



23404 RM



# QUALITE DE L'EAU FILTRATION LENTE ET MICROPOLLUANTS

Programme d'Etudes et de Recherche 1996-1998  
(convention du 29 mars 1996)



ISO 9002

Université Henri Poincaré - Faculté de Médecine  
Laboratoire d'Hygiène et de Recherche  
en Santé Publique  
11 bis, rue Gabriel Péri  
B.P. 288  
54515 Vandoeuvre-lès-Nancy Cedex  
France

APC ANALYSES  
149, rue Gabriel Péri  
B.P. 285  
54515 Vandoeuvre-lès-Nancy Cedex  
France



# ETUDE DES PERFORMANCES DE LA FUTURE FILIERE DE TRAITEMENT DE L'AGGLOMERATION NANCEIENNE

---

## INTERET DE LA FILTRATION LENTE ET DU COUPLE O3-CAG

Rapport préparé par L. MATHIEU

---

Etude réalisée en collaboration avec le  
NANCIE  
149, rue Gabriel Péri  
B.P. 290  
54515 Vandoeuvre-lès-Nancy Cedex  
France

Septembre 1998

## SOMMAIRE

<b>INTRODUCTION GENERALE</b>	4
<b>CONCLUSIONS GENERALES</b>	6
<b>PHASE 1 : Evaluation des performances de la nouvelle filière de traitement</b>	
<b>I- SITUATION DE L'ETUDE ET OBJECTIFS</b>	13
<b>II- PRESENTATION DU SITE D'ETUDE</b>	16
<b>II-1 SCHEMA GÉNÉRAL</b>	16
<b>II-1-1 <u>Participation De La Réserve Au Traitement</u></b>	16
<b>II-1-2 <u>Traitement De Coagulation-Floculation-Décantation</u></b> <b><u>Sur Le Site Du Point De Pompage</u></b>	16
<b>II-1-3 <u>La Filtration Biologique Lente</u></b>	17
<b>II-1-4 <u>Le Traitement D'affinage À L'usine E. Imbeaux</u></b>	17
<b>II-2 PRÉSENTATION DES FILIÈRES-PILOTE</b>	17
<b>II-2-1 <u>La Réserve</u></b>	18
<b>II-2-2 <u>La Coagulation/Floculation/Décantation</u></b>	18
<b>II-2-3 <u>La Filtration Biologique Lente</u></b>	18
<b>II-2-4 <u>L'Ozonation</u></b>	19
<b>II-2-5 <u>La Filtration Sur Charbon Actif En Grain</u></b>	19
<b>II-2-6 <u>La Neutralisation Et Post-Chloration</u></b>	20
<b>II-3 PRÉSENTATION DU SUIVI ANALYTIQUE</b>	21
<b>II-3-1 <u>Le Suivi Analytique Du NanC.I.E.</u></b>	23
<b>II-3-2 <u>Le Suivi Analytique Du L.H.R.S.P.</u></b>	23
<b>III- ANALYSES DES RESULTATS</b>	
<b>III-1 VARIATIONS DES CARACTÉRISTIQUES DE L'EAU BRUTE</b>	24
<b>III-1-1 <u>Physico-Chimie Des Eaux De La Ressource</u></b>	24
<b>III-1-2 <u>Propriétés Organoleptiques Des Eaux De La Ressource</u></b>	25
<b>III-1-3 <u>Matière Organique Des Eaux De La Ressource</u></b>	26

<b>III-1-4 <u>Les Précurseurs D'haloformes Des Eaux De La Ressource</u></b>	29
<b>III-1-5 <u>Biomasses Des Eaux De La Ressource</u></b>	29
<b>III-2 PERFORMANCES DES ÉTAPES DE TRAITEMENT</b>	31
<b>III-2-1 <u>Les Paramètres Physiques</u></b>	31
① <u>pH et conductivité</u>	31
② <u>Turbidité</u>	32
<b>III-2-2 <u>La saveur</u></b>	32
<b>III-2-3 <u>La Matière Organique (COD Et CODB)</u></b>	34
<b>III-2-4 <u>La Micropollution Organique (pTHM Et Pesticides)</u></b>	36
<b>III-2-5 <u>L'élimination De La Pollution Azotée Et Phosphorée</u></b>	36
<b>III-2-6 <u>La Contamination Microbiologique</u></b>	38
① <u>La densité totale de bactéries</u>	38
② <u>Les bactéries cultivables</u>	38
③ <u>Les indicateurs de contamination fécale</u>	39
④ <u>Les microorganismes saporigènes</u>	40
<b>III-3 LES PRINCIPALES ACTIONS DU TRAITEMENT</b>	41
<b>III-3-1 <u>L'impact De La Réserve</u></b>	41
① <u>Les performances sur la réduction de la turbidité</u>	41
② <u>Les phénomènes biologiques et les variations de pH</u>	42
③ <u>Les performances au niveau microbiologique</u>	43
④ <u>Transformation et augmentation de la matière organique</u>	44
a- <u>Une période "froide" de novembre à mars</u>	44
b- <u>Une période chaude d'avril à octobre</u>	44
<b>III-3-2 <u>La Filtration Biologique Lente</u></b>	45
① <u>L'élimination de la matière organique</u>	45
② <u>Les performances au niveau microbiologique</u>	47
③ <u>Le colmatage du filtre et la qualité du sable de filtration</u>	47
<b>III-3-3 <u>Le Couple O3-CAG</u></b>	49
① <u>La Flaveur de l'eau</u>	49
② <u>La matière organique</u>	50
③ <u>Les précurseurs de THM</u>	51
④ <u>Conclusion sur le choix du charbon actif</u>	52
<b>III-3-3 <u>La Neutralisation Et La Post-Chloration</u></b>	52
① <u>Les THM formés par la chloration</u>	52
② <u>La neutralisation</u>	53

