Université Abou Bakr Belkaid – Tlemcen, Algérie
Faculté de SNV - Département d'agronomie
Master 2 (PTPA)

Traitement des eaux usées industrielles

CHAPITRE III

Procédés de traitement des eaux

2024- 2025

Dr. MEROUFEL Bahia

Introduction

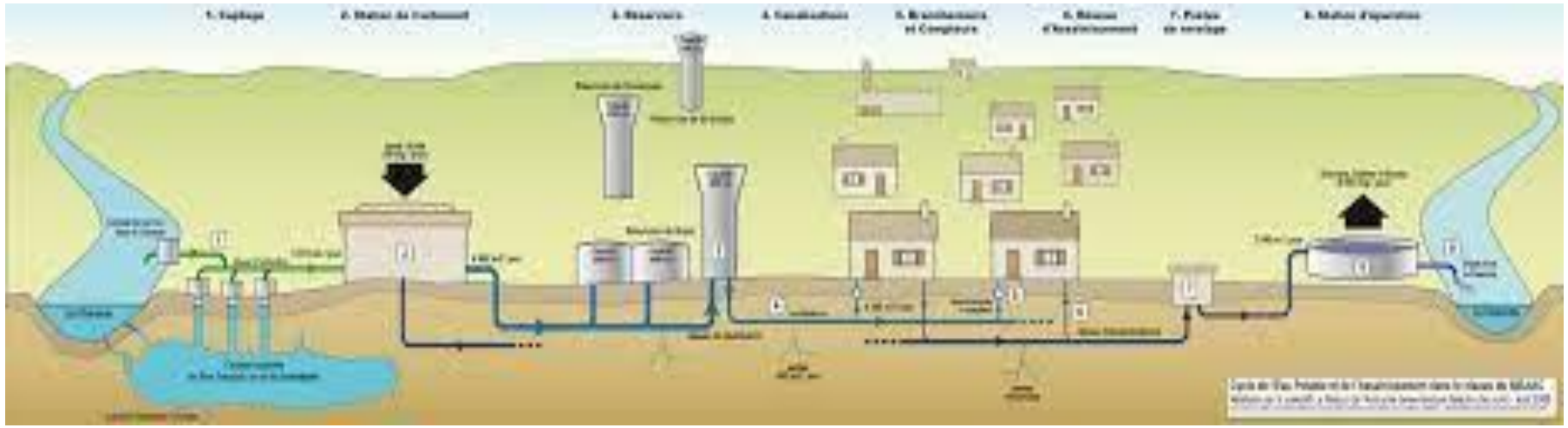
On associe souvent le mot « **traitement** » aux produits chimiques. Or, dans les faits, le traitement de l'eau fait appel pour une très large part à des processus naturels ou biologiques : filtrations, décantations, utilisation de cultures bactériennes. Les traitements chimiques sont essentiellement des traitements de désinfection par le chlore ou l'ozone.

Types de procédés de traitement de l'eau :

- **physiques** (dégrillage, tamisage, décantation, filtration, flottation)
- **physico-chimiques** (coagulation/floculation)
- **chimiques** (oxydation, échange d'ion sur résine, procédés de neutralisation ou d'acidification)
- **biologiques** (cultures bactériennes appropriées)

Introduction

Les matières en suspension et en solution peuvent contenir des **effluents polluants** qui empêchent l'utilisation des eaux de surface à l'état brut à des fins domestiques ou industrielles. C'est ainsi qu'elles doivent subir **des traitements** de potabilisation avant d'être utilisée pour toute activité humaine (agricole, industrielle, domestique). Si leur qualité est véritablement trop dégradée, elles sont écartées de toute utilisation.



Introduction

Les procédés de traitement de l'eau dépendent de sa source et à qui ou à quoi cette eau est destinée, on a le :

- Traitement de l'eau potable
- Traitement des eaux usées
- Traitement des eaux industrielles

Les procédés les plus couramment utilisés dans le **traitement de l'eau potable** sont **les procédés chimiques et physiques** .

Les procédés biologiques sont principalement utilisés pour le traitement des eaux usées.

Traitement de l'eau potable

C'est la qualité de l'eau prélevée qui va définir le traitement spécifique à lui apporter pour la rendre potable.

1. OBJECTIFS DU TRAITEMENT

Le traitement des eaux de consommation se fixe trois objectifs essentiels :

• **Protéger la santé publique**

L'eau distribuée ne doit faire courir aucun risque aux populations qui la consomment.

Elle doit donc être exempte de toute substance toxique et de tout organisme pathogène.

• **Rendre l'eau agréable au consommateur**

L'eau ne doit pas présenter de caractéristiques qui la rendent suspecte par la mise en éveil des facultés organoleptiques des consommateurs.

Aussi le traitement devra-t-il s'efforcer d'éliminer :

− la turbidité et la couleur

− les goûts et odeurs

− les éléments gênants et nuisibles.

Traitement de l’eau potable

- **Éviter l’altération des matériaux au contact de l’eau**

Les eaux agressives attaquent le calcaire. Les eaux incrustantes provoquent le tartre. Toutes les eaux sont susceptibles de déclencher la corrosion. Il convient donc de protéger les réseaux de distribution et les installations industrielles ou privées à l’encontre de ces menaces.

2. MOYENS DE TRAITEMENT

Ils seront développés ultérieurement, mais nous en donnerons ici une vue globale afin de pouvoir mieux les situer les uns par rapport aux autres au cours d’un "cycle" de traitements.

Il convient de préciser que l’ensemble des traitements n’est pas appliqué d’une façon systématique. En effet, ce sont les caractéristiques de l’eau brute qui déterminent quelle doit être la nature des traitements auxquels elle sera soumise.

Traitement de l’eau potable

1. Prétraitement

L’eau brute qui arrive à la station ne doit pas contenir de matériaux ou d’impuretés dont la nature, la concentration, la taille, etc., risqueraient d’empêcher le fonctionnement normal des unités de
traitement.

Le prétraitement des eaux, qui peut se définir comme l’ensemble des opérations que subit l’eau en amont de la station, constitue une étape essentielle dans le processus du traitement.

