

# Elimination de la matière organique biodégradable par ultrafiltration

Biodegradable organic matter removal after ultrafiltration treatment

N. DUMOUTIER<sup>1</sup>, I. BAUDIN, C. ANSELME, J. MANEM

Reçu le 12 novembre 1991, accepté pour publication le 31 juillet 1992\*.

## SUMMARY

"Compagnie des Eaux de Banlieue" water facilities located at the Mont-Valérien treat the Seine river water downstream Paris. A first facility (5000 m<sup>3</sup>/day) includes the following processes : preozonation, coagulation, settling, sand filtration, postozonation, GAC filtration and a final disinfection (ClO<sub>2</sub>). A second one consists in a biological sand filtration (80000 m<sup>3</sup>/day). An ultrafiltration demonstration plant including a CAP addition into the recirculation loop is currently tested on a small scale (8 m<sup>3</sup>/h) to compare the conventional treatments with new ultrafiltration process.

In this study, the TOC removal as well as the biodegradable organic matter (BOM) removal are evaluated on the different processes. The BOM has been assessed by the Werner methodology (1980).

During the cool season (october-january) all the biodegradable organic matter were removed by the clarification process (preozonation + coagulation decantation + sand filtration). More than 90 % of the BOM were also removed by the ultrafiltration demonstration plant (including granular activated carbon) although the addition of preozonation slightly increases the effluent BOM concentrations and modifies its composition. 80 % of the dissolved organic compounds were removed by the preozonation + ultrafiltration + powder treatment line. This performance should be compared with the 70 % removal obtained with conventional treatments.

This study demonstrate that the combination O3 + UF + CAP can advantageously replace traditional treatment such as preozonation + coagulation clarification + ozonation + granular activated carbon + disinfection.

*Key-words* : microbial regrowth, assimilable organic compounds, drinking water quality, water treatment, ultrafiltration, ozonation.

1. CIRSEE, Lyonnaise des Eaux-Dumez, 38, rue du Président Wilson, 78230 Le Pecq, France.

\* Les commentaires seront reçus jusqu'au 30 juin 1993.

## RÉSUMÉ

Les installations de production de la Compagnie des Eaux de banlieue (CEB) au Mont Valérien traitent l'eau de Seine en aval de Paris sur 2 filières de potabilisation comprenant pour la première (50 000 m<sup>3</sup>/j) une préozonation, une coagulation au sels d'Aluminium (Aqualenc), une décantation (super pulsator Degremont), une filtration sur sable, une ozonation, une filtration sur charbon actif en grains (CAG) et une désinfection finale au bioxyde de chlore, et pour la deuxième, une filtration lente sur sable (80 000 m<sup>3</sup>/j) dite filtration "Chabale".

Dans le cadre du remplacement de la filière "Chabale", une unité de démonstration (8 m<sup>3</sup>/h) comprenant une addition de charbon actif en poudre (CAP) avant ultrafiltration sur membrane a été mise en route.

Dans cette étude, une comparaison du traitement conventionnel physico-chimique de l'usine et du nouveau procédé d'ultrafiltration a été effectuée. Pour cela, un suivi du carbone organique total et une évaluation du potentiel de reviviscence ont été réalisés en différents points des chaînes de traitement. La matière organique biodégradable (MOB) a été mesurée par la méthode Werner (1980).

Les premiers résultats montrent :

- l'élimination des MOB est comparable pour les différents procédés ;
- toutefois, la nature des MOB est sensiblement affectée à chaque type de traitement (ozonation, addition de CAP, filtration sur sable ou sur CAG).

**Mots clés :** eaux potables, traitement physicochimique, procédé d'ultrafiltration, reviviscence bactérienne, matière organique biodégradable.

## 1 - INTRODUCTION

Les installations de production de la Compagnie des Eaux de Banlieue (CEB) au Mont-Valérien, traitent l'eau de Seine en aval de Paris sur deux filières de potabilisation.