**PHASE 2 : Etude de cas particuliers de gestion de la future filière de Nancy**

I-	INTRODUCTION	55
II-	PERFORMANCES DE LA FILTRATION LENTE EN FONCTION DE LA QUALITE D'EAU D'ALIMENTATION	55
II-1	INTRODUCTION	55
II-2	RESULTATS	56
III-	CARACTERISTIQUES DES EAUX TRAITEES LORS DE LA MISE EN PLACE DE LA GESTION DE LA RESSOURCE	60
III-1	INTRODUCTION	60
III-2	RESULTATS	62
III-2-1	<u>Les Paramètres Physico-Chimiques (Janv. à Juin 1997)</u>	62
III-2-2	<u>La Flaveur De L'eau (Nov.1996 à Sept. 1997)</u>	64
III-2-3	<u>La Matière Organique De L'eau (Nov.1996 à Sept. 1997)</u>	64
III-2-4	<u>Les Densités Bactériennes De L'eau (Nov.1996 à Sept. 1997)</u>	67

**ANNEXES**

Annexe A	Méthodologies	69
Annexe B	Détails techniques du fonctionnement des filières	79
Annexe C	Résultats bruts (Période Nov. 1995 à Nov. 1996)	85
Annexe D	Résultats bruts (Période Nov. 1996 à Sept. 1997)	109

## INTRODUCTION GENERALE

Une première étude réalisée par le Laboratoire d'Hygiène et de Recherche en Santé Publique (L.H.R.S.P.) sur l'altération des propriétés organoleptiques de l'eau distribuée sur le réseau de la Communauté Urbaine du Grand Nancy (C.U.G.N.) a démontré que les goûts et les saveurs proviennent en majorité de la ressource en eau (La Moselle). Cette étude a également montré que la pré-chloration de la ressource influe sur la saveur de l'eau et sur la génération de composés organochlorés (THM) dans l'eau traitée et distribuée.

Dans l'objectif de répondre aux exigences du Décret 89/3 (réglementation française sur la qualité des eaux destinées à la consommation humaine), la C.U.G.N. a entrepris de modifier sa filière de traitement d'eau potable en créant une nouvelle filière comprenant une filtration biologique lente sur sable sur le site de la prise d'eau. Celle-ci doit permettre la suppression de la pré-chloration au point de prélèvement, comme l'a demandé le Conseil Supérieur d'Hygiène Publique de France.

Afin d'optimiser les traitements et d'étudier les répercussions sur la qualité de l'eau de la nouvelle filière, il a été décidé de créer une installation pilote qui simule les futurs ouvrages de traitement pilote.

Cette étude d'environ 2 ans comprend deux phases parallèles et complémentaires :

### ☛ **Phase 1 : Evaluation des performances de la nouvelle filière de traitement**

L'objectif de cette phase est d'évaluer sur installation pilote, l'efficacité de la future filière de potabilisation de la Moselle, en particulier en ce qui concerne :

- ✓ l'élimination des micropolluants organiques,
- ✓ l'abaissement maximum de la teneur en carbone organique biodégradable dans le but de limiter les phénomènes biologiques en réseau de distribution,
- ✓ l'amélioration des propriétés organoleptiques de l'eau produite.

Cette première phase s'est déroulée sur une période d'un an (Novembre 1995 à novembre 1996), sur 2 filières-pilote, fonctionnant en parallèle, qui diffèrent par la nature du charbon actif en grain au niveau de l'affinage. En effet, 2 CAG ont été testés sur la période d'un an : un charbon microporeux et un macroporeux.

## ☛ **Phase 2 : Etude de cas particuliers de gestion de la future filière de Nancy**

Au cours de la première période d'étude, certains résultats ont conduit l'ensemble de l'équipe à réorienter les expérimentations, en s'attardant particulièrement sur l'étape de filtration lente sur sable. Dans ce contexte, la phase 2 de l'étude a vu la mise en place d'un 2ème filtre lent, fonctionnant en parallèle du premier, avec pour double objectif :

- ✓ la comparaison des performances épuratoires des 2 filtres lents contenant tous les deux du sable de Moselle et alimentés par 2 qualités d'eau différentes : le filtre N°1 est alimenté par l'eau de la réserve, le filtre N°2 est alimenté directement par l'eau brute de Moselle (durée des essais : Août 1996 à Novembre 1996).
- ✓ la mise en place d'un mode de gestion de l'alimentation des filières de traitement pilote en fonction de la qualité de l'eau brute de Moselle et de l'eau de la réserve (durée des essais : Novembre 1996 à Septembre 1997).

Aussi, le présent rapport présente et analyse les résultats obtenus lors de ces 2 grandes phases d'expérimentations, respectivement les parties 1 et 2 (se référer à chaque partie pour en connaître le détail).

Les conclusions générales issues de chacune de ces phases sont rassemblées ci-après. Les annexes sont présentées en fin de rapport.