Il vise à extraire de l’eau, par des procédés du type dégrillage, dessablage, tamisage, etc., la plus grande partie des éléments grossiers qui pourraient occasionner une gêne pour les traitements ultérieurs.

Traitement de l’eau potable

1. Prétraitement

1.1. Dégrillage

Le dégrillage permet de protéger la station de l’arrivée intempestive de gros débris (troncs d’arbre, branches, cadavres d’animaux, etc.) susceptibles de provoquer des endommagements des dispositifs de pompes, par exemple ou de charger l’eau de matières organiques.

Le dégrillage fait appel à des grilles métalliques dont l’écartement des barreaux est décroissant.

1. Prétraitement

1.2. Tamisage

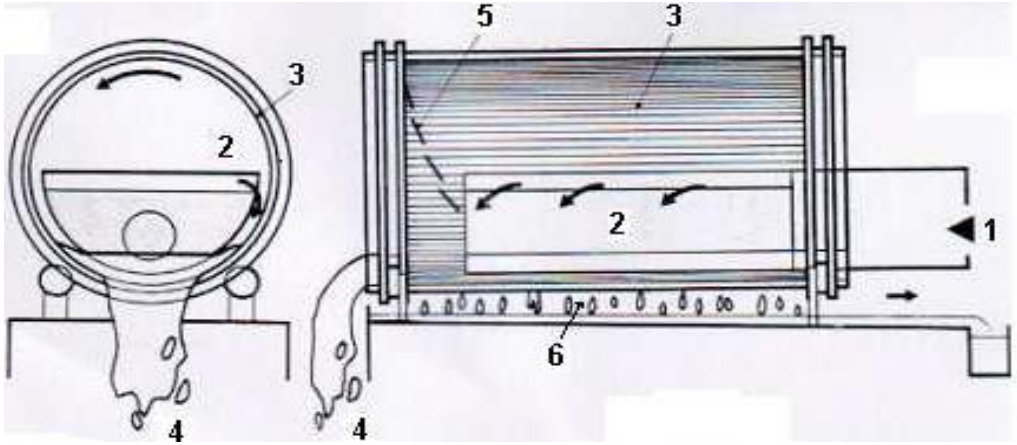
Le dégrillage ne permet pas d’éliminer certains éléments véhiculés par les eaux. Il en est ainsi par exemple des feuilles ou des insectes ; aussi a-t-on recours au tamisage qui comprend plusieurs étapes :

- Macrotamisage : les mailles vont de 0,2 à quelques millimètres.
- Microtamisage : le maillage est inférieur à 100 microns.

Les dispositifs de tamisage peuvent être :

- des tambours rotatifs, lorsque le niveau de l’eau est relativement constant ;

- des bandes de tamisage, lorsqu’il n’en est pas ainsi.

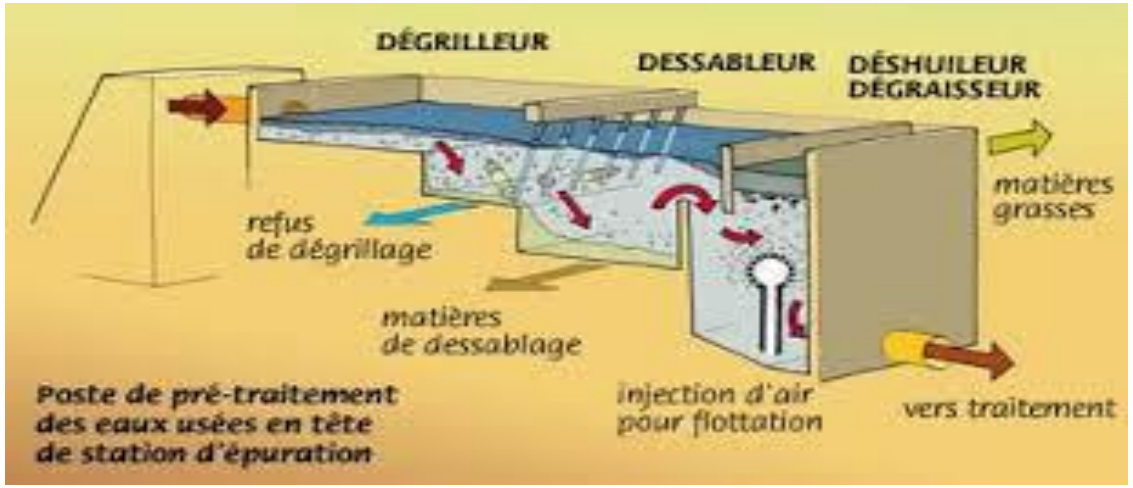


1. Arrivée d'eau brute.
2. Goulotte de répartition.
3. Tamis cylindrique.
4. Refus.
5. Guides pour refus.
6. Sortie d'eau tamisée.

Traitement de l’eau potable

1. Prétraitement

1.3. Dessablage



Le dessablage peut être placé :

- soit avant,
- soit après le tamisage.

Il a pour but d’extraire le sable des eaux brutes, afin qu’il n’aille pas

- se déposer dans les conduites d’amenée d’eau à la station,
- surcharger les traitements ultérieurs,
- endommager les pompes par abrasion.

Le dessablage concerne des particules de diamètres supérieurs à 200 microns.

Ces appareils assurent la séparation des particules par centrifugation.