La première (50 000 m<sup>3</sup>/j) est une chaîne complète (physico-chimique) décrite ci-après, la deuxième (80 000 m<sup>3</sup>/j) est une filtration lente sur sable (biologique) dite filtration "Chabale".

Dans le cadre du remplacement de la filière Chabale, une unité de démonstration (8 m<sup>3</sup>/h) combinant les traitements d'ultrafiltration (UF) sur membrane et d'adsorption sur charbon actif en poudre (CAP) a été mise en route en avril 1990 (Baudin et al, 1990). Anselme *et al.* (1990) ont montré sur ce même site que la combinaison des traitements UF + CAP est comparable au procédé de clarification en terme d'élimination de la matière organique totale (COT, absorbance, UV, PFTHM...), mais lui est supérieure en terme d'élimination de particules (minérales, organiques, biologiques) et de pesticides. Si l'on sait aujourd'hui produire une eau qui satisfait les exigences de qualité d'ordre organoleptique (DUGUET *et al.* 1990), physicochimique et

bactériologique, on maîtrise mal sa possible évolution en cours de distribution. La présence de matières organiques biodégradables étant l'un des facteurs majeurs responsables des proliférations bactériennes dans les réseaux, ce paramètre doit être pris en compte dans la qualité des eaux traitées.

Ainsi, afin de comparer les traitements de la station pilote et celui de l'usine physico-chimique, un suivi du carbone organique total et une évaluation du potentiel de reviviscence ont été réalisés en différents points des chaînes de traitement. L'objectif de l'étude était de mettre en évidence l'effet des différentes étapes de traitement (ozonation, clarification, affinage sur charbon, ultrafiltration, adsorption sur charbon actif en poudre : CAP), sur l'élimination des matières organiques biodégradables (MOB) contenues dans l'eau brute. Une comparaison du traitement de la station pilote (UF/CAP) et celui de l'usine est faite en terme d'efficacité de l'élimination du carbone et de façon plus générale, en terme de qualité de l'eau produite.

## 2 - LES CHAINES DE TRAITEMENT

### 2.1 Usine de la CEB

La chaîne physico-chimique de production d'eau potable (50 000 m<sup>3</sup>/j) de la CEB (différente de la filière Chabale) comprend :

- une préozonation en continu (dose d'ozone appliquée : 1,5 g/m<sup>3</sup> ; temps de contact : 2 minutes)
- une coagulation aux sels d'aluminium (Aqualenc)
- une floculation-décantation effectuée dans un pulsator (Degrémont)
- une filtration rapide sur sable (filtres Aquazur V-Degrémont)
- une post-ozonation en continu (dose d'ozone : 1,5 g/m<sup>3</sup> ; temps de contact : 8 min)
- une adsorption sur charbon actif en grains sur filtre double flux (Degrémont) comportant 2 lits de charbon de 0,9 m de hauteur, le temps de contact sur les filtres est d'environ 11 minutes (une régénération des filtres à CAG a eu lieu pendant la durée des essais, au bout de 92 jours - Figure 1)
- une désinfection finale de l'eau traitée est assurée par du bioxyde de chlore (résiduel exprimé en chlore : 0,2 mg/l après 2 heures de temps de contact).

### 2.2 Station pilote UF + CAP

Le CAP est introduit au niveau de l'alimentation en eau brute prétraitée par passage sur hydrocyclones (élimination des particules de taille supérieure à 100 µm). Le débit de l'alimentation est maintenu constant et correspond, en production instantanée au débit de l'eau ultrafiltrée (perméat) (ANSELME *et al.*, 1990).

Une pompe de recirculation maintient une vitesse de balayage constante à l'intérieur des fibres. Des rétrolavages (circulation d'eau ultrafiltrée chlorée, sous pression) d'une durée d'une minute effectués toutes les trente minutes assurent le décolmatage hydraulique des modules. L'installation fonctionne ainsi suivant une succession de cycles de production, rétrolavages, jusqu'à diminution trop importante de la perméabilité des membranes. Une régénération des modules par utilisation de détergents, d'oxydants et de complexants est alors effectuée.

