



Fiche : Traitement de l'eau

Table des matières

1	Introduction	1
2	Mise en contexte	2
2.1	L'eau dans le monde	2
2.2	Utilisation de l'eau	2
3	Le traitement de l'eau	4
3.1	Les différentes échelles	4
3.2	Aspects réglementaires	4
3.3	Principes généraux du traitement de l'eau	5
4	Adoucissement de l'eau	5
5	Clarification de l'eau	6
6	Oxydation de l'eau	6
7	Autres méthodes d'affinage	7
7.1	Aération	7
7.2	Résine échangeuse d'ions	7
7.3	Charbon actif	7
7.4	Membranes	8

1 Introduction

Cette fiche n'aurait pas pu être réalisée sans le cours de traitement de l'eau de l'ENGEES fourni par Rizlaine Idrissi que je remercie pour son apport.

Le traitement de l'eau est un point majeur dans nos sociétés et on comprend tous les intérêts sanitaires, écologiques et économiques, mais qu'est-ce que c'est concrètement ? Comment est-ce que ça marche ? L'objectif de cette fiche est de donner un aperçu de ce qui est possible de faire et comment la chimie permet cela. Cette fiche serait utile dans le cadre de la LC11 principalement (même si on peut en parler ailleurs possiblement).

Qu'est-ce que le traitement de l'eau ?

traitement de l'eau : Le traitement d'eau est un procédé, une action qui permet de rendre les eaux usées d'une qualité définie par les différents articles de lois, et arrêtés préfectoraux. L'épuration des eaux usées se fait en station. Les eaux usées sont issues de l'activité humaine : production industrielle, ou utilisation domestique. Il existe un troisième type d'eau à traiter : les eaux pluviales (source : <https://fr.airliquide.com/solutions/traitement-des-eaux/quest-ce-que-le-traitement-des-eaux>)

Le traitement de l'eau peut avoir plusieurs intérêts :

- Un but de rendre l'eau potable dans un but de consommation par les différents foyers.
- Pouvoir rejeter dans le milieu naturel une eau polluée sans mettre en danger les écosystèmes.

2 Mise en contexte

2.1 L'eau dans le monde

L'eau est une ressource centrale dans nos sociétés. On n'en a besoin dans de nombreux domaines :

- Usages domestiques : boisson, hygiène ...
- Industrie
- Agriculture

et bien d'autres. Néanmoins l'accès en eau autour de la planète n'est pas homogène. Avec le réchauffement climatique et la désertification cette ressource devient de plus en plus rare et disputée. On pourrait par exemple penser à la sécheresse qui touche actuellement l'Afrique de l'Ouest. 18 mois sans pluie et des réserves souterraines qui s'épuisent : ce sont plus de 20 millions de personnes qui sont menacées. En regardant la carte Fig. 1 on se rend compte que toutes les régions n'ont pas la même possibilité d'accès à cette ressource.

