



DOCUMENT



n° 33497.



Agence de l'eau  
Rhin-Meuse

# Étude du Comportement des Solvants Chlorés dans le Milieu Souterrain

**1<sup>er</sup> rapport intermédiaire**  
**15 juin 2000**

*Convention inter Agences n° 99/928/07/589*

Ont contribué à la rédaction :

Baruthio Marc  
Benremita Hocine  
Bohy Martine  
Jellali Salah  
Merheb Fadi  
Muntzer Paul  
Razakarisoa Olivier  
Schäfer Gerhard

**Institut Franco-Allemand de Recherche  
sur l'Environnement (IFARE)**  
23, rue du Loess - BP 20  
67037 STRASBOURG Cedex  
Tél: 03 88 10 67 97 Fax: 03 88 10 67 95

**Agence de l'Eau Rhin - Meuse**  
«Le Longeau» - Route de Lessy  
Rozéreuilles - BP 19  
57161 MOULINS-LES-METZ  
Tél: 03 87 34 47 00 Fax: 03 87 60 49 85

# Sommaire

	Page
Sommaire .....	.1
Introduction. ....	<b>.2</b>
Chapitre 1: Etude bibliographique.....	<b>.6</b>
Chapitre II : Essais de laboratoire .....	<b>.9</b>
Chapitre III : Expérimentations sur SCERES .....	<b>.21</b>
Chapitre IV Essai exploratoire du traceur bisoluble .....	<b>.65</b>
Chapitre V : Investigations sur site réel .....	<b>.73</b>
Perspectives .....	89
Liste des tableaux.....	91
Liste des figures .....	92
Table des matières. ....	<b>.95</b>
Annexes.....	<b>.99</b>

## Introduction

Les résultats de la première convention (n° 96/928/07/566, période 1996- 1998) entre l'Agence de l'Eau Rhin-Meuse (AERM) et l' Institut Franco-Allemand de Recherche sur l'Environnement (IFARE) de l'Université Louis Pasteur et du CNRS portant sur le comportement des solvants chlorés en milieu souterrain sont consignés dans le rapport définitif soumis à l'AERM le 28 octobre 1998. L'expérimentation grandeur nature déjà menée sur SCERES (Site Contrôlé Expérimental de Recherche pour la réhabilitation des Eaux et des Sols, bassin de 25 m x 12 m x 3 m) a mis en relief comment un bassin expérimental contrôlé de grandes dimensions constitue un atout primordial dans la simulation et la compréhension des pollutions. Les travaux de recherche réalisés sur SCERES pendant cette première phase, mettant l'accent sur la nécessaire interaction entre la modélisation numérique et l'expérimentation en laboratoire, ont déjà abouti à

- la détermination des saturations résiduelles du trichloroéthylène (TCE) en zone non saturée et dans l'aquifère saturé. Ces données ont servi pour la modélisation numérique de l'écoulement triphasique eau-TCE-air. Les différentes étapes d'étude de la migration du polluant ont conduit à la connaissance de l'évolution du domaine contenant le TCE en phase (géométrie, répartition, tarissement)
- la quantification du transfert du TCE en zone non saturée (géométrie du domaine contaminé par les vapeurs, cinétique, répartition des teneurs). Sur ce plan, l'écoulement de la nappe apporte une augmentation non négligeable des concentrations grâce au transfert existant entre l'eau de la nappe chargée en traces dissoutes et l'air du sol situé au dessus de la frange capillaire
- l'évaluation de l'impact de la dissolution des vapeurs de TCE sur la contamination de la nappe avec la mise en évidence d'une extension transitoire du panache, occasionnée par l'infiltration des précipitations se chargeant de vapeurs du polluant
- l'établissement d'un bilan de masse qui fait apparaître l'importance des fuites de vapeurs de TCE de la zone non saturée vers l'atmosphère (70 % de la quantité déversée).

