

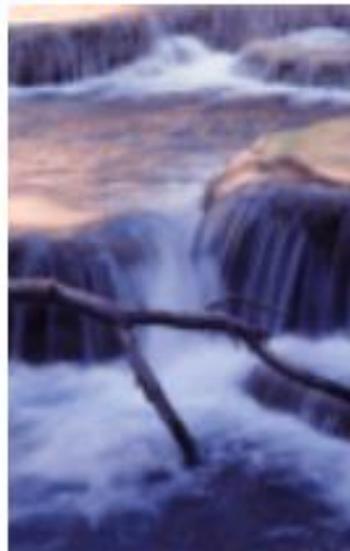
- **État solide** : glace, neige, verglas...

La neige est bien un état solide de l'eau, car elle est constituée de petits fragments solides de glace.

- **État liquide** : Mers, lacs, rivières, pluie, nuages, brouillard...

Les nuages correspondent à un état liquide de l'eau, car ils sont constitués de fines gouttelettes d'eau qui sont en suspension.

- **État gazeux** : vapeur d'eau.



Chutes d'eau
LIQUIDE



Iceberg
SOLIDE



Nuages
VAPEUR

Le cycle de l'eau



2,5 %
EAU DOUCE

97,5 %
EAU SALÉE



- ① **29,9 %**
Eau douce souterraine.
- ② **0,3 %**
Eau douce des lacs et rivières. L'unique source consommable qui se régénère.
- ③ **68,9 %**
Glaciers et neiges éternelles.
- ④ **0,9 %**
Marais, zones humides et permafrost (terres gelées en permanence).

Usages de l'eau :

L'eau est utilisée d'abord comme élément vital pour les besoins physiologiques, puis comme moyen de lavage, comme solvant pour divers besoins domestiques et publics.

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

DOMESTIQUE :

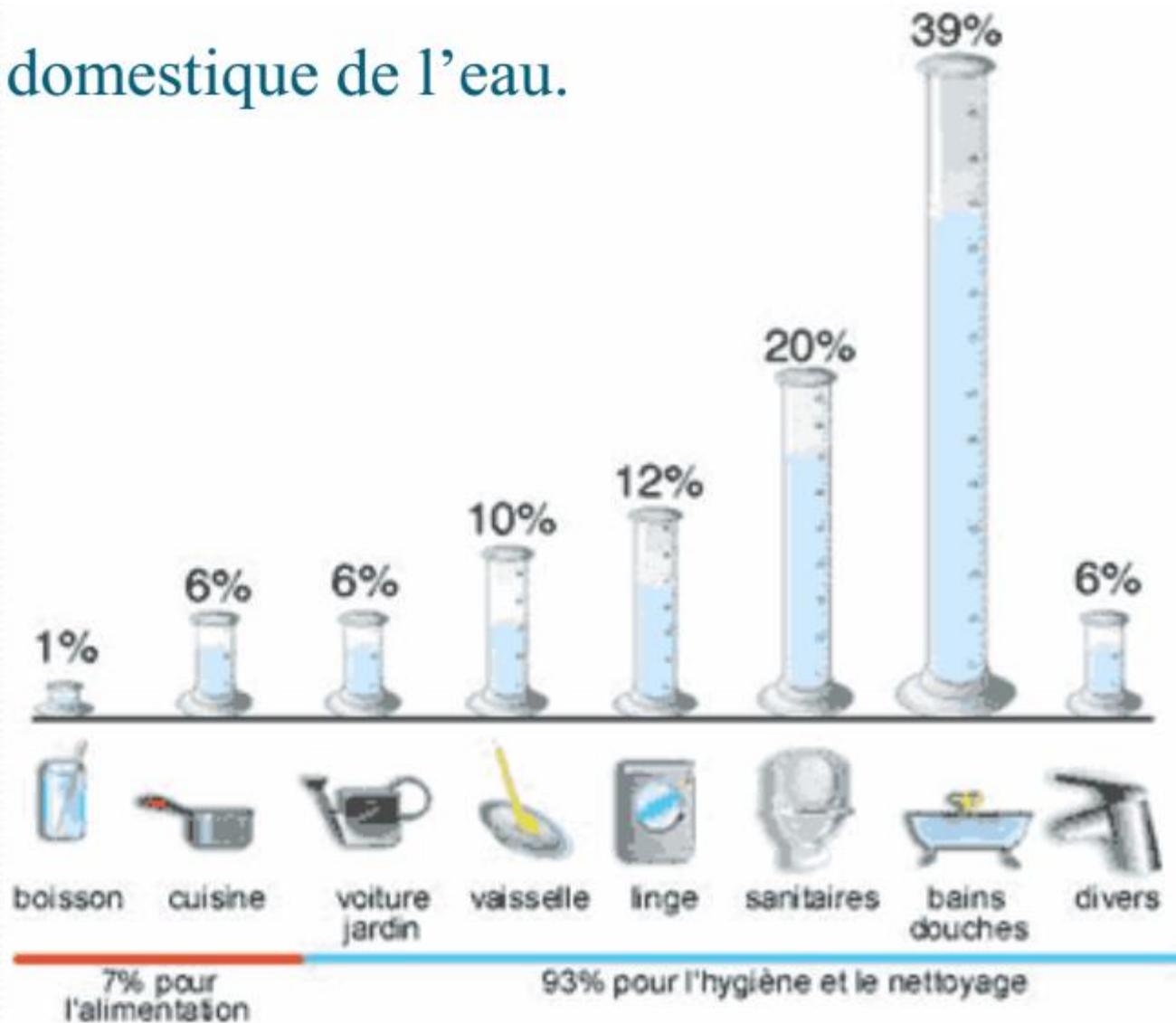
Aux besoins domestiques directs (100 l/j/h) s'ajoutent donc des besoins d'au moins 200 l/j/h, soit un total de 300 l/j/h, soit 110 m³ /habitant/an environ. Ces besoins sont largement dépassés dans les grandes agglomérations et ils se répartissent en trois parts égales : celle des ménages, celle des commerces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



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. une eau qui va entrer dans un cycle de refroidissement d'une chaudière est moins exigeante que l'eau utilisée dans l'industrie électronique .

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...).

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.

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

Eau Usée

Une eau usée est une eau chargée de **substances minérales ou/et organiques**, issues de l'activité humaine provoquant, sous une **concentration anormale**, une dégradation de la qualité de l'eau naturelle du milieu récepteur

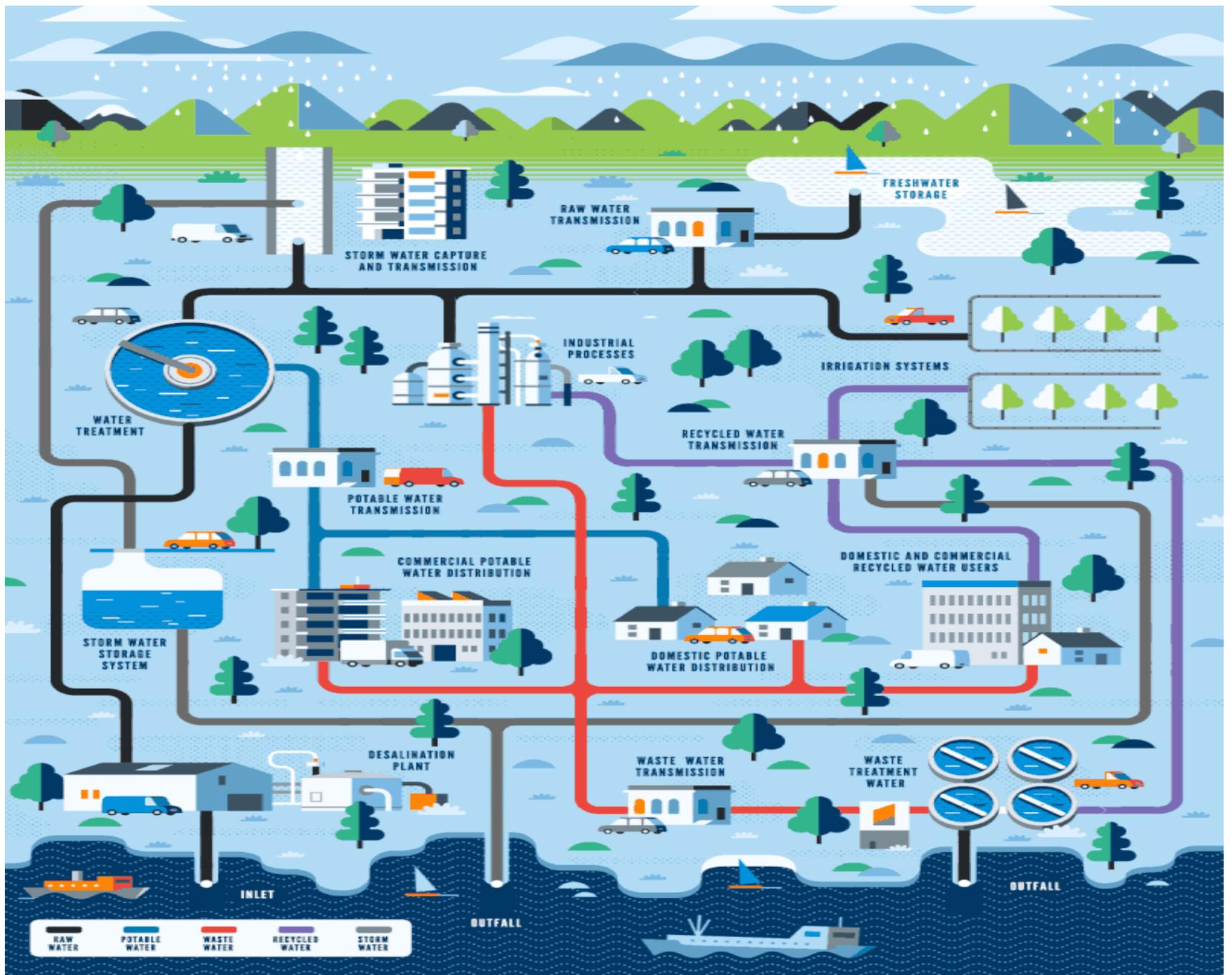
CARACTERISTIQUES MOYENNES DES EAUX USEES DOMESTIQUES :

CONCENTRATIONS MOYENNES		
PARAMÈTRES	Echelle de variation	Fraction décantable
pH	7,5 à 8,5	
Extrait sec (mg/l)	1 000 à 3 000	10%
MES totales (mg/l)	100 à 400	50 à 60%
DBO ₅ (mg/l)	150 à 500	25 à 30 %
DCO (mg/l)	300 à 1 000	30%
NTK (mg/l)	30 à 100	< 10%
N-NH ₄ ⁺ (mg/l)	20 à 80	0%
N-NO ₂ ⁻ (mg/l)	< 1	0%
N-NO ₃ ⁻ (mg/l)	< 1	0%
Détergents (mg/l)	6 à 13	
P total (mg/l)	10 à 25	10%

Nature et Origine:

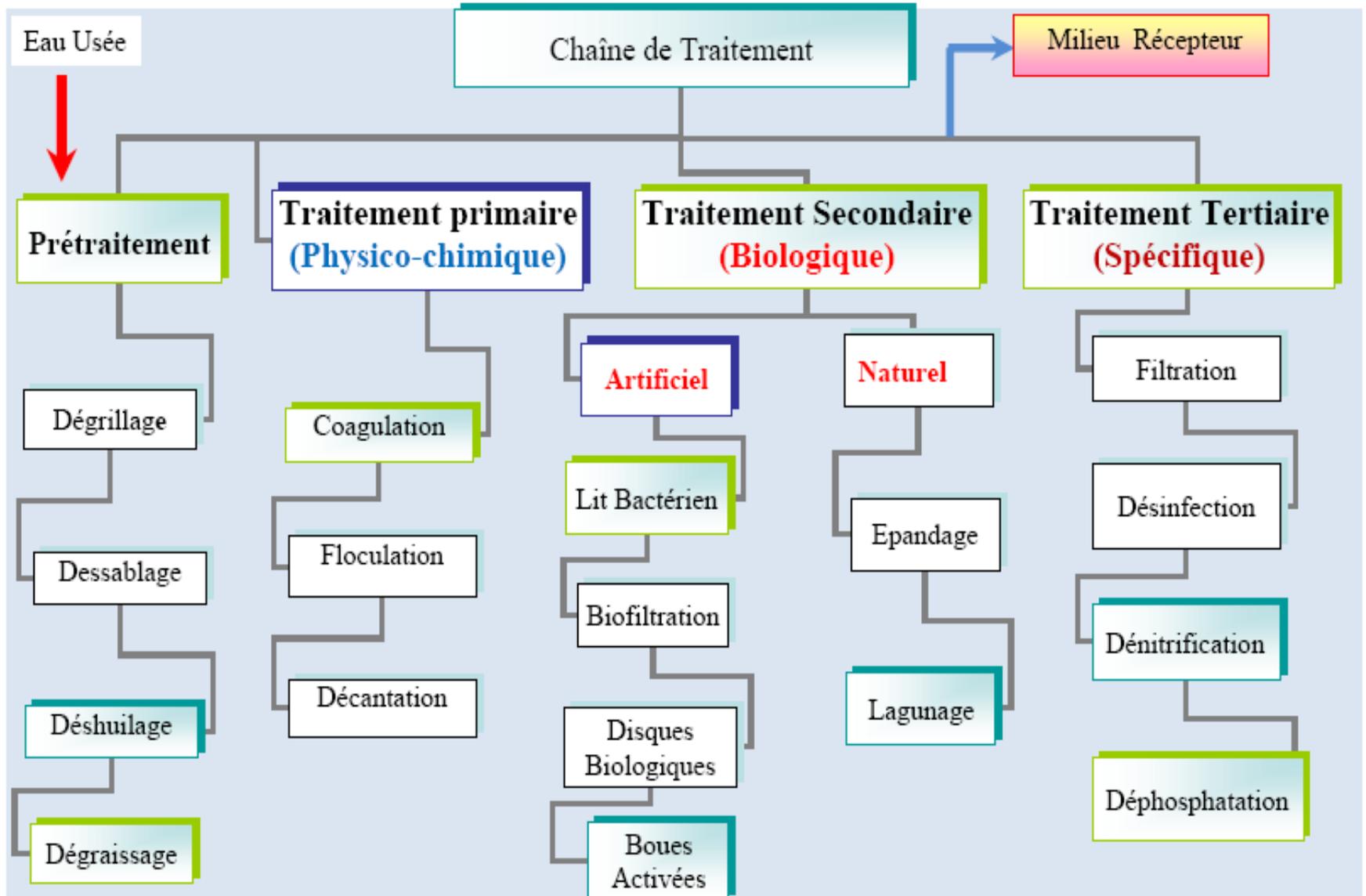
On distingue Quatre grandes catégories d'eaux usées:

- **Les eaux usées d'origine domestique:**
Les Eaux ménagères (cuisine, bain, lessives etc...) + Eaux des vanes .
- **Les eaux usées d'origine industrielle:**
Caractéristiques du type d'industrie.
- **Les eaux usées d'origine agricoles :**
Les effluents agricoles renferment diverses substances, d'origine agricole ou animale.
- **Les eaux de ruissellement :**
Ce sont essentiellement les eaux de pluie et de lavage des chaussées.



