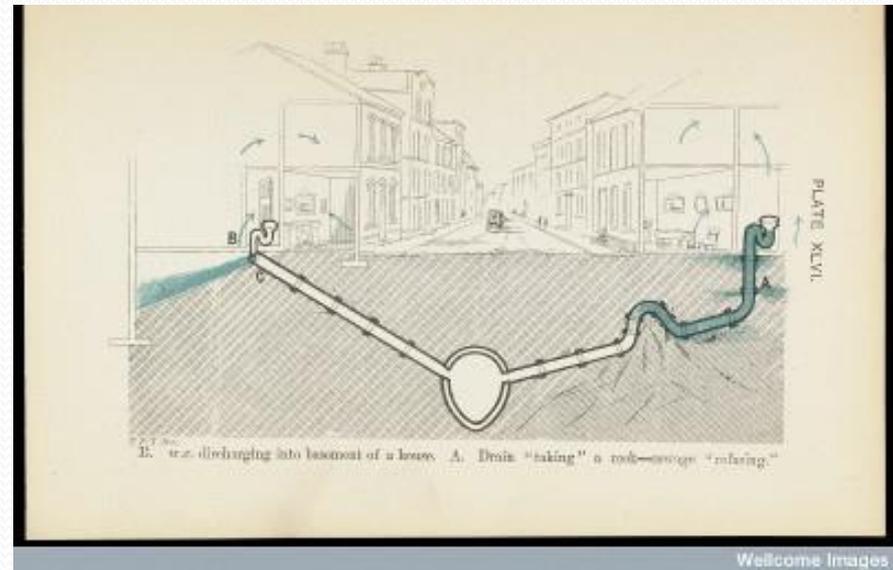
Elles peuvent, elles aussi, constituer la cause de pollutions importantes des cours d'eau, notamment pendant les périodes orageuses. L'eau de pluie se charge d'impuretés au contact de l'air (fumées industrielles), puis, en ruisselant, des résidus déposés sur les toits et les chaussées des villes (huiles de vidange, carburants, résidus de pneus et métaux lourds...). En outre, lorsque le système d'assainissement est dit "unitaire", les eaux pluviales sont mêlées aux eaux usées domestiques. En cas de fortes précipitations, les contraintes de préservation des installations d'épuration peuvent imposer un déversement ("délestage") de ce "mélange" très pollué dans le milieu naturel. Enfin, dans les zones urbaines, les surfaces construites rendent les sols imperméables et ajoutent le risque d'inondation à celui de la pollution.

I.2- LE RÉSEAU D'ASSAINISSEMENT URBAIN

I.2.1- Définition

Lorsqu'elles sont rejetées par des habitations groupées au sein d'une agglomération, les eaux usées sont prises en charge par un assainissement collectif, équipement indispensable à la salubrité publique en zone urbaine.

Il comprend un dispositif de collecte et d'évacuation des eaux résiduaires, le réseau d'égouts, qui aboutit au dispositif de traitement, la station d'épuration.



Wellcome Images

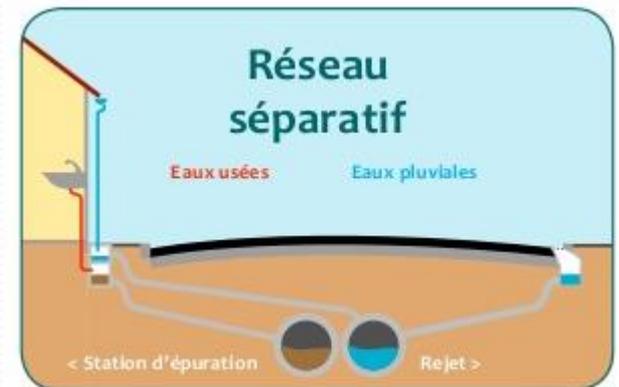
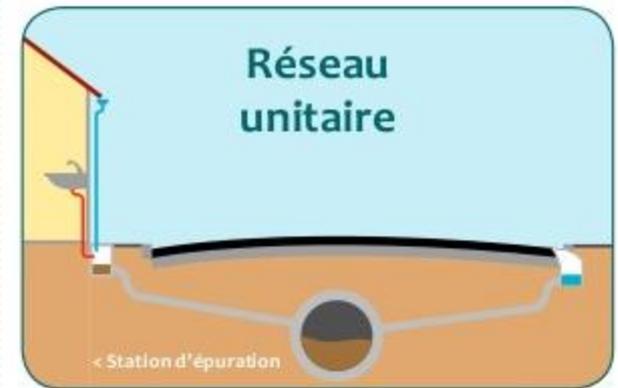
Aux eaux usées domestiques s'ajoutent les eaux collectives rejetées par les hôpitaux, commerces... Des industries peuvent également être raccordées au réseau d'égouts si la capacité de la station d'épuration le permet et si la nature des eaux usées est compatible avec le traitement



Il existe trois grands types de réseaux d'assainissement :

i. **Le réseau unitaire** : qui reçoit et évacue, en mélange, les eaux usées et les eaux pluviales. C'est celui qui équipe la plupart des centres villes et qui représente la partie la plus fragile du système.

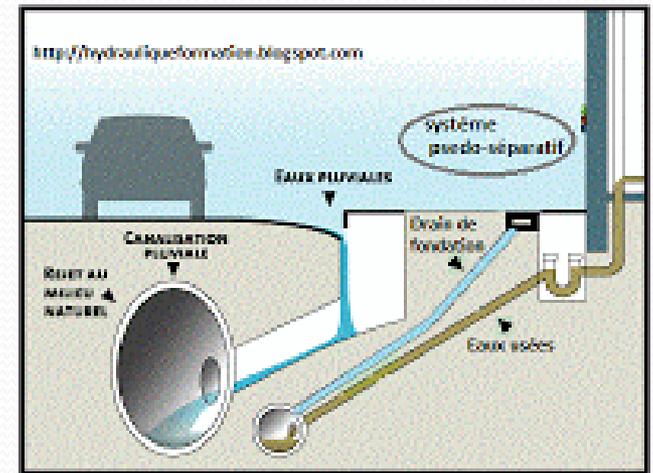
ii. **Le réseau séparatif**: qui est composé de deux collecteurs séparés, (un pour les eaux pluviales, un pour les eaux usées).



iii. Système pseudo-séparatif :

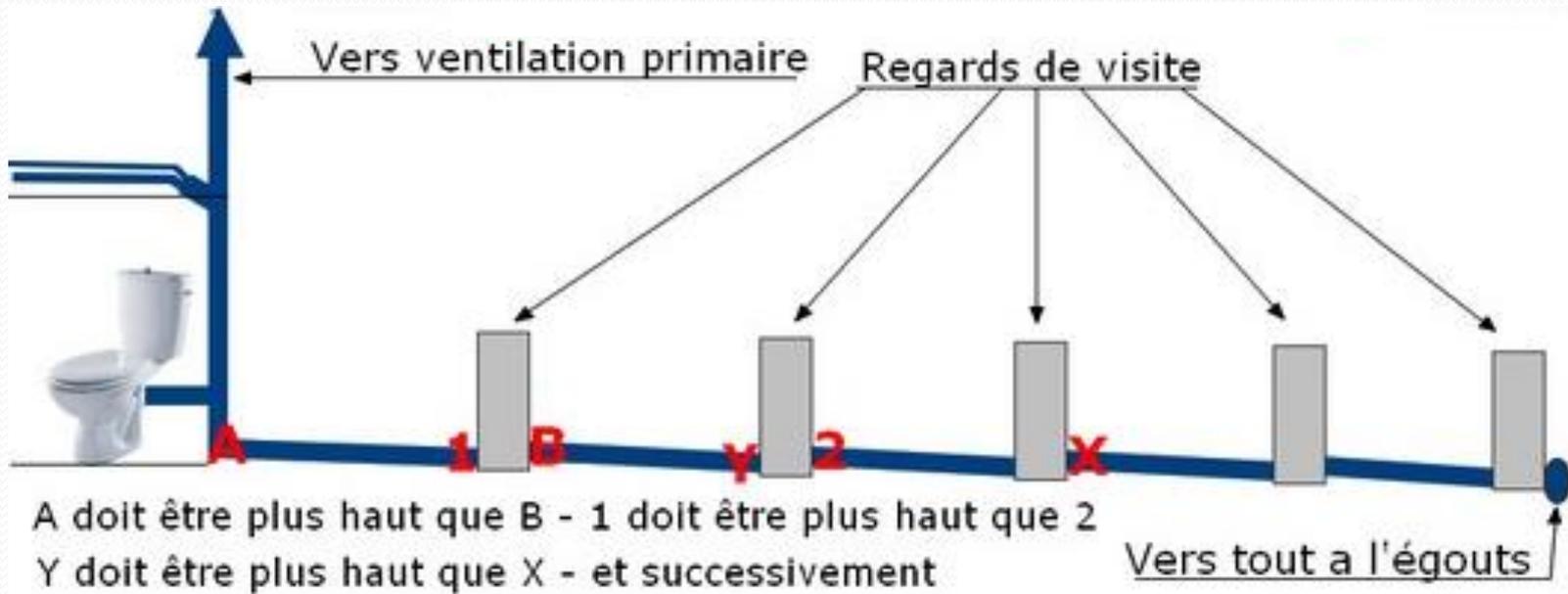
Les eaux météoriques y sont divisées en deux parties :

- D'une part, les eaux provenant des surfaces de voiries qui s'écoulent par des ouvrages conçus à cet effet : caniveaux, fossés, etc ...
- D'autre part, les eaux des toitures, cours, jardins qui déversent dans le réseau d'assainissement à l'aide des mêmes branchements que ceux des eaux usées domestiques

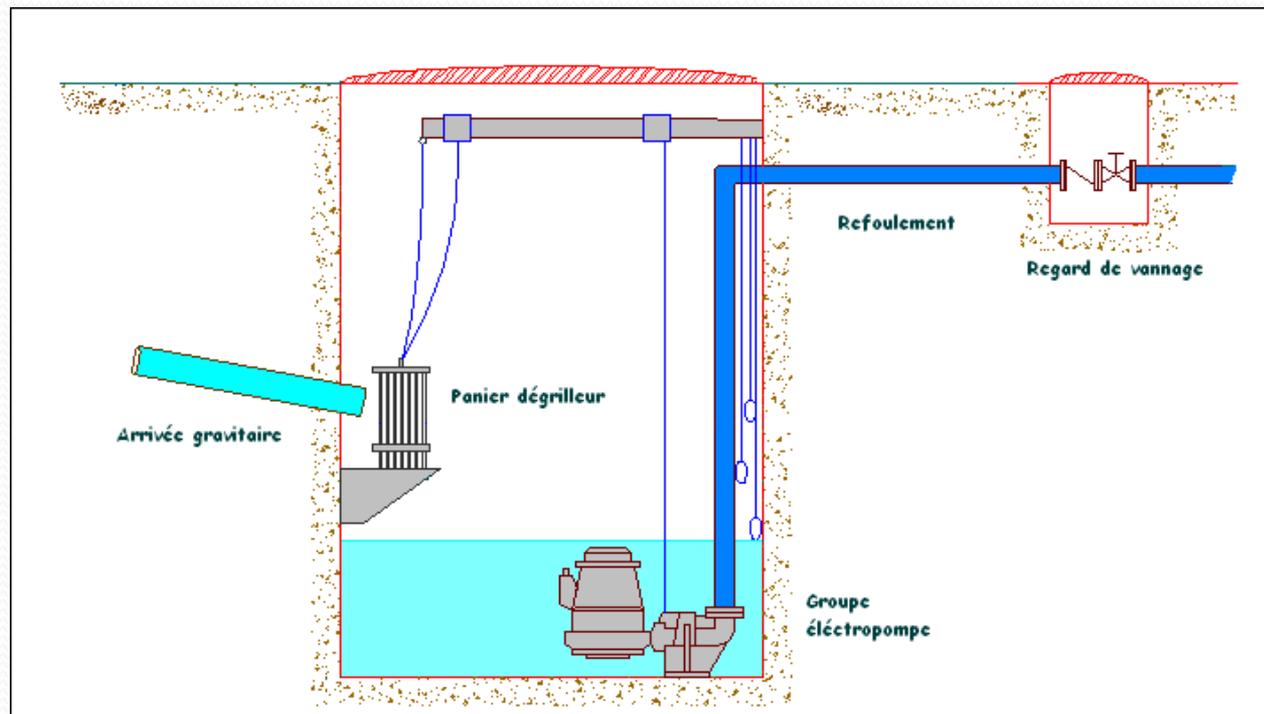


| Système | Avantages | Inconvénients |
|------------------|--|--|
| Séparatif | <ul style="list-style-type: none"> • Permet d'évacuer rapidement les eaux • Assure à la STEP un fonctionnement régulier | <ul style="list-style-type: none"> • Risques d'erreurs de branchement • Investissement important pour mise en place de 2 réseaux |
| Unitaire | <ul style="list-style-type: none"> • Simple • Un seul réseau • Pas de risques d'erreur de branchement | <ul style="list-style-type: none"> • Dilution des eaux de la STEP en période pluvieuse (débit très variable) • Ouvrages importants |
| Pseudo-séparatif | <ul style="list-style-type: none"> • Eaux usées et eaux de ruissellement des habitations combinées • Pas de risques d'erreurs de branchement | <p>Investissement important pour mise en place de 2 réseaux</p> |

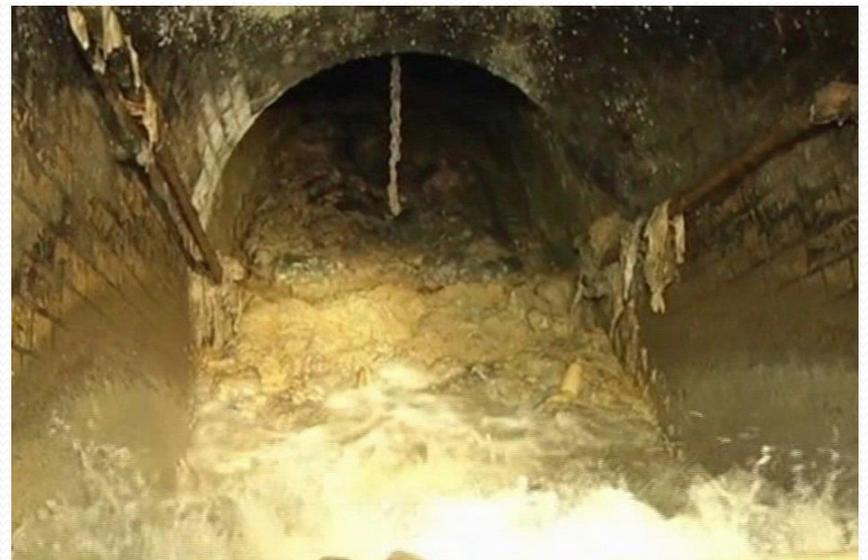
L'eau s'écoule, dans les réseaux, selon la pente imposée au collecteur à la construction. Lorsqu'il devient trop profond, un pompage remonte les eaux qui reprennent leur écoulement gravitaire.



Ainsi, si la topographie le permet, pour franchir un obstacle important ou une grande distance sans collecte, le réseau est équipé de postes de pompage refoulant dans une conduite dite “en charge”, c’est-à-dire pleine et sous pression.



Dans le cas des réseaux unitaires, la conséquence des fortes pluies est considérable. Le diamètre des canalisations est calculé sur la base du débit maximal à évacuer, c'est-à-dire du débit pluvial. Par temps sec, ce diamètre important conduit à ralentir l'écoulement favorisant les dépôts dans les canalisations.



I.3- DÉVERSOIR D'ORAGE

I.3.1- Définition

Le déversoir d'orage est un ouvrage permettant le rejet direct d'une partie des effluents au milieu naturel lorsque le débit à l'amont dépasse une certaine valeur.

Les déversoirs d'orage sont généralement installés sur les réseaux unitaires dans le but de limiter les apports au réseau aval et en particulier dans la STEP en cas de pluie.

