

Techniques physicochimiques applicables dans la production d'eau potable ou de process et dans le retraitement d'effluents industriels.

Que la ressource soit superficielle (rivière, lac naturel ou artificiel) ou souterraine, l'eau brute qu'elle fournit à l'utilisateur présentera dans le cas le plus général l'ensemble des caractéristiques défavorables suivantes :

- **critères organoleptiques** : turbidité, couleur, goût, odeur.
- **critères chimiques**, correspondant à des constituants :
 - Soit *naturellement présents dans l'eau* : sels minéraux (exemple : dureté, sulfates, chlorures...), fer, manganèse, ammonium, fluorures, arsenic, matières organiques (notamment les substances humiques responsables de la couleur)...
 - Soit *apportés par la pollution* : micropolluants minéraux (métaux lourds, nitrates) ou organiques (pesticides, hydrocarbures, phénols, détergents...);
- **critères biologiques** : il s'agit surtout des germes pathogènes apportés par la pollution fécale, mais aussi des organismes dont l'eau est l'habitat naturel (microalgues planctoniques ou phytoplancton, micro-invertébrés ou zooplancton, bactéries de l'environnement).

Pour le traiteur d'eau, quelle que soit la nature de la pollution à éliminer, c'est la différence entre pollution particulaire et pollution dissoute qui conditionnera l'éventail des techniques applicables.

1 L'élimination de la pollution particulaire ou clarification :

La clarification est l'élimination des matières en suspension, des matières colloïdales et des macromolécules susceptibles de communiquer à l'eau une **turbidité** ou une **couleur** indésirables. Il s'agit de matières organiques aussi bien que minérales, et les organismes vivants du phytoplancton (algues) et du zooplancton entrent également dans cette définition. Elle est généralement précédée par des prétraitements visant à éliminer tous les polluants susceptibles de gêner les procédés et/ou d'endommager les installations. Rappelons que la matière dans l'eau peut se trouver sous 3 états :

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

Traitements physiques ou traitements préliminaires :

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 perturberait la clarification ou risquerait de provoquer des dommages.

- dégrillage (si possible, grille à nettoyage automatique) ;
- tamisage (vide de maille de l'ordre de 1 mm) ;
- microtamisage (vide de maille de l'ordre de la dizaine de micromètres)

- dessablage
- débouillage
- déshuilage

Dans le domaine du traitement des eaux naturelles, ces procédés ne constituent en général qu'un préalable à un traitement physico-chimique ou biologique, sauf certains cas particuliers : par exemple, microtamisage d'une eau ne contenant que du plancton de grande taille; mais dans ce cas, une postdésinfection énergétique est indispensable pour éviter les développements ultérieurs à partir des formes de reproduction ou de résistance (oeufs, kystes, spores, etc.) qui ont traversé le traitement.

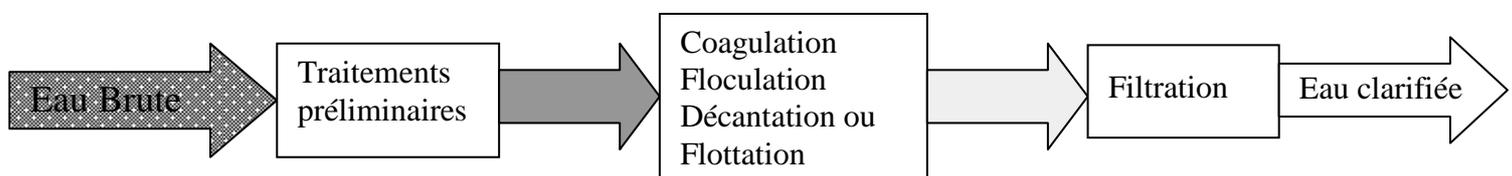
Traitements physico-chimiques :

Ils sont nécessaires pour clarifier les eaux contenant des substances non dissoutes mais ne sédimentant pas ou peu de façon spontanée : les colloïdes. Certains éléments en suspension dont la décantation est trop lente sont aussi visés. En pratique la quasi-totalité des eaux superficielles est concernée, certaines eaux de sources issues de terrains karstiques, certaines eaux profondes contenant des acides humiques en pseudosolution colloïdale..... etc.

Dans ce cas la clarification se subdivisera en trois étapes :

- **Coagulation** : destabilisation des particules colloïdales et formation de micromicelles constituées d'hydroxyde métallique et de colloïdes .
- **Floculation** : rassemblement des micromicelles sous forme séparable de la phase aqueuse : les floccs
- **Séparation** des phases solide et liquide par **décantation** ou **flottation** complété par **filtration sur support granulaire**.

