

DOCUMENT



n° 17723

CONSEIL GÉNÉRAL



Réussir le Haut-Rhin

COMMUNE DE BENDORF

ETUDE DU TRAITEMENT
DE L'ARSENIC

RAPPORT D'ETUDE

SOGEST
9 AVENUE DES MAROCAINS
68800 THANN



S O M M A I R E

	<i>Pages</i>
PREAMBULE	1
RESUME	2
1. INTRODUCTION	4
II. GENERALITES SUR LE TRAITEMENT DE L'ARSENIC	4
III. CARACTERISTIQUES DE L'EAU BRUTE	5
IV. ESSAIS DE TRAITEMENT EN LABORATOIRE	5
v. RESULTATS DES ESSAIS DE LABORATOIRE	6
1.1/ Essai au chlorure ferrique seul (Tableau 1 - Graphique 1)	
1.2/ Essai au chlorure ferrique avec pré oxydation	
1.3/ Essai au sulfate d'aluminium (Tableau 3 - Graphique 2)	
1.4/ Essai au sulfate d'aluminium avec pré oxydation	
1.5/ Conclusion sur les essais de laboratoire	
VI. ESSAIS PILOTE	7
VII. RESULTATS DES ESSAIS PILOTE	8
1. Traitement au chlorure ferrique à 15 g/m ³	
2. Addition de polymère AS	
3. Addition d'alginate de sodium	
4. Etude de l'équilibre calco-carbonique de l'eau traitée	
5. Conclusion sur les essais pilote	
VIII. ETUDE DES EAUX DE LAVAGE DE FILTRE	11
XI. DEVIS ESTIMATIF	13
ANNEXES	

P R E A M B U L E

Durant l'été 1991, des analyses effectuées sur l'eau du nouveau forage de la Commune de BENDORF (68) ont mis en évidence la présence d'Arsenic à des teneurs supérieures à la concentration maximale admissible.

Le Conseil Général du Département du Haut Rhin a donc passé commande, à la SOGEST, d'une étude concernant la détermination du traitement à mettre en oeuvre pour l'élimination de l'Arsenic sur l'eau du forage comprenant :

- Des essais de traitabilité en laboratoire,
- ~~Des essais de traitement sur pilote.~~

Pour la réalisation de cette étude, la SOGEST s'est associée au C.I.R.S.E.E. (Centre International de Recherche sur l'Eau et l'Environnement) de la LYONNAISE DES EAUX-DUMEZ.

Cette étude est financée par le Conseil Général du Département du Haut-Rhin, l'Agence de l'Eau Rhin Meuse et la commune de Bendorf. La conduite de l'étude est assurée par la Direction Départementale de l'Agriculture et de la Forêt (D.D.A.F.).

Les essais sur site ont été réalisés du 04 au 14 MAI 1993.

R E S U M E

Le forage assurant la production d'eau potable de la Commune de BENDORF (68) présente une teneur en Arsenic supérieure à la norme (200 à 400 $\mu\text{g/l}$ - C.M.A. = 50 $\mu\text{g/l}$) ; une étude a donc été menée sur le site, afin de définir la filière de traitement à mettre en oeuvre pour l'élimination de l'Arsenic.

Celle-ci à consisté en :

- Des essais de laboratoire permettant de sélectionner les réactifs à mettre en oeuvre et de définir leur dosage,
- Des essais sur filtre pilote permettant d'étudier la faisabilité d'un traitement par coagulation directe sur filtre et d'en définir le dimensionnement.

Ces essais effectués sur site permettent de proposer la filière de traitement suivante sur une base de 10 m^3/heure :

- Pompage de l'eau brute
- Injection de chlorure ferrique au taux de 15 g/m^3 en poids de solution commerciale à 40 %
- Filtration sur filtre bi-couche de caractéristiques suivantes :
 - . Vitesse de filtration $\text{VF} = 8 \text{ m/h}$
 - . Surface de filtration = 1,2 m^2
 - . soit un filtre de diamètre 1,3 m
 - . ou mieux, deux filtres de diamètre 0,90 m permettant plus de sécurité et de souplesse (lavage notamment)

Ce qui donne :

- . Couche support silex de taille effective TE = 4-8 mm, hauteur 15 cm
 - . Sable fin de taille effective TE = 0,55 mm, hauteur de couche 50 cm
 - . Anthracite en surface de taille effective TE = 0,8-1,6 mm, hauteur de couche 100 cm
-
- Lavage : . Soufflage à l'air, débit $60 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{h}$
 - . Rinçage à l'eau, débit $60 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{h}$
(permettant le reclassement des matériaux)

 - Stockage, désinfection finale au chlore (temps de contact 1 heure minimum avant refoulement)

 - Récupération des boues de lavage de filtre, épaissement, déshydratation, évacuation en décharge

 - Poste de dosage d'adjuvant :
Cet équipement est à prévoir sur une base de 1 à 2 g/m³ d'alginat.

