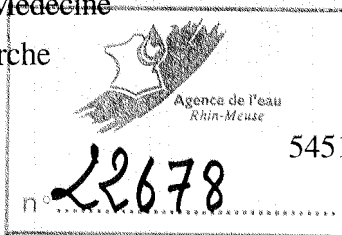


Université Henri Poincaré - Faculté de Médecine

Laboratoire d'Hygiène et de Recherche
en Santé Publique

11 bis, rue Gabriel Péri
B.P. 288

545 15 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
545 15 Vandoeuvre-lès-Nancy Cedex
France

Septembre 1998

SOMMAIRE

INTRODUCTION GENERALE

CONCLUSIONS GENERALES

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

I-	SITUATION DE L'ETUDE ET OBJECTIFS	13
II-	PRESENTATION DU SITE D'ETUDE	16
	11-1 SCHEMA GENERAL	16
	11-1-1 Participation De La Réserve Au Traitement	16
	11-1-2 Traitement De Coagulation-Floculation-Décantation Sur Le Site Du Point De Pompage	16
	11-1-3 La Filtration Biologique Lente	17
	11-1-4 Le Traitement D'affinage À L'usine E. Imbeaux	17
	11-2 PRÉSENTATION DES FILIÈRES-PILOTE	17
	11-2-1 La Réserve	18
	11-2-2 La Coagulation/Floculation/Décantation	18
	11-2-3 La Filtration Biologique Lente	18
	11-2-4 L'Ozonation	19
	11-2-5 La Filtration Sur Charbon Actif En Grain	19
	11-2-6 La Neutralisation Et Post-Chloration	20
	11-3 PRÉSENTATION DU SUIVI ANALYTIQUE	21
	11-3-1 Le Suivi Analytique Du NanC.I.E.	23
	11-3-2 Le Suivi Analytique Du L.H.R.S.P.	23
III-	ANALYSES DES RESULTATS	
	111-1 VARIATIONS DES CARACTÉRISTIQUES DE L'EAU BRUTE	24
	111-1-1 Physico-Chimie Des Eaux De La Ressource	24
	111-1-2 Propriétés Organoleptiques Des Eaux De La Ressource	25
	111-1-3 Matière Organique Des Eaux De La Ressource	26

III-1-4 <u>Les Précurseurs D'haloformes Des Eaux De La Ressource</u>	29
III-1-5 <u>Biomasses Des Eaux De La Ressource</u>	29
III-2 PERFORMANCES DES ÉTAPES DE TRAITEMENT	31
111-2-1 <u>Les Paramètres Physiaues</u>	31
① <u>pH et conductivité</u>	31
② <u>Turbidité</u>	32
III-2-2 <u>La saveur</u>	32
III-2-3 <u>La Matière Organique.(COD Et CODB)</u>	34
111-2-4 <u>La Micronollution Organique.(pTHM Et Pesticides)</u>	36
111-2-5 <u>L'élimination De La Pollution Azotée Et Phosnhorée</u>	36
111-2-6 <u>La Contamination Microbioloeiaue</u>	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
III-3 LES PRINCIPALES ACTIONS DU TRAITEMENT	41
111-3-i <u>L'impact De La Réserve</u>	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- Une <i>période "froide" de novembre à mars</i>	44
b- Une <i>période chaude d'avril à octobre</i>	44
111-3-2 <u>La Filtration Biologique Lente</u>	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
111-3-3 <u>Le Couple O3-CAG</u>	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
111-3-3 <u>La Neutralisation Et La Post-Chloration</u>	52
① <u>Les THM formés nar la chloration</u>	52
② <u>La neutralisation</u>	53

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
111-2-1 <u>Les Paramètres Physico-Chimiques (Janv. à Juin 1997)</u>	62
111-2-2 <u>La Flaveur De L'eau (Nov.1996 à Sept. 1997)</u>	64
111-2-3 <u>La Matière Organique De L'eau (Nov.1996 à Sept.1997)</u>	64
111-2-4 <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 GÉNÉRALES

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 principal était de juger de leurs performances au niveau des étapes de traitement clés qui 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 CAC : 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 dû 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 saprogyènes 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 saprogyènes 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 amère à un seuil ≤ 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, quelque 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.