

**INSTITUT DE MECANIQUE DES FLUIDES- CNRS - UMR 7507**  
**UNIVERSITE LOUIS PASTEUR DE STRASBOURG**  
2, rue Boussingault - 67000 Strasbourg  
Tel : 03.88.41.65.50 -Fax : 03.88.61.43.00

**BURGEAP**  
**AGENCE DE STRASBOURG**  
15, rue du parc- 67088 Oberhausbergen  
Tel : 03.88.56.85.30 - Fax : 03.88.56.85.31

## **REGION ALSACE**

### **RAPPORT FINAL**

# **ETUDE DE L'EVOLUTION DE LA POLLUTION DE LA NAPPE D'ALSACE PAR DES ORGANOCHLORES VOLATILS AU DROIT ET A L'AVAL DE BENFELD**

Septembre 1999

## Sommaire

|                    |   |
|--------------------|---|
| Liste des figures  | 3 |
| Liste des tableaux | 4 |



## INTRODUCTION 5

### A. SIMULATION TRIDIMENSIONNELLE DE LA POLLUTION A L'AVAL DE BENFELD 5

#### 1. OBJECTIFS 5

#### 2. ELABORATION DU MAILLAGE 3D 7

2.1. Présentation de l'aire d'étude 7

2.2. Localisation et origine des données lithologiques 7

2.3. Analyse lithologique 10

2.3.1. Rappel du contexte géologique récent 10

2.3.2. Analyse des données lithologiques 10

2.3.3. Etalonnage des perméabilités 11

2.4. Géométrie du modèle 12

#### 3. LE MODELE HYDRODYNAMIQUE 3D 12

3.1. Données initiales 12

3.1.1. Conditions aux limites et **conductivités** hydrauliques adoptées 12

3.1.2. Prélèvements en eau 13

3.2. Résultats de la modélisation 15

#### 4. LE MODELE DE TRANSPORT 3D 16

4.1. Hypothèses retenues 16

4.1.1 Localisation de la source de pollution 16

4.1.2 Géométrie de la source de pollution 16

4.1.3 Evolution de la source de pollution au cours du temps 17

4.2. Résultats de la simulation du transport 18

### B. ETUDE DE LA MISE EN PLACE DES SYSTEMES DE DEPOLLUTION 28

#### 1. OBJECTIFS DE L'ETUDE ET METHODOLOGIE 28

#### 2. PRESENTATION DES SCENARIOS RETENUS ET LOCALISATION DES SYSTEMES DE DEPOLLUTION 29

2.1 Présentation des scénarios 29

2.2 Localisation des puits de fixation et de dépollution 29

#### 3. RESULTATS DES SIMULATIONS 31

3.1 Simulation sans dépollution 31

3.2 Scénarios 1, 2, 3, 4 et 5 3.5

3.1.1 **Présentation** des simulations concernant le scénario 1 35

|       |   |    |
|-------|---|----|
| 3.1.2 | Présentation des simulations concernant le scénario 2               | 36 |
| 3.1.3 | <b>Présentation</b> des simulations concernant le <b>scénario 3</b> | 39 |
| 3.1.4 | Présentation des simulations concernant le scénario 4               | 41 |
| 3.1.5 | Présentation des simulations concernant le scénario 5               | 41 |

**CONCLUSION GENERALE** **44**

|                               |       |           |
|-------------------------------|-------|-----------|
| Liste des documents consultés | _____ | <b>46</b> |
|-------------------------------|-------|-----------|

|                   |       |    |
|-------------------|-------|----|
| Liste des annexes | _____ | 47 |
|-------------------|-------|----|

## INTRODUCTION

Ce travail s'inscrit dans le cadre de l'étude de l'évolution de la pollution de la nappe d'Alsace par des organochlorés volatils au droit et à l'aval de Benfeld. Les objectifs de l'ensemble de ce travail sont :

- simuler l'état actuel de la contamination en tenant compte de l'ensemble des données acquises de 1992 à 1999 ;
- optimiser l'emplacement d'un ou plusieurs puits de dépollution et leur débit de pompage.