I. INTRODUCTION

La Commune de BENDORF exploite actuellement un forage de 107 mètres de profondeur, réalisé il y a quelques années.

L'eau pompée est stockée dans un réservoir, avant mise en distribution.

Des analyses récentes ont mis en évidence la présence d'Arsenic à des teneurs de 200 à 400 $\mu\text{g/l}$ largement supérieures à la concentration maximale admissible (CMA = 50 $\mu\text{/l}$).

Les essais ont donc porté sur l'élimination de l'Arsenic par coagulation sur filtre bi-couche au moyen de chlorure ferrique ou de sulfate d'aluminium.

II. GENERALITES SUR LE TRAITEMENT DEL'ARSENIC

L'Arsenic peut apparaître dans des systèmes aqueux à 4 stades d'oxydation ; pourtant il n'est normalement présent que sous ses formes trivalentes As [+ III] appelée arsenite et pentavalente As [+ V] dénommée arsenate.

Pour des valeurs de pH comprises entre 5 et 9, l'arsenite forme un composé neutre, tandis que l'arsenate apparaît sous forme anionique.

Une bonne efficacité de la coagulation vis-à-vis de l'Arsenic est donc liée à sa présence sous forme As [+ V]. Si l'Arsenic n'est pas présent uniquement sous sa forme pentavalente, il est nécessaire d'oxyder préalablement à la filtration la partie trivalente. Les oxydants généralement employés sont le chlore ou le permanganate de potassium (KMnO_4). (Cf publication de Frank et Clifford, Sosg et Logsdon, Hannah et al)

III. CARACTERISTIQUES DE L'EAU BRUTE

Une analyse succincte de l'eau brute permet les constatations suivantes :

- l'eau est très peu turbide (0,2 à 0,3 NTU)
- le pH est de 7,31, la température de 12°C
- la minéralisation est importante et de type bicarbonatée calcique (TAC = 29°F, TH = 28,6°F, TC_C = 28°F)
- l'eau ne contient pas de fer, ni de manganèse, ni d'ammonium

IV. ESSAIS DE TRAITEMENT EN LABORATOIRE

Les essais de floculation avec le chlorure ferrique et le sulfate d'aluminium ont été effectués en jar-test avec ou sans préoxydation, afin de déterminer les formes de l'Arsenic ainsi que les doses de réactifs à mettre en oeuvre.

Les essais sont réalisés à l'aide d'un flocculateur.

Les analyses de fer, d'aluminium et d'arsenic résiduels sont effectuées sur l'eau filtrée sur membrane de 0,45 µm de porosité.

Les taux de réactifs sont exprimés en poids de solution commerciale pour le chlorure ferrique et le sulfate d'alumine et en poids de produit pur pour le permanganate de potassium.

Les analyses d'Arsenic ne peuvent s'effectuer sur le terrain, elles ont donc été réalisées par le Laboratoire de l'I.R.H. à COLMAR (68) .

: V. RESULTATS DES ESSAIS DE LABORATOIRE

1.1/ Essai au chlorure ferrique seul (Tableau 1 - Graphique 1)

Les doses utilisées vont de 14,5 à 60 g/m³.

Les résultats montrent que l'Arsenic résiduel se situe au dessous de 50 µg/l (C.M.A.) dès 14 g/m³ et ce pour une concentration de 410 µg/l dans l'eau brute.

L'élimination maximale, soit 99 %, est obtenue pour une dose de 52,5 g/m³ (5 µg/l d'Arsenic résiduel).

1.2/ Essai au chlorure ferrique avec oréoxydation

Pour cet essai, le taux de flocculant a été fixé arbitrairement à 22,5 g/m³ (Tableau 2).

Les oxydants utilisés sont le chlore à des taux de 0,5; 1 et 2 g/m³ ainsi que le permanganate de potassium à 0,4; 0,6 et 0,8 g/m³.

Les résultats ne montrent pas d'amélioration quant à l'élimination de l'Arsenic. Ce dernier se trouve donc sous sa forme pentavalente dans l'eau brute.

1.3/ Essai au sulfate d'aluminium (Tableau 3 - Graphique 2)

Les taux de traitement s'étendent de 13 à 58,5 g/m³.

Après 10 minutes de réaction, puis filtration, l'Arsenic résiduel se situe encore au-dessus de la norme pour tous les taux de traitement appliqués.