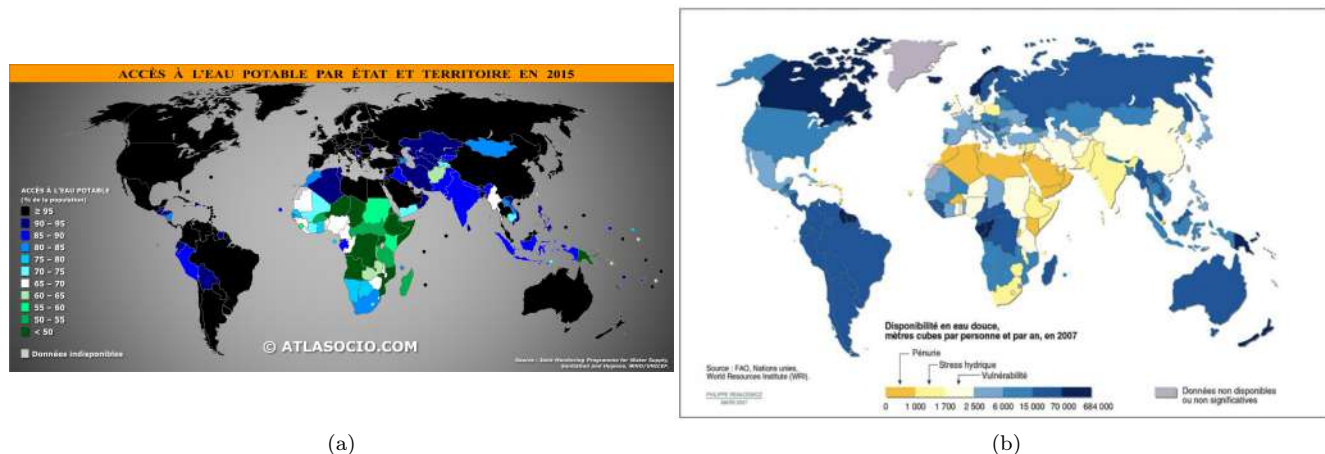


FIGURE 1 – (a) Carte montrant le pourcentage d'accès à l'eau potable pour une population (b) Carte de la disponibilité en eau des pays

En regardant ces cartes on peut voir qu'il n'y a pas forcément corrélation entre la quantité d'eau disponible par personne et l'accès à l'eau potable. Le niveau de développement du pays est à prendre en compte. On se rend vite compte pourquoi cette ressource devient un enjeu géopolitique majeur.

Si on fait un point sur la ressource eau on peut rappeler le cycle de l'eau qui consiste en un cycle d'évaporation, solidification, liquéfaction et ainsi de suite. Les réservoirs sont nombreux et peuvent être inter-connectés. Un schéma simple est montré dans la Fig. 2.

2.2 Utilisation de l'eau

Ces inégalités d'accessibilité à l'eau et à l'eau potable peut aussi se voir dans les utilisations que les pays font de cette eau. La carte Fig. 3 permet de voir quelle est l'utilisation majoritaire de l'eau dans les différents pays. On voit que plus un pays a de l'eau plus il va l'utiliser à des fins productives. Cette carte montre également d'une certaine manière les inégalités entre les territoires.

Intéressons nous un peu à la France maintenant, quelques chiffres :

- Précipitations annuelle : 400.10^9 m^3 (évaporation 60%, Infiltration 25%, Ruissellement 15%)
- Les eaux souterraines correspondent à 95.3% des prises en eau et 67% des volumes disponibles.
- Consommation journalière 211 L/jour/personne
- Prix moyen 3.40€/m³

L'utilisation de l'eau en France est répartie de la sorte (voir Fig. 4 :

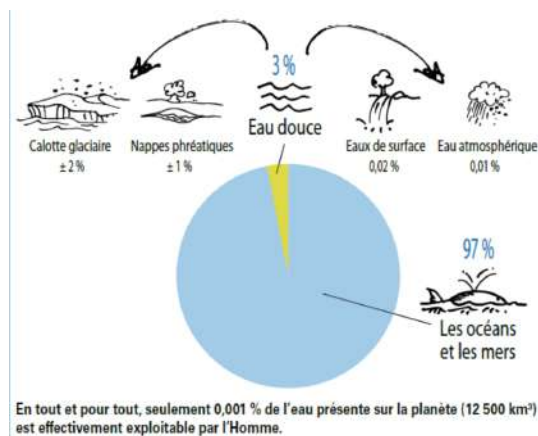


FIGURE 2 – Réservoirs d'eau sur la planète, source : <http://les.cahiers-developpement-durable.be/vivre/04-eau-reserves/>

