



**étude de terrain et de laboratoire  
sur la contamination d'un sol  
par des solvants chlorés**

---

**P. Degranges  
C. Mouvet  
P. Baranger  
C. Cruzet  
J.-H. Henry**

**avril 1995  
R 38378**

**BRGM**  
**SERVICE GÉOLOGIQUE NATIONAL**  
Département Utilisation et Protection de l'Espace géologique  
B.P. 6009 - 45060 ORLEANS CEDEX 2 - France - Tél. : (33) 38.64.34.34

## *Contamination d'un sol par des solvants chlorés*

Mots-clés : Solvants chlorés, Trichloroéthylène, Tetrachloroéthylène, Gaz de sol, Facteur de retard, Réversibilité, Colonnes de laboratoire.

En bibliographie, ce rapport sera cité de la façon suivante :

DEGRANGES P., MOUVET C., BARANGER P., CROUZET C., HENRY J.-H. (1995) - Etude de terrain et de laboratoire sur la contamination d'un sol par des solvants chlorés. Rapport BRGM R 38378, 95 p., 33 fig., 7 tabl., 6 ann.

© BRGM, 1995, ce document ne peut être reproduit en totalité ou en partie sans l'autorisation expresse du BRGM.

## **REMERCIEMENTS**

Nous remercions le Ministère de l'Environnement pour l'aide financière apportée à cette étude (subvention n° 92055 : réversibilité des mécanismes de fixation de molécules organiques toxiques par des sols). Une dotation importante allouée par la Direction de la Recherche du BRGM au sein du projet S03 a également été nécessaire pour la réalisation des travaux. L'aide apportée sur le terrain par la Direction des Services Techniques de la Mairie de DREUX a été très appréciée.

## RÉSUMÉ

Cette étude a eu pour cadre géographique une ancienne décharge sauvage où ont été déversés jusqu'à fin 89 des résidus industriels (solvants halogénés, solvants aromatiques, hydrocarbures, ...). Elle comporte deux volets.

Le premier concerne la localisation de zones polluées et l'identification de composés organiques par analyse des gaz des sols. La zone étudiée se décompose en 3 principaux niveaux géologiques : faible couverture limoneuse, puis argiles à silex (à partir de 1 m), enfin craie. Pour mettre en évidence les zones polluées, une cartographie de gaz des sols basée sur la recherche de composés organiques volatils a été effectuée. Les gaz du sol sont prélevés par pompage à partir de cannes enfoncées dans le sol, puis passés sur charbon actif pour piégeage des composés organiques éventuels, ou analysés directement sur le terrain (appareil à détection à Infra Rouge à Transformée de Fourier). Les tubes de charbon actif sont analysés ultérieurement au laboratoire par thermodésorption et chromatographie en phase gazeuse.

Ce travail a permis d'établir une cartographie de la zone étudiée en localisant la présence, la nature et l'extension en surface de solvants sur le site prospecté. Ont ainsi été détectées et localisées :

- une zone fortement polluée par du tetrachloroéthylène ( $C_{\max} = 167$  ppmv),
- une zone à teneurs élevées en composés exclusivement aromatiques (benzène, toluène, xylènes,  $C_{\max} = 186$  ppmv).

Le second volet est l'étude en laboratoire du transfert de tri- et tetrachloroéthylène (TCE et TeCE) au travers de colonnes de sol de ce site. Un dispositif expérimental permettant l'étude de ces mécanismes ou des molécules très volatiles a été mis au point.

Pour plusieurs vitesses d'écoulement de l'eau, une interaction significative entre le sol et les polluants a été mise en évidence. L'action du sol se marque par un transfert du TCE et du TeCE plus lent que celui des bromures ou iodures et par la rétention de 25 % de la masse du polluant injecté.

## TABLE DES MATIÈRES

<b>INTRODUCTION</b> .....	8
<b>1. TRAVAUX DE TERRAIN</b> .....	9
<b>1.1. Description du site</b> .....	9
1.1.1. Géologie régionale .....	9
1.1.2. Historique et données existantes .....	9
<b>1.2. Méthodologie et matériel</b> .....	13
1.2.1. Méthodologie .....	13
1.2.2. Matériel .....	19
<b>1.3. Résultats de la campagne de prélèvements de novembre 92</b> .....	20
1.3.1. Prélèvements .....	20
1.3.2. Résultats analytiques et commentaires .....	20
<b>1.4. Résultats de la campagne de prélèvements de mars 93</b> .....	27
1.4.1. Objectifs .....	27
1.4.2. Cartographie des gaz des sols .....	27
1.4.3. Tranchées .....	27
1.4.4. Résultats et commentaires .....	30
1.4.5. Mesures complémentaires au bord de l'Avre .....	40
<b>1.5. Conclusions</b> .....	40
<b>2. ÉTUDES DE LABORATOIRE</b> .....	41
<b>2.1. Matériels et méthodes</b> .....	41
<b>2.2. Les composés utilisés</b> .....	41
<b>2.3. Le milieu poreux</b> .....	41
2.3.1. Montages expérimentaux .....	41
2.3.2. Méthodes analytiques .....	44
2.3.3. Protocole expérimental .....	45
2.3.4. Modélisation hydrodynamique .....	46

<b>2.4. Résultats et discussion</b> .....	47
2.4.1. Traçages à l'iodure de sodium sur la colonne n° 1 .....	48
2.4.2. Essai de percolation de TCE et de bromures sur la colonne n° 1 .....	50
2.4.3. Traçage à l'iodure de sodium sur la colonne n° 2 .....	52
2.4.4. Percolation de TCE, de TeCE et de bromures sur la colonne n° 2 .....	53
2.4.5. Essai de percolation de TCE, de TeCE et de bromures sur la colonne n° 3 .....	57
<b>2.5. Conclusions</b> .....	60
<b>CONCLUSIONS GÉNÉRALES</b> .....	61
<b>BIBLIOGRAPHIE</b> .....	62

## LISTE DES FIGURES

Figure 1 - Localisation géographique du site étudié.....	10
Figure 2 - Carte des parcelles étudiées .....	11
Figure 3 - Géologie régionale.....	12
Figure 4 - Cartographie de novembre 92.....	14
Figure 5 - Cartographie de mars 93 .....	15
Figure 5a - Localisation des points dans la zone B6 .....	16
Figure 5b - Localisation des points dans la zone E1 .....	17
Figure 5c - Localisation des points dans la zone C2 .....	18
Figure 6 - Novembre 92/cartographie CO <sub>2</sub> .....	22
Figure 7 - Novembre 92/cartographie O <sub>2</sub> .....	23
Figure 8 - Novembre 92/cartographie TeCE .....	24
Figure 9 - Novembre 92/cartographie BTX.....	25
Figure 10 - Novembre 92/cartographie TCE.....	26
Figure 11 - Schéma du dispositif de prélèvement et mesure sur les terrain .....	28
Figure 12 - Localisation des tranchées .....	29
Figure 13 - Mars 93/cartographie CO <sub>2</sub> .....	33
Figure 14 - Mars 93/cartographie O <sub>2</sub> .....	34
Figure 15 - Mars 93/cartographie TeCE .....	35
Figure 16 - Mars 93/cartographie TeCE - zone C2 + P .....	36
Figure 17 - Mars 93/cartographie BTX .....	37
Figure 18 - Mars 93/cartographie TCE.....	38
Figure 19 - Montage expérimental et systèmes analytiques.....	42
Figure 20 - Schéma simplifié de la cellule de percolation.....	43
Figure 21 - Courbe de restitution de l'iodure à un débit de 30 ml/h (colonne n° 1).....	48
Figure 22 - Courbe de restitution de l'iodure à un débit de 6 ml/h (colonne n° 1, essai 1).....	49
Figure 23 - Courbe de restitution de l'iodure à un débit de 6 ml/h (colonne n° 1, essai 2).....	49
Figure 24 - Courbe de restitution du bromure (colonne n° 1).....	50
Figure 25 - Courbe de restitution du TCE (colonne n° 1) .....	51
Figure 26 - Comparaison pour la colonne n° 1 entre les concentrations en Br <sup>-</sup> mesurées et celles calculées par le modèle CAT4 .....	52

Figure 27 - Courbe de restitution de l'iode (colonne n° 2).....	53
Figure 28 - Courbe de restitution du bromure (colonne n° 2).....	54
Figure 29 - Courbe de restitution du TCE (colonne n° 2).....	54
Figure 30 - Courbe de restitution du TeCE (colonne n° 2).....	55
Figure 31 - Courbe de restitution du bromure (colonne n° 3).....	58
Figure 32 - Courbe de restitution du TCE (colonne n° 3).....	58
Figure 33 - Courbe de restitution du TeCE (colonne n° 3).....	59

## LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 - Résultats d'analyse sur les gaz des sols (prélèvements sur charbon actif)/novembre 92.....	21
Tableau 2 - Résultats d'analyse sur les gaz des sols (prélèvements sur charbon actif)/mars 93.....	
Tableau 3 - Résultats d'analyse sur échantillons de sols (Tranchée T3)/mars 93.....	39
Tableau 4 - Composition minéralogique obtenue par diffraction des rayons X sur le sol de Dreux.....	41
Tableau 5 - Principales conditions expérimentales des différents essais.....	44
Tableau 6 - Principaux résultats des différents essais.....	47
Tableau 7 - Résumé de quelques travaux effectués sur le transport et l'adsorption du TCE et du TeCE.....	56

## LISTE DES ANNEXES

Annexe 1 - Analyses d'août 87.....	64
Annexe 2 - Lyonnaise des Eaux/octobre 87 : note concernant la présence d'organochlorés dans les forages AEP des rives de l'Avre.....	67
Annexe 3 - Lyonnaise des Eaux/février 93 : résultats d'analyse d'organochlorés dans les forages AEP des rives de l'Avre.....	75
Annexe 4 - Protocole d'analyse des tubes de charbon actif.....	90
Annexe 5 - Essais en laboratoire sur la configuration du montage de prélèvement sur site.....	93
Annexe 6 - Reconnaissance par sondages électriques sur le site d'une ancienne décharge à DREUX.....	96

## **INTRODUCTION**

L'épandage "sauvage" de solvants industriels et ses conséquences sur l'environnement (pollution de sols ou de captages par exemple) est une des préoccupations actuelles des Pouvoirs Publics. Dans ce cadre le SRETIE a confié au BRGM l'étude d'un site où ont été déversés jusqu'à une période récente des résidus industriels divers, soupçonnés d'être à l'origine d'une pollution importante de captages pour alimentation en eaux urbaines.

L'objectif général de l'étude était double : tout d'abord une réactualisation du constat de terrain, ensuite la réalisation d'expériences de laboratoire.

La première phase a permis d'une part de préciser par analyse des gaz de sol les zones encore contaminées plusieurs années après la fin des déversements et après un décapage de surface, et d'autre part d'identifier le plus grand nombre possible de composés présents. Au cours de cette phase, le BRGM a également assuré la coordination et la logistique des sondages nécessaires au LCPAE (INSA Lyon ; Mr BLANCHARD) pour la réalisation de dosages dans les sols (convention n° 92053).

Dans la seconde phase, un protocole a été développé pour l'étude du transfert de solvants chlorés au travers de colonnes de sols très argileux. La capacité de rétention du trichloroéthylène (TCE) et du tetrachloroéthylène (TeCE) par le sol de la décharge a été quantifiée, en conditions saturées, pour plusieurs vitesses d'écoulement de l'eau.

Conformément à la démarche suivie pendant les travaux, ce rapport présente dans une première partie les résultats de terrain, avant de passer aux résultats de laboratoire et à la conclusion générale.

## 1. TRAVAUX DE TERRAIN

### 1.1. DESCRIPTION DU SITE

Le site étudié se trouve à l'est de Dreux, à proximité de la N 12 (fig. 1). Il s'agit d'un terrain où ont été déversés jusqu'à fin 89 des résidus de fonds de cuve, huiles usées, solvants... Cette décharge non contrôlée est suspectée d'être à l'origine de la pollution en solvants chlorés de 3 forages de la Lyonnaise des Eaux situés à 2 km au nord du site.

Le terrain retenu (fig. 2) est la pièce de Saint- Etienne, section B.P. n° 12-17, appartenant à la ville de DREUX. Il se trouve sur un plateau constitué principalement de craie crétacée, qui descend au Nord vers la vallée de l'Avre où se situent les trois stations de pompage de la Lyonnaise des Eaux où est constatée la pollution. Ce terrain a une superficie d'environ 3 ha. C'est actuellement un terrain vague, qui a servi de décharge sauvage, et qui a subi il y a un an un décapage en surface de la couche superficielle pour enlever le plus gros des déchets (matériel électro-ménager HS par exemple).

#### 1.1.1. Géologie régionale

La figure 3 donne la coupe schématique et les formations géologiques rencontrées (d'après carte géologique, feuille Chartres 1/80 000, 1938). Ces données restent d'ordre régional car il n'y a pas eu de coupe géologique précise sur le site étudié.

On rencontre les formations suivantes :

- a<sup>1</sup> - alluvions modernes, de faible importance,
- a<sup>1a</sup> - limons, développés en particulier sur les plateaux d'argile à silex, d'épaisseur de 2 à 6 mètres,
- a<sup>1b</sup> - dilluvium des vallées, composé de sables et graviers roulés, d'épaisseur de 6 à 30 mètres,
- m<sub>1</sub> - sables de Fontainebleau,
- e<sub>vb</sub> - argiles à silex, qui atteint parfois 30 à 40 mètres d'épaisseur,
- c<sub>7b</sub> - craie blanche à silex noirs,
- c<sub>7a</sub> - craie de Chartres, plus jaunâtre, coupée de silex jaunes volumineux, d'épaisseur d'au moins 70 mètres au moins.

La craie, perméable et drainante, permet l'infiltration des eaux et l'alimentation des nappes phréatiques.

#### 1.1.2. Historique et données existantes

Dès 1985, des composés organochlorés avaient été détectés à des concentrations significatives dans des forages du champ captant situé à 3 km au Nord Ouest de la ville de DREUX. En 1989, des analyses effectuées sur des prélèvements de sols issus de la décharge non contrôlée décrite ci-dessus indiquaient la présence en quantité importante des mêmes produits (annexe 1).

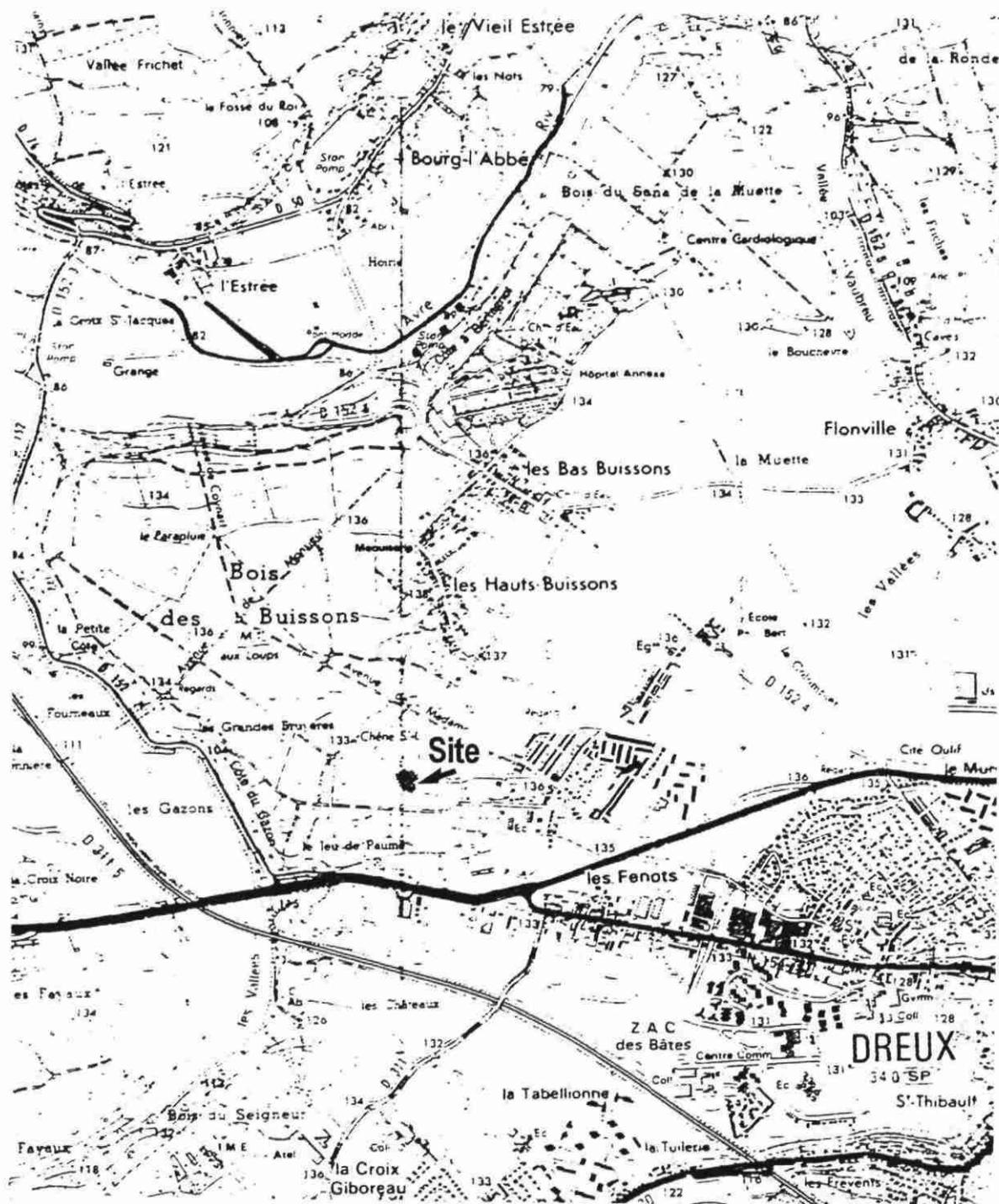


Fig. 1 - Localisation géographique du site étudié

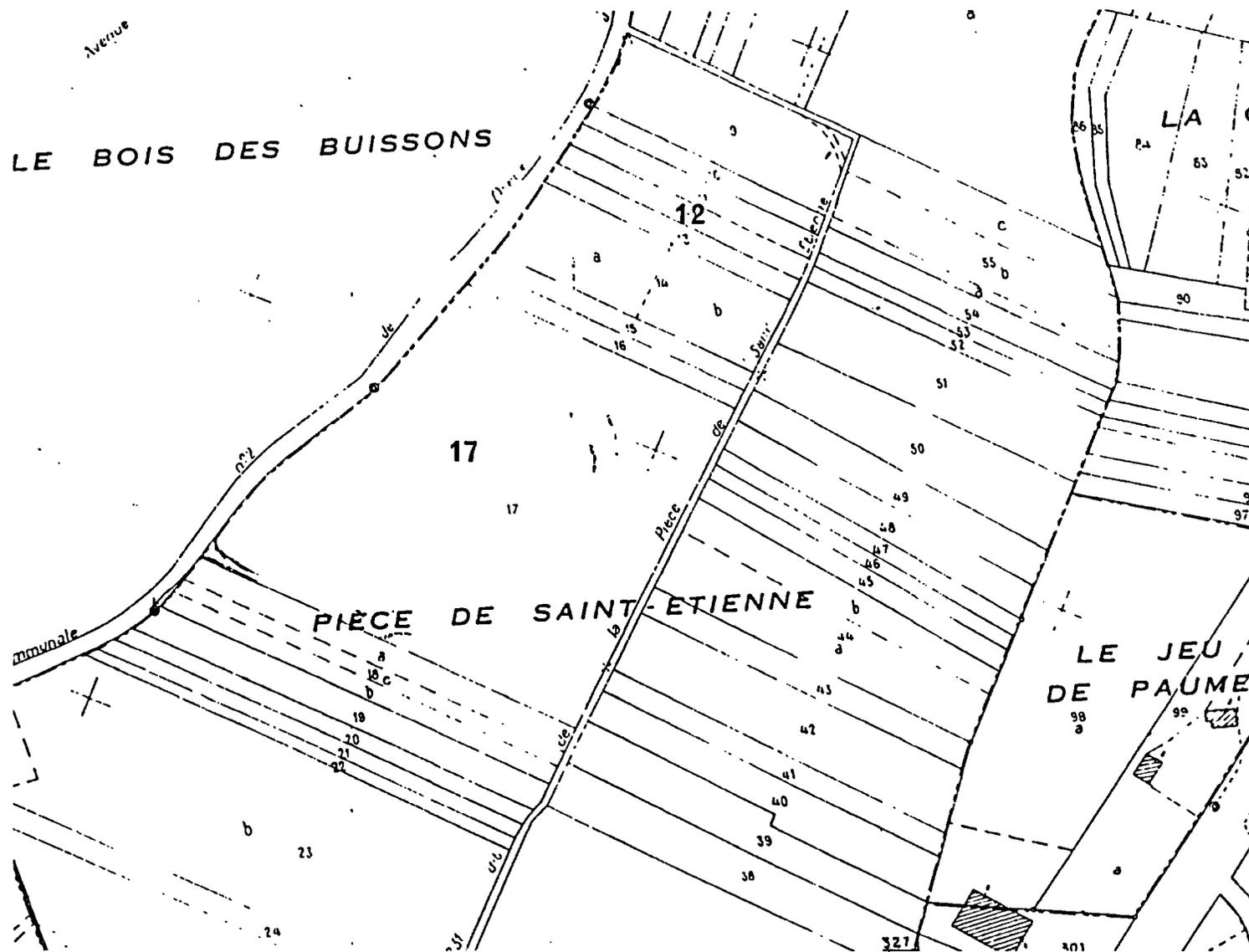


Fig. 2 - Carte des parcelles étudiées

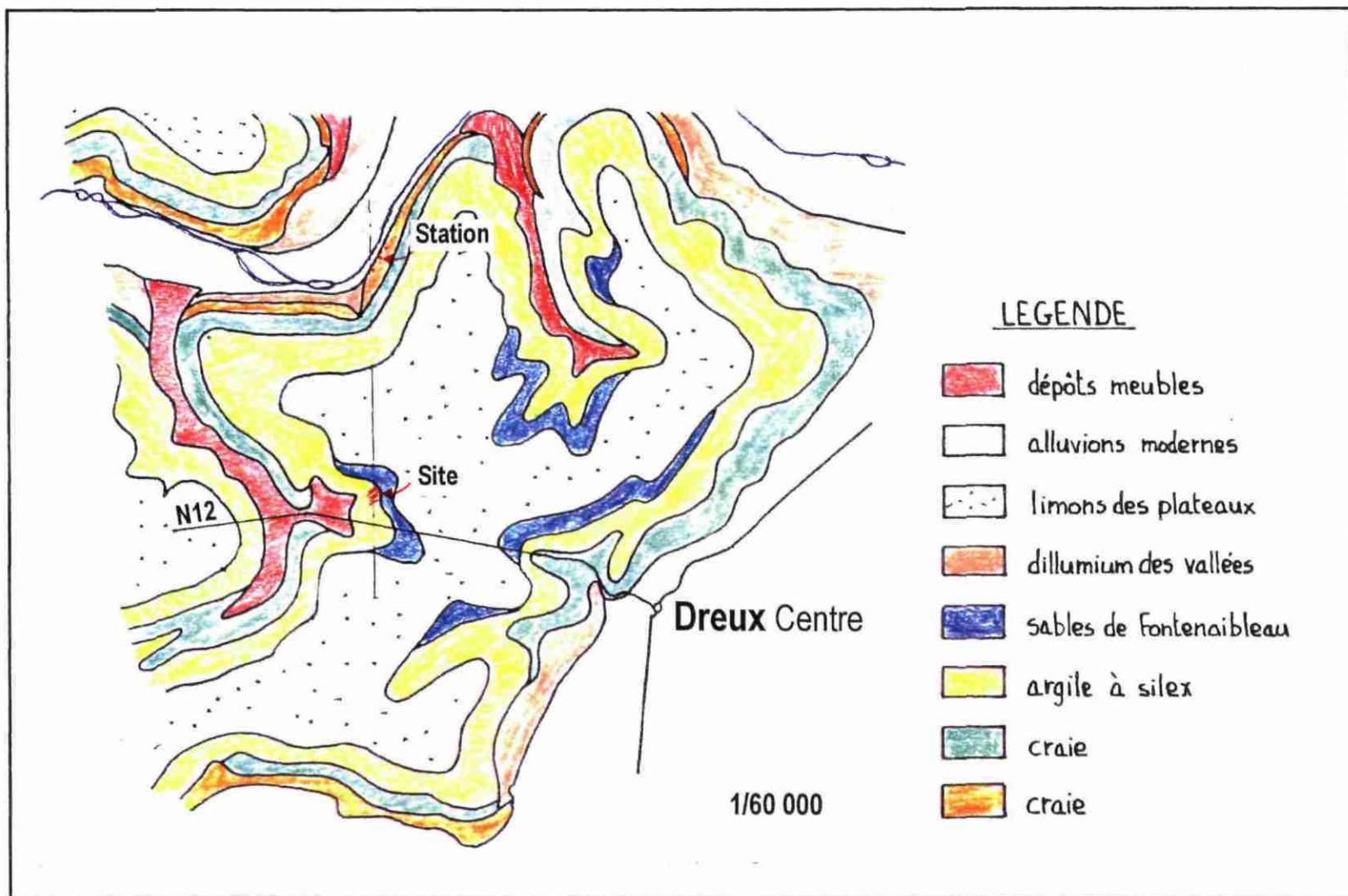


Fig. 3 - Géologie régionale

Une étude demandée en octobre 87 par la Lyonnaise des Eaux sur la caractérisation des écoulements souterrains (annexe 2) concluait à une relation hydraulique entre la décharge et le champ captant et donc au transfert des composés liquides ou solubles de la décharge dans les ouvrages du champ captant.

A la suite de ces conclusions, la ville de DREUX imposa l'arrêt des déversements de déchets industriels, bien que la situation géographique de ce terrain empêche une réelle surveillance.

Depuis 1989, les analyses chimiques effectuées régulièrement par la Lyonnaise des Eaux sur les eaux des forages concernés montrent que les composés organochlorés sont toujours présents et ne présentent pas de réelle décroissance (annexe 3).