## CONCLUSIONS GENERALES

Afin d'améliorer la qualité des eaux traitées de l'agglomération nancéienne, un vaste programme d'étude a été entrepris sur une période de 2 ans (Nov. 1995 à Sept. 1997) sur 2 filières-pilotes situées sur le site de Messein et dont l'objectif princeps était de juger de leurs performances au niveau des étapes de traitement clés que sont :

- une réserve qui servirait de décanteur naturel et permettrait de lisser les pointes de turbidité et obtenir ainsi une qualité d'eau quasi-constante,
- la suppression de la pré-chloration pour répondre aux exigences de la nouvelle réglementation,
- une filtration biologique lente sur sable,
- un affinage de l'eau par ozonation puis filtration sur charbon actif en grain, neutralisation puis post-chloration,

### PHASE 1 : Evaluation des performances de la nouvelle filière de traitement

Cette première phase de l'étude a eu pour objectifs (i) d'évaluer l'efficacité globale de la nouvelle filière de traitement ainsi que de sa "robustesse" face aux fluctuations saisonnières de la qualité de la ressource, (ii) de juger des performances de la filtration biologique lente sur sable dans l'élimination des matières organiques, (iii) d'estimer l'action du couple O3-CAG sur les goûts et odeurs de l'eau traitée et (vi) de comparer l'efficacité de charbons actifs en grain : un microporeux et un macroporeux.

Dans ce contexte et compte-tenu des résultats obtenus, plusieurs points remarquables sont dégagés et détaillés ci-dessous ; ils concernent :

- l'efficacité globale de la filière sur les caractéristiques organoleptiques de l'eau et ses teneurs en matière organique dissoute et biodégradable, avec un intérêt plus particulier pour la comparaison de l'efficacité épuratoire de 2 CAG : microporeux et macroporeux.
- les performances des étapes de traitement utilisées dans cette étude.

1- En ce qui concerne les problèmes **de flaveurs**, les résultats montrent que quelles que soient les filières testées (CAG microporeux ou macroporeux) les caractéristiques organoleptiques de l'eau brute sont nettement améliorées et permettent de garantir un seuil de saveur normatif.

C'est à partir de l'étape de filtration sur CAG que la saveur de l'eau atteint le niveau réglementaire de 3. Les saveurs "moisi", "vase" et "septique" ne sont plus détectées dans les eaux en sortie de traitement. Par opposition, les eaux traitées issues des usines E. Imbeaux et St Charles durant la période de l'étude présentent toujours des seuils de saveurs variant de 1 à 7 avec des saveurs moisi, vase et terre. Cependant, depuis 1997, le charbon actif en grain des filtres de ces 2 usines a été remplacé et depuis lors, les saveurs détectées sont essentiellement l'amer à un seuil réglementaire.



2- La **matière organique** dissoute et biodégradable est bien éliminée par les différentes étapes des filières testées (de 30 à 80% en cumul selon la période et le CAG testé). Par contre, elles ne permettent pas en permanence d'obtenir dans l'eau produite une concentration pouvant limiter les phénomènes biologiques en réseau de distribution (valeur guide citée par la littérature : 0,2 mg/l CODB), malgré les bonnes performances de la filtration biologique lente et de la filtration sur CAG.

Cependant, la mise en place à certaines périodes de l'année d'un traitement physico-chimique avant l'étape de filtration lente devrait facilement résoudre ce problème. En effet, la réduction de la charge organique à l'entrée du filtre lent devrait permettre au traitement d'être encore plus efficace et plus poussé.

3- **L'utilisation de la réserve** comme première étape de traitement a permis de faire face aux périodes de crue de la Moselle. En effet, la réserve permet d'obtenir une turbidité faible et quasi constante (< 5 NTU) en écrêtant et lissant les pointes de turbidité (à condition d'arrêter l'alimentation de la réserve pendant les périodes pluvieuses) et permet ainsi de "protéger" l'étape de filtration lente. Le rendement moyen d'élimination de la turbidité de l'eau lors du passage par la réserve est de 88%.

Cependant, les phénomènes biologiques observés dans la réserve en période estivale ont provoqué une augmentation importante de la matière organique que le filtre biologique a due et a su supporter :

- le COD et le CODB ont augmenté respectivement de 41 et 116%,
- la densité totale de cellules bactériennes augmente de 28% (soit +0,1 log), toutefois, leur cultivabilité diminue puisque les UFC 3j/ml présentent un abattement de 0,6 log,
- la densité de microorganismes saporigènes diminue dans la réserve, de 1,6 log, 1,5 log et 0,8 log, respectivement pour les actinomycètes, les algues et les champignons,

Etant donné que la plupart du temps, la turbidité de l'eau brute reste plutôt faible (50% des valeurs mesurées < 5 NTU et 90% < 10 NTU), la réserve ne pourrait être utilisée qu'en période de crue. Ce mode de gestion de la ressource permettra certainement de limiter l'eutrophisation de la réserve (les nutriments ne seront pas apportés constamment).

Dans un cas extrême comme la submersion de la réserve, il paraît indispensable de mettre en place un traitement physico-chimique d'appoint pour garantir l'alimentation en eau de l'agglomération nancéienne (même si l'étape de filtration lente accepte des pointes de turbidité importantes pendant une courte période).