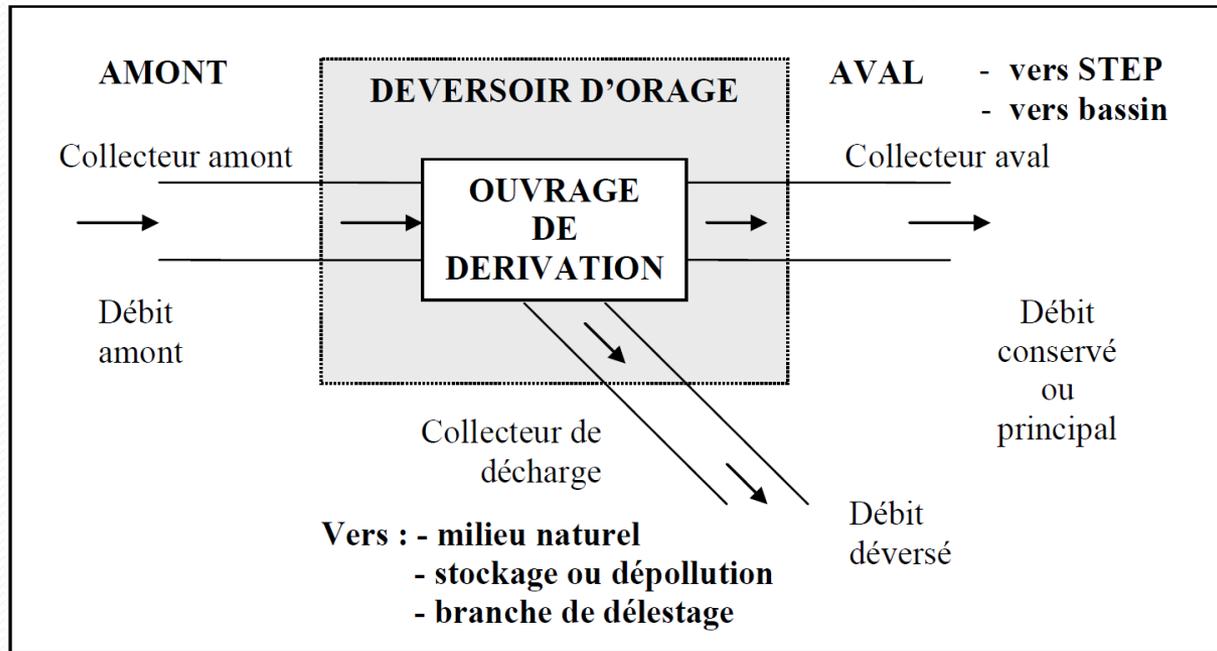
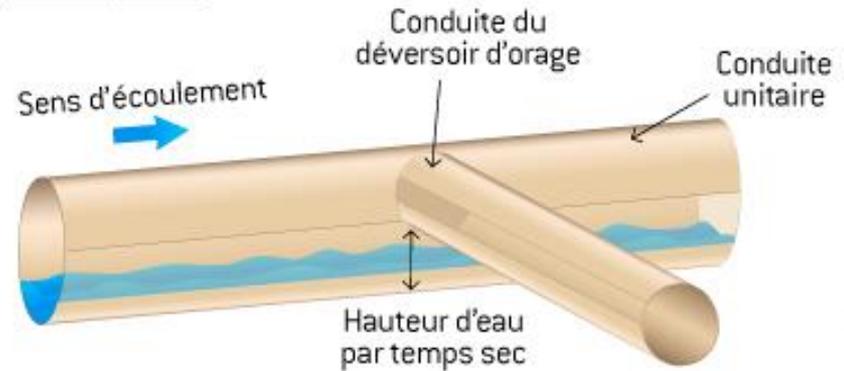


Schéma de principe du déversoir d'orage

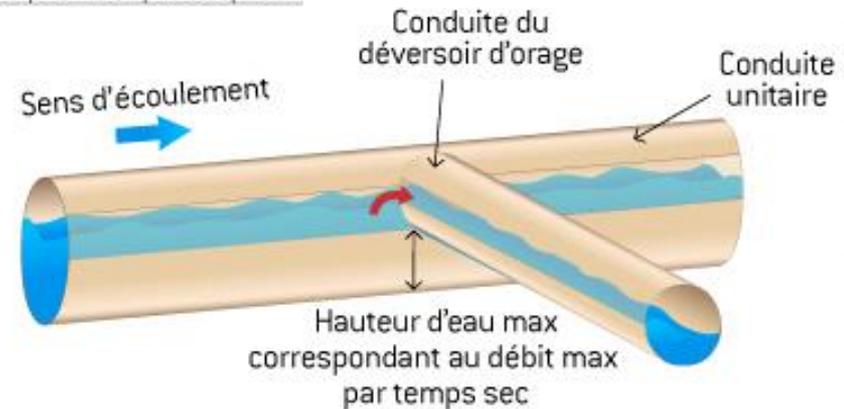
Un déversoir d'orage est donc un ouvrage de contrôle permettant une régulation hydraulique des effluents en réseau d'assainissement. Il dérive une partie des effluents lorsque le débit à l'amont dépasse une certaine valeur que l'on appelle "débit de référence". Le débit dérivé peut sortir complètement du système d'assainissement, soit y être réinjecté après stockage dans le bassin.

Déversoir d'orage

• Cas par temps sec



• Cas par temps de pluie





Exemples de déversoir

I.3.2- Fonctions

Un déversoir d'orage doit donc assurer quatre fonctions principales :

- I. laisser transiter le débit des eaux usées de temps sec sans surverse et sans trop faire chuter la vitesse de l'écoulement afin de limiter la décantation des matières en suspension présentes dans l'effluent,
- II. laisser transiter les eaux usées et celles de petites pluies sans surverse jusqu'au débit de référence, c'est à dire le débit maximal admis à l'aval,
- III. déverser le débit excédentaire de pluie (au delà du débit de référence) sans mise en charge et décantation dans la conduite amont et sans surcharge excessive de débit dans le réseau à l'aval,
- IV. Empêcher l'entrée d'eau en provenance du milieu naturel.

I.4- CARACTÉRISTIQUES DES EFFLUENTS À TRAITER

I.4.1- Généralités

L'étude des caractéristiques de l'effluent à traiter repose sur les paramètres suivants :

- Définir une situation actuelle.
- Définir une situation prochaine.
- Définir une situation future.
- Réseau unitaire ou séparatif, comportement et fonctionnement des déversoirs d'orage et des réservoirs intermédiaires de stockage (s'il existent).
- Populations raccordées en situation actuelle, prochaine et future.
- Identifier et quantifier les éventuelles pollutions dues aux activités industrielles ou artisanales en situation actuelle, prochaine et future.



I.4.2- Les polluants rencontrés dans les eaux résiduaires

L'origine des eaux usées entrant dans la STEP est diverse, ce qui rend la nature des pollutions qui rentrent dans la station par le biais des eaux résiduaires et qu'il faut traiter est aussi variée et complexe. L'épuration a pour but de réduire ces pollutions afin de permettre aux eaux épurées d'être acceptables par le milieu récepteur. Les principaux types de pollution retrouvées dans les influents sont rapportés dans le Tableau I-1.



Tableau I-1 : Description des principaux types de pollution des eaux résiduaires entrant dans les STEP (établi par Boeglin en 1998)

| Nature de la pollution | Origine | Effets sur l'environnement |
|--|--|--|
| Pollution organique non toxique en elle-même | Eaux usées domestiques et industrielles | Leur dégradation par voie bactérienne consomme de l'oxygène dissous dans l'eau, entraînant la mort des poissons par asphyxie et le développement de fermentations anaérobies génératrices de nuisances |
| Pollution azotée et phosphorée | Dégradation des molécules organiques azotées, ammoniacque | Elle est à l'origine des phénomènes d'eutrophisation : développement et croissance excessive d'algues et de plancton dans les milieux récepteurs : lacs, rivières et zone côtière |
| Pollution toxique et substances dangereuses | <p>Micropolluants organiques :</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ Les produits phytosanitaires ○ Les biocides ○ les hydrocarbures ○ les biphényles polychlorés ○ les dioxines | Les effets sur les organismes vivants peuvent être toxiques à de très faibles concentrations. Les effets sont très variables car ils ne dépendent pas uniquement du niveau de concentration mais aussi d'autres caractéristiques comme leur biodisponibilité, bioaccumulation, persistance, spéciation, etc... |
| | <p>Micropolluants minéraux</p> <p>Micropolluants organométalliques</p> | |
| Pollution par les matières en suspensions | Rejets urbains et industriels | Elle provoque des dépôts et des envasements nuisibles à la navigation, le colmatage des voies respiratoire des poissons et l'augmentation de la turbidité de l'eau gênant la pénétration de la lumière nécessaire à la photosynthèse |

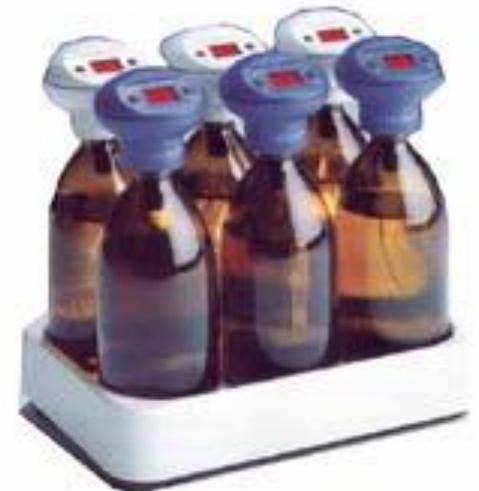
| | | |
|---------------------------|--|--|
| Pollution microbiologique | Mauvais raccordements au réseau d'assainissement, rejets de station d'épuration, ... | Certaines bactéries et virus sont pathogènes pour l'homme |
| Pollution acide | Pollution atmosphérique, engrais azotés, rejets urbains et industriels | Elle peut entraîner une augmentation des formes dissoutes des micropolluants minéraux et accroître leur réactivité, biodisponibilité et toxicité |
| Pollution saline | Rejets industriels | Elle peut conduire à des chocs osmotiques susceptibles de perturber la faune et la flore locale du milieu récepteur |
| Pollution thermique | Rejets industriels | Elle influence la solubilité de l'oxygène et l'équilibre biologique du milieu |
| Pollution radioactive | Rejets industriels | Elle peut être très acide. Elle perturbe l'environnement |

I.4.3- Paramètres de la pollution des eaux résiduaires

La DCO : la demande chimique en oxygène est une oxydation à chaud par un oxydant puissant. Elle indique la quantité totale d'oxygène qui sera consommée par l'échantillon dans les conditions opératoires de l'analyse.



DBO₅ : La demande biochimique en oxygène est la mesure de la quantité d'oxygène requise pour oxyder la matière organique (végétale, animale, etc.), de même que la matière inorganique (sulfures, sels ferreux, etc.) dans un échantillon aqueux. C'est un paramètre très utilisé dans le contrôle de la pollution organique provenant des effluents industriels et urbains.

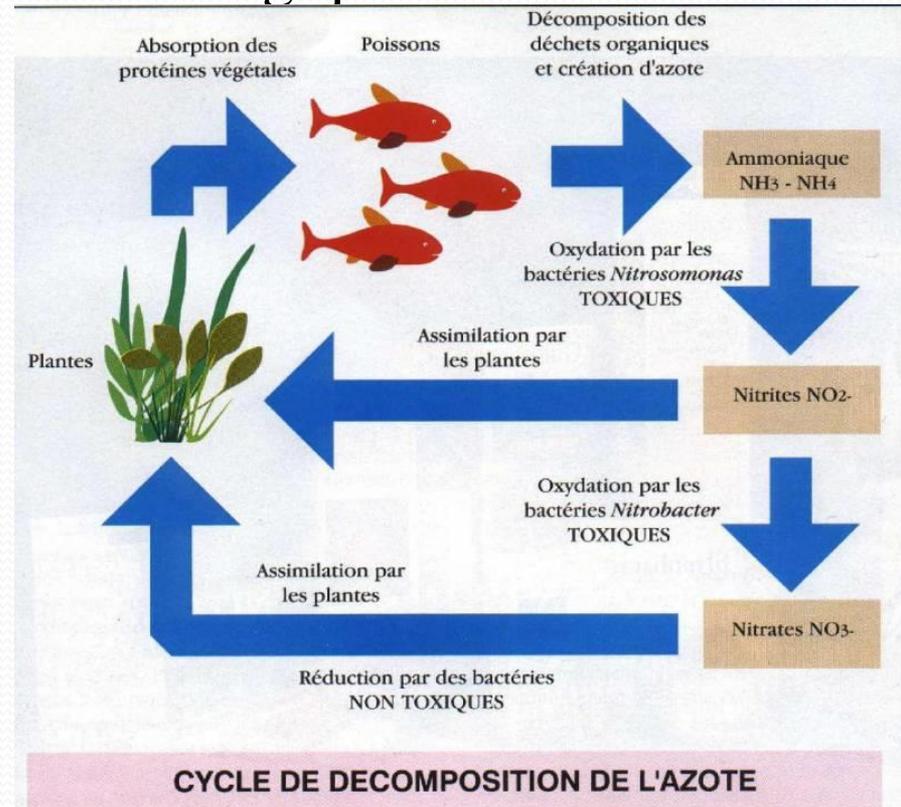


MVS : Les matières volatiles en suspension représentent la masse de partie organique (donc biodégradable) des matières en suspension. Elles sont obtenues par différence entre les MES et leurs résidus secs après passage au four à 550°C; expression des résultats en mg/L ou en pour cent des MES. Les MVS sont utilisées pour déterminer la part de matière organique présente dans les MES permettant d'estimer la stabilité des boues, c'est à dire leur capacités à ne pas fermenter.



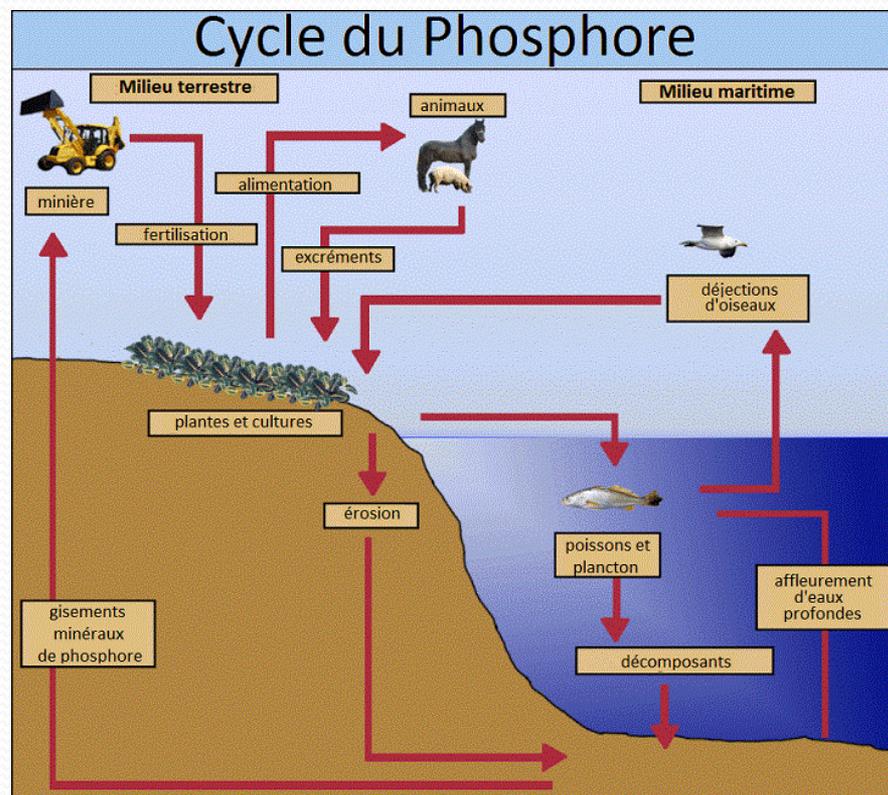
NTK : azote total Kjeldahl est une appellation qui désigne la somme de l'azote ammoniacal et de l'azote organique ($N_{org} + N-NH_4$). Par la méthode Kjeldahl, l'azote ammoniacal et l'azote organique sont dosés simultanément. Ces deux formes d'azote sont présentes dans les débris organiques soumis aux processus biologiques naturels.

La présence d'azote organique dans les eaux résiduaires provient des abattoirs, de certaines usines chimiques utilisant de l'azote organique dérivé des protéines animales, de la décomposition de la matière organique et l'épandage d'engrais.



Pt : Le phosphore total est la somme du phosphore organique et le phosphore minéral. En d'autres termes c'est l'ensemble du phosphore présent dans un échantillon sous forme de phosphates ou de composé organophosphorés.

La présence du phosphore dans les effluents industriels provient surtout des détergents, des engrais et de la décomposition de la matière organique.



I.4.3- Paramètres caractéristiques des effluents à traiter

a) Le Débit (Q) : C'est un volume par unité de temps (m^3/j - m^3/h - l/s).

- Débit moyen horaire de temps sec : débit moyen horaire reçu par la station

$$Q_{mh} = \frac{Q_{jour}}{24} \quad (I.1)$$

- Débit de pointe horaire de temps sec : débit horaire maxi reçu par la station.

$$Q_{pts} = Q_{mh} * C_{pEU} \quad (I.2)$$

$$C_{pEU} = 1,5 + \frac{2,5}{\sqrt{\frac{Q_{jour}}{86,4}}}$$

b) La Concentration (C) : C'est une masse par unité de volume (mg/l - g/l = kg/m³). Ce paramètre renseigne sur la qualité de l'effluent.

c) Le Flux (ou charge) (F) : C'est le produit du débit (Q) par la concentration (C) (kg/j).

$$F = C \times Q \quad (I.3)$$

Remarque : il faut maintenir des unités identiques :

$$\text{kg/j} = \text{kg/m}^3 \times \text{m}^3/\text{j}.$$

C'est un paramètre important qui renseigne sur la quantité de pollution.