## 1.2. MÉTHODOLOGIE ET MATÉRIEL

Deux campagnes de mesures et de prélèvements sur le site ont eu lieu, l'une en novembre 92, la seconde en mars 93. La première campagne a eu comme objectif d'établir une première cartographie des gaz des sols et de mettre en évidence des zones polluées. La deuxième visait à compléter cette cartographie, à préciser les zones polluées, et à réaliser des tranchées où seront effectués des prélèvements de sols destinés à l'analyse (groupe du Prof. Blanchard, INSA Lyon).

### 1.2.1. Méthodologie

#### 1.2.1.1. Maillage

La zone ayant bénéficié d'une autorisation d'étude par la ville de DREUX concerne les parcelles 12 et 17 de la pièce de St Etienne (fig. 1) :

- la parcelle n°17 correspond à la zone polluée et a donc fait l'objet d'investigations,
- la parcelle n° 12 a servi comme zone témoin ("blanc" pour gaz des sols et sols).

La superficie de la parcelle n°17 est d'environ 3 ha. Les renseignements issus des investigations de 1987 permettent de sélectionner comme principale zone d'intérêt une superficie de l'ordre de 1,5 ha.

Le maillage retenu est d'un point tous les 20 mètres selon la direction NE-SW. Les figures 4 et 5 précisent la cartographie réalisée lors des deux campagnes : la figure 4 correspond à l'étude préliminaire de novembre 92, reprise et complétée en mars 93 (fig. 5, 5a, 5b, 5c).

#### 1.2.1.2. Prélèvements de gaz des sols

Après avoir défini et déterminé sur le site les points à étudier les opérations suivantes sont effectuées en chaque point :

- enfoncement d'une canne dans le sol à la profondeur de 80 cm,
- installation du système de pompage et de mesure,
- purge du système (1 à 2 minutes),
- mesure de la teneur en CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>,

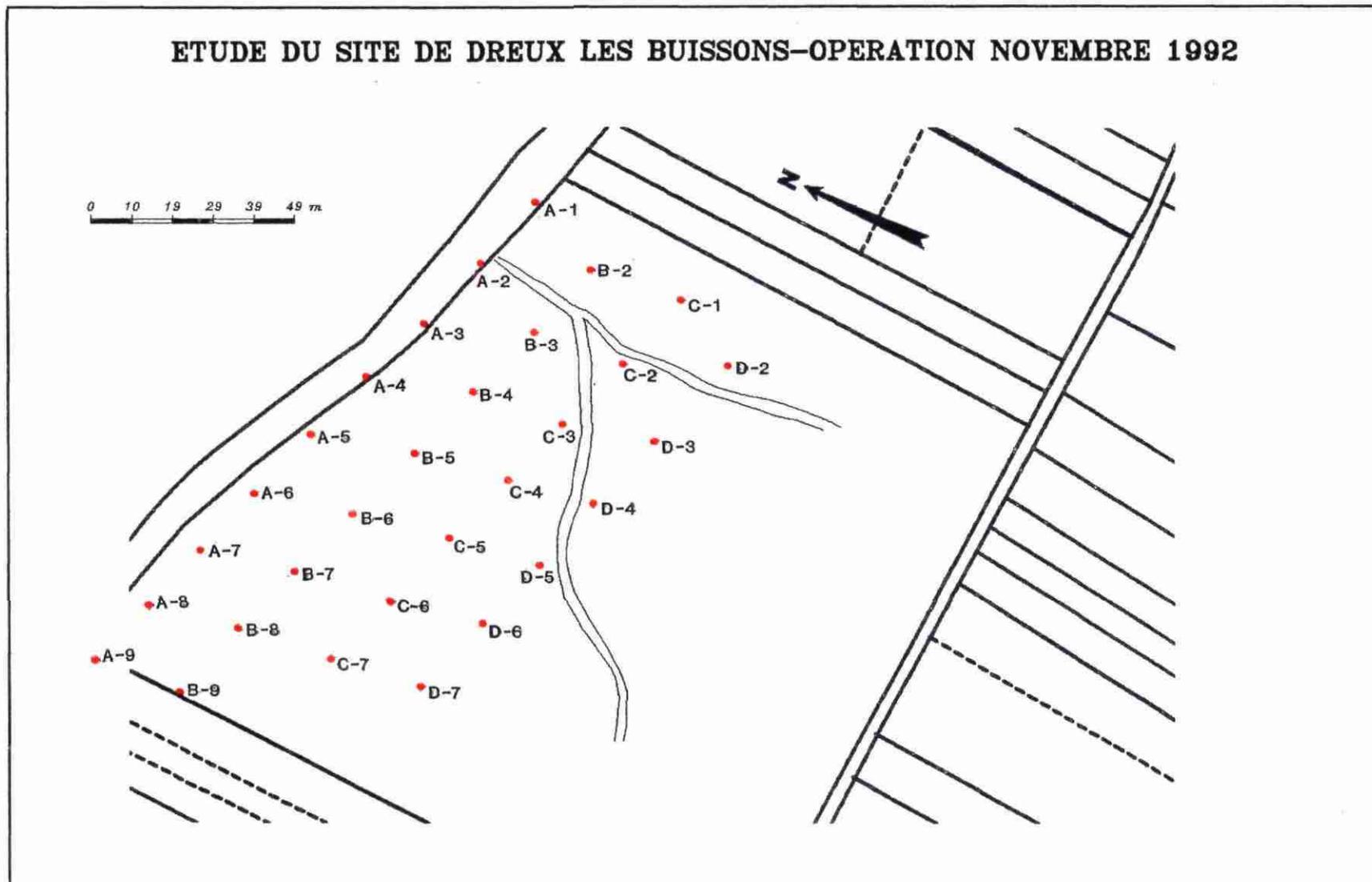


Fig. 4 - Cartographie de novembre 1992

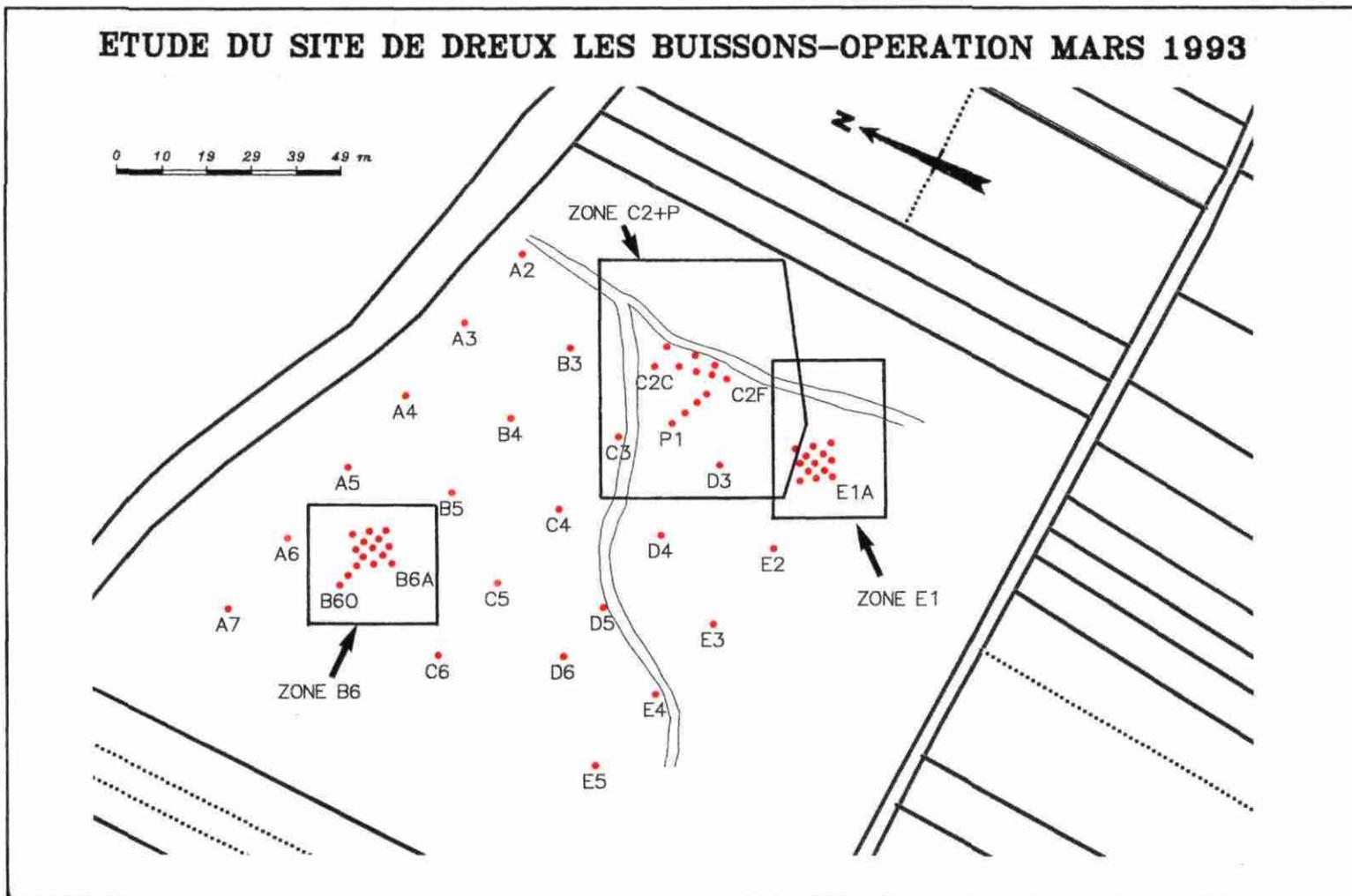


Fig. 5 - Cartographie de mars 93

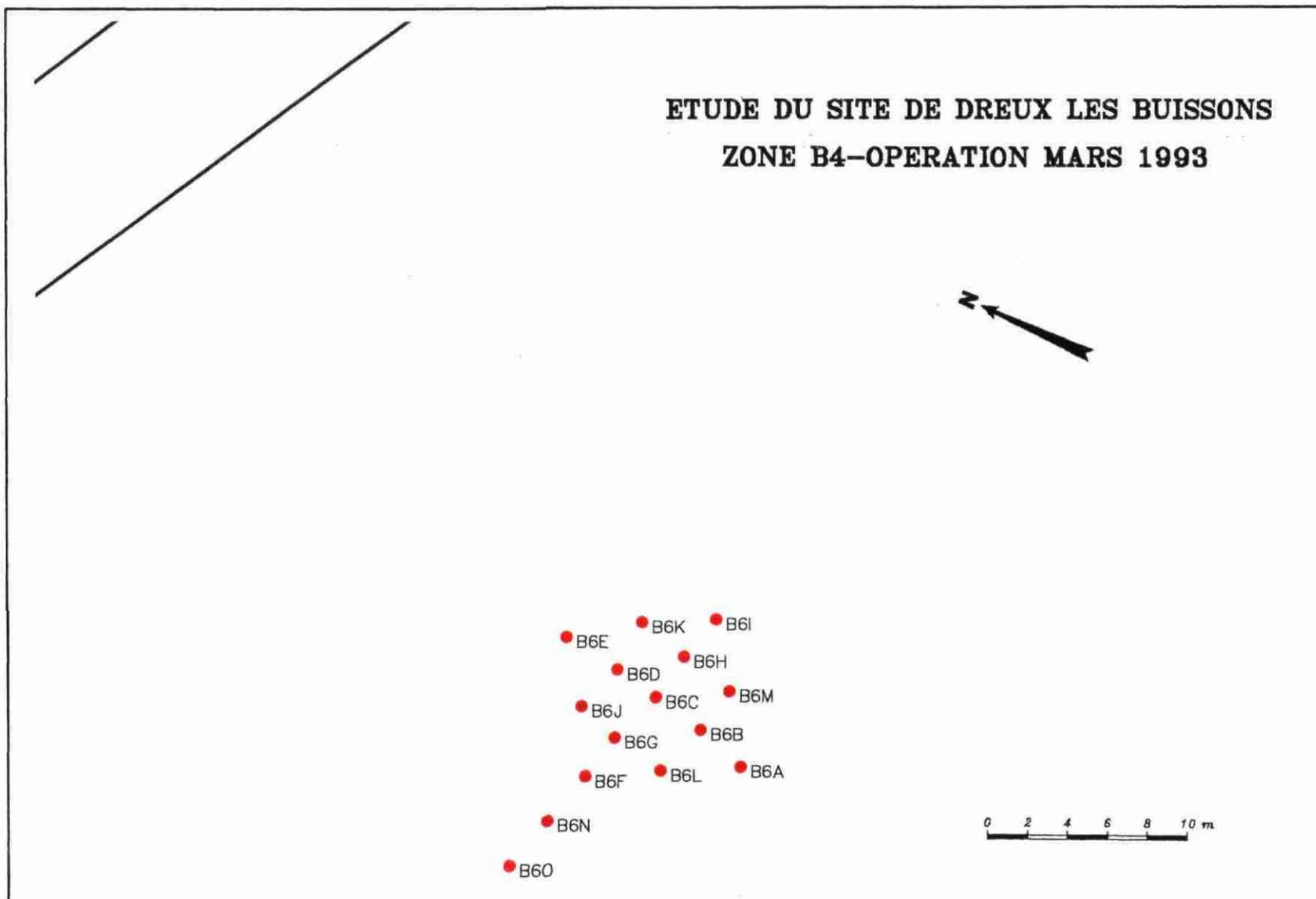


Fig. 5a - Localisation des points dans la zone B4

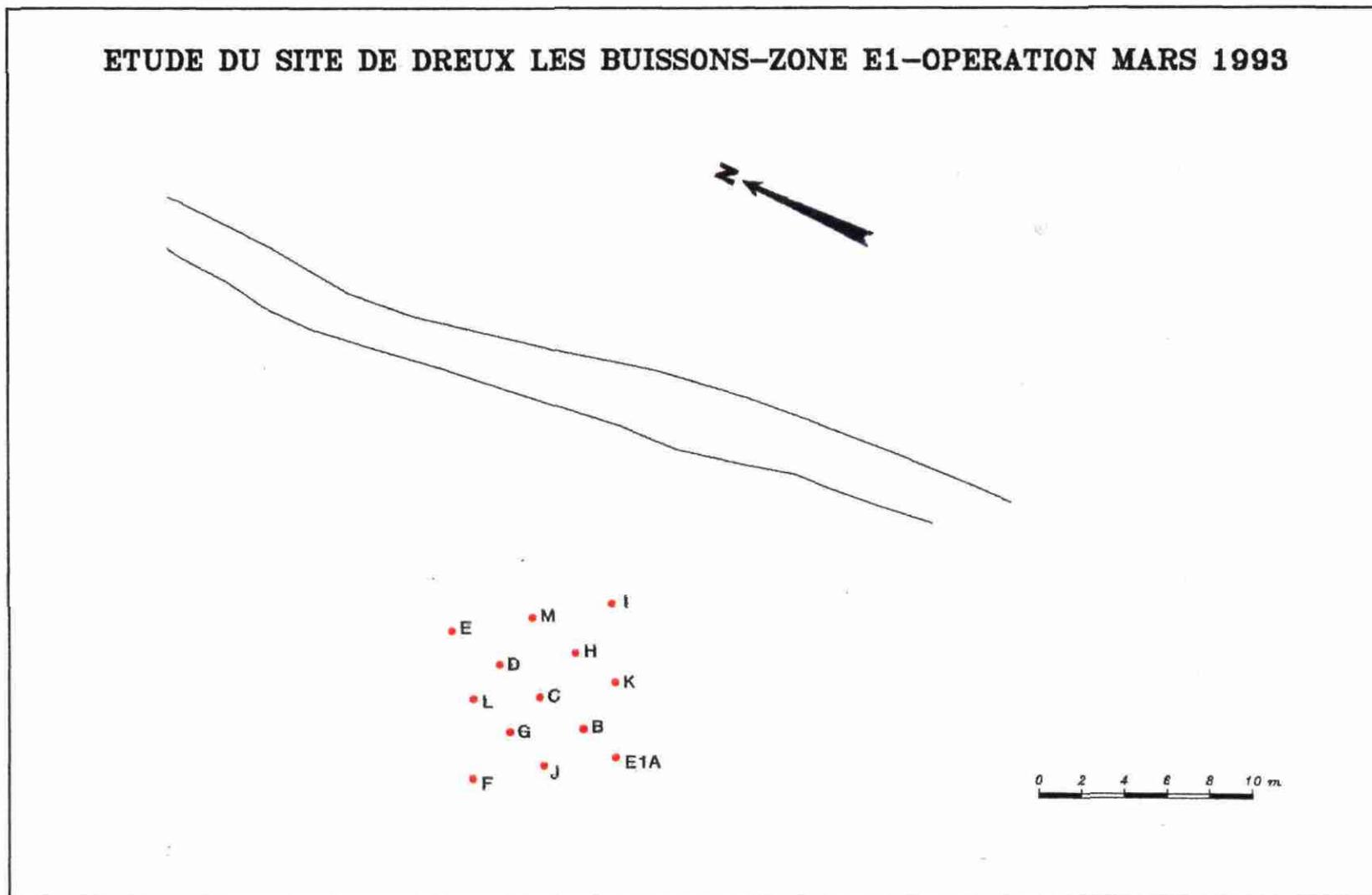


Fig. 5b - Localisation des points dans la zone E1

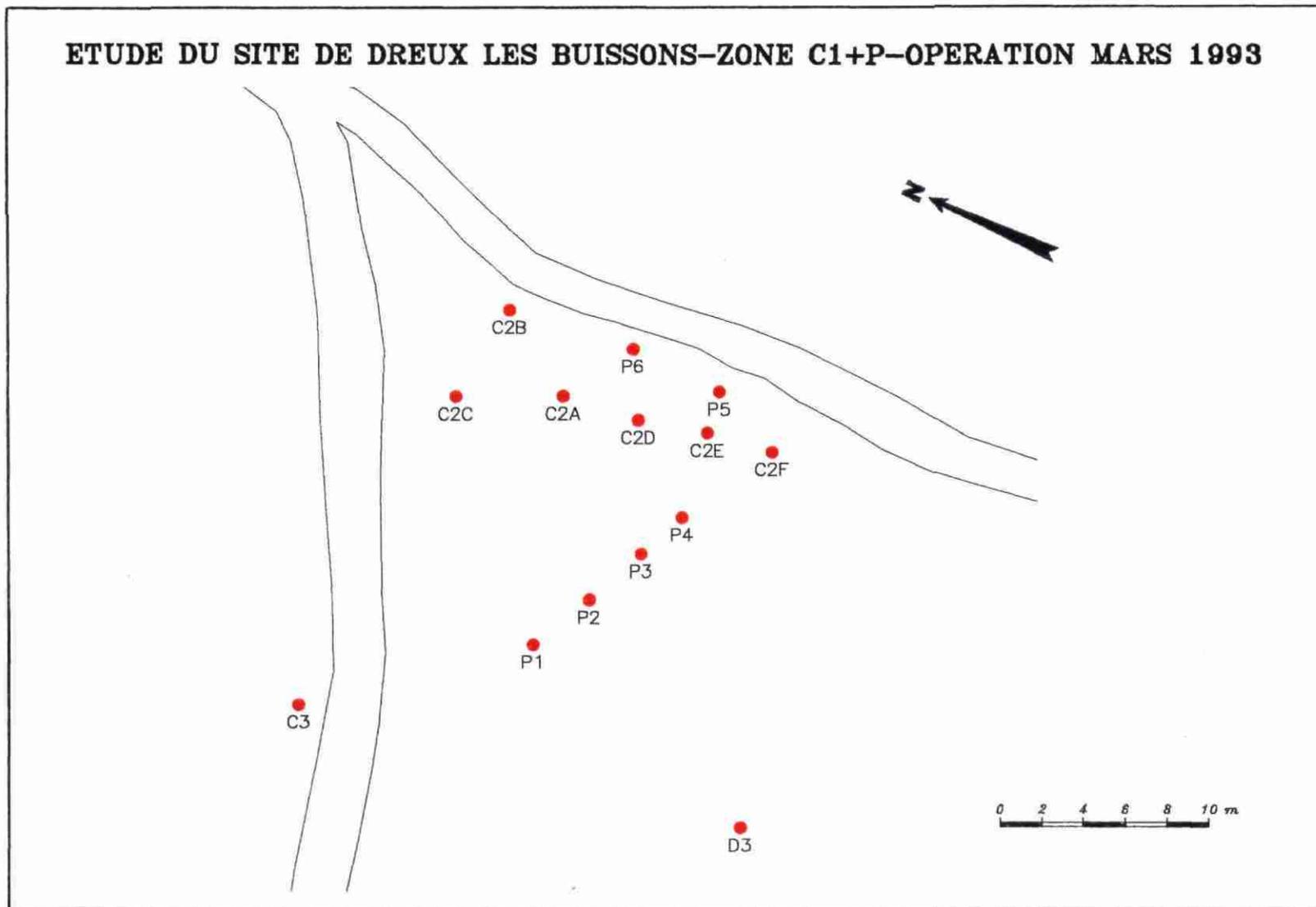


Fig. 5c - Localisation des points dans la zone C1

- adsorption sur ORBO 32 d'un volume de l'ordre de 20 litres de gaz, mais déterminé avec précision ( mesure du débit et du temps de pompage),
- analyse par spectromètre IFRT<sup>1</sup>.

L'adsorption complète des composés pompés sur les tubes de piégeage ORBO nécessite, d'après les spécifications du fabricant (SUPELCO FRANCE), de fixer le débit de pompage (mesuré entre chaque point à l'aide d'un débitmètre) entre 0,5 et 1 l/mn. Pour une détermination quantitative (norme AFNOR X 43-252) il faut prélever un volume suffisant et connaître avec précision le volume pompé afin de pouvoir comparer les mesures aux différents points (en les ramenant à une teneur par litre de gaz). A cet effet le volume pompé est compris entre 15 et 20 litres, sa valeur précise étant déterminée par la mesure en chaque point du débit et du temps de pompage.

Après piégeage sur le terrain, les tubes ORBO sont immédiatement mis dans une glacière contenant de la carboglace avant transport à ORLEANS, où ils sont conservés à basse température (freezer d'un frigidaire) au laboratoire avant analyse par désorption et chromatographie en phase gazeuse (annexe 4).

### 1.2.1.3. Prélèvements de sols

Lors de la deuxième campagne, des tranchées (10 m de long sur 1 m de large et 1,5 m de profondeur) ont été creusées sur 4 zones : 3 reconnues polluées, et 1 zone témoin. Des prélèvements de sols ont été effectués dans ces tranchées, par l'équipe de l'INSA Lyon.

## 1.2.2. Matériel

### 1.2.2.1. Cannes de prélèvement STITZ (DRAEGER)

Ces cannes sont en acier inox et comprennent deux parties distinctes. Le tube extérieur (110 cm de long, 25 mm de diamètre extérieur, 20 mm de diamètre intérieur), muni d'une pointe à son extrémité inférieure, est suffisamment résistant pour être enfoncé à l'aide d'un maillet dans différents types de sols. Une fois à la profondeur désirée, on introduit à l'intérieur de la canne un tube inox (115 cm de long, diamètre extérieur 6 mm, diamètre intérieur 1 mm) ; l'étanchéité avec la partie inférieure de la canne en fond de trou se fait par joints toriques ; la partie supérieure est reliée par tube TYGON au système de pompage.

On soulève alors la canne de 1 à 2 cm : un dispositif spécial au niveau de la pointe, fermé lors de l'enfoncement (pour éviter qu'il ne soit bouché par les particules du sol), s'ouvre alors sur le tube intérieur et le met en relation avec le sol, permettant ainsi le pompage des gaz du sol et par conséquent leur analyse ou leur piégeage.

---

<sup>1</sup> Utilisé uniquement lors de la deuxième campagne.

### 1.2.2.2. Prélèvement et piégeage

- pompe PAS 3000 (SUPELCO) à débit constant de 5 ml à 3 l par minute. La vitesse de pompage a été fixée à 1 l/mn,
- tubes ORBO 32 à charbon actif (SUPELCO) pour piégeage des composés organiques,
- débitmètre (mesure du débit de pompage),
- chronomètre (mesure du temps de pompage).

### 1.2.2.3. Analyseurs

- analyseur LFG 20 (ACS) pour mesure *in situ* de CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, O<sub>2</sub>,
- analyseur UNICAM 5020 (IRTF) pour mesure *in situ* des solvants organochlorés et aromatiques, CO<sub>2</sub>.

## 1.3. RÉSULTATS DE LA CAMPAGNE DE PRÉLÈVEMENTS DE NOVEMBRE 92

### 1.3.1. Prélèvements

30 points ont été échantillonnés sur 4 profils selon le maillage défini en 1.1.1. (fig. 4). Chaque point a fait l'objet d'une analyse CO<sub>2</sub>-O<sub>2</sub>-CH<sub>4</sub> et d'un piégeage d'environ 20 litres de gaz sur charbon actif.

### 1.3.2. Résultats analytiques et commentaires

Le tableau 1 donne les résultats obtenus sur les tubes d'adsorption.

Les figures 6 à 10 regroupent les principaux résultats obtenus. En ce qui concerne CO<sub>2</sub>-O<sub>2</sub>-CH<sub>4</sub>, seuls les deux premiers font l'objet d'une cartographie car CH<sub>4</sub> n'a été mesuré en aucun point au dessus du seuil de détection (0,01 %).

On notera ainsi principalement les réponses positives obtenues aux points suivants :

- B-4 et B-6 en TCE (trichloroéthylène) et BTX (aromatiques totaux),
- C-2 en TeCE (tetrachloroéthylène).

Les mesures de CO<sub>2</sub> et O<sub>2</sub> font apparaître des points à teneurs anormales par rapport à une composition moyenne dans les sols (0,5 à 0,8 % de CO<sub>2</sub>, 20 à 21 % en O<sub>2</sub>). Si la corrélation entre ces deux composés existe (à une augmentation du CO<sub>2</sub> correspond une baisse de O<sub>2</sub>), il n'a pu être mis en évidence de corrélation entre les points à teneurs élevées en CO<sub>2</sub> et la présence de TCE, BTX ou TeCE.

Outre ces résultats, des enseignements d'ordre méthodologique (purge des cannes, pompage, configuration de l'ensemble canne-pompage-adsorption-appareil de mesure) ont pu être tirés pour les prélèvements et mesures ultérieures.