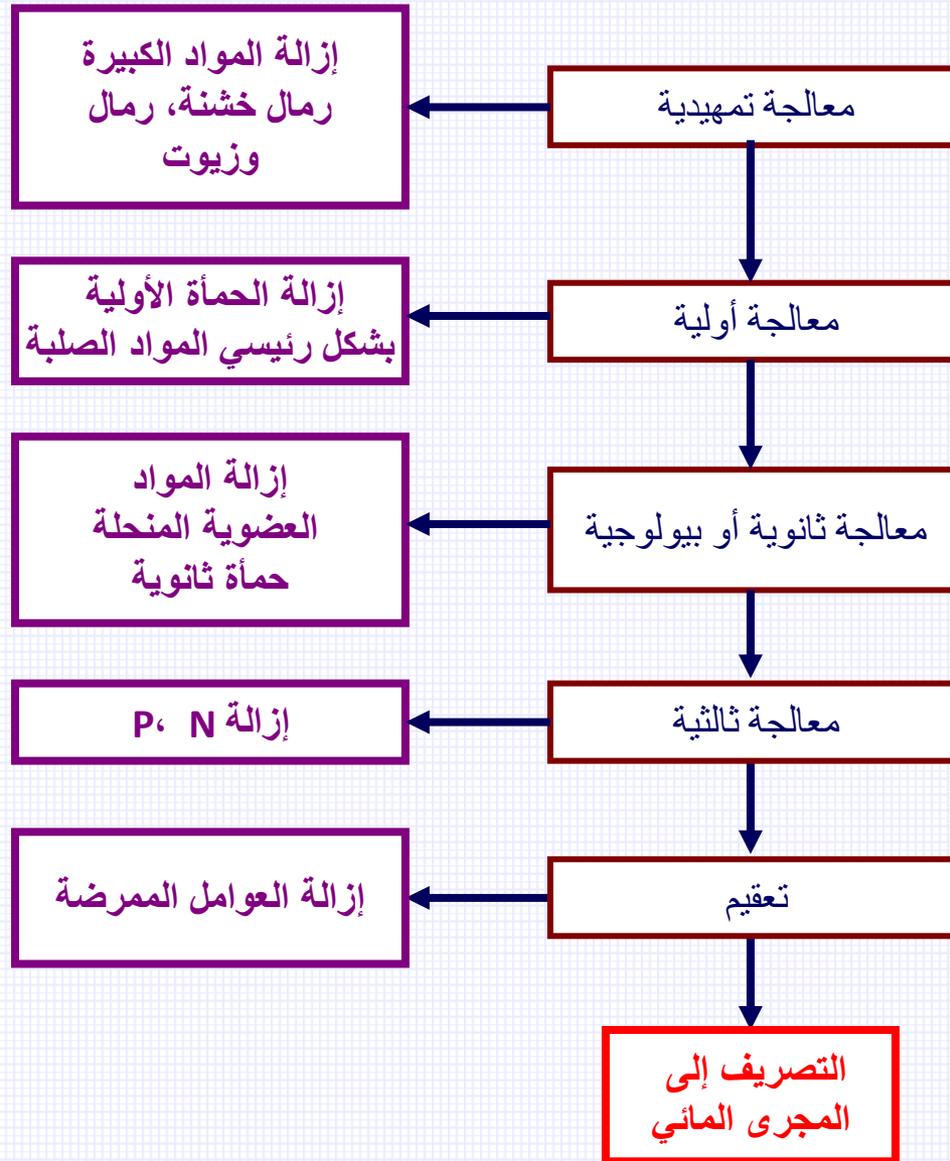
FILIERES DE TRAITEMENT

Schéma général

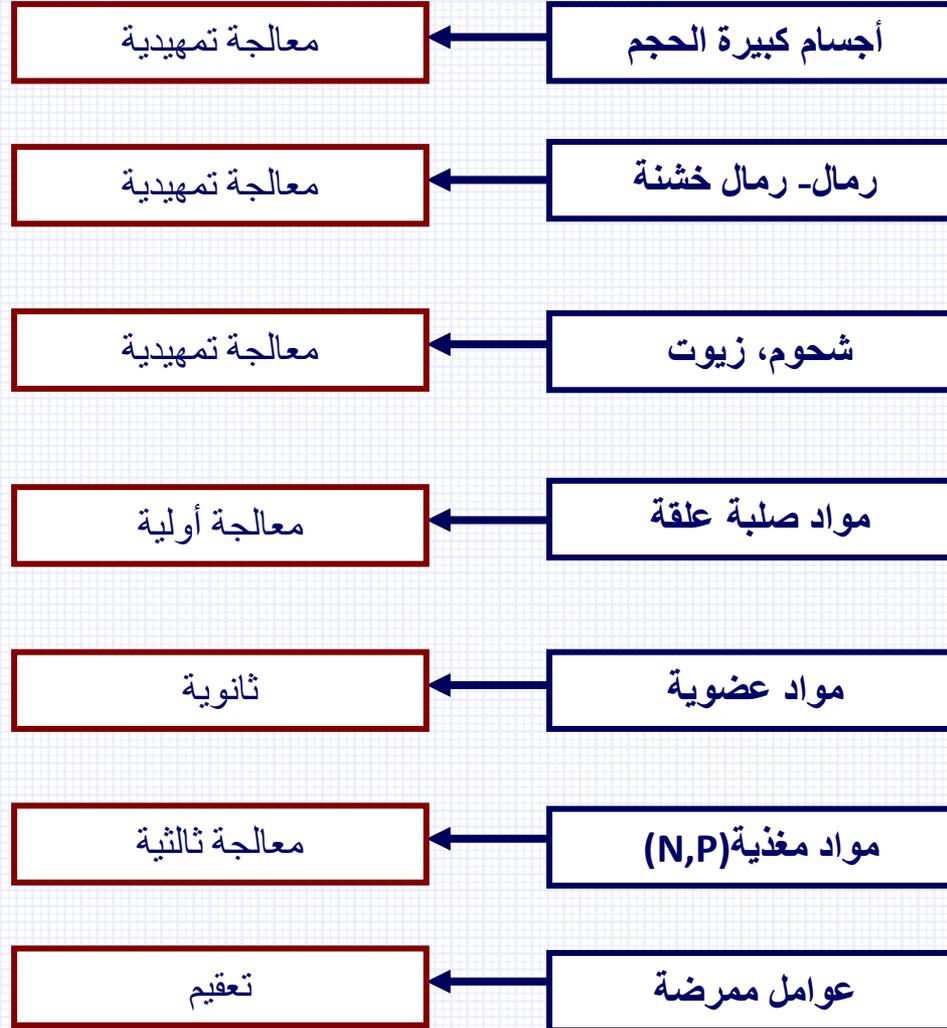


Le Schéma de la configuration d'une Chaîne de traitement des eaux usées

المخطط العام لمعالجة مياه الصرف الصحي

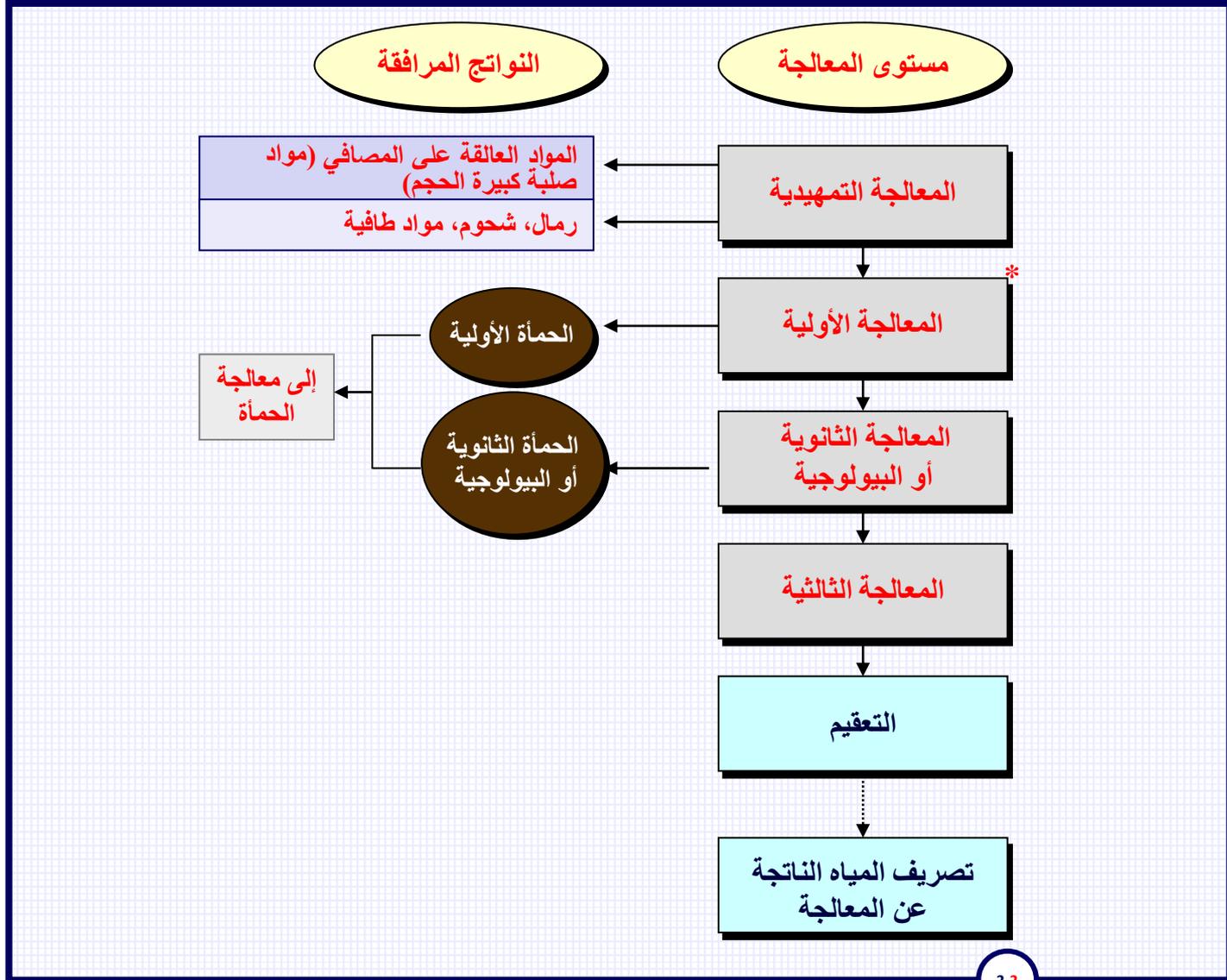


معالجة مياه الصرف الصحي-
مستوى المعالجة



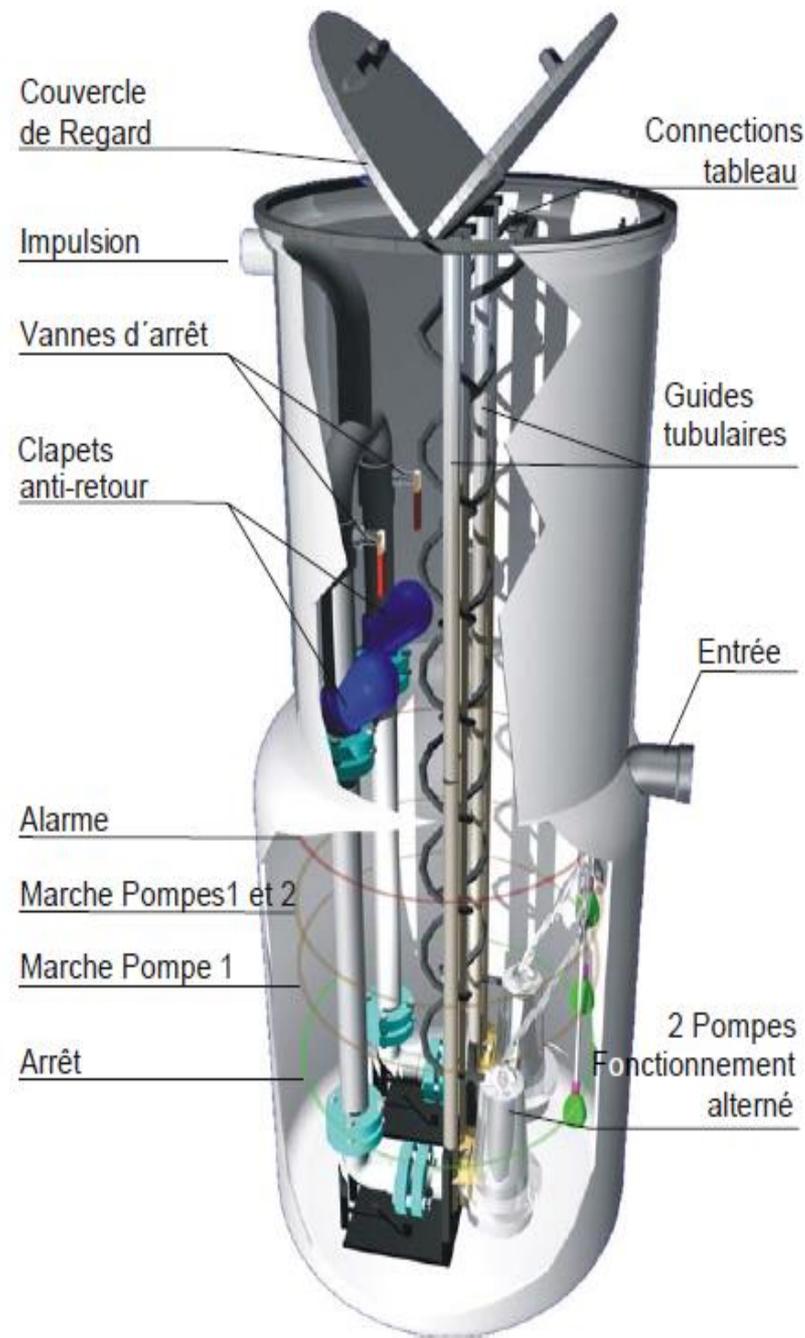
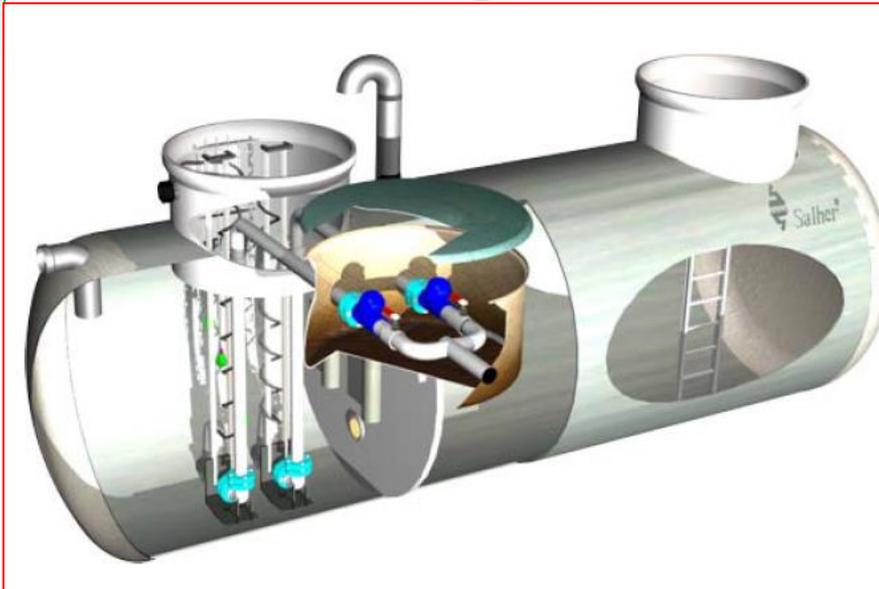
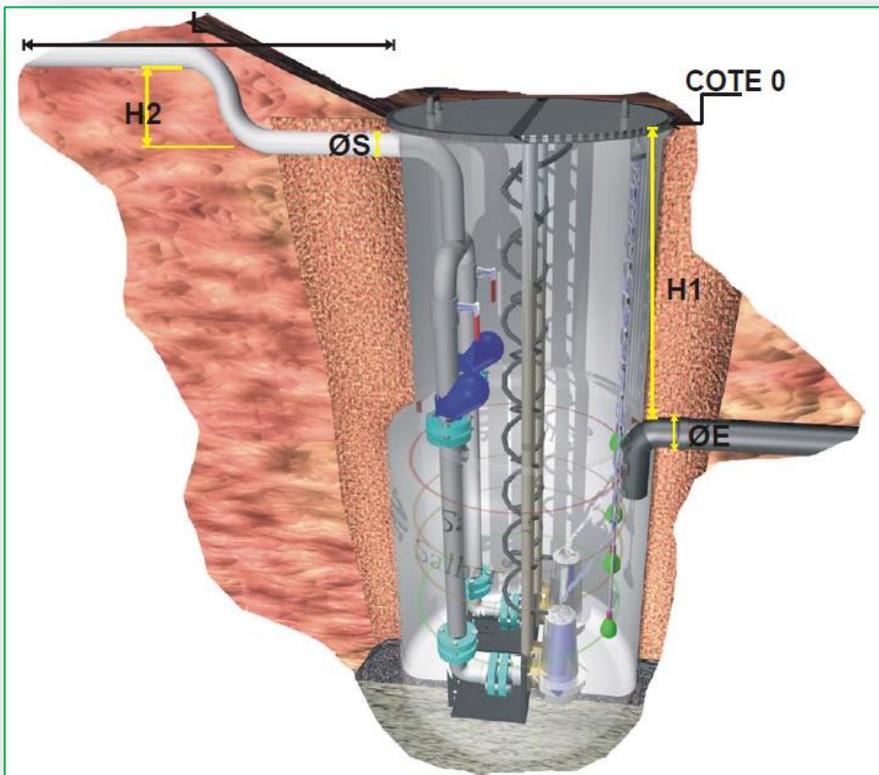
1.2 المخطط العام لمعالجة مياه الصرف الصحي والحماة

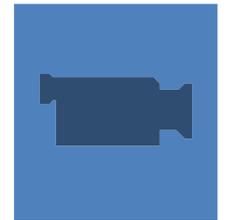
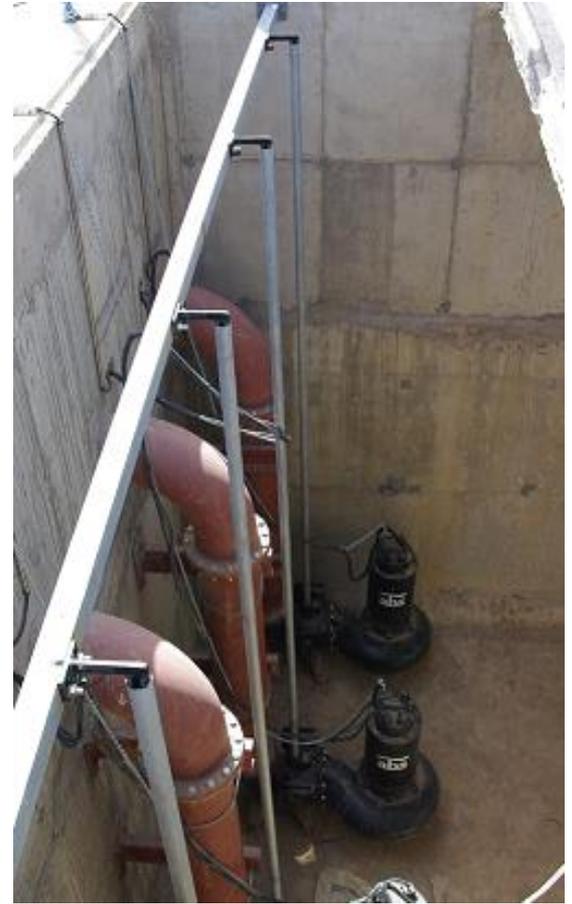
1.1.2 مخطط معالجة مياه الصرف الصحي



Le Relevage (Poste de relèvement)

Une station de relèvement permet d'acheminer les eaux dans la station d'épuration ou traitement , lorsque ces dernières arrivent à un niveau plus bas que les installations de traitement. Cette opération de relèvement des eaux s'effectue grâce à des pompes ou à des vis d'Archimède





Prétraitements

On entend par « prétraitement » une série d'opérations qui a pour but d'éliminer la partie la plus visible de la pollution et la plus gênante sur le plan de l'exploitation des ouvrages. Ils ont un rôle déterminant sur le plan de l'exploitation de la station d'épuration et se compose de:



المعالجة التمهيدية

الغرض العام والعمليات الرئيسية

1.التصفية الخشنة ←

إزالة المواد الصلبة

الكبيرة الحجم [مثلاً: الحجارة،

القطع البلاستيكية، الأوراق الخ]

2.إزالة الرمال والشحوم ←

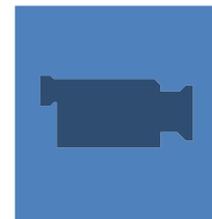
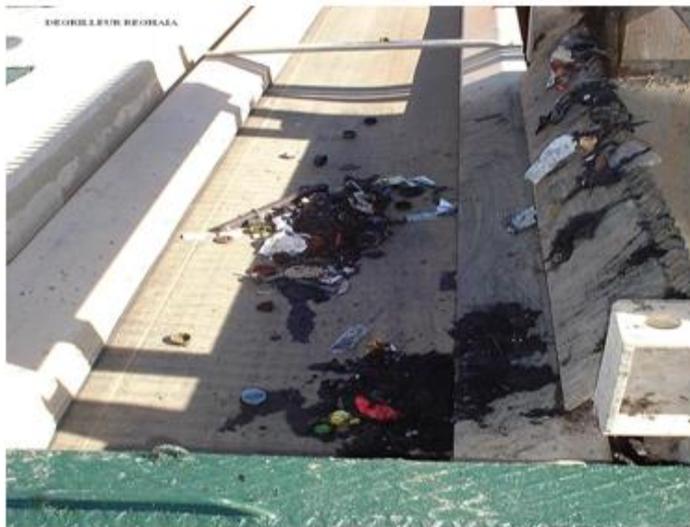
إزالة دقائق الرمال والشحوم