En pratique les traitements physiques et physicochimiques sont fréquemment pratiqués en série.



1.1 Coagulation et floculation des colloïdes :

1.1.1 Nature et propriétés des colloïdes :

Les colloïdes présentent un diamètre compris entre 1 μm et 1 nm . D'un rapport surface/volume important, ils adsorbent des ions et sont chargés électriquement, le plus souvent négativement dans l'eau. Il en résulte des forces de répulsion intercolloïdales. Celles-ci permettent d'expliquer la grande stabilité de ces particules mises en solution puisqu'elles s'opposent à une agrégation spontanée en structures plus grandes susceptibles de décanter.

1.1.2 La coagulation :

On considère deux particules colloïdales A et B de diamètre D et distantes d'une valeur d. Entre ces deux particules, il existe des forces de répulsion électrostatiques et des forces d'attraction intermoléculaires.



- Les flocculants **synthétiques** se répertorient en polyanions, non ioniques et amphotères. Ils sont de type polyacrylamide ou polyacrylate. Ils se définissent par leur masse moléculaire, et pour ceux qui sont chargés, par leur densité de charge

1.1.4 Technologie de la coagulation–floculation

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

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 créée par des chicanes ou par un mélange mécanique avec des pales ou des hélices. Durée 3 à 6 minutes.

2^{ème} phase : mélange lent

Il faut favoriser les rencontres entre les particules de floc, sans les léser. Le mélange doit cependant être assez énergique pour engendrer des gradients de vitesse dans le bassin. Durée : 9 à 30 minutes.

C'est durant cette étape que l'on peut ajouter du polymère pour optimiser la coalescence des floccs, voir ajouter des microsables pour les lester et les rendre plus décantable.

Les appareillages comporteront donc deux chambres de mélange en série permettant d'effectuer les 2 opérations.

1.2 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. Ces particules sont des floccs dans le cas de la clarification (le plus général). Cependant, elles peuvent aussi résulter de précipitations ayant lieu au cours des traitements d'adoucissement ou d'élimination du fer et du manganèse.

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

La décantation est la résultante de forces opposées :

- Celles qui tendent à faire sédimenter les floccs fonction notamment de la densités de ces derniers. C'est sur celle-ci que jouent les procédés de coagulation-floculation.
- Celles qui tendent à les faire flotter liée à la vitesse ascensionnelle de l'eau dans le décanteur : Les décanteurs sont conçus pour présenter une surface réelle ou projeté très importante par rapport au débit d'eau entrant ce qui a pour effet de faire chuter drastiquement la vitesse ascensionnelle de l'eau. Certains permettent en plus de faire passer l'eau en cours de floculation dans le lit de boue déjà formé à la base du décanteur ce qui bloque un peu plus leur remontée. D'autres permettent de recirculer une partie des boues dans le compartiment de floculation ce qui augmente l'agrégation des microflocs (augmentation des probabilités de contact et phénomène de nucléation).

Y.Libes Techniques physicochimiques applicables dans la production de l'eau

1.3 La flottation :

Certaines eaux sont riches en pollution particulaire peu dense (ex :algues ou pulpes de patte à papier).Les quantités de coagulant-floculants à utiliser pour produire des floccs plus denses que l'eau seraient prohibitives.On choisi dans ce cas une stratégie inverse à la décantation.On utilise des flottateurs qui sont des ouvrages ou les technologies mises en œuvres visent cette fois-ci à maximiser les forces permettant la flottaison des floccs.

En pratique l'eau des flottateurs et saturée en fine bulles d'air, ces fines bulles forment des attelages avec les floccs et permettent leur remontée rapide.Les boues obtenues flottent à la surface de l'ouvrage et il suffit de les récupérer par raclage.

1.4 La filtration sur support granulaire :

La filtration est un procédé physique de **séparation d'un mélange solide-liquide** à travers un **milieu poreux**, qui retient les particules et laisse passer le liquide.

Ce procédé est destiné à **clarifier** un liquide qui contient des **matières en suspension (MES)** en le faisant passer à travers un **milieu poreux constitué d'un matériau granulaire**. La rétention des fines particules qui subsistent après la décantation se déroule à la surface des grains grâce à des forces physiques. La plus ou moins grande facilité de fixation dépend du type de matériau utilisé et des conditions d'utilisation du filtre. **L'espace intergranulaire définit la capacité de rétention du filtre qui diminue au cours du passage de l'eau**. Les **pertes de charge** augmentant avec le temps, il faut déclencher le **lavage** du filtre.