La station comprend deux modules d'ultrafiltration, de surface filtrante totale égale à 100 m<sup>2</sup>. Le CAP (produit Chemviron TL 9003) est dosé à 40 mg/l. Ce produit est un CAP spécialement retamisé de façon à avoir une granulométrie adaptée à la taille de fibres (100 % < 100 µm diamètre moyen = 15 µm). Il est concentré jusqu'à 10 fois dans la boucle de circulation de la station d'UF au cours d'un cycle de filtration (30 minutes). La production instantanée de l'usine est d'environ 8 m<sup>3</sup>/h (à 20 °C) soit un flux de 80 l/h. m<sup>2</sup> (20 °C).

La station a fonctionné 6 mois avec une alimentation en eau brute et 6 mois avec de l'eau préozonée. Des essais ont été menés avec et sans CAP.

### 3 - MATÉRIEL ET MÉTHODE

#### 3.1. Echantillonnage

Des prélèvements ont été effectués régulièrement en différents points des deux chaînes de traitement : usine et station pilote : eau brute, eau clarifiée (sortie des filtres à sable), eau clarifiée postozonée, eau affinée (sortie des filtres à charbon en grains), eau en sortie d'usine (après désinfection finale) et pour la chaîne UF + CAP : l'eau ultrafiltrée (perméat).

Pour ces différentes eaux, le carbone organique dissous (COD) a été mesuré, et l'indice de biodégradation de la matière organique a été estimé par la méthode Wemer.

#### 3.2 Mesure de l'indice de biodégradation

La méthode Wemer et Hambsch (WEMER *et al.*, 1980) consiste à suivre l'augmentation de biomasse au cours du temps après filtration de l'échantillon étudié et réensemencement par un mélange bactérien hétérogène provenant d'une eau de surface. La cinétique de croissance bactérienne est obtenue par une mesure automatique en semi continu de la turbidité.

## **a) Mode opératoire**

### **1. Préparation de l'inoculum**

De l'eau de Seine fraîchement prélevée est préfiltrée sur membrane en acétate de cellulose de porosité 8  $\mu\text{m}$ , 3  $\mu\text{m}$ , 1,2  $\mu\text{m}$ .

La filtration finale est effectuée sur membrane en polycarbonate nuclépore 0,4  $\mu\text{m}$ .

La membrane est récupérée dans 5 ml de sérum physiologique stérile (NaCl 90/00). Les bactéries sont désorbées de la membrane par une agitation douce de 15 à 20 min puis par une sonication de 10 min.

### **2. Préparation des échantillons**

Les échantillons sont débarassés des bactéries naturellement présentes par filtration sur membrane en polycarbonate 0,4  $\mu\text{m}$ . 25 ml d'une solution minérale d'oligo éléments sont ajoutés à 300 ml d'échantillon préfiltré.

### **3. Appareillage et mesure**

2 blocs de 4 turbidimètres type monitek model 251 ainsi que des régulateurs d'agitation sont connectés à un microordinateur tandon.

La turbidité est mesurée sous un angle d'incidence de 12 °C.

Après étalonnage des appareils (standard à 1,45 mg/l en silice) et introduction des échantillons, les turbidimètres sont ramenés à zéro et l'inoculum est ajouté à raison de  $10^4$  bactéries/ml de façon à obtenir une turbidité initiale pour chaque expérience de 0,03 à 0,04 mg/l d'équivalent silice.

L'agitation est constante, elle s'arrête toutefois 1 à 2 min avant chaque acquisition de donnée.

Des mesures de carbone organique dissous (COD, Dorhmann DC 80), ainsi que des dénombrements bactériens par épifluorescence (AO) sont effectués au début et à la fin de chaque expérience, soit : (CODi et CODf), (AOi et AOf). Le carbone organique consommé (CODC) au cours de l'expérience est calculé selon la formule :  $\text{CODC} = \text{CODf} - \text{CODi}$ . Il est appelé "COD consommé".