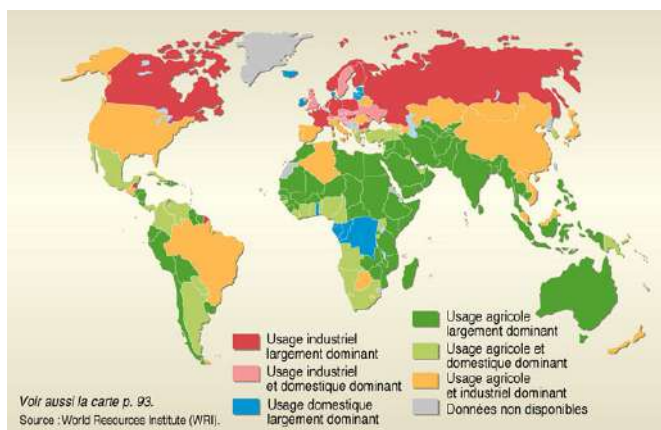


FIGURE 3 – Carte des utilisations de l'eau dans le monde, source : <https://www.monde-diplomatique.fr/cartes/eautilisations>

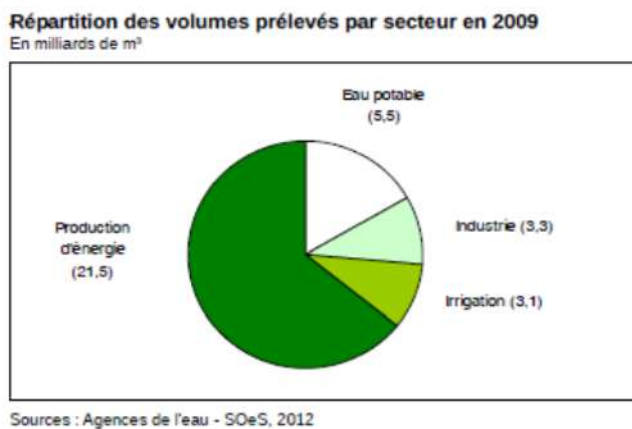


FIGURE 4 – Utilisation de l'eau en France

3 Le traitement de l'eau

3.1 Les différentes échelles

Lorsque l'on considère le système eau, de nombreuses échelles sont à prendre en compte et selon ce que l'on veut faire, il faut adapter ses méthodes à cela. De manière non exhaustive, on retrouve dans l'eau :

- ions
- molécules chimiques, organiques ou non
- des minéraux
- vases, sables
- micro-organismes

Toutes ces échelles et les possibilités de traitement envisagées sont présentées Fig. 5.

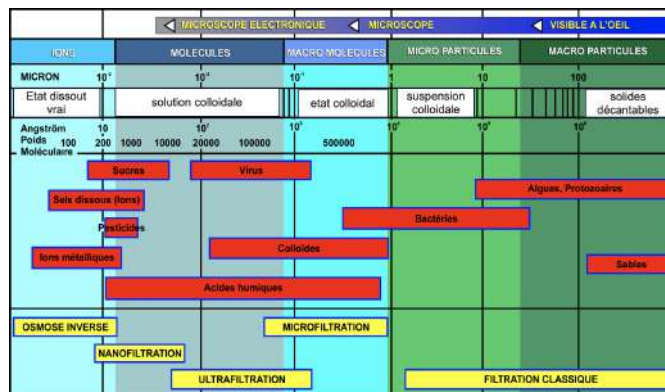


FIGURE 5 – Echelles de tailles et méthodes possibles, source : Cours traitement de l'eau ENGEES modifié

On remarque que plusieurs méthodes sont possibles en fonction de ce que l'on souhaite filtrer. Il faut prendre en compte pour cela également les différents paramètres jouant sur l'eau :

- Température
- conductivité
- Turbidité
- Couleur
- Oxydabilité
- COT
- Absorbance-UV
- TAC : teneur en carbonates et en bicarbonates (OH^- , CO_3^{2-} , HCO_3^-)
- Dureté de l'eau

Le titre hydrotimétrique (TH) ou dureté représente la teneur en ions calcium et magnésium de l'eau. On doit faire attention à la différence entre dureté temporaire et dureté permanente (la somme des deux correspond à la dureté totale) http://wiki.aquatribu.com/Dureté_de_l'eau:_principe. En fonction du degré hydrotimétrique on définit plusieurs catégories d'eau :

- 0-7 : très douce
- 7-15 : douce
- 15-25 : moyennement dure
- 25-42 : dure
- >42 : très dure

A quoi correspond cette unité ?