Une **biomasse** se développe généralement sur le matériau filtrant et peut efficacement réduire le taux **d'ammonium par nitrification**. La filtration, précédée d'une coagulation - floculation - décantation permet d'obtenir une bonne élimination des bactéries, de la couleur, de la turbidité et indirectement de certains goûts et odeurs issus des MES de petite taille.

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.

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 m³.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 m³.m⁻².h⁻¹) constituée 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 :**

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 Y.Libes Techniques physicochimiques applicables dans la production de l'eau

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

2 Elimination des pollutions dissoutes :

2.1 Echanges liquide-gaz :

L'objectif est ici soit de dissoudre un gaz d'intérêt soit d'éliminer des gaz dissout de l'eau :

Gaz à dissoudre : généralement il s'agit de l'oxygène de l'air qui constitue un oxydant bon marché. Dans la suite du traitement, il favorise ainsi l'oxydation, par voie physico-chimique ou biologique, du fer, du manganèse, de l'ammonium, de l' H_2S , de certaines matières organiques biodégradables ; en outre, une teneur minimale de 4 à 5 $mg \cdot L^{-1}$ en O_2 dissous est nécessaire dans l'eau véhiculée dans un réseau, pour le maintien des qualités organoleptiques de l'eau (en particulier, pour éviter dans le réseau de distribution les fermentations anaérobies génératrices d'odeurs), et pour la protection des tuyauteries en fonte ou en acier contre la corrosion.

Gaz à éliminer : par effet physique de stripage, **certains gaz indésirables** (CO_2 , H_2S , CH_4) **ou des polluants volatils** (exemple :trichloréthylène)

Pour cela on peu simplement aérer à pression atmosphérique (échanges possibles dans les deux sens) ou sous pression (favorise la dissolution), on peu également projeter l'eau en fine gouttelettes dans l'air (augmentation de la surface d'échange), ou pourquoi fonctionner en dépression (favorise l'élimination des gaz dissout). Dans la production d'eau ultrapures on peu avoir recours à des membranes de dégazage.

2.2 Traitements par les oxydants :

On peu les utiliser parce qu'ils éliminent la pollution par des réaction red-ox (exemple chlore et ozone) ou parce qu'ils permettent une dégradation plus facile de cette pollution par voies biologique (La préozonation casse les molécules organiques et permet une assimilation plus rapide par les bactéries colonisant les filtres a charbon).

- Les dérivés chlorés sont utilisés pour éliminer l'ammonium dans une eau par ailleurs sans matière organique (risque de formation de THM cancérogènes). Ils peuvent également favoriser la précipitation du fer par oxydation.
- L'ozone permet d'éliminer de nombreux composés organiques sans crainte de créer des sous produits toxiques. Exemple élimination des pesticides en compléments du passage sur charbon actif.

Leur capacité oxydante en fait également de puissants biocides, c'est pourquoi on les utilise également en désinfection finale avec ou sans effet rémanent (ozone pas de rémanence, dérivés du chlore effet rémanent évitant une reprise microbienne dans le réseau de distribution).

Y.Libes Techniques physicochimiques applicables dans la production de l'eau

Le cas des U.V utilisé dans la désinfection de certaines eaux est particulier car il s'agit de radiation ionisantes : à ce titre ils possèdent une action biocide propre par destruction des acides nucléiques des microorganismes, mais ils agissent aussi par formation de radicaux libres qui sont des agents oxydants puissants.

Les dérivés chlorés les plus utilisés sont le chlore gaz, la javel et le bioxyde de chlore. Tous conduisent dans l'eau à la formation de l'acide hypochloreux qui est la forme réellement active et de l'ion hypochlorite qui constitue plutôt une forme de réserve 100 fois moins active.

L'ozone est produit par action d'un arc électrique sur un air ne contenant plus la moindre trace d'humidité. Il est également très utilisé souvent suivi d'une chloration. Dans certains cas son action non rémanente peut être souhaitée (cas par exemple de certains delphinarium ou le chlore produit des effets indésirables sur les dauphins).

2.3 L'adsorption sur charbon actif :

Le charbon actif fait partie d'une gamme de substances présentant une grande porosité et une surface spécifique importante (500 à 1500 m² /g). Ces particularités lui confèrent un grand pouvoir d'adsorption (*adsorber : retenir à sa surface*).