4- La **filtration biologique lente** s'est révélée tout à fait adaptée au traitement de potabilisation nancéien. Les résultats montrent que la qualité de l'eau filtrée est presque dans les normes de potabilité :

- la turbidité de l'eau en sortie de filtre ne dépasse pas les 2 NTU,
- l'abattement du COD varie de 10% à 61%,
- un abattement du CODB de 14% à 95%,
- la densité totale de cellules bactériennes et le nombre d'UFC 3j/ml diminuent respectivement de 0,6 log et 1,1 log,
- les bactéries indicatrices de contamination fécale sont éliminées à plus de 95% par la filtration lente,
- les microorganismes saporigènes continuent d'être éliminés de 0,5 log, 0,9 log et 1 log respectivement pour les actinomycètes, les algues et les champignons.

Ces résultats permettent de suggérer que l'acheminement jusqu'à l'usine E. Imbeaux dans les aqueducs de transfert ne comporte pas de risque majeur d'évolution de la qualité de l'eau. Le cas échéant, une chloration d'appoint pourrait être appliquée sans pour autant générer de nuisance de goût ou de sous-produits de chloration, dans la mesure où la filtration biologique permet d'abattre de l'ordre de 40% du COD et par conséquent de limiter drastiquement le risque de formation de THM.

5- Les performances **des deux charbons actifs** sur l'amélioration des caractéristiques organoleptiques sont relativement proches : seule une saveur amer à un seuil  $\leq 3$  est détectée en sortie de CAG. L'étape de post-chloration n'a pas détérioré ces caractéristiques organoleptiques.

Par contre, au niveau de la matière organique et des précurseurs de THM, le CAG microporeux donne des résultats meilleurs :

- le CAG microporeux diminue de 40% le COD et de 60% le CODB, tandis que le CAG macroporeux n'élimine, en moyenne, que 17% du COD et 48% du CODB de l'eau ozonée. En sortie de filtre CAG, les concentrations en COD et CODB sont respectivement de 1,7 mg/l et 0,3 mg/l pour le CAG microporeux et de 2,1 mg/l et 0,5 mg/l pour le CAG macroporeux.
- le CAG microporeux élimine 56% des pTHM contre seulement 8,5% pour le CAG macroporeux.

En ce qui concerne les paramètres microbiologiques, la filtration sur CAG entraîne un relargage important de bactéries dont une bonne partie est cultivable sur gélose : l'augmentation moyenne de la densité de bactéries hétérotrophes est de 1,5 log, quel que soit le CAG testé. De plus, les eaux en sortie de CAG contiennent de l'ordre de  $10^2$  champignons/100 ml et  $10^3$  algues/l.

Ces microorganismes viables sont facilement inhibés lors de l'étape de post-chloration.

Cependant, cette période d'expérimentation ne permet pas de conclure sur les performances à long terme, car la tendance observée peut s'inverser après plusieurs années de fonctionnement.

Par ailleurs, il s'avère que le fait de doubler la capacité de filtration sur charbon actif (par rapport au fonctionnement actuel) a fortement contribué (quel que soit le CAG utilisé) à l'obtention d'une bonne qualité d'eau traitée (saveur, matière organique, pesticides, THM, etc...), même si toutes les étapes participent au traitement. L'affinage de la potabilisation permet de faire face à une éventuelle pollution accidentelle, et garantit la qualité de l'eau jusqu'au robinet du consommateur.

## **PHASE 2 : Etude de cas particuliers de gestion de la future filière de Nancy**

Suite aux résultats obtenus lors de la phase 1 de l'étude (Novembre 1995 à Novembre 1996), une seconde phase d'étude a été initiée sur des points particuliers et remarquables apparus au niveau de l'étape de filtration lente sur sable. Ainsi, un deuxième filtre lent (nommé ci-après N°2) a été mis en place parallèlement au filtre existant (nommé ci-après N°1).

Les objectifs de l'étude visent :

- ① à comparer les performances épuratoires des 2 filtres lents contenant tous les deux du sable  
de Moselle et alimentés par 2 qualités d'eau différentes : le filtre N°1 est alimenté par l'eau de la réserve, le filtre N°2 est alimenté directement par l'eau brute de Moselle (durée des essais : Août 1996 à Novembre 1996).
- ② à évaluer le bénéfice d'un mode de gestion de l'alimentation des filières de traitement pilote  
en fonction de la qualité de l'eau brute de Moselle et de l'eau de la réserve sur la qualité des eaux traitées (durée des essais : Novembre 1996 à Septembre 1997).

Dans ce contexte et compte-tenu des résultats obtenus, plusieurs points remarquables sont dégagés et détaillés ci-dessous et concernent :

- 1- les performances de la filtration lente en fonction de la qualité d'eau d'alimentation,
- 2- la mise en place d'une gestion de l'alimentation des filières en fonction de la qualité des eaux de la ressource.

1- Les performances du second filtre lent alimenté directement par l'eau de Moselle sont quasi-immédiates : dès sa mise en fonctionnement il a présenté des capacités de rétention (MES, turbidité, microorganismes, matière organique) similaires à celles observées sur le premier filtre alimenté par l'eau de la réserve.

Dans nos conditions opératoires et sur la période étudiée, la qualité d'eau d'alimentation des filtres lents n'influe pas sur les paramètres pH, conductivité, turbidité, composés azotés, matière organique et les microorganismes mesurés dans les eaux en sortie de filtres lents. A titre d'exemple, quelle que soit la charge organique entrante, les concentrations en COD et CODB et leur rendement d'élimination sont comparables entre les 2 filtres : de l'ordre de 50% et 80% d'élimination du COD et du CODB.