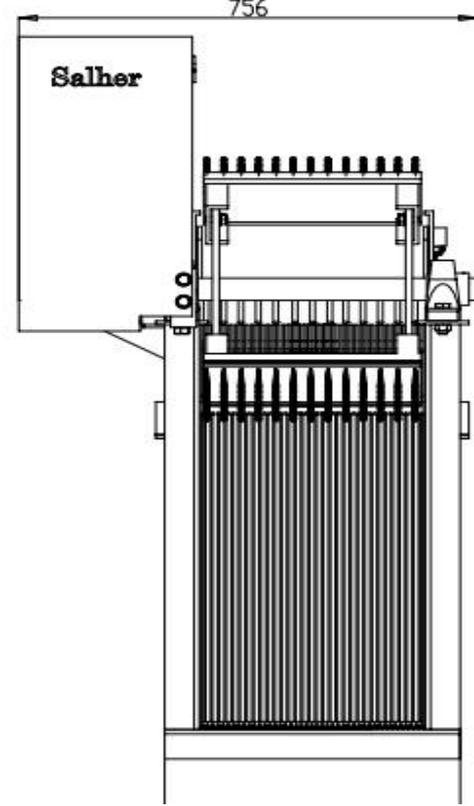
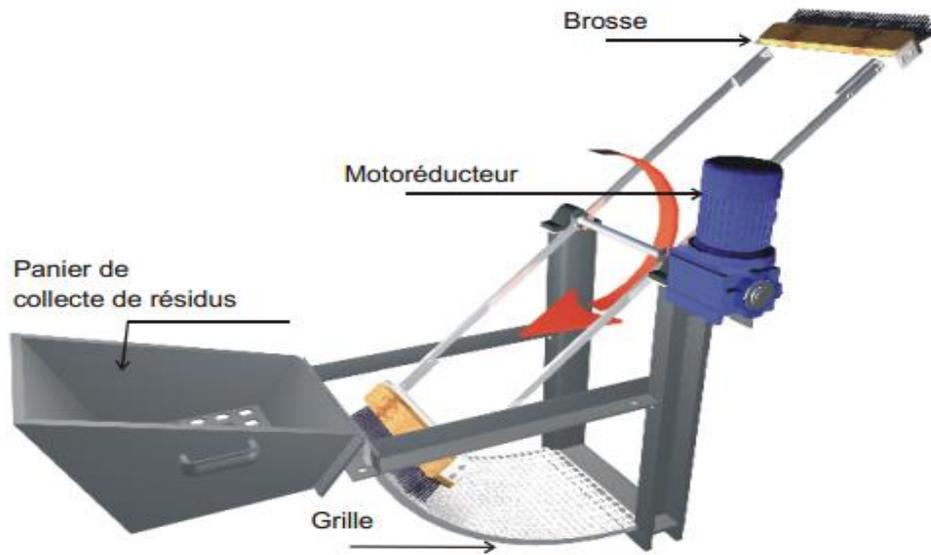
Le Dégrillage

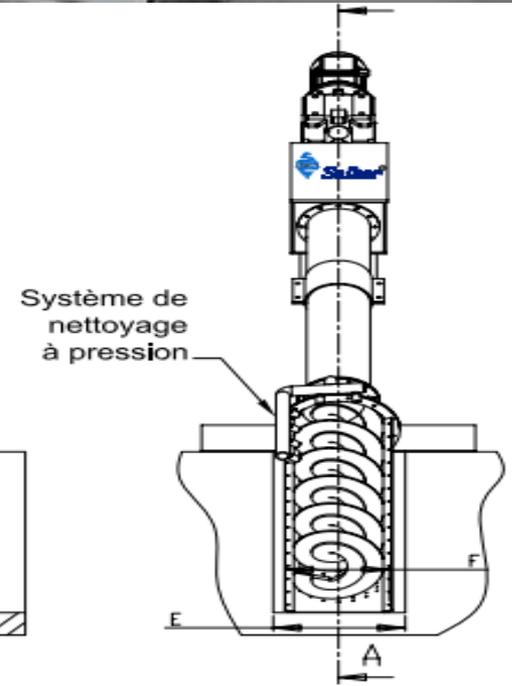
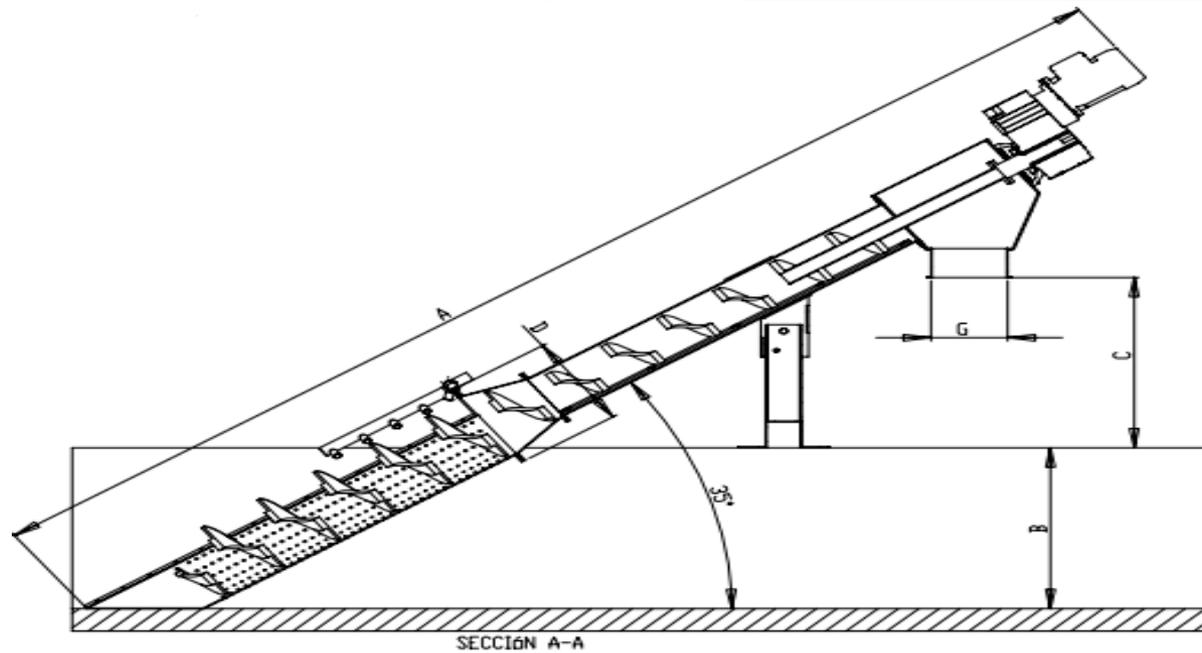
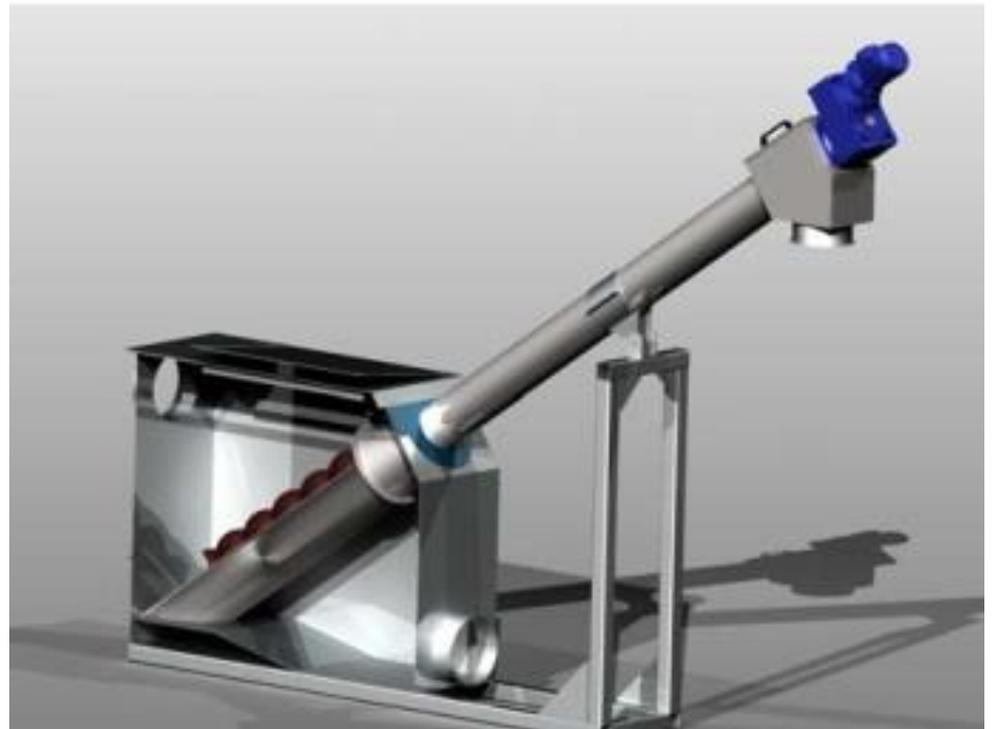
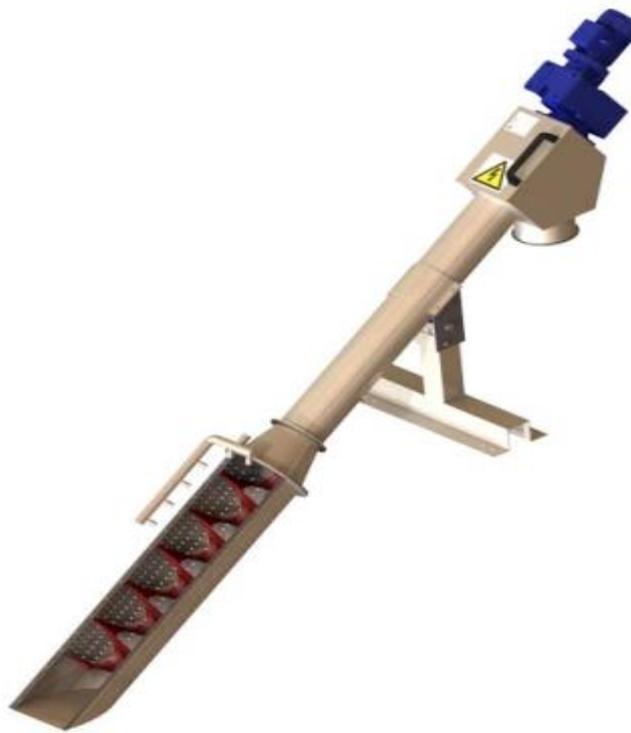
C'est le premier dispositif que l'on rencontre. Il est destiné à retenir, dès leur entrée sur la station, les matières volumineuses qui pourraient perturber la suite du traitement. Généralement, il comprend deux étapes de grilles :

- **Un dégrillage grossier** : avec un espacement entre barreaux de l'ordre de 8 à 10 cm, retient les éléments les plus volumineux.
- **Le dégrillage fin** : qui le suit, avec un espacement entre barreaux de l'ordre de 2 cm, complète l'opération. Parfois, un troisième étage plus fin, le tamisage, renforce ce dispositif.

La vitesse de passage de l'eau à travers les grilles est de l'ordre de 0,6 m/s à 1 m/s. Le nettoyage de ces grilles doit être automatique pour éviter le colmatage, on dit « feutrage » pour les grilles.







2.2.2 التصفية

إزالة الأجسام الصلبة الكبيرة

الغرض العام:

- تقليل التلوث الجمالي
- حماية المعدات الكهربائية الميكانيكية

السبب:

- المصافي
- المعدات الكهربائية الميكانيكية الخاصة بالمعالجة
- البوابات
- إزالة الروائح
- أجهزة القياس، مثلاً: لقياس H_2S

المعدات الكهربائية الميكانيكية:

Calcul de la largeur de la grille :

$$\text{Surface immergée : } S = \frac{Q_{\text{pointe}}}{V \cdot \theta \cdot C}$$

avec :

V : vitesse admise pour le débit Q considéré

C : coefficient de colmatage

θ : coefficient de passage libre = $E / [E + e]$

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

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

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

$$I = \frac{S_{\text{grille}}}{L_0}$$

L_0 = Hauteur d'eau

$$N_b = \frac{I - E}{e + E}$$

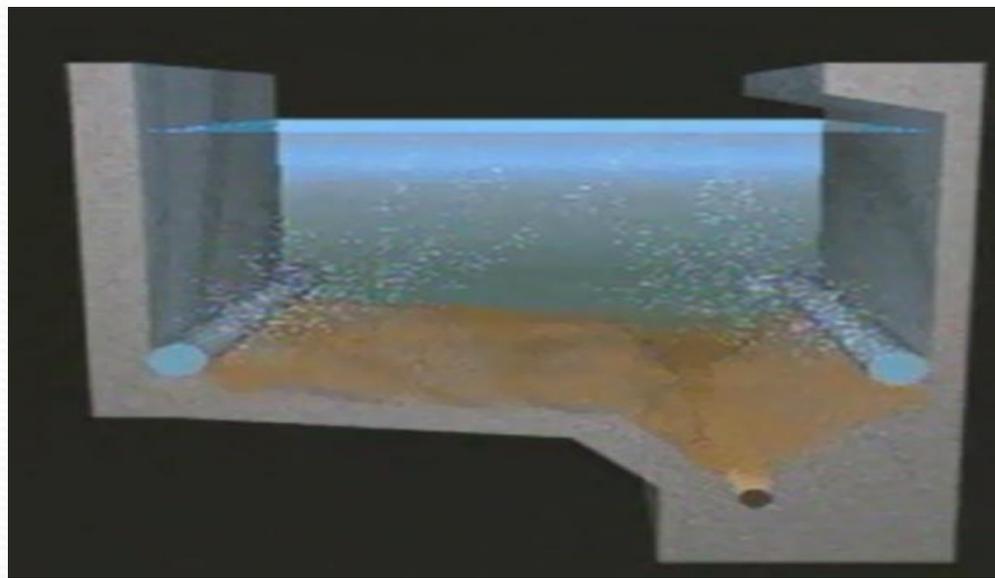
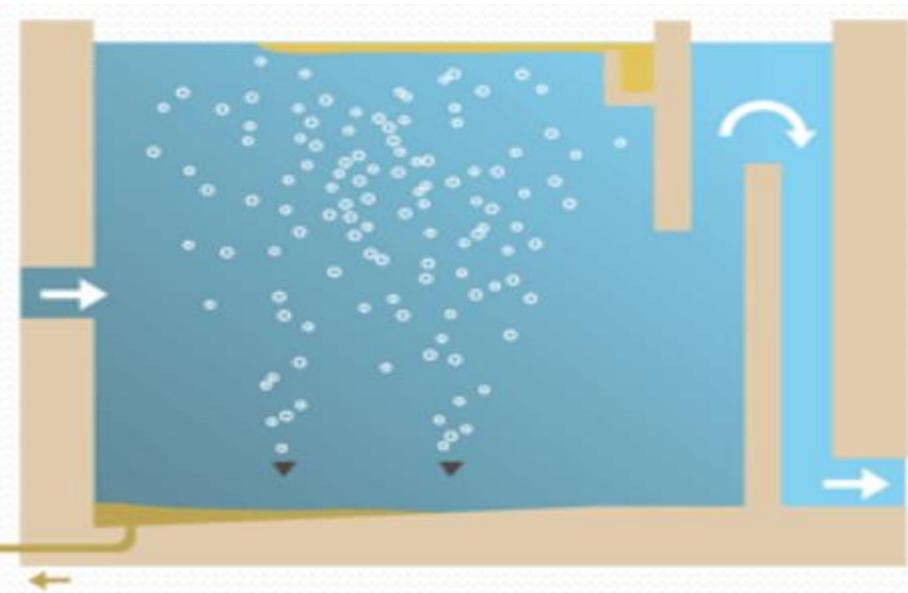
Dessablage ou dessablement

Il s'agit de retenir (Limite la présence) les sables, matières minérales pondérales qui pourraient être responsables d'abrasion sur les pompes et tuyauteries et de bouchage et ensablement d'ouvrages, notamment les digesteurs , par précipitation gravitaire en réduisant la vitesse de 1 m.s^{-1} à $0,3 \text{ m.s}^{-1}$ pour décanter les éléments minéraux ($d = 1,35$ à $1,5 \text{ g.cm}^{-3}$).

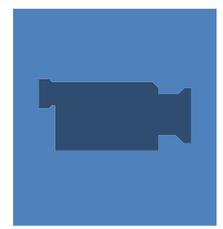
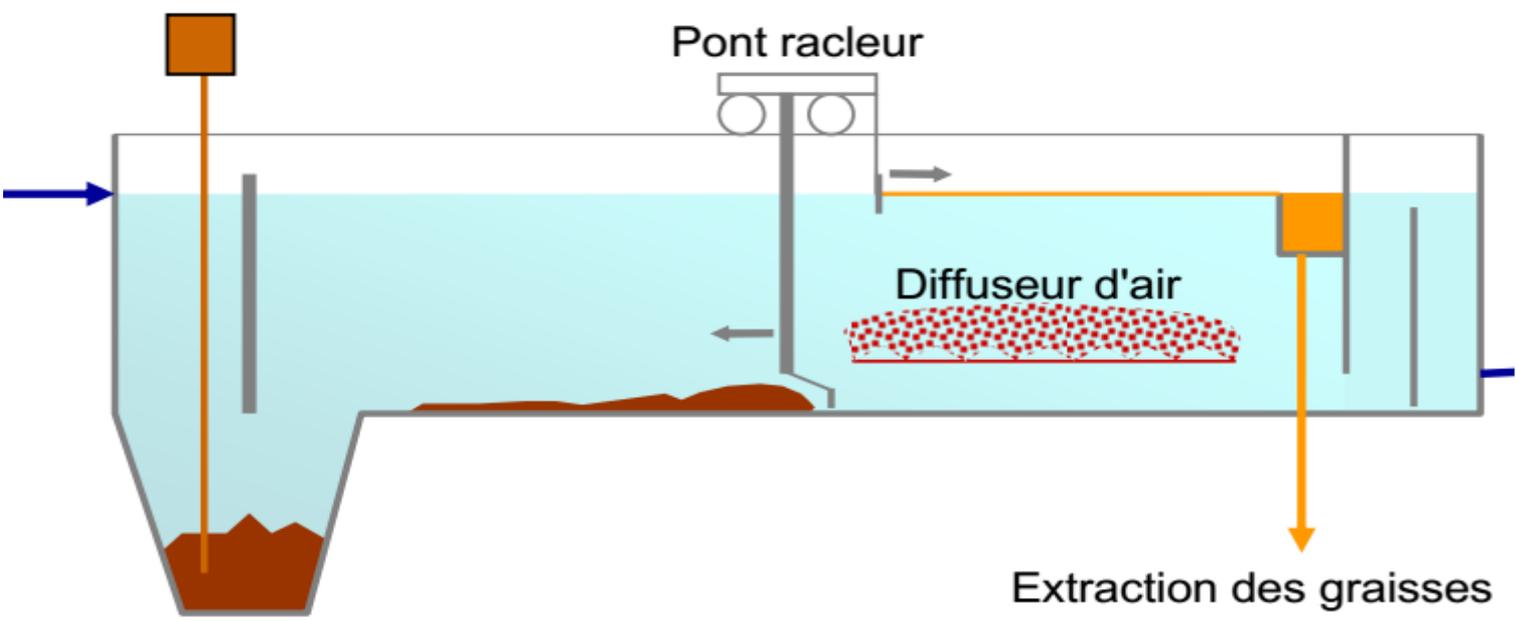
Le principe est simple :

Les graisses et huiles étant plus légères que l'eau, il suffit de ralentir suffisamment la vitesse pour que les particules légères remontent à la surface et soient piégées sur une cloison. Toutefois, les particules graisseuses sont très fines et les forces de capillarité s'opposent à la poussée d'Archimède. Pour améliorer le rendement de séparation, on peut diffuser de très fines bulles d'air. Celles-ci se collent sur les particules et les font flotter plus rapidement. Le dispositif de bullage doit permettre de générer de très fines bulles. On utilise à cet effet une turbine immergée aspirant l'air de surface au moyen d'un tube et le dispersant dans la masse liquide mise en mouvement lent de rotation.