Ce procédé physico-chimique est utilisé dans les filières d'eau potable pour retenir les substances impossibles à éliminer par un traitement classique. Les composés retenus sont appelés **adsorbats** tandis que le charbon est l'**adsorbant**. Initialement on l'utilisait pour améliorer les qualités organoleptiques de l'eau altérés par ces substances (goût, odeur, couleur). De nos jours on l'utilise pour éliminer les micropolluants organiques (phénols, hydrocarbures, pesticides, détergents) et certains métaux lourds. Il est également possible de l'utiliser comme catalyseur de déchloration.

Le charbon actif en grains CAG est utilisé pour garnir des filtres. Sous cette forme, il est colonisé par des bactéries épuratrices qui complètent son action. Cette colonisation demande 1 à 3 mois. Dans la gamme de températures allant de 8 à 18°C Dans un filtre à CAG bien exploité, la biomasse bactérienne peut atteindre 10⁸ cellules par gramme de CAG, ce qui est très supérieur à un filtre à sable et explique qu'une action biologique puisse s'ajouter à un effet d'adsorption purement physico-chimique. Cette action reste toutefois limitée sauf si on procède à une pré-ozonation, il se produit alors une synergie d'actions :

- L'ozone élimine les produits à cinétique rapide d'oxydation ; ceux-ci n'ont donc plus à être adsorbés sur le CAG, dont la durée de vie (avant régénération thermique ou remplacement) peut ainsi être sensiblement augmentée ;
- L'ozone casse les macromolécules en éléments plus biodisponibles, et augmente le caractère hydrophile des solutés par hydroxylation des éléments électrophiles. Ainsi, l'ozonation diminue l'adsorption mais favorise la bioélimination. Par conséquent le CAG adsorbe les produits qui n'ont pas été oxydés par l'ozone et voit se renforcer l'élimination, par voie biologique, des substances biodégradables : l'élimination des matières organiques est ainsi rendue plus importante que si l'ozonation n'avait pas été appliquée et on peut considérer que le filtre à CAG est en fait devenu, par ce mode de conception et d'exploitation, un filtre à **charbon actif biologique (CAB)**.
- Le couplage [O₃ + CAG] permet aussi une meilleure élimination : des goûts et odeurs ; des molécules

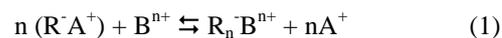
organiques qui jouent le rôle de « précurseurs » favorisant la formation de THM après chloration et, plus généralement, de sous-produits d'oxydation tel que les bromates et les chlorates après action des différents désinfectants ; et de la plupart des micropolluants minéraux (métaux lourds) et organiques (pesticides, phénols, hydrocarbures, détergents, etc.).

La place idéale se situe en milieu de filière après la clarification.

Le charbon actif en poudre CAP est utilisé classiquement pour traiter des pollutions accidentelles ponctuelles. Il peut être ajouté dans l'étage de coagulation-floculation-décantation, où il piège les polluants et est éliminé avec les floccs décantés. Actuellement on l'utilise en association avec des techniques membranaires dans des procédés de traitement haute performance. Le CAP fixe les polluants et la membrane sépare ensuite le CAP pollué de l'eau traitée.

2.4 Les résines échangeuses d'ions :

L'échange d'ions est un procédé dans lequel les ions d'une certaine charge contenus dans une solution (par exemple des cations) sont éliminés de cette solution par adsorption sur un matériau solide (l'échangeur d'ions), pour être remplacés par une quantité équivalente d'autres ions de même charge portés par le solide. Les ions de charge opposée ne sont pas affectés. La réaction générale sur laquelle repose ce phénomène est la suivante:



où R^- = radical anionique faisant partie de la résine échangeuse d'ions

A^+ = ions fixés sur la résine neuve

B^{n+} = ions en solution

L'échangeur d'ions est un sel, un acide ou une base, solide et insoluble dans l'eau, mais hydraté, c'est-à-dire gonflé d'eau comme une éponge. La teneur en eau d'un matériau apparemment sec peut être de plus de 50 % de sa masse totale et les réactions d'échange se déroulent dans cette eau, dite eau de gonflement ou d'hydratation, à l'intérieur de l'échangeur. On distingue les résines anioniques de charge + et les résines cationiques de charge -. Parmi ces deux types, on distingue de plus les résines faibles qui ne fixent que partiellement les ions dissout et les résines fortes qui sont capable de fixer tous les ions dissouts. Notons également que l'affinité des résines varie fortement selon les ions considérés. Utilisées seules ou en combinaison, elles permettent donc des procédés variés.