Exemple : une concentration en matières de suspension de 30 mg/l, et un débit de 200 m³/j, donnera un flux de matières en suspension de :

$$C = 30 \text{ mg/l} = 30 \text{ g/m}^3 = 0,3 \text{ kg/m}^3$$

$$F = C \times Q = 0,03 \times 200 = 6 \text{ kg/j}.$$

d) La charge hydraulique de la station : C'est le rapport du débit reçu sur la capacité hydraulique nominale de la station. Elle s'exprime en % de la capacité nominale.

Exemple : une station de capacité nominale 10000 m³/j reçoit un débit de 3000 m³/j.

$$\text{La charge hydraulique} : \frac{3000}{10000} = 30 \%$$

e) La charge organique de la station : C'est le rapport de la pollution reçue sur la capacité nominale de la station elle s'exprime en % du flux nominal en DBO₅.

Exemple : une station de capacité nominale 1000 kg DBO₅/j reçoit une charge en pollution de 250 kg/j (DBO₅)

$$\text{La charge organique} \frac{250}{1000} = 25 \%$$

f) Le rendement épuratoire de la station : C'est le rapport de la pollution éliminée dans la station sur la pollution reçue. Il définit les performances de la station.

Exemple : une station reçoit une charge en matières en suspension de 250 kg/j (DBO₅). Elle rejette une charge de 15 kg/j.

Le rendement épuratoire sera : $\frac{250 - 15}{250} = 94 \%$

g) La charge massique C_m :

C'est le rapport de la charge en DBO_5 reçue sur la quantité de boues présente dans le bassin d'aération.

$$C_m = \frac{\text{nourriture}}{\text{boues}} = \frac{\text{kg } DBO_5 \text{ reçue}}{\text{kg MVS (bassin d'aération)}} \quad (I.4)$$

elle caractérise l'équilibre biologique du traitement

Exemple : une station équipée d'un bassin d'aération de $5\,150\text{ m}^3$ avec une concentration en boues activées de $4,3\text{ g/l}$ et un taux de MVS (matières organiques = matières actives des boues) de 75% , reçoit une charge polluante de $1000\text{ kg } DBO_5/\text{j}$:

quantité de boues = volume du bassin x concentration en MVS =

$$5\,150 \times 4,3 \times 0,75 = \text{environ } 16\,610\text{ kg MVS}$$

$$C_m = \frac{1000}{16610} = 0,06\text{ kg } DBO_5 / \text{kg MVS} / \text{jour}$$

h) La charge volumique C_v :

C'est le rapport de la charge en DBO_5 reçue sur le volume du bassin d'aération.

$$C_v = \frac{\text{kg } DBO_5 \text{ reçue}}{\text{m}^3 \text{ (bassin d'aération)}} \quad (I.5)$$

C_v : permet d'estimer la capacité du bassin d'aération

Exemple : Une station équipée d'un bassin d'aération de 5 150 m^3 , reçoit une charge polluante de 1000 $\text{kg } DBO_5/\text{j}$.

$$C_v = \frac{1000}{5150} = 0,195 \text{ kg } DBO_5 / \text{m}^3 \cdot \text{j}$$

Des charges massique et volumique faibles témoignent d'un ratio nourriture/boues favorable à une élimination poussée de la pollution carbonée et azotée.

i) Equivalent habitant EH : l'équivalent habitant est une notion théorique, établie sur la base d'un grand nombre de mesures, qui exprime la charge polluante d'un effluent, quelle que soit l'origine de la pollution, par habitant et par jour. La charge polluante rejetée par les ménages, les industries, les artisans est exprimé en EH, autrement dit une industrie de 100 EH pollue autant que 100 personnes.

Un EH correspond à un rejet moyen journalier de 180 l d'effluent présentant une charge :

- de 90 g de MES,
- de 60 g de DBO_5 ,
- de 135 g de DCO,
- de 9,9 g d'azote totale
- de 2 g de phosphore total

Tableau I.3 : Evaluation du nombre d'équivalent-habitant correspondant à la charge polluante contenue dans les eaux usées domestiques pour les différents équipements

| Bâtiment ou complexe | Nombre d'EH |
|---|--|
| Usine, atelier | 1 ouvrier = 1/2 EH |
| Bureau | 1 employé = 1/3 EH |
| Ecole sans bains, douche ni cuisine (externat) | 1 élève = 1/10 EH |
| Ecole avec bains sans cuisine (externat) | 1 élève = 1/5 EH |
| Ecole avec bains et cuisine (externat) | 1 élève = 1/3 EH |
| Ecole avec bains et cuisine (internat) | 1 élève = 1 EH |
| Hôtel, pension | 1 lit = 1 EH |
| Caserne | 1 personne (prévue) = 1 EH |
| Restaurant | 1 couvert servi = 1/4 EH Nbre EH = 1/4 EH x nombre moyen de couverts servis chaque jour |
| Théâtre, cinéma, salle de fêtes, débits de boissons | 1 place = 1/30 EH |
| Plaine de sport | 1 place = 1/20 EH |
| Home, centre spécifique de soins, prisons | 1 lit = 1,5 EH |

I.4.4- Analyses des paramètres de l'effluent à traiter

Les caractéristiques des effluents à traiter doivent être nécessairement validées par des campagnes de mesures effectuées sur des échantillons prélevés en continu durant 24 heures (en temps sec et en temps de pluie) de façons que les volumes de prises soient proportionnels aux débits instantanés de l'effluent avec constitution d'un échantillon moyen de 24h réfrigéré, permet de définir l'identité ou la morphologie singulière de l'effluent.

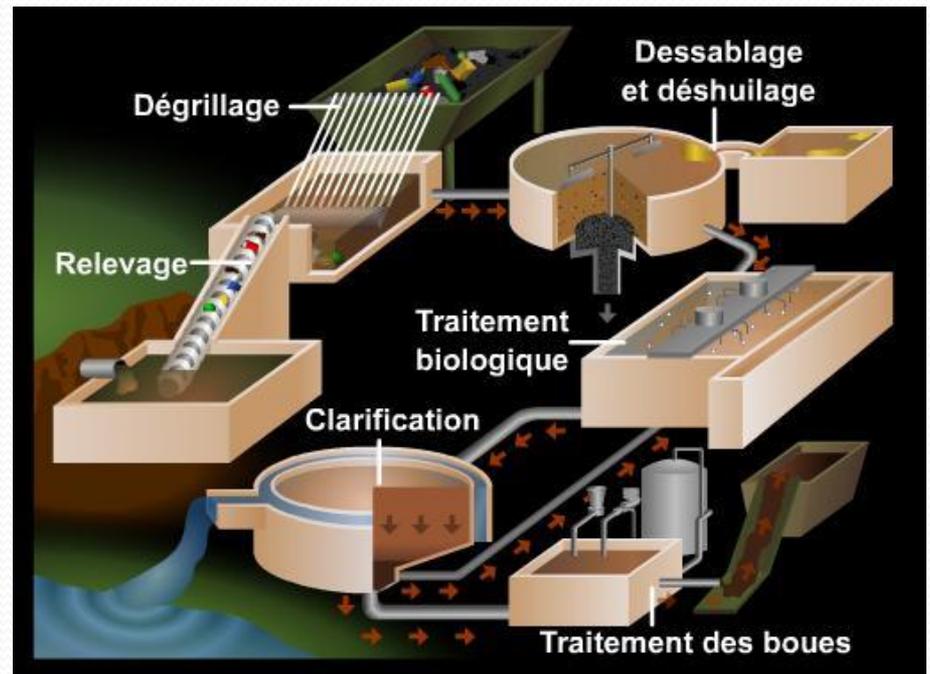
Ces campagnes de mesure permettront en outre de vérifier la cohérence des rapports suivants:

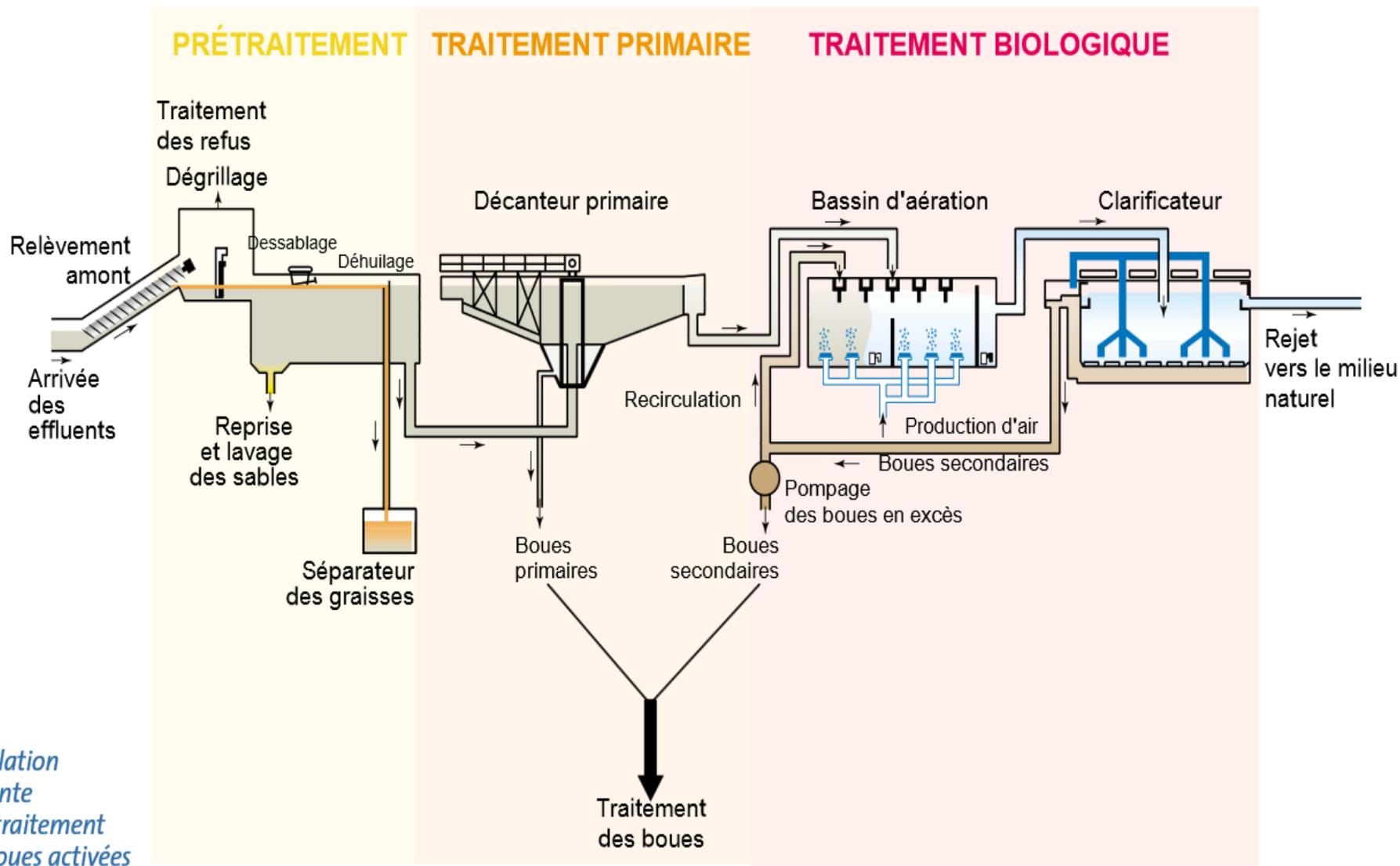
$$\frac{DCO}{DBO_5} ; \frac{MES}{DBO_5} ; \frac{DBO_5}{NTK} ; \frac{N-NH_4}{NTK} ; \frac{DCO}{Pt} \text{ et } \frac{MVS}{MES}$$

Tableau I.3 : Relation entre les paramètres de pollution

| Ratio | Effluent Urbain strict | Signification |
|-----------------------|------------------------|--|
| $\frac{DCO}{DBO5}$ | 2,2 – 2,4 | indiquera la mixité et la biodégradabilité relative de l'effluent |
| $\frac{MES}{DBO5}$ | 0,8 – 1,2 | aura une influence sur le % MVS de l'effluent et la production de boues en excès |
| $\frac{DBO5}{NTK}$ | 4 - 5 | indiquera la mixité relative de l'effluent et influencera le dimensionnement du réacteur biologique en cas de traitement de l'azote (nitrification) |
| $\frac{N - NH4}{NTK}$ | 0,6 – 0,8 | indiquera le degré d'ammonification réalisé durant le transfert de l'effluent dans le réseau ainsi que de la présence potentielle d'une situation "septique" (notamment lors de la présence de conduite de refoulement) |
| $\frac{DCO}{Pt}$ | 44 - 50 | indiquera la mixité relative de l'effluent , les potentialités et la faisabilité d'un traitement biologique du phosphore |
| $\frac{MVS}{MES}$ | 0,65 – 0,75 | indiquera "l'organicité" de l'effluent ainsi que sa mixité relative, et aura une incidence importante sur : <ul style="list-style-type: none"> - la production de boues biologiques en excès, - la qualité mécanique des boues activées (définie par son IM ou IB), - le taux de MVS dans le réacteur biologique, - le dimensionnement du réacteur biologique tant pour le traitement de la pollution carbonée que pour la nitrification et la dénitrification simultanée (dans le même bassin), - le dimensionnement du clarificateur (indirectement par l'influence sur l'IM), - le dimensionnement de la filière boue (directement par l'influence sur la production de boue et indirectement par l'influence sur l'IM) |
| $\frac{DCO}{NTK}$ | 8,8 - 12 | indiquera la mixité relative de l'effluent et aura une influence sur la dénitrification et sur l'intérêt d'une zone d'anoxie dissociée du bassin d'aération |

Selon la nature, l'importance de la pollution et les objectifs recherchés, les procédés de traitement mis en œuvre dans une station d'épuration pour assainir des eaux résiduaires sont différents. Ces procédés peuvent être basés sur des processus physico-chimiques et/ou biologiques.





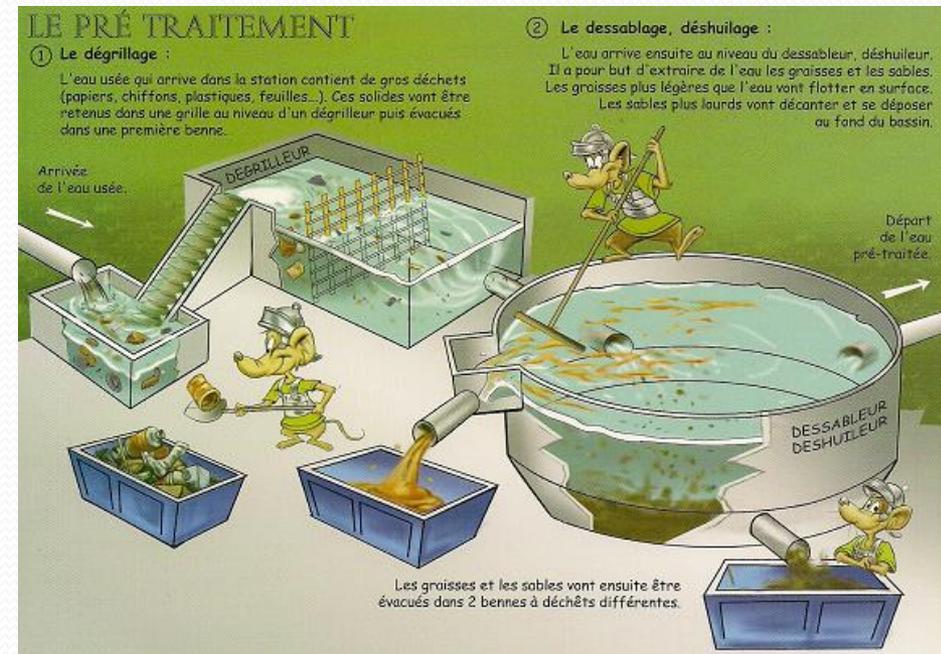
Installation courante avec traitement par boues activées