De même, dans nos conditions opératoires et sur la période étudiée, les rendements d'élimination des bactéries hétérotrophes et d'intérêt sanitaire sont équivalents entre les 2 filtres.

Toutefois, la cultivabilité des bactéries est plus importante dans les eaux en sortie du filtre directement alimenté par l'eau de Moselle. Ceci peut s'expliquer par une inhibition des bactéries au cours de leur passage par la réserve compte-tenu des conditions de pH et de prédation qui y règne.

Ces résultats permettent d'envisager un mode de gestion de l'alimentation du procédé de traitement (essentiellement par le paramètre turbidité) en jouant sur la qualité de l'eau d'alimentation, c'est à dire en utilisant l'eau de la meilleure qualité, en alternant une alimentation eau de Moselle/eau de la réserve. Cela permettra peut être aussi d'augmenter la pérennité du filtre en limitant la charge organique à éliminer et le développement bactérien qui en découle.

D'autre part, l'expérimentation sur le filtre directement alimenté en eau brute a permis d'évaluer l'impact d'une augmentation brutale de turbidité (période de crue) sur la qualité de l'eau filtrée. Les résultats obtenus montrent que :

- le filtre ne permet pas d'obtenir une turbidité dans les normes de potabilité dans ce cas extrême, bien que l'abattement soit conséquent.
- il peut cependant accepter une turbidité très élevée pendant une courte période sans se colmater instantanément.
- en cas de submersion de la réserve, la filière de traitement étudiée ne pourra pas délivrer une qualité d'eau dans les normes de potabilité. C'est pourquoi, afin de garantir l'alimentation en eau de l'agglomération nancéienne, un traitement physico-chimique d'appoint s'avère indispensable pour gérer ce type de situation rare et particulière.

2- La mise en place d'une gestion de l'alimentation des filières en fonction de la qualité des eaux de la ressource a permis de montrer que dans nos conditions de fonctionnement et avec une qualité d'eau d'alimentation "classique", la qualité des eaux en sortie de filière alimentée directement par l'eau brute de Moselle est équivalente ou meilleure à celle de la filière alimentée par la réserve.

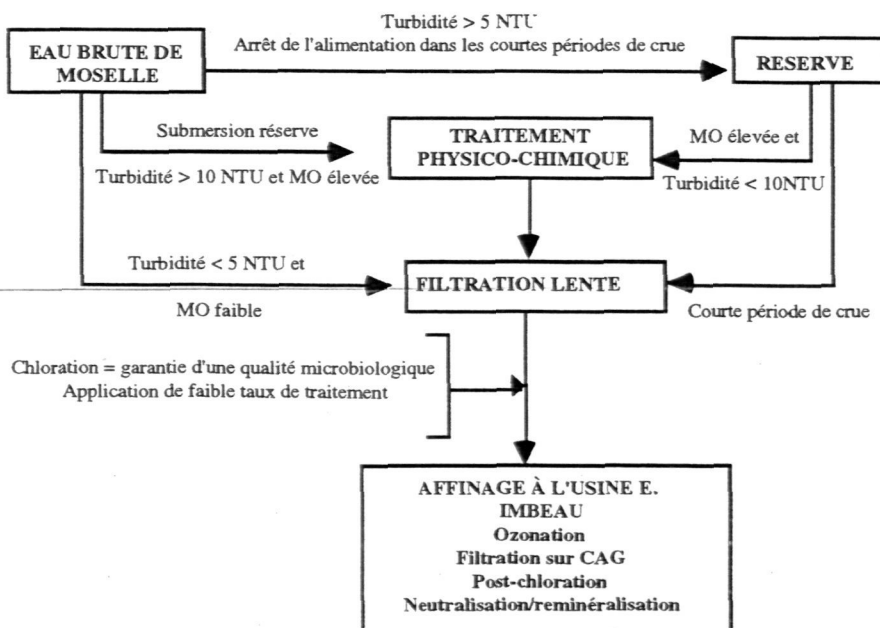
Ainsi, les saveurs détectées en sortie de filière alimentée par l'eau de la réserve sont l'amer mais aussi la vase ou le moisi avec des seuils  $\leq 3$  ; tandis que l'eau en sortie de filière alimentée par l'eau de Moselle présente uniquement la saveur amer à un seuil  $\leq 3$ .

De même, les concentrations en matière organique présentent des différences : l'eau de la filière alimentée directement par l'eau de Moselle contient 19% de moins de COD que l'eau issue de la filière alimentée par la réserve. La fraction biodégradable de la matière organique montre les mêmes tendances : le CODB représente 35% et 24% du COD respectivement pour la filière alimentée par la réserve et la filière alimentée directement par l'eau de Moselle.

Par contre, en ce qui concerne les paramètres microbiologiques, les résultats obtenus montrent clairement que la biomasse bactérienne de l'eau issue de la filière alimentée par la Moselle est en "meilleure forme" puisque sa cultivabilité à 3 jours est supérieure à celle de la filière alimentée par l'eau de la réserve.

Néanmoins, en sortie de filière, après post-chloration, les 2 filières présentent des résultats similaires avec de l'ordre de 70 UFC/ml (22°C-72 heures).

L'ensemble des conclusions précédentes conduit à proposer le schéma de traitement suivant, permettant une meilleure gestion de la qualité des eaux traitées par une action directe sur la qualité des eaux en entrée de filière.



