

CARACTÉRISTIQUES GÉNÉRALES DE L'ULTRAFILTRATION

L'ultrafiltration (UF) est une technique séparative utilisant en principe des membranes organiques poreuses (hydrophiles) dont le pouvoir de coupure est assez petit pour arrêter les colloïdes, les algues, les bactéries, les virus et les macro-molécules organiques, mais insuffisant pour assurer une élimination des matières dissoutes et des ions, comme le fait presque totalement l'osmose inverse, ou partiellement, comme c'est le cas pour la nanofiltration. Le pouvoir de coupure des membranes d'UF se situe en général aux environs de 0,01 µm.

L'UF peut également faire appel à des membranes minérales caractérisées par leur grande résistance mécanique, thermique et chimique. Ces membranes UF sont surtout utilisées pour des applications industrielles.

Les membranes organiques d'UF se présentent sous la forme de fibres creuses, la filtration s'effectuant soit de l'intérieur vers l'extérieur des fibres, soit dans le sens inverse. Les fibres sont constituées, dans le sens de la filtration :

- de la membrane proprement dite qui se présente sous la forme d'une peau qui assure la rétention des matières ;
- d'un support poreux qui procure à la membrane la résistance mécanique nécessaire pour contrecarrer la pression transmembranaire.

Les fibres creuses sont généralement fabriquées à partir de polyacrylonitrile (PAN), de polymère cellulosique ou de polyethersulfone, matériaux résistant aux oxydants et notamment au chlore (caractéristique nécessaire pour le cas d'une éventuelle pré-oxydation de l'eau, pour la désinfection périodique et les rétrolavages à l'eau chlorée des membranes).

Il faut noter que le polymère cellulosique est hydrolysable pour des pH alcalins, ce qui oblige à procéder à une acidification préalable de l'eau à filtrer et à limiter le pH des solutions de nettoyage des membranes.

Les fibres creuses arrangées en faisceaux, sont placées :

- soit dans des carters pour constituer des modules, elles fonctionnent alors en pression (*figure 1*) ;
- soit dans des cassettes directement immergées dans un bassin recevant les eaux à traiter. Elles fonctionnent dans ce cas en dépression, comme l'indique la figure 2.

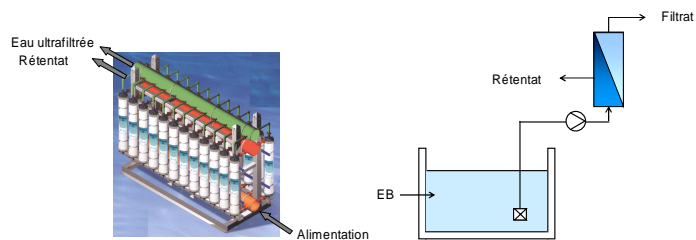


Figure 1

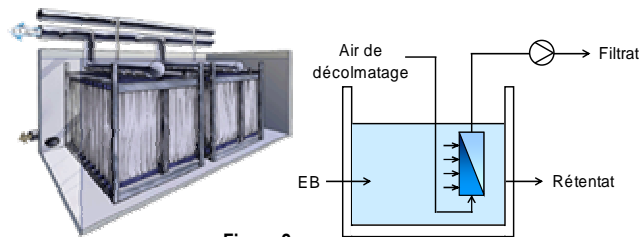


Figure 2

Dans le premier cas la filtration s'effectue généralement de l'intérieur vers l'extérieur. Dans le deuxième cas le sens de la filtration est de l'extérieur vers l'intérieur.

Pour la suite il sera surtout question des modules fonctionnant sous-pression.

La filtration peut être frontale (*figure 1*) ou tangentielle. Dans le premier cas, les particules retenues à l'intérieur des fibres vont former un gâteau qui va aller en s'épaississant, provoquant ainsi une augmentation de la pression d'alimentation (colmatage). On utilise ce mode de filtration dans le cas de faibles turbidités (MES inférieures à 25 mg/l). Dans le cas de la filtration tangentielle (*figure 3*), l'eau est recyclée dans une boucle pour obtenir une vitesse de circulation importante parallèlement à la surface des membranes, ce qui évite l'accroissement de la couche de particules et réduit le colmatage. Périodiquement, les particules retenues sont évacuées par rétrolavage (passage d'eau traitée en sens inverse de celui de la filtration, c'est-à-dire de l'extérieur vers l'intérieur).

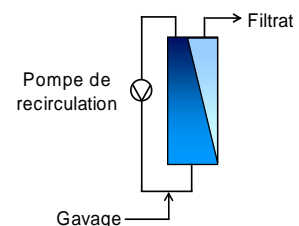


Figure 3

PRINCIPAUX CRITERES DE DIMENSIONNEMENT D'UNE INSTALLATION D'UF

Le flux définit le débit d'eau pouvant traverser les membranes. Il s'exprime en $l.h^{-1}.m^{-2}$ pour une pression transmembranaire (PTM) et une température données. La perméabilité est le flux spécifique pour une PTM de 1 bar et pour une température de 20°C. La caractérisation normalisée du flux permet de comparer les caractéristiques des membranes de différentes origines.

En général, la perméabilité initiale est de l'ordre de $250 l.h^{-1}.m^{-2}$; celle-ci décroît rapidement après la première mise en service pour se stabiliser à 70% de cette valeur, soit $175 l.h^{-1}.m^{-2}$. La PTM peut varier de 0,5 à 1,5 bar en fonction de la pression initiale d'alimentation et du colmatage.

