

II.1. Objectif de la clarification

La clarification des eaux a pour objectif l'élimination de la turbidité (matières en suspension et colloïdales). Elle se déroule en plusieurs étapes: coagulation –floculation- décantation- filtration.

II.2. Prétraitements

Ils sont appliqués lorsqu'il s'agit d'une simple séparation mécanique solide-liquide, sans introduction de réactifs. Ils concernent les flottants ou les particules entraînées par le courant, susceptibles de décanter spontanément et rapidement. Leur présence perturberai la clarification ou risquerai de provoquer des dommages. Ils comprennent généralement:

- Un Dégrillage (si possible, grille à nettoyage automatique) ;
- Un Tamisage (vide de maille de l'ordre de 1 mm) ;
- Un Microtamisage (vide de maille de l'ordre de la dizaine de micromètres)
- Un Dessablage - déshuilage

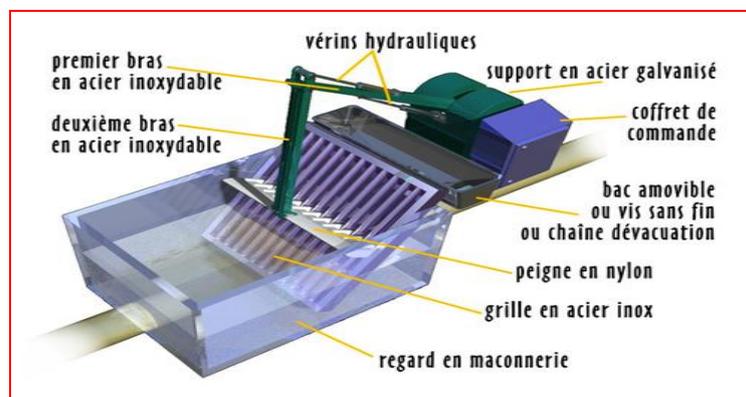


Figure II.1: Schéma d'un dégrilleur automatique

Pour le dégrilleur, les types suivants peuvent se présenter :

- le dégrillage moyen (écartement compris entre 40 et 10 mm),
- le dégrillage fin (écartement compris entre 10 et 6 mm),
- le tamisage (écartement compris entre 6 et 3 mm).

Cet équipement évite l'entraînement des déchets vers les vannes, pales de turbine et autres mécanismes. Un retard dans le nettoyage des dégrilleurs compromet l'efficacité des ouvrages hydrauliques par dégradation du débit d'entrée.

II.3. La coagulation – floculation

La coagulation-floculation est un procédé combiné de traitement physico-chimique qui va permettre la potabilisation d'une eau impropre à la consommation. Son principe repose sur la difficulté qu'ont certaines particules à se décanter naturellement : les colloïdes.

La matière dans l'eau peut se trouver sous 3 états :

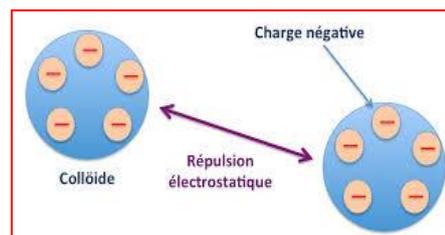
- état de suspension : $d > 1 \mu\text{m}$
- état colloïdal : $1 \text{ nm} < d < 1 \mu\text{m}$
- état dissous : $d < 1 \text{ nm}$

Tableau II.1. Temps mis par les particules pour chuter naturellement d'un mètre dans l'eau

Type	Diamètre des particules (micromètres)	Temps de décantation
Gravier	10000	1 s
Sables grossiers	1000	10 s
Sables fins	100	2 min
Argile	10	2 h
Bactéries	1	8 j
Colloïdes	0,1 à 0,001	2 à 200 ans

II.3.1. Les particules colloïdales

Les particules colloïdales peuvent être naturellement présentes dans l'eau. Elles ont un très faible diamètre (de 1nm à 1µm) et sont chargées électronégativement, ce qui va engendrer des forces importantes de répulsion entre les particules colloïdales. Ces dernières ont donc de grandes difficultés à se décarter naturellement, il est très difficile de les éliminer de l'eau.



II.3.2. La coagulation

En premier lieu, la coagulation va permettre de supprimer les répulsions liées à l'électronégativité des colloïdes. Cette opération est réalisée en ajoutant des sels métalliques électropositifs (généralement de fer ou d'aluminium), les cations métalliques (Al^{3+} et Fe^{3+}) se lient aux colloïdes et les neutralisent. Les particules colloïdales peuvent désormais se rencontrer.

Les coagulants minéraux sont les plus employés, ce sont des cations. La coagulation est d'autant plus efficace que leur valence est élevée.

En conséquence, les coagulants utilisés sont des sels cationiques trivalents.