Traitement de l'eau potable

1. Prétraitement

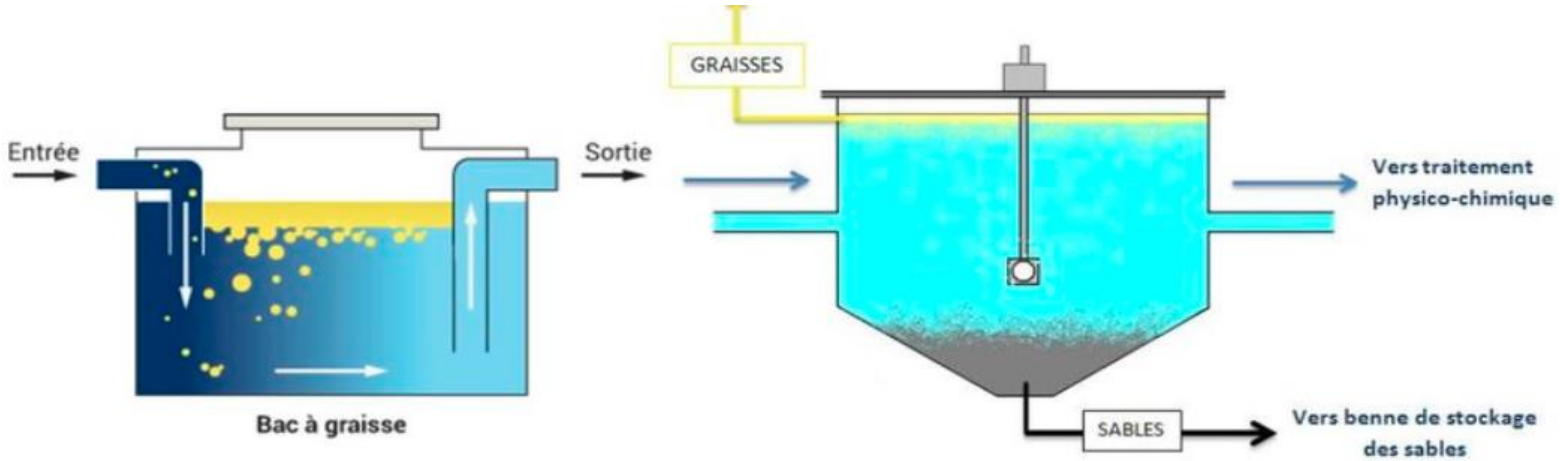
1.4. Déshuilage

Le déshuilage est une opération de type « liquide/liquide ».

Les huiles, étant en général plus légères que l'eau, remontent en surface d'où elles sont éliminées par simple déversement.

En général, on dispose une cloison dans le canal d'amenée d'eau ; cette cloison fait barrage à l'huile qui se trouve à la surface libre, et un repris par l'intermédiaire de goulottes et de déversoirs orientables permettent l'élimination de l'huile…

Il existe également pour des grands plans d'eau, des récupérateurs mobiles flottants.



Traitement de l’eau potable

2. Clarification

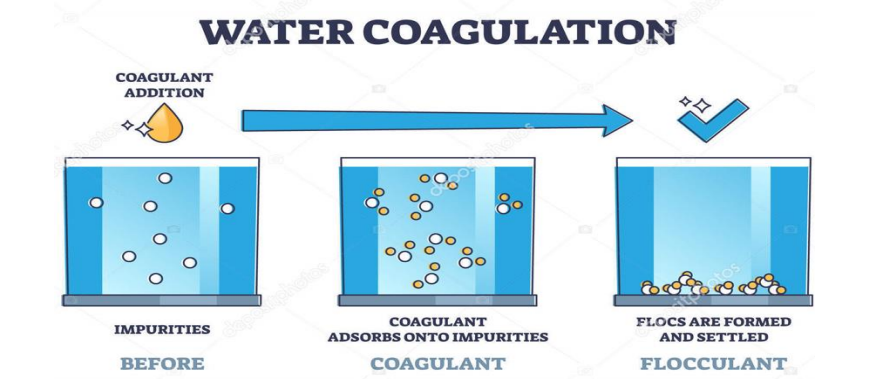
est un procédé de traitement physique qui vise à éliminer les matières en suspension et les particules de l'eau. Elle se compose de quatre étapes principales :

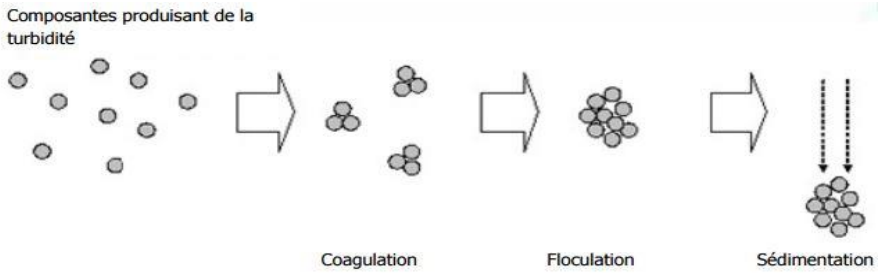
1.Coagulation : Ajout de coagulants (comme des sels de fer ou d'aluminium) pour neutraliser les charges électriques des particules, les empêchant de se repousser.

2.Floculation : Manipulation de l'eau pour permettre aux particules de coaguler en amas plus gros, facilitée par des composés organiques.

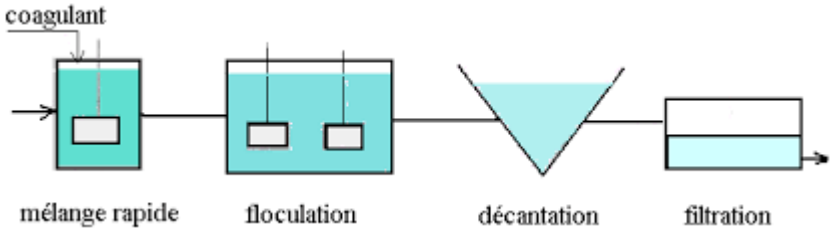
3. Sédimentation : Les flocs se déposent au fond du décanteur et sont retirés pour un traitement ultérieur.

4. Filtration: elle se fait à travers des filtres minéraux (sable) ou des membranes, ce qui permet de produire une eau limpide débarrassée de ses particules.