En accord avec l' AERM, ce 1<sup>er</sup> rapport intermédiaire de la poursuite de la convention intègre des aspects portant sur la réalisation d'un essai exploratoire de validation de traceurs bisolubles sur SCERES pour caractériser une source de solvants chlorés résiduels, et sur l'évolution des investigations sur un site réel contaminé par des solvants chlorés. Ce rapport, accompagné d'annexes, comprend donc cinq parties :

### 1- Complément de bibliographie concernant le transfert de masse dans le sous sol :

Cette partie axée essentiellement sur le comportement des solvants chlorés dans le milieu souterrain comporte des aspects nouveaux qui n'ont pas été abordés dans la précédente convention. Parmi les points qui ont suscité un grand intérêt scientifique, nous avons retenu particulièrement les mécanismes intervenant dans le transfert de masse entre le polluant, l'eau, l'air et la matrice solide. La finalité de la plupart de ces recherches (approches expérimentales et modèles numériques) était de déterminer l'effet des propriétés physico-

chimiques du contaminant et de la matrice solide sur le transfert de masse (équilibre ou cinétique) entre ces différentes phases.

## 2- Essais en laboratoire

Ils ont porté sur :

- la quantification du transfert de TCE dissous vers la matrice solide avec la détermination du coefficient de distribution entre les deux phases
- la détermination des saturations résiduelles du PCE en fonction de la saturation en eau d'une part et de l'effet de la température sur sa solubilité dans l'eau d'autre part
- la détermination des solubilités effectives de mélanges TCE-PCE

## 3- Expérimentations sur SCERES

Pour mieux valoriser les acquis de la première expérience de déversement TCE du mois de novembre 1997 sur le bassin SCERES, deux types de modélisation numérique ont été effectués :

- le transport des traces dissoutes à l'aide du logiciel MODFLOW-MT3D
- la propagation des vapeurs de TCE dans la zone non saturée à l'aide du logiciel VAPOURT (code développé par C. A. Mendoza de l'Université de Waterloo – Canada, mis à disposition à l'IMFS/IFARE).

Cet essai de base sur SCERES nous a ouvert un horizon de recherche concernant l'échange entre la phase liquide et la phase gazeuse et le rôle de la frange capillaire dans la régulation du flux des vapeurs du polluant. Pour cela, deux essais complémentaires ont été réalisés sur le bassin. Leur nécessité a été dictée dans le but d'atteindre les objectifs suivants :

- combler le manque bibliographique concernant les mécanismes de transfert de TCE sous forme vapeur de la zone non saturée vers la nappe à travers la **frange** capillaire
- suivre le passage du contaminant à travers la **frange** capillaire et déterminer le rôle de cette dernière dans la régulation du flux de pollution vers la nappe
- vérifier l'**applicabilité** de solutions analytiques proposées dans la littérature pour l'évaluation du risque de pollution de la nappe à partir des vapeurs de la zone non saturée (flux et masses)
- Comparer la pollution de la nappe induite par l'entraînement des vapeurs sous l'effet des précipitations par rapport à celle provoquée par leur simple contact avec la nappe d'eau en écoulement
- quantifier expérimentalement le flux de vapeurs de TCE quittant la zone non saturée vers l'atmosphère et le comparer à celui de la méthode **semi-empirique** utilisée dans l'essai de base sur SCERES

Cette expérimentation complémentaire a fourni des acquis métrologiques qui seront valorisés dans les expériences ultérieures, en particulier dans la frange capillaire.

## 4- Essai exploratoire du traceur bisoluble :

L'équipe de la ZAFSA 2, en collaboration avec l'Agence de l'eau Seine - Normandie, envisage d'utiliser le bassin expérimental SCERES pour tester les performances de traceurs bisolubles.

Il s'agit de mettre en œuvre par injection de traceur bisoluble, une expérimentation destinée à valider une technique de localisation et de **quantification** d'un mélange de solvants chlorés en phase résiduelle (TCE-PCE).