Figure II.2: Sulfate d'aluminium $Al_2(SO_4)_3$

II.3.3. La floculation

Après l'étape de coagulation, la floculation a pour objectif d'accroître la cohésion des particules par agitation de l'eau. Elle conduit à la formation d'amas de plus en plus volumineux appelés "flocs". On augmentera significativement le poids des particules, qui auront de ce fait une masse suffisamment importantes pour pouvoir se décarter.

Pour améliorer la floculation, on peut ajouter un floculant : Polymère naturel d'origine minérale (silice activée), ou organique (alginate ou amidon) ou Polymère de synthèse (à base d'acrylamide). L'extraction des « flocs » se fait ensuite par décantation ou flottation.

II.3.4. Dosage de coagulant

La quantité de coagulant à utiliser est déterminée expérimentalement par des essais de coagulation (Jar-test):



Figure II.3. Essai de coagulation Jar-test

Une série de 4 béchers sont agités de façon identique. Un bêcher 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.



Figure II.4a. Turbidimètre

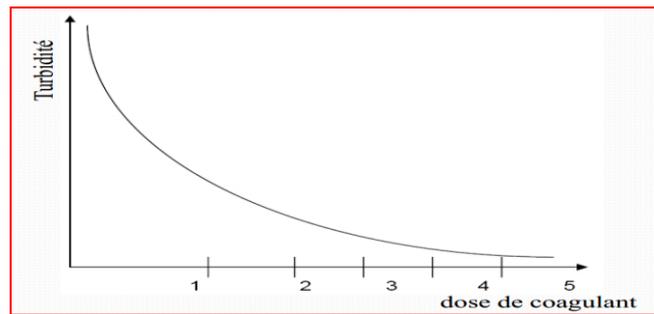


Figure II.4b. Courbe Turbidité = f(dose de coagulant)

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

II.3.5. Technologie de la coagulation-floculation

Il faut associer dans un temps assez court deux phases distinctes et incompatibles :

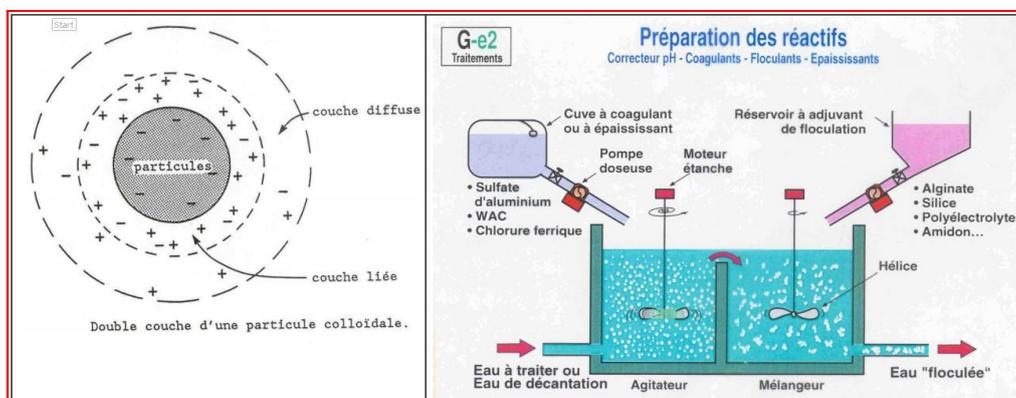


Figure II.5. Principe de la coagulation-floculation

1^{ère} phase : mélange rapide et vigoureux

Un mélange rapide est nécessaire pour disperser les additifs dans la totalité du volume d'eau à traiter et augmenter la probabilité de contact coagulant-colloïde. L'injection se fait dans une zone de turbulence. Durée 3 à 6 minutes.

2^{ème} phase : mélange lent

Il faut favoriser les rencontres entre les particules de floc, sans les léser. Durée : 9 à 30 minutes. C'est durant cette étape que l'on peut ajouter du polymère pour optimiser la coalescence des floccs, les lester et les rendre plus décantables.

II.4. La décantation

Ce procédé est basé sur des techniques de séparation liquide-solide de phases de densité différentes. Les Forces mises en jeu sont la gravité et l'énergie potentielle des particules. On réalise la séparation gravitaire des matières insolubles ou décantables de l'eau, c'est à dire des particules en suspension dont la densité est supérieure à celle de l'eau. 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.