L'échange d'ions est à la base d'un grand nombre de procédés chimiques qui peuvent se classer en trois catégories principales :

- **Substitution** : Un ion noble (par exemple le cuivre) est récupéré dans la solution et remplacé par un autre sans valeur. De façon analogue, un ion nocif (par exemple un cyanure) est retiré de la solution et remplacé par un autre inoffensif.
- **Séparation** : Une solution contenant un certain nombre d'ions différents (par exemple Li^+ , Na^+ , K^+ , Rb^+ , Cs^+ , tous sous forme de chlorures) est passée au travers d'une colonne de billes de résine. Les ions sont séparés et émergent par ordre croissant d'affinité pour la résine.
- **Élimination** : En utilisant une combinaison de résine échangeuse de cations (sous forme H^+) et de résine échangeuse d'anions (sous forme OH^-), tous les ions sont enlevés et remplacés par de l'eau (H^+OH^-). La solution est ainsi **déminéralisée**. Ceci est en réalité une variante particulière de la substitution.

Les échangeurs d'ions ont d'abord été des terres naturelles (zéolites), puis des composés de synthèse minéraux tels que les silico-aluminates, et enfin organiques, que l'on appelle résines. Ces résines ont en général la forme de grains ou de billes. On en distingue deux catégories : Les résines anioniques chargées positivement et les résines cationiques chargées négativement. Les charges sont apportées par des fonctions acides ou basiques faibles ou fortes greffées sur le polymère constituant la résine.

Leurs domaines d'emploi sont extrêmement variés :

- Décarbonatation.
- Adoucissement de l'eau.
- Déminéralisation totale en plaçant des résines cationiques et anioniques fortes en série ou en lits mélangés.
- Elimination des métaux dans les eaux de process industrielles.

Lorsqu'une résine arrive à saturation, dans un premier temps elle fixe de moins en moins bien les ions indésirables (perçage) puis elle ne les fixe plus du tout (claquage). Pour éviter cela il est nécessaire de la régénérer régulièrement, au moyen de saumures concentrées (NaCl) ou de soude (NaOH). Ces solutions « décrochent » les ions polluants fixés et régénèrent les fonctions chimiques de la résine. Cette étape génère donc des solutions concentrées en pollution qu'il faudra ensuite éliminer autrement.

2.5 Les techniques membranaires :

Les premières membranes de dialyse furent mises au point au XVIII^{ème} par l'abbé Nollet. L'osmose inverse a été utilisée à partir du milieu du XX^{ème}. De nos jours, les limites des traitements conventionnels en termes de turbidité, de qualité bactériologique, de goût et de sous-produits de désinfection semblent atteintes, et donc les procédés membranaires, beaucoup plus performants, paraissent devoir s'imposer.

Une membrane est une paroi mince, qui oppose une **résistance sélective** au transfert de certains constituants d'une solution. Elle sépare donc les espèces moléculaires ou ioniques présentes dans la solution. Le **seuil de coupure** est la taille de la plus petite particule rejetée par la membrane. Plus le pouvoir de coupure est important plus il faut appliquer de pression sur la membrane pour vaincre la résistance qu'elle oppose au passage de l'eau. Plus cette pression de fonctionnement est élevée plus la membrane chauffe et est susceptible de ruptures mécaniques. La quantité d'énergie utilisée et donc le coût de fonctionnement augmente de fait, ceci expliquant que ces techniques sont pour l'instant réservées à des eaux « difficiles ».

Les membranes sont fabriquées avec des matériaux organiques ou minéraux. Les premières membranes organiques étaient à base de dérivés cellulosiques ou de polyamides aromatiques. Les matériaux actuellement utilisés (polypropylène, polyacrylonitrile, ...) sont plus résistants. Les membranes organiques sont préparées par évaporation d'un mélange de polymère et de solvant (collodion). Elles sont sensibles aux pH extrêmes, surtout acides, et aux élévations de température. Les membranes minérales sont mises en forme par une agglomération de poudre minérale sous pression, à une température donnée (frittage). La mise en place de couches de granulométries décroissantes permet de régler la taille des pores.

Les membranes se présentent fréquemment sous forme plane enroulée sur elles mêmes en spirale ou en fibres creuses garnissant des cartouches. Cette organisation permet d'appliquer des pression de fonctionnement adaptée et de pouvoir effectuer des rétro lavages lorsque les membranes colmatent.