Une cloison siphonoïde placée en fin de bassin dans des zones tranquillisées bloque les graisses en surface. Ces dernières sont ensuite raclées vers des trémies d'évacuation.



Pompage des sables









Le calcul du dimensionnement se fait de manière suivante:

$$\text{Surface : } S = \frac{Q}{V_{asc}}$$

$$\text{Volume : } V = \tau * Q$$

$$\text{Hauteur: } H = \frac{V}{S}$$

avec :

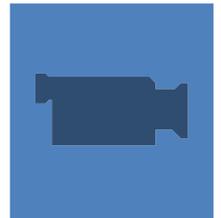
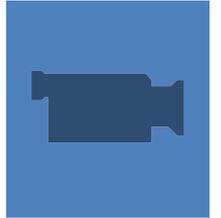
S : surface (m²)

Q : débit (m³/s)

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

V : volume (m³)

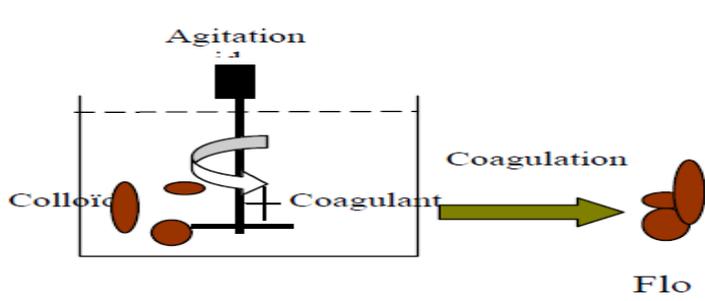
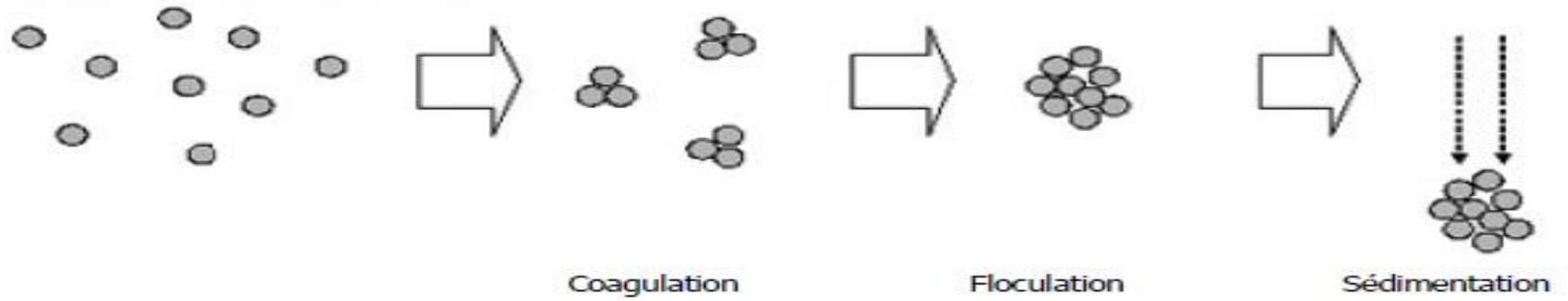
τ : temps de séjour (jours)



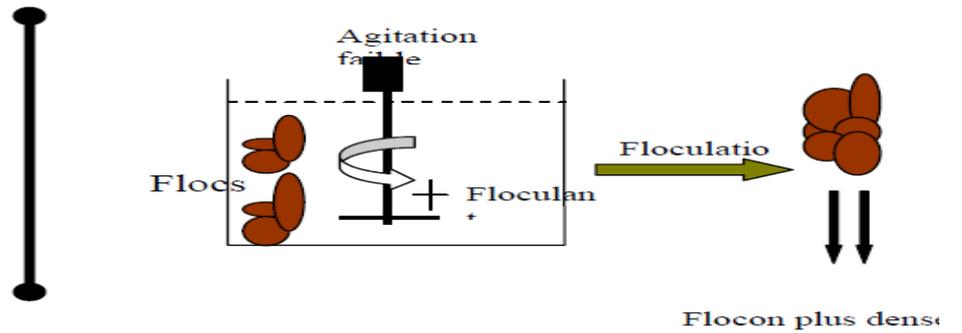
Traitements primaires

Traitement physico-chimique (Primaire) :

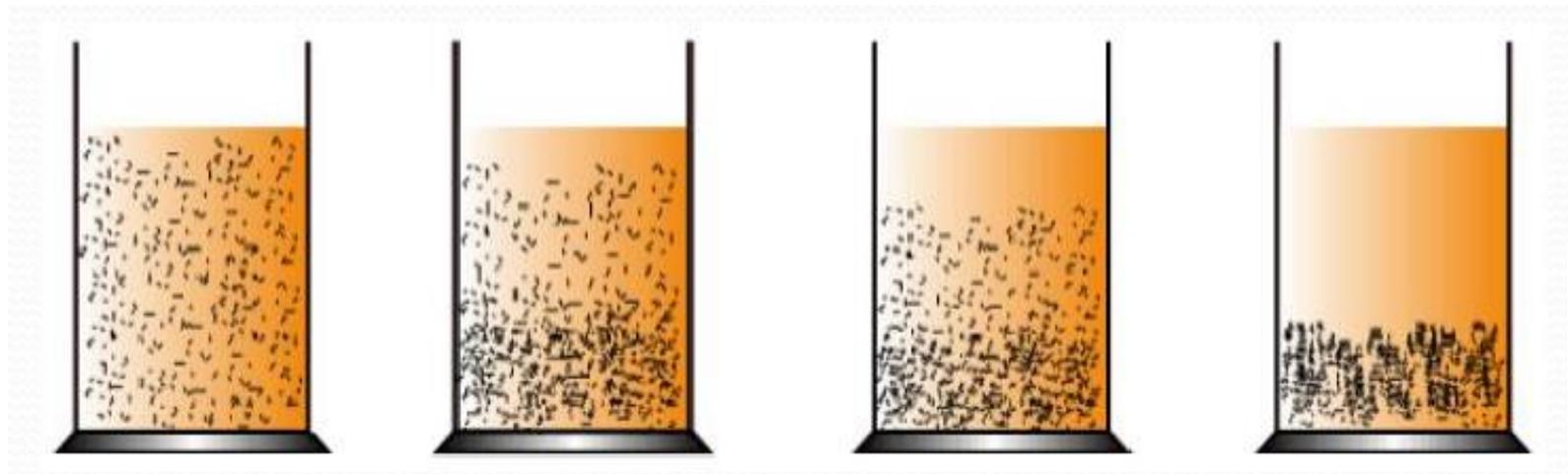
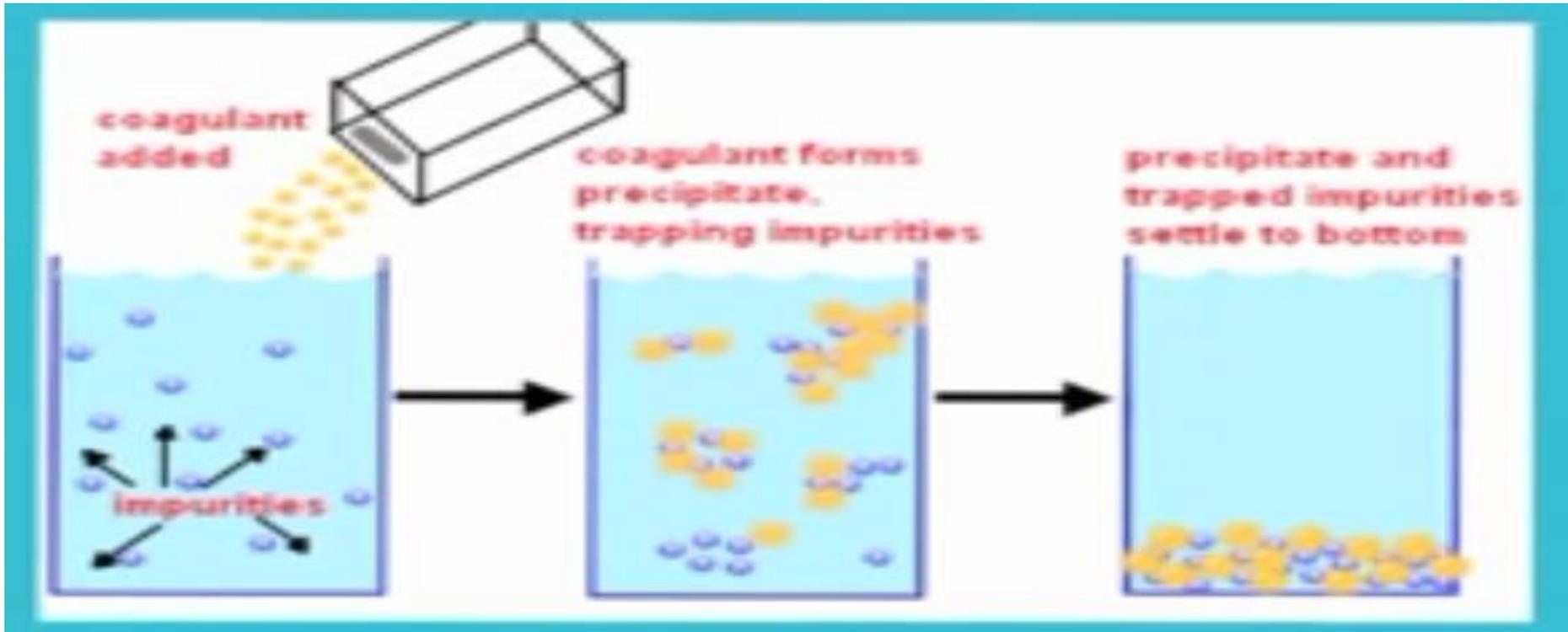
il s'agit simplement d'éliminer les **matières en suspension (MES)**, et les **matières colloïdales** par introduction d'agents chimiques (adjuvants ou réactifs coagulants) , qui a pour but la déstabilisation des particules colloïdales en suspension, puis formation de flocons par adsorption et agrégation (La coagulation-floculation) , les flocons ainsi formés seront décantés et filtrés par la suite



(a) Coagulation



(b) Floculation



Quelque coagulant utilisé :

le sulfate d'alumine	$\text{Al}_2 (\text{SO}_4)_3 \cdot 14 \text{H}_2\text{O}$
l'aluminate de sodium	NaAlO_2 ,
le chlorure d'aluminium	AlCl_3
le chlorure ferrique	FeCl_3
le sulfate ferrique	$\text{Fe}_2 (\text{SO}_4)_3$
le sulfate ferreux	FeSO_4
le sulfate de cuivre	CuSO_4
et les polyélectrolytes.	

et les polyélectrolytes.

le sulfate de cuivre



Décantation primaire

La décantation est la méthode de séparation gravitaire la plus fréquente des MES et colloïdes (rassemblés sous forme de floc après l'étape de coagulation/floculation). Il s'agit d'un procédé de séparation solide/liquide basé sur la pesanteur.

Cette séparation est induite par réduction de la vitesse horizontale qui doit être inférieure à la vitesse verticale (de chute, de décantation ou ascensionnelle) afin de favoriser la sédimentation des particules dans un piège.

Ces particules s'accumulent au fond du bassin, d'où on les extrait périodiquement. L'eau récoltée en surface est dite clarifiée.

La chute d'une particule dans l'eau est régie par la loi de Stokes :

$$V = \frac{g}{18 \cdot \eta} \cdot (\rho_s - \rho_l) \cdot d^2$$

avec :

V : vitesse de décantation de la particule (m/s),

g : accélération de la pesanteur (m/s²),

η : viscosité dynamique (Kg/m.s)

ρ_s : masse volumique de la particule (Kg/m³),

ρ_l : masse volumique du liquide (Kg/m³),

d : diamètre de la particule (m)









Traitements secondaires (Traitements biologiques)

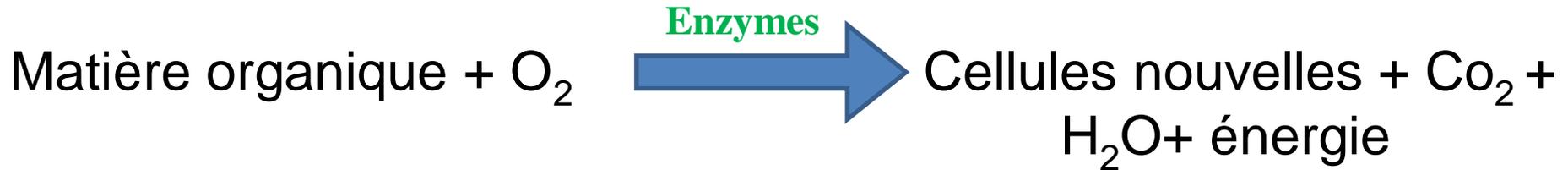
Ils sont essentiellement utilisés pour le traitement des eaux usées d'origine organique, en particulier le traitement de la pollution Urbaine.

Ils sont basés sur la croissance de micro-organismes aux dépens des matières organiques « biodégradables » qui constituent, pour eux, des aliments.

Epuration = transfert de pollution de l'effluent vers les boues

Bactérie = être vivant

Besoin de nourriture (pollution), d'oxygène, d'une température adéquate...



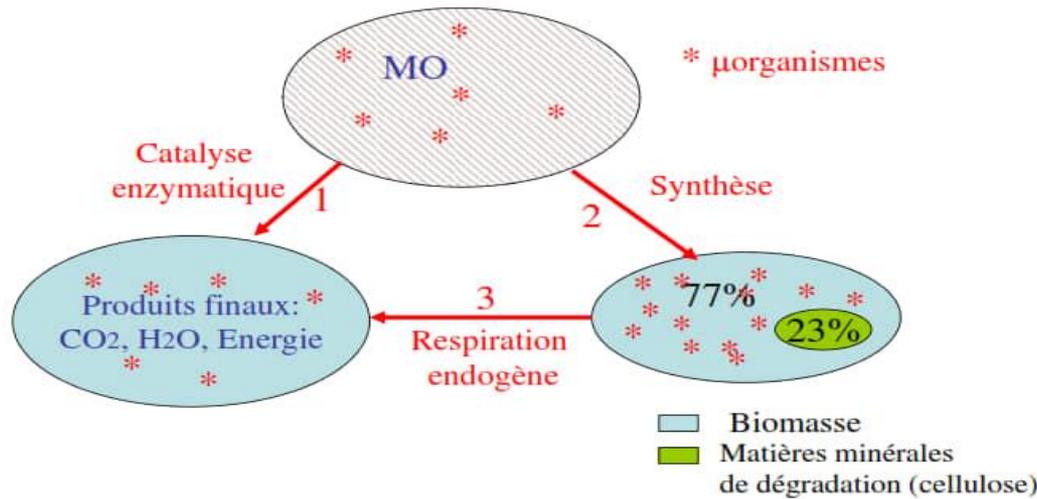
Utilisation de cette énergie pour synthétiser
matière vivante

EAU + POLLUTION ORGANIQUE + MICRO-ORGANISME



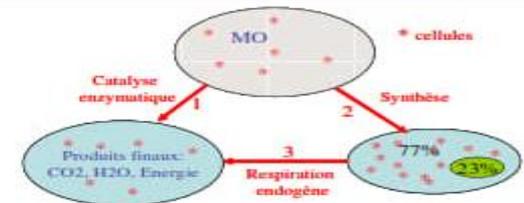
BOUES EN EXCÈS + CO₂ + H₂O

Mécanismes de dégradation de la MO



μ organismes: $\text{C}_5\text{H}_7\text{NO}_2$

MO: $\text{C}_x\text{H}_y\text{O}_z\text{N}_p$ et $p=0$ parfois
(acide glutamique $\text{C}_5\text{H}_9\text{O}_4\text{N}$, Glucose $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$)

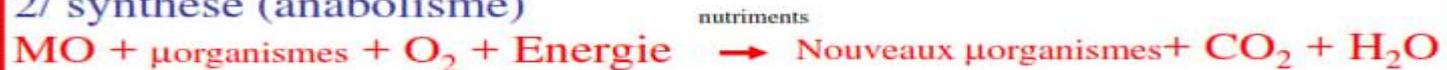


1/ catalyse enzymatique (catabolisme)



Enzymes produits par les μ orga. \rightarrow catalyseurs

2/ synthèse (anabolisme)



3/ respiration endogène



PROCÉDÉS D'ÉPURATION DES EAUX RÉSIDUAIRES

a- procédés biologiques naturels :

ils réalisent l'épuration par le sol, où, grâce à l'énergie solaire, les matières organiques polluantes sont dégradées. en pratique, ils se présentent sous deux aspects:

Lagunage Naturel

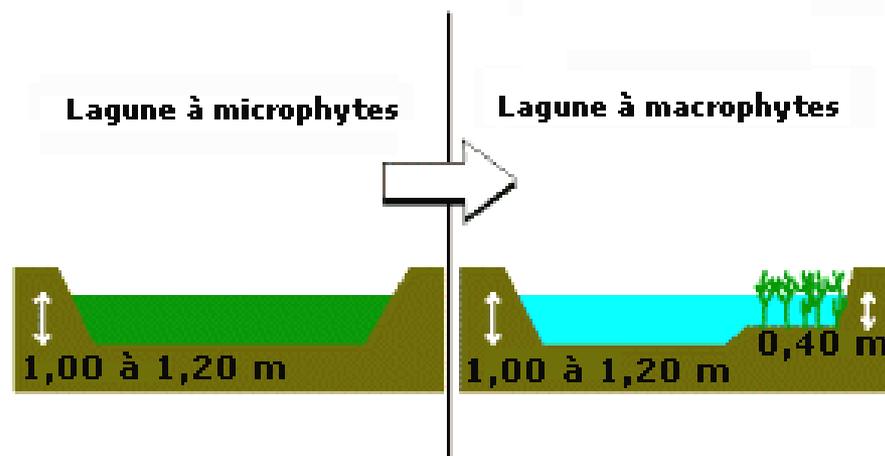
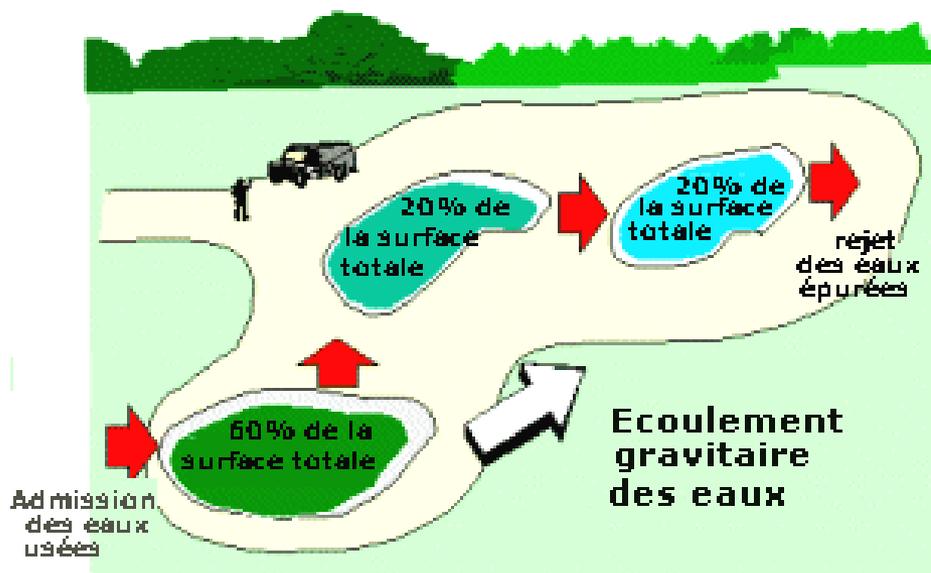
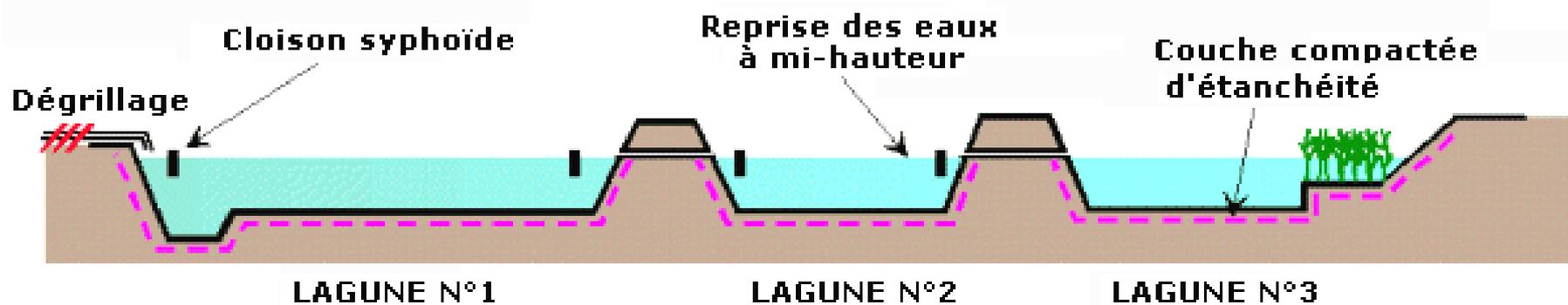
Principe de fonctionnement

L'épuration par lagunage est réalisée grâce à un équilibre biologique, auquel participent des bactéries, du zooplancton, des algues et éventuellement des roseaux.

Les matières en suspension (**Pollution Organique**) de l'eau brute décantent dans le bassin. Les bactéries assimilent la pollution dissoute, et l'oxygène nécessaire à cette dépollution est fourni par les algues (photosynthèse). Le zooplancton consomme les algues. Éventuellement, les roseaux peuvent filtrer l'eau en sortie avant rejet.

L'ensemble de ces phénomènes apparaît dans deux ou trois bassins en série, ce qui autorise l'étagement des phénomènes épuratoires.

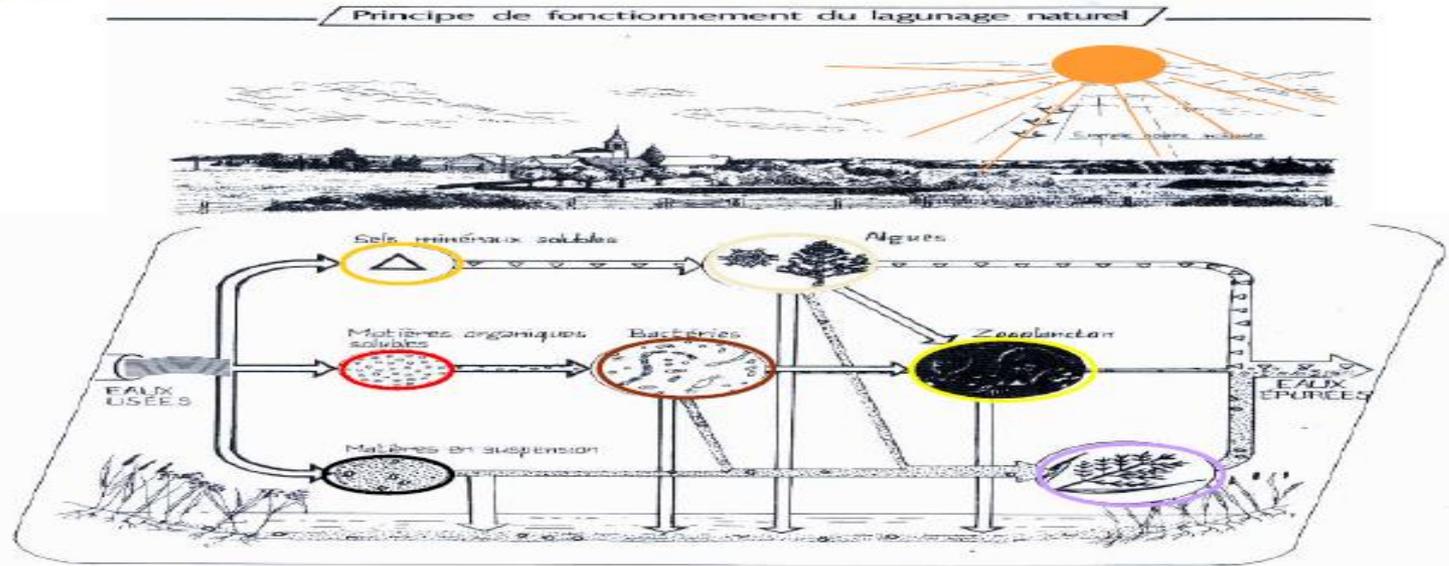
Le lagunage naturel peut être utilisé en traitement complet des effluents ou en traitement tertiaire pour affiner la qualité de l'eau traitée par une boue activée





Processus

Le lagunage naturel



Ce schéma fait apparaître les principaux facteurs de la dégradation de la charge polluante

Le lagunage naturel

Eaux usées + Bactéries $\xrightarrow{\text{oxygène}}$ Boues + Eau traitée

Sels minéraux + CO_2 $\xrightarrow{\text{lumière}}$ Masse végétale + oxygène

→ Les bactéries épuratoires fonctionnent avec l'oxygène de la photosynthèse

Domaine d'application

Le créneau privilégié d'application de ce procédé rustique peut être défini comme suit :

- Petites collectivités : 200 à 20000 EH.**
- Eaux résiduaires domestiques seules et peu concentrées (DBO5 < 300 mgO₂/l).**
- Nature du sol peu perméable (ou emploi de géomembranes si coefficient de Darcy > 10⁻⁶ m/s).**
- Grande disponibilité en terrain.**
- Niveau de qualité du rejet : niveau satisfaisant.**
- Acceptation de contraintes d'exploitation lourdes (curage, ...).**
- Bonne élimination des germes pathogènes en été.**

Avantages

- ❑ Généralement pour des petites stations
de taille inférieure à 20000 EH ;
Coûts d'investissement limités
(en absence de forte contrainte d'étanchéification)
- ❑ Faibles coûts d'exploitation ;
- ❑ Bonne intégration dans l'environnement ;
- ❑ Bonne élimination des pathogènes ;
- ❑ Boues peu fermentescibles ;
- ❑ Raccordement électrique inutile ;
- ❑ Bonne élimination de l'azote (70 %) et du phosphore (60 %).

Inconvénients

- ❖ **Emprise au sol importante ;**
- ❖ **Contraintes de nature de sol et d'étanchéité ;**
- ❖ **Variation saisonnière de la qualité de l'eau traitée ;**
- ❖ **Nuisances en cas de défaut de conception et / ou d'exploitation (odeurs, moustiques) ;**
- ❖ **Difficultés d'extraction des boues ;**
- ❖ **Pas de réglage possible en exploitation ;**
- ❖ **Sensibilité aux effluents septiques et concentrés**

Contraintes d'exploitation

- Passage une à deux fois par semaine ;
- Très faible technicité requise pour l'exploitant ;
- Très faible consommation énergétique (voire nulle) ;
- Curage contraignant et coûteux des boues tous les 1 à 5 ans dans le bassin de tête, tous les 10 à 20 ans dans tous les bassins ;
- Faucardage des roseaux tous les ans ,

B - PROCÉDÉS BIOLOGIQUES ARTIFICIELS:

Permettent de localiser sur des surfaces réduites et d'intensifier les phénomènes de transformation et de destruction des matières organiques, tels qu'ils se produisent en milieu naturel :

- **Lit bactérien**
- **Biofiltration**
- **Disques biologiques**
- **Les Boues activées**

Lit Bactérien

Principe:

Ce procédé consiste à alimenter en eau, préalablement décantée, un ouvrage contenant une masse de matériaux (pouzzolane ou plastique) servant de support aux micro-organismes épurateurs qui y forment un film biologique responsable de l'assimilation de la pollution.

L'aération naturelle se fait grâce à des ouïes d'aération. Le film biologique se décroche au fur et à mesure que l'eau percole. En sortie du lit bactérien se trouvent un mélange d'eau traitée et de biofilm. Ce dernier sera piégé dans le décanteur sous forme de boues et l'eau traitée rejoint le milieu naturel. La recirculation des boues vers le décanteur digesteur est essentielle.

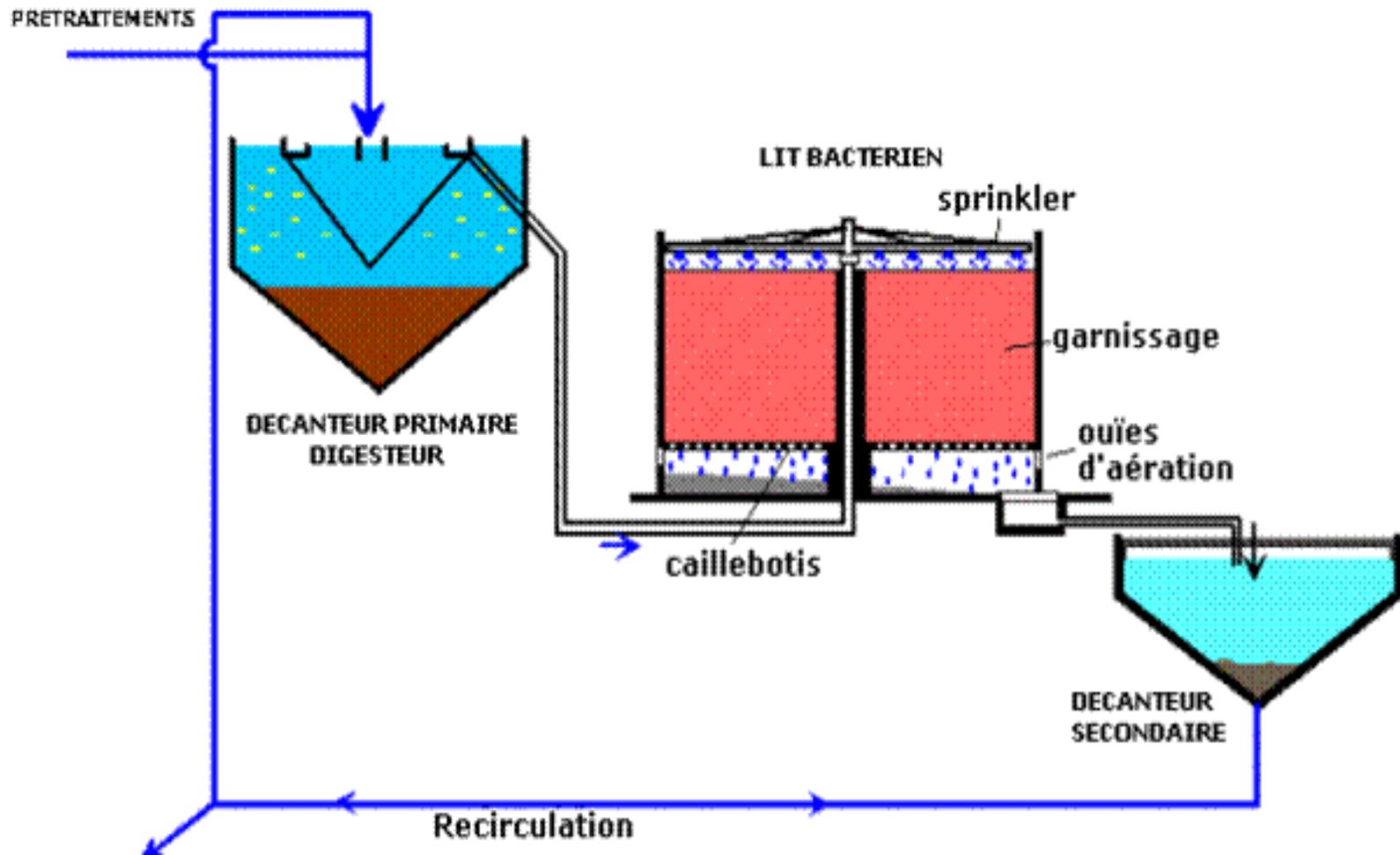


Schéma de principe d'une filière type par lit bactérien

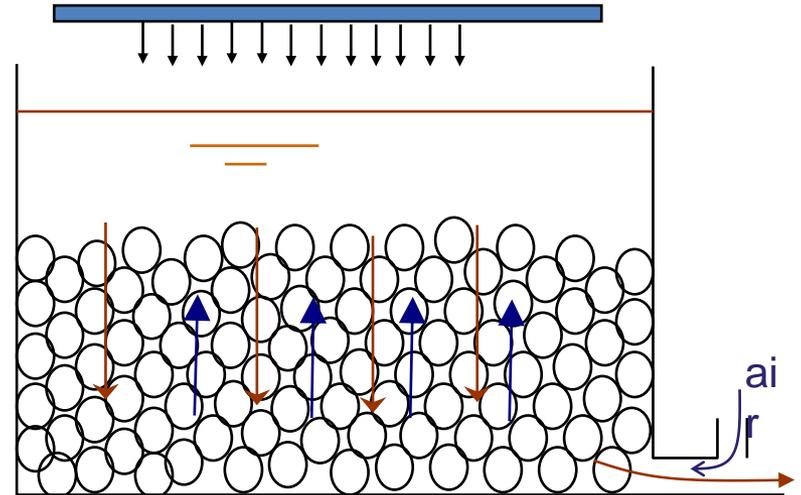
Traitements biologiques

Lits bactériens

- Filtre bactérien = support solide poreux colonisés
- Epuration par les bactéries fixées sur le support (pouzzolane, PVC...)
- Stratification des bactéries

Avantage = compact

Désavantage = odeur

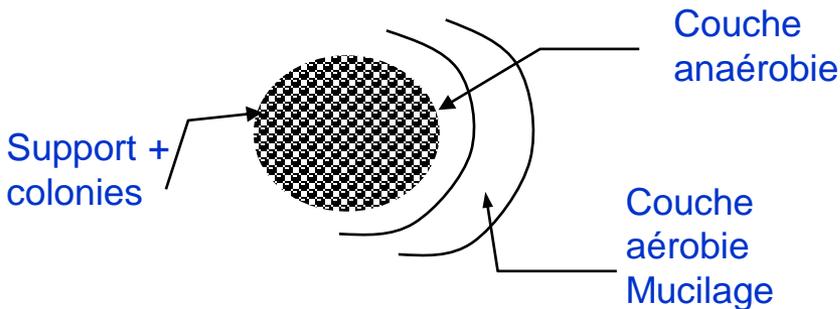


Fonctionnement hydraulique :

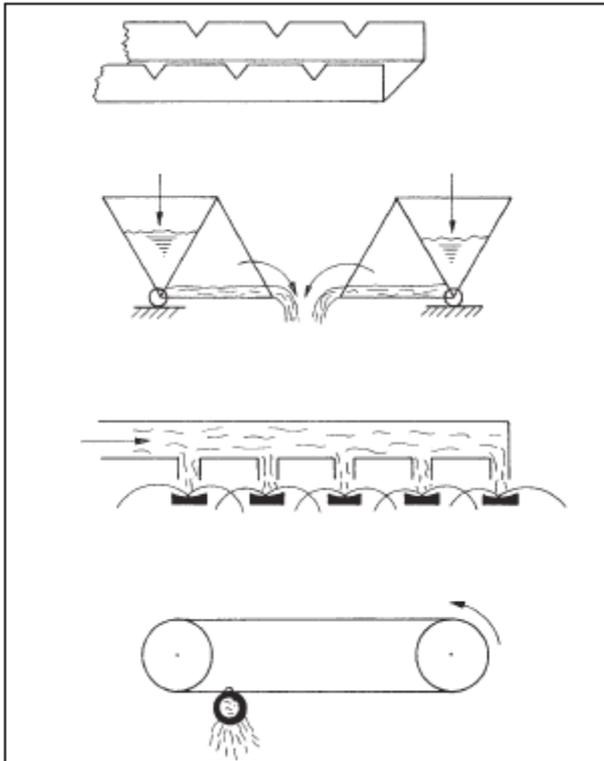
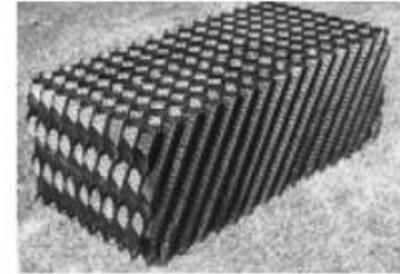
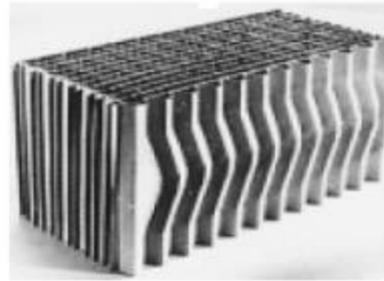
Faible charge $< 0,4 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$

Forte charge $> 0,6 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$

Lessivage pour CH $> 1,7 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$









Avantages :

- ❑ Généralement adapté pour des collectivités de taille inférieure à 10 000 EH ;
- ❑ Faible consommation d'énergie ;
- ❑ Fonctionnement simple demandant peu d'entretien et de contrôle ;
- ❑ Peut être installé en amont d'une station à boues activées afin de déconcentrer les effluents du type agroalimentaire ;
- ❑ Bonne décantabilité des boues ;
- ❑ Plus faible sensibilité aux variations de charge et aux toxiques que les boues activées.