Chapitre II : Le prétraitement

II.1- INTRODUCTION

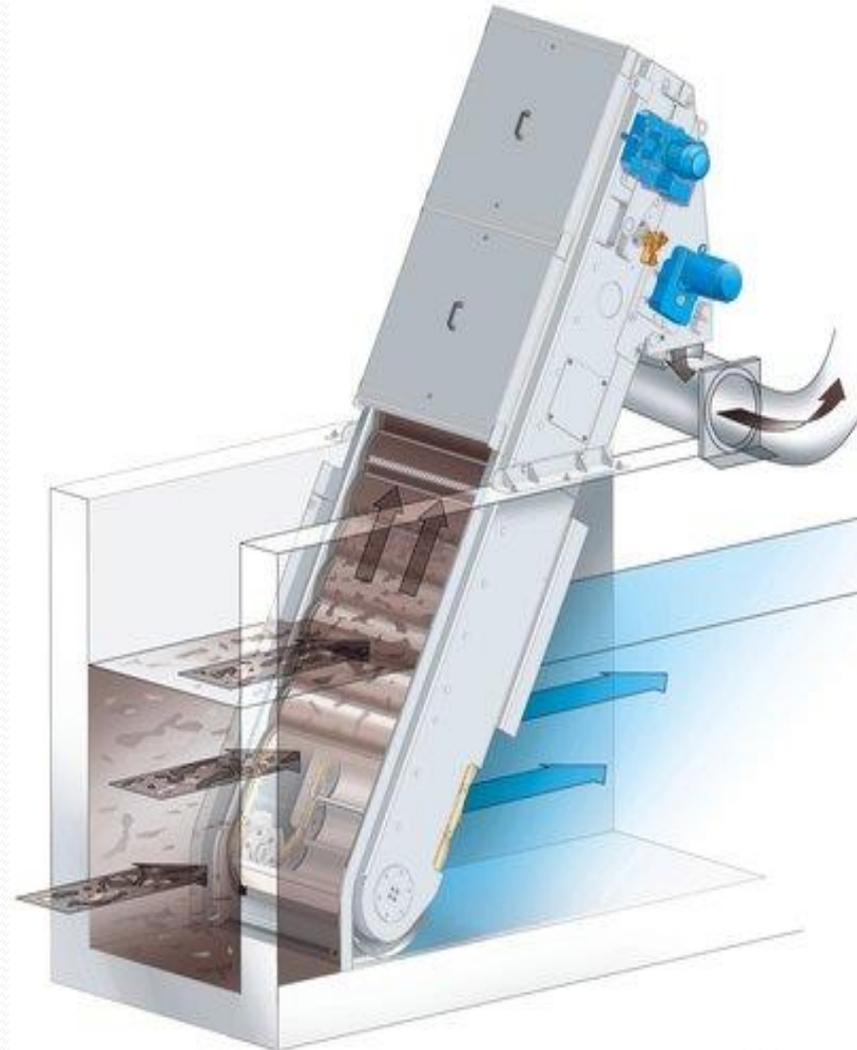
Le prétraitement des eaux résiduaires est composé de :

- Dégrillage
- Dessablage / déshuilage
- Décantation primaire (selon les origines des eaux résiduaires)



II.2- LE DÉGRILLAGE

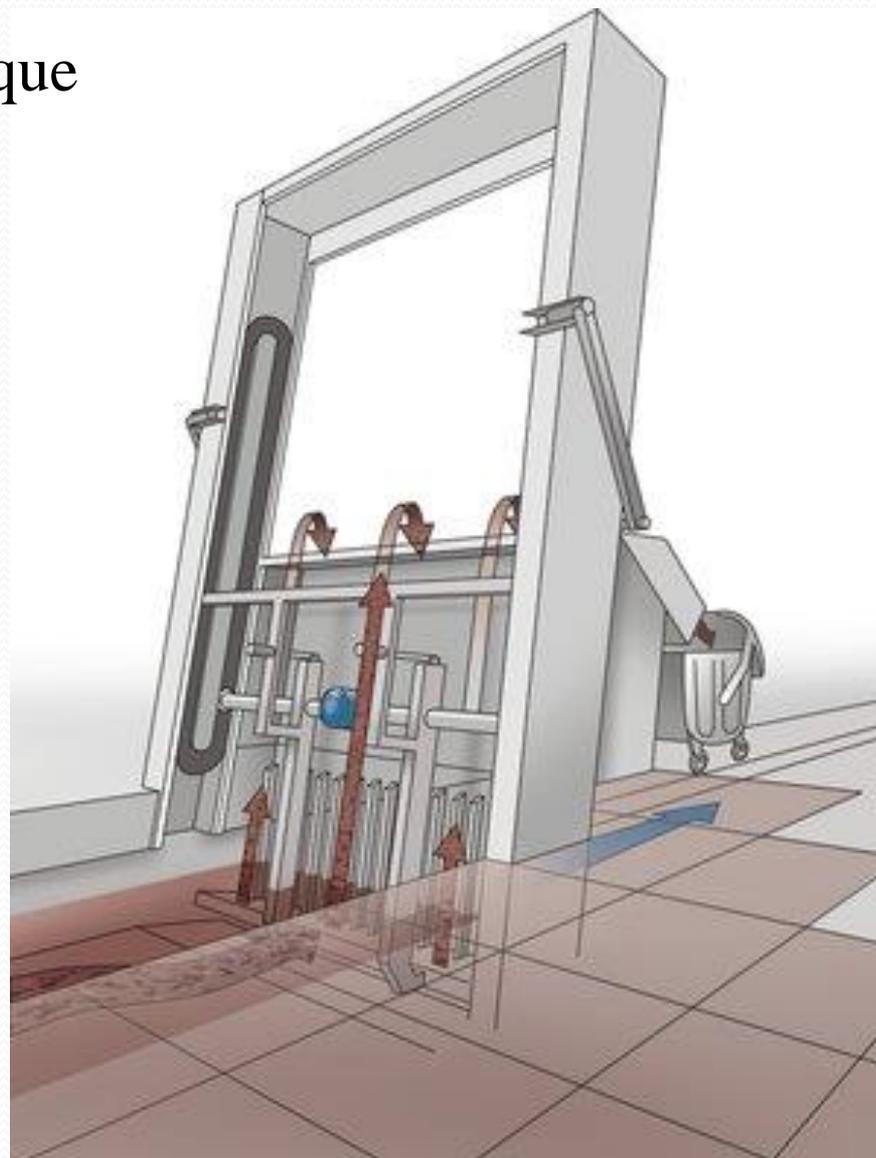
Le dégrillage permet de séparer les déchets solides (papiers et plastiques essentiellement) des eaux usées qui arrivent à la station. Un râteau vient régulièrement débarrasser ceux-ci de la grille. Ces déchets sont ensuite collectés pour être rejetés.



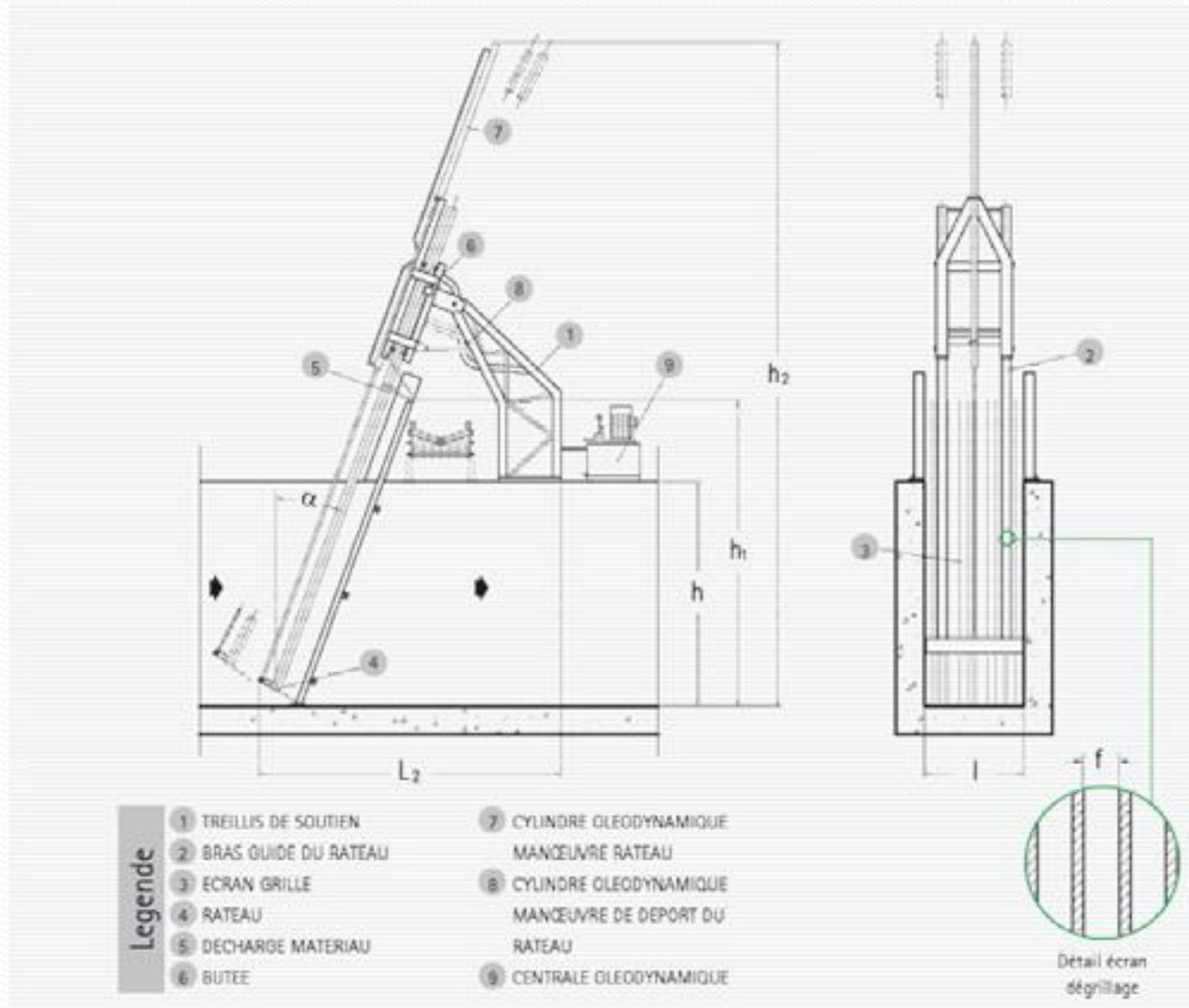
Grille droite à nettoyage continu (froyennes)



Grilles fixes à nettoyage automatique



Degrilleur verticale oleodynamique



Degrilleur verticale oleodynamique







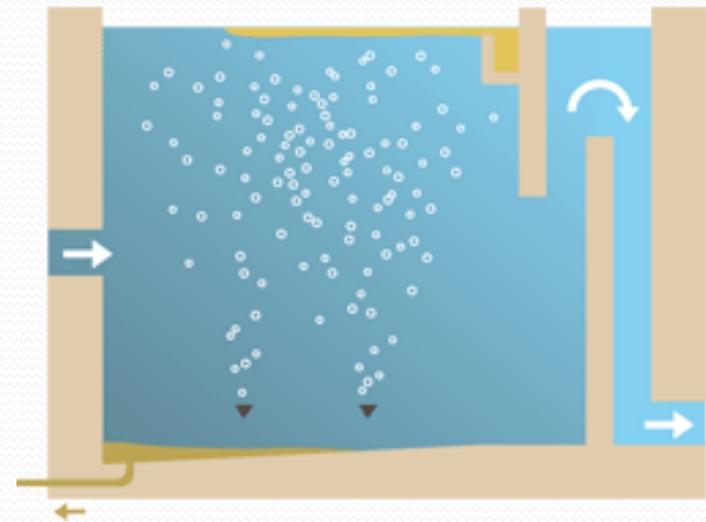
II.3- DESSABLEUR/DÉSHUILEUR

I.3.1. But

Le but de ce dispositif est de :

- Piéger les huiles et les graisses
- Piéger les particules solides charriées par les eaux et les matières en suspension de granulométrie comprise entre 0,2 et 2 mm et de densité sèche $\approx 1,8$

les dessableurs-déshuileurs



Le déshuilage - dégraissage

Cette opération a pour but de séparer les huiles et les matières grasses par flottation afin d'éviter :

- ☛ La mauvaise sédimentation dans les décanteurs,
- ☛ La diminution des capacités d'oxygénation des installations de traitement biologique,
- ☛ Le bouchage des canalisations et des pompes,
- ☛ La surconsommation des produits chimiques lors de la préchloration et de la coagulation/floculation,
- ☛ L'acidification du milieu dans le digesteur anaérobie.

I.3.2. Principe

a) Le dessablage seul

Afin de retenir 90% des particules de diamètre supérieur à 0,2 mm, il est recommandé de prendre une charge superficielle (charge hydraulique) de l'ordre de $50 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{h}$ (m/h).

$$\text{Surface} = \frac{Q_{pts} \left(\frac{\text{m}^3}{\text{h}} \right)}{50 \left(\frac{\text{m}^3}{\text{h}} \right)} \quad (\text{II.1})$$

Valeurs pratiques :

- ❑ Débit moyen temps sec : $V_{asc} = 25 \text{ m/h}$ avec $T_s = 6 \text{ min}$
- ❑ Débit de pointe temps sec : $V_{asc} = 38 \text{ m/h}$ avec $T_s = 4 \text{ min}$

Avec :

- V_{asc} : vitesse ascensionnelle des particules
- T_s : temps de séjour

a) Le dessablage /désuilage

Lorsque les deux équipements sont conçus dans le même ouvrage, les valeurs de la charge superficielle sont comme suit:

- Débit moyen temps sec : $6 \leq V_{asc} \leq 10$ m/h avec $15 \leq T_s \leq 20$ min
- Débit de pointe temps sec : $10 \leq V_{asc} \leq 15$ m/h avec $10 \leq T_s \leq 15$ min



Valeur à prendre en compte :

$$1,25 \text{ m} \leq \frac{\text{Volume (m}^3\text{)}}{\text{Surface (m}^2\text{)}} \leq 2,5 \text{ m}$$



Dessableur /déshuileur de la station d'épuration de Béthune (Pas de Calais).



II.4 – DECANTATION PRIMAIRE

Lorsqu'il s'agit des eaux résiduaires domestique, la décantation primaire élimine les particules (20 à 200 μm) grenues (limon) et les particules de taille croissante (agrégation par floculation de la matière organique). Elle se fait en un écoulement lent, avec un temps de séjour hydraulique de pratiquement 1 heure.





III. Traitement biologique, clarification et désinfection

III.1. EPURATION BIOLOGIQUE

III.1.1. Introduction

L'objectif principal de l'épuration biologique (l'épuration secondaire) est d'éliminer le plus possible les polluants biodégradables et non décantables contenus dans l'eau usée.

La technique utilise l'activité des bactéries présentes dans l'eau, elle consiste à mettre la matière organique contenue dans les eaux usées au contact d'une masse bactérienne active en présence d'oxygène.



La masse bactérienne va se nourrir de la matière organique (qui contient de l'hydrogène H, du carbone C, de l'azote N, de l'oxygène O et du phosphore P) et la consommer pour :

- En extraire l'énergie et les éléments nécessaires à leur développement (anabolisme),
- Synthétiser de nouvelles cellules vivantes (catabolisme).

Elle reproduit dans des réacteurs spécifiques un phénomène qui se serait déroulé naturellement dans les rivières. A l'issue de ce processus, les bactéries constituent les “boues” qui devront être séparées de l'eau épurée. Le produit de la dégradation est essentiellement du gaz carbonique CO₂, de la biomasse (la masse active des micro-organismes) ainsi que l'eau épurée.

Eau usée + biomasse + O₂ ---> Eau épurée + biomasse + CO₂



Le tardigrade photographié ci-contre se trouvait dans la boue activée d'une station d'épuration. Il pourrait s'agir de *Macrobiotus macronyx*...

III.1.2. Types d'épuration biologique

L'épuration biologique peut être effectuée de deux façons, soit par des procédés d'épurations biologiques à culture **libre**, ou à culture **fixe**.