La meilleure élimination est obtenue pour une dose de 58,5 g/m³ en sulfate d'aluminium (Arsenic résiduel = 85 µg/l).

Remarque : La floculation est difficile, le floc formé est petit et hétérogène.

1.4/ Essai au sulfate d'aluminium avec oréoxydation

La dose de flocculant est fixée à 19,5 g/m³.

Le chlore et le permanganate sont utilisés aux mêmes taux que pour le chlorure ferrique (Tableau 4).

On ne constate aucune amélioration d'élimination de l'Arsenic en utilisant la préoxydation. Le résiduel d'Arsenic se situe au-dessus de la norme.

2/ Conclusion sur les essais de laboratoire

Les résultats des essais permettent de tirer les conclusions suivantes :

- La préoxydation au chlore ou au permanganate de potassium n'a pas apporté d'amélioration dans l'élimination de l'Arsenic. Ce dernier se présente donc sous sa forme [+ V] "arsenate" dans l'eau brute.
- L'élimination de l'Arsenic est meilleure avec le chlorure ferrique (environ 95 %) qu'avec le sulfate d'aluminium (environ 79 % maxi).

Pour les essais pilotes le chlorure ferrique a donc été retenu comme coagulant.

VI. ESSAIS PILOTE

Le pilote de coagulation se compose des éléments suivants (Cf schéma et photo en annexe) :

- Pompage de l'eau brute du réservoir
- Injection des réactifs (coagulant, adjuvant) par pompe doseuse
- Filtration sur filtre bi-couche en colonne de diamètre 25 cm
- Régulation du débit d'eau filtrée par robinet à flotteur
- Reprise de l'eau filtrée par pompe dans un bac de stockage utilisé comme réserve d'eau de lavage.

Le matériau filtrant utilisé est le suivant (de bas en haut) :

- Silex sur une hauteur de 10 cm servant de couche support
- Sable TE = 0,55 sur une hauteur de 40 cm
- Anthracite TE = 1,2-2,4 sur une hauteur de 70 cm

La vitesse de filtration est de 8 m/h, soit un débit de 400 l par heure. Le lavage effectué avec de l'eau exempte d'Arsenic comprend les étapes suivantes :

- Détassage à l'air à 55 m³/h pendant 5 minutes
- Rinçage à l'eau à 3 m³/h (60 m/h) jusqu'à obtention d'une eau claire et permettant le reclassement des matériaux

VII. RESULTATS DES ESSAIS PILOTE

1. Traitement au chlorure ferrique à 15 g/m³

Pour une vitesse de filtration de 8 m/h, on remarque les points suivants :

- La maturation du filtre est effective après une heure de filtration (turbidité = 0,10 NTU, fer résiduel = 0,01 µg par litre).
Le résiduel d'Arsenic est de 35 µg/l.
- Durant le cycle, l'eau filtrée présente les caractéristiques suivantes (valeurs moyennes) : turbidité = 0,08 NTU, fer résiduel = 0,00 µg/l, Arsenic = 15 µg/l.
- La crevaison du filtre est observée après 20 heures de filtration pour une perte de charge totale de 80 cm (fer résiduel = 0,20 µg/l) correspondant à une production d'eau filtrée de 160 m³/m². La capacité de rétention est de 640 g/m².

2. Addition de polymère AS

Le polymère utilisé est l'AS 24. Des taux de 0,05 g/m³ et 0,1 g/m³ ont été testés.

Pour ces essais, le chlorure ferrique a été porté à 20 g/m³ puis à 30 g/m³.

2.1/ FeCl₃ = 20 g/m³ ; AS 24 = 0,05 g/m³ (Graphes 5 et 6)

L'élimination de l'Arsenic est toujours effective (Arsenic résiduel = 18 µg/l après 2 heures de filtration).

Le gain horaire de perte de charge est de 2 cm/h pour l'antracite et de 4 cm/h pour le sable.

Cependant, la crevaison est observée après 16 heures de filtration (turbidité = 0,30 NTU ; fer = 0,15 mg/l), soit une production de 128 m³/m² d'eau filtrée et 700 g/m² de matières en suspension retenues.

2.2/ FeCl₃ = 20 g/m³ ; AS 24 = 0,1 g/m³ (Graphes 7 et 8)

La teneur en Arsenic résiduel est de 10 µg/l après 6 h de filtration, soit une élimination de 98 % (410 µg/l dans l'eau brute).

La maturation du filtre est constatée après 1 h de filtration.

Durant le cycle, l'eau filtrée présente une turbidité de 0,08 NTU et un résiduel nul en fer.