Processus de coagulation, floculation et de sédimentation

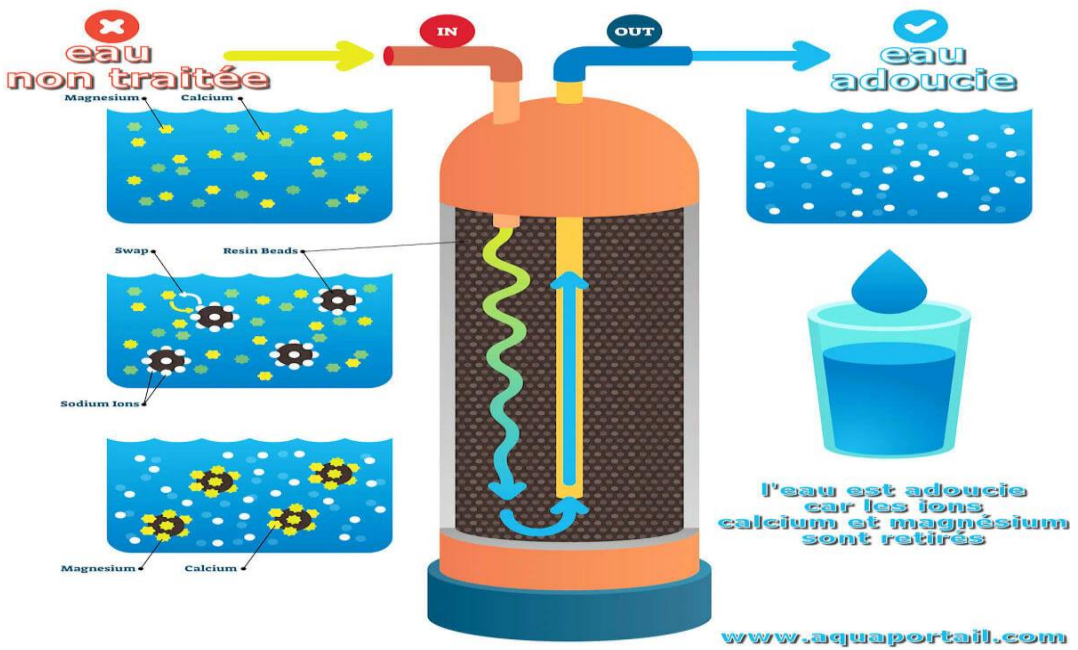


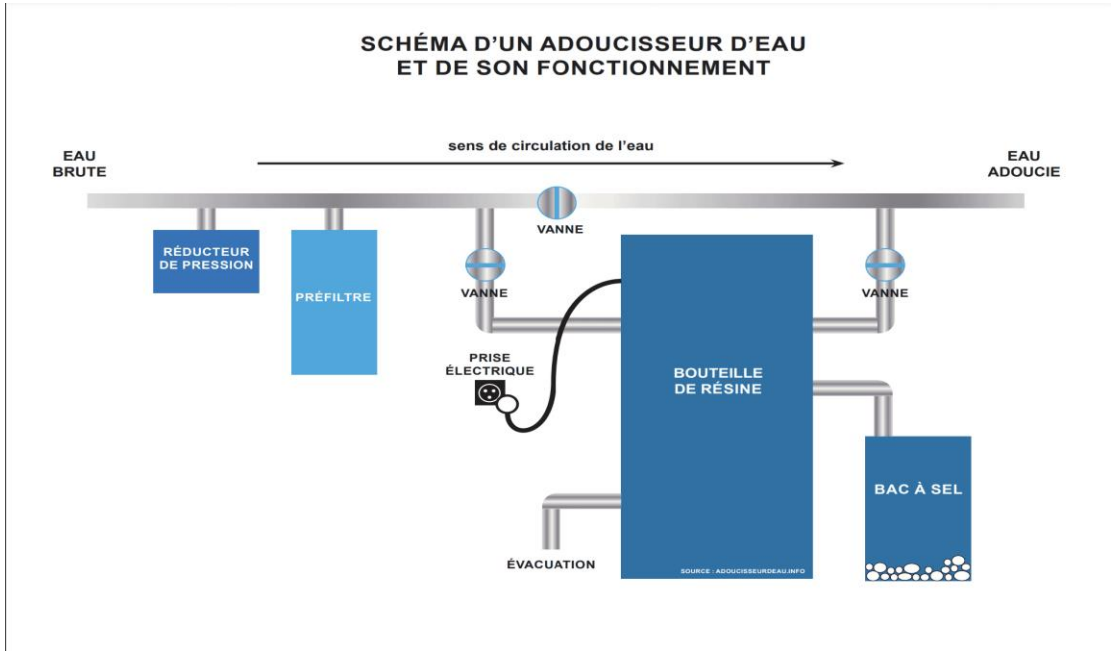
Traitement de l’eau potable

3. Adoucissement

L'adoucissement vise à éliminer les minéraux indésirables, tels que le calcium et le magnésium, qui peuvent causer des dépôts dans les tuyaux et réduire l'efficacité des systèmes. Les technologies couramment utilisées pour l'adoucissement incluent :

- **Précipitation physico-chimique** : Utilisation de produits chimiques pour précipiter les minéraux hors de l'eau.
- **Échange d'ions** : Remplacement des ions calcium et magnésium par des ions sodium ou potassium.
- **Décarbonatation catalytique** : Utilisation de catalyseurs pour éliminer le dioxyde de carbone dissous.