Le degré Français correspond à une concentration de 10 mg de CaCO_3 par litre d'eau. Beaucoup d'exercices tournent autour de la détermination de cette dureté. On peut utiliser des complexes pour le déterminer. On peut utiliser l'EDTA pour titrer une eau. Il est important de noter qu'en fonction de l'origine de l'eau, les paramètres seront différents (concentration en O_2 , ions ...)

3.2 Aspects réglementaires

Pour tout ce qui est aspect réglementaire, se rapporter au livre *Guide des analyses de la qualité de l'eau* écrit par Patrick Savary (ISBN : 9782352959458). Avoir une idée des différents seuils et de quelques lois etc peut faire

la différence.

3.3 Principes généraux du traitement de l'eau

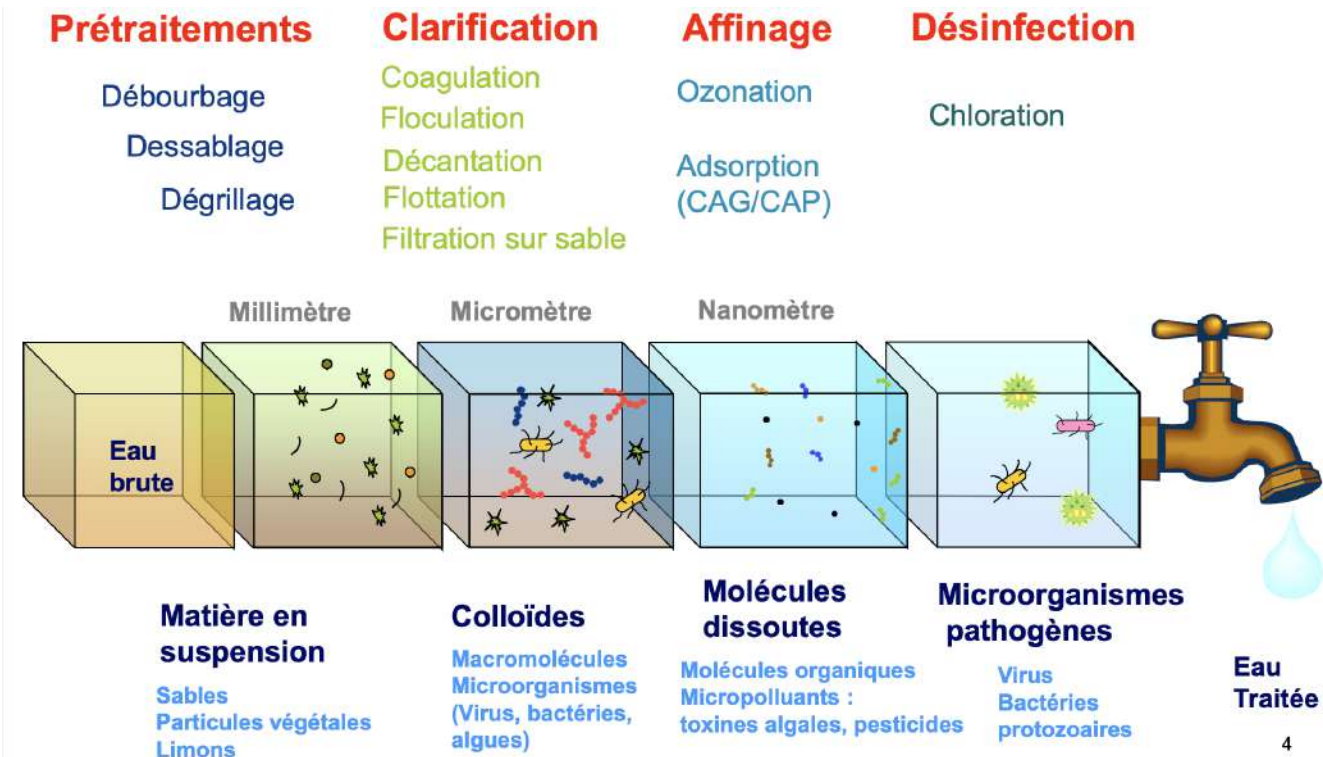


FIGURE 6 – Principales étapes de traitement de l'eau, source : cours de l'ENGEES

Le traitement de l'eau correspond à une succession d'étape présentée dans la Fig. 6. Il y a différentes méthodes qui sont mises en jeu s'appuyant sur des moyens physico-chimiques.

Méthodes physiques	Méthodes physico-chimiques	Méthodes biologiques
-Séparation par tamisage (Prétraitements) -Action de la gravité (Clarification) -Filtration (Clarification, affi-nage)	-Coagulation, Floculation (clarification) Oxydation des substances réductrices (Affinage) Désinfection (Désinfection) -Equilibre calcocarbo-nique -Dissolution de gaz ou dé-gazage	-Filtres à sable -Filtres CAG

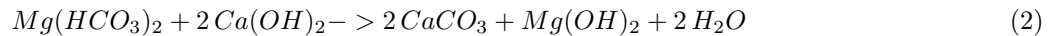
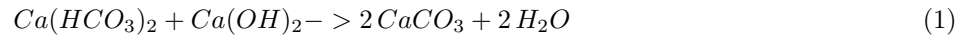
TABLE 1 – Caption