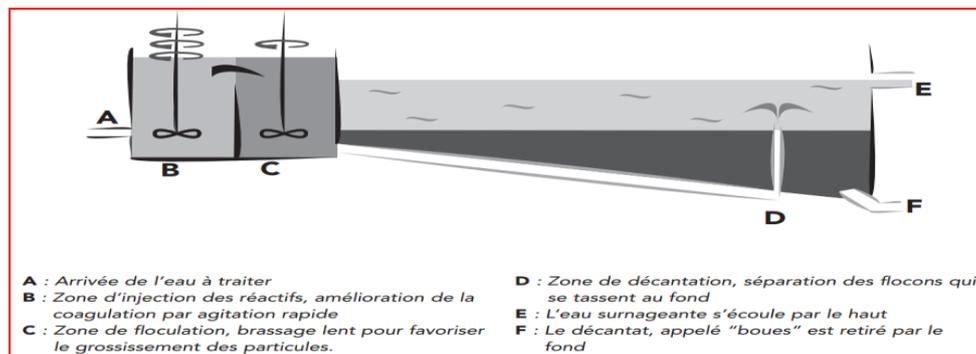


Figure II.6. Procédé de décantation

Les particules décantées s'accablent au fond du bassin, constituant des boues qui seront extraites périodiquement puis traitées dans la filière boue. L'eau clarifiée située près de la surface est dirigée vers l'unité de filtration.



Figure II.7. Décanteur circulaire

Le dimensionnement du Décanteur 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.



Figure II.8. Décanteur rectangulaire

Pour un décanteur longitudinal qui demande peu de maintenance et une main d'œuvre peu qualifiée, la forme correspondant à la meilleure hydraulique donne alors un rapport de 1 pour 6 entre la largeur et la longueur de l'ouvrage de décantation. Les décanteurs sont allongés autant que possible dans la limite de 80 m, avec une profondeur comprise entre 1,5 et 2 m (exceptionnellement 3) pour assurer un écoulement laminaire stable en filets parallèles. Il faut noter qu'une durée de traversée supérieure à 3h engendrerait des risques de fermentation, ce qui nuirait au rendement de la décantation du fait de la remontée des boues déposées par la formation de bulles gazeuses.



Figure II.9. Pont racleur – Décanteur longitudinal

Le raclage est assuré par des ponts racleurs qui se déplacent suivant un mouvement de va et vient. Ils raclent les boues à contre-courant uniquement pour éviter que les matières légères ne soient entraînées dans la surverse.

II.5. La filtration

C'est un procédé qui permet de retenir les matières en suspension qui n'ont pas été piégées lors de l'étape de clarification. Il est destiné à clarifier l'eau en la faisant passer à travers un milieu poreux constitué d'un matériau granulaire.

Le matériau utilisé est le sable. Ainsi, l'eau clarifiée passe dans une couche de sable qui retient les particules et laisse passer l'eau filtrée.

Le filtre peut jouer un double rôle suivant les conditions d'exploitation: D'une part, il retient les matières en suspension par filtration et d'autre part, il constitue un support bactérien permettant un traitement biologique, c'est-à-dire une consommation des matières organiques et de l'ammoniaque par les bactéries qui se sont développées sur le sable.

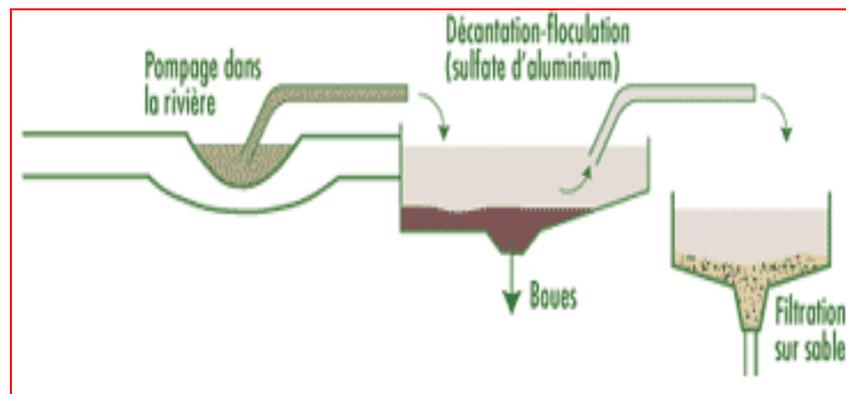


Figure II.10. Procédé de filtration Décanteur

L'espace intergranulaire du filtre définit sa capacité de rétention qui diminue au cours du passage de l'eau. Les pertes de charge augmentant avec le temps, d'où la nécessité d'un nettoyage périodique du filtre afin d'éliminer les matières retenues entre les grains qui ralentissent le passage de l'eau.

La rétention des particules se fera par deux principaux mécanismes :

- ✓ Tamisage dans la partie supérieure du filtre pour les grosses particules,
- ✓ Adsorption (effet de paroi) à différents niveaux à l'intérieur pour les particules plus fines.