Les travaux de modélisation ont été découpés en trois parties :

- une simulation de l'hydrodynamique 2D pour déterminer les directions et les vitesses d'écoulement pour une zone s'étendant de Kogenheim à Strasbourg. Cette partie a déjà fait l'objet d'un rapport (IMF-BURGEAP, 1995) ;
- une modélisation hydrochimique 3D pour l'étude de l'extension de la pollution de 1971 à 1999 (Partie A du **présent** rapport) ;
- les simulations de plusieurs scénarios de dépollution (Partie B du présent rapport).

## A. SIMULATION TRIDIMENSIONNELLE DE LA POLLUTION A L'AVAL DE BENFELD

### 1. OBJECTIFS

Ce présent rapport concerne les travaux de modélisation de l'évolution de la pollution de la nappe d'Alsace par des organochlorés au droit et à l'aval de Benfeld. Il fait suite à la modélisation hydrodynamique 2D qui a permis de connaître globalement le comportement de la nappe dans une zone comprenant Benfeld et Erstein. Elle a également permis de préciser les captages susceptibles d'être contaminés par la pollution de Benfeld et d'effectuer une première approche des temps de parcours.

Cette phase vise à décrire le devenir du polluant dans la nappe, de Benfeld à l'aval d'Erstein. Elle s'appuie sur les résultats issus de la modélisation en 2D mais appliquée à un secteur plus restreint défini dans le cahier des charges (figure 1).

Cette étude n'a pas pour objectif de définir les risques encourus pour de nouveaux forages implantés après 1994 ou prévus. Elle vise à simuler la situation actuelle et à prévoir l'extension de la zone contaminée à partir des conditions aux limites **fixées** pour la situation actuelle et sans aucune mesure de dépollution. Le calage du modèle sera effectué sur l'ensemble des données recueillies de 1992 à 1999.

Cette étude comporte successivement :

- une **modélisation hydrodynamique 3D en régime permanent** pour obtenir :
  - la distribution moyenne de la piézométrie
  - la distribution des champs de vitesse 3D
- une **modélisation multiphasique 3D de l'infiltration du solvant** pour déterminer :
  - l'extension du corps d'imprégnation
  - le temps de transfert de la surface du sol jusqu'à l'équilibre
- une **modélisation 3D de la propagation du solvant dissous en régime transitoire** qui dresse l'évolution des concentrations au cours du temps dans l'aquifère et dans les puits AEP.

## CONCLUSION GENERALE

A partir des résultats de la modélisation bidimensionnelle, un modèle hydrodynamique 3D a été développé à une échelle plus fine afin de générer une bonne approximation du champ de vitesse nécessaire au couplage de l'écoulement et du transport. Le modèle est construit à partir des résultats du modèle 2D et d'une étude lithologique effectuée sur la base de données issues de coupes techniques de forage. Le modèle hydrodynamique 3D construit en régime permanent (écoulement moyen) a permis de dresser une carte de la piézométrie moyenne conforme aux résultats obtenus lors de la première phase de l'étude.

La **localisation** et l'extension géométrique de la source ont été estimées à partir des mesures effectuées lors de la mise en place du forage 308-1-155, par un calcul simplifié et par une modélisation multiphasique 3D de l'infiltration du solvant. La durée de la migration verticale du solvant a été estimée à une année, la profondeur atteinte est de l'ordre de 30 m soit environ 25 m sous la surface de la nappe, ce qui correspond à une surface d'infiltration de l'ordre de 10 à 40 m<sup>2</sup>. La reconstruction de l'évolution des concentrations en CC4 à l'aval immédiat du corps d'imprégnation a été réalisée en utilisant les analyses des prélèvements effectués dans une quarantaine de piézomètres à faible profondeur.

L'extension du panache est bien restituée par le modèle. Globalement, le calage mené en régime transitoire reproduit les observations réalisées de 1992 à 1999. Les résultats de ces simulations mettent en évidence l'existence d'un panache de pollution de direction Nord Nord-Est caractérisé par une faible extension latérale. La partie supérieure de l'aquifère est la zone où l'on observe les concentrations les plus **élevées**. La norme OMS, qui est de 2 µg/l, est dépassée en de nombreux points du domaine.