## **b) Interprétation**

Les cinétiques de croissance permettent le calcul de 2 paramètres :

– la pente de la courbe  $\mu$  (coordonnée semi logarithmique) apporte des indications de type qualitatif (facilement ou difficilement biodégradable).

– l'augmentation de la population bactérienne pendant la durée de l'expérience est indicatif de la quantité de substance biodégradable. Ce paramètre est appelé facteur de croissance (F).

#### 4 - RÉSULTATS ET DISCUSSION

Les valeurs moyennes minimales et maximales des résultats analytiques obtenues pour les différentes eaux sont reportées dans le tableau 1 pour la période durant laquelle la station pilote a été alimentée par de l'eau brute non ozonée (d'octobre à janvier 91) tandis que le tableau 2 présente les résultats obtenus pour la période durant laquelle la station pilote a été alimentée par de l'eau préozonée (mai à août 91).

**Tableau 1** Evaluation des matières organiques dissoutes et biodégradables présentes dans différentes eaux issues des 2 chaînes de traitement (usine et station UF).

**Table 1** Evaluation of dissolved and biodegradable organic matters in waters treated by CEB plant and UF station.

Nature	COD (mg/l)			CODC (mg/l)			$\mu$ (h - 1)			F			
	Mini	Moy.	Maxi	Mini	Moy.	Maxi	Mini	Moy.	Maxi	Mini	Moy.	Maxi	
Usine	Eau brute	2,5	3,6	4,7	0,05	0,66	1,07	0,06	0,17	0,24	12,5	22	31
	Eau filtrée	1,8	2,1	2,3	0,04	0,14	0,29	0,01	0,03	0,05	2,5	6	10
	Sable												
	Eau filtrée CAG	1,1	1,91	3,3	0,04	0,18	0,46	0,01	0,05	0,08	2	7,5	23
Pilote	Perméat UF	2,0	3	3,9	0	0,22	0,89	0,02	0,04	0,09	5	8,5	15
	Perméat UF + CAP	1,4	1,9	2,3	0	0,05	0,11	0,02	0,05	0,09	5	8,25	15

Moyennes sur les essais en période d'hiver (octobre 90 à janvier 91).

Average values on essays in winter (October 90 to January 91).

**Tableau 2** Evaluation des matières organiques dissoutes et biodégradables présentes dans différentes eaux issues des 2 chaînes de traitement (usine et station UF).

**Table 2** Evaluation of dissolved and biodegradable organic matters in waters treated by CEB plant and UF station.

Nature	COD (mg/l)			CODC (mg/l)			$\mu$ (h - 1)			F			
	Mini	Moy.	Maxi	Mini	Moy.	Maxi	Mini	Moy.	Maxi	Mini	Moy.	Maxi	
Usine	Eau brute	2,2	2,6	3,5	0,22	0,37	0,69	0,04	0,13	0,35	7	11,5	18
	Eau filtrée	2,2	2,3	2,5	0,19	0,43	0,56	0,14	0,22	0,31	9	12,5	14,5
	Sable												
	Eau filtrée CAG	1,6	1,9	2,5	0,2	0,37	0,62	7	12	18	7	12	18
Pilote	Perméat UF	1,3	1,8	2,3	0,02	0,33	0,67	5	13	26	5	13	26
	Perméat UF + CAP	1,3	2,0	2,5	0,03	0,41	0,74	12	13	16	12	13	16

Moyennes sur les essais en période d'été (mai 91 à août 91).

Average values on essays in summer (May 91 to August 91).

Pendant toute la durée des essais, le COD de l'eau brute varie entre 2,5 et 4,5 mg/l. Les valeurs du COD des eaux issues des filtres à sable et à charbon fluctuent également en lien avec les variations de l'eau brute.

La figure 1 montre une élimination proche de 40 % par le traitement : préozonation + clarification, et de l'ordre de 60 à 70 % pour le traitement complet : préozonation + clarification + postozonation + filtration sur CAG. L'ultrafiltration seule, sans addition de CAP élimine 20 % du COD contenu dans l'eau brute. La combinaison de traitement UF + CAP permet une bonne élimination du COD : de l'ordre de 60 %. Dans la seconde partie de l'étude, le pilote UF est alimenté par de l'eau préozonée. Dans ces conditions, la combinaison UF + CAP donne 80 % d'élimination du COD : la qualité du perméat est alors équivalente à celle issue de la chaîne complète de l'usine en terme de carbone organique.