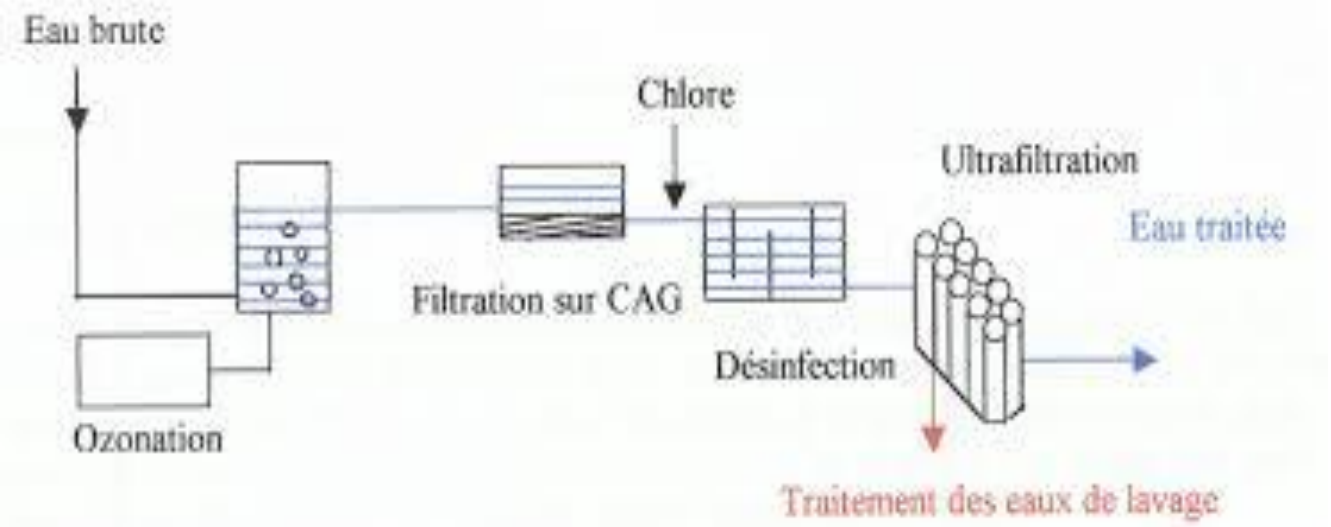


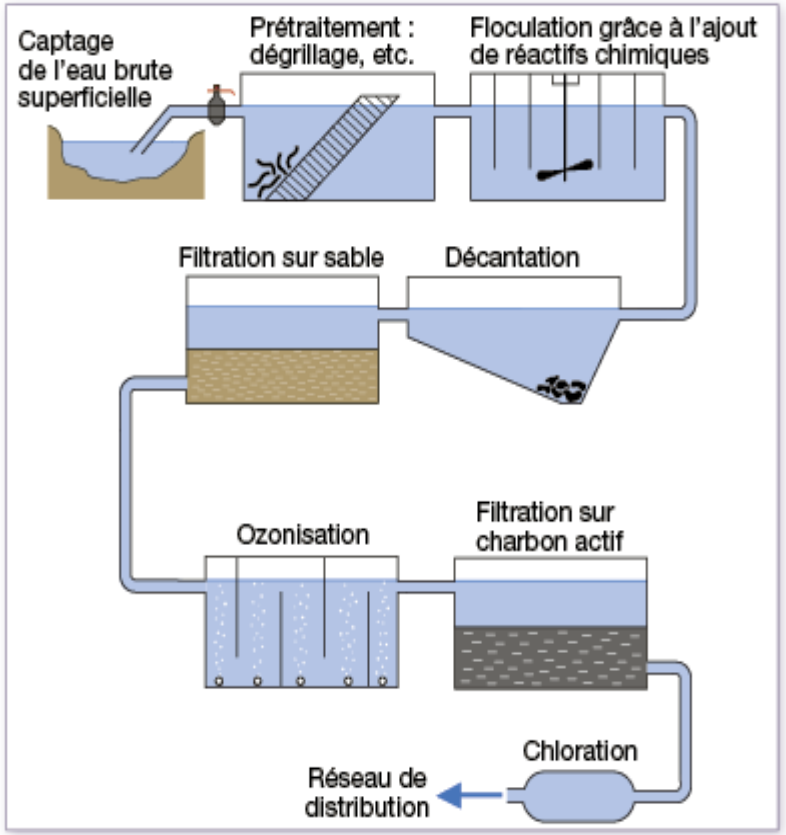
Traitement de l'eau potable

4. Désinfection

La désinfection permet de détruire les micro-organismes susceptibles de transmettre des maladies tels que les bactéries et virus pathogènes . Elle fait appel à des procédés divers :

- Chimiques (chloration, ozonation)
- Physiques (UV, filtration lente).





Traitement de l’eau potable

5. Autres traitements

Les traitements mentionnés ci-dessus constituent des traitements généraux. Il peut venir s’y adjoindre, selon nécessité, de nombreux traitements complémentaires dits traitements spécifiques, qui ont pour but :

- d’éliminer des composés particuliers : fer, manganèse, carbonates, micropolluants, etc.
- de corriger dans un sens comme dans un autre, la minéralisation de l’eau, la valeur de certains paramètres tel le pH.

Traitement de l’eau usées

Le **traitement des eaux usées** est l’ensemble des procédés visant à dépolluer l’eau usée avant son retour dans le milieu naturel ou sa réutilisation. Les eaux usées sont les eaux qui à la suite de leur utilisation domestique, commerciale ou industrielle sont de nature à polluer les milieux dans lesquels elles seraient déversées. C'est pourquoi, dans un souci de protection des milieux récepteurs, des traitements sont réalisés sur ces effluents collectés par le réseau d'assainissement urbain ou privé. L'objectif des traitements est de minimiser l'impact des eaux usées sur l'environnement. Lorsque les eaux traitées sont réutilisées, on parle de recyclage des eaux usées.

Traitement de l’eau usées

Les traitements peuvent être réalisés de **manière collective** dans une **station d'épuration** ou de **manière individuelle**.

La plupart des procédés intensifs de traitement fonctionnent selon les mêmes processus de base, mais des différences plus ou moins importantes peuvent exister dans la manière de mettre en place ces processus. Le traitement se divise généralement en plusieurs étapes.

Traitement de l'eau usées

1. Définition d'une station d'épuration

C'est une installation destinée à épurer les eaux usées domestiques ou industrielles et les eaux pluviales avant le rejet dans le milieu naturel. Le but du traitement est de séparer l'eau des substances indésirables pour le milieu récepteur. La première tentative d'épuration des eaux usées à été inventée en 1914 par des scientifiques anglais

Vue aérienne d'une station d'épuration

Traitement de l'eau usées

2. Objectifs principaux d'une station d'épuration

- Protection de la nappe phréatique contre la pollution;
- Eviter aux agriculteurs l'irrigation des terres agricoles avec les eaux usées;
- Minimiser le risque des maladies à transmission hydrique;
- Réutilisation des eaux épurées dans le domaine de l'irrigation;
- Économie importante de l'eau;
- Eviter la surexploitation des nappes souterraines.

Les eaux usées des agglomérations peuvent être traitées par **divers procédés** qui reposent sur des phénomènes physiques, chimiques et biologiques, à des **degrés d'épuration** et à **des coûts variables** selon le **niveau de qualité exigé** par le milieu récepteur.