Des essais préliminaires en laboratoire ont été effectués afin de compléter les travaux déjà réalisés dans ce sens à l'IFP. Ces essais comportent :

- La mise au point de l'analyse des traceurs bisolubles par CPG
- La réalisation d'essais sur colonne de milieu poreux pour vérifier la sensibilité de la méthode et ses possibilités d'extension à 3D.

Une première simulation numérique des écoulements est mise en œuvre pour le dimensionnement des dispositifs d'injection et de prélèvements sur SCERES.

Cet essai exploratoire d'utilisation du traceur bisoluble sur SCERES tiendra compte des éléments nouveaux tirés des essais en laboratoire et de la simulation numérique.

## **5- Investigations sur site réel**

Un travail d'acquisition de données sur un site industriel Alsacien et d'équipements complémentaires est en phase de réalisation. Plusieurs mesures ont été déjà effectuées par le BURGEAP et l'Université de **Stuttgart/VEGAS** en vue d'une modélisation par le modèle SIMUSCOPP de l'IFP, accessible par l'IMFS et le BURGEAP. A cet effet,

- une version de SIMUSCOPP a été mise en place à l'IMFS/IFARE
- quatre nouveaux piézomètres ont été forés et équipés par les industriels pour compléter les équipements existants du site
- l'ensemble des points de suivi de la nappe a fait l'objet d'une série de mesures de niveaux piézométriques et d'analyses d'eau par BURGEAP
- plusieurs campagnes d'investigation plus détaillée ont été effectuées sur des piézomètres sensibles (mesures de vitesses avec pompage, prélèvements locaux et globaux pour analyses de solvants chlorés, (collaboration Anjou **Recherche/BURGEAP/IMFS-IFARE/VEGAS**).

Les chercheurs qui ont été particulièrement impliqués dans ce travail sont :

- Pour le Laboratoire d'Hydrodynamique et Transfert en Milieu Poreux de l'Institut de Mécanique des Fluides de Strasbourg, UMR 7507 ULP-CNRS
  - *Marc BARUTHIO, Etudiant DUT (Mai à Septembre 2000)*
  - *Hocine BENREMITA, Doctorant, bourse EGIDE ( 1998-2001)*
  - *Daniel BERTHAULT, DEA et Dipl. ENGEES (Février à Septembre 1999)*
  - *Marie BLANCHARD, DEA et Dipl. ENGEES (Février à Septembre 1999)*
  - *Martine BOHY, Doctorante, bourse ADRERUS (2000-2003)*
  - *Salah JELLALI, Doctorant, bourse EGIDE ( 1997-2000) et post-Doctorant*
  - *Paul MUNTZER, IR CNRS*
  - *Christiane OTT, Technicienne CNRS*
  - *Joseph RAPP, AI CNRS*

- *Olivier RAZAKARISOA, IR CNRS*
- *Gerhard SCHÄFER, MC ULP*
  
- Pour l'Institut Français du Pétrole
  - *Pierre LE THIEZ, Chef de projet*
  - *Thierry HUARD, Ingénieur*
  
- Pour le BURGEAP
  - *Fàdi MERHEB, Chef de projet, Directeur Agence de Strasbourg*
  - *Vincent WANTZ, Hydrogéologue*
  
- Pour Anjou Recherche
  - *Gilles BARATTO, Ingénieur*
  
- Collaborateurs VEGAS de l'Institut für Wasserbau de l'Université de Stuttgart
  - *Baldur BARCZEWSKI, Directeur scientifique de VEGAS*
  - *Katrin BATEREAU, Doctorante*

## 1- Etude bibliographique

Les caractéristiques et le comportement général des solvants chlorés ont fait l'objet d'une analyse bibliographique présentée dans le rapport final de la convention n° 96/928/07/566 d'octobre 1998 ; les références citées alors, toujours valides, sont complétées ici par celles d'autres publications consacrées à une meilleure compréhension des mécanismes intervenant dans le transfert de masse entre le polluant (DNAPL : Dense Non Aqueous Phase Liquid ou COV : Composé Organique Volatil) et les différentes phases du milieu souterrain : phase liquide, solide et gazeuse.