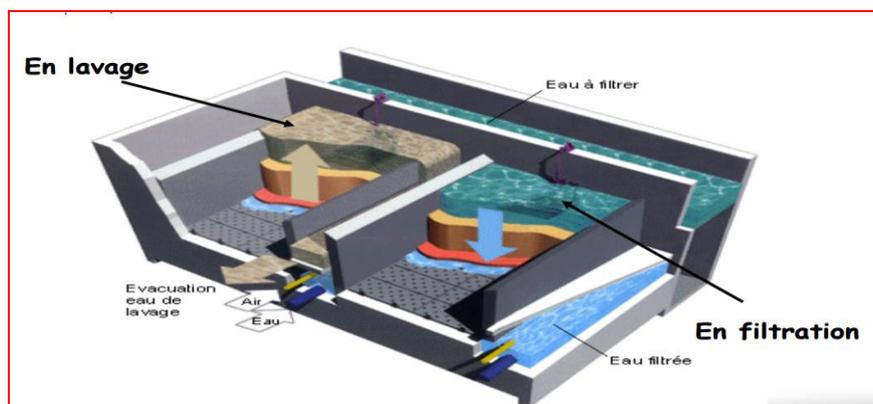


Figure II.11. Filtre à sable

Caractéristiques d'une bonne filtration:

- ✓ La vitesse de filtration (de 5 à 12 m/h)

- ✓ La taille des grains du matériau (Granulométrie)
- ✓ La hauteur de la masse filtrante
- ✓ Le mode d'alimentation
- ✓ Le système de régulation (débit, lavage, commande...)
- ✓ Les séquences de lavage

Les filtres peuvent être ouverts ou fermés. On distingue :

Les filtres à sable rapides: les plus utilisés en eau potable avec des vitesses de 5 à 10 $m^3.m^{-2}.h^{-1}$, ils s'appliquent à des eaux préalablement traitées.

➤ **Les filtres à sable lents :** la filtration lente (0,08 à 0,4 $m^3.m^{-2}.h^{-1}$) constitue à elle seule un traitement quasi complet de l'EB, grâce au développement d'une biomasse importante.

➤ **Les filtres sous pression :** Le principe de fonctionnement est le même que celui des filtres rapides. Le plancher et le matériel filtrant sont situés dans des cylindres supportant des pressions allant jusqu'à 1 000 kPa. Leur exploitation est plus difficile que celle des filtres ouverts. Leur utilisation est limitée aux petites installations.

➤ **Les filtres à terre de diatomée** (dioxyde de silicium): Les diatomées sont des micro-algues marines qui sécrètent un squelette siliceux que l'on retrouve dans des carrières): Ils permettent une bonne clarification des eaux de turbidité faible et éliminent efficacement les MES et les microorganismes, sans nécessité de coagulation. Pour des eaux plus chargées, ils se colmatent très rapidement.

Les filtres sous pression et à terre de diatomées sont surtout utilisés pour le traitement des eaux des piscines.

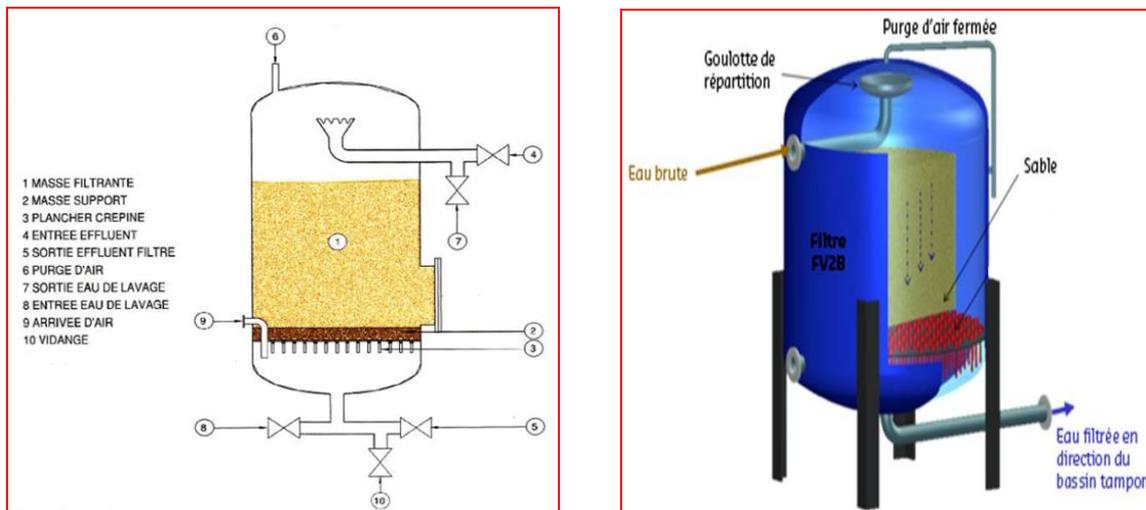


Figure II.12. Les filtres sous pression