PARTIE 2

FILTRATION LENTE ET MICROPOLLUANTS

**PLAN DU RAPPORT**

<b>SOMMAIRE</b>	1
<b>I INTRODUCTION</b>	2
<b>II OBJECTIFS ET DESCRIPTION DE L'ETUDE</b>	3
<b>II-1 OBJECTIFS DE L'ETUDE</b>	3
<b>II-2 DESCRIPTION DE L'ETUDE</b>	4
<b>III CONCLUSIONS</b>	5
<b>IV PARTIE I - ETUDE DES PERFORMANCES DU FILTRE 1</b>	9
<b>IV-1 PROTOCOLE</b>	9
IV-1-1 Lavage du filtre 1	10
IV-1-2 Arrêt / remise en eau du filtre 1	11
IV-1-3 Modification de la vitesse de filtration du filtre 1	11
<b>IV-2 RESULTATS</b>	12
IV-2-1 Caractéristiques physico-chimiques de l'eau	12
IV-2-2 Efficacité de la filtration lente sur la matière organique	16
IV-2-3 Efficacité de la filtration lente sur la qualité microbiologique de l'eau	20
IV-2-4 Impact des lavages du filtre sur la qualité de l'eau filtrée	25
IV-2-5 Impact d'un arrêt du filtre sur la qualité de l'eau filtrée	31
IV-2-6 Impact d'une augmentation de la vitesse de filtration sur la qualité de l'eau filtrée	36
<b>V PARTIE II - ETUDE DES PERFORMANCES DU FILTRE 2</b>	40
<b>V-1 PROTOCOLE</b>	40
<b>V-2 RESULTATS</b>	42
V-2-1 Contamination par l'atrazine	42
V-2-2 Contamination par l'isoproturon	47
V-2-3 Contamination par le fluoranthène	51
V-2-4 Contamination par des rejets épurés depapeterie	52
V-2-5 Contamination par de l'ammonium	54
<b>VI ANNEXES</b>	58
Annexe A	58
Annexe B	76
Annexe C	78
Annexe D	80
Annexe E	82
Annexe F	84
Annexe G	85
Annexe H	87
Annexe I	91
Annexe J	93

## I INTRODUCTION

La filtration biologique lente est une reproduction du processus naturel d'autopurification de l'eau. Cette technique consiste à faire percoler de l'eau sur une couche de sable d'épaisseur 0,6 à 1 m, de granulométrie 0,5 à 1,2 mm, à des vitesses de 2 à 5 m/jour.

Au bout de quelques jours, il se développe dans la couche supérieure du sable une biomasse complexe composée d'algues, de bactéries et de zooplancton. Il s'établit alors un phénomène très complexe faisant intervenir une grande quantité d'organismes vivants qui vivent à la fois en symbiose et en prédateur les uns des autres.

Les défenseurs de ce mode de traitement affirment que ce procédé permet à la fois :

- ◇ la clarification de l'eau,
- ◇ l'élimination des micropolluants organiques par deux processus principaux : processus abiotique (hydrolyse, photolyse, évaporation, précipitation) et processus biotique (biodégradation, hydrolyse, adsorption, bioconcentration),
- ◇ l'élimination des micropolluants minéraux également par différents processus,
  - . co-précipitation sous forme d'hydroxydes, de carbonates (Cr, Pb, Hg, Zn),
  - . oxydation biologique ( $\text{NH}_4^+$ , Fe, Mn,...),
  - . piégeage et bioconcentration dans la membrane biologique,
- ◇ l'élimination des germes pathogènes par concurrence vitale, effet de tamis de la membrane biologique, effet bactéricide des rayons UV et de certains métabolites des algues.

Lors de la précédente étude (Etude des performances de la future filière de traitement de l'agglomération nancéienne), l'efficacité globale de la filtration lente sur sable avait déjà pu être constatée au niveau des abattements de la matière organique et des micro-organismes indicateurs de contaminations.

Toutefois, bien que la filière ait été alimentée en continu par de l'eau de Moselle pendant plus de 2 ans, nous ne nous sommes jamais trouvés en situation "extrême" telles que de fortes concentrations en pesticides, une charge azotée exceptionnelle, ... situations qui ne sont pas à exclure dans le cas d'une alimentation d'une filière de potabilisation par une eau de surface. En effet, il ne faut pas oublier que la Moselle, ressource en eau de l'agglomération nancéienne, traverse une région essentiellement agricole.



## II OBJECTIFS ET DESCRIPTION DE L'ETUDE

### II-1 OBJECTIFS DE L'ETUDE

Compte-tenu du contexte précisé ci-dessus, le programme d'étude a été axé sur :

- ☛ **la simulation des conditions futures de fonctionnement de l'étape de filtration biologique lente.**
- ☛ **l'analyse des performances de cette étape sur l'abattement de certains micropolluants.**

Pour répondre à cette problématique, nous nous sommes fixé un double objectif :

- ☛ apprécier l'efficacité de la filtration lente lorsque l'eau de la rivière est artificiellement chargée en :
    - en produits phytosanitaires\* (ou autres micropolluants organiques) choisis en fonction des pratiques agricoles et des traces de composés retrouvés dans la Moselle lors des contrôles sanitaires effectués. Ces produits sont : **l'atrazine et l'isoproturon.**
    - en azote et plus particulièrement en **ammonium,**
    - en **hydrocarbures polycycliques aromatiques (HPA) tel que le fluoranthène,**
    - en **substances issues de papeteries** et prélevées en sortie de traitement d'épuration (juste avant rejet en rivière) .
  - ☛ estimer les modifications physico-chimiques et microbiologiques de l'eau filtrée engendrées lors de perturbations hydrauliques simulant différentes conditions de fonctionnement futur de l'installation.
-

## II-2 DESCRIPTION DE L'ETUDE

Pour ces essais, deux pilotes de filtration biologique lente sur sable ont été utilisés.