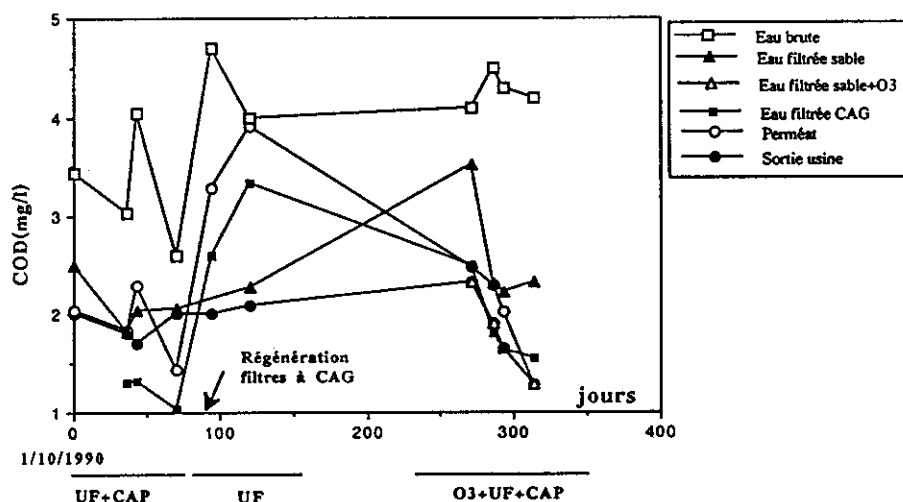


Figure 1 Evolution en fonction du temps du COD en différents points des chaînes de traitement.

Variations of DOC versus time on different treated waters.

La figure 2 présente les résultats analytiques obtenus sur l'eau brute au cours du temps. Le facteur de croissance F ainsi que le carbone organique assimilé (CODC) suivent assez bien les variations du carbone organique de l'eau.

La figure 3 schématise les paramètres obtenus pour le perméat durant toute la période des essais. Comme pour l'eau brute, les teneurs en COD consommé ont un profil identique aux teneurs en COD. La majorité de l'élimination du CODC par la station pilote est due à une adsorption des matières organiques par le charbon actif en poudre. La valeur moyenne du COD consommé dans le perméat passe de 0,05 mg/l à 0,9 mg/l quand on arrête l'ajout du CAP. Pendant toute la période où le module d'ultrafiltration a été alimenté par l'eau brute ozonée on constate une augmentation sensible de  $\mu$  et de F obtenue sur le perméat ce qui suggère que la préozonation modifie la

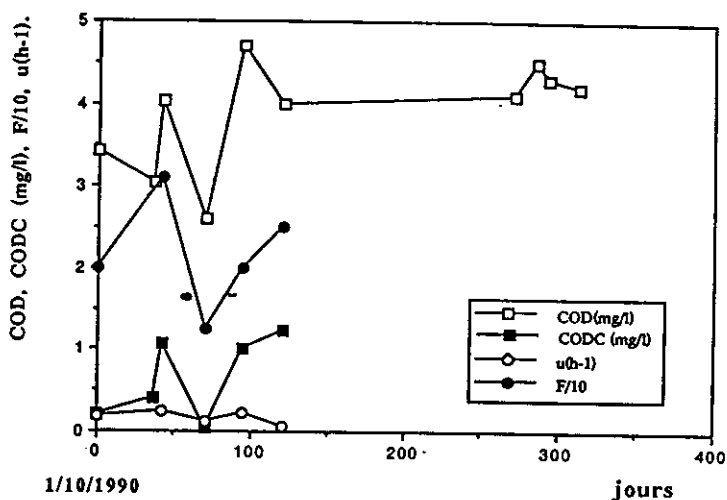


Figure 2 Evolution de la qualité de l'eau brute en fonction du temps : COD, CODC, F, U.