Traitement de l'eau usées

3. Etapes du processus d'épuration

Le processus d'épuration des eaux usées comprend plusieurs étapes:

- **Prétraitements** (physique): Dégrillage, Dessablage, Déshuilage-Dégraissage.
- **Traitement primaire** (physico-chimique) : Coagulation-floculation, Décantation,
- **Traitement secondaire** (biologique): Boues activées, Lit bactérien, Lagunage, Disques biologiques.
- **Traitement Tertiaire**.

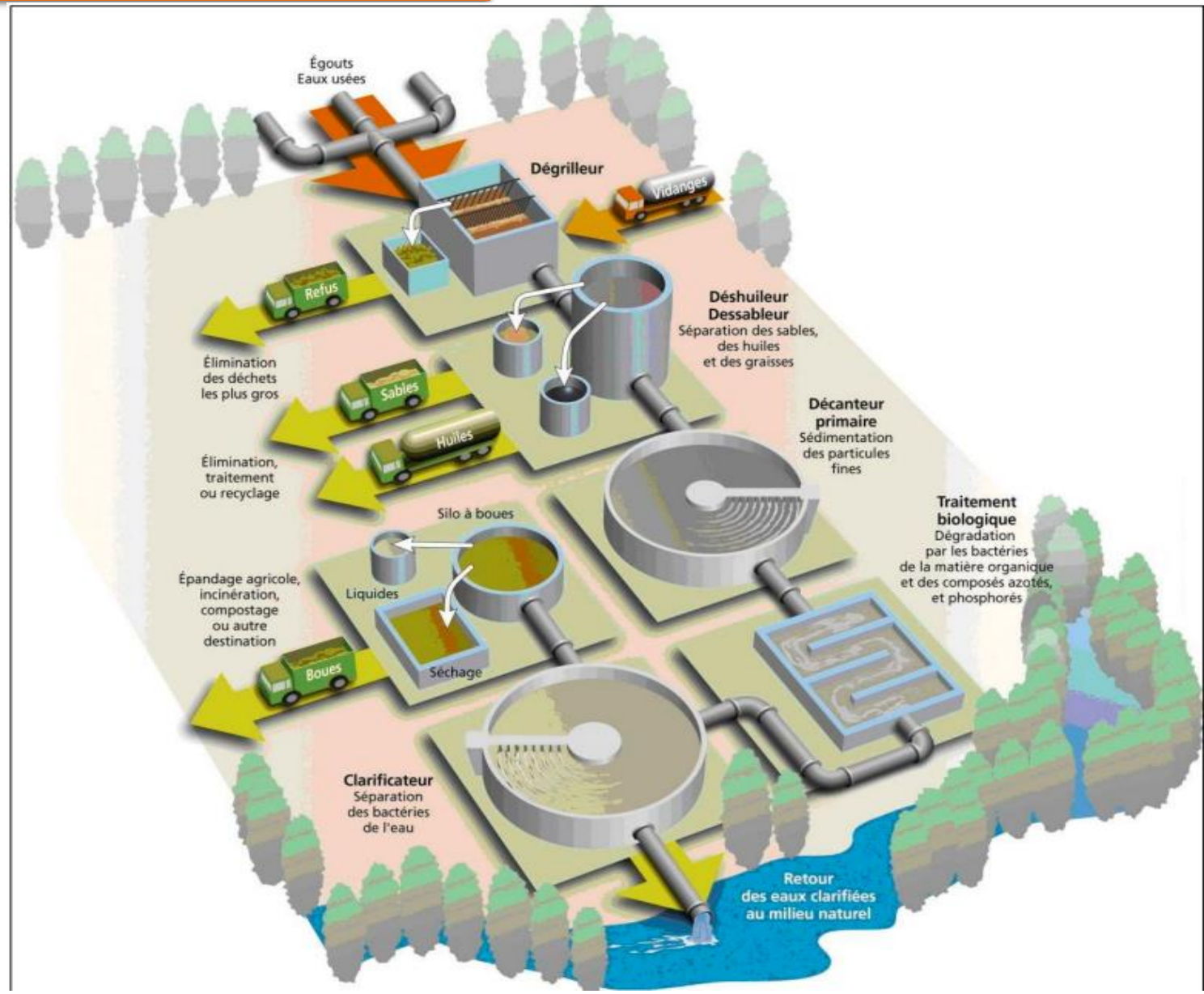
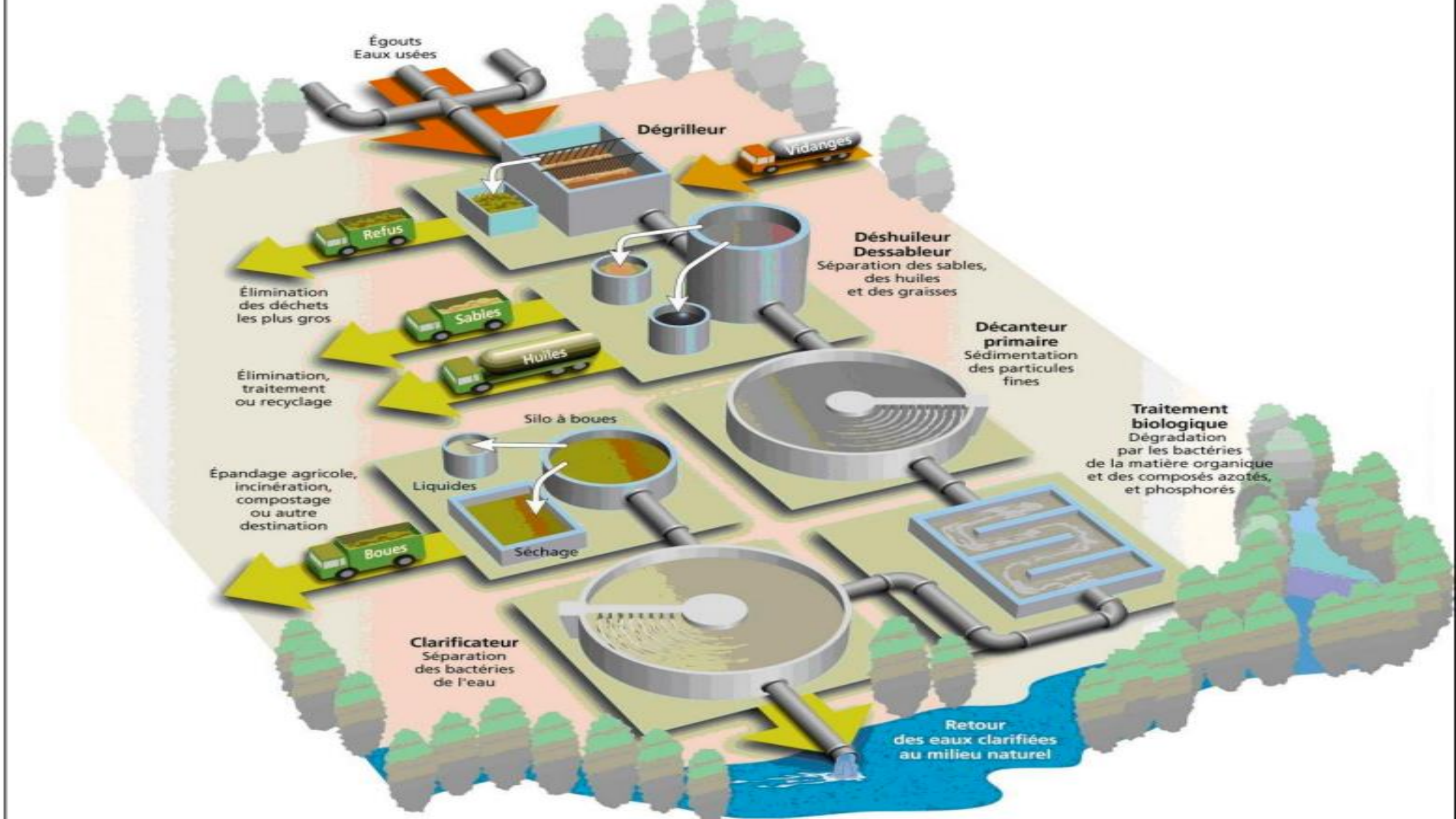