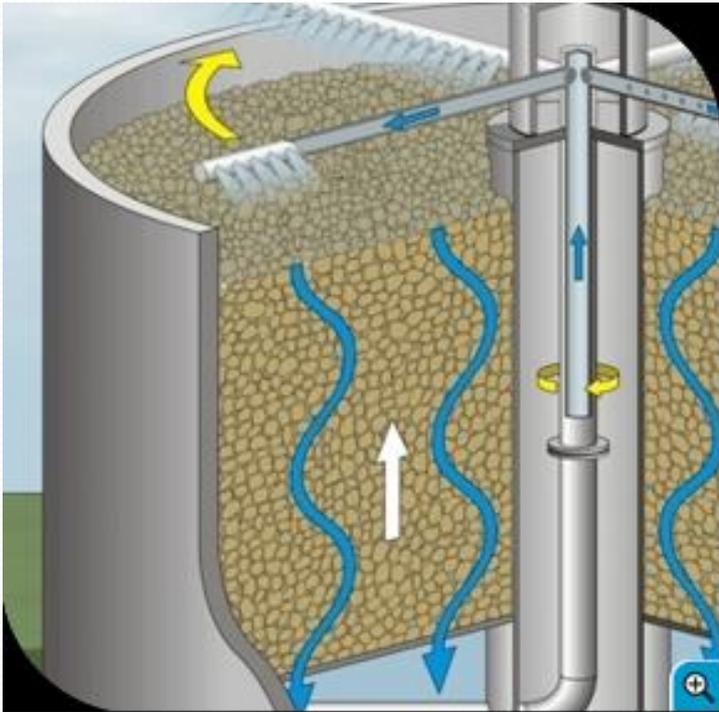


III.1.2.1. Procédés d'épurations biologiques à culture fixe

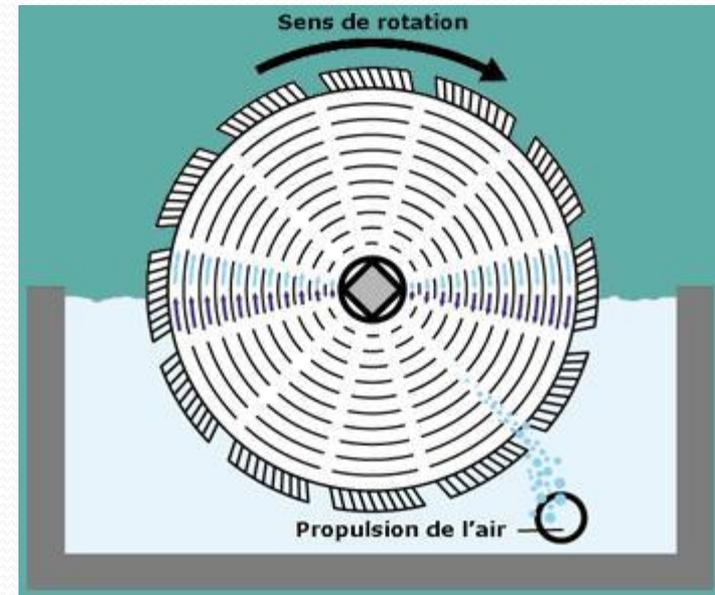
Dans ce cas, la culture bactérienne ("cultures fixées" appelée aussi "biofilm", "film biologique" ou "biomasse") se présente fixée sur un support. Les systèmes à biomasse fixée possèdent un potentiel épuratoire bien plus important que ceux en biomasse libre. Cela est dû au fait que la sélection des espèces et leur concentration dans le réacteur biologique se fait naturellement par accrochage sur le matériau support. Ce processus permet de sélectionner une biomasse active accrochée en quantité plus importante que celle développée en boues activées, pour un même volume de réacteur.

Parmi ces procédés, on trouve :

L'épuration biologique par lits bactériens

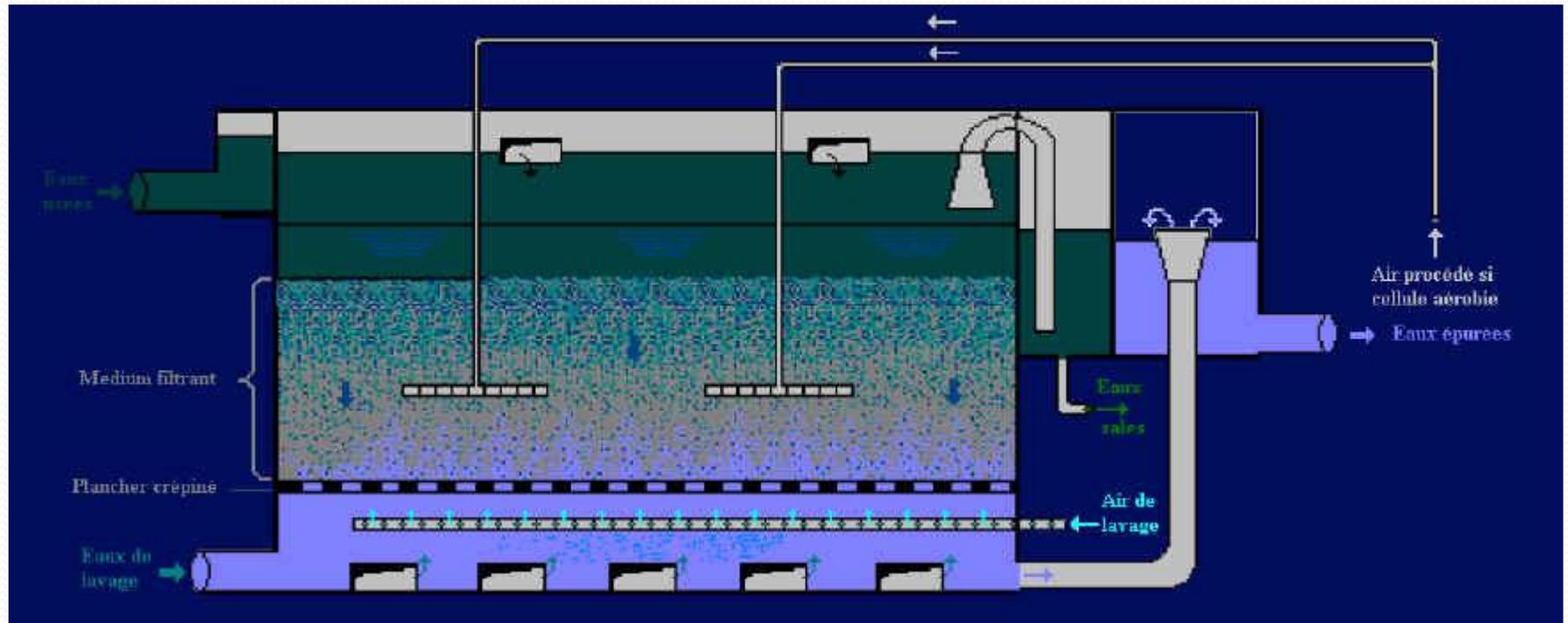


L'épuration biologique par disques biologiques rotatifs





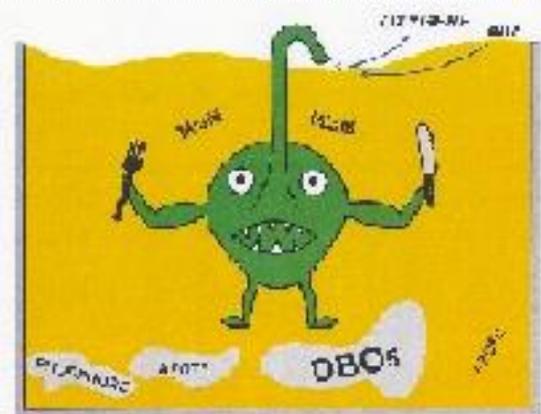
L'épuration biologique par biofiltration



III.1.2.2. Procède d'épuration biologique à culture libre

Cette technologie est employée par le quasi totalité des agglomérations de plus de 5 000 habitants et par certaines activités industrielles. A raison de plusieurs grammes par litre, les micro-organismes évoluent dans une solution maintenue en agitation et alimentée en oxygène par brassage ou insufflation. L'eau usée est amenée en continu et le temps de séjour dans le réacteur biologique varie de quelques heures à quelques jours.

Parmi ces procédés, on trouve soit l'épuration biologique par boue activée, soit par lagunage.



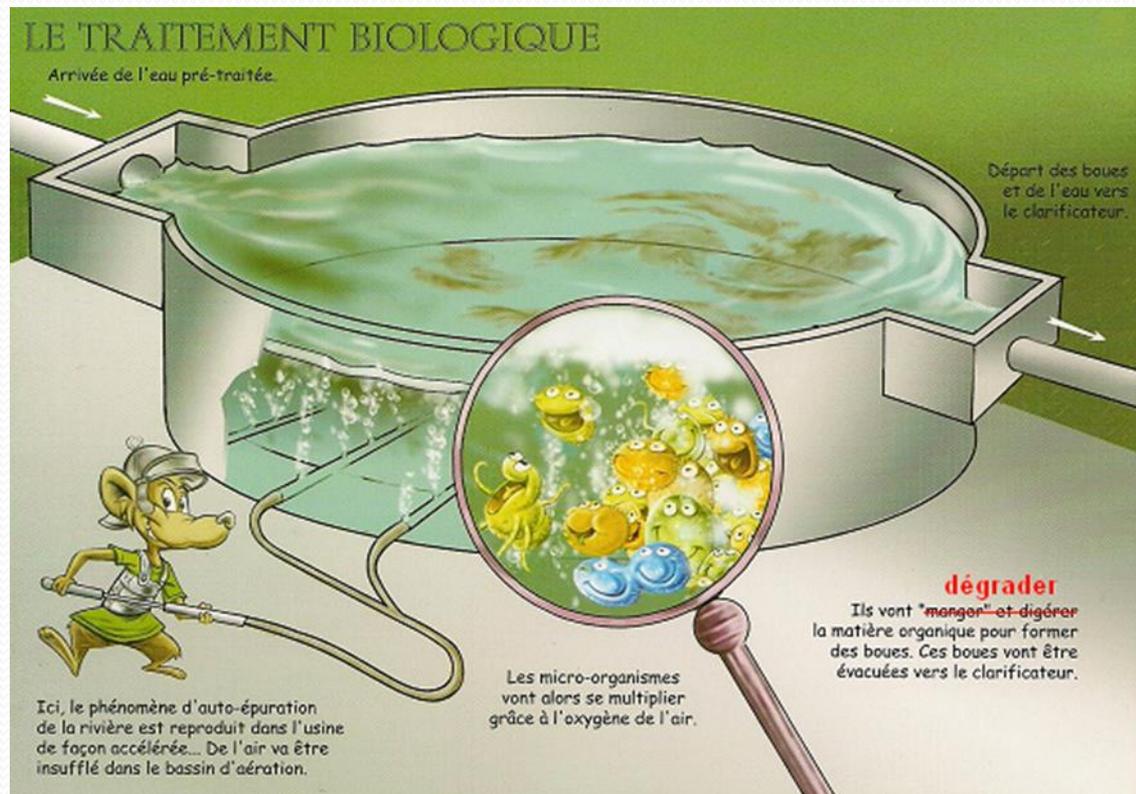
III.1.3. L'épuration biologique par boue activée

III.1.3.1. Principe

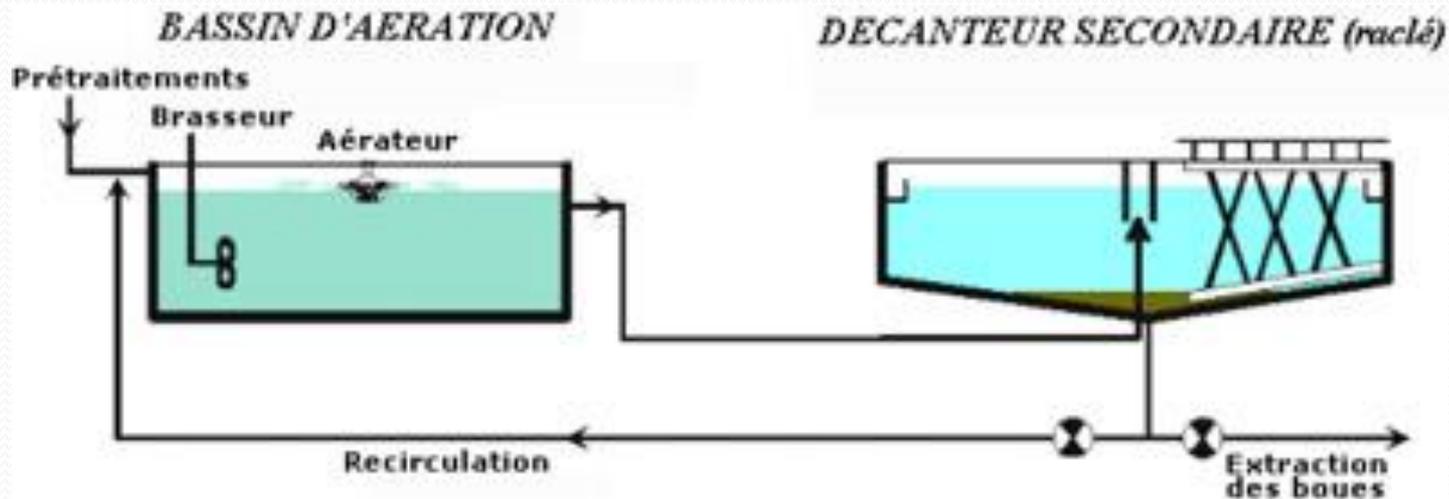
Le procédé d'épuration par boue activée est celui qui représente, actuellement et encore durablement, le meilleur compromis technico-économique pour attendre une qualité satisfaisante d'effluents épurés.



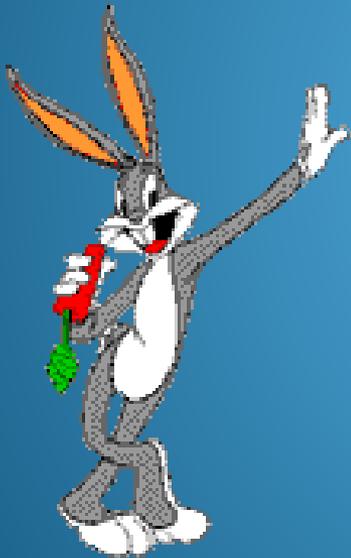
Le principe du procédé consiste à provoquer le développement d'un floc bactérien dans un bassin alimenté en eau à épurer en brassant suffisamment le milieu pour éviter la décantation des floccs d'une part et fournir l'oxygène nécessaire au développement des bactéries et maître en contact les micro-organismes avec le substrat d'autre part.



Le bassin d'aération peut être précédé d'un décanteur primaire et sera toujours suivie d'un décanteur secondaire (clarificateur) qui permet la séparation solide liquide. Le clarificateur est muni d'un système de raclage des boues. Une partie de ces boues sera recyclée à la tête du bassin d'aération pour maintenir la concentration bactérienne au niveau du réacteur constante, tandis que la partie de boue en excès sera orientée vers le traitement des boues.

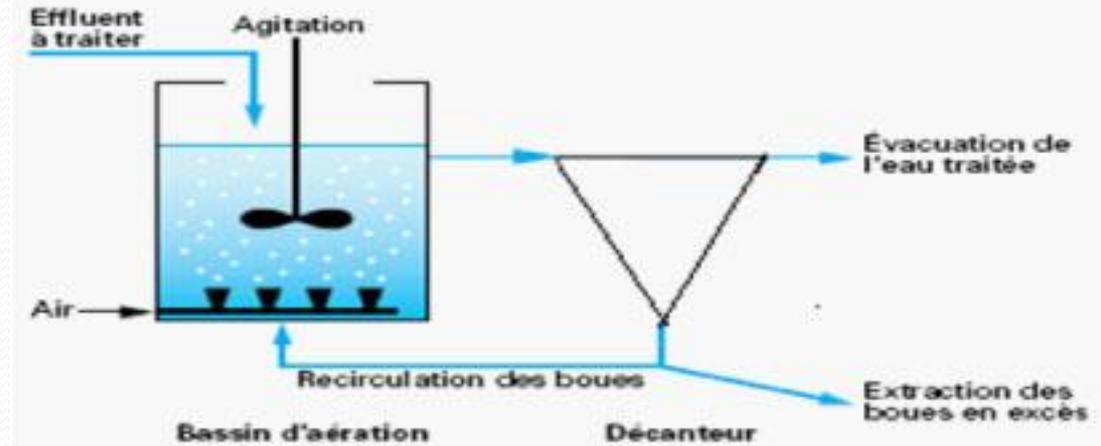


Comment ça marche
docteur?



III.1.3.2. Phase biologique

Les polluants sont éliminés par oxydations biologiques, pour la plupart, grâce à une microfaune aérée constituée de bactéries chimioorganotrophes principalement, de protozoaires voire de métazoaires : les boues activées. La forte concentration en microorganismes (2 à 5 g/L) est maintenue constante grâce à un recyclage de la biomasse qui permet de maintenir, dans le bassin à boue activée, un taux de croissance constant. Le système d'apport de l'air permet le brassage de la biomasse et évite sa décantation dans le bassin d'aération.



La filière biologique est envisageable dès lors que :

- le rapport DCO/DBO₅ est inférieur à 3, ce qui correspond à un bon indice de biodégradabilité de l'effluent.
- le rapport carbone/azote/phosphore de l'effluent est de 100/5/1 ce qui correspond à un bon équilibre en nutriments, permettant ainsi le développement optimal de la biomasse épuratrice.

III.1.3.3. Structure de la boue activée

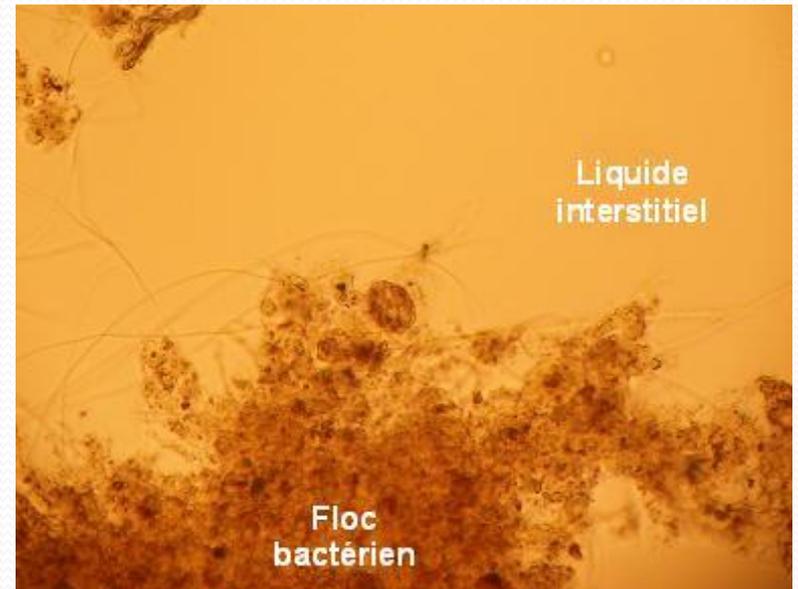
La boue activée est constituée par le floc, lui-même étant constitué de bactéries agglomérées, emprisonnées dans une matrice organique. Dans les conditions d'une eau usée, les bactéries sont sous-alimentées et pour mieux résister vont sécréter des polymères exocellulaires composés d'un mélange de polyosides principalement.