☞ Le premier filtre, nommé F1, a été utilisé pour simuler les conditions futures de fonctionnement telles que :

- simulation du fonctionnement de la filtration lente sur sable dans des conditions "normales" (calculées sur la base du dimensionnement des futures installations et de la production actuelle), soit

**une vitesse de filtration de 0,11 m/h.**

- simulation du fonctionnement du filtre lent dans des conditions d'immobilisation d'une partie de la masse filtrante lors du remplacement du sable, soit

**une vitesse de filtration de 0,22 m/h.**

- simulation du fonctionnement du filtre lent dans des conditions extrêmes avec

**une vitesse de filtration de 0,34 m/h.**

De plus, deux autres types de perturbations hydrauliques ont été testés pour chacune de ces vitesses :

- le **lavage** des filtres,
- l'**arrêt du filtre sur 24 heures suivi d'une remise en eau.**

☞ Le second filtre, nommé F2, a été utilisé pour étudier l'efficacité de la filtration lente vis à vis de l'élimination de micropolluants cités ci-dessus.

Aussi, le présent rapport s'articule en 2 grandes parties relatives respectivement au filtre 1 (F1) utilisé pour les perturbations hydrauliques et au filtre 2 (F2) destiné aux micropolluants. Il présente et analyse les résultats de la qualité de l'eau en entrée et sortie de filtration lente obtenus sur les 2 filtres-pilotes. Les conclusions générales sont rassemblées ci-après. Le matériel et les méthodes ainsi que les annexes sont présentés en fin de rapport.

### III CONCLUSIONS

Dans le cadre d'un programme d'étude sur l'efficacité de la filtration lente sur sable vis à vis des micropolluants, nous avons étudié le cas de deux filtres à sable pilotes, alimentés en continu soit par l'eau d'une réserve (filtre 1), soit directement par l'eau de Moselle (filtre 2).

Le filtre 1 a permis de simuler **des conditions futures de fonctionnement de l'étape de filtration biologique lente**, *i.e.* en imposant des perturbations du régime hydraulique du système tels qu'une modification de vitesses de filtration, un lavage du filtre, ou encore un arrêt total de la filtration de 24 heures.

Le filtre 2 a été utilisé pour apprécier **les performances de la filtration lente sur sable sur l'abattement de certains micropolluants : atrazine, isoproturon, fluoranthène, ammonium et rejets épurés de papeterie.**

Compte-tenu des objectifs de l'étude (cf. § II), plusieurs points remarquables méritent d'être dégagés et détaillés ci-après.

#### **Filtre 1 : performance de la filtration lente en fonction des vitesses de filtration**

##### ① Au niveau de la matière organique :

Pour les essais réalisés avec une vitesse de filtration de 0,11 m/h en période printemps/été, les concentrations de matière organique mesurées en sortie de filtre lent sont supérieures à celles mesurées lors des essais réalisés avec des vitesses de filtration de 0,22 et 0,34 m/h en période automnale et hivernale.

Au niveau des abattements, l'efficacité de la filtration lente, telle que nous l'avons testée, est moins bonne lorsque la vitesse de filtration est de 0,34 m/h en période hivernale qu'à 0,22 m/h en période automnale, ou 0,11 m/h en période estivale.

Cependant, il nous paraît prématuré de juger de l'efficacité de la filtration lente en fonction des vitesses de filtration puisque, dans nos conditions d'expérience, les changements de vitesses de filtration coïncident aussi avec des variations saisonnières, sans pouvoir dissocier les 2 phénomènes. Ce qui paraît clair toutefois, c'est que le fonctionnement du filtre à une vitesse de filtration de 0,34 m/h diminue les rendements d'élimination de la matière organique alors qu'il reçoit une charge moins importante de matières organiques (essais réalisés en période hivernale), dont la nature et la biodégradabilité est différente de celles présentes en période estivale.

L'ensemble de ces résultats ne peut en rien prévoir les performances épuratrices du filtre lent fonctionnant à une vitesse de 0,34 m/h en période estivale ou encore d'un filtre fonctionnant à une vitesse de filtration de 0,11 m/h en période hivernale.

De fait, les différences d'efficacité sur la matière organique observées dans cette étude incombent très certainement à au moins 3 paramètres :

- la concentration et la composition de la matière organique de l'eau d'alimentation du filtre,
- la densité, la nature et l'activité métabolique des populations de microorganismes présents dans le filtre,
- le temps de contact entre biodégradeurs et éléments à biodégrader, c'est à dire la vitesse de filtration.

## ② Au niveau des densités bactériennes :

Comme pour le paramètre matière organique, les résultats microbiologiques sont aussi la résultante d'un effet saison associé à l'effet des changements de vitesses de filtration sur les performances épuratrices du filtre lent.

Pour les expérimentations à la vitesse de filtration 0,11 m/h réalisées en période printemps/été, les densités totales de bactéries et les bactéries cultivables (UFC/ml) mesurées en sortie de filtre lent sont supérieures à celles mesurées lors des essais réalisés avec des vitesses de filtration de 0,22 et 0,34 m/h en période automnale et hivernale.