Localisation	CO2	O2	TCM	TCE	TeCE	BENZ	TOL	PXYL	MXYL	OXYL	BTX
A-1	1.35	18.5	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0
A-2	2.3	17.4	0	0	0	0	0	0	0	0	0
A-3	1.5	19	0	0	0	0	0	0	0	0	0
A-4	1.1	19	0	0	0	0	0	0	0	0	0
A-5	1.4	18.8	0	0	0	0	0	0	0	0	0
A-6	0.8	20.4	0	0	0	0	0	0	0	0	0
A-7	0.8	20.3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
A-8	1.1	19.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0
A-9	0.7	20.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
B-2	1.0	19.6	0	0	0	0	0	0	0	0	0
B-3	1.3	18.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0.03
B-4	1.3	19.6	0	0.15	0	0	0	0	0	0	0
B-5	1.0	19.7	0	0	0	0	0.02	0	0	0	0.02
B-6	1.4	19	0	1.2	0	0	0	0	0	0	0
B-7	1.0	19.5	0	0	0	0	0.05	0	0	0	0.05
B-8	1.0	19.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0
B-9	1.4	16.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C-1	0.9	20.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C-2	1.3	18.3	0	0	0.04	0	0	0	0	0	0
C-3	1.3	19.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C-4	1.4	19.6	0	0	0.02	0	0	0	0	0	0
C-5	1.3	19.7	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C-6	1.2	19.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C-7	0.8	20.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
D-2	-	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0
D-3	-	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0
D-4	-	-	0.1	0	0	0.13	0	0	0	0	0
D-5	1.0	19.7	0	0	0	0	0	0	0	0	0
D-6	1.2	19.7	0	0	0	0	0	0	0	0	0
D-7	0.8	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0

TCM : Trichloromethane  
TCE : Trichloroéthylène  
TeCE :Tetrachloroéthylène

BENZ : Benzène  
OXYL, MXYL, PXYL : Ortho-, Meta-, Paraxylène  
BTX : Composés aromatiques totaux

Tableau 1 - novembre 92 - Résultats d'analyse sur les gaz des sols à partir des prélèvements sur charbon  
(tous les résultats sont exprimés en ppm)

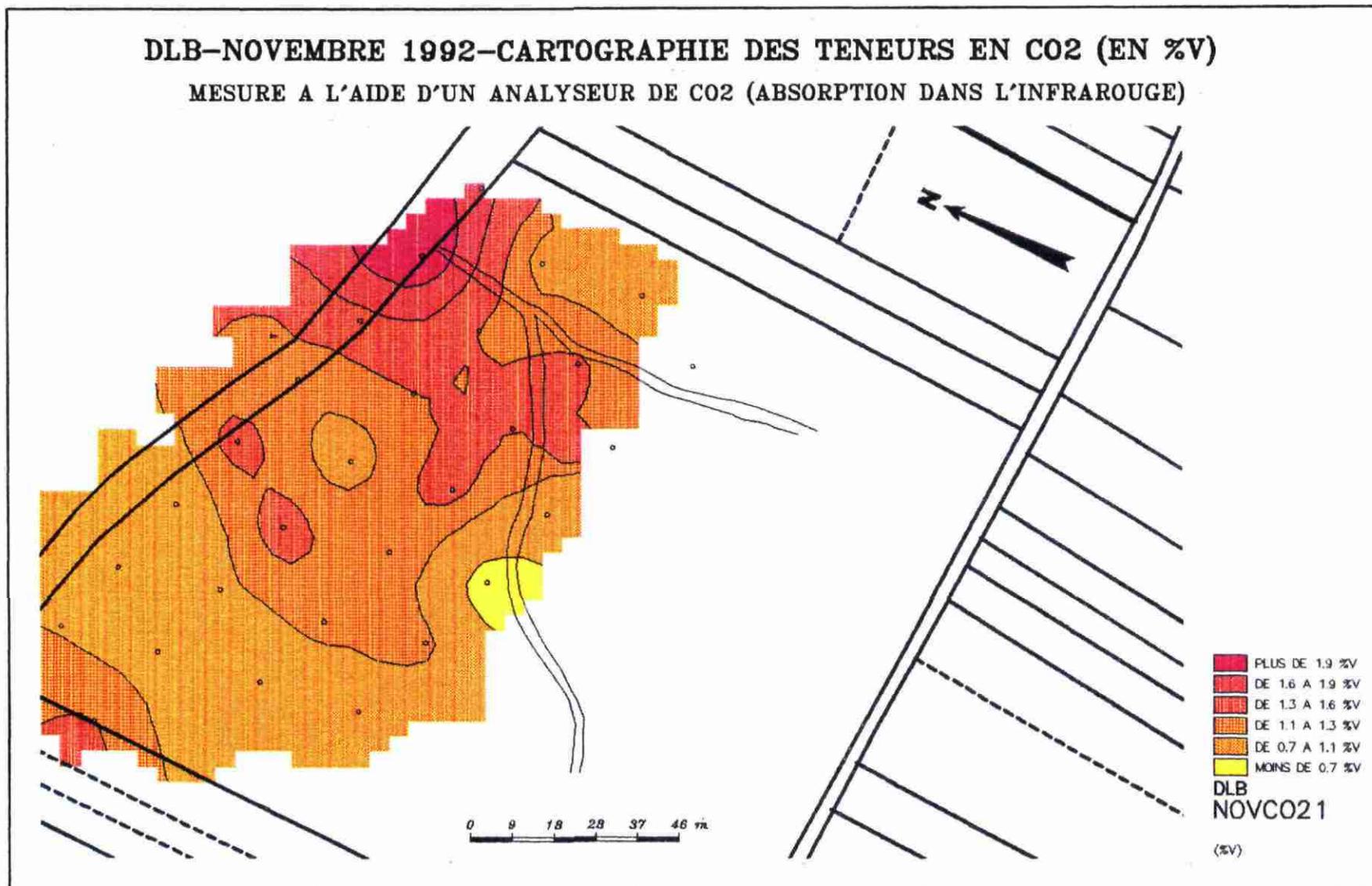


Fig. 6 - Novembre 92/cartographie CO<sub>2</sub>

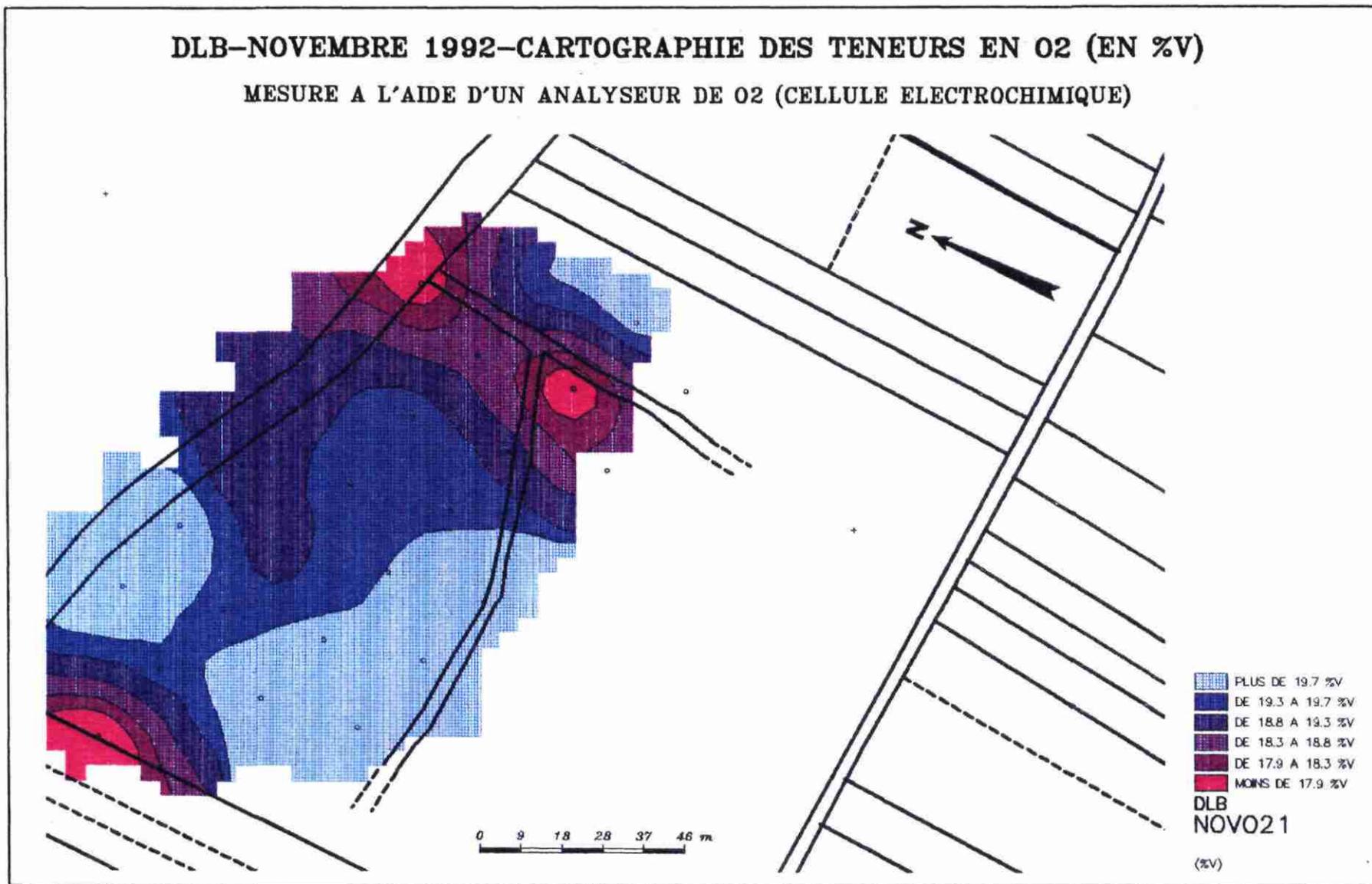


Fig. 7 - Novembre 92/cartographie O<sub>2</sub>

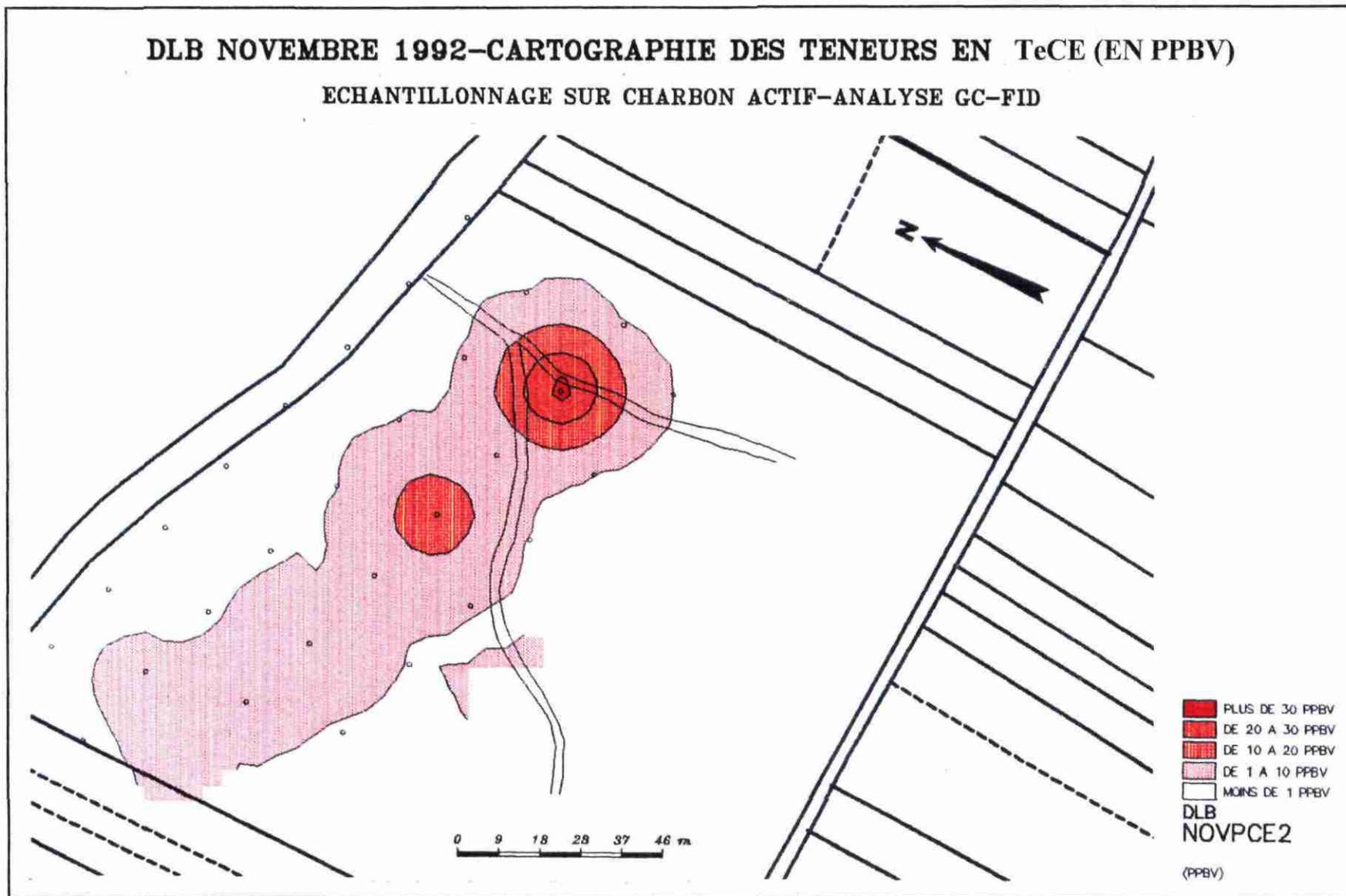


Fig. 8 - Novembre 92/cartographie TeCE

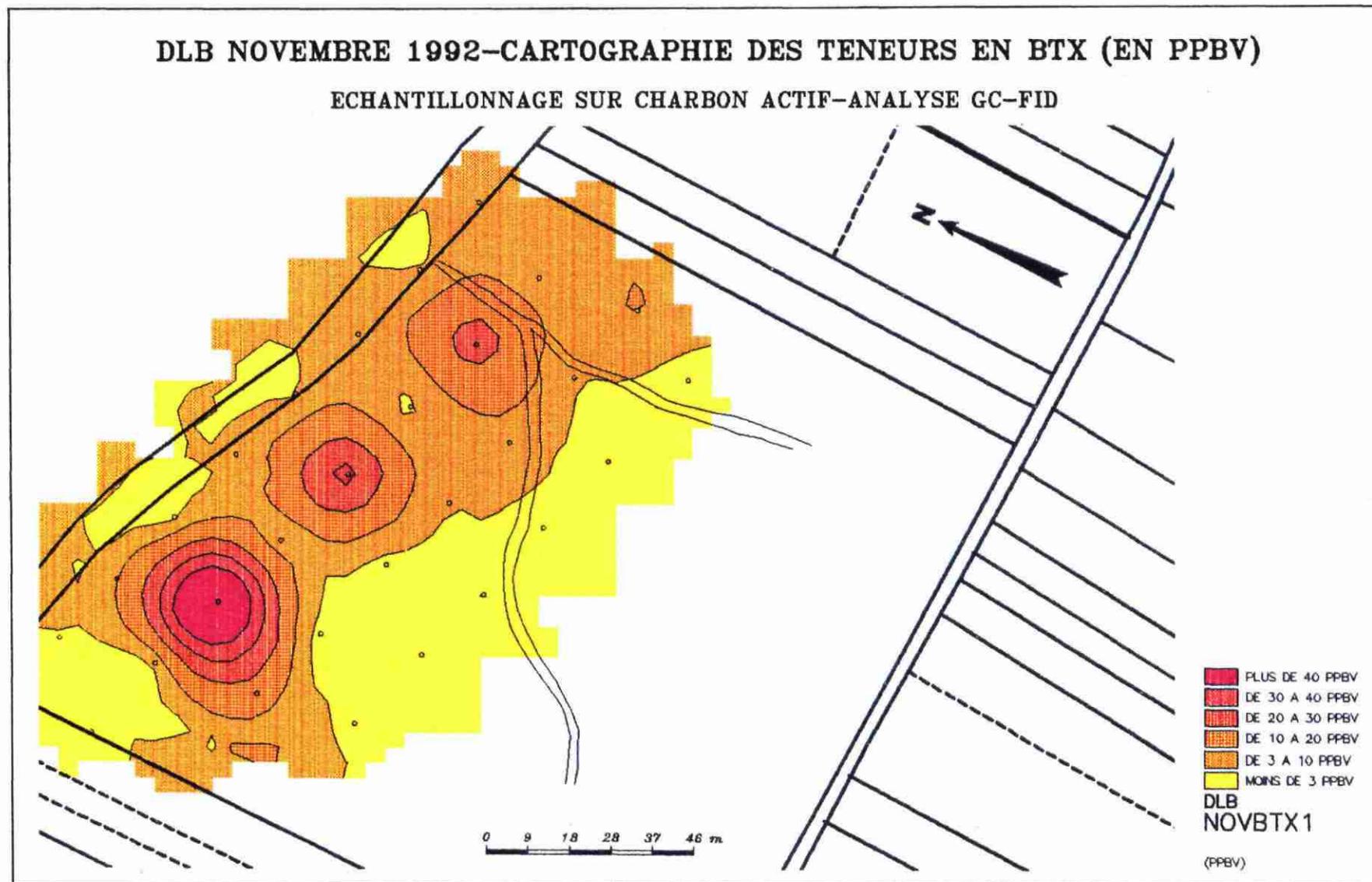


Fig. 9 - Novembre 92/cartographie BTX

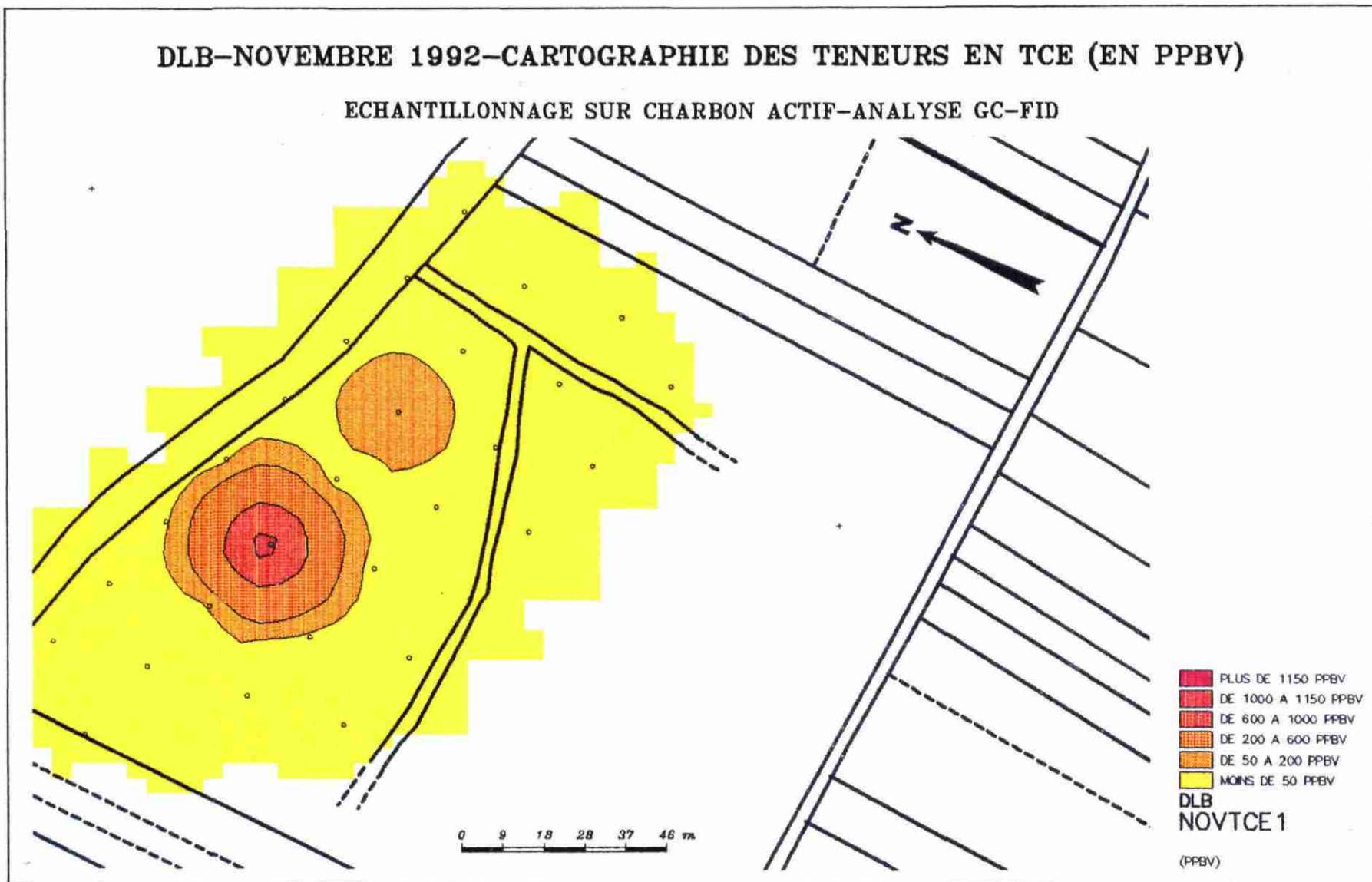


Fig. 10 - Novembre 92/cartographie TCE

A titre d'exemple, la présence effective de TCE dans les gaz des sols a pu être mise en doute en deux points (B-4 et B-6), car elle pourrait être attribuée à un artefact de pompage à travers un système non purgé totalement du composé mesuré au point précédent. Après confirmation par des essais en laboratoire, une modification de la configuration de la chaîne terrain a été réalisée et testée (annexe 5) pour la deuxième campagne de mesures (fig. 11).

## 1.4. RÉSULTATS DE LA CAMPAGNE DE PRÉLÈVEMENTS DE MARS 93

### 1.4.1. Objectifs

Cette mission a eu les objectifs suivants :

- refaire la cartographie gaz avec le même maillage et la nouvelle configuration de la chaîne gaz,
- la compléter par 3 nouveaux profils vers le Sud (zone de pollution potentielle, cf annexe 1),
- mesurer avec une plus grande densité de points les zones B-6 et C-2 de la première campagne,
- réaliser des tranchées pour faire des prélèvements de sols à fins d'analyses et effectuer des mesures de gaz à plus grande profondeur.

L'équipe du Professeur BLANCHARD (INSA Lyon) a participé à cette campagne (prélèvements en tranchées et essai d'un analyseur PHOTOVAC pour caractérisation des composés volatils). C'est par ailleurs lors de cette campagne que nous avons utilisé l'analyseur IFRT UNICAM (collaboration BRGM/ANALYSES) pour caractériser les organo-volatils des sols dans les zones à maillage serré.

### 1.4.2. Cartographie des gaz des sols

La figure 5 schématise les différents points de prélèvements, ainsi que les trois zones où davantage de données ont pu être collectées grâce à un maillage plus serré. 5 traverses ont été effectuées, limitées à l'ouest du chemin indiqué sur la carte, mais s'étendant vers le sud par rapport à la première campagne. La numérotation a été conservée d'une campagne à l'autre, bien que la localisation exacte ait pu légèrement varier d'une campagne à l'autre. Pour la cartographie principale, le pas de maillage défini en début d'étude (cf 1.1.1.) a été conservé. Pour les zones autour des points B6, E1 et C2, le pas de maillage est de 2,5 m.

Le choix des zones B6 et C2 vient des résultats de la 1ère campagne; celui de E-1 (non étudié en novembre 92) vient des rapports d'observation de 1987.

### 1.4.3. Tranchées

La figure 12 précise la position des tranchées T1, T2, T3 réalisées à la pelleuse dans les zones B6 (T1), E1 (T2), et C2 (T3) par les services Techniques de la Mairie de DREUX. Une tranchée témoin T4 de moindres dimensions (5 m x 2 m x 1,5 m) a également été réalisée : elle n'apparaît pas dans la figure 12 car elle est en dehors de cette zone. Elle a été faite dans la parcelle 12 de la pièce de Saint-Etienne (fig. 2) qui n'a subi aucun déversement.