Examen de la boue d'une station d'aération

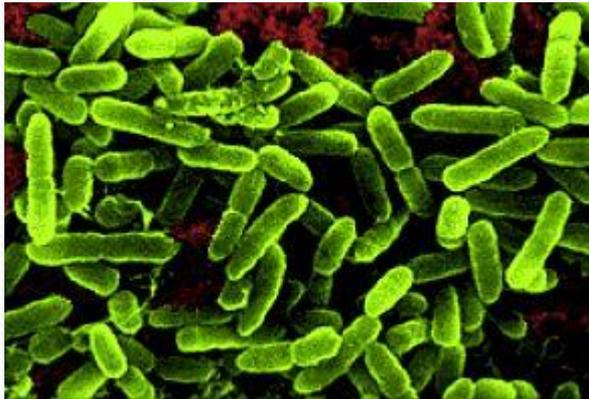
Grâce à ce polymère, les bactéries peuvent :

- adhérer les unes aux autres pour éviter une dispersion des bactéries.
- retenir et adsorber les substances nutritives de l'eau usée, et donc de concentrer les matières nutritives (DBO_5 , O_2 ...) au voisinage des bactéries. Viennent ensuite se développer sur et à proximité de ces floccs une faune de protozoaires voire de métazoaires qui profitent de cet "oasis".



la boue est composée de :

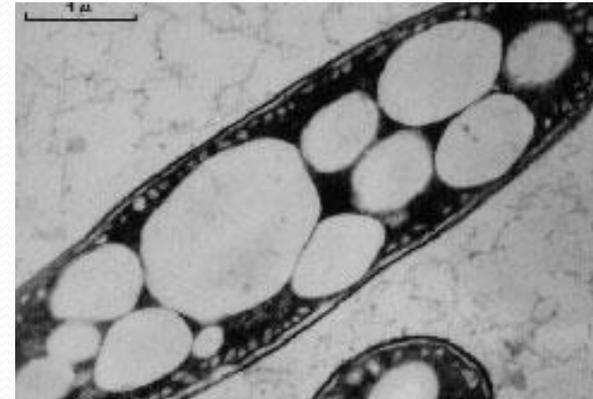
- i. - bactéries à raison de 6,6 milliards/mL de boue activée. Elles représentent la biomasse la plus abondante par le nombre. On y trouve des germes de l'environnement et pour l'essentiel des bacilles Gram-, aérobies et mobiles. Les principaux genres sont Pseudomonas, Aeromonas, Arthrobacter, Flavobacter, Achromobater et Alcaligenes.



pseudomenas



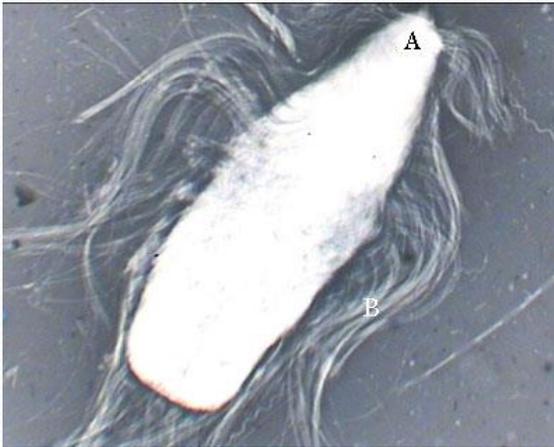
arthrobacter



Cellule d'alcaligene

ii. protozoaires à raison de 50 000/mL de boue activée. Ils se partagent en différentes classes comme les zooflagellés (Bodo...), les holotriches (Litonotus...), les hypotriches (Aspidisca...) et les péritriches (vorticelles...).

iii. métazoaires comme les rotifères et les nématodes.



zooflagellés



holotriches



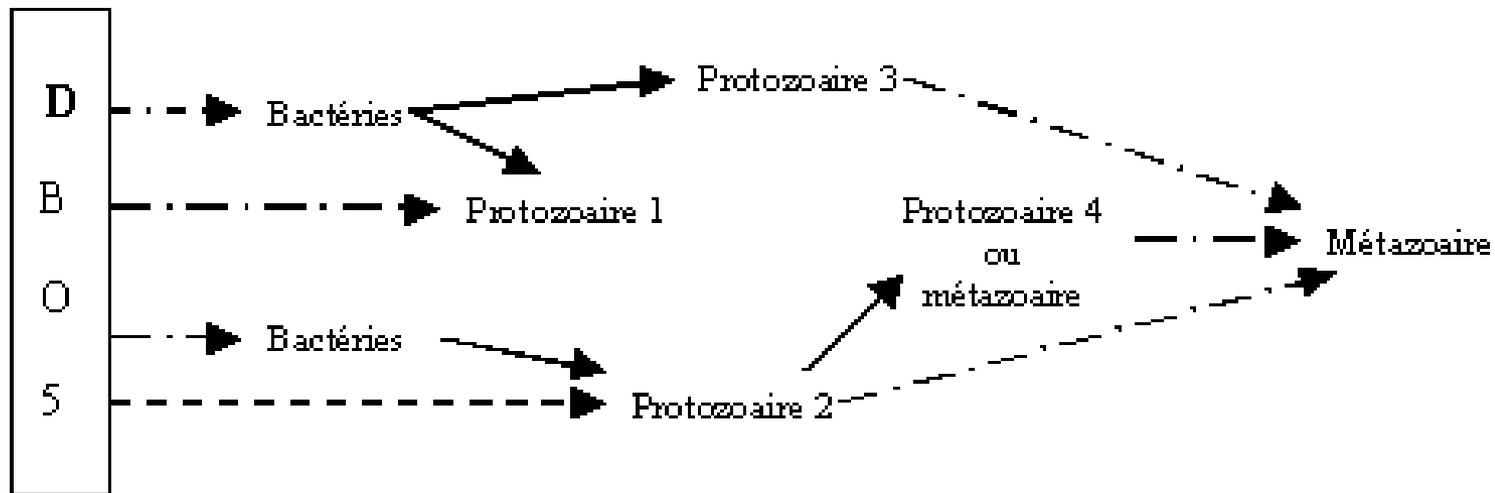
métazoaire

III.1.3.4. fonctionnement de la boue activée

La boue activée est organisée comme une chaîne alimentaire, les bactéries étant à la place des producteurs et se multipliant de manière proportionnelle à la charge organique. Les autres organismes établissent des relations de prédation ou de compétition.

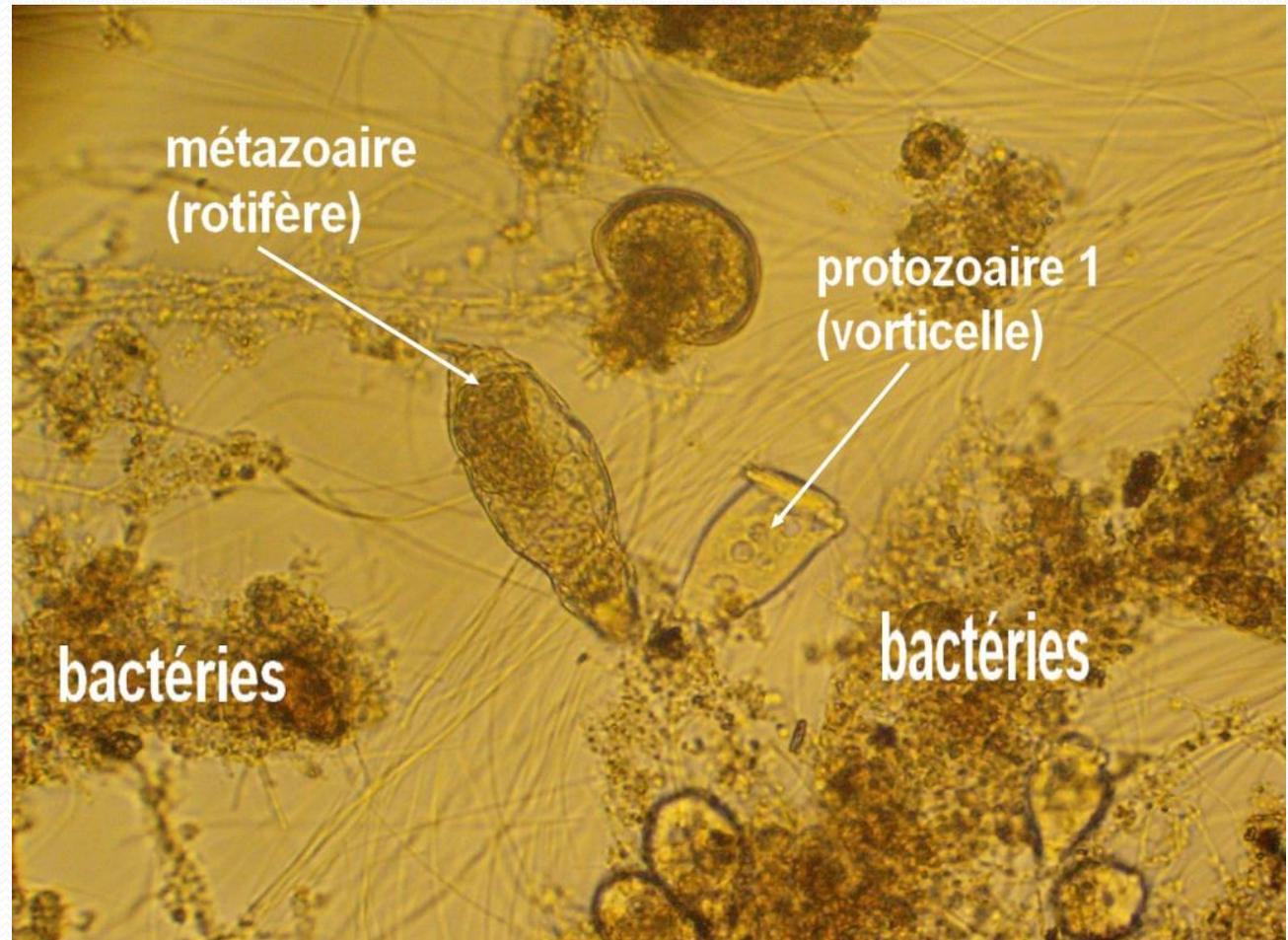
Les bactéries minéralisent la matière organique alors que les autres organismes favorisent leur élimination, participant ainsi au maintien d'une biomasse bactérienne constante et à la clarification du liquide interstitiel.

- production primaire constituée de bactéries et de zooflagellés (croissance proportionnelle à la DBO_5). (voir la diapositive suivante)
- protozoaire 1 se nourrissent de bactéries et de matière organique. Leur croissance n'est pas proportionnelle à la pollution. Ils participent à la régulation du nombre de bactéries.
- protozoaire 2 se nourrissent préférentiellement de bactéries, si la nourriture vient à manquer peuvent pratiquer le saprophytisme.
- protozoaires 3 : compétiteur de protozoaire 2 car ayant les mêmes nourritures et les mêmes préférences. L'un peut se développer aux dépens de l'autre.
- protozoaire 4 ou métazoaire : prédateurs du protozoaire 2, tendent à le faire disparaître au profit de protozoaire 3.
- métazoaire : se nourrit de débris de protozoaires et dépolymérise la matière organique particulaire au profit des bactéries.



Légende : \longrightarrow est consommé par (relation de prédation) $-\ - \longrightarrow$ est consommé part (à défaut)
 $- \cdot \longrightarrow$ Saprophytisme

Fig : Chaîne trophique des boues activées
 D'après Vedry B.- Ecologie des boues activées



III.1.3.5. Classification

Les systèmes à boues activées sont classés en fonction de la charge appliquée que se soit :

- la charge massique (C_m) : qui est le rapport de la pollution appliquée par jour ($\text{kg DBO}_5/\text{j}$) sur la masse de la matière épuratrice (kg de matières sèches totales contenus dans le réacteur),
- la charge volumique (C_v) : qui est le rapport de la pollution appliquée par jour ($\text{kg DBO}_5/\text{j}$) sur le volume du réacteur (m^3).

D'où, on distingue :

- a) **Les procédés conventionnelles** : les plus utilisés dans la pratique, ils fonctionnent avec une charge moyenne généralement comprise entre [0.2 et 0.5 kg DBO₅/kg MEST/j] pour la charge massique et entre [0.6 et 1.5 kg DBO₅ / m³/ j] pour la charge volumique.

- b) **Les procédés à haute charge** : ils fonctionnent avec une charge massique comprise entre [0.5 et 2.5 kg DBO₅/ kg MEST/ j] et une charge volumique comprise entre [1.5 et 5 kg DBO₅/m³/ j].

- c) **Les procédés à faible charge** : ils fonctionnent avec une charge massique comprise entre [0.07 et 0.2 kg DBO₅ / kgMEST/ j] et une charge volumique comprise entre [0.35 et 0.6 kg DBO₅ / m³ / j].
- d) **Les procédés à très faible charge** : ils fonctionnent avec une charge massique inférieure à 0.07 kg DBO₅ / kgMEST/ j et une charge volumique inférieure à 0.35 kg DBO₅ / m³ / j.

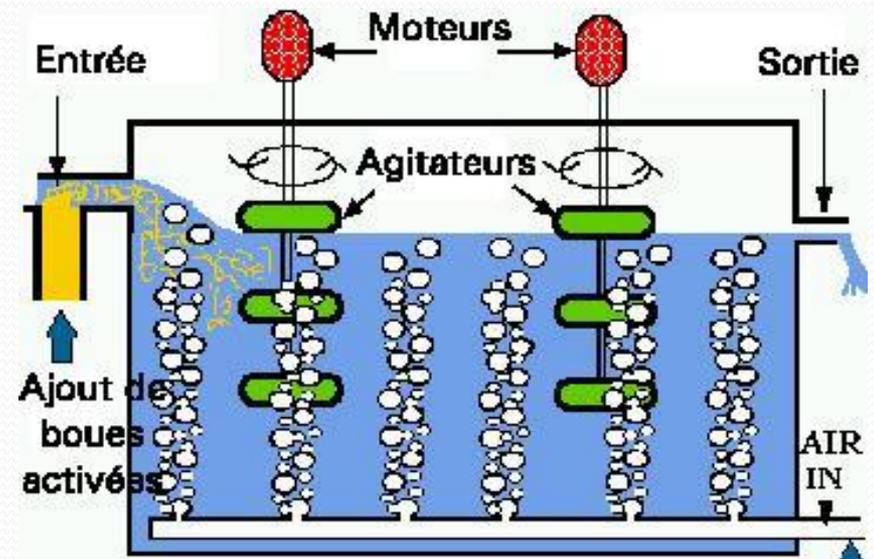
III.1.3.6. Systèmes d'aération

Pour l'aération, les dispositifs utilisés actuellement sont :

- ❖ Les aérateurs de surface,



❖ Les systèmes à injection d'aire.





❖ Les aérateurs de fond



La quantité théorique d'oxygène nécessaire aux bactéries est la somme de celle nécessaire à la synthèse cellulaire et celle à la respiration endogène. Elle est donnée par l'équation suivante :

$$q_{O_2} = a' L_e + b' X_a \quad (\text{Kg/j}) \quad (\text{III.1})$$

Avec :

- a' [kg /kg DBO₅] et b' [kg / kg MVS/ j] sont les constantes de respiration endogène et de synthèse cellulaire des bactéries.
- L_e [kg DBO₅/ j] est la quantité de la pollution à éliminer.
- X_a [kg MVS] est la quantité de matières volatiles dans le bassin.