Une unité de filtration comporte généralement plusieurs modules en séries et/ou en parallèle protégés par une préfiltration qui bloque les impuretés susceptibles de colmater trop rapidement les membranes.

Suivant les seuils de coupure et les pressions de fonctionnement on distingue :

✓ **La Microfiltration (MF) :**

La MF atteint le domaine des particules en suspension de diamètre voisin de 50 nm. Les MES, les colloïdes et les bactéries sont rejetés. Lors de la séparation, la composition chimique de l'eau n'est pas modifiée. Les paramètres moyens sont : une pression de filtration de 0,5 à 3 bars, un flux de 0,2 à 0,5 m³.h⁻¹.m² et une vitesse de l'eau d'environ 3 m.s⁻¹.

La MF est bien adaptée au traitement des eaux souterraines à forte turbidité occasionnelle, comme les eaux karstiques. Elles sont issues du ruissellement à travers des terrains calcaires fissurés et sont très sensibles aux conditions météorologiques. A l'occasion des pluies, les paramètres tels que la turbidité, la quantité de matières organiques et les bactéries atteignent des valeurs élevées. Les traitements classiques ne peuvent répondre efficacement à ces modifications trop rapides.

La MF est utilisée pour le traitement des eaux de surface exemptes de micropollution et en temps que prétraitement avant des chaînes d'ultrafiltration et d'osmose inverse.

La MF se substitue efficacement à la clarification. La réduction de la turbidité, de la micropollution minérale et bactérienne est remarquable. Le prix de revient est faible (0,10 €/m³).

✓ **L'Ultrafiltration (UF) :**

La porosité de la membrane va de 100 à 2 nm. La pression de service est de 0,5 à 3 bars et la vitesse tangentielle de l'eau est de 1 m.s⁻¹. L'ultrafiltration permet la rétention de la totalité des particules en suspension et des micro-organismes, virus compris, mais elle n'élimine pas les micropolluants. Les ions sont en partie retenus en amont de la membrane.

L'UF peut être associée avec le charbon actif en poudre, CAP, on a alors le procédé CRISTAL. Dans ce cas l'élimination du Carbone Organique Total, des pesticides et l'amélioration des qualités organoleptiques sont remarquables par rapport à la méthode conventionnelle (clarification, Charbon Actif en Grain, ozone).

✓ **La Nanofiltration (NF) :**

Elle est définie par un seuil de coupure de 500 daltons, soit un diamètre équivalent des pores de 1 nm. La NF est très efficace pour éliminer les petites molécules dissoutes comme les pesticides, les acides humiques et fulviques précurseurs d'organochlorés et le carbone organique dissous biodégradable (CODB). La demande en chlore est ainsi nettement diminuée. Le passage global de sels est de 30 à 60 % pour les ions monovalents et de 5 à 15 % pour les divalents. La NF est bien adaptée à la désulfatation et à l'adoucissement.

L'usine de Méry sur Oise fût la première au monde à l'employer dans ce contexte. Elle utilise des modules spiralés constitués de membranes composites. La pression de service est de 8 bars.

✓ **L'Osmose inverse (OI) :**

L'OI permet d'éliminer quasiment tout composé de l'eau. En effet le passage global en sels est très faible (typiquement 1,5 %). Les pressions de service vont de 15 à 80 bars. Le flux d'eau traitée est d'environ 3 à 10 L.h⁻¹.m².bar⁻¹.

Les membranes généralement utilisées sont en polyamide non biodégradable de porosité 0,2 nm. Les prétraitements peuvent être, dans certains cas, très poussés pour éviter toute détérioration de la membrane.

Conclusion : La liste des techniques présentées ici est loin d'être exhaustive, des sujets tels que la modification de l'équilibre calcocarbonique (qui permet de jouer sur le caractère incrustant ou agressif d'une eau) ou l'utilisation des microorganismes dans la production d'eau potable ont été laissés de côté de par leur trop grande complexité. Les fiches du site GLS permettront d'illustrer ce cours d'initiation, de l'approfondir, voir de le compléter. Dans tous les cas, si vous souhaitez plus d'information sur une technique particulière l'Internet francophone regorge de documentations techniques, il suffira d'utiliser les mots clés présent dans le cours pour trouver sur un même sujet des documents allant de la simple fiche de vulgarisation à la thèse. **L'important et de comprendre qu'il n'existe pas de filière type de traitement d'eau, mais qu'on s'appuie sur la modularité des techniques pour créer la filière la plus adaptée sur le plan technico-économique.**