Inconvénients :

- ❑ Coûts d'investissement assez élevés ;
- ❑ Nécessité de prétraitements efficaces ;
- ❑ Sensibilité au colmatage et au froid ;
- ❑ Source de développement d'insectes (en cas de conception et/ou d'exploitation défectueuse) ;
- ❑ Boues fermentescibles ;
- ❑ Ouvrages de taille importante si des objectifs d'élimination de l'azote sont imposés.

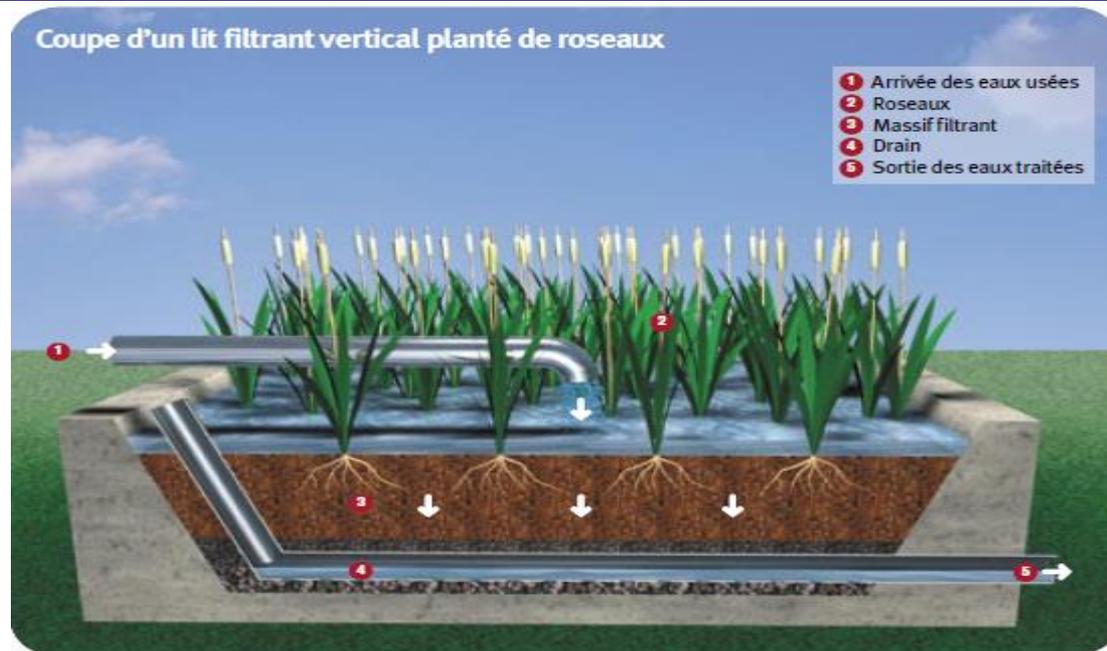
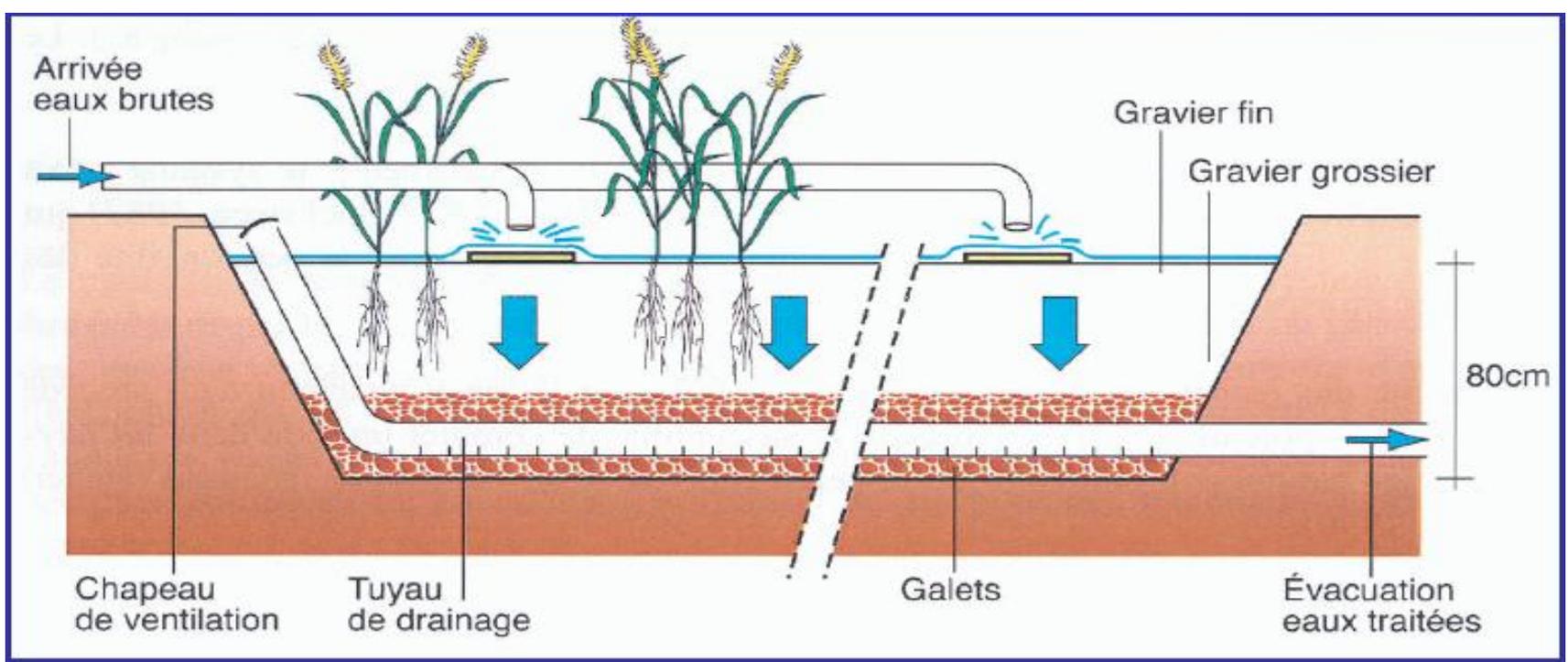
Contraintes d'exploitation:

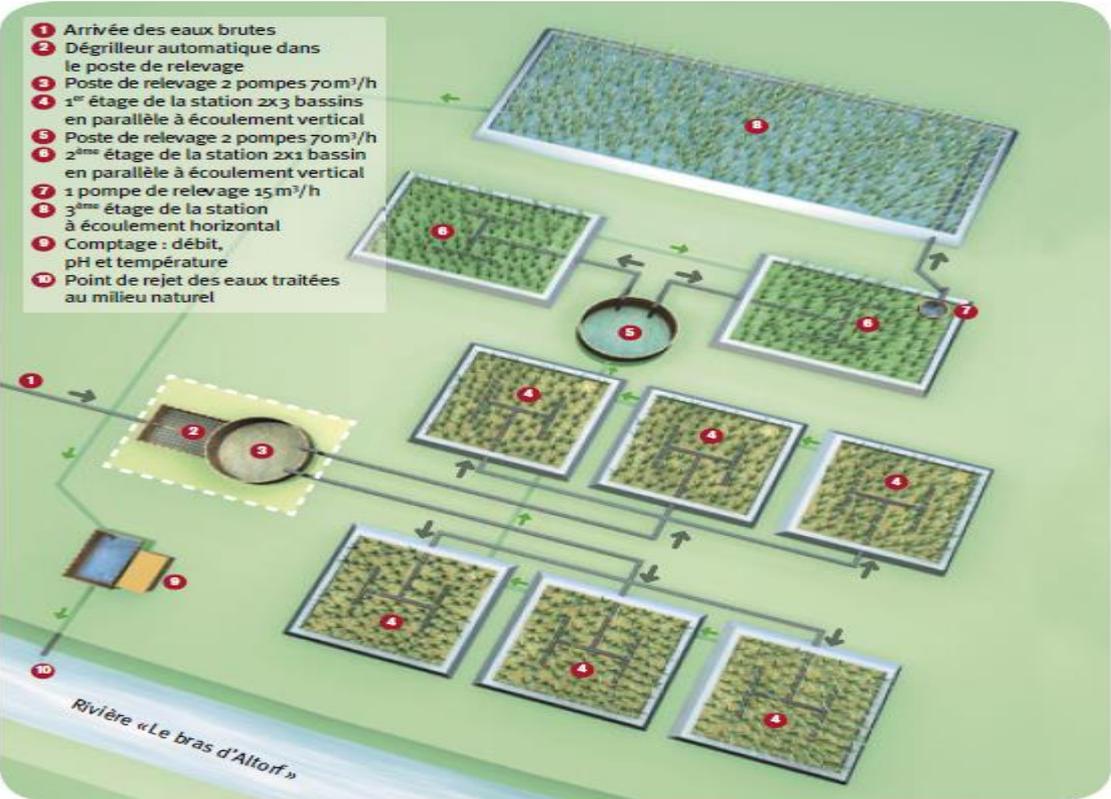
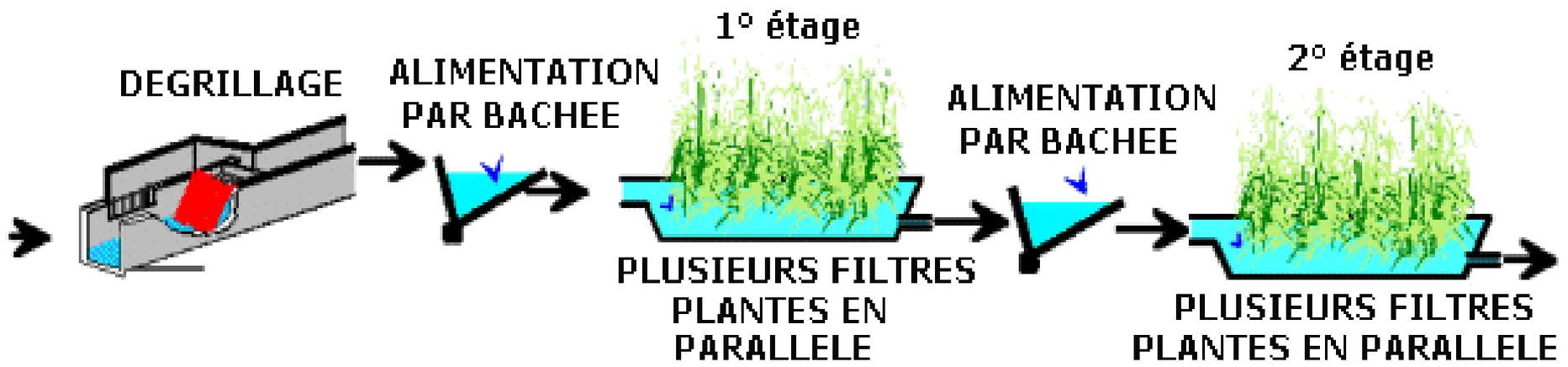
- Passage de l'exploitant au moins deux à trois fois par semaine ;
- Faible technicité requise pour l'exploitant : éviter le colmatage du sprinckler et du matériau de remplissage ;
- Faible consommation énergétique ;
- Extraction des boues du décanteur-digester une à deux fois par an

- Biofiltration:

Principe :

Cette technique est surtout utilisée pour le traitement des eaux urbaines lorsque se pose un problème d'encombrement. Elle utilise comme support un matériau granulaire qui assure d'une part, la rétention des matières en suspension par filtration et d'autre part, la fixation d'une biomasse épuratoire. L'air est insufflé par le bas; l'eau peut être introduite par courant ascendant ou descendant suivant la technique utilisée. Les micro-organismes adhèrent à chaque grain sous la forme d'un film biologique épurateur.





Un filtre planté de roseaux, en construction



Un an plus tard

Avantages

- ❑ Adapté aux petites collectivités ;
- ❑ Pas de gestion contraignante des boues primaires ;
- ❑ Exploitation simple ;
- ❑ Bien adapté au fonctionnement estival saisonnier ;
- ❑ Pas d'obligation de raccordement électrique si le dénivelé est suffisant ;
- ❑ Bonne qualité de l'eau traitée par rapport au lagunage ;
- ❑ Importante élimination de l'azote par nitrification ;
- ❑ Emprise au sol limitée par rapport au lagunage ;
- ❑ Faibles contraintes et coûts d'exploitation.

Inconvénients

- ❖ Nécessité d'un dessableur en tête sur réseau unitaire ;
- ❖ Faucardage annuel ;
- ❖ Élimination de l'azote par dénitrification faible.

Contraintes d'exploitation

- ❑ Passage de l'exploitant une à deux fois par semaine ;
- ❑ Très faible technicité requise pour l'exploitant ;
- ❑ Très faible consommation énergétique, elle peut même être nulle si la topographie du terrain le permet ;
- ❑ Faucardage des roseaux tous les ans (Hiver).

Disques biologiques :

Une autre technique faisant appel aux cultures fixées est constituée par des disques parallèles, régulièrement espacés sur un axe horizontal tournant à faible vitesse. Les micro-organismes se développent et forment un film biologique épurateur à la surface des disques. Les disques étant semi immergés. Leur rotation permet l'oxygénation de la biomasse fixée.

Ce procédé est mieux adapté à un système séparatif que unitaire, il s'adapte bien aux fortes charges des effluents. Il élimine la DBO_5 , la DCO et l'ammoniac de façon satisfaisante