On peut également noter qu'il y a une filière complète pour le traitement des boues. On n'en parlera pas plus ici.

4 Adoucissement de l'eau

Une eau avec un degré français trop élevé peut poser des soucis dans son utilisation. En effet, cela peut entraîner un entrartrage important, des problèmes de cuisson et des problèmes de lavage. Un des moyens d'abaisser la dureté

est de réaliser une décarbonatation. L'objectif est de faire précipiter des espèces insolubles. Plusieurs méthodes sont possibles mais on peut noter celle utilisant de la chaux. Les équations associées sont :



Par précipitation on retire les espèces responsables de la dureté mais on produit également des boues. Tout cela peut se passer dans des réacteurs de mélange. Un manière de faire un peu différente est d'utiliser du sable pour faire précipiter le CaCO_3 sur des grains de sable. On forme des billes de carbonate de calcium, qui peuvent être retirées facilement. On peut également utiliser des résines échangeuses d'ions, qui peut être plus simple en terme d'installation mais ne traite que les Ca et Mg. Tout est une question de compromis.

5 Clarification de l'eau

Cette partie est bien décrite dans le **TI G1170 V1**. On montre les principes de ces phénomènes dans la Fig. 7.

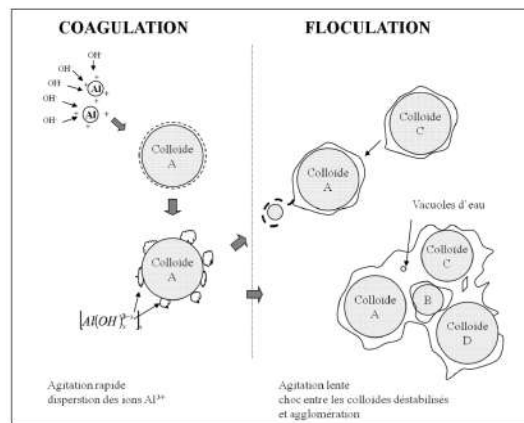


FIGURE 7 – Principes de la coagulation et de la floculation, source : Cours de l'ENGEES

On essaye de retirer un maximum de particules en les faisant s'adsorber entre elles et sur un flocculant pour ensuite les faire remonter à la surface par mousse et les retirer du milieu.