III.1.3.7. Dimensionnement d'un bassin d'aération

- Le volume du bassin est calculé comme suit :

$$V = \frac{L_0}{C_v} \quad (\text{m}^3) \quad (\text{III.2})$$

Avec L_0 [kg DBO₅/ j] est la quantité de la pollution à l'entrée du bassin

- La surface horizontale du bassin

$$S = \frac{V}{h} \quad (\text{m}^2) \quad (\text{III.3})$$

Avec $3 \leq h \leq 5$ m

- Pour calculer la largeur (l) du bassin, on utilise la relation de Tabasaran, où :

$$1 \leq \frac{l}{h} \leq 2,5$$

- La masse de boues dans le bassin

$$X_a = \frac{L_0}{C_m} \quad (\text{Kg}) \quad (\text{III.4})$$

- Concentration de boues dans le bassin

$$[X_a] = \frac{X_a}{V} \quad (\text{kg/m}^3) \quad (\text{III.5})$$

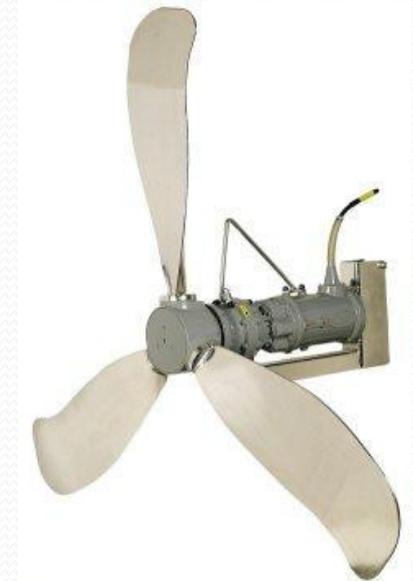
- Le temps de séjour pour le débit de pointe par temps sec

$$T_s = \frac{V}{Q_{pts}} \quad (\text{III.6})$$

Bassin d'aération de la STEP de BOUZEDJAR



Aérateur de surface



Agitateur immergé

III.1.4. Lagunage :

Il consiste en l'utilisation d'étang naturel ou artificiel, comme milieu récepteur d'effluents.



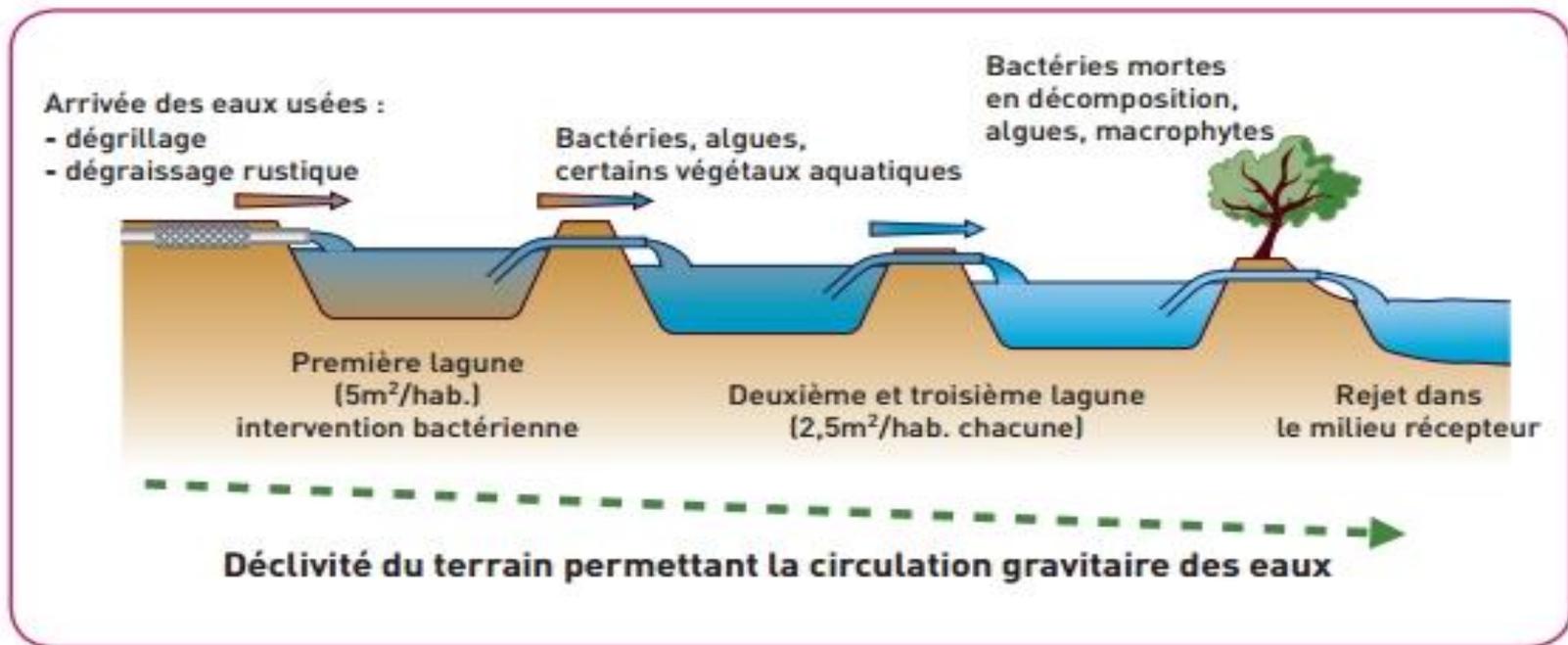
Lagunes de Meze



Lagunes de Rochefort

On distingue deux types de lagunes :

- i. lagunes naturelles (des bassins de faible profondeur de 0,8 à 1 m), anaérobies facultative ou aérobies qui peuvent recevoir des effluents bruts ou prétraités.



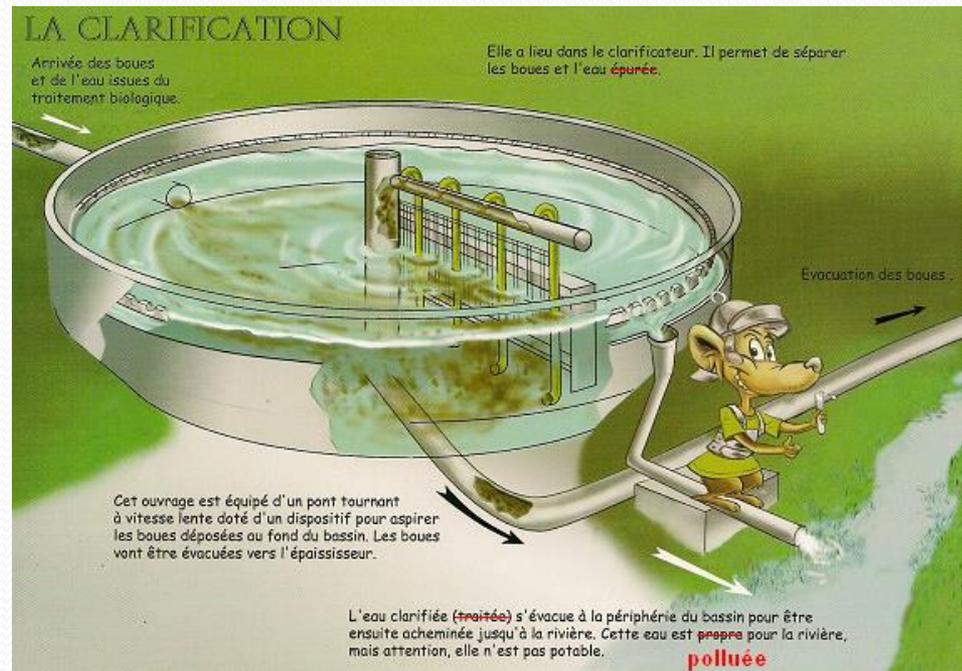
- ii. lagunes aérés (vastes bassins) : on effectue une épuration biologique bactérienne comme celle qui se pratique naturellement dans un étang, en apportant de l'extérieur par insufflation d'air ou oxygénation au moyen d'aérateurs de surface, l'oxygène nécessaire au maintien des conditions aérobies des bactéries épuratrices.



III.2. LA CLARIFICATION

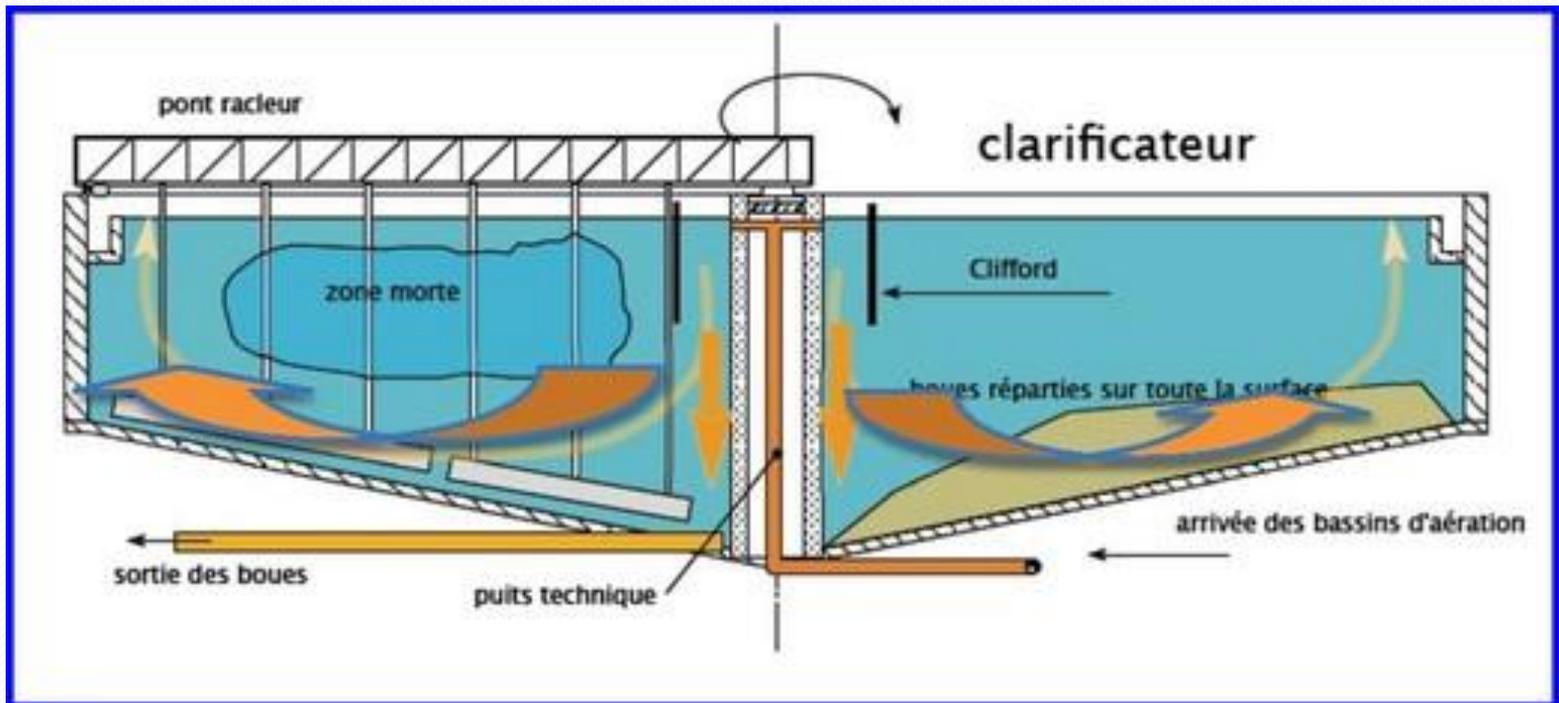
III.2.1. Introduction

A l'issue du traitement biologique, l'effluent est renvoyé dans un clarificateur, appelé aussi décanteur secondaire où l'eau est séparée des boues par décantation. L'eau peut alors être rejetée dans le milieu naturel.



Les meilleurs résultats sont obtenus dans les ouvrages circulaires à fond fortement incliné (50° au moins sur l'horizontal).

Une partie des boues retenues dans cet ouvrage de décantation secondaire est renvoyée vers le bassin d'aération afin d'y maintenir une masse suffisante de micro-organismes. L'autre partie est séchée puis évacuée en décharge, incinérée ou valorisée en agriculture.



III.2.2. Dimensionnement d'un clarificateur

Le clarificateur devrait se dimensionner avant le réacteur biologique car c'est lui règle la distribution de la masse de boue présente dans le réacteur. A volume constant du réacteur, la masse sera définie par une concentration en MES à ne pas dépasser et cela en fonction de la qualité mécanique de la boue, définie par son Indice de Mohlman (IM)

IM : volume occupé par un gramme de boue (ml/g), sans dilution.



L'indice de Mohlman est le rapport entre le volume des boues en ml/L et la teneur en matières en suspension du même échantillon de boues en g/L.

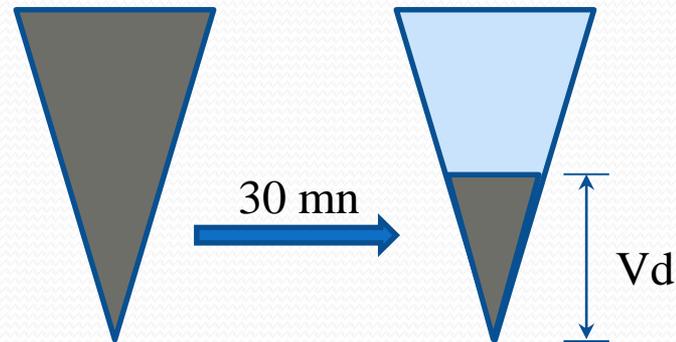
On obtient ainsi le volume occupé par 1 g de matières en suspension après 30 minutes de décantation pour les boues activées et après 2 heures pour l'effluent d'un lit bactérien.

Cette valeur caractérise la capacité de décantation de boues activées.



En pratique, la détermination de l'indice de Mohlman revient à:

- Mesurer le volume de matières décantables (MD) en 30 minutes (boues activées) et l'exprimer en concentration volumique V_d (ml/L)
- Mesurer la teneur en MES à 105 °C et l'exprimer en concentration massique en mg/L



$$IM = \frac{V_d \left(\frac{ml}{L}\right)}{MES \left(\frac{g}{l}\right)} \quad (\text{ml/g}) \quad (\text{III.7})$$

En fonction de l'IM, on déduit la vitesse ascensionnelle maximale à appliquer sur le débit maximum défini dans les paramètres de l'effluent.

Le tableau ci-dessous donne les valeurs des vitesses correspondantes pour une concentration en MES de 30 mg/l maxi de l'effluent traité.

| IM (ml/g) | 75 | 100 | 125 | 150 | 175 | 200 | 250 | 300 | 400 | 500 |
|------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|-----|-----|-----|
| Vasc (m/h) | 1,4 | 1,3 | 1,2 | 1,1 | 1 | 0,9 | 0,85 | 0,8 | 0,7 | 0,6 |

Pour obtenir une concentration en MES de 20 mg/l, il faut multiplier les valeurs des vitesses du tableau ci-dessus par un coefficient de 0,66.