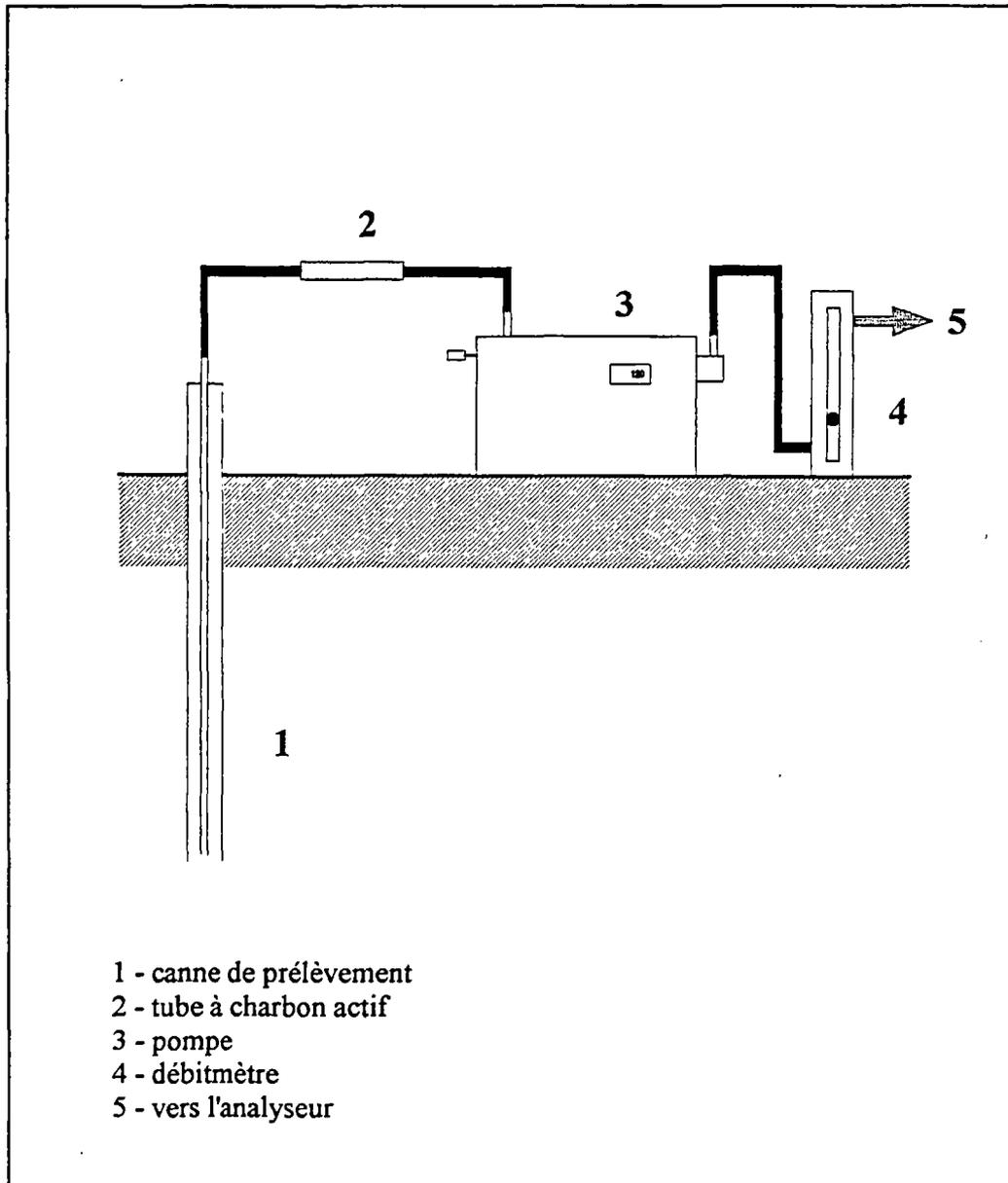


Fig. 11 - Schéma du dispositif de prélèvement et mesure sur les terrains

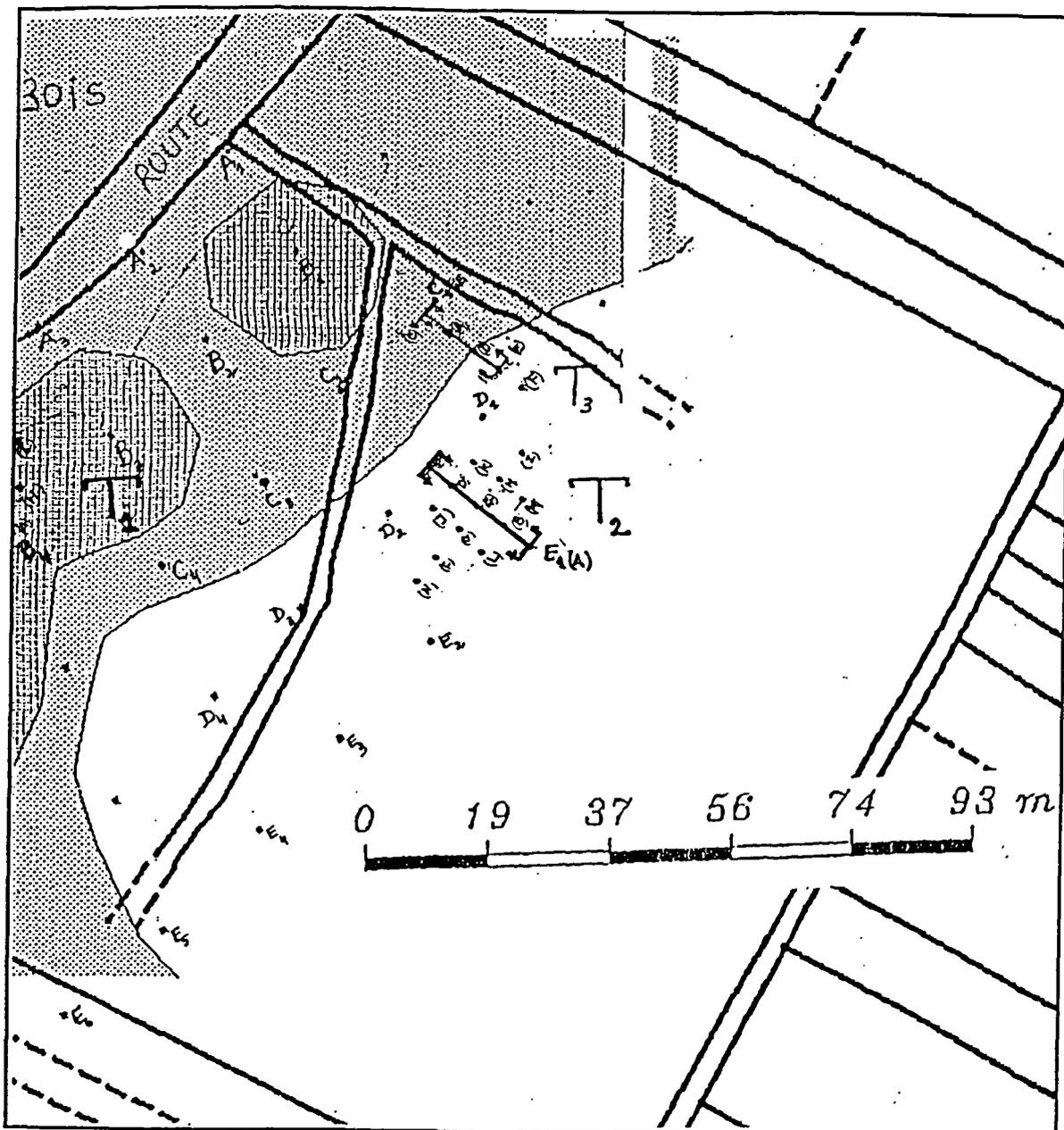


Fig. 12 - Localisation des tranchées T1, T2, T3

Les tranchées ont essentiellement servi à des prélèvements de sols. Des essais de mesure des gaz des sols à plus grande profondeur en enfonçant les cannes à partir du fond de la tranchée se sont révélés négatifs : l'argile à silex à ce niveau se révèle imperméable et impropre au pompage. Cependant des analyses de gaz par pompage au niveau de la paroi en fond de trou ont été faites à titre indicatif immédiatement après le passage de la pelleuse.

#### **1.4.4. Résultats et commentaires**

##### **1.4.4.1. Cartographie**

Le tableau 2 donne les résultats obtenus sur les tubes d'adsorption. L'ensemble de ces valeurs sont rassemblées sur les figures 13 à 18.

Si la cartographie générale n'a pas mis en évidence de nouvelles zones, elle a permis de définir deux zones de pollution différentes :

- une zone autour de B6, polluée en hydrocarbures aromatiques,
- une zone autour de C2 polluée en tetrachloroéthylène.

On remarque que la pollution en TCE trouvée en Novembre 92 autour de B6 (1,2 ppmv) n'a pas été retrouvée avec la même intensité (< 0,6 ppmv). Par contre la présence de TeCE s'est révélée très importante : en effet, le complément de mesures rapprochées à partir du point C2-A (fig. 5c) a mis en évidence des teneurs élevées en plusieurs points (tableau 2, C2A à C2F, et P).

Par ailleurs, les prélèvements sur zone témoin ont bien montré l'absence des polluants ci-dessus dans les gaz des sols.

Il n'est pas fait état dans ces tableaux de valeurs des résultats obtenus directement sur le site à l'aide de l'analyseur IRTF. En effet, l'appareil utilisé est un prototype qui a servi à des fins méthodologiques : les résultats n'ont eu qu'une valeur qualitative. Cependant l'identification par cet appareil de BTX, TCE, TeCE, ainsi que l'ordre de grandeur estimé, sont en accord avec les teneurs mesurées sur charbon actif.

##### **1.4.4.2. Tranchées**

Bien que des analyses de gaz à des profondeurs supérieures à 1,5 m n'aient pu être réalisées, des pompages et piégeages de l'air en fond de trou ont été effectués immédiatement après le creusement des tranchées T1 et T3. Ces résultats donnés dans le tableau 2 (T-1A et B, T-3A et B) confirment la présence de BTX et TeCE dans les zones où ces composés ont été déjà mis en évidence par analyse des gaz des sols.

Des analyses effectuées sur des sols prélevés dans la paroi (tableau 3) donnent des teneurs allant jusqu'à 3,2 mg/kg en TeCE, et révèlent même la présence d'autres composés volatils.

Localisation	CO2	O2	TCM	TCE	TeCE	BENZ	TOL	ETB	PXYL	MXYL	OXYL	BTX
A2	0.8	20.3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
A3	0.5	20.3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
A4	1.0	20.8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
A5	1.0	20.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
A6	1.3	19.8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
A7	0.9	19.7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
B3	1.9	19.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
B4	1.9	19.3	0	0.4	1.4	0	0	0	0	0	0	0
B5	0.9	20.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
B6-A	1.2	19.8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
B6-B	1.2	19.9	0	0.6	0	5.5	13	2.2	1.8	4.2	1.9	28.6
B6-C	1.1	19.2	0	0	0	28.7	76.9	15.4	14	33.5	18.2	186.7
B6-D	1.2	19.7	0	0	0	5.5	15	3	2.8	6.6	3.8	36.7
B6-E	1.3	20.5	0	0	0	0	0.7	0	0	0	0	0.7
B6-F	3.0	18.7	0	0	0	1.8	4.3	0.7	0.6	1.5	0.7	9.6
B6-G	1.2	20.1	0	0.3	0	3.9	9.7	1.7	1.5	3.5	1.9	22.2
B6-H	1.2	20.2	0	0.3	0	0.5	1.2	0.2	0.2	0.4	0.2	2.7
B6-I	1.2	20.1	0	0	0	0	0.1	0	0	0	0	0.1
B6-J	1.2	19.9	0	0	0	4.4	8.5	1.2	1.1	2.5	1.4	19.1
B6-K	1.1	20.1	0	0	0	0.3	1	0.2	0.2	0.4	0.2	2.3
B6-L	1.3	20.1	0	0	0	1.3	2.5	0.3	0.3	0.7	0.3	5.4
B6-M	1.2	19.9	0	0	0	0.9	2	0.3	0.2	0.5	0.2	4.1
B6-N	5.4	16.1	0	0	0	1.2	2.1	0.2	0.2	0.4	0.2	4.3
B6-O	3.6	18.3	0	0	0	0	0.1	0	0	0	0	0.1
C2-A	1.2	19.7	0	0	4.5	0	0	0	0	0	0	0
C2-B	1.5	20.0	0	0	3.2	0	0	0	0	0	0	0
C2-C	1.0	20.2	0	0	0.2	0	0	0	0	0	0	0
C2-D	0.8	20.3	0	0	19.9	0	0	0	0	0	0	0
C2-E	1.2	20.1	0	0	143.7	0	0	0	0	0	0	0
C2-F	1.2	19.9	0	0	22.3	0	0	0	0	0	0	0
C3	1.0	20.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C4	1.0	20.3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C5	1.5	19.7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C6	2.0	19.4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
D3	1.2	20.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
D4	0.9	20.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
D5	1.2	19.7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
D6	1.2	19.8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tableau 2 - mars 93 - Résultats d'analyse sur les gaz des sols à partir des prélèvements sur charbon actif  
(tous les résultats sont exprimés en ppm)

E1-A	1.4	19.9	0	0	0	0.8	1.6	0.2	0.1	0.3	0.1	3.1
E1-B	1.4	19.9	0	0	0	0	0.1	0	0	0	0	0.1
E1-C	1.3	20.1	0	0	0	1.3	3.7	0.6	0.5	1.2	0.6	7.9
E1-D	1.5	19.0	0	0	0	0.6	1.4	0.2	0.2	0.4	0.2	3
E1-E	1.6	19.8	0	0	0	0	0.1	0	0	0	0	0.1
E1-F	1.0	20.0	0	0	0	0	0.1	0	0	0	0	0.1
E1-G	1.4	19.8	0	0	0	0	0.1	0	0	0	0	0.1
E1-H	1.0	20.1	0	0	0	0	0.1	0	0	0	0	0.1
E1-I	0.8	20.3	0	0	0	0.3	0.5	0.1	0.1	0.2	0	1.2
E1-J	1.5	19.6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
E1-K	1.2	20.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
E1-L	1.1	19.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
E1-M	1.0	20.1	0	0	0	0.2	0.2	0	0	0.1	0	0.5
E2	1.0	19.9	0	0	0	0.1	0.1	0	0	0	0	0.2
E3	0.6	20.3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
E4	1.9	19.8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
E5	0.6	20.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P1	1.1	19.8	0	0	0.3	0	0.1	0	0	0	0	0.1
P2	1.7	19.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P3	1.3	19.7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P4	0.9	20.3	0	0	1.8	0	0	0	0	0	0	0
P5	1.4	20.0	0	0.2	107.9	0	0	0	0	0	0	0
P6	1.6	19.6	0	0	22.1	0	0	0	0	0	0	0
T1-A	-	-	0	0	0	2	15.1	6.9	7.1	17.8	12.3	61.2
T3-A	-	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
T3-B	-	-	0	0	0	0.3	0	0	0	0	0	0.3
Blanc atmo	0.0	20.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Blanc sol	1.3	19.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Avre 1	0.6	20.3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Avre 2	0.5	20.4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Avre 3	-	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Blanc atmo = blanc air ambiant

Blanc sol = analyse des gaz du sol sur la parcelle 17

Avre 1, 2, 3 = analyses des gaz dans la vallée de l'Avre à proximité des forages de la Lyonnaise des Eaux.

TCM : trichlorométhane  
TCE : trichloroéthylène  
TeCE : tetrachloroéthylène  
BENZ : Benzène

ETB : Ethylbenzène  
OXYL, MXYL, PXYL : Ortho-, Meta-, Para-xylène  
BTX : Composés aromatiques totaux

**Tableau 2 (suite) - mars 93 - Résultats d'analyse sur les gaz des sols à partir des prélèvements sur charbon actif  
(tous les résultats sont exprimés en ppm)**