En annexe figurent les résumés des articles cités suivi du signe \*, n'ayant pas été résumés dans le rapport de la convention n° 96/928/07/566, ainsi que quelques publications non citées d'un certain intérêt pour l'étude des solvants chlorés.

### 1.1- Transfert de masse liquide - solide

Les mécanismes mis en jeu dans le phénomène de sorption d'un composé dissous sur la matrice solide du milieu poreux ont été étudiés par plusieurs auteurs (Schwarzenbach et Westall, 1981\* ; Lee et al., 1988\* ; Grathwohl et Reinhard, 1993). Pour des composés non polaires (cas des solvants chlorés), ce phénomène dépend non seulement des caractéristiques physico-chimiques du polluant (solubilité, diffusivité), mais aussi de la nature du support solide (surface spécifique et teneur en matière organique) (Rutherford et al., 1992\* ; Kueper et Gerhard, 1995\*) ou de la température et de l'humidité relative (Goss, 1992\*).

Le processus physique intervenant lors de ce transfert de masse est une diffusion du polluant de l'eau mobile vers la couche d'eau immobile enveloppant la matrice solide d'une part et à l'intérieur des grains d'autre part (Brusseau et al., 1991\* ; Priddle et Jackson, 1991 ; Ball et Roberts, 1991b\* ; Brusseau, 1992\* ; Grathwohl et al., 1994\* ; Fortin et al., 1997).

Généralement deux modes de transfert de masse entre les deux phases sont distingués :

- un équilibre de transfert où plusieurs isothermes d'adsorption sont proposés dans la littérature (linéaire, Freundlich, Langmuir..). Cet état d'équilibre est généralement supposé atteint en cas d'essais en batch où le produit dissous est mis en contact avec la matrice solide pendant une durée suffisante (Ball et Roberts, 1991a\* ; Wise, 1993\* ; Allen-King et al., 1997). Dans ce cas, un coefficient de distribution est généralement recherché, qui est utilisé dans les modèles de transport intégrant le transfert entre la phase liquide et la phase solide.
- une cinétique de transfert : elle est généralement observée en cas de fortes vitesses ou de faibles concentrations lors des essais en colonnes de milieu poreux (Brusseau et al., 1991\* ; Streck et al., 1995\*). La modélisation de ce processus est réalisée soit par un modèle à double site de sorption, dont le premier est en équilibre avec la phase aqueuse et le second est soumis à une cinétique (Lee et al., 1988\*) soit par un modèle de diffusion radial, diffusion qui est basée sur la loi de Fick (Brusseau et al., 1991\* ; Ball et Roberts, 1991b\*), à travers la forme sphérique des grains du sol.

### 1.2- Transferts de masse entre le polluant et les phases liquide et gazeuse

La dissolution des DNAPLs dans la zone saturée a fait l'objet de plusieurs investigations, tant sur le plan expérimental que de la modélisation (Hunt et al., 1988a\* et b\* ; Miller et al., 1990\* ; Powers et al., 1991\*, 1992\*, 1994\* ; Anderson et al., 1992 ; Johnson et Pankow,

1992\* ; Imhoff et al., 1993, 1996a, 1998\* ; Frind et al., 1999\*). Des expériences en colonnes de laboratoire (Miller et al., 1990\* ; Powers et al., 1992\* ; Imhoff et al., 1993, 1998\*) ont montré que le taux de dilution est directement lié à la vitesse de l'écoulement et à la saturation en polluant.

Comme pour le cas de la sorption, deux types de transfert sont généralement proposés : le premier suppose qu'il y a un équilibre entre les deux phases (cas de fortes saturations résiduelles et de faibles vitesses d'écoulement, Miller et al., 1990\* ; Powers et al., 1992\*), le second est décrit par une cinétique dont le taux est déterminé en fonction d'un coefficient de transfert entre les deux phases. Dans ce dernier cas, plusieurs formules empiriques pour l'évaluation de ce **coefficient** ont été établies. Elles font intervenir la surface interfaciale entre le polluant et la phase aqueuse, la vitesse de l'écoulement et la saturation résiduelle (Hunt et al., 1988b\* ; Powers et al., 1994\* ; Imhoff et Jaffe, 1994\*). Notons que ces modèles sont valables pour des configurations (milieu poreux, polluant) et des conditions (saturation en DNAPL, vitesse de l'écoulement) bien déterminées.

Les pollutions des eaux souterraines rencontrées se présentent souvent sous forme de mélanges de DNAPL. Ceci a conduit un bon nombre d'auteurs à s'intéresser au comportement des différents composés constituant le mélange. Généralement en cas de mélange de produits de même famille, la solubilité effective d'un composé **donné** est directement liée à sa fraction molaire (loi de Raoult) (Banerjee, 1984\* ; Broholm et Cherry, 1994 ; Broholm et Feenstra, 1995\*). Les modes de transfert décrits ci-dessus (équilibre instantané ou cinétique de dissolution) restent valables pour les constituants du mélange.

Vu le fort caractère volatile des solvants chlorés, un équilibre instantané est généralement atteint entre le polluant en phase et l'air au sein du corps d'imprégnation (Mendoza et Frind, 1990a et b ; Schaefer et al., 1998\*). Toutefois une cinétique de transfert peut avoir lieu en cas d'épuisement excessif de la source de pollution (Sleep et Sykes, 1989\*).

### 1.3- Transfert de masse entre le polluant dissous et l'air

Dans la zone non saturée et en cas d'absence de forces d'advection (propagation passive des vapeurs, sans précipitations), le partage entre les phases polluant dissous et l'air est supposé réversible et atteint instantanément. Cet état d'équilibre est décrit par la loi de Henry. Cependant, en cas d'opérations de décontamination ou bien d'épisodes pluvieux, une cinétique de transfert est généralement observée en colonnes de laboratoire (Gierke et al., 1990\* ; Cho et al., 1993 ; El Sha'r et Abriola, 1997\*), sur un modèle physique (Donaldson et al., 1998\*), sur le terrain (Cho et al., 1993) ou employée dans des modèles numériques (Sleep et Sykes, 1989\*, 1993\* ; Thomson et al., 1997\*).

Un équilibre quasi-parfait entre la phase vapeur et l'eau a été observé dans une expérience d'infiltration d'eau réalisée par Imhoff et Jaffé en 1994, équilibre qui a été attribué à l'homogénéité et à la stabilité du front d'eau.

Ce transfert de masse entre l'air et la phase eau dans la zone non saturée peut occasionner une pollution plus ou moins importante de la nappe en écoulement par diffusion à travers la frange capillaire (Sleep et Sykes, 1989\* ; Pankow et al., 1997\* ; Thomson et al., 1997\* ; Baehr et al., 1999\*).

Un transfert de masse assez lent de la zone saturée vers la frange capillaire et la zone non saturée peut également avoir lieu (Marrin et Kerfoot, 1988\* ; Barber et al., 1990\* ; Bishop et al., 1990\* ; McCarty et Johnson, 1993).



#### 1.4- Transfert de masse des vapeurs de contaminant vers les phases solide et liquide

Kim et al. (1998\*) ont montré par des expériences en laboratoire que le partage des gaz était le principal phénomène responsable du retardement de la plupart des composés aromatiques dans les milieux poreux non saturés. Ce partage des vapeurs de contaminants avec les solides (instantané et réversible du solide vers le gaz, voir 1.3) ne devient cependant très important qu'en présence de sols de très faible humidité, où il peut même dépasser le transfert entre phases solide et liquide (Shoemaker et al., 1990). Ainsi, pour des teneurs en eau rencontrées généralement dans le sous-sol, les grains sont recouverts d'un film d'eau qui va entraver l'adsorption des vapeurs sur la phase solide (Ong et Lion, 1991\*).

Les mécanismes de sorption de vapeurs de contaminants dans le sous-sol sont donc influencés par divers facteurs comme la teneur en eau du milieu et la température (Goss, 1992\*) : l'augmentation du taux d'humidité fait par exemple chuter le coefficient de partage du TCE (Ong et Lion, 1991\*).

Plusieurs articles abordent la simulation mathématique du transport de vapeurs (Culver et al., 1990\*), prenant en compte les paramètres influençant le transfert de masse tels que la teneur en colloïdes (Choi et Corapcioglu, 1997\*) ou la présence de deux couches de caractéristiques différentes dans le milieu poreux (Ball et al., 1997\* ; Chella et al., 1998\*).

Ces modèles de transferts de masse des vapeurs de contaminants vers les phases liquide et solide (McCray et Falta, 1997\* ; Popovicova et Brusseau, 1998\*) vont ensuite pouvoir être utilisés pour élaborer des méthodes et techniques de décontamination adaptées à chaque situation (McCray et Falta, 1997\* ; Gotpagar et al., 1998\*).

## Table des matières

SOMMAIRE .....	1
INTRODUCTION .....	2
<b>1- ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE .....</b>	<b>6</b>
1.1- TRANSFERT DE MASSE LIQUIDE - SOLIDE .....	6
1.2- TRANSFERTS DE MASSE ENTRE LE POLLUANT ET LES PHASES LIQUIDE ET GAZEUSE .....	6
1.3- TRANSFERT DE MASSE ENTRE LE POLLUANT DISSOUS ET L'AIR .....	7
1.4- TRANSFERT DE MASSE DES VAPEURS DE CONTAMINANT VERS LES PHASES SOLIDE ET LIQUIDE .....	8
<b>2- ESSAIS DE LABORATOIRE .....</b>	<b>9</b>
2.1- ESSAIS DE RÉTENTION DE TCE DISSOUS SUR LA MATRICE SOLIDE .....	9
2.1.1- Dispositif et protocole expérimental .....	9
2.1.2- Influence de la vitesse .....	10
2.1.3- Influence de la concentration en traces dissoutes .....	11
2.2- COMPORTEMENT GÉNÉRAL DU PCE .....	14
2.2.1- Détermination des saturations résiduelles du PCE sur le sable H2F .....	15
2.2.2- Solubilité du PCE .....	17
2.2.3- Solubilité du mélange TCE-PCE .....	18
<b>3- EXPÉRIMENTATIONS SUR SCERES .....</b>	<b>21</b>
3.1- VALORISATION DES ACQUIS DE L'EXPÉRIENCE DU 04/11/97 SUR SCERES .....	21
3.1.1- Modélisation numérique du transport des traces dissoutes de TCE .....	21
3.1.1.1- Présentation du logiciel .....	21
3.1.1.2- Données introduites .....	22
3.1.1.3- Résultats .....	23
3.1.2- Modélisation numérique de la propagation des vapeurs de TCE .....	25
3.1.2.1- Présentation du logiciel .....	25
3.1.2.2- Données introduites .....	26
3.1.2.3- Résultats .....	27
3.2- ESSAI COMPLÉMENTAIRE N°1 : CONTAMINATION DE LA NAPPE PAR CONTACT DIRECT AVEC LES VAPEURS .....	30
3.2.1- Déroulement de l'expérience .....	30
3.2.2- Répartition des vapeurs dans la zone non saturée, impact de la température .....	32

3.2.3- Détermination expérimentale du transfert de masse de TCE de la zone non saturée vers l'atmosphère.....	34
3.2.3.1- Protocole expérimental .....	34
3.2.3.2- Résultats.....	36
3.2.4- Suivi des traces dissoutes dans la frange capillaire .....	39
3.2.5- Suivi des traces dissoutes dans la nappe .....	41
3.2.5.1- Contamination localisée par le corps d'imprégnation .....	41
3.2.5.2- Mise en évidence de la pollution de la nappe par les vapeurs .....	43
3.2.6- Quantification de la pollution vers la nappe .....	45
3.2.6.1- Méthode expérimentale .....	45
3.2.6.2- Méthode théorique .....	45
3.3- ESSAI COMPLÉMENTAIRE N°2 : POLLUTION DE LA NAPPE APRÈS DISSOLUTION PAR LA PLUIE DES VAPEURS DE LA ZONE NON SATURÉE .....	49
3.3.1- Déroulement de l'expérimentation.....	49
3.3.2- Impact de l'arrosage sur les concentrations en vapeurs .....	51
3.3.3- Suivi du passage de la pollution vers la nappe à travers la frange capillaire .....	53
3.3.4- Pollution de la nappe : degré et extension.....	56
3.3.5- Détermination du flux de pollution vers la nappe .....	59
3.4- RÉCAPITULATIF DES RÉSULTATS DES DEUX ESSAIS COMPLÉMENTAIRES .....	60
<b>4- ESSAI EXPLORATOIRE DU TRACEUR BISOLUBLE .....</b>	<b>65</b>
4.1- OBJECTIFS .....	65
4.2- PRINCIPE DE LA MÉTHODE .....	65
4.3- TRAVAUX DE LABORATOIRE .....	66
4.3.1- Courbe d'étalonnage .....	66
4.3.2- Coefficient de partage .....	68
4.3.3- Essais sur colonne .....	69
4.4- PRÉPARATION DE L'ESSAI SUR SCERES .....	70
4.4.1 Mise en place de la pollution.....	70
4.4.2- Equipement de SCERES .....	70
4.4.3- Simulation numérique de l'écoulement .....	71
<b>5- INVESTIGATIONS SUR SITE RÉEL .....</b>	<b>73</b>
5.1- OBJECTIFS .....	73
5.2- OUTIL DE MODÉLISATION : UTILISATION DE SIMUSCOPP.....	73
5.3- RENFORCEMENT DU DISPOSITIF DE MESURES .....	74

---

<b>5.4- RÉALISATION D'UN ÉTAT INITIAL DE LA QUALITÉ DE LA NAPPE ET COMPARATIF TECHNIQUE SIJRLAREPRÉSENTATIVITÉ DES PRÉLÈVEMENTS.....</b>	<b>74</b>
<b>5.5- APPROCHE DE L'EXTENSION VERTICALE DE LAPOLLUTION : . . . . .</b>	<b>80</b>
<b>5.5.1- Mesure de vitesses.....</b>	<b>80</b>
<b>5.5.2- Mesure de concentrations.....</b>	<b>83</b>
<b>5.6- PREMIERS RÉSULTATS DE LA DÉPOLLUTION DE LANAPPE . . . . .</b>	<b>86</b>
<b>PERSPECTIVES .....</b>	<b>89</b>
<b>LISTE DES TABLEAUX .....</b>	<b>91</b>
<b>LISTE DES FIGURES .....</b>	<b>92</b>
<b>TABLE DES MATIÈRES .....</b>	<b>95</b>
<b>ANNEXES .....</b>	<b>99</b>
BIBLIOGRAPHIE .....	99
Echantillonneur de VEGAS pour les composés volatils dans l'eau souterraine .....	129
Anémomètre "Thermoflow" de VEGAS .....	131
Sonde de mesure à ultrasons d'Anjou Recherche .....	133
Coupe Technique du Forage P 203 .....	134
Coupe Technique du Forage P 204 .....	135