Variations of raw water quality (DOC, CDOC, F, u) versus time.

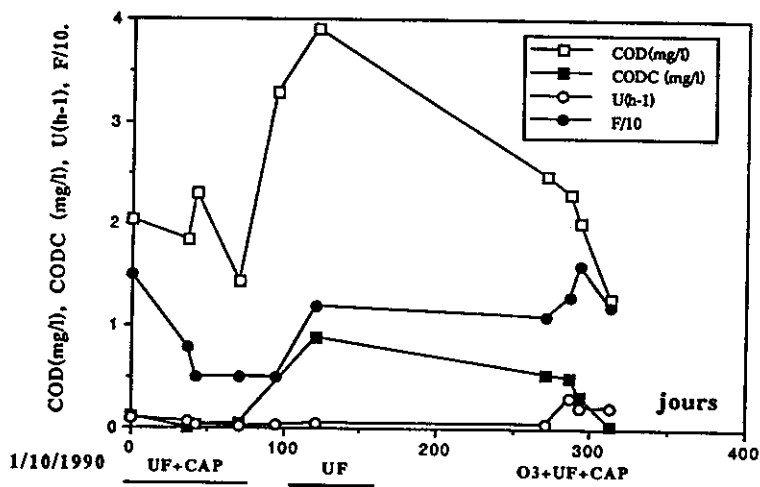


Figure 3 Evolution de la qualité du perméat en fonction du temps : COD, CODC, U (h - 1), F.

Variations of permeate quality (DOC, CDOC, F, u) versus time.

nature des matières organiques présentes en générant des substances plus facilement biodégradables.

Si l'on compare les différentes eaux en cours de traitement, il n'y a pas de différence significative entre les eaux traitées pour les valeurs de  $\mu$  (fig. 4) pendant la période froide excepté pour l'eau filtrée sur charbon actif en grain. En effet on constate une légère augmentation de la vitesse de croissance suite à la régénération des filtres (effectuée au bout de 92 jours d'essai).



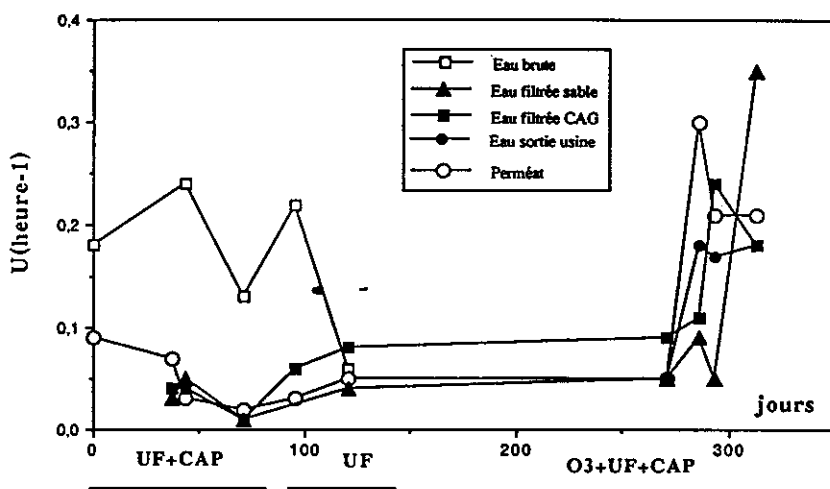
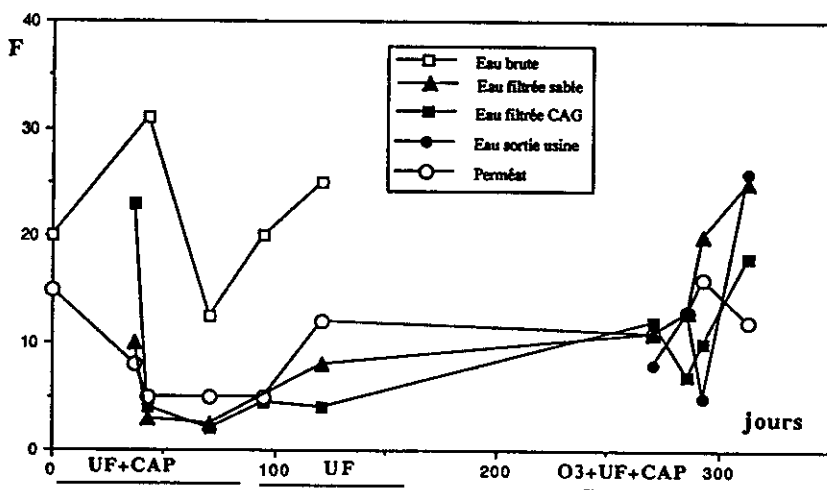