Schéma explicatif d'une station d'épuration à boues activées


Égouts
Eaux usées
Dégrilleur
Vidanges
Refus
Élimination
des déchets
les plus gros
Déshuileur
Dessableur
Séparation des sables,
des huiles
et des graisses
Sables
Huiles
Élimination,
traitement
ou recyclage
Décanteur
primaire
Sédimentation
des particules
fines
Silo à boues
Traitement
biologique
Dégradation
par les bactéries
de la matière organique
et des composés azotés,
et phosphorés
Épandage agricole,
incinération,
compostage
ou autre
destination
Liquides
Boues
Séchage
Clarificateur
Séparation
des bactéries
de l'eau
Retour
des eaux clarifiées
au milieu naturel

Traitement de l’eau usées

4. Chaine de traitement des eaux usées

4.1. Prétraitements physiques

4.1.1. Dégrillage : Consiste à faire passer les eaux usées au travers d’une grille dont les barreaux, plus ou moins espacés, retiennent les éléments les plus grossiers. Après nettoyage des grilles par des moyens mécaniques, manuels ou automatiques, les déchets sont évacués avec les ordures ménagères. Les grilles peuvent être verticales, mais sont le plus souvent inclinées de 60 à 80° par rapport à l’horizontal

4. Chaine de traitement des eaux usées

4.1. Prétraitements physiques

4.1.2. Dessablage

Le dessablage débarrasse les eaux usées des sables pour éviter leur sédimentation ultérieure. L'écoulement de l'eau à une vitesse réduite dans un bassin appelé "déssableur" entraîne leur dépôt au fond de l'ouvrage. Ces particules sont ensuite aspirées par une pompe. Les sables récupérés sont essorés, puis lavés avant d'être soit envoyés en décharge, soit réutilisés. Le dessablage concerne les particules minérales de diamètre supérieur à 0,2 mm environ

4. Chaine de traitement des eaux usées

4.1. Prétraitements physiques

4.1.3. Dégraissage-déshuilage

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

4. Chaine de traitement des eaux usées

4.2. Traitements primaires

4.2.1. Décantation naturelle

Le traitement "primaire" fait appel à des procédés physiques naturels, éventuellement assortie de procédés physicochimiques, tels que la coagulation- floculation.

Les matières en suspension se déposent au fond du bassin et sont épaissies mécaniquement dans une fosse positionnée sous les lamelles. Les matières issues de la décantation primaire constituent les boues primaires.

Elles sont extraites par pompage vers la filière de traitement des boues.

Décanteur Primaire

L’eau clarifiée est recueillie en surface par des goulottes et dirigée vers le traitement biologique.

4. Chaine de traitement des eaux usées

4.2. Traitements primaires

4.2.2. Décantation physico-chimique

La turbidité et la couleur d'une eau sont principalement causées par des particules très petites, 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. Pour les éliminer, on a recours aux procédés de coagulation et de floculation.

a/ Coagulation

La coagulation a pour but principal de déstabiliser les particules en suspension, c'est-à-dire de faciliter leur agglomération. En pratique, ce procédé est caractérisé par l'injection et la dispersion rapide de produits chimiques: **sels minéraux cationiques (sels de fer ou d’aluminium**).

b/ Floculation

La floculation a pour objectif de favoriser, à l'aide d'un mélange lent, les contacts entre les particules déstabilisées. Ces particules s'assemblent pour former un floc qu'on peut facilement éliminer par le procédé de décantation.

4. Chaine de traitement des eaux usées

4.2. Traitements secondaires (Biologique)

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

4.2.1. Traitements anaérobies

Les traitements anaérobies font appel à des bactéries n'utilisant pas de l'oxygène, en particulier, aux bactéries méthanogènes qui conduisent, comme leur nom l'indique, à la formation du méthane à partir de la matière organique, et à un degré moindre de CO2. C'est une opération délicate qui demande une surveillance importante. En effet, la température doit être maintenue à un niveau très stable et suffisamment élevée. Il faut aussi éviter les écarts brutaux de pH et les substances inhibitrices du développement bactérien, à titre d'exemple : les cyanures, les sels de métaux lourds et les phénols.