Remarque : Entre cette étape et celle décrite dans la partie suivante il y a une suite d'étapes : décantation, filtration qui ne seront pas décrites ici. Il est juste intéressant de savoir qu'il y a des choses entre.

6 Oxydation de l'eau

Le TI W2702 V1 Oxydation et réduction appliquées au traitement de l'eau - Ozone – Autres oxydants – Oxydation avancée – Réducteurs, traite parfaitement de ces problématiques et suffit parfaitement pour une leçon. Quels sont les rôles des oxydants ?

- L'oxydation des matières minérales : ammoniac, fer, manganèse, sulfures.
- la dégradation des substances organiques : matières humiques, pesticides
- la désinfection des eaux : élimination des bactéries et des virus

Pour qu'un oxydant soit considéré comme étant un bon oxydant, il faut qu'il ait un pouvoir oxydant donc un potentiel élevé. Qu'il réagisse rapidement avec les éléments et qu'il ne génère pas dans sa réaction des espèces nocives ou difficilement éliminables. Les problématiques de coûts sont importantes. Certains oxydants sont couramment utilisés : chlore, dioxyde de chlore, l'ozone, le permanganate de potassium.

7 Autres méthodes d'affinage

7.1 Aération

L'objectif de cette étape est de mettre en contact l'eau et l'air pour éliminer les éléments volatils. On l'utilise pour :

- élimination du dioxyde de carbone et d'autres gaz indésirables.
- aération de l'eau, pour rajouter de l'oxygène dissous.
- oxydation des composés réducteurs par l'oxygène de l'air.

Quelques idées clés : loi de Henry, vitesse de transfert de gaz dépend de la différence de concentration, des surfaces en contact, du temps de contact, de la pression et de la température.

7.2 Résine échangeuse d'ions

Ce sont les mêmes principes qu'en chimie classique appliqués au traitement de l'eau (voir Fig. 8).

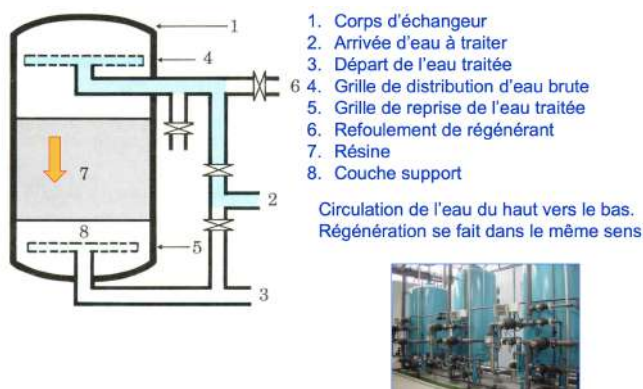


FIGURE 8 – Principe du montage de la colonne échangeuse d'ions en industrie, source : cours ENGEES traitement de l'eau

7.3 Charbon actif

Le charbon actif est une méthode utilisée communément dans des systèmes de filtration. Il est tout à fait possible que vous disposiez d'un de ces dispositifs à la maison, on peut le retrouver dans le grand commerce. Comment est-ce que ça marche ? Pourquoi est-ce qu'on l'utilise ?

Le charbon actif est utilisé pour sa capacité à adsorber des molécules, essentiellement des micropolluants organiques et neutraliser le chlore. On peut le trouver sous plusieurs formes : en poudre ou en grain. Il est souvent fait à partir de houille, bois ou noix de coco. La fabrication passe par quatre étapes :

1. Séchage de la matière première
2. Carbonisation à 973 K
3. Activation : augmentation de la surface spécifique.
4. Lavage à l'acide

Cela permet d'obtenir des matériaux avec une très grande surface poreuse : 600-2000 m²/g (voir Fig. 9).