Figure 4 Evolution de U pour différentes eaux brute et traitées.  
 Variations of U versus time for different treated waters.

En terme de facteur de croissance, pendant la période hivernale, les valeurs obtenues pour le permétat produit pendant le traitement UF + CAP et pour l'eau filtrée sur charbon actif en grain sont relativement constantes avec toutefois des résultats un peu plus faibles pour cette dernière (fig. 5).

Par contre, ces deux paramètres  $\mu$  et F varient de façon assez importante pendant la saison chaude.



1/10/1990

Figure 5 Evolution de F pour différentes eaux brute et traitées.  
 Variations of F versus time for different treated waters.

L'élimination du CODC au cours du traitement de potabilisation semble se faire en majeure partie pendant la clarification.

La qualité de l'eau filtrée sur sable et celle de l'eau filtrée sur charbon actif en grains en terme de COD et de CODC sont très proches (fig. 6 et 7).

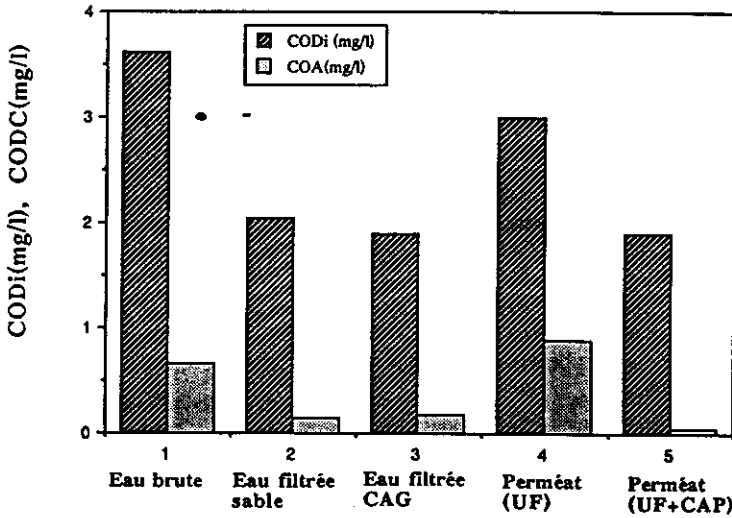


Figure 6 Qualité de l'eau brute et de différentes eaux traitées : valeurs du COD initial et du CODC. Essais en hiver.

*Raw water quality and treated water quality : DOC and CODC values. Essays in winter.*