A partir de la description tridimensionnelle du panache de CC4, plusieurs scénarios de dépollution ont été simulés. Les objectifs de ces scénarios sont d'empêcher l'extension de la pollution à l'aval de la source d'une part, et de récupérer le solvant sous forme dissoute déjà présent dans la nappe à l'aval de la source d'autre part. Les nombreuses simulations **réalisées** ont permis d'optimiser les caractéristiques (localisation, profondeur **crépinée**, débit pompé) d'un puits de fixation situé à l'aval immédiat de la source et de barrières de dépollution constituées d'un ensemble de puits de pompage. Le tableau 12 regroupe les principales données permettant de guider le choix d'une méthode de dépollution. Le scénario 1, qui consiste à n'installer que le puits de fixation à la source, n'est pas présenté. En effet, la source de pollution n'est pas suffisamment connue pour faire ce type de conjecture.

Dans tous les cas, les puits situés en aval d'**Erstein** sont peu contaminés par le solvant, compte tenu des concentrations envisagées à la source. Les ouvrages situés plus en aval, hors du domaine d'étude, peuvent bénéficier d'un éventuel système de protection supplémentaire par l'intermédiaire des gravières situées dans l'axe du panache.

|                     | Durée<br>(années) | Masse recueillie<br>(kg) | Conc. maximale<br>des rejets ( $\mu\text{g/l}$ ) | Conc. estimée<br>au niveau des<br>cours d'eau<br>( $\mu\text{g/l}$ ) | coût<br>(kF HT) |
|---------------------|-------------------|--------------------------|--|--|-----------------|
| <b>Scénario 2</b>   |                   |                          |  |  | 18800           |
| Source              | ?                 | ?                        | 5000   | 46   |                 |
| Amont Erstein       | 17                | 3150                     | 25   | 1.6  |                 |
| <b>Scénario 3</b>   |                   |                          |  |  | 18870           |
| Source              | ?                 | ?                        | 5000   | 46   |                 |
| Aval Erstein        | 24                | 2200                     | 17   | 1.4  |                 |
| <b>Scénario 4</b>   |                   |                          |  |  | 17760           |
| Source              | ?                 | ?                        |  |  |                 |
| Limite aval panache | 29                | 550                      | 1  | < 1  |                 |
| <b>Scénario 5</b>   |                   |                          |  |  | 27440           |
| Source              | ?                 | ?                        | 5000   | 46   |                 |
| Aval Erstein        | 24                | 2200                     | 17   | 1.4  |                 |
| Limite aval panache | 16                | 260                      | < 1  | < 1  |                 |

**Tableau 12 : Synthèse portant sur les différents scénarios de dépollution**

Compte tenu de la démarche que nous avons retenue et de la bonne qualité du calage du modèle hydrochimique 3D, les incertitudes portant sur l'évolution future des concentrations à la source influent peu sur les caractéristiques (localisation, profondeur et débit de pompage) des ouvrages de dépollution et de fixation. En effet, l'optimisation menée pour le puits de fixation à l'aval immédiat de la source montre que ses caractéristiques dépendent essentiellement de la surface et de la profondeur d'infiltration du solvant lors de l'accident et des paramètres hydrodynamiques à proximité de la source. Pour les barrières hydrauliques de dépollution, leurs caractéristiques dépendent des paramètres hydrodynamiques retenus pour le modèle et de l'extension du panache, extension qui est bien restituée par le calage. Seule la durée de fonctionnement du puits de fixation dépend de cette évolution, Cvolution difficile à prévoir comme le montrent les résultats d'analyses récentes.

L'ensemble des caractéristiques des puits de fixation et dépollution obtenus doivent être considérés comme des ordres de grandeur. Ces caractéristiques ont été estimées à l'aide de paramètres hydrodynamiques et hydrochimiques définis à partir de quelques informations partielles et par calage du modèle. La profondeur et le débit de pompage devront être précisés lors de la mise en place des puits. Cependant, les informations fournies par le modèle sont suffisamment fiables pour comparer les scénarios entre eux et choisir le scénario de dépollution le mieux adapté.