Par contre, les résultats de densités bactériennes en sortie de filtre lent ne montrent pas de différence notable entre les vitesses de filtration 0,22 et 0,34 m/h, alors que la matière organique et la température de l'eau en entrée de filtre sont très différentes.

En terme d'abattement de micro-organismes, l'efficacité de la filtration lente, telle que nous l'avons testée, ne semble pas influencée par le couple "effet saison-vitesse de filtration" puisque aucune différence d'efficacité de la filtration lente n'apparaît entre les vitesses de filtration est de 0,34 m/h en période hivernale, 0,22 m/h en période automnale, ou 0,11 m/h en période estivale.

L'ensemble de ces résultats ne peut en rien prévoir l'efficacité en terme microbiologique du filtre lent fonctionnant à une vitesse de 0,34 m/h en période estivale ou encore d'un filtre fonctionnant à une vitesse de filtration de 0,11 m/h en période hivernale, du fait de la modification importante de la qualité de l'eau d'alimentation entre les 3 phases de filtration de l'étude.

## **Filtre 1 : Perturbations hydrauliques**

① Dans nos conditions d'expérience, la perturbation hydraulique par lavage d'un filtre lent n'entraîne que peu voire aucune modification des performances épuratoires du filtre, ni de la qualité de l'eau filtrée. Le lavage d'un filtre consistant à éliminer quelques mm ou cm de sable en surface (estimation visuelle), ces résultats suggèrent que (i) la couche biologique se reforme très rapidement, et/ou (ii), l'élimination de la couche biologique n'est pas complète et cette partie restante est capable de prendre le relais dans les phénomènes d'épuration d'une manière quasi-instantanée.

Dans une certaine limite, l'élimination de la couche "biologique" par lavage ne devrait pas gêner le fonctionnement du filtre lent. Reste à connaître le niveau limite d'élimination de la couche biologique qui n'entraîne pas de déséquilibre du pouvoir épurateur du filtre.

② La perturbation hydraulique par arrêt du filtre pendant 24 heures entraîne pour l'ensemble des paramètres mesurés dans cette étude une altération transitoire de la qualité de l'eau en sortie de filtre alors que la qualité de l'eau d'alimentation n'est pas modifiée. Dans la majeure partie des cas, la situation revient à la normale dans les 24 heures qui suivent l'arrêt.

③ L'augmentation brusque de la vitesse de filtration se traduit pour le COD et les densités bactériennes par une légère perturbation du système qui conduit à une augmentation de 0,3 à 0,7 mg/l des concentrations en COD et de 0,1 à 0,3 log des densités totales de bactéries dans l'eau en sortie de filtre. Ce phénomène est rapide puisque nous l'avons détecté après 1 à 2 heures suivant la modification de vitesse. Il est également transitoire puisque 24 heures après la perturbation hydraulique, les niveaux de concentrations en COD et densités totales de bactéries sont similaires, voire légèrement meilleurs, que ceux mesurés avant perturbation. Seul un impact du changement de vitesse de filtration est visible et apparaît de manière prolongée au niveau du paramètre UFC-3j/ml.

## **Filtre 2 : Efficacité de la filtration lente sur l'élimination des micropolluants**

① L'absence d'apparition de sous-produits de dégradation de l'atrazine, la quantité d'atrazine mesurée en sortie de filtre étant, aux erreurs expérimentales près, identique en entrée et sortie filtre, nous montrent que dans les conditions de réalisation de cette expérience, le filtre lent n'a aucune influence sur la concentration en atrazine.

② La similitude (1) des chromatogrammes en entrée et sortie filtre et (2) des quantités déposées sur le filtre et des quantités récupérées à la sortie du filtre, nous montrent que dans les conditions de réalisation de cette expérience, le filtre lent n'a aucune influence sur la concentration d'isoproturon.

③ Le fluoranthène déposé en entrée de filtre n'a pas été détecté en sortie du filtre. Vu son insolubilité dans l'eau, il paraît plus raisonnable de penser que le fluoranthène déposé à la surface du filtre n'a pas été dissous, plutôt que de faire l'hypothèse d'une dégradation du fluoranthène par passage dans le filtre lent.

④ Le passage sur filtre lent d'une eau dopée en effluents épurés de papeteries entraîne une augmentation des pTHM.

- ⑤ Les résultats des expérimentations sur la pollution en ammonium ont permis de montrer :
- 1- Une bonne élimination de l'ammonium (>90 %) pour des faibles valeurs injectées (0,5 mg/l). Il serait intéressant à ce niveau de connaître le degré d'oxydation de l'azote (nitrites ou nitrates). Si le stade nitrates n'a pas été atteint une post-oxydation (ozone ou chlore) devra être envisagée pour oxyder les nitrites.
  - 2- Une élimination médiocre (environ 50 %) obtenue lors de l'injection de fortes concentrations en ammonium. Ce faible rendement serait peut-être modifiée (par adaptation de la flore bactérienne) face à une pollution plus durable.
  - 3- Une grande sensibilité à des variations de températures avec probablement une baisse notable de l'oxydation biologique pour des températures inférieures ou voisines de 10°C.

Ces résultats illustrent bien la spécificité du procédé biologique ou, à *contrario* des procédé physico-chimiques, le rendement obtenu n'est pas proportionnel à la concentration incidente.