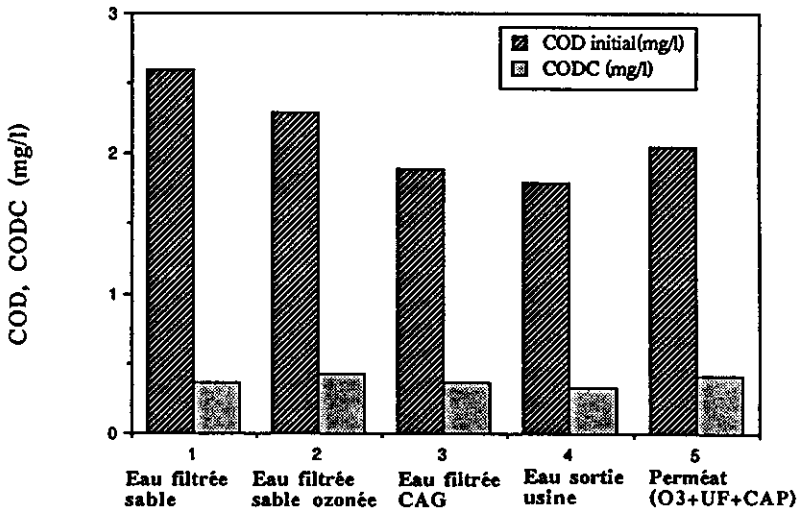


Figure 7 Qualité de différentes eaux traitées : valeurs du COD initial et du CODC. Essais en été.

*Treated water quality : DOC and CODC values. Essays in summer.*

En hiver, le traitement UF + CAP donne en moyenne une eau de plus faible teneur en COD ou en CODC que l'usine (fig. 6). La figure 7 montre que lorsque l'on associe une préozonation la teneur moyenne en COD et en CODC du perméat, devient comparable à la chaîne complète de traitement de l'usine physio-chimique.

## CONCLUSION

L'ensemble des résultats obtenus sur un an de suivi de la qualité des eaux traitées par l'usine de la CEB et par la station pilote d'ultrafiltration permet de mettre en évidence les points suivants :

De façon générale, la qualité des eaux traitées en tous points de la chaîne de la CEB (sortie des filtres à sables, des filtres à CAG et sortie usine) suit les variations de la qualité de l'eau brute : le COD consommé et le facteur de croissance F suivent les fluctuations du COD initial pour chaque type d'eau analysée.

La majorité du carbone organique assimilable (CODC) contenu dans l'eau brute est éliminée par le traitement de clarification (préozonation + coagulation-décantation + filtration sur sable) sur l'usine de la CEB.

La combinaison des traitements d'ultrafiltration et d'adsorption sur CAP permet une bonne élimination du CODC contenu dans l'eau brute. La qualité du perméat est proche de celle issue de l'usine de la CEB en terme d'élimination du CODC.

La préozonation augmente le CODC résiduel dans le perméat (après UF/CAP) et modifie sa nature (le paramètre  $\mu$  est le plus élevé avec préozonation que sans).

La combinaison de traitements ozone + UF + CAP semble une bonne alternative au traitement complet : préozonation + clarification + postozonation + filtration sur CAG + désinfection finale pour la potabilisation d'une eau de surface chargée en matières organiques telle que la Seine. Les essais de faisabilité de cette nouvelle chaîne de traitement à base d'UF sont en cours spécialement en terme d'optimisation de flux de production et de coûts de fonctionnement.

Ces essais permettront de dimensionner des installations de potabilisation d'eau de surface à débit nominal plus important.

## RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ANSELME C., CHARLES P., 1990. The use of powdered activated carbon for the removal of specific pollutants in ultrafiltration processes. Chemviron Award.
- ANSELME C., BERSILLON J.L., MALLEVIALLE J., 1990. The use of powdered activated carbon for the removal of specific pollutants industr. v. AVVWA, Orlando, March 10-13.
- BAUDIN I., CORBIN A., RODRIGUES J.M., ANSELME C., 1990. Production d'eau potable par combinaison de traitements : UF sur membranes organiques et adsorption sur CAP. 3e congrès Génie des Procédés. Compiègne.
- BERSILLON, J.L. *et al.*, 1989. L'UF appliquée au traitement de l'eau potable : le cas d'un petit système. *L'Eau, l'Industrie, les Nuisances*, 130, 61.
- DUGUET J.P., ANSELME C., MAZOUNIE P., MALLEVIALLE J., 1990. Application of combined O<sub>3</sub>/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> for the removal of aromatic compounds from a groundwater. *Ozone Science and Engineering*, Volume 2-3, 281.
- WERNER P., HAMBSCH B., 1980. Investigations on the growth of bacteria in drinking water. *Water Supply*, Vol. 4, p 227-232.