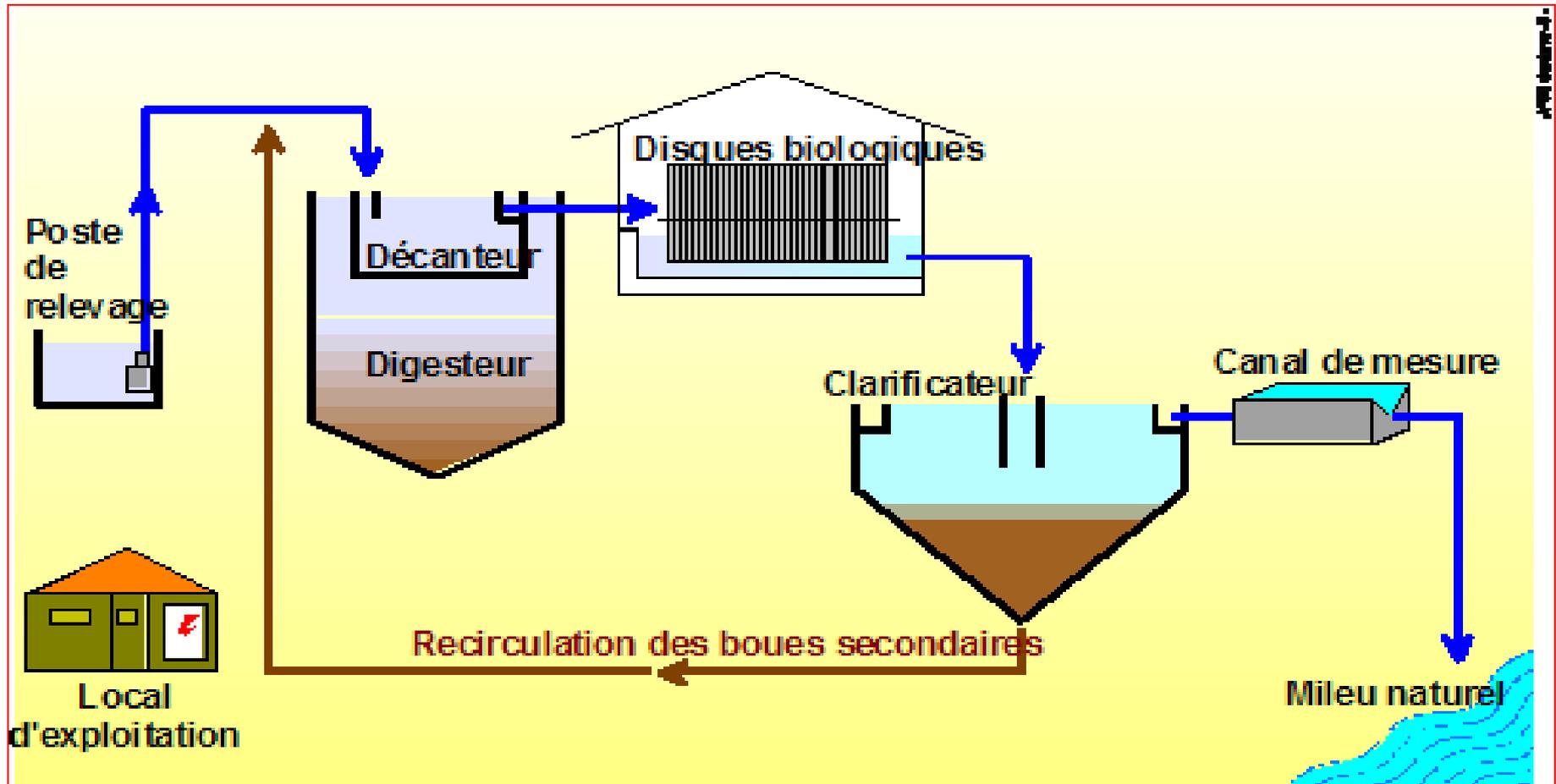
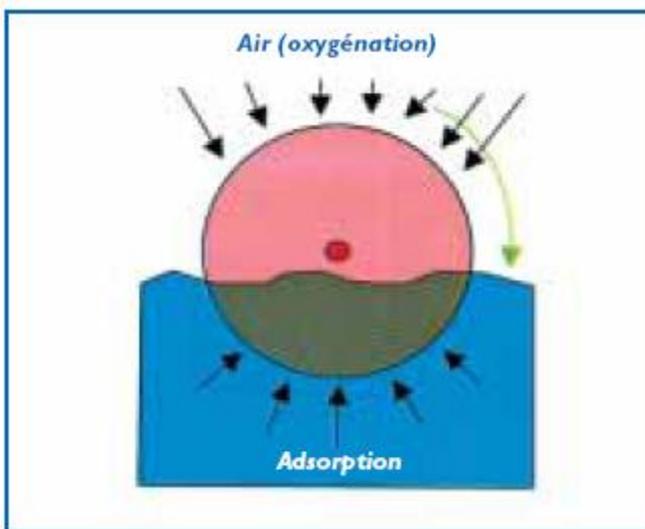
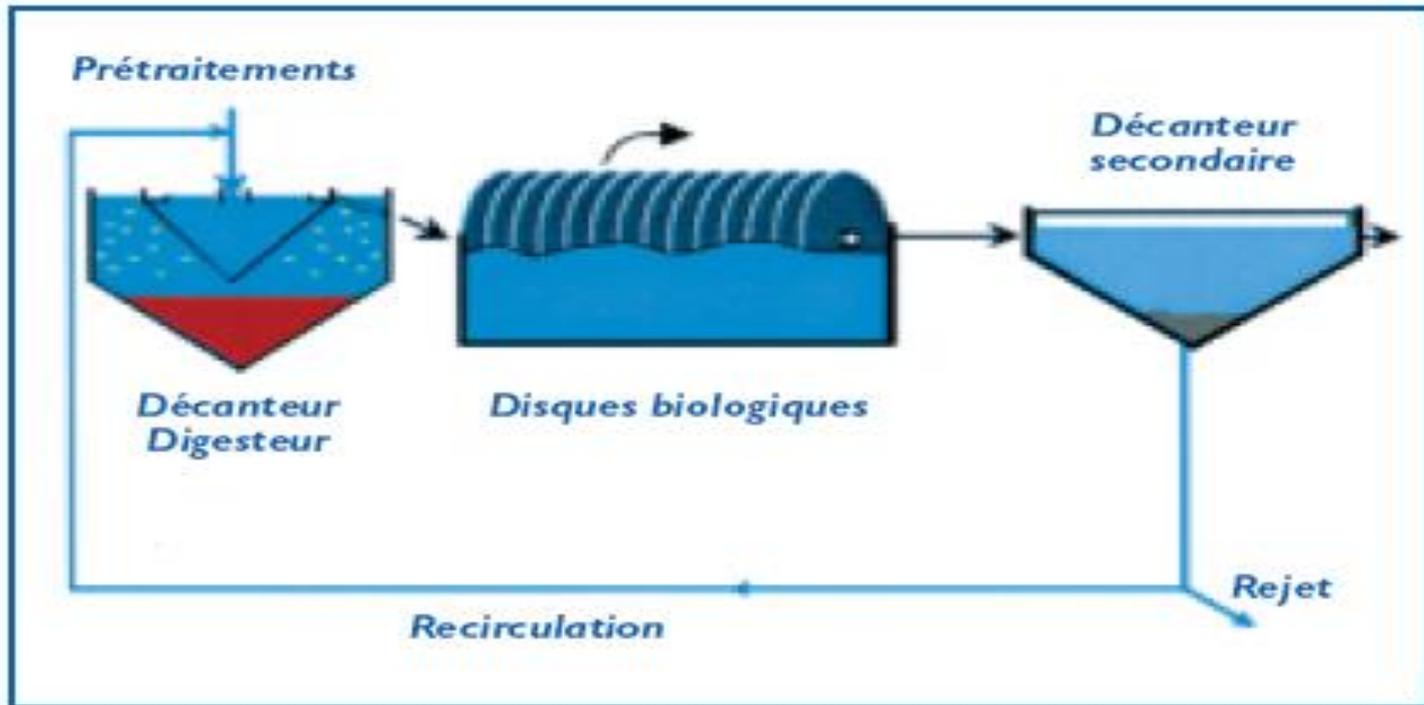
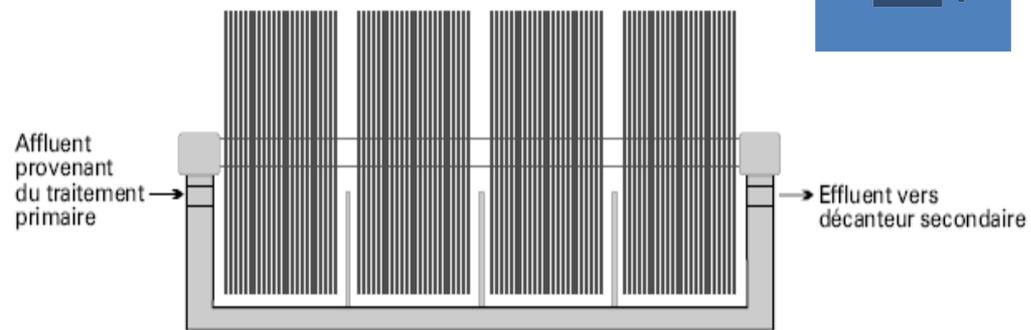
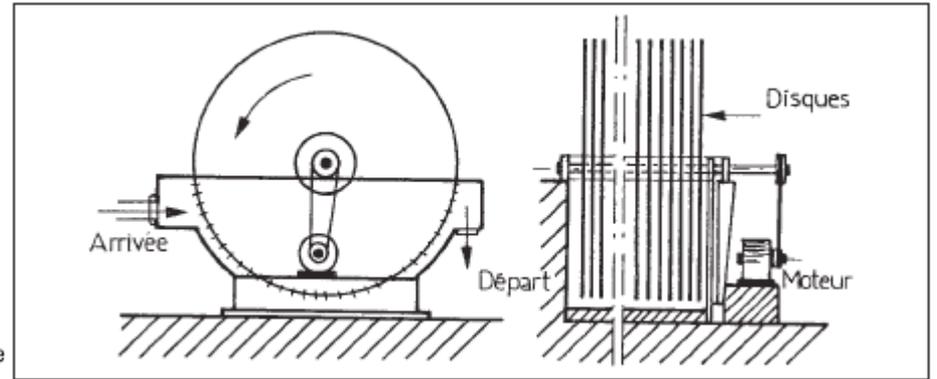
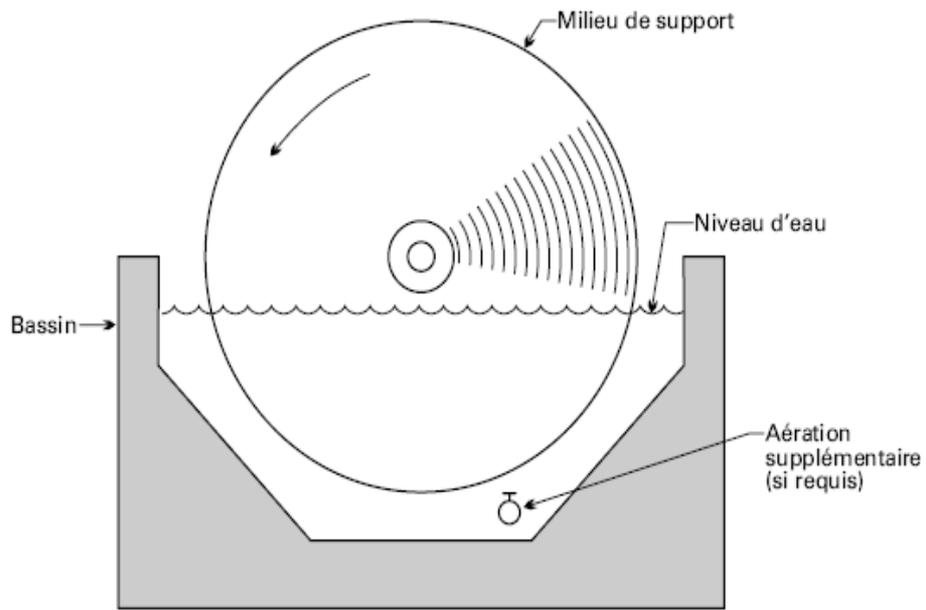


SCHÉMA DE PRINCIPE D'UNE FILIÈRE TYPE DE DISQUES BIOLOGIQUES



Principe d'un Disque Biologique





Les Boues Activées :

Le procédé « boue activée » consiste à mélanger et à agiter des eaux usées brutes avec des boues activées (liquide bactériologiquement très actifs). Ce traitement a pour but d'éliminer les matières organiques biodégradables (solides, colloïdales ou dissoutes) contenues dans une eau usée par l'action de micro-organismes, essentiellement des bactéries, en présence d'oxygène dissous. De plus il peut transformer l'azote ammoniacal et organique en nitrates (nitrification)

En pratique, le procédé consiste à alimenter un bassin brassé et aéré (bassin d'aération) avec l'eau à épurer (effluent préalablement prétraité). Au sein d'un courant continu d'eau usée, les bactéries aérobies sont soumises à l'action prolongée d'une forte oxygénation obtenue par introduction d'air régulièrement répartie dans l'effluent; ces bactéries absorbent la matière organique et forment de gros floes (bio floc) qui décantent, lesquels à leur tour, constituent des boues ou des masses flocculeuses dites « boues activées ». Le mélange eau usée + bio floc forme une ***liqueur mixte***

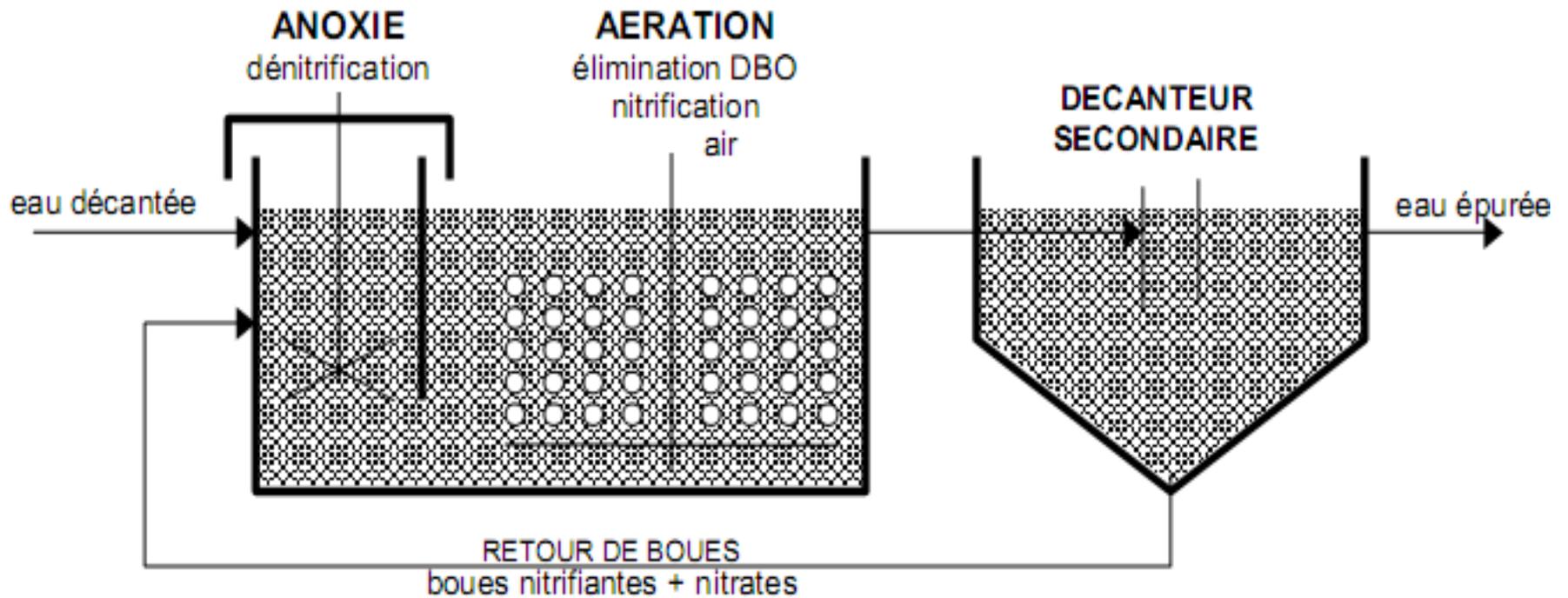
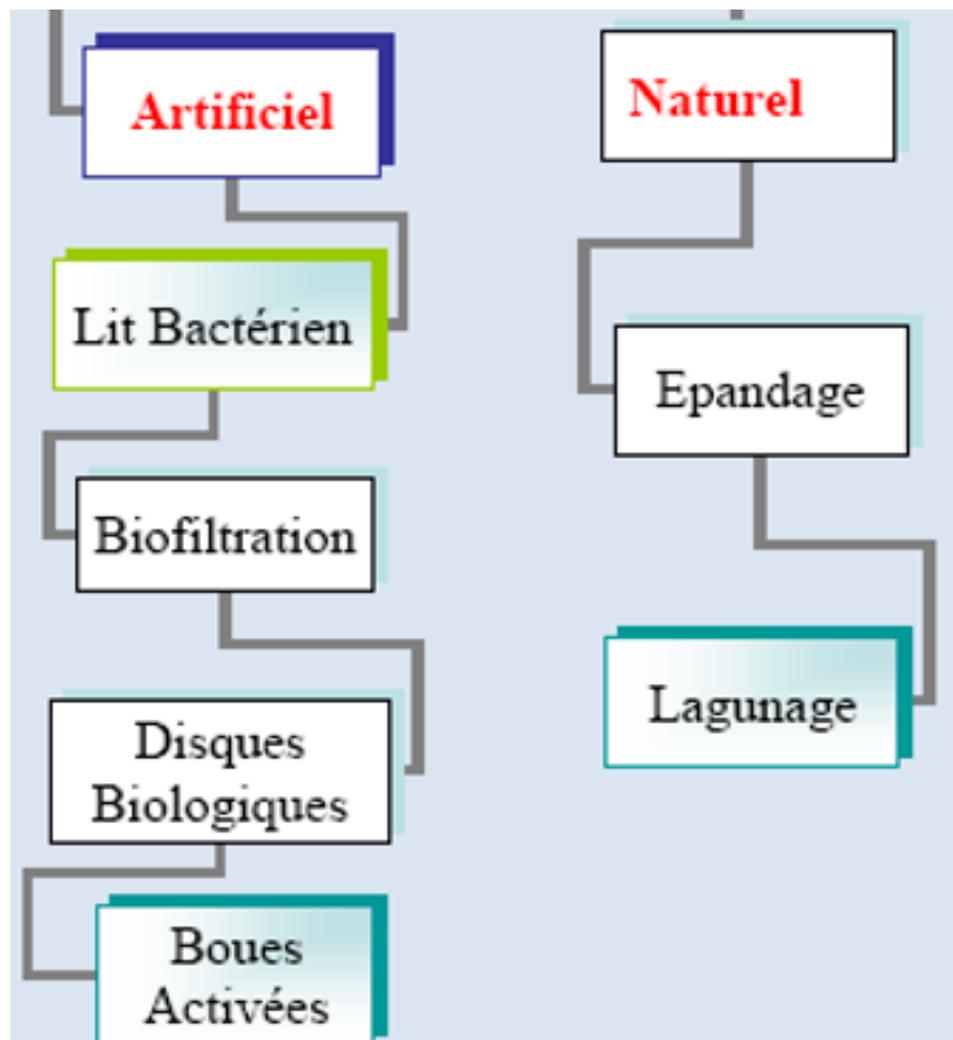


Schéma d'une Boue Activée





Les techniques d'épuration intensives

- ⇒ boues activées**
- ⇒ lit bactérien**
- ⇒ disques biologiques**

Les techniques d'épuration extensives

- ⇒ lagunage naturel**
- ⇒ massifs filtrants**
- ⇒ filtres plantés de roseaux**
- ⇒ fertirrigation sur taillis de saules à très courtes rotations**

Cultures libres

Les boues activées

Le lagunage naturel

Cultures fixées sur supports grossiers

Le lit bactérien

Les disques biologiques

Cultures fixées sur supports fins

Les filtres plantés de roseaux

Filière	Avantages	Inconvénients
Infiltration-percolation sur sable	<ul style="list-style-type: none"> ● Excellents résultats sur la DBO₅, la DCO, les MES et nitrification poussée ; ● Superficie nécessaire bien moindre que pour un lagunage naturel ; ● Capacité de décontamination intéressante. 	<ul style="list-style-type: none"> ● Nécessité d'un ouvrage de décantation primaire efficace ; ● Risque de colmatage à gérer ; ● Nécessité d'avoir à disposition de grandes quantités de sables ; ● Adaptation limitée aux surcharges hydrauliques.
Filtres plantés à écoulement vertical	<ul style="list-style-type: none"> ● Facilité et faible coût d'exploitation. Aucune consommation énergétique si la topographie le permet ; ● Traitement des eaux usées domestiques brutes ; ● Gestion réduite au minimum des dépôts organiques retenus sur les filtres du 1^{er} étage ; ● Bonne adaptation aux variations saisonnières de population. 	<ul style="list-style-type: none"> ● Exploitation régulière, faucardage annuel de la partie aérienne des roseaux, désherbage manuel avant la prédominance des roseaux ; ● Utiliser cette filière pour des capacités supérieures à 2 000 EH reste très délicat pour des questions de maîtrise de l'hydraulique et de coût par rapport aux filières classiques ; ● Risque de présence d'insectes ou de rongeurs ;
Filtres plantés de roseaux à écoulement horizontal	<ul style="list-style-type: none"> ● Faible consommation énergétique ; ● Pas de nuisance sonore et bonne intégration paysagère ; ● Aucune nécessité d'une qualification poussée pour l'entretien ; ● Bonne réaction aux variations de charge. 	<ul style="list-style-type: none"> ● Forte emprise au sol, abords compris. Celle-ci est de l'ordre de 10 m²/EH (équivalente à l'emprise d'une lagune naturelle). ● Une installation pour des tailles de 2000 à 15 000 EH peut s'envisager sous réserve d'une réflexion poussée des conditions d'adaptation des bases de dimensionnement et de l'assurance de la maîtrise de l'hydraulique

Lagunage naturel	<ul style="list-style-type: none"> ● Un apport d'énergie n'est pas nécessaire si le dénivelé est favorable ; ● L'exploitation reste légère mais, si le curage global n'est pas réalisé à temps, les performances de la lagune chutent très sensiblement ; ● Elimine une grande partie des nutriments : phosphore et azote (en été). ● Faibles rejets et bonne élimination des germes pathogènes en été ; ● S'adapte bien aux fortes variations de charge hydraulique ; ● Pas de construction "en dur", génie civil simple ; ● Bonne intégration paysagère ; ● Bon outil pour l'initiation à la nature ; ● Absence de nuisance sonore ; ● Les boues de curage sont bien stabilisées sauf celles présentes en tête du premier bassin. 	<ul style="list-style-type: none"> ● Forte emprise au sol (10 à 15 m²/EH) ; ● Coût d'investissement très dépendant de la nature du sous-sol. Dans un terrain sableux ou instable, il est préférable de ne pas se tourner vers ce type de lagune ; ● Performances moindres que les procédés intensifs sur la matière organique. Cependant, le rejet de matière organique s'effectue sous forme d'algues, ce qui est moins néfaste qu'une matière organique dissoute pour l'oxygénation du milieu en aval ; ● Qualité du rejet variable selon les saisons ; ● La maîtrise de l'équilibre biologique et des processus épuratoires reste limitée.
Lagunage aéré	<ul style="list-style-type: none"> ● Tolérant aux variations de charges hydrauliques et/ou organiques importantes ; ● Tolérant aux effluents très concentrés ; ● Tolérant aux effluents déséquilibrés en nutriments (cause de foisonnement filamentueux en boues activées) ; ● Traitement conjoints d'effluents domestiques et industriels biodégradables. ● Bonne intégration paysagère ; ● Boues stabilisées. 	<ul style="list-style-type: none"> ● Rejet d'une qualité moyenne sur tous les paramètres ; ● Présence de matériels électromécaniques nécessitant l'entretien par un agent spécialisé ; ● Nuisances sonores liées à la présence de système d'aération ; ● Forte consommation énergétique.