La surface utile du décanteur horizontale :

$$S = \frac{Q_{pts} \left(\frac{m^3}{h} \right)}{V_{asc} \left(\frac{m}{h} \right)} \quad (m^2) \quad (III.8)$$

La concentration en recirculation des boues, du clarificateur vers le réacteur biologique, dépendra de IM, du temps de séjour des boues dans le lit de boues du clarificateur et du taux de recirculation.

$$R = [X_a] \frac{100}{[X_r] - [X_a]} \quad (\%) \quad (\text{III.9})$$

Avec:

$[X_a]$: Concentration des boues dans le bassin d'aération (g/l)

$[X_r]$: Concentration des boues recirculées en (g/l)

R : Taux de recirculation en %

La concentration des boues dans la recirculation ($[X_r]$) est évaluée par la formule empirique suivante :

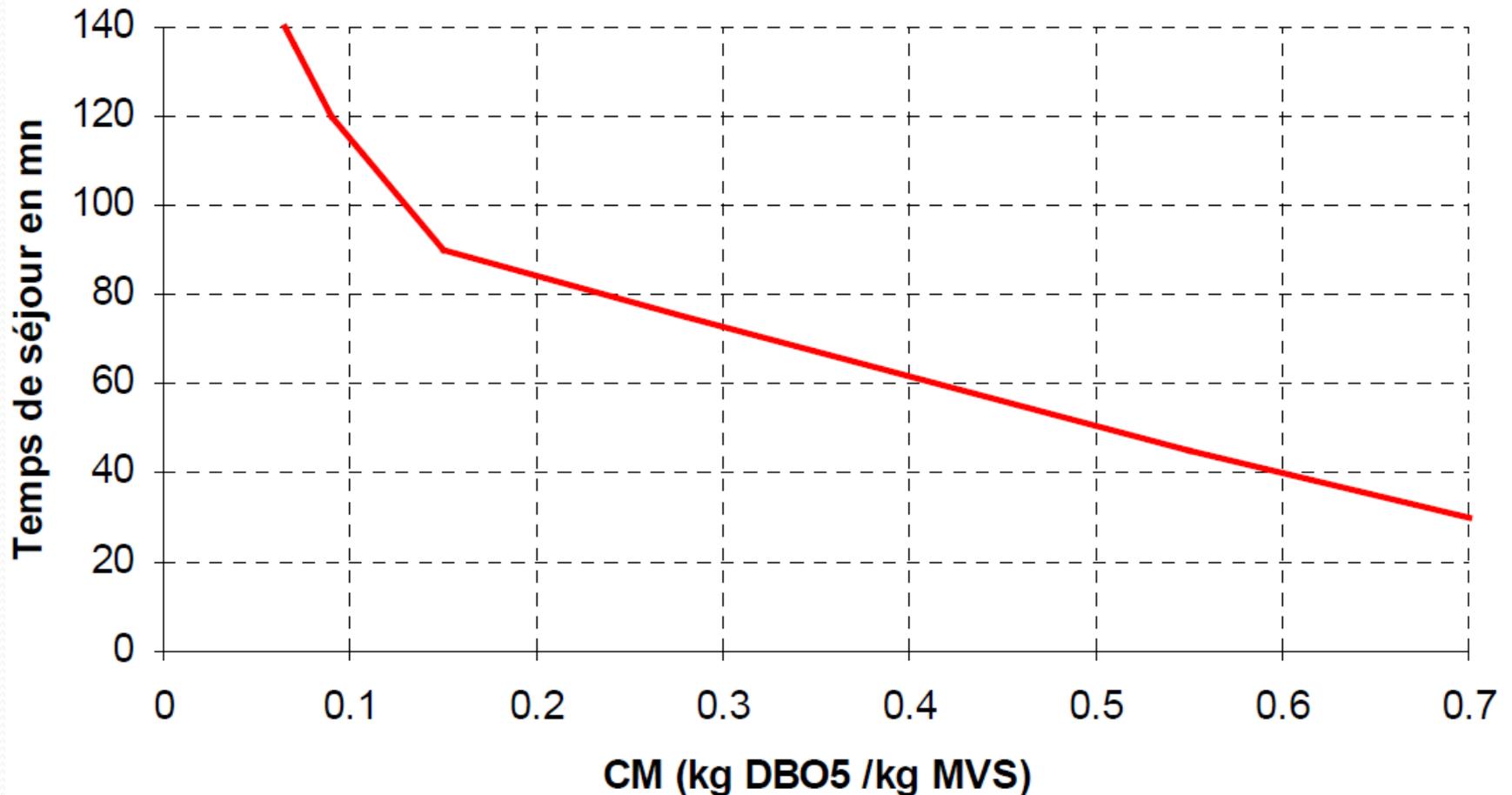
$$[X_r] = K \cdot \frac{1000}{IM} \cdot (ts_h)^{1/3} \quad (\text{g/L}) \quad (\text{III.10})$$

Avec :

K : coefficient dépendant du système de reprise ($0,5 \leq K \leq 0,7$).

ts_h : temps de séjour des boues dans le clarificateur (en heure).

La figure ci-dessous donne le temps de séjour maximum des boues dans le lit des boues du clarificateur exprimé en minutes





III.3. DÉSINFECTION

La décantation secondaire ne permet pas une séparation de toute les matières en suspension contenus dans l'eau usée, il reste encore beaucoup de micro-organismes pathogènes qui peuvent être rejetés actifs dans le milieu récepteur s'ils ne sont pas désinfectés.

Pour cela, plusieurs moyens que se soit physiques ou chimiques existent pour les désactiver.



Parmi les procédés de désinfections, on trouve, le chlore, l'ozone, les rayonnements ultraviolet, etc. Mais la stérilisation par le chlore reste le moyen le plus pratiqué. Pour être efficace, elle nécessite un temps de contact minimal de 15 mn et si on veut obtenir plus de 99 % de rendement, les doses doivent être de 3 à 10 mg/l après l'épuration par lit bactérien et de 2 à 8 mg/l après l'épuration à boue activée.



IV. Traitement des boues

V.1. Traitement des résidus

- En ce qui concerne les déchets des grilles, ils peuvent être déchiquetés après compactage pour faciliter leur dispersion. Ensuite, ils seront enterrés dans une fosse, rejetés dans les décharges publiques, ou incinérés.
- Les sables de déssableurs peuvent être séparés de leur eau par filtration sur dalles filtrantes. Ensuite, ils peuvent être lavés et réutilisés dans les lits de séchage.
- Les résidus de la séparation des huiles et des graisses contenues dans les eaux usées urbaines sont tellement pollués que, si les huiles minérales y prédominent, il est préférable de les incinérer avec les résidus du dégrillage.

LE TRAITEMENT DES BOUES

Différentes techniques sont utilisées, voici les deux principales.

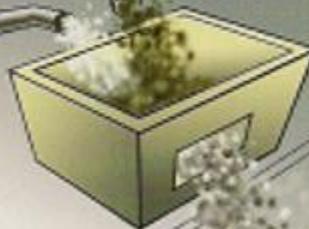
- ① Les boues extraites du clarificateur contiennent encore beaucoup d'eau. Elles vont être épaissies dans un épaisseur par décantation.



- ②b Ces boues vont être envoyées sous pression dans un filtre presse pour être déshydratées après un ajout de chlorure ferrique et de chaux.



- ②a Ces boues vont être déshydratées dans un centrifugeur par centrifugation, puis chaulées. (ajout de chaux)



- ③ Elles seront stockées dans des aires à boues, puis débarrassées des éléments polluants. **Changées d'éléments fertilisants, elles pourront être épanchées en agriculture.**



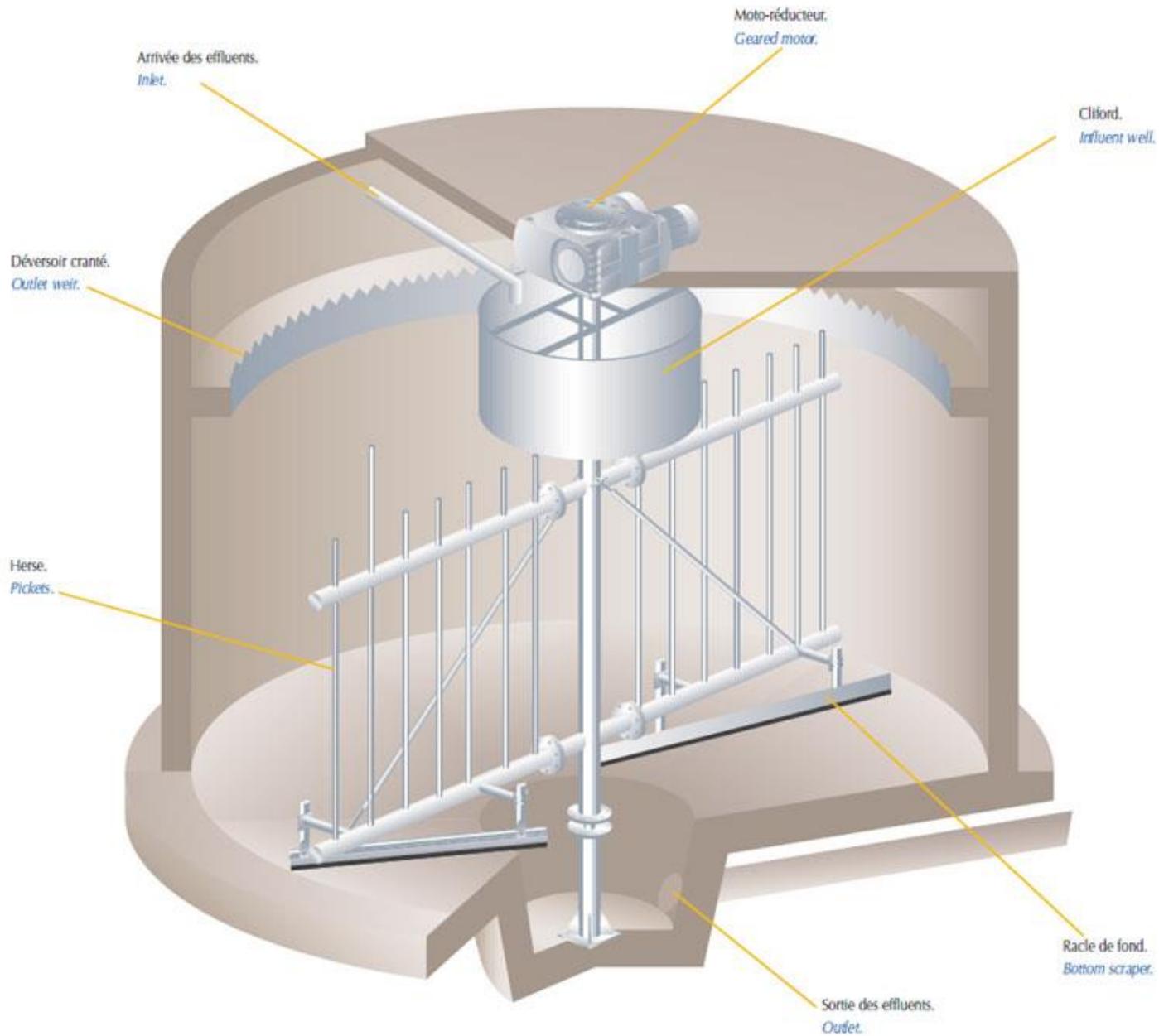
V.2. Traitement des boues

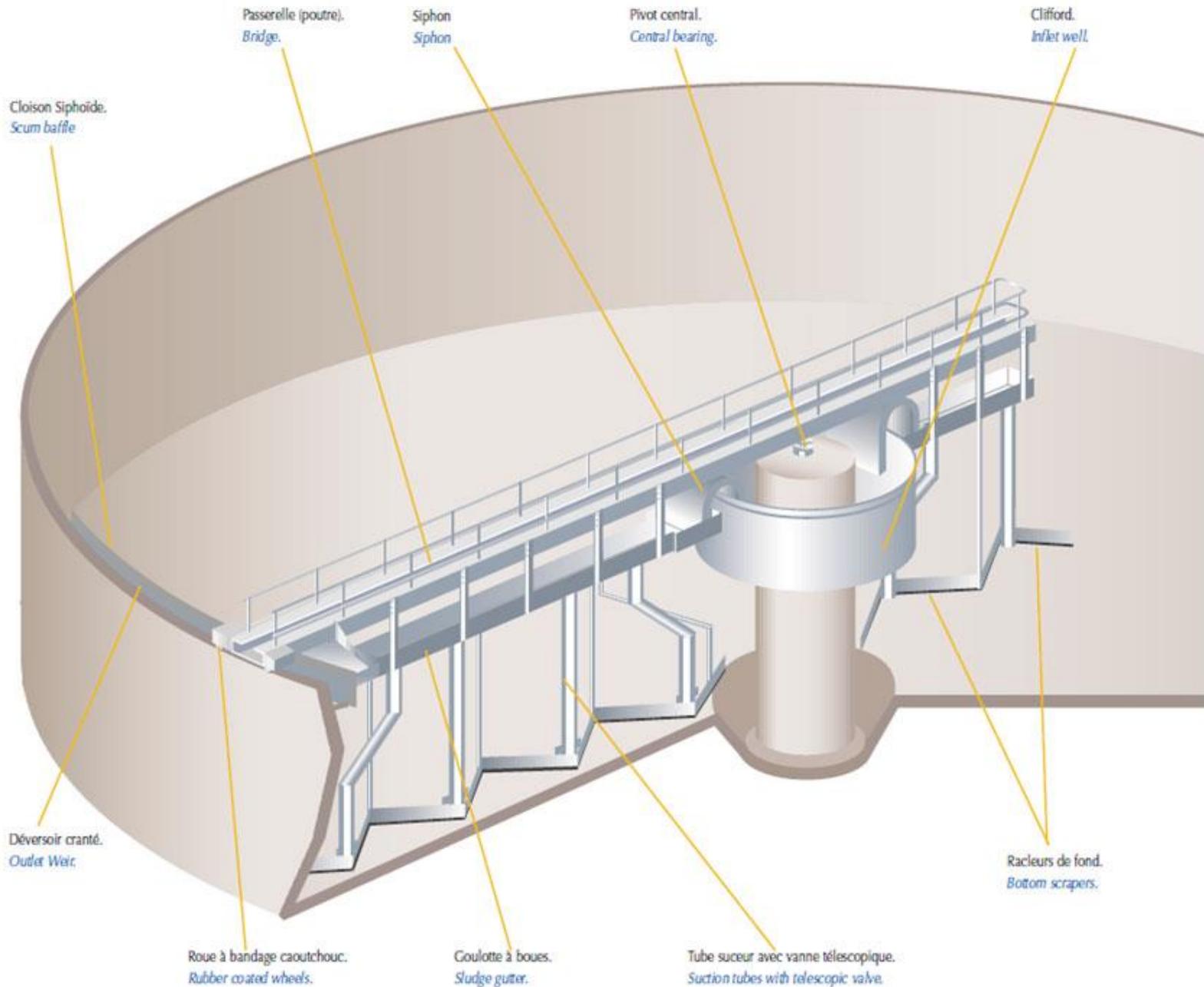
Les boues de la décantation primaire et secondaire sont relativement concentrées, contiennent le plus souvent 95 à 98 % d'eau et chargées de micro-organismes divers. Donc, il est impératif de les traiter avant de les rejeter. Le volume et les caractéristiques de ces boues varient en fonction de la nature des épurations et leur efficacité. Les divers modes de traitement des boues peuvent se résumer comme suit :

- L'épaississement des boues,
- La digestion des boues,
- La déshydratation des boues.

a) L'épaississement des boues

C'est le premier stade de traitement des boues qui permet de réduire le volume des boues fraîches. Il est en quelque sorte un décanteur poussé dans lequel les boues sont soumises à une lente agitation favorisant l'agglomération et le dépôt des matières en suspension. Ainsi, la teneur en eau est réduite de 90 %.





b) La digestion des boues

La digestion des boues sert à détruire la partie de la matière organique des boues. Elle peut être soit :

- ❖ **Aérobic** : qui sert à stabiliser les boues. Elle consiste en une aération prolongée provoquant le développement des micro-organismes aérobies, qui se nourrissent des matières dégradables de la boue, jusqu'à ce qu'ils dépassent la phase de synthèse cellulaire et réalisent leur propre auto-oxydation où le taux de mortalité est supérieur au taux de croissance.
- ❖ **Anaérobic** : qui consiste à provoquer, en présence des boues, le phénomène de fermentation résultant de l'activité de diverses populations bactériennes qui, en l'absence d'oxygène, transforment les matières organiques dégradables. Les produits finaux sont des acides organiques, des alcools et des cétones. Cette digestion subit l'influence de la variation de la température, la composition et l'acidité ou l'alcalinité des boues. Elle peut éliminer en virent 50 % des matières organiques.



Concentration gravitaire des boues

Les concentrateurs gravitaires appelés aussi silos à boues permettent de réduire par 2 ou 3 le volume de boues à traiter.

Les ouvrages de concentration gravitaire sont faciles d'exploitation et très adaptés aux installations de petite et moyenne importance.



e) La déshydratation des boues

Elle représente la dernière étape dans la chaîne de traitement des boues. Elle peut être réalisée de deux manières :

- ❖ Une déshydratation naturelle ou appelée encore lit de séchage : qui consiste à épandre les boues dans des bassins, dits lits de séchage, à l'air libre. Elle a l'inconvénient de nécessiter une grande surface de terrain.

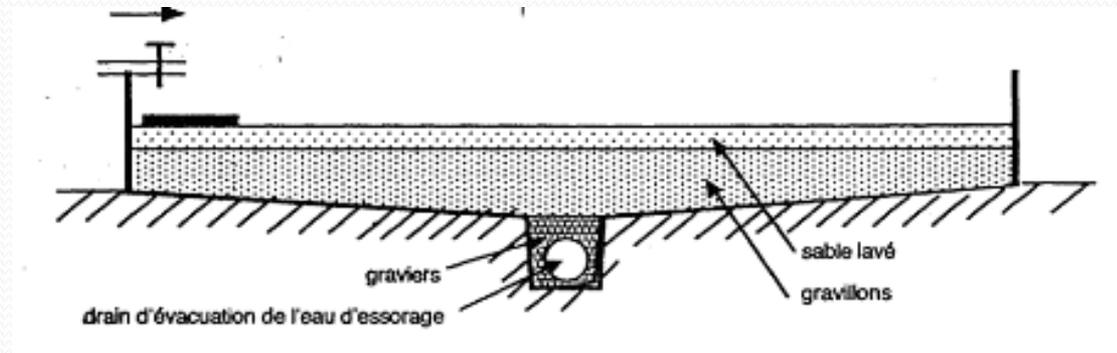


Schéma d'un lit de séchage des boues

- ❖ Une déshydratation mécanique : cette technique permet de réduire la teneur en eau des boues à un taux compris entre 45 et 85 %. Les moyens de déshydratation mécanique les plus utilisés sont:
 - La filtration sous pression : comporte un filtre-presse muni d'un tissu filtrant synthétique bien approprié.
 - La filtration sous vide : comporte généralement une toile de filtration fixée sur un tambour rotatif.
 - La centrifugation.



La boue à déshydrater est serrée entre deux toiles tendues afin d'en extraire l'eau résiduelle. La siccité des boues est voisine de 15 à 20%.