Le flux est inversement proportionnel à la viscosité de l'eau. Ainsi, quand la température diminue, la viscosité augmente et le flux diminue. Il est alors nécessaire d'appliquer un facteur de correction. Celui-ci varie entre 0,65 et 1,2 pour des températures allant respectivement de 5°C à 25°C.

TURBIDITÉ	FACTEUR DE CORRECTION
Inférieure à 5 NFU	1
Entre 5 et 10 NFU	0,85
Entre 10 et 25 NFU	0,75

Tableau 1

La turbidité de l'eau à traiter est un paramètre important car le colmatage des membranes en dépend. On applique donc un facteur de correction tendant à augmenter les surfaces de filtration afin de limiter la vitesse de colmatage

Après avoir effectué les différentes corrections, le flux pris en compte pour le dimensionnement des installations d'UF se situe entre 60 et 100 l.h⁻¹.m⁻².

LES DIFFÉRENTES APPLICATIONS DE L'UF

L'UF est généralement mise en œuvre dans les cas suivants :

- abattement de la turbidité, essentiellement pour les eaux karstiques présentant des élévations épisodiques de la turbidité. La turbidité du filtrat est inférieure à 0,1 NFU ;
- l'élimination des bactéries, virus et protozoaires (abattement supérieur à 5 log pour les Cryptosporidium et Giardia - voir Memotec n°27) : les membranes d'UF se posent en barrière extrêmement efficace contre les micro-organismes, dans la mesure où leur intégrité est vérifiée en permanence.
- l'élimination du fer et du manganèse après oxydation : cette application à elle seule ne justifie pas, en général, l'utilisation de l'UF. Leur élimination est généralement couplée à celle d'autres polluants ;
- la diminution de la valeur du COT. L'élimination de la matière organique reste toutefois limitée (10 à 20 %), sauf en cas de couplage des membranes d'UF avec du charbon actif en poudre (CAP). Celui-ci est alors utilisé sous forme d'une barbotine (dosage courant : 15 mg/l) préalablement acidifiée, car le CAP libère des produits alcalinisants pouvant entraîner des précipitations de carbonate de calcium. La granulométrie du CAP doit être choisie avec soin afin de ne pas boucher les fibres creuses. Ce couplage possède plusieurs avantages :
 - possibilité d'adapter la qualité du CAP et son dosage aux polluants spécifiques à éliminer,
 - absence de phénomènes de relargage, comme cela peut survenir dans un filtre à charbon actif en grains (CAG), étant donné que du CAP neuf est injecté en continu pendant tout le cycle de filtration,
 - cinétique d'adsorption plus rapide que dans un filtre à CAG, du fait de la fine granulométrie du CAP ($D_{10} < 10 \mu\text{m}$).
- protection des unités d'osmose inverse en dessalement d'eau de mer ;
- recyclage des eaux sales de lavage des filtres à sable.

LES CONTRAINTES D'EXPLOITATION

Les rétrolavages limitent le colmatage des membranes

Le colmatage des membranes est limité par la mise en œuvre de rétrolavages qui permettent de retrouver les performances initiales. Toutes les 15 à 60 minutes, de l'eau ultrafiltrée, seule ou additionnée de chlore, est injectée en sens inverse du sens de la filtration pendant une durée d'environ 2 minutes. Les rétrolavages ont aussi lieu lors des arrêts et des mises en service, ainsi qu'avant et après un nettoyage chimique. Le débit de rétrolavage est d'environ 400 l.h⁻¹.m⁻² à 20°C et est corrigé en fonction de la température (à 10°C, il n'est plus que de 280 l.h⁻¹.m⁻²).

Les nettoyages chimiques limitent la perte de performance progressive

Malgré les rétrolavages, on observe une perte progressive des performances des membranes, surtout si les eaux sont incrustantes. Il faut alors procéder périodiquement à des nettoyages chimiques. On peut employer de la soude pour éliminer le biofilm (jusqu'à des pH de 8,5 pour des membranes en polymère cellulosique, ou supérieurs à 12 pour les autres types de matériaux), de l'hypochlorite de sodium (avec une concentration en chlore de 500 mg/l), ou encore de l'acide sulfurique ou citrique en solution à 2% pour éliminer les dépôts de métaux ou de carbonate de calcium.

Le contrôle de l'intégrité des fibres

Les modules d'UF doivent être régulièrement testés afin de vérifier qu'aucune fibre n'est cassée, surtout dans le cas où leur application première est l'amélioration de la qualité bactériologique de l'eau. Le principe général est de contrôler l'évolution de la pression (de l'eau à traiter ou de l'air spécifiquement injecté) entre l'amont et l'aval des faisceaux de fibres ; une baisse rapide de celle-ci est généralement la preuve de la rupture d'une ou plusieurs fibres. On peut aussi utiliser des compteurs de particules sur le circuit d'eau filtrée. Dès que le module défaillant est identifié, il est sorti de l'installation et on procède à l'obturation des fibres cassées, afin que le module soit de nouveau opérationnel.

CONCLUSION

L'ultrafiltration présente de nombreux avantages pour la production d'eau destinée à la consommation humaine : compacité des installations, automatisation poussée, barrière efficace contre les bactéries, les virus et les micro-organismes (réduisant d'autant les dosages en produits de désinfection pour la protection des réseaux de distribution), adaptabilité aux évolutions rapides des caractéristiques de l'eau brute, comme c'est le cas pour les eaux d'origine karstique, abattement poussé de la matière organique quand elle est couplée à du charbon actif en poudre. Elle est adaptée aux petites capacités comme aux grandes capacités (> 100 000 m³/j).