Filière	Avantages	Inconvénients
Lit bactérien et disque biologique	<ul style="list-style-type: none"> ● faible consommation d'énergie ; ● fonctionnement simple demandant moins d'entretien et de contrôle que la technique des boues activées ; ● bonne décantabilité des boues ; ● plus faible sensibilité aux variations de charge et aux toxiques que les boues activées ; ● généralement adaptés pour les petites collectivités ; ● résistance au froid (les disques sont toujours protégés par des capots ou par un petit bâtiment). 	<ul style="list-style-type: none"> ● performances généralement plus faibles qu'une technique par boues activées. Cela tient en grande partie aux pratiques anciennes de conception. Un dimensionnement plus réaliste doit permettre d'atteindre des qualités d'eau traitée satisfaisantes ; ● coûts d'investissement assez élevés (peuvent être supérieurs d'environ 20 % par rapport à une boue activée) ; ● nécessité de prétraitements efficaces ; ● sensibilité au colmatage ; ● ouvrages de taille importante si des objectifs d'élimination de l'azote sont imposés.
Boue activée	<ul style="list-style-type: none"> ● adaptée pour toute taille de collectivité (sauf les très petites) ; ● bonne élimination de l'ensemble des paramètres de pollution (MES, DCO, DBO₅, N par nitrification et dénitrification) ; ● adapté pour la protection de milieux récepteurs sensibles ; ● boues (cf. glossaire) légèrement stabilisées ; ● facilité de mise en œuvre d'une déphosphatation simultanée. 	<ul style="list-style-type: none"> ● coûts d'investissement assez importants ; ● consommation énergétique importante ; ● nécessité de personnel qualifié et d'une surveillance régulière ; ● sensibilité aux surcharges hydrauliques ; ● décantabilité des boues pas toujours aisée à maîtriser ; ● forte production de boues qu'il faut concentrer.

Traitements tertiaires et/ou spécifiques - Affinage

But : améliorer la qualité avant rejet ou recyclage pour atteindre les normes

Plus courant = Filtration, Désinfection

Filtration:

- **Filtration dans la masse** (lente et rapide / directe ou avec coagulation)
- **Filtration sur support** (sous vide/continue), sous pression naturelle ou forcée.....

Désinfection :

But = recherche d'un effet « bactéricide » et rémanent

La désinfection de l'eau

Le but de la désinfection

L'objectif de la désinfection est

1. tuer ou inactiver des micro-organismes tels que les bactéries, les virus.
2. d'éviter leur développement dans les canalisations ou les réservoirs.

Parce que l'eau captée n'offre pas toutes les garanties :

1. De façon évidente pour les eaux superficielles.
2. Les ressources souterraines peuvent aussi être contaminées.
3. Pour garantir la qualité en distribution

Objectif primordial : garantir la santé et répondre aux exigences des habitants.

Les grands types de désinfection

1. Désinfection physico-chimique →
Chlore, bioxyde de chlore.
2. Traitement par l'Ozone
3. Désinfection physique → UV

Traitements tertiaires et/ou spécifiques

Il existe autant de procédé spécifique que d 'élément à traiter !

Élimination du fer /manganèse

- Physico-chimique (aération/oxydation -décantation/filtration) ou biologique (biofiltre)

Élimination de l'ammonium

- Oxydation par Cl_2 , biofiltre (nitrification : Nitrosomas et Nitrobacter) => oxydation en NO_3^-

Élimination des nitrates

- Résines, oxydation biologique (Pseudomonas) en N_2 avec apport de C (acide acétique) sans O_2

Élimination des phosphates

- Ajout sels de Fer, Al ; réacteurs alternés en aérobiose et anaérobiose.
Concentration et relargage de P_{inorg} .

Elimination des Matières Organiques, micropolluant...

- Ajout de charbon actif en poudre (CAP) avant clarification ou après charbon actif en grain (CAG principe du filtre à sable)

Dessalement des eaux

Caractéristiques des eaux marines et saumâtres

1. Les eaux marines

La caractéristique la plus importante des eaux de mer est leur salinité, c'est-à-dire leur teneur globale en sels (chlorures de sodium et de magnésium, sulfates, carbonates). La salinité moyenne des eaux des mers et océans est de 35 g.L⁻¹ (27,2 g.L⁻¹ de NaCl, 3,8 g.L⁻¹ de MgCl₂, 1,7 g.L⁻¹ MgSO₄, 1,26 g.L⁻¹ CaSO₄, 0,86 g.L⁻¹ K₂SO₄).

2. Les eaux saumâtres

On appelle eau saumâtre une eau salée non potable de salinité inférieure à celle de l'eau de mer. La plupart des eaux saumâtres contiennent entre 1 et 10 g de sels par litre. Ce sont parfois des eaux de surface mais le plus souvent des eaux souterraines qui se sont chargées en sels en dissolvant certains sels présents dans les sols qu'elles ont traversés. Leur composition dépend donc de la nature des sols traversés et de la vitesse de circulation dans ces sols. Les principaux sels dissous sont le CaCO_3 , le CaSO_4 , le MgCO_3 et le NaCl .

Les principales technologies de dessalement des eaux

Les technologies actuelles de dessalement des eaux sont classées en

deux catégories, selon le principe appliqué :

- Les procédés thermiques faisant intervenir un changement de phases : la congélation et la distillation.
- Les procédés utilisant des membranes: l'osmose inverse et l'électrodialyse.

Quel que soit le procédé de séparation du sel et de l'eau envisagé, toutes les installations de dessalement comportent 4 étapes :

une prise d'eau de mer avec une pompe et une filtration grossière,

un prétraitement avec une filtration plus fine, l'addition de composés biocides et de produits anti-tarte,

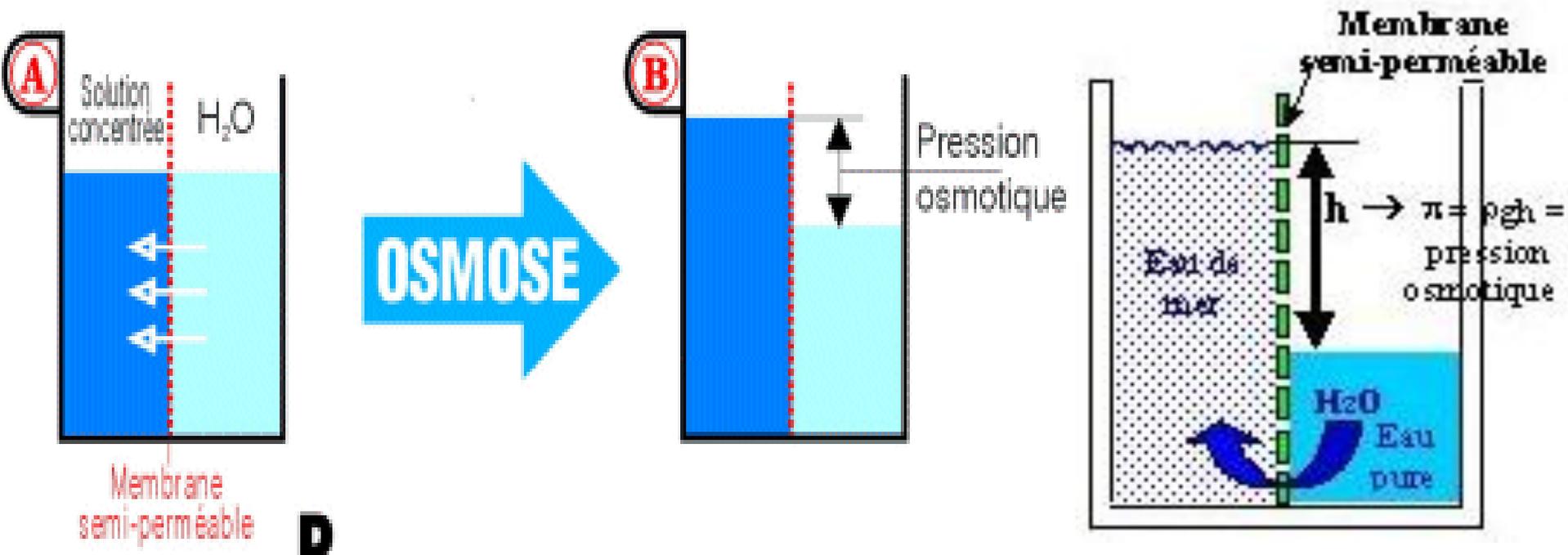
le procédé de dessalement lui-même,

le post-traitement avec une éventuelle reminéralisation de l'eau produite.

A l'issue de ces 4 étapes, l'eau de mer est rendue potable ou utilisable industriellement, elle doit alors contenir moins de 0,5 g de sels par litre.

L'osmose inverse

L'osmose inverse est un procédé de séparation de l'eau et des sels dissous au moyen de membranes semiperméables sous l'action de la pression (54 à 80 bars pour le traitement de l'eau de mer). Ce procédé fonctionne à température ambiante et n'implique pas de changement de phase. Les membranes polymères utilisées laissent passer les molécules d'eau et ne laissent pas passer les particules, les sels dissous, les molécules organiques de 10-7 mm de taille.



Pression osmotique notée π ? peut être calculée d'après la loi de Van't Hoff :

$$\pi = i \times C \times R \times T \quad (\text{Pas})$$

Où : i nombre d'ions dissociés dans le cas d'un électrolyte,

C concentration en sels en mol.m^{-3}

R constante des gaz parfaits $R = 8,314 \text{ J.mol}^{-1}.\text{K}^{-1}$

T température absolue de la solution en Kelvin.

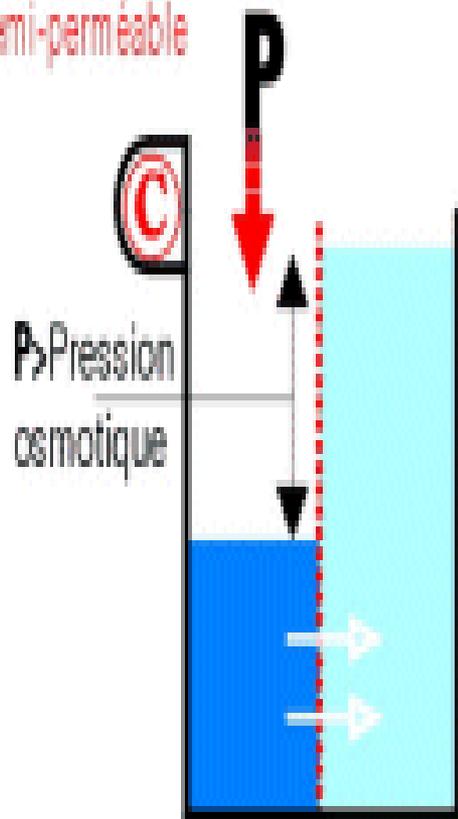
Exemple : solution de NaCl à 30 g/l \approx eau de mer

$$c_{NaCl} = \frac{30}{58.5} = 0,51 \text{ mol/L} = c_{Na^+} = c_{Cl^-}$$

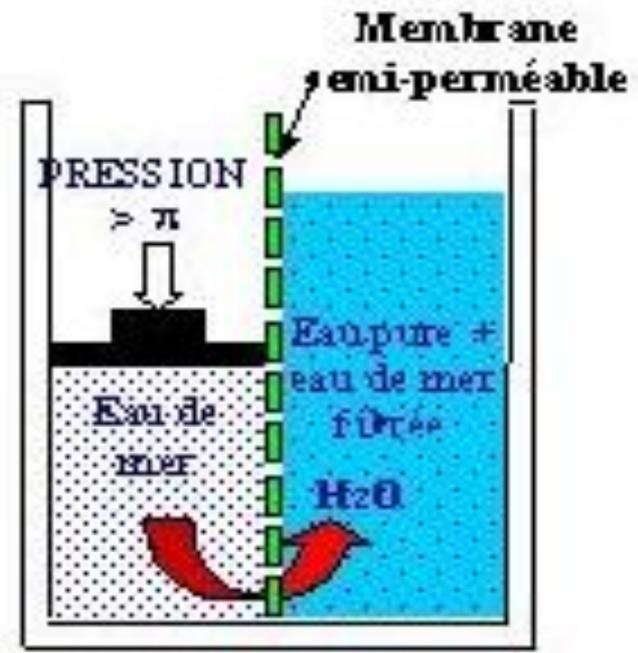
$$\Pi = 2 \cdot 0,51 \cdot 10^3 \cdot 8,32 \cdot 298 = 2543000 \text{ Pa}$$

$$= 25,4 \text{ bar} = 25,1 \text{ Atm}$$

Membrane
semi-perméable

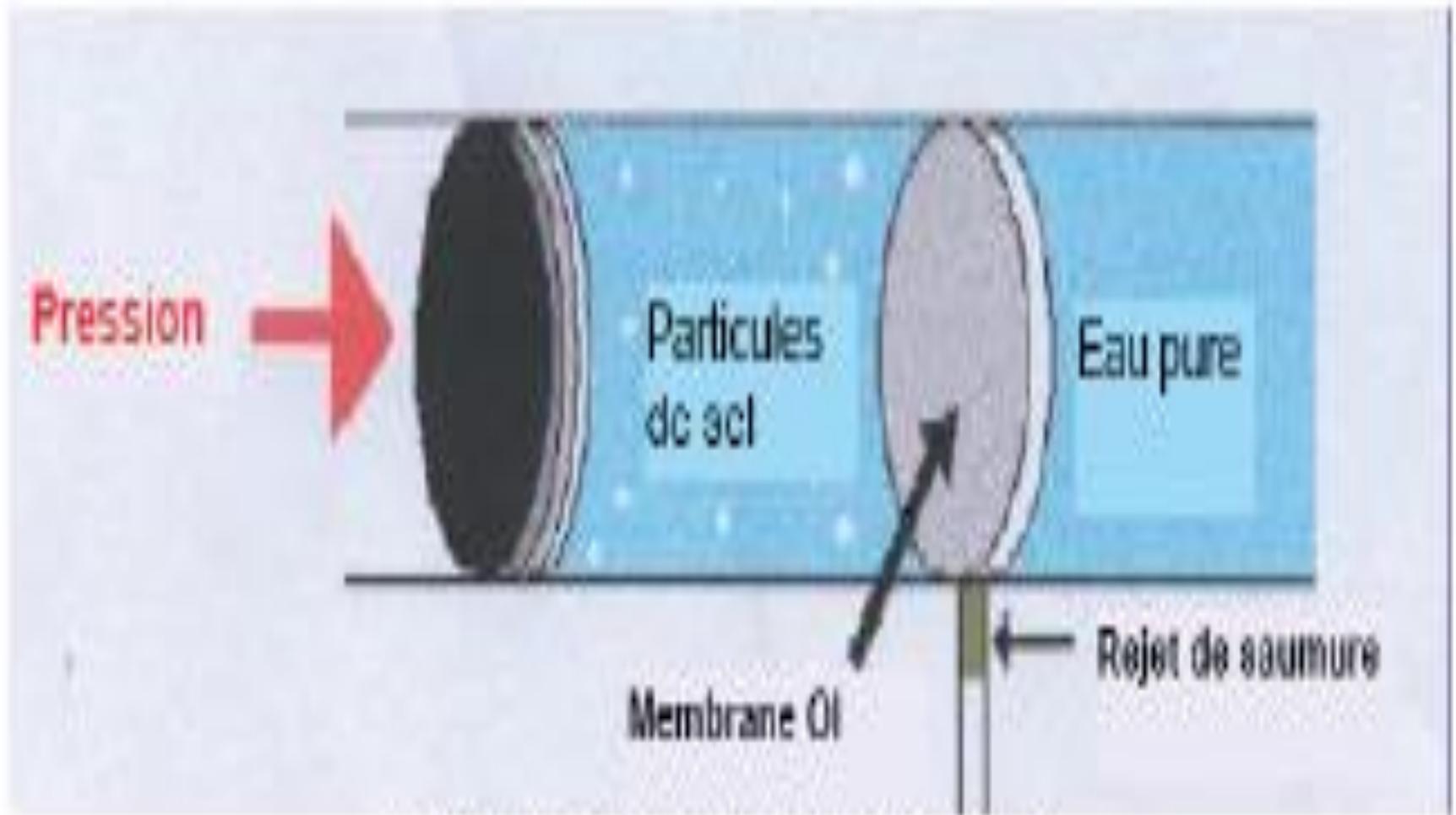


OSMOSE INVERSE



Principe de l'osmose inverse

- On appelle osmose le transfert de solvant (eau dans la plupart des cas) à travers une membrane semi-perméable sous l'action d'un gradient de concentration.
- Soit un système à deux compartiments séparés par une membrane semi-perméable et contenant deux solutions de concentrations différentes
- Le phénomène d'osmose va se traduire par un écoulement d'eau dirigé de la solution diluée vers la solution concentrée.
- Si l'on essaie d'empêcher ce flux d'eau en appliquant une pression sur la solution concentrée, la quantité d'eau transférée par osmose va diminuer. Il arrivera un moment où la pression appliquée sera telle que le flux d'eau s'annulera. Si, pour simplifier, nous supposons que la solution diluée est de l'eau pure, cette pression d'équilibre est appelée pression osmotique.



Fonctionnement d'une membrane