Le gain horaire de perte de charge est de :
- 3 cm/h pour l'antracite
- 7 cm/h pour le sable.

Cependant la crevaison du filtre est effective après 16 h de filtration, soit 128 m³/m² d'eau filtrée pour une perte de charge totale de 130 cm de colonne d'eau.

2.3/ FeCl₃ = 30 g/m³ : AS 24 = 0,1 g/m³ (Graphes 9 et 10)

Le passage à 30 g/m³ n'apporte pas d'évolution significative quant à la qualité de l'eau filtrée durant le cycle (Cf tableau 5). Le filtre crève à nouveau après 18 heures de filtration (turbidité = 0,35 NTU, fer résiduel = 0,42 mg/l).

Cependant la perte de charge totale est plus importante (210 cm de colonne d'eau). Le volume d'eau filtré est de 140 m³/m² et la capacité de rétention de 1 152 g/m².

3. Addition d'alqinate de sodium

Trois taux de traitement, respectivement 1 g/m³ - 1,5 g/m³ et 2 g/m³ ont été testés (Graphes 11 à 15).

L'augmentation des taux de traitement de 1 à 2 g/m³ n'apporte pas d'amélioration quant à la qualité de l'eau filtrée (turbidité = 0,08 NTU, fer résiduel = 0 mg/l, Arsenic < 50 µg/l).

La maturation est rapide, les teneurs en Arsenic résiduel sont inférieures à la norme après 1 heure de filtration.

Cependant les gains horaires de perte de charge des matériaux augmentent avec les taux de traitement :

Alginate	Anthracite	sable
1 g/m ³	5 cm/h	14 cm/h
2 g/m ³	15 cm/h	18 cm/h

Alors que la crevaison est constatée après 15 heures de filtration à 1,5 g/m³ en alginate ; le filtre est colmaté pour un traitement à 2 g/m³ en alginate, soit un volume d'eau filtrée de 120 m³/m² et une capacité de rétention de 1 000 g/m².

La perte de charge totale est de 250 cm de colonne d'eau.

4. Etude de l'équilibre calco-carbonique de l'eau traitée

Ce paramètre est important car il conditionne les éventuels phénomènes de corrosion sur les réseaux de distribution de l'eau potable.

En ce qui concerne l'eau filtrée sur pilote (calculs joints en annexe), celle-ci est à l'équilibre et ne nécessite donc pas de traitement de correction.

5. Conclusion sur les essais pilote

L'élimination de l'Arsenic est effective par traitement de coagulation directe sur filtre.

Une dose de 15 g/m³ de chlorure ferrique (solution commerciale) permet d'atteindre une teneur résiduelle moyenne de 15 µg/l (Tableau 5) d'Arsenic dans l'eau filtrée, valeur nettement inférieure à la norme (CMA = 50 µg/l).

Les essais effectués montrent que si l'on cherche un résiduel minimum, il faut augmenter fortement les doses de coagulant (30 à 60 g/m³).

L'adjuvant le mieux adapté est l'aginate au taux de 2 g/m^3 , ce qui permet d'éviter la crevaison du filtre, et donc un relargage d'Arsenic sur le réseau.

VIII. ETUDE DES EAUX DE LAVAGE RE FILTRE

La turbidité et les matières en suspension sont mesurées au cours du lavage à la fin d'un cycle de filtration (Graphes 17 et 18).

On observe qu'après trois minutes de rinçage, la turbidité est de 1 NTU pour une concentration en MES de 3 mg/l, ce qui est tout à fait correct pour une fin de rinçage de filtre, ce qui correspond à une perte d'eau de lavage de 5 % par rapport au volume d'eau brute.

La vitesse de décantation des boues de lavage (Graphe 19) est de 0,3 cm/h sur un échantillon moyen.

le calcul de la charge massique décantable indique une valeur de $2,8 \text{ kg/m}^2/\text{h}$.

Sur une base de $10 \text{ m}^3/\text{h}$ 24 heures sur 24, la perte en eau de lavage sera de 12 m^3 par jour correspondant à une production de 2,4 kg de matières sèches dont 100 g d'Arsenic.

Les boues de lavage de filtre seront stockées dans une bache de volume utile 20 m^3 permettant leur décantation statique entre deux lavages de filtre.

Le surnageant sera recyclé en tête de traitement par une pompe flottante située dans la bache de stockage.

Les boues concentrées en fond de la bache seront pompées périodiquement pour être évacuées.

Un traitement complet permettant la production de boues pelletables nécessiterait la filière de traitement suivante :

- Epaissement avec injection de polymère (2 à 3 kg/tonne de matières sèches)
- Centrifugation au filtre presse
- Evacuation en décharge par bennes.