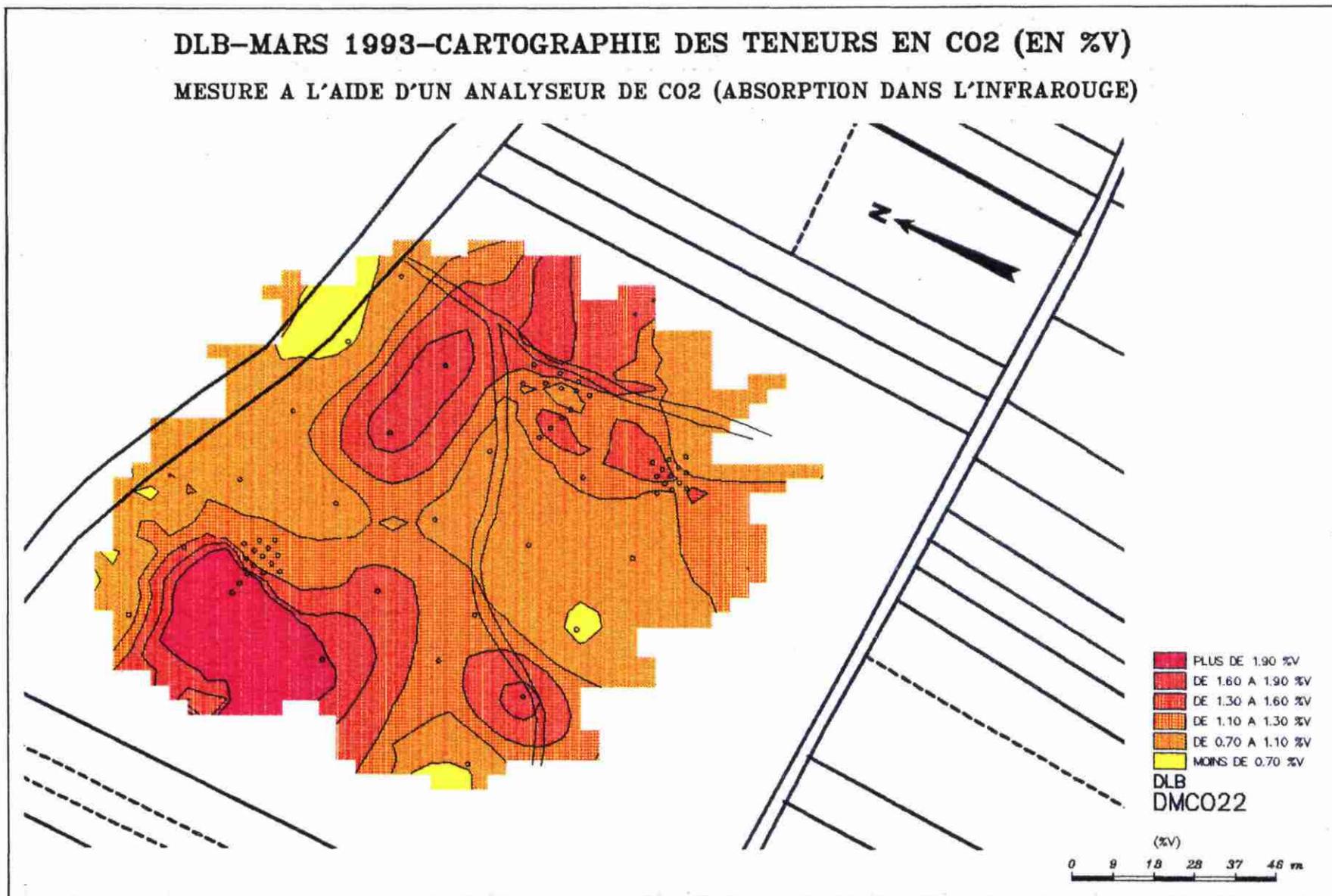


Fig. 13 - Mars 93/cartographie CO<sub>2</sub>

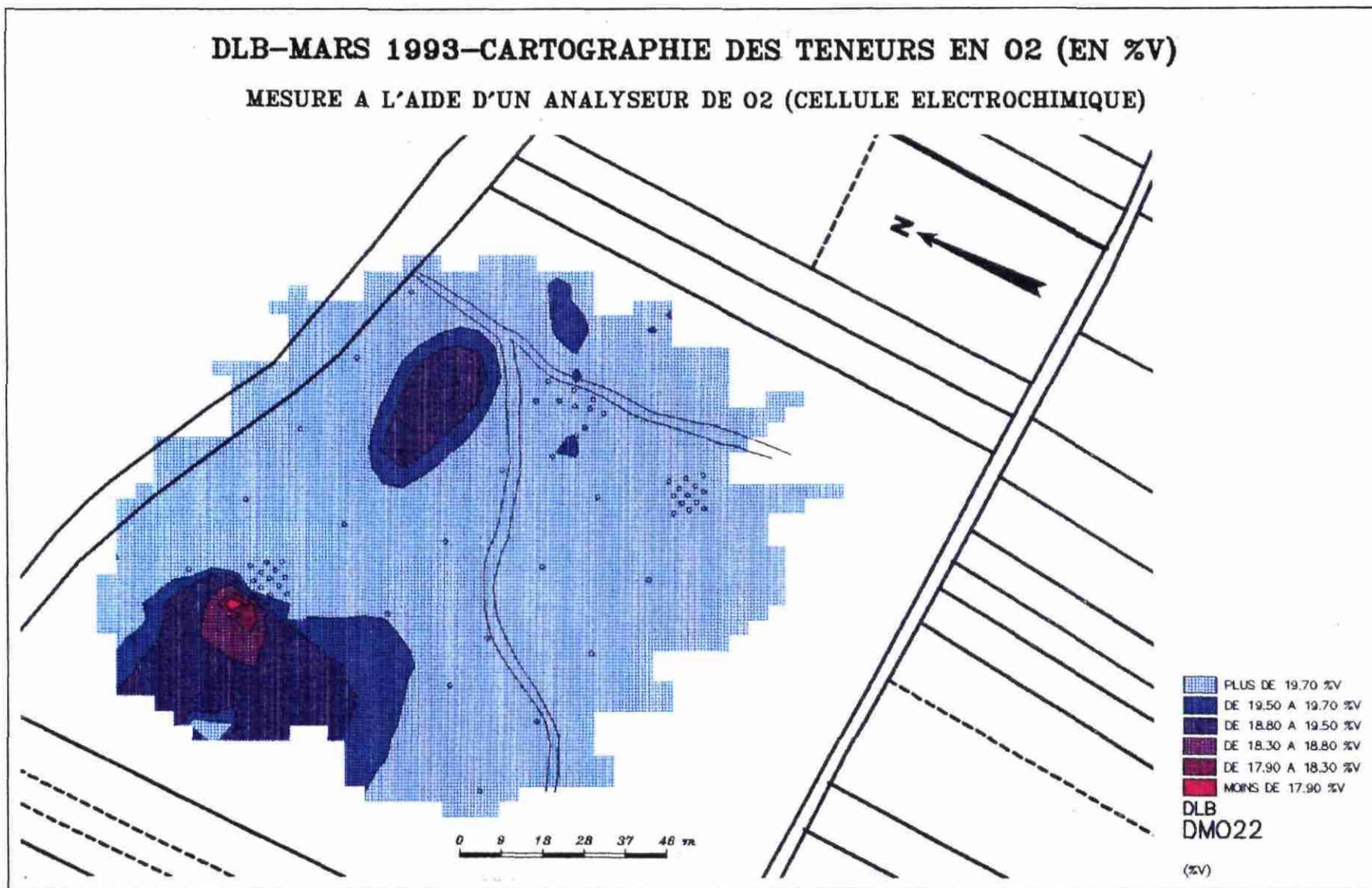


Fig. 14 - Mars 93/cartographie O<sub>2</sub>

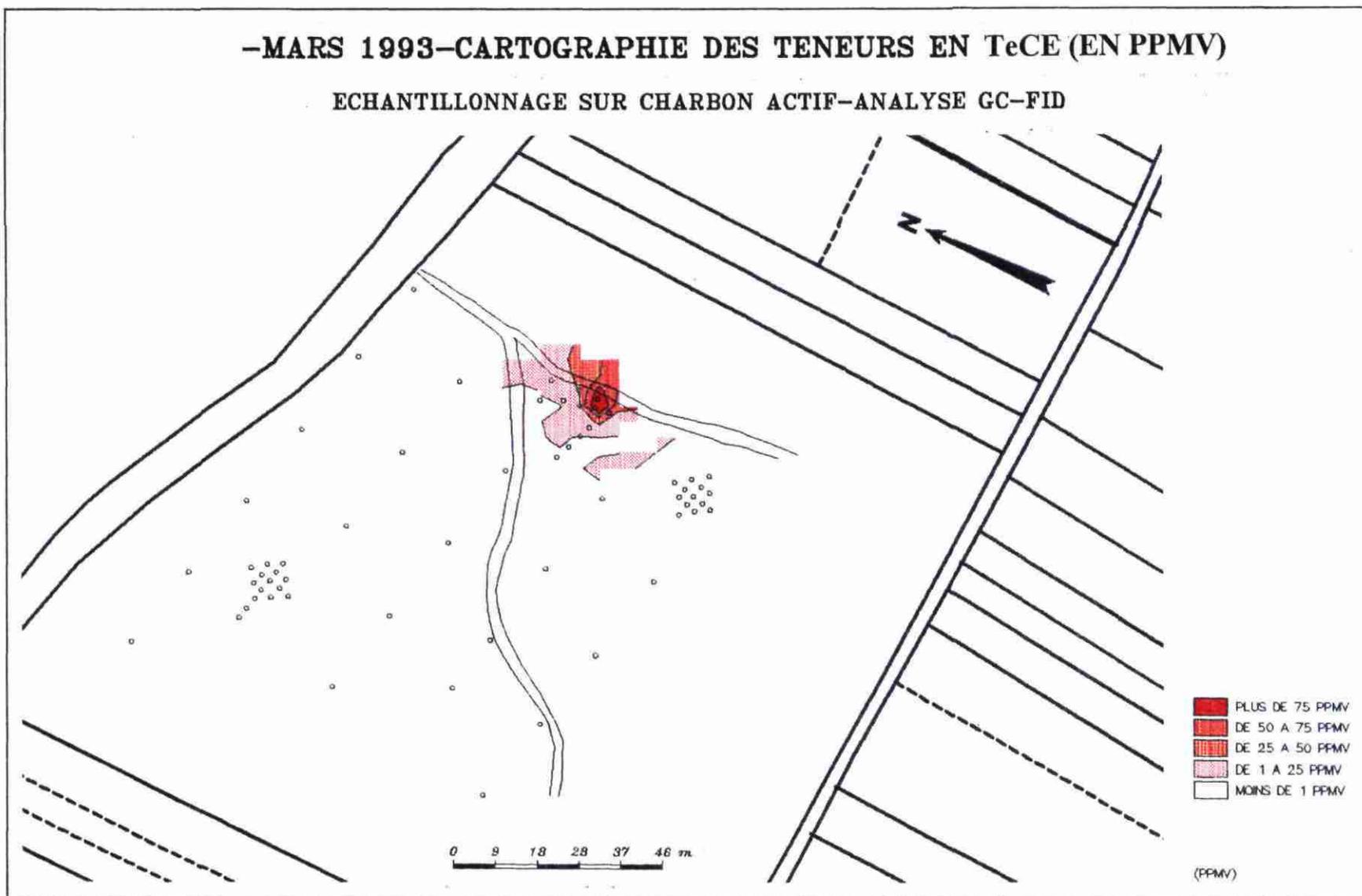


Fig. 15 - Mars 93/cartographie TeCE

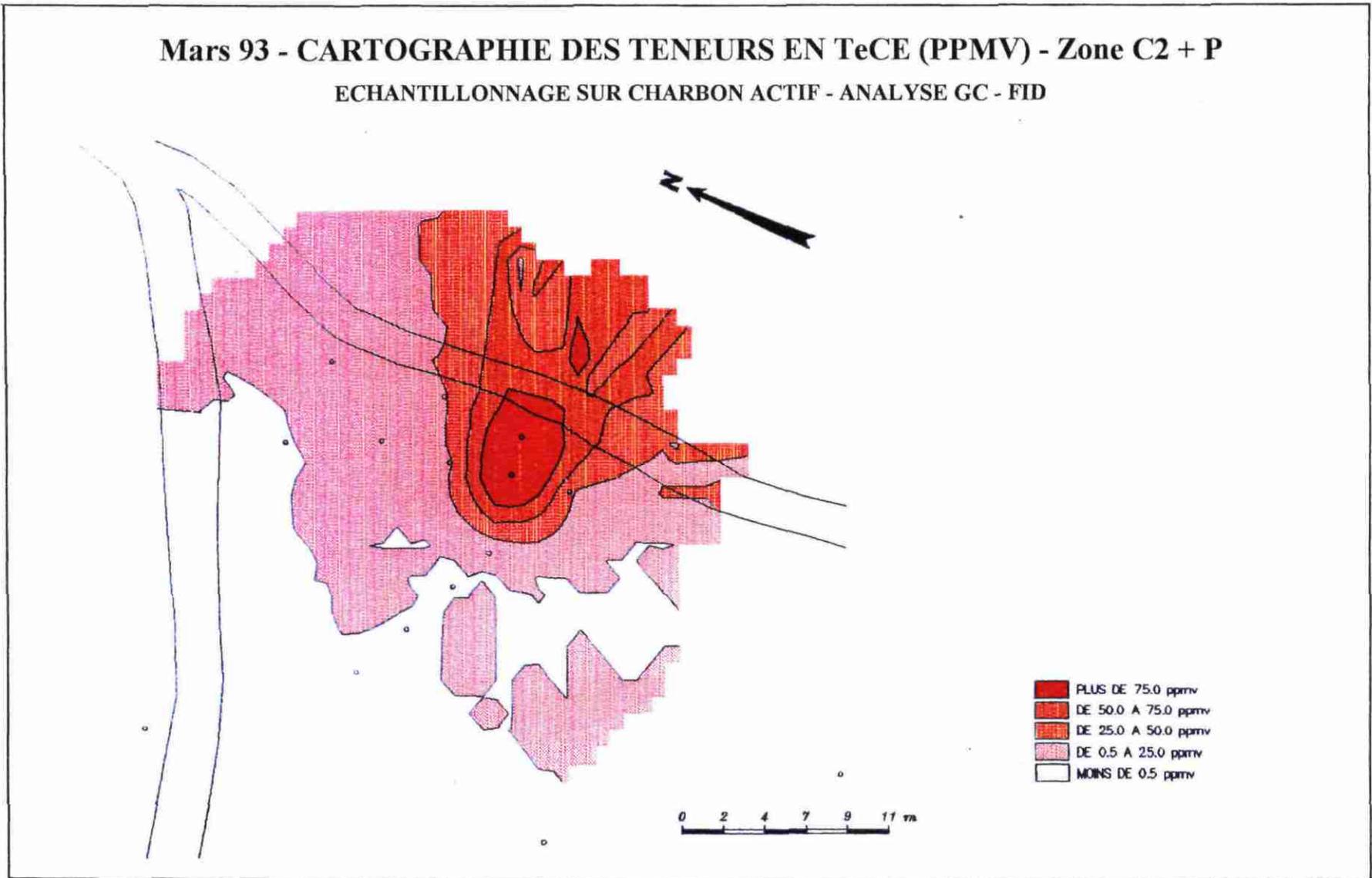


Fig. 16 - Mars 93/cartographie TeCE - zone C2 + P

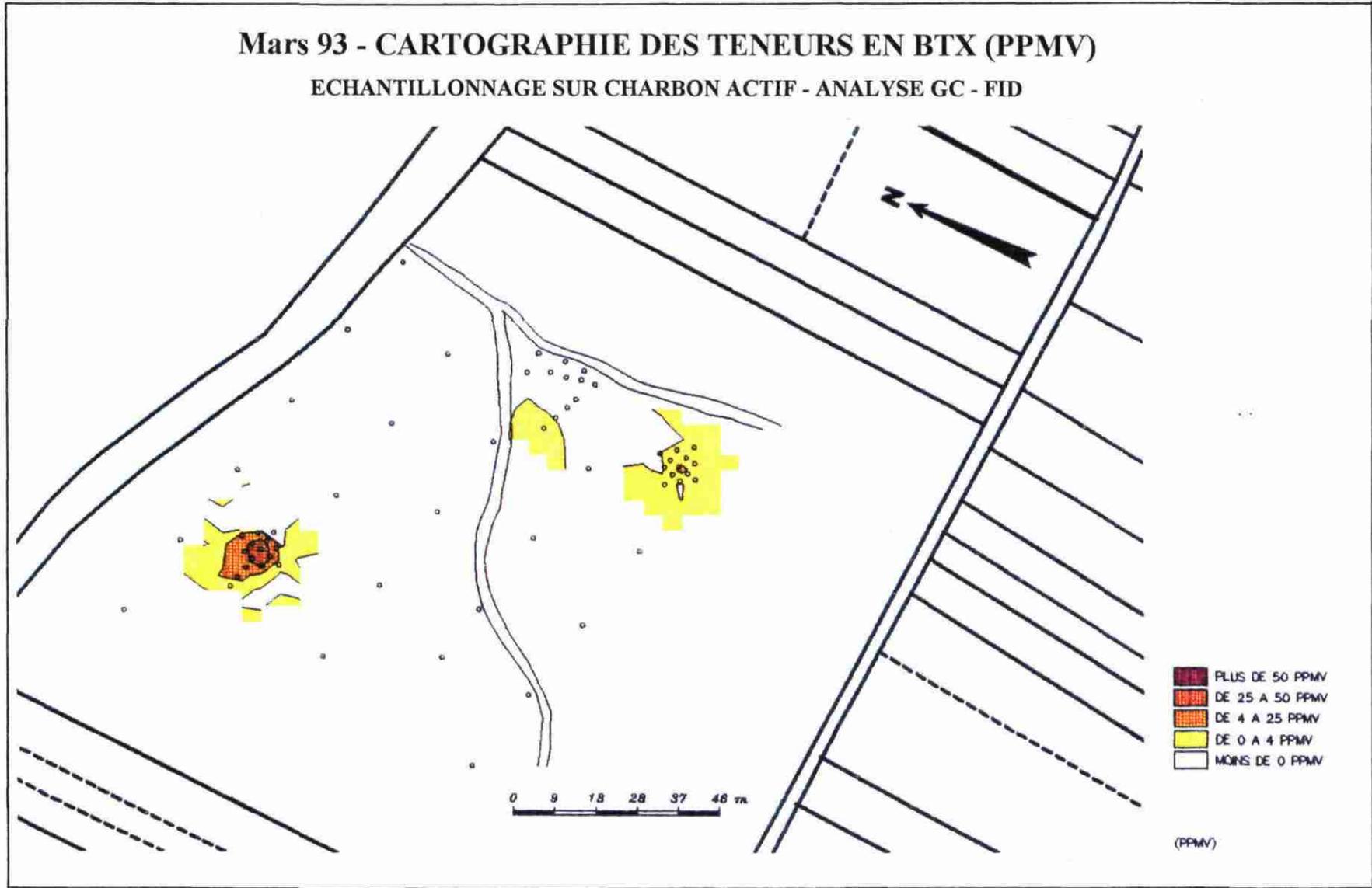


Fig. 17 - Mars 93/cartographie BTX

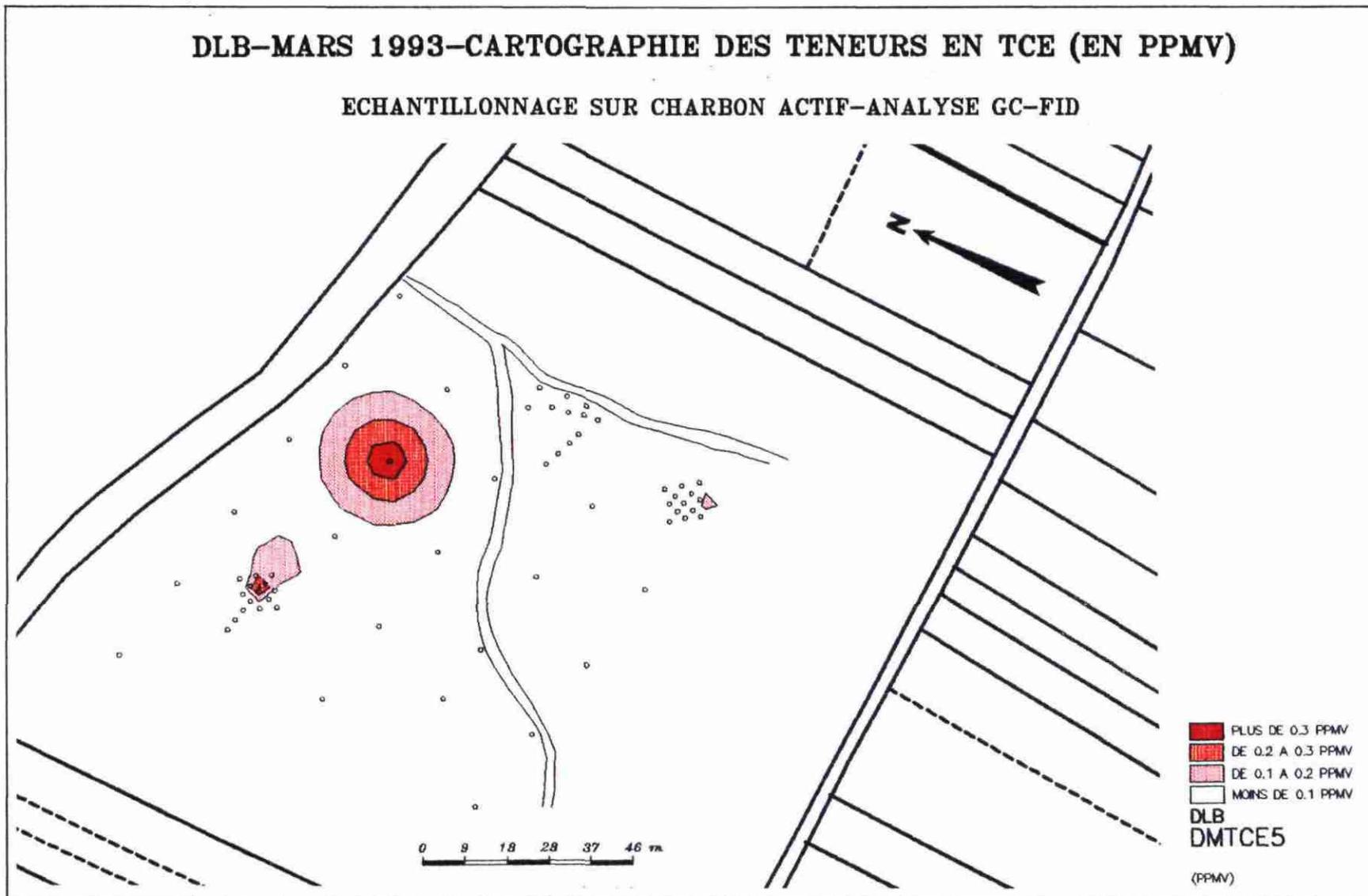


Fig. 18 - Mars 93/cartographie TCE

### ECHANTILLONS

Sols prélevés dans la paroi de la tranchée T3

T3 (1) : sols prélevés dans les sédiments de surface (profondeur 0.3m)

T3 (2) : sols prélevés dans les argiles (profondeur 1m)

T3 (3) : sols prélevés dans les argiles (profondeur 1.5m)

### METHODE D'ANALYSE

Purge And Trap selon EPA 8240 sur sols bruts.

### RESULTATS :

#### 1 - Dosage Tétrachloroéthylène

N°	TeCE (µg/kg de sol brut)
T3 (1)	435
T3 (2)	3220
T3 (3)	7380

#### 2 - Autres composés identifiés

Trichlorfluoroéthane, trichlorométhane, tétrachlorure de carbone, toluène, xylènes, éthylbenzène, autres hydrocarbures aromatiques substitués en C<sub>9</sub>H<sub>12</sub>, C<sub>10</sub>H<sub>14</sub>, hydrocarbures paraffiniques et isoparaffiniques.

Tableau 3 - Résultats d'analyse sur échantillons de sols (tranchée T3/mars 1993)

#### 1.4.5. Mesures complémentaires aux bords de l'Avre

Bien que le site étudié soit suspecté d'être à l'origine de la pollution constatée sur les forages d'eau potable, un complément de mesures a été fait à proximité de ces forages. En effet, on ne peut écarter *a priori* l'hypothèse d'une pollution par solvants chlorés (solvants de nettoyage) provenant d'un hôpital construit sur le bassin versant à 500 mètres des forages.

Une série de 3 analyses de gaz des sols prélevés selon la méthodologie habituelle (avec utilisation de l'IRTF) a donc été faite entre l'hôpital et les forages, ces derniers se trouvant à 50 mètres des points de prélèvements.

Les résultats (tableau 2, Avre 1-2-3) montrent l'absence de teneurs mesurables des composés recherchés dans les prélèvements effectués.

### 1.5. CONCLUSIONS

Cette première partie de l'étude a permis, par la mesure des gaz de sol de localiser des zones où sont présents des composés volatils chlorés (tetrachloroéthylène, trichloroéthylène) ou aromatiques (benzène, toluène, xylènes). L'extension en surface de ces zones polluées est faible. Quant à l'extension en profondeur, elle reste inconnue, même si pour le TeCE les mesures sur solides confirment des valeurs très fortes et permettent d'envisager dans ce cas un stock "polluant" potentiel.

Des travaux de géophysique (sondages électriques) ont permis d'estimer, à l'aplomb des sites dont la contamination superficielle a été identifiée, la profondeur la craie et son extension. Ces données seront utiles pour la réalisation d'un forage jusqu'à la nappe, afin d'étudier la distribution en profondeur des polluants et de disposer de solides non remaniés pour des essais de percolation et lixiviation en laboratoire.

## 2. ÉTUDES EN LABORATOIRE

### 2.1. MATÉRIELS ET MÉTHODES

L'étude du comportement du TCE et du TeCE dans des échantillons de sol du site de Dreux a été abordée par des essais d'injection en pulse. Ces derniers consistent à injecter, en un laps de temps très court, une quantité connue de TCE et de TeCE dans la colonne de sol. L'adsorption de ces composés au sein de cette colonne est appréhendée par comparaison avec le comportement d'un traceur ne présentant aucune interaction significative avec le sol (traceur "parfait" : Br<sup>-</sup>). Ce traceur est injecté simultanément avec le TCE et le TeCE.

### 2.2. LES COMPOSÉS UTILISÉS

Les traçages à l'iodure ont été réalisés avec une solution d'iodure de sodium 10<sup>-2</sup> M. Les percolations avec les solvants chlorés ont été effectuées simultanément au bromure avec les solutions suivantes : solution n° 1, Br<sup>-</sup> à 791 ppm + TCE à 20 ppm ; solution n° 2, Br<sup>-</sup> à 793 ppm + TCE à 33,94 ppm + TeCE à 40,20 ppm ; solution n° 3, Br<sup>-</sup> à 812 ppm + TCE à 28,95 ppm + TeCE à 34,94 ppm. Les solutions contenant les solvants sont préparées dans un sac de téflon hermétique afin d'éviter la volatilisation. Les quantités exactes injectées pour chaque composé sont reportées dans le tableau 5.

### 2.3. LE MILIEU POREUX

Le milieu poreux utilisé pour cette étude est un sol prélevé à 1,50 m de profondeur sur le site de Dreux dans la tranchée n° 1 réalisée en mars 1993. La fraction granulométrique retenue pour les essais est inférieure à 2 mm. Le sol a été caractérisé par une analyse minéralogique en diffraction X (tableau 4). Sa teneur en carbone organique, 0,25 %, a été déterminée par mesure de l'absorbance en infra-rouge du CO<sub>2</sub> formé lors de la calcination du solide.

QUARTZ	ARGILES		
	Interstratifiés irréguliers Smectite-illite	Kaolinite	Illite
10 - 15 %	85 - 90 %		
	70 % dont 40 % de smectite	24 %	6%

Tableau 4 - Composition minéralogique obtenue par diffraction des rayons X sur le sol de Dreux (d'après C. Bordelais 1993)

#### 2.3.1. Montages expérimentaux

Tous les essais ont été effectués avec un dispositif expérimental conçu de manière à assurer une étanchéité optimum (fig. 19) en raison de la forte volatilité des solvants chlorés.

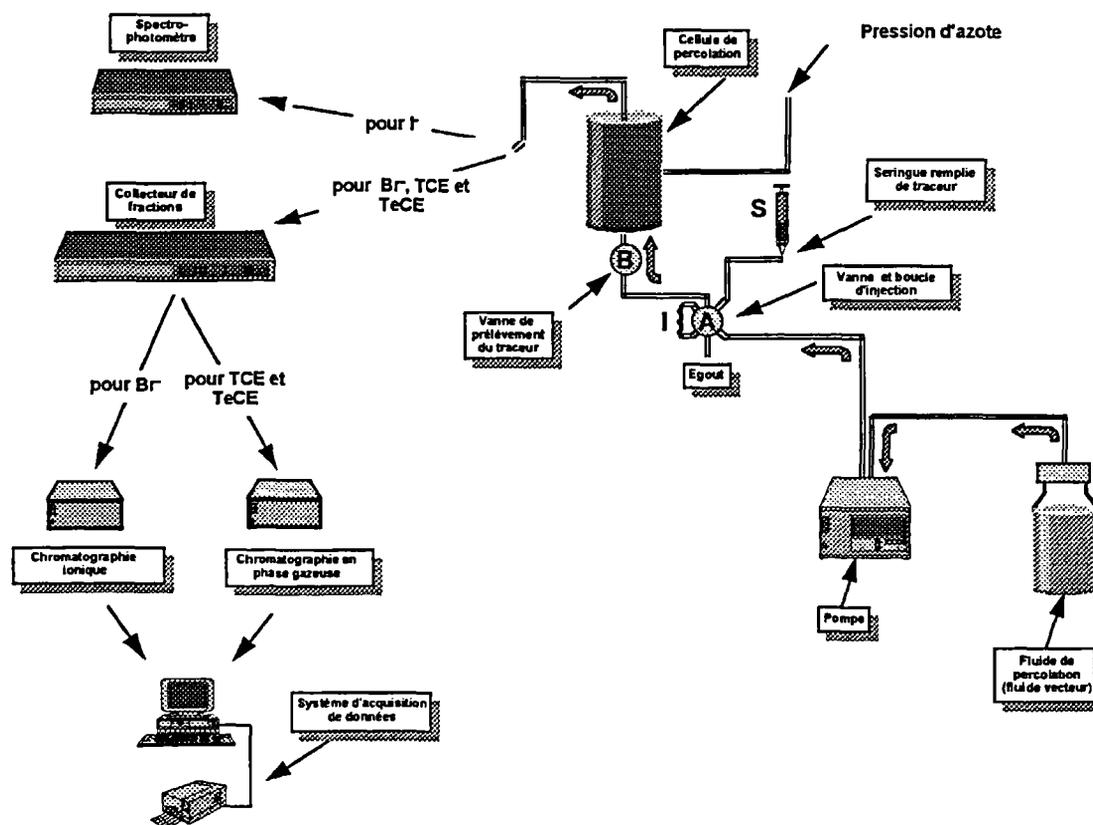


Fig. 19 - Montage expérimental et systèmes analytiques

Le premier élément de ce système est la réserve de fluide vecteur, une solution de chlorure de calcium ( $\text{CaCl}_2$ ,  $10^{-2}$  M) stabilisant les argiles et limitant ainsi les phénomènes de colmatage. Cette réserve est connectée à une pompe de type HPLC (Gilson 307) assurant une circulation à débit constant vers la colonne (débits utilisés : 30 ml/h, 6 ml/h et 3 ml/h). Une mesure de la pression d'injection est effectuée en continu par un capteur intégré à la pompe. L'injection des différents composés est assurée par une vanne multivoies (A) munie d'une boucle d'injection d'un volume de 158,5  $\mu\text{l}$ .

A l'origine, deux types de colonnes ont été testées, une colonne chromatographique en inox (sans pression de confinement) et une colonne combinant à la fois une enveloppe externe en inox et une chambre interne en téflon (avec pression de confinement).

Les essais réalisés avec le premier type de colonne se sont tous soldés par des échecs, puisqu'ils aboutissaient à un colmatage complet de la colonne au bout de quelques heures. Ceci est vraisemblablement imputable au fort rapport hauteur (30 cm)/section ( $0,8 \text{ cm}^2$ ) de la colonne.

C'est donc le deuxième type de colonne qui a été retenu. Son principe de fonctionnement est présenté à la figure 20. Il s'agit d'une cellule en acier inoxydable dans laquelle est introduite une chambre de téflon destinée à recevoir la carotte de sol de 5,3 cm de hauteur et 4 cm de diamètre.

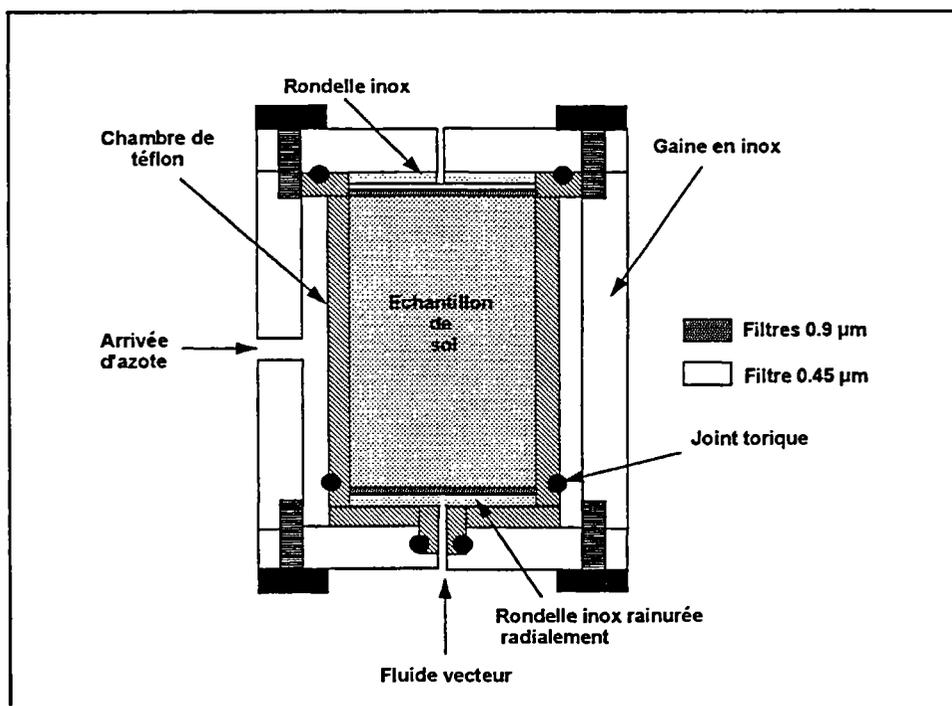


Fig. 20 - Schéma simplifié de la cellule de percolation

L'enveloppe externe, conçue de manière à supporter une pression importante, permet de maintenir une poussée latérale (pression de confinement) autour de la chambre de téflon afin d'éviter les passages préférentiels de fluide entre le sol et les parois de téflon. Afin d'obtenir une bonne répartition du fluide de percolation à l'entrée de la carotte, un dispositif combinant une rondelle d'acier inox rainurée radialement et un filtre en fibre de verre (diamètre de pores 0,9 µm) a été incorporé à la base de la carotte de sol (fig. 20).

Le remplissage de la chambre téflon a été effectué sans tassement du solide, afin de minimiser les risques de colmatage. Deux filtres en fibre de verre de diamètre de pores 0.4 et 0.9 µm placés au sommet de la colonne (fig. 20) limitent le passage de particules de sol dans le système et l'obstruction des capillaires de sortie.

Le colmatage progressif des filtres placés en sortie de colonne a toutefois nécessité la réalisation de 3 colonnes de sols différentes pour l'ensemble des tests. Ce colmatage, qui se traduit par une augmentation de la pression d'injection après plusieurs expériences, a une influence négligeable sur la circulation du fluide au sein de la colonne lors d'un essai, la pression d'injection ne montrant aucune modification notable au cours d'une même expérience. Par ailleurs, pour les débits utilisés, ces problèmes de colmatages ne deviennent vraiment significatifs (pression d'injection supérieure à 4 bars) qu'après des durées de percolation de l'ordre de 2 à 3 semaines, bien supérieures à celles des expériences (de 1 à 3 jours).

Les conditions expérimentales des différents essais sont résumées dans le tableau 5.

N° Colonne	N° d'essai	Molécule injectée	Pression de confinement (bars)	Pression d'injection (bars)	Débit d'injection (ml/h)	Volume boucle (µl)
1	1	iodure	4,2	0	30,00	42
1	2	iodure	4,2	0	6,00	42
1	3	iodure	4,2	0	6,00	42
1	4	bromure	4,2	4	5,82	158,5
1	4	TCE	4,2	4	5,82	158,5
2	5	iodure	17	0	6,00	158,5
2	6	bromure	17	0	5,76	158,5
2	6	TCE	17	0	5,76	158,5
2	6	TeCE	17	0	5,76	158,5
3	7	bromure	17	0	2,87	158,5
3	7	TCE	17	0	2,87	158,5
3	7	TeCE	17	0	2,87	158,5

Tableau 5 - Principales conditions expérimentales des différents essais

La première colonne, remplie avec 81,4 g de sol, a été utilisée pour des traçages avec un traceur "parfait", l'iodure (NaI), à deux débits : 30 ml/h et 6 ml/h. Ces traçages ont permis de tester le montage et de dimensionner les essais ultérieurs avec le TCE et le TeCE, que ce soit au niveau de la durée des essais ou des fréquences de prélèvement. Une injection simultanée d'un traceur "parfait" (bromure) et de TCE a également été effectuée sur cette première colonne. Cet essai, réalisé à un débit de 5,76 ml/h, était destiné à aborder l'adsorption du TCE sur le sol de Dreux, par simple comparaison avec le comportement du traceur parfait (coefficient de retard, taux de restitution).

La deuxième colonne, remplie avec 74,1 g de sol, a été utilisée pour l'injection simultanée d'un traceur "parfait" (bromure), de TCE et de TeCE. Cet essai à un débit de 5,76 ml/h était destiné à appréhender l'adsorption du TCE et du TeCE sur le sol de Dreux, toujours par simple comparaison avec le comportement du traceur parfait.

La troisième colonne, remplie avec 67,7 g de sol, a été utilisée pour un essai identique au précédent mais avec un débit deux fois plus faible (2,87 ml/h), pour étudier l'influence de la vitesse de circulation du fluide sur l'adsorption du TCE et du TeCE sur le sol utilisé. L'étude de l'adsorption à deux débits différents permet d'envisager, dans la phase d'interprétation et de modélisation des essais, une meilleure validation des paramètres.

### 2.3.2. Méthodes analytiques

Les concentrations de chaque composé injecté sont mesurées en entrée et en sortie de colonne. Les bromures sont dosés par chromatographie ionique (Dionex 4500I), avec une précolonne DIONEX AG 12A et une colonne analytique AS 12 de 4 mm de diamètre intérieur. Un mélange  $\text{NaHCO}_3$  0,3 mM -  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  2,7 mM, dégazé sous hélium, est utilisé comme éluant à un débit de 1,3 ml/min. Le temps de rétention du bromure est de 8,10 min, et en utilisant une échelle de sensibilité entre 3 et 10 µS, la limite de détection est de 0,5 mg/l.