Le pouvoir adsorbant du charbon est défini comme la rétention, sous forme concentrée d'un composé à l'origine sous forme soluble à l'interface entre un solide et un liquide. La concentration à cette interface est bien entendu supérieure à celle présente dans le reste du fluide. On retrouve une adsorption non spécifique physique qui est réversible qui repose sur des forces de Van der Waals. C'est le mode d'action en général majoritaire et une adsorption spécifique chimique irréversible.

En industrie c'est beaucoup utilisé sous forme de lit fluidisé.

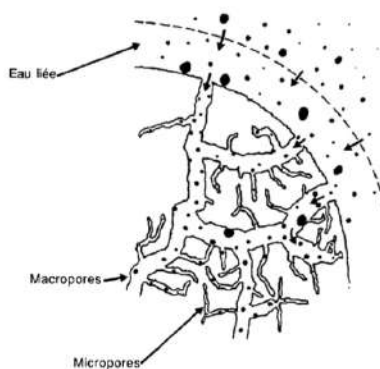


FIGURE 9 – Surface de charbon actif

7.4 Membranes

Les membranes sont des méthodes de séparation qui sont utilisés dans de nombreux domaines de la chimie. En effet, on a déjà pu en parler lorsque nous traitons de l'osmose. De nombreuses applications sont possibles. On va essayer de montrer ici en quoi on peut l'appliquer au traitement de l'eau. Il y a différentes tailles de membranes possibles 10.

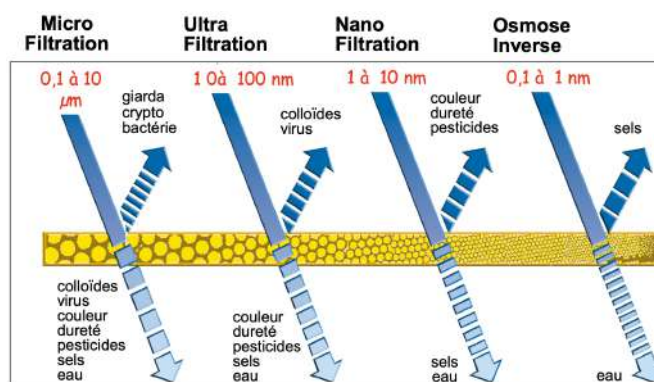


FIGURE 10 – Les différentes filtrations par membrane, source : cours ENGEES traitement de l'eau

Selon la taille voulue, il est possible de choisir la taille de la maille et les caractéristiques de celle-ci. La séparation par membrane sans changement de phase des suspensions ou des solutions macromoléculaires, en les faisant circuler à travers une membrane. Pour cela, il faut appliquer un gradient, qu'il soit de pression, de potentiel ou de pression. Il existe de nombreux types de membranes : isotropes, anisotropes, minérales, organiques, composites. Nous ne nous perdons pas ici dans le zoo des membranes poreuses.

D'un point de vue physique le débit du fluide s'écoulant à travers de la membrane peut se modéliser par la loi de Darcy. Attention, un des problèmes principal est l'encrassement des pores. Il faut alors penser à remplacer les surfaces ou les nettoyer régulièrement. La pression à appliquer est également d'autant plus forte que les pores sont petits ce qui implique des fortes pressions et un coup particulièrement important.

Conclusion

Dans cette petite fiche nous avons évoqué les points clés du traitement des eaux. Certaines notions ne sont peu ou pas développées mais cette fiche a le mérite d'énoncer les idées principales et de savoir qu'ils existent. De nombreuses autres méthodes existent et sur des aspects spécifiques : traitement du fer, de l'arsenic ou encore des nitrates. Nous nous sommes concentrés ici sur l'aspect chimique et industriel du traitement mais il ne faut pas oublier que la biologie a un grand rôle à jouer. Les bactéries et autres micro-organismes ont aussi leurs rôles dans ces phénomènes et compliquent le traitement.