4. Chaine de traitement des eaux usées

4.2. Traitements secondaires (Biologique)

4.2.2. Traitements aérobies

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

On distingue quatre méthodes essentielles : **Boues activées, Lits bactériens, disques biologiques et Lagunage**.

Bassin d'aération

a/ Boues activées (Les cultures libres)

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

Clarificateur (Décanteur secondaire)

Après un temps suffisant, la liqueur mixte est renvoyée dans un clarificateur ou décanteur secondaire ou s'effectuera la séparation de l'eau épurée des boues.

Les boues décantées sont réintroduites en partie dans le bassin d'aération (recirculation de boues) pour maintenir un équilibre constant entre la quantité de pollution à traiter et la masse de bactéries épuratrices. Les boues sont évacuées du système vers le traitement des boues (extraction des boues en excès).

Clarificateur

4. Chaine de traitement des eaux usées

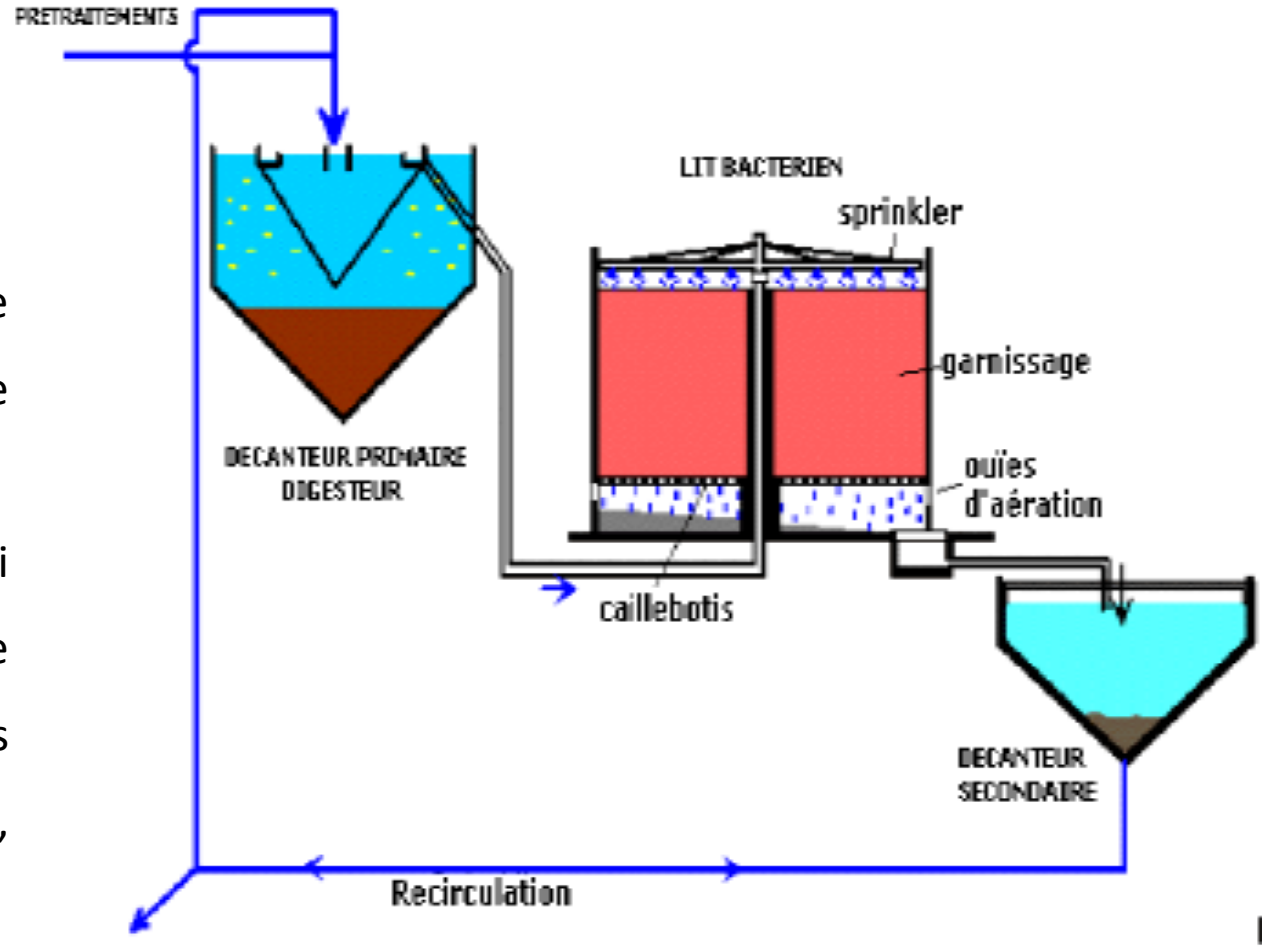
4.2. Traitements secondaires (Biologique)

4.2.2. Traitements aérobies

b/ Lits bactériens (Cultures fixes)

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

L'effluent ruisselle à la surface de la pellicule biologique qui prolifère sur le support (interstices), celle-ci renferme une forte concentration de bactéries, de champignons. Ces organismes absorbent et métabolisent la matière organique de l'effluent, l'appauvrissent progressivement au cours de son trajet.



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

4. Chaine de traitement des eaux usées

4.2. Traitements secondaires (Biologique)

4.2.2. Traitements aérobies

c/ Disques biologiques (Cultures fixes)

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

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

Disques biologiques

4. Chaine de traitement des eaux usées

4.3. Traitements tertiaires

Appelés aussi les traitements complémentaires qui visent à l'élimination de la pollution azotée et phosphatée ainsi que la pollution biologique des eaux usées domestiques.

Les traitements tertiaires permettent d'affiner ou d'améliorer le traitement secondaire, ces derniers visent à améliorer la qualité générale de l'eau afin d'une réutilisation ultérieure dans l'industrie ou l'irrigation.

Ces traitements sont réalisés lorsque le milieu récepteur l'exige.

On y distingue généralement les opérations suivantes:

- la nitrification-dénitrification et déphosphatation biologique ou mixte (biologique et physico-chimique);
- la désinfection bactériologique et virologique.