Les iodures sont dosés en continu par colorimétrie à 230 nm (spectrophotomètre Hewlett Packard 8452) dans une cuve à circulation de 80 µl branchée directement en sortie de colonne. Un micro-débulleur placé en amont de cette cuve permet le piégeage d'éventuelles bulles d'air qui empêchent totalement la mesure. L'acquisition des données est réalisée en continu par un microordinateur.

Pour les solvants chlorés, les échantillons sont collectés grâce à une aiguille pilotée par un collecteur de fraction (Gilson modèle 222) dans des flacons en verre de 10 ml sertis et équipés d'un septum téfloné. Selon les débits utilisés, la durée d'échantillonnage varie de manière à obtenir un volume de 1,5 ml dans chaque tube de prélèvement. Les volumes respectifs de phase liquide et de phase gazeuse influençant directement la concentration mesurée dans la phase gazeuse, il est important d'obtenir des volumes constants de liquide prélevé. Les dosages sont effectués par chromatographie en phase gazeuse selon la méthode d'espace de tête statique (headspace), basée sur un équilibre entre la phase liquide et gazeuse à l'intérieur de chaque flacon de prélèvement. Les gammes d'étalonnage dans l'eau distillée s'échelonnent de 7 à 138 µg/l pour le TCE, et de 11 à 153 µg/l pour le TeCE. Les conditions analytiques sont détaillées ci-dessous.

*Chromatographe HP 5890 série II Headspace HP 19395A.*

*Colonne capillaire : CP SIL 5CB 50 mètres, diamètre intérieur 0,32 µm, film de 1,2 µm d'épaisseur.*

<i>Conditions de température :</i>	injecteur :	130°C
	four :	150°C
	détecteur ECD :	325°C
<i>Débits de gaz :</i>	gaz vecteur (He) :	30 ml/min
	gaz colonne (He/N <sub>2</sub> ) :	1,5 ml/min
	rapport de split :	40
	gaz auxiliaire (N <sub>2</sub> ) :	50 ml/min
	purge septum (N <sub>2</sub> ) :	6 ml/min
<i>Temps d'équilibre headspace :</i>		1h à 40°C.

Les résultats de ces dosages pouvant parfois être soumis à des fluctuations significatives dues à la grande volatilité des composés analysés, un lissage des points expérimentaux correspondant au TCE et au TeCE a été effectué pour chaque essai.

Des dosages ont été effectués sur les solides de la seconde colonne de sol (Mode opératoire 0132, BRGM ANA). Le principe du dosage est une volatilisation des composés organohalogénés (désorbeur Purge and Trap LSC 2000), une chromatographie en phase gazeuse (Varian 3300) et une détection massique (détecteur de masse ITD 700 Finnigan). Basée sur une prise d'essai de 10 g, la limite de détection est de 10 µg/g pour le TCE et le TeCE.

### 2.3.3. Protocole expérimental

Dans une première étape, la cellule de percolation est placée dans le circuit et soumise à une circulation de fluide (CaCl<sub>2</sub> 10<sup>-2</sup> M) pendant environ 2 jours pour saturer la carotte. La boucle d'injection est ensuite purgée et remplie par le biais d'une seringue (fig. 19, S) contenant la solution à injecter (traceur seul ou traceur et polluants). Pour les solutions contenant les composés chlorés, la seringue est remplie à partir du sac téflon par le biais d'une vanne équipée d'un septum. Lors du remplissage de la boucle (fig. 19 : vanne B), deux aliquotes sont prélevées en sortie de boucle pour vérifier la concentration initiale des solvants chlorés réellement injectée en tête de colonne.

L'injection est ensuite effectuée par commutation de la boucle I sur le circuit de percolation grâce à la vanne multivoies A (fig. 19). L'injection réalisée sans interruption de la circulation du fluide vecteur limite fortement les perturbations des écoulements à l'intérieur de la colonne. Avant chaque injection, le débit de la pompe est contrôlé en sortie de colonne par mesures gravimétriques effectuées sur une durée équivalente à celle utilisée pour les prélèvements lors de l'expérience.

L'interprétation des résultats est basée sur l'évolution, en fonction du temps, des concentrations des différents composés mesurés en sortie de colonne. La surface de la courbe ainsi obtenue permet de calculer le taux de restitution de chacun des composés selon la formule suivante :

*Taux de restitution* =  $100 \cdot (\text{quantité restituée} / \text{quantité injectée})$  avec

*Quantité injectée* =  $S \cdot Q$

S : surface de la courbe (sec<sup>2</sup>·mole/l)

Q : débit du fluide vecteur (l/sec).

Pour les solvants chlorés, un **facteur de retard (Fr)** est calculé par rapport à la réponse du traceur parfait (Br<sup>-</sup>) :

$Fr = \Omega_{tp} / \Omega_{tc}$  (Bourg *et al.*, 1993)

$\Omega_{tp}$  : porosité cinématique donnée par le traceur parfait

$\Omega_{tc}$  : porosité cinématique donnée par le composé chloré.

La porosité cinématique est calculée à partir du **temps moyen de restitution (tr)** :

$\Omega = (tr \cdot Q) \cdot 100 / \text{volume de la carotte}$

tr représente le temps pris au centre de gravité du pic de restitution, diminué de la durée nécessaire à la solution pour parcourir l'ensemble des connections et des volumes morts du circuit expérimental. Le centre de gravité du pic de restitution est égal au rapport  $\sum C_i t_i / \sum C_i$ . Pour des mesures absolues de tr, le temps de parcours au sein des seuls éléments du circuit doit être préalablement mesuré pour chaque débit utilisé, en injectant un traceur parfait dans le système dont on a retiré la colonne de sol. Comme l'essentiel des travaux réalisés ici porte sur des calculs relatifs (comparaison du traceur avec les polluants), le temps de parcours dans le circuit sans la colonne de sol n'a pas été mesuré avec précision, mais simplement estimé par calcul des longueurs de tuyaux et des divers volumes morts.

A la fin des percolations, la colonne de sol est sortie de la chambre téflon et sa teneur en eau, mesurée par pesée, est comparée au volume de pore obtenu sur la base du temps moyen de restitution. Afin de quantifier les concentrations en solvants fixés par le sol, la deuxième colonne a été découpée en trois sections égales perpendiculairement à l'axe de la carotte. Chacune de ces sections a été placée dans un bocal en verre hermétiquement fermé afin d'éviter la volatilisation des solvants chlorés restés adsorbés sur le sol. Cette fraction est quantifiée sur chaque section par analyse en chromatographie gazeuse selon la procédure décrite en 2.1.4.

### 2.3.4. Modélisation hydrodynamique

L'interprétation hydrodynamique de certains essais se fera à l'aide du logiciel CATTI (Computer Assisted Tracer Test Interpretation) destiné à l'identification des paramètres d'un transfert hydrodispersif avec possibilité d'une cinétique linéaire d'échange (Bourg *et al.*, 1993).

Ce logiciel a été mis au point pour interpréter le transport d'un soluté dans un milieu aquifère de géométrie monodimensionnelle ou bidimensionnelle, et soumis à une vitesse uniforme ou à un écoulement axisymétrique convergent vers un puits d'exhaure. Le logiciel calcule les historiques de concentration dans les points de l'aquifère désignés par l'opérateur. Autant que possible des solutions analytiques sont utilisées ; dans les autres configurations, CATTI a recours à une résolution numérique par différences finies.

Dans le cas du transport purement hydrodispersif dans un milieu monodimensionnel soumis à un écoulement uniforme, l'équation aux dérivées partielles est résolue :

$$\delta C/\delta t = \alpha u \delta^2 C/\delta x^2 - u \delta c/\delta x$$

où  $C(x, t)$  est la concentration,  
 $\alpha$  la dispersivité,  
 $u$  la vitesse effective.

La vitesse effective est égale au flux traversant la section totale de l'échantillon ("vitesse de Darcy" des hydrogéologues), divisé par la porosité cinématique. L'identification des paramètres est soit manuelle, soit automatique.

Dans le premier cas, l'utilisateur procède par essais et erreurs. Il choisit une valeur probable pour chacun des paramètres à estimer ; le logiciel calcule et affiche la courbe théorique d'éluat correspondant à ces paramètres, en comparaison avec les points de mesure. Il indique la variance en tant que somme des carrés des écarts entre concentrations expérimentales et calculées. L'analyse des résultats conduit à l'essai de nouvelles hypothèses.

Dans le second cas, l'opérateur fournit la liste des paramètres à identifier, en donnant toutefois une première valeur à chacun d'eux ("initial guess"), et fixe la valeur de tous les autres. CATTI recherche alors le jeu de valeurs minimisant la variance.

## 2.4. RÉSULTATS ET DISCUSSION

Les résultats obtenus sur l'ensemble des essais sont résumés dans le tableau 6.

N° Colonne	Molécule injectée	Débit d'injection (ml/h)	Temps moyen de restitution (s)	Volume percolé apparent (ml)	Facteur de retard (Fr)	Taux de restitution (%)	Quantité injectée (µg)
1	iodure	30,00	2010	16,8	-	90	53,3
1	iodure	6,00	12601	21,0	-	109	53,3
1	iodure	6,00	12566	20,9	-	94	53,3
1	bromure	5,82	19160	31,0	-	94	125,4
1	TCE	5,82	30457	49,2	1,59	74	2,38
2	iodure	6,00	19336	32,2	-	91	200,5
2	bromure	5,76	18188	29,1	-	103	125,7
2	TCE	5,76	26350	42,2	1,45	78	5,38
2	TeCE	5,76	40162	64,3	2,21	67	6,37
3	bromure	2,87	33447	26,7	-	103	128,7
3	TCE	2,87	50589	40,3	1,51	74	4,57
3	TeCE	2,87	65324	52,1	1,95	62	5,54

Tableau 6 - Principaux résultats des différents essais

### 2.4.1. Traçages à l'iodure de sodium sur la colonne n° 1

La courbe obtenue au débit le plus important (30 ml/h ; fig. 21) présente un pic relativement symétrique. Le calcul de sa surface montre une restitution quasi intégrale des iodures (tableau 6). Le temps moyen d'arrivée du traceur permet de calculer un volume de percolation de 16,8 ml.

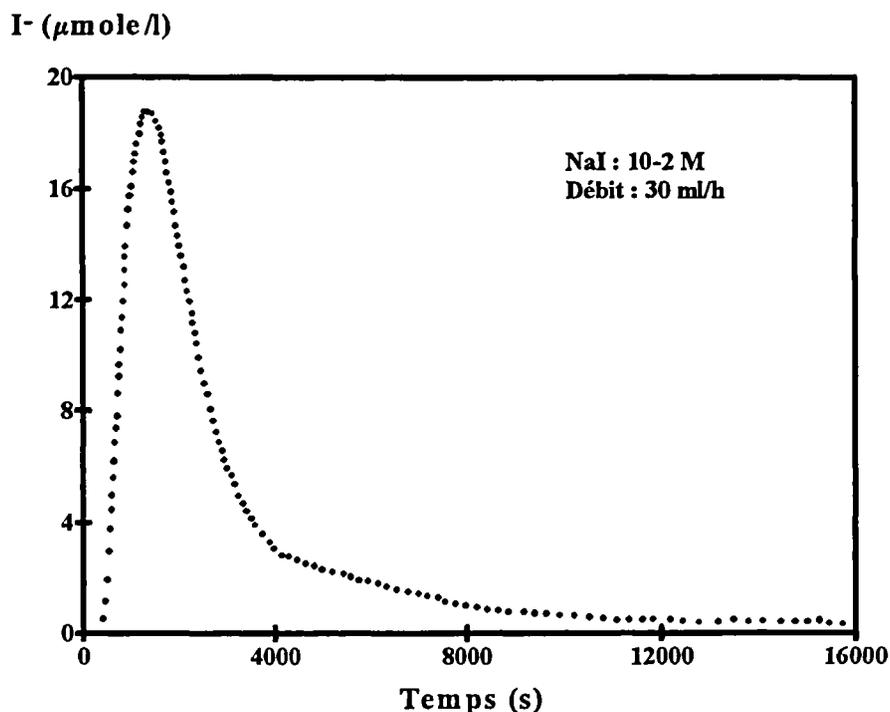


Fig. 21 - Courbe de restitution de l'iodure à un débit de 30 ml/h (colonne n° 1)

Les deux courbes de restitution obtenues à un débit plus faible (6 ml/h ; figs. 22 et 23), avec un épaulement très marqué du pic, sont très différentes de celle obtenue à 30 ml/h. Cette dissymétrie peut traduire des hétérogénéités de vitesse d'écoulement du fluide au sein de la colonne ; correspondant à des passages préférentiels avec écoulement rapide ou à des zones avec écoulement plus lent. Les taux de restitution du traceur, proches de 100 %, confirment l'absence d'interaction significative entre l'iodure et le sol utilisé. Les volumes percolés correspondant au temps moyen de restitution (21,0 et 20,9 ml) sont par contre supérieurs à celui de l'essai précédent (16,8 ml). Cette absence de reproductibilité des écoulements montre la nécessité d'injecter un traceur parfait simultanément au traceur réactif afin de suivre l'hydrodynamique tout au long de l'essai.

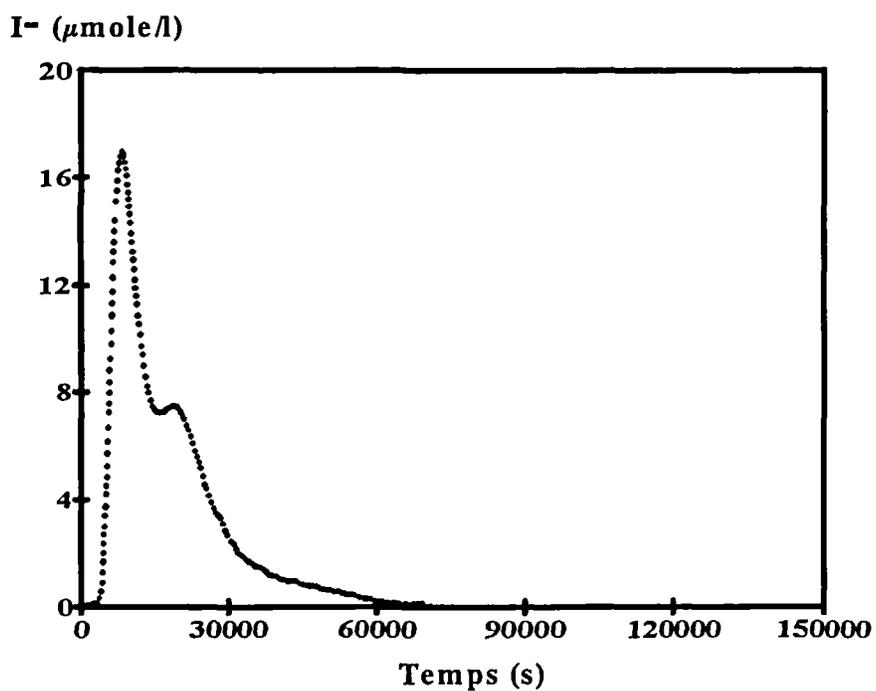


Fig. 22 - Courbe de restitution de l'iodure à un débit de 6 m/h (colonne n° 1, essai 1)

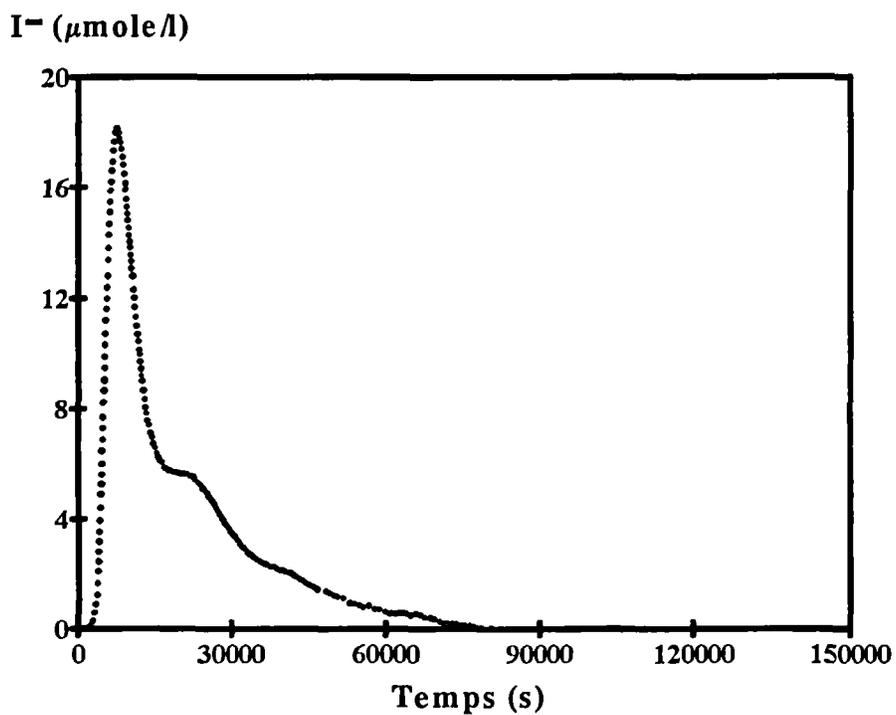


Fig. 23 - Courbe de restitution de l'iodure à un débit de 6 ml/h (colonne n° 1, essai 2)

### 2.4.2. Essai de percolation de TCE et de bromures sur la colonne n° 1

Cet essai, réalisé à un débit de 5,82 ml/h avec la solution n° 1, a été effectué un mois après les précédents, sur la même colonne. Durant cet intervalle de temps, aucune interruption des écoulements n'a eu lieu mais la pression d'injection est passée de 0 à 4 bars, indice d'un début de colmatage de la colonne. Cette pression est restée parfaitement stable tout au long de l'essai.

Les courbes de restitution sont reportées à la figure 24 pour les bromures et à la figure 25 pour le TCE.

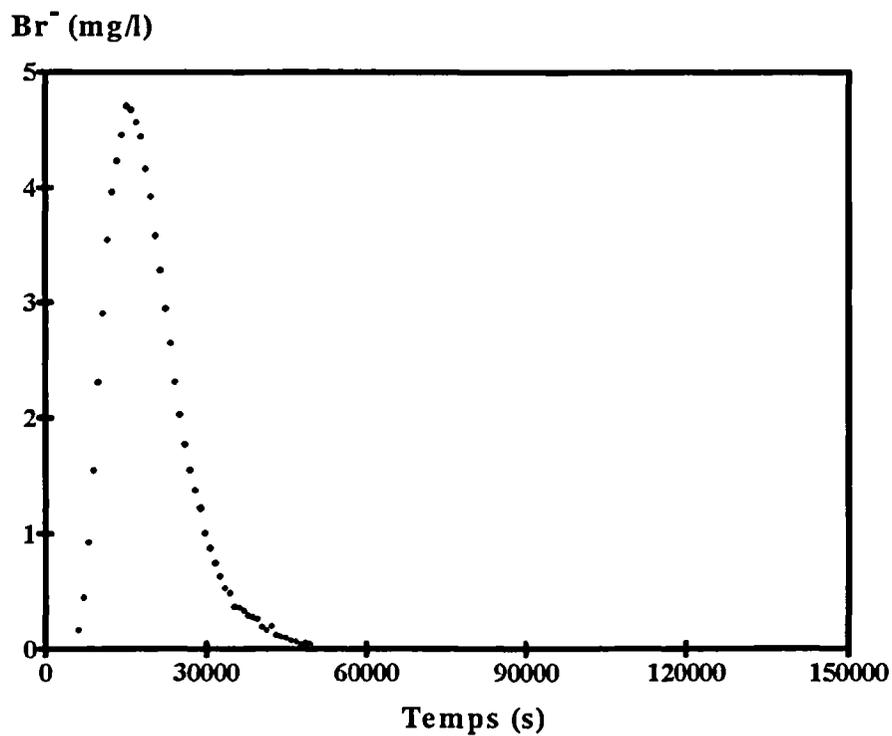


Fig. 24 - Courbe de restitution du bromure (colonne n° 1)

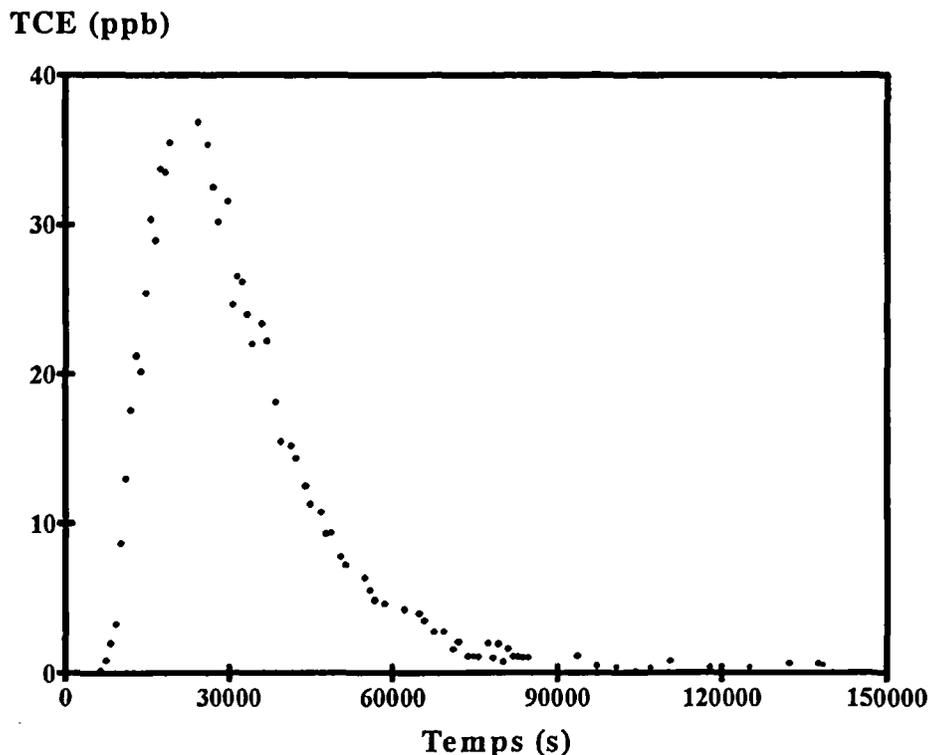
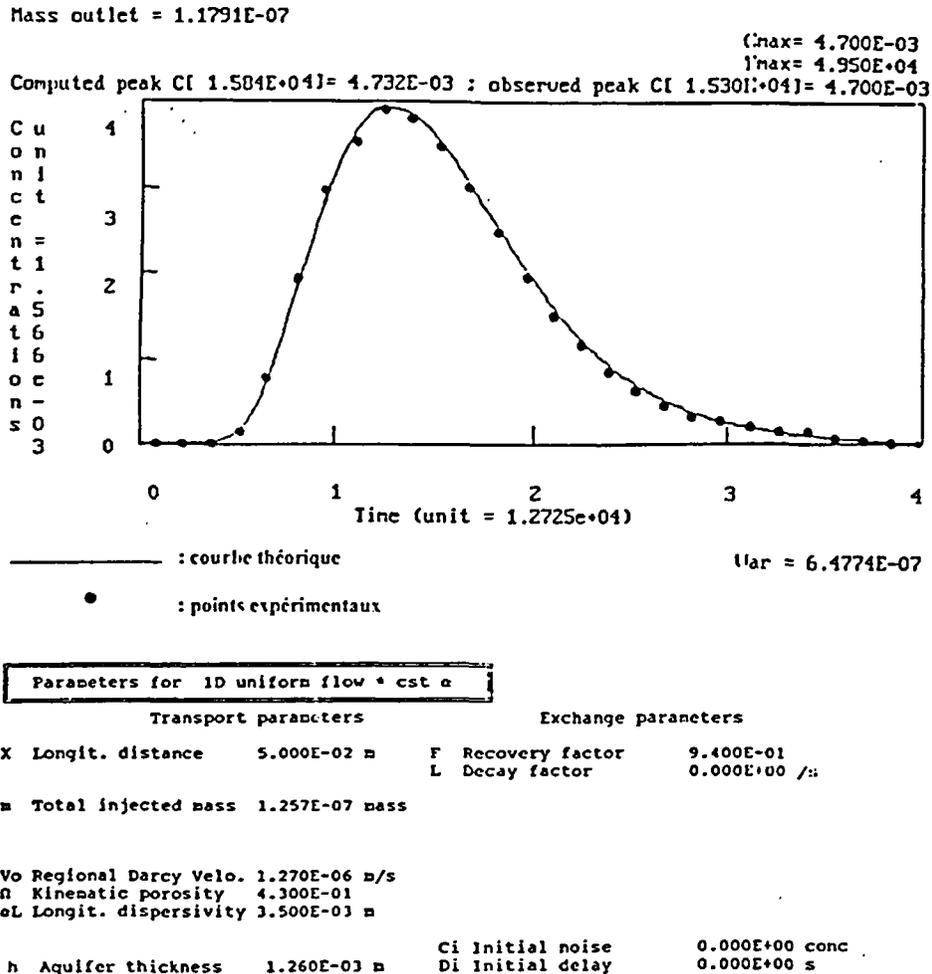


Fig. 25 - Courbe de restitution du TCE (colonne n° 1)

La courbe des bromures (fig. 24) diffère de celle obtenue auparavant pour les iodures au même débit (figs. 22 et 23). Aucun épaulement significatif n'est en effet détectable et par ailleurs le volume percolé, de l'ordre de 31 ml (tableau 3), est très supérieur aux 21 ml obtenus pour le traçage aux iodures. Ces variations, obtenues pour deux traceurs considérés comme parfaits (Rochon, 1978), reflètent, ici encore, la non reproductibilité des écoulements et l'extrême sensibilité de l'hydrodynamique aux conditions de percolation au travers d'un tel type de matériau poreux, très argileux. Le taux de restitution s'avère quant à lui très voisin de celui obtenu avec les iodures, ce qui est en accord avec l'absence de réactivité des bromures et des iodures sur la plupart des matériaux solides, exception faite de ceux qui contiennent des quantités importantes de matières organiques (Price and Calvert, 1973 ; Ten Haven *et al.*, 1988). Le volume de pore de 31 ml obtenu par le traçage est proche des 28 ml de teneur en eau de l'échantillon mesurée après percolation. L'écart entre ces deux valeurs peut être attribué d'une part aux volumes morts du montage expérimental et d'autre part à une légère perte de matériau lors de l'extrusion de la carotte hors de la chemise teflon avant la pesée.

Un essai préliminaire de modélisation de la restitution des bromures, effectué à l'aide du logiciel CATTI (nouvelle version CAT4) sur la base d'un modèle hydrodispersif 1D, est présenté à la figure 26. Pour ce calcul, l'épaisseur de l'aquifère a été assimilée à la section de la carotte. L'ajustement entre les points expérimentaux et la courbe théorique a été effectué en faisant varier la valeur de la dispersivité longitudinale ( $\alpha_L$ ), le meilleur ajustement étant obtenu avec une dispersivité de 3,5 mm. Ce résultat s'inscrit dans la gamme de valeurs obtenues sur deux carottes de grès de dimension identique à la colonne de sol utilisée ici,  $\alpha_L = 0,95$  mm et 49 mm (Bourg *et al.*, 1993). Les données de dispersivité mesurée en laboratoire sont assez rares et par ailleurs très fortement dépendantes de l'échelle spatiale et temporelle des expériences. Il n'est donc pas possible de situer mieux la valeur obtenue ici par rapport à d'autres travaux.

## Contamination d'un sol par des solvants chlorés



**Fig. 26 - Comparaison pour la colonne n° 1 entre les concentrations en Br<sup>-</sup> mesurées et celles calculées par le modèle CAT4**

La courbe de restitution du TCE (fig. 25) est plus étalée et débute plus tardivement que celle des bromures. Ces deux observations reflètent l'existence d'un non-équilibre causé par l'adsorption du TCE sur la phase solide (non-équilibre chimique) ou encore par un phénomène de diffusion entre "eau mobile" et "eau immobile" (non-équilibre physique). Le facteur de retard induit par ce dés-équilibre, de l'ordre de 1,6, est en bon accord avec les valeurs de la littérature (tableau 4) mais significativement inférieur à celui obtenu auparavant sur un sol identique (2,35 ; Bordelais, 1993).

Le taux de restitution du TCE n'est que de 74 %. Cette restitution incomplète du TCE est en désaccord avec les résultats obtenus d'une part sur des échantillons de grès, où l'adsorption apparaissait totalement réversible (Bourg *et al.*, 1993), et d'autre part sur les mêmes solides mais avec un système expérimental différent où un taux de restitution d'environ 96 % avait été obtenu (Bordelais, 1993).

### 2.4.3. Traçage à l'iodure de sodium sur la colonne n° 2

Ce traçage avec la solution d'iodure à 10<sup>-2</sup> M a été réalisé sur un échantillon différent, mais avec un même débit, 6 ml/h, que celui utilisé pour les essais précédents. Il a été effectué avec une pression de confinement de 17 bars et sous une pression d'injection nulle.

Les résultats sont illustrés à la figure 27.

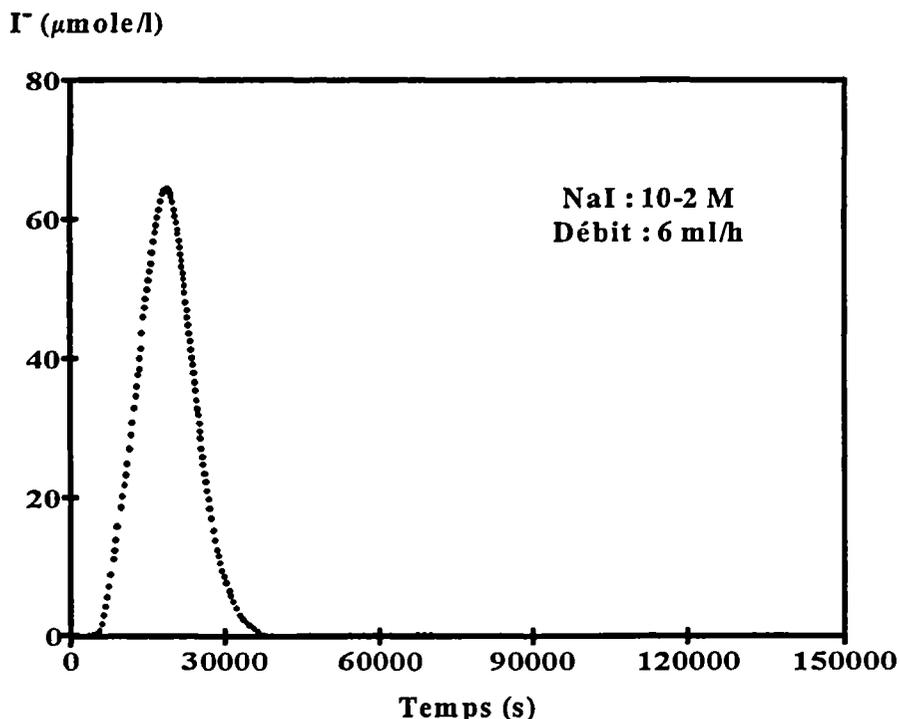


Fig. 27 - Courbe de restitution de l'iodure (colonne n° 2)

La courbe de restitution apparaît très différente de celles obtenues avec un débit identique mais sur une autre colonne de sol (n° 1 ; fig. 22 et 23). Ces variations reflètent directement les fortes fluctuations des écoulements au sein de la colonne, fluctuations liées aux différences des valeurs initiales de pression de confinement et d'injection. Toutefois, le temps moyen de restitution permet de calculer un volume percolé de 32,2 ml, valeur très proche de celle obtenue lors de l'essai précédent. Malgré les variations d'écoulement qui peuvent affecter le fluide entre deux essais consécutifs, la porosité cinématique globale reste donc sensiblement identique d'un échantillon à l'autre pour un débit donné.

Le taux de restitution des iodures, 91 %, est également en accord avec les essais précédents (tableau 6).

#### 2.4.4. Percolation de TCE, de TeCE et de bromures sur la colonne n°2

Cet essai, effectué avec la solution n° 2, a été réalisé dans les mêmes conditions initiales de débit, de pression de confinement et de pression d'injection que l'essai précédent. Les courbes de restitution des bromures, du TCE et du TeCE sont reportées sur les figures 28, 29 et 30.

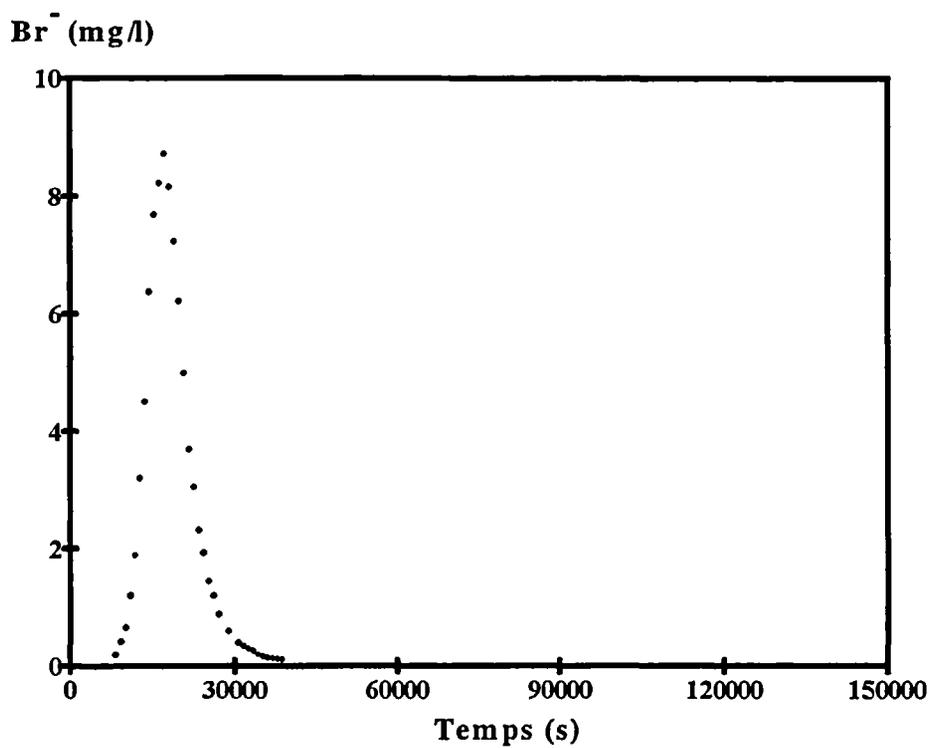


Fig. 28 - Courbe de restitution du bromure (colonne n° 2)

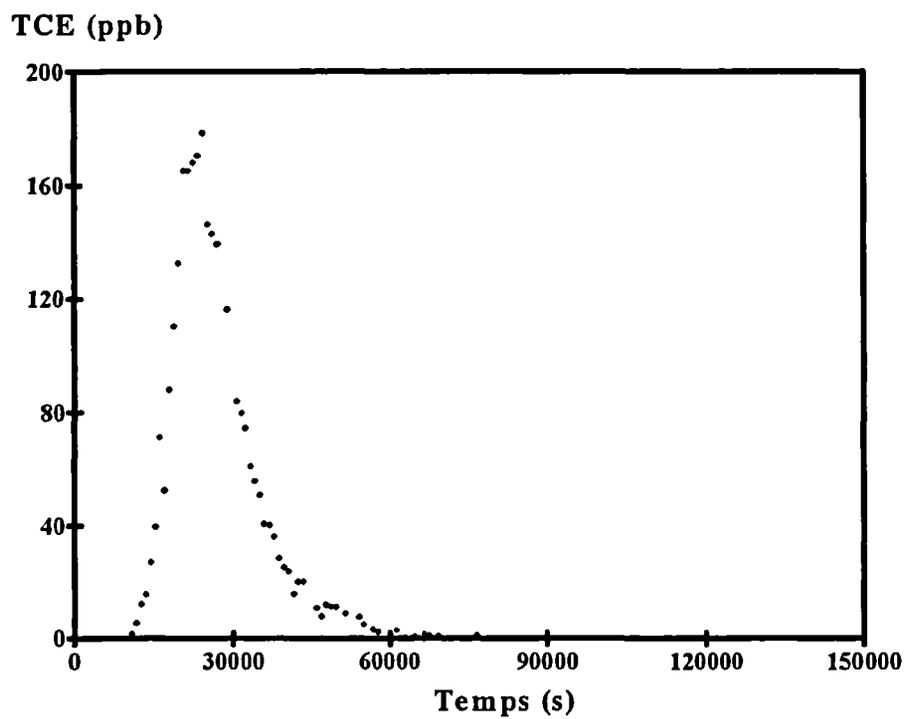


Fig. 29 - Courbe de restitution du TCE (colonne n° 2)

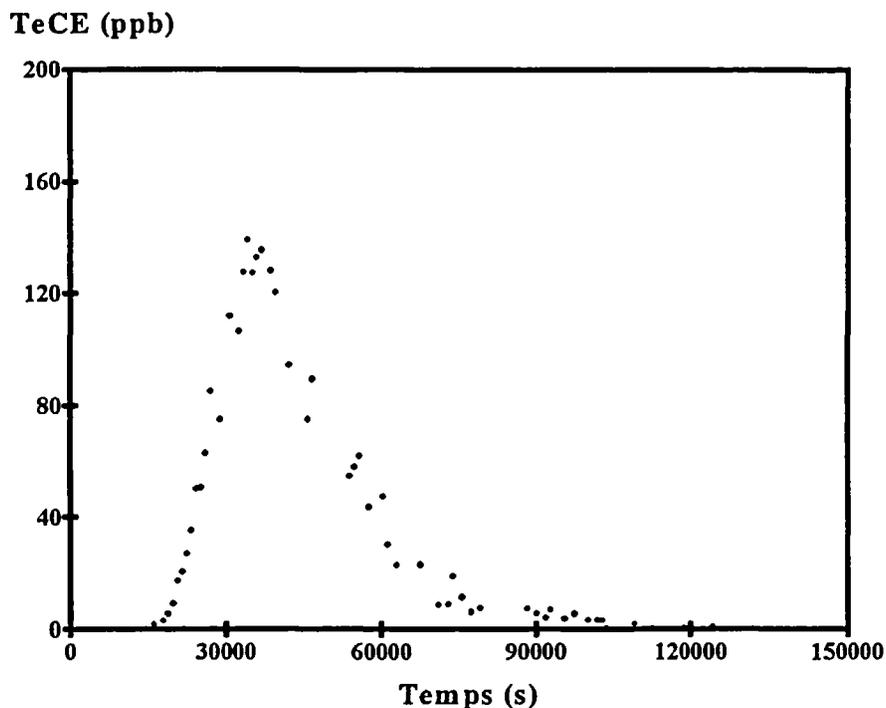


Fig. 30 - Courbe de restitution du TeCE (colonne n° 2)

La forme du pic de restitution des bromures est similaire à celle du pic obtenu pour les iodures, et le taux de restitution est de 103 % (tableau 6).

Le volume percolé (29 ml) est par contre légèrement inférieur à celui obtenu avec les iodures (32,2 ml). Cette différence est sans doute imputable à de légères variations des écoulements, l'hypothèse de phénomènes d'adsorption des iodures étant à écarter du fait d'un taux de restitution voisin de 100 %. Le volume obtenu par la mesure de la teneur en eau est de 27,7 ml. Cette valeur est proche des deux précédentes. Les hypothèses exposées pour la colonne n° 1 restent valables pour expliquer les légères différences observées au niveau de ces volumes mesurés de différentes manières.

Il faut noter également que la valeur maximale du pic de restitution des bromures est ici de 8 mg/l au lieu de 5 mg/l pour l'essai précédent (colonne n° 1), alors que la concentration de la solution d'injection est identique. Cet écart de concentration est imputable à une diffusion du fluide plus importante au sein de la colonne n° 1 que de la colonne n° 2.

Les pics de restitution du TCE et du TeCE sont plus étalés, et décalés dans le temps, par rapport à celui des bromures. Comme pour la colonne n° 1, ce résultat reflète un non-équilibre lié à une adsorption des solvants chlorés sur le solide ou à une diffusion de ces composés entre "eau mobile" et "eau immobile".

Les taux de restitution du TCE et du TeCE sont respectivement de 78 % et 67 %, et les facteurs de retard sont de 1,45 et 2,21. Pour le TCE, ces données sont conformes aux résultats obtenus avec la première colonne.

Ces facteurs de retard, qui traduisent un retard plus important pour le TeCE que pour le TCE, sont en bon accord avec ceux observés par la plupart des auteurs (tableau 7) mais restent inférieurs à ceux obtenus par ailleurs sur le même type de solide (2,35 pour le TCE et 3,29 pour le TeCE ; Bordelais, 1993).

Sol/aquifère	$f_{oc}^a$ (%)	Expérience (vitesse de pore, $m\ j^{-1}$ )	Fr		Calcul de Fr	Réf.
			TCE	TeCE		
Solides de sol sableux	0,02-0,22	Colonne (0,14)	1,5-1,6	2,5	Eq.	1
Sol sableux	0,05-0,25	Terrain	1,6-3,1	-	Eq.	1
Sol sablo-limoneux	0,85	Colonne (3-9)	4,7	-	Eq.	2
Aquifère sableux (Borden)	0,01-0,09	Terrain (0,08)	-	3,0	Eq. ou cin. ( $2 \times 10^{-4}$ )	3
Aquifère sableux (Borden)	0,01-0,09	Terrain (0,09)	-	2,7-5,9	Eq.	4
Aquifère sableux	0,007	Colonne (0,027)	1,5	2,2	Eq.	5
Aquifère sableux	0,025	Colonne (0,027)	1,1	1,2	Eq.	5
Aquifère sableux	0,015	Colonne (0,027)	1,1	1,2	Eq.	5
Aquifère captif peu profond	0,11	Terrain (3e)	5-9	-	Eq.	6
Aquifère semi captif	0,06	Cas réel (0,005)	env. 2	-	Estimation	7
Aquifère sableux	0,007	Colonne (0,22)	1,4-1,6	2,1	Cin. (0,07-0,12)	8
Aquifère sableux (Borden)	0,01-0,09	Terrain	-	5,2	Cin. (0,2-5)	9
Aquifère captif peu profond	0,11	Terrain	11,4	-	Cin. (0,6-11)	9
Aquifère sableux	0,02	Colonne (1,2-11)	-	2,1-2,2	Cin. (0,2-5,3)	10
Aquifère sableux	0,03	Colonne (1,2-22)	-	2,2-2,3	Cin. (0,5-14)	10
Aquifère sableux (Borden)	0,02	Batch	-	$3,6 \pm 0,3$	Estimée à partir de batch	11
Aquifère sableux (Borden)	0,018- 0,02	Colonne(0,018- 0,29)	-	1,2-2,5	Eq. ou cin. (0,06-2,9)	12
Aquifère sableux (Borden)	0,01-0,09	Terrain (0,27- 0,38)	-	1,8-2,0	Eq. ou cin. (2,8-4,7)	12
Solides d'aquifère gréseux	0,7-0,8	Colonne (0,15)	1,5-3	3-5	Cin. (env.0,4-3,2)	ce travail

<sup>a</sup> Fraction de carbone organique.

<sup>b</sup> Eq. : hypothèse d'équilibre local ; cin. : modèle cinétique de 1er ordre (constante de vitesse en  $h^{-1}$ ).

<sup>c</sup> Inconnu.

<sup>d</sup> Doublet injection/extraction

Réf. : 1 Wilson *et al.* (1981) ; 2 Hutzler *et al.* (1986) ; 3 Goltz and Roberts (1986) ; 4 Roberts *et al.* (1986) ;

5 Larsen *et al.* (1989) ; 6 Roberts *et al.* (1990) ; 7 Lesage *et al.* (1990) ; 8 Brusseau *et al.* (1991) ;

9 Brusseau (1992a) ; 10 Brusseau (1992b) ; 11 Curtis *et al.* (1986) ; 12 Placek and Gillham (1992)

Tableau 7 - Résumé de quelques travaux effectués sur le transport et l'adsorption du TCE et du TeCE (adapté de Bourg *et al.*, 1993)

Comme pour la colonne n° 1, les taux de restitution en TCE et en TeCE sont nettement inférieurs à ceux mesurés dans d'autres travaux (Bourg *et al.*, 1993 ; Bordelais, 1993).

Plusieurs hypothèses peuvent être émises :

- les polluants sont dégradés,
- la masse injectée diminue au cours du temps car le système n'est pas totalement étanche à l'air ou parce que les polluants s'adsorbent sur le dispositif expérimental,
- les polluants restent adsorbés sur le solide.

L'hypothèse d'une dégradation, biologique ou chimique, apparaît peu probable, compte tenu de la faible durée de l'expérience et de l'absence de stimulation de l'action des microorganismes.

Par ailleurs, les dosages de la solution mère de percolation effectués pendant la manipulation ont montré que les pertes par volatilisation dans le système expérimental sont inférieures à la quantité non-restituée au travers de la colonne de sol.

L'hypothèse d'une éventuelle adsorption sur le milieu poreux ou sur les matériaux du système expérimental est donc la plus probable. Tous les matériaux constitutifs du système (téflon, acier inoxydable) étant connus pour leur nature inerte, on a donc très probablement une fixation partiellement irréversible (ou réversible mais avec une cinétique très lente) du TCE et du TeCE par le sol.

Les dosages sur les sections de sol après percolation montrent des teneurs inférieures au seuil de détection (< 10 ppb). Au vu des faibles quantités de polluant injectées (entre 5,4 et 6,4 µg) pour la masse de sol contenue dans la colonne (74 g), les 20 - 30 % de non restitution correspondraient à 15 - 26 ppb dans le sol. Le temps et les manipulations intermédiaires nécessaires à la préparation des échantillons solides pour l'analyse peuvent par ailleurs avoir engendré une perte des molécules volatiles. Leur non-détection au seuil de 10 ppb ne permet donc pas d'éliminer l'hypothèse d'une fixation par le sol, irréversible à l'échelle de temps de l'expérience. L'éventuelle fraction adsorbée de manière irréversible n'étant pas quantifiable, le taux de restitution observé ne peut actuellement être expliqué et des travaux complémentaires sont à envisager dans ce but.

#### **2.4.5. Essai de percolation de TCE, de TeCE et de bromures sur la colonne n°3**

Toutes les conditions initiales de cet essai (débit, pressions de confinement et d'injection, nature et concentration de la solution d'injection) sont identiques à celles de l'essai précédent, sauf le débit, deux fois plus faible (2,87 ml/h).

Les concentrations en TCE et TeCE n'ont pas été réalisées sur la phase solide à l'issue de cette percolation, vu les résultats négatifs obtenus dans l'essai précédent.

Les courbes de restitution obtenues pour le bromure, le TCE et le TeCE sont respectivement reportées sur les figures 31, 32 et 33.

La restitution des bromures est complète et la courbe correspondante permet de calculer un volume percolé de 26,7 ml. Cette valeur est du même ordre de grandeur que celles calculées pour les colonnes n° 1 et 2.

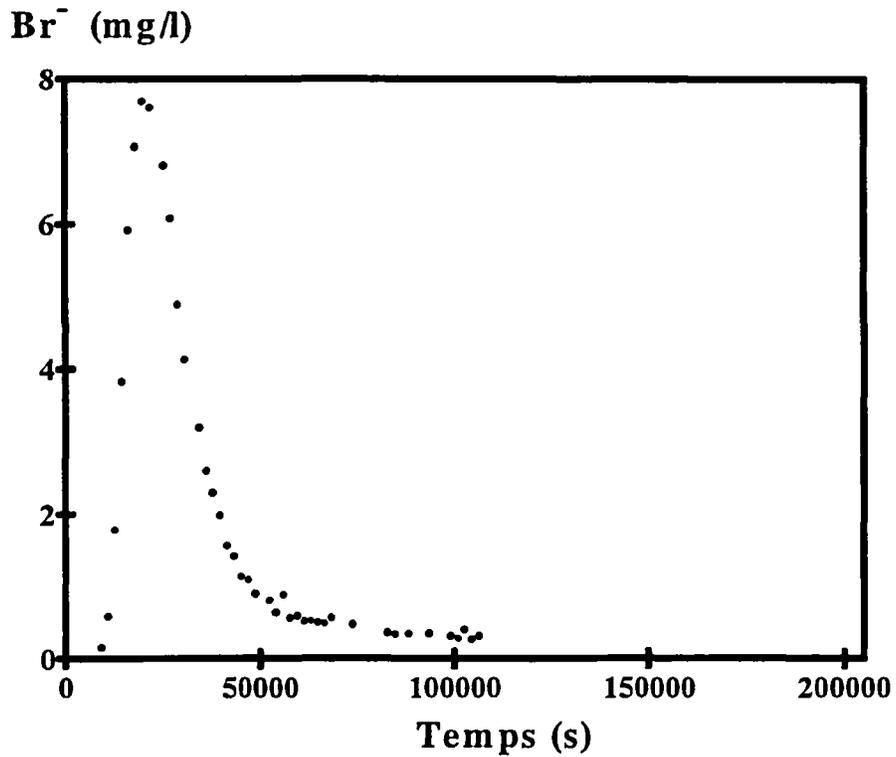


Fig. 31 - Courbe de restitution du bromure (colonne n° 3)

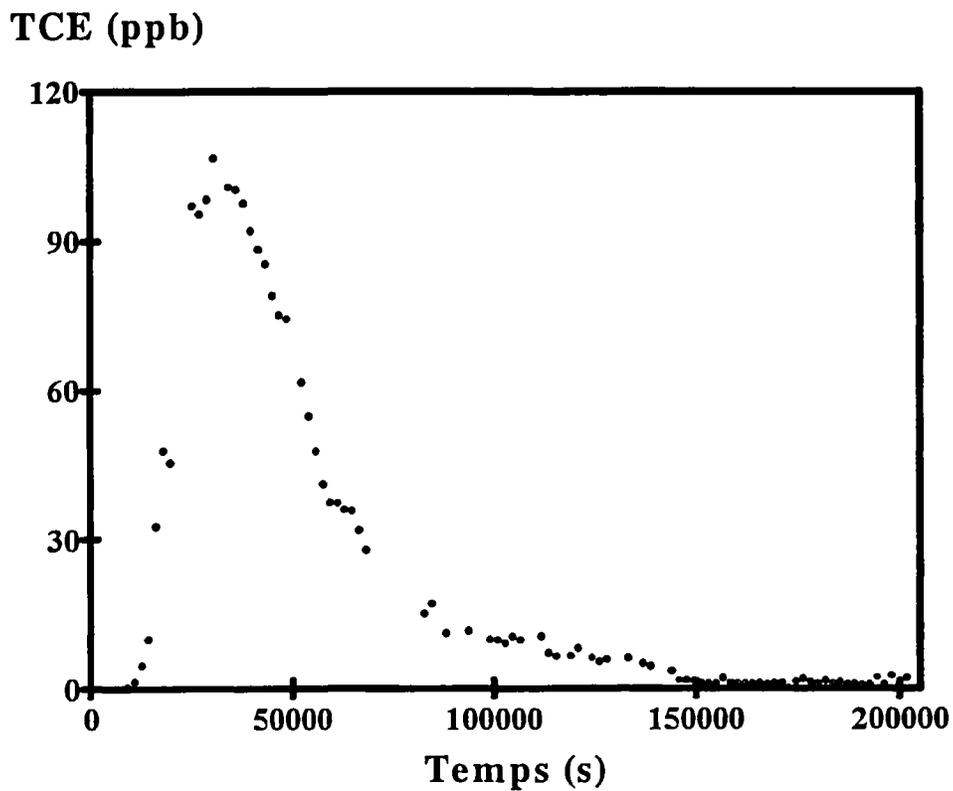


Fig. 32 - Courbe de restitution du TCE (colonne n° 3)

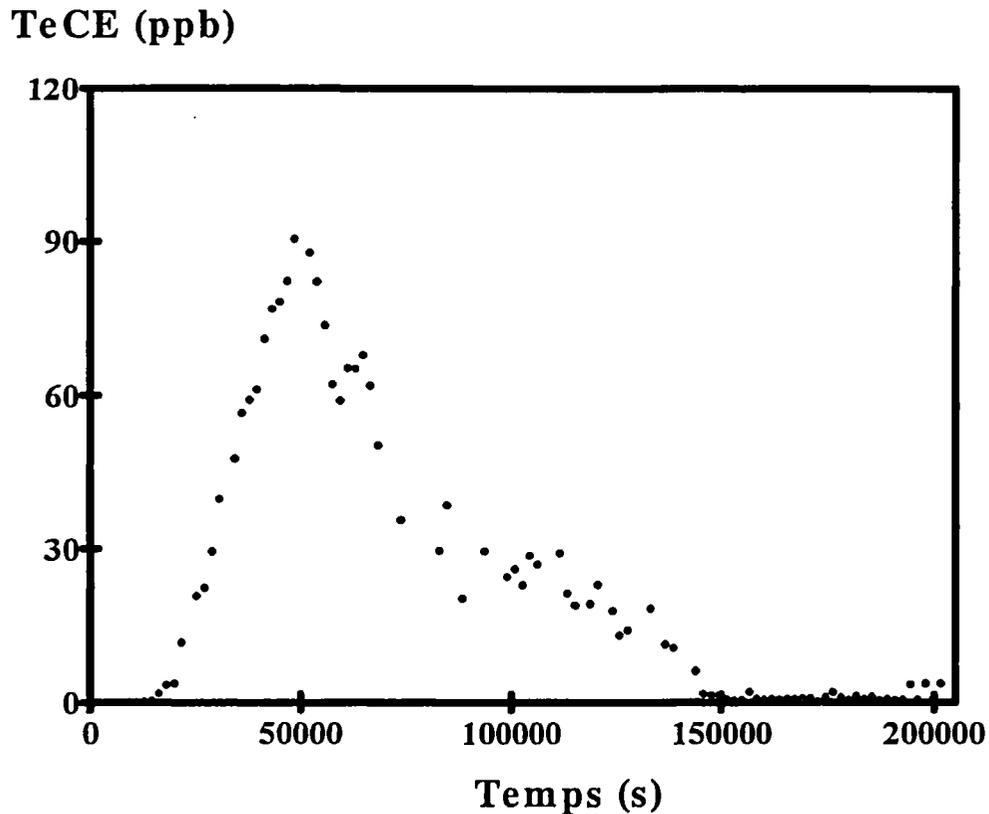


Fig. 33 - Courbe de restitution du TeCE (colonne n° 3)

Les résultats obtenus pour les deux solvants chlorés sont du même ordre de grandeur que ceux des essais précédents (tableau 6), sauf pour le facteur de retard du TeCE. Toutes les remarques et hypothèses qui y ont été mentionnées restent donc valables dans le cas présent. Cet accord entre les résultats obtenus à 5,76 ou 2,87 ml/h suggère que, dans les conditions expérimentales utilisées ici, le débit n'a pas d'influence significative sur l'adsorption du TCE et n'a qu'une influence restreinte pour le TeCE. Des essais de percolation complémentaires sont toutefois nécessaires pour une vérification du facteur de retard du TeCE qui varie d'un essai à l'autre.

Les figures 32 et 33 montrent également de légers épaulements sur les pics du TCE et du TeCE. Ces épaulements peuvent résulter directement de phénomènes hydrodynamiques (passages préférentiels au sein de la colonne), d'artefacts expérimentaux (dispersion des points due à des problèmes analytiques et à la volatilité des composés considérés) ou de l'existence de différentes classes de sites d'adsorption. Dans la mesure où ces épaulements ne sont pas détectables sur le pic des bromures, la première hypothèse semble à rejeter ; par contre, les deux autres hypothèses nécessiteront des travaux complémentaires pour être testées.

## **2.5. CONCLUSIONS**

Les expériences réalisées dans cette phase des travaux mettent en évidence un retard à la restitution pour les deux solvants chlorés utilisés (TCE et TeCE), le retard le plus important étant obtenu avec le TeCE. Ces résultats, en bon accord avec la littérature, confirment partiellement les données de travaux antérieurs réalisés sur un sol identique mais différent par contre par la non-restitution d'environ 25 % de la masse injectée. Cette non-réversibilité partielle peut expliquer les problèmes résiduels de pollution des eaux souterraines observés sur le site, pollution très largement différée par rapport à l'arrêt des déversements. L'étude détaillée des mécanismes responsables de cette non-restitution nécessitera des essais expérimentaux complémentaires.

Une des voies possibles serait, par exemple, d'étudier l'influence de la fraction carbonée sur la fraction non restituée du TCE et du TeCE. Cette démarche devra passer par une analyse quantitative et qualitative de la matière organique.

Une autre démarche importante à suivre dans le cadre de futurs travaux concerne la modélisation des résultats de traçages, qui devrait permettre d'évaluer des paramètres essentiels tels que les constantes cinétiques relatives à l'adsorption du TCE ou du TeCE sur le sol étudié. Elle devra par ailleurs être étayée par un plus grand nombre d'essais (essais d'injection en pulse et en continu) réalisés à plusieurs débits et en injectant des quantités variables de TCE et de TeCE.

## **CONCLUSIONS GÉNÉRALES**

Les travaux de terrain ont permis de localiser précisément les zones fortement contaminées par des composés volatils chlorés (tetra- et trichloroéthylène) ou aromatiques (benzène, toluène, xylènes). Ces zones ont une extension en surface limitée à quelques mètres carrés. L'extension en profondeur ne faisait pas l'objet de cette étude, mais les quelques solides prélevés à 1,5 mètres de profondeur présentent des forts niveaux de contamination, laissant augurer d'un stock de polluant potentiellement très élevé. L'infrastructure mise en place a par ailleurs permis la fourniture au groupe du Professeur Blanchard, LCPAE, INSA Lyon, de profils verticaux d'échantillons de sols destinés à l'analyse dans le cadre de la convention 92053 passée entre ce laboratoire et le SRETIE. Les données géophysiques acquises à la fin des travaux constituent une base à partir de laquelle seront optimisées les caractéristiques du forage à réaliser ultérieurement pour atteindre la nappe, quantifier les niveaux de contamination des solides à différentes profondeurs et disposer de solides non remaniés permettant des essais de percolation en laboratoire.

Les expériences de laboratoire ont mis en évidence un retard à la restitution pour les deux solvants chlorés étudiés (TCE et TeCE), le retard le plus important étant obtenu avec le TeCE. Ces résultats, en bon accord avec la littérature, confirment partiellement les données de travaux antérieurs réalisés sur un sol identique mais différent par contre par la non-restitution d'environ 25 % de la masse injectée. Cette non-réversibilité partielle peut expliquer les problèmes résiduels de pollution des eaux souterraines observés sur le site, pollution très largement différée par rapport à l'arrêt des déversements. L'étude détaillée des mécanismes responsables de cette non-restitution nécessitera des essais expérimentaux complémentaires.

Une des voies possibles serait, par exemple, d'étudier l'influence de la fraction carbonée sur la fraction non restituée du TCE et du TeCE. Cette démarche devra passer par une analyse quantitative et qualitative de la matière organique. Une autre démarche importante à suivre dans le cadre de futurs travaux concerne la modélisation des résultats de traçages, qui devrait permettre d'évaluer des paramètres essentiels tels que les constantes cinétiques relatives à l'adsorption du TCE ou du TeCE sur le sol étudié. Elle devra par ailleurs être étayée par un plus grand nombre d'essais (essais d'injection en pulse et en continu) réalisés à plusieurs débits et en injectant des quantités variables de TCE et de TeCE.

## BIBLIOGRAPHIE

BORDELAIS C. (1993) - Transfert des micropolluants organochlorés en milieu poreux saturé - Rapport de stage, Ecole Supérieure d'Ingénieurs de Poitiers, Traitement des Eaux et des Nuisances, SGN/GCH/MPH 306/93.

BOURG A.C.M., DEGRANGES P., MOUVET C. and SAUTY J.P. (1993) - Migration of chlorinated hydrocarbon solvents through Coventry sandstone rock columns - *J. Hydrol.*, 149, pp 183-207.

BRUSSEAU M.L., LARSEN T. and CHRISTENSEN T.H. (1991) - Rate-limited sorption and non-equilibrium transport of organic chemicals in low organic carbon aquifer materials. *Water Resour. Res.*, 27, pp 1137-1145.

BRUSSEAU M.L. (1992a) - Transport of rate-limited sorbing solutes in heterogeneous porous media: Application of a one-dimensional multifactor nonideality model to field data. *Water Resour. Res.*, 28, pp 2485-2497.

BRUSSEAU M.L. (1992b) - Non equilibrium transport of organic chemicals: the impact of pore-water velocity. *J. Contam. Hydrol.*, 9, pp 353-368.

CURTISS G.P., ROBERTS P.V. and REINHARD M. (1986) - A natural gradient experiment on solute transport in a sand aquifer; 4. Sorption of organic solutes and its influence on mobility. *Water Resour. Res.*, 22, pp 2059-2067.

GOLTZ M.N. and ROBERTS P.V. (1986) - Interpreting organic solute data from a field experiment using physical non equilibrium models. *J. Contam. Hydrol.*, 1, pp 77-93.

HUTZLER N.J., CRITTENDEN J.C. and GIERKE J.S. (1986) - Transport of organic compounds with saturated groundwater flow: experimental results. *Water Resour. Res.*, 22, pp 285-295.

LARSEN T., KJELDSSEN P., CHRISTENSEN T.H., SKOV B. and REFSTRUP M. (1989) - Sorption of specific organics in low concentrations on aquifer materials of low organic carbon content: Laboratory experiments, In: H.E. KOBUS and W. KINZELBACH (Editors), *Contaminant Transport in Groundwater*. Balkema, Rotterdam, pp 133-140.

LESAGE S., JACKSON R.E., PRIDDLE M.W. and RIEMANN P.G. (1990) - Occurrence and fate of organic solvent residues in anoxic groundwater at the Gloucester landfill, Canada. *Environ.Sci. Technol.*, 24, pp 559-566.

MOUVET C., BARBERIS D. and BOURG A.C.M. (1993) - Adsorption isotherms of tri-and tetra-chloroethylene by various natural solids. *J. Hydrol.*, 149, pp 163-182.

PLACEK C.J. and GILLHAM R.W. (1992) - Laboratory and field measurements of non-equilibrium transport in the Borden aquifer, Ontario, Canada. *J. Contam. Hydrol.*, 10, pp 119-158.

PRICE N.B. and CALVERT S.E. (1973) - The geochemistry of iodine in oxidised and reduced recent marine sediments. *Geoch. Cosmochim. Acta*, 37, pp 2149-2158.

ROBERTS P.V., GOLTZ M.N. and MACKAY D.M. (1986) - A natural gradient experiment on solute transport in a sand aquifer. 3. Retardation estimates and mass balances of organic solutes. *Water Resour. Res.*, 22, pp 2047-2058.

ROBERTS P.V., HOPKINS G.D., MACKAY D.M. and SEMPRINI L. (1990) - A field evaluation of in-situ biodegradation of chlorinated ethenes: part I, Methodology and field site characterization. *Ground Water*, 28, pp 591-604.

ROCHON J. (1978) - Propagation de substances miscibles en interaction physico-chimique avec le substrat. Thèse Doct.-Ing., Institut National polytechnique de Grenoble.

TEN HAVEN H.L., De LEEUW J.W., SCHENK P.A. and KLAVER G.T. (1988) - Geochemistry of Mediterranean sediments. Bromine/organic carbon and uranium/organic carbon ratios as indicators for different sources of input and post-depositional oxidation, respectively. *Org. Geochem.*, 13, pp 255-261.

WILSON J.T., ENFIELD C.G., DUNLAP W.J., COSBY R.L., FOSTER D.A. and BASKIN L.B. (1981) - Transport and fate of selected organic pollutants in a sandy soil. *J. Environ. Qual.*, 1, pp 501-506.

**ANNEXE 1**  
**ANALYSES D'AOÛT 1987**

## DE LA DÉCHARGE SAUVAGE DE DREUX

Suite à la découverte d'une décharge sauvage à Dreux, cinq échantillons de dépôts ont été prélevés le août 1987 dans des flacons scellés en vue d'une recherche de solvants chlorés. Le but des analyses consiste à établir un lien éventuel entre la présence de la décharge et la pollution des forages de l'Avre par des solvants chlorés et fluorés.

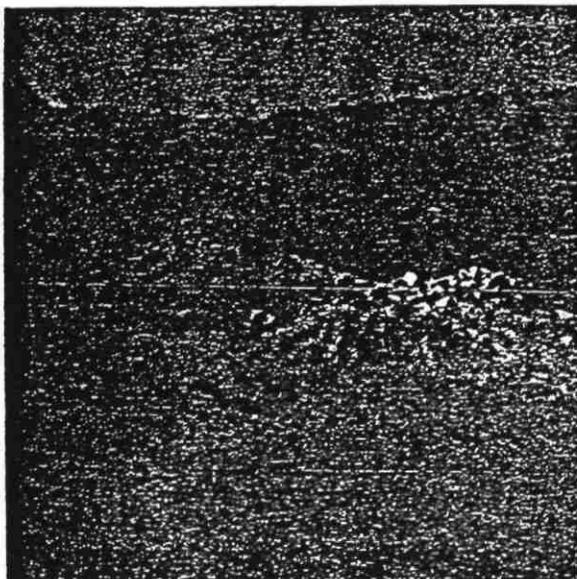
RESULTATS

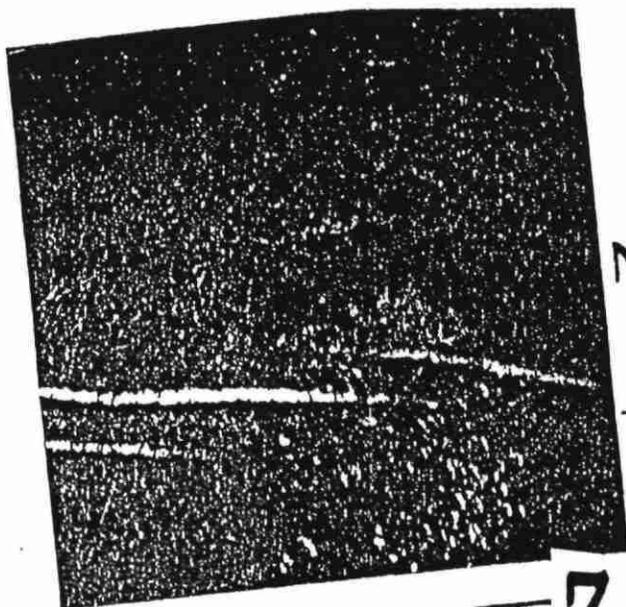
Les concentrations suivantes, exprimées en microgrammes par litre de dépôt, ont été relevées sur les échantillons numérotés de 1 à 5 :

	N° 1	N° 2	N° 3	N° 4	N° 5
Chloroforme	< 2	< 2	< 2	< 2	42
Tétrachlorure de carbone	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05
Trichloroéthane	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2
Tétrachloroéthylène	< 2	< 2	59	3	86
Dichlorobromométhane	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2
Dibromochlorométhane	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2
Trichloroéthylène	< 2	< 2	31	44	109
Trichlorofluorométhane	< 2	< 2	< 2	< 2	12
Trichlorotrifluoroéthane	< 2	5	210	201	51

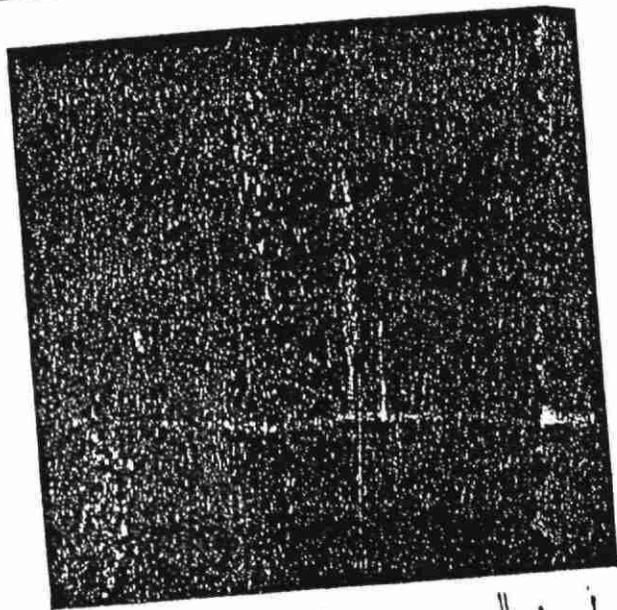
CONCLUSIONS

Les échantillons n° 3, n° 4 et n° 5 apparaissent particulièrement chargés en solvants chlorés. La comparaison des solvants détectés dans les échantillons de décharge et dans les forages de l'Avre montre que les cinq solvants trouvés dans la décharge (chloroforme, trichloroéthylène, tétrachloroéthylène, trichlorofluorométhane, trichlorotrifluoroéthane) sont détectés en permanence dans les forages de l'Avre. Dans la mesure où la présence de composés comme les solvants fluorés dans les eaux souterraines est assez inhabituelle leur présence simultanée dans les forages et dans la décharge voisine confirme bien que la décharge est source de pollution des forages de l'Avre. Les analyses effectuées tendent par ailleurs à montrer que les solvants en question sont localisés en des points particuliers de la décharge. Seule une campagne d'analyse du même type mais avec des points d'échantillonnage plus nombreux permettrait de mieux cerner les zones de pollution qui pourraient alors être sélectivement traitées ou enlevées.





7



6

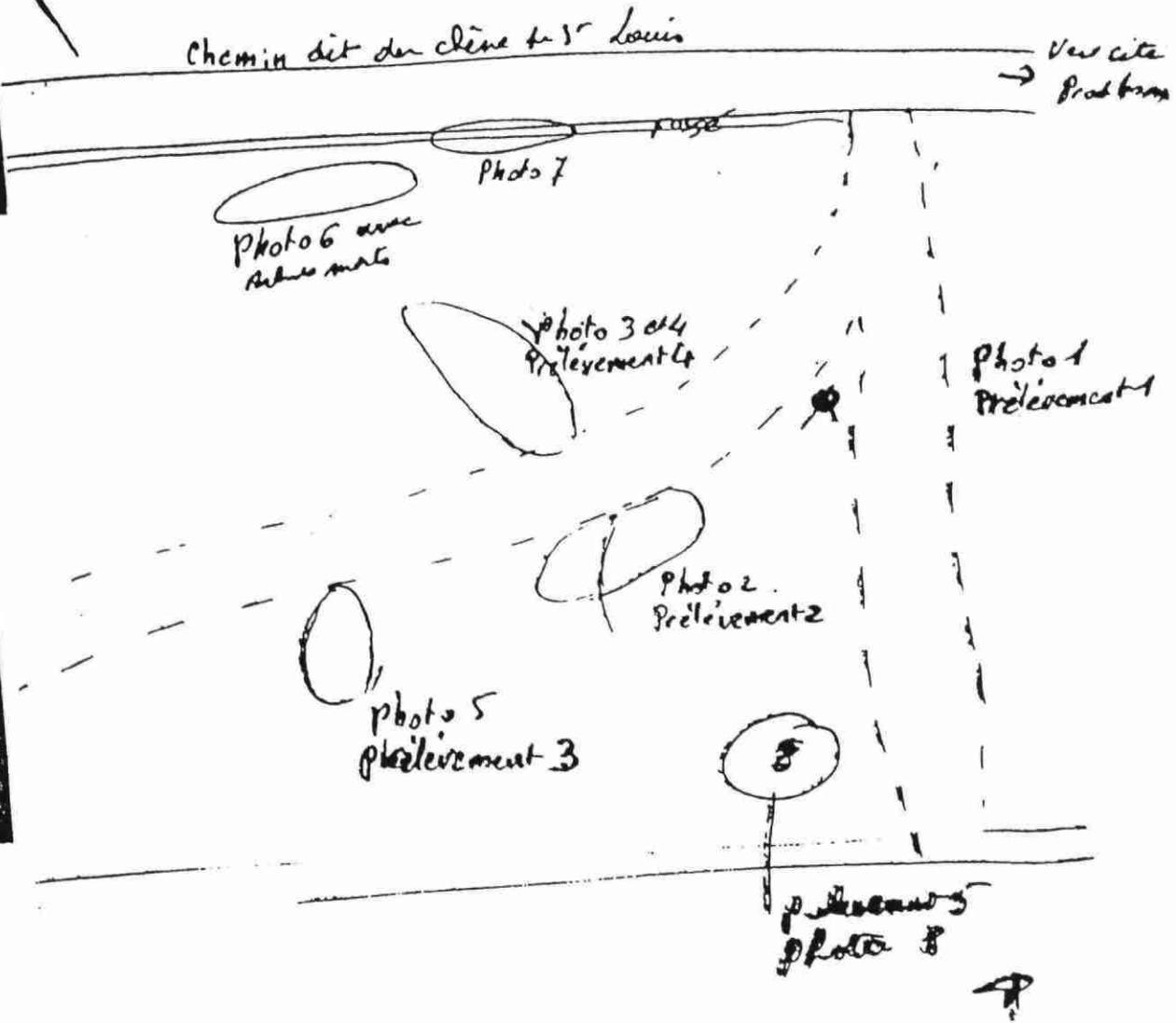
Vers terrain des nomades

le 5.08.87



Chemin dit du clône to 5<sup>e</sup> Louis

Vers cite  
→ Proab tram



## **ANNEXE 2**

**LYONNAISE DES EAUX/OCTOBRE 1987**

**NOTE CONCERNANT LA PRÉSENCE D'ORGANOCLHORÉS  
DANS LES FORAGES AEP DES RIVES DE L'AVRE**

SOCIETE LYONNAISE DES EAUX

DIRECTION REGIONALE

REGION PARISIENNE NORD

VILLE DE DREUX

NOTE CONCERNANT LA PRESENCE  
D'ORGANOCHLORES DANS LES FORAGES  
AEP DES RIVES DE L'AVRE

HYDRO/F005/CP  
OCTOBRE 1987



**S A F E G E**

78, Rue des Suisses  
92000 MANTERRE France

## 1 - PREAMBULE

L'alimentation en eau potable de la ville de DREUX est en partie assurée par un champ captant situé à 3 km au Nord Ouest de l'agglomération sur les rives de l'AVRE.

Depuis deux ans environ, la présence de composés organochlorés à des concentrations très significatives a été détectée dans tous les ouvrages du site.

Le champ captant comporte deux forages F1 et F2 exploités par la LYONNAISE DES EAUX pour l'AEP de la ville de DREUX, et le forage FH qui alimente le sanatorium.

A 1,5 km vers l'amont, se trouve le champ captant de la ville de PARIS et notamment le forage P5, implanté à 250 m environ de l'AVRE, et pour lequel la concentration éventuelle en produits polluants n'est pas connue.

Récemment, des prélèvements d'échantillons ont été effectués dans une décharge non contrôlée située à 2 km au Sud du site de captage. Les analyses chimiques correspondantes indiquent la présence de teneurs importantes des mêmes produits.

La présente note a pour objet la caractérisation des écoulements souterrains dans le secteur concerné. Elle examinera la possibilité d'une relation hydraulique entre cette décharge et le champ captant pouvant expliquer l'atteinte de ce dernier par les produits polluants.

## 2 - CONTEXTE HYDROGEOLOGIQUE

Le substratum régional est constitué par les assises crayeuses du Sénonien. En dehors des versants à forte pente, ces formations secondaires sont le plus souvent masquées par des dépôts tertiaires et quaternaires d'origines diverses :

- formations résiduelles à silex,
- limons des plateaux,
- alluvions des cours d'eau,
- colluvions et éboulis.

La seule nappe aquifère d'extension régionale est celle de la craie du Sénonien.

La perméabilité y est surtout fonction de la fréquence des fractures dont l'ouverture est favorisée par les circulations d'eau.

En conséquence, les perméabilités les plus fortes sont rencontrées le long de l'axe des cours d'eau, sous couverture alluviale et celles-ci diminuent d'ordinaire rapidement dès que les horizons crayeux sont masqués par les formations de couverture peu perméables.

D'une manière générale, la nappe de la craie est libre et sa surface piézométrique suit en l'atténuant beaucoup la morphologie du relief.

Dans les vallées cette piézométrie se raccorde à celle du réservoir alluvionnaire qui est alimenté par l'aquifère crayeux.

L'origine de l'eau produite par les forages implantés en rive droite de l'AVRE est donc double :

- eau de surface filtrée par les alluvions et pouvant transiter très localement dans l'aquifère crayeux,
- eau du réservoir Sénonien infiltrée à travers les formations tertiaires ou directement sur les affleurements de la craie.

La proportion entre ces deux origines dépend des caractéristiques locales des aquifères et des débits pompés dans les ouvrages.

La limite Sud Est du bassin versant de l'AVRE passe approximativement par la "cité Prud'homme".

Le pendage général des couches sénoniennes étant assez faible, le décalage entre bassin versant topographique et bassin versant hydrogéologique est certainement peu marqué.

En conséquence, au Nord Ouest de la limite du bassin versant, tous les écoulements qu'ils soient superficiels ou souterrains aboutissent dans la vallée de l'AVRE et sont drainés par cette rivière ou bien extraits par les ouvrages qui s'y trouvent.

Au sein de la craie, le transit peut être lent si le milieu est peu fracturé, ou bien au contraire rapide et parfois indirect s'il se produit à la faveur d'un accident tectonique.

Dans le secteur du champ captant, l'AVRE suit une direction Sud Ouest - Nord Est parallèle à celle des deux bras de la BLAISE à DREUX.

Cette orientation, que l'on retrouve dans plusieurs éléments de la morphologie du relief, correspond très probablement à une direction tectonique privilégiée qui a induit le tracé des rivières et peut influencer les écoulements souterrains dans les formations crayeuses.

### 3 - EXAMEN DES ANALYSES CHIMIQUES DISPONIBLES

Deux types de prélèvements d'échantillons à fin d'analyses ont été effectués depuis la découverte des polluants dans les puits AEP de l'AVRE :

*Contamination d'un sol par des solvants chlorés*

- échantillons d'eau prélevés régulièrement sur les forages F1, F2 et FH, dans l'AVRE à proximité du F2, et dans l'égout de l'Hopital,
- échantillons de déchets déposés dans la décharge non contrôlée au lieu-dit "Chêne St Louis"

Le tableau ci-dessous résume les résultats concernant cinq solvants organo-chlorés et fluorés caractéristiques, dont la présence est tout à fait anormale et exceptionnelle dans une nappe souterraine (l'ensemble des analyses d'eau est donné en annexe).

Résumé des concentrations mesurées en solvants organochlorés et organo-fluorés en micro g/l.

NATURE DE L'ECHANTILLON		DECHETS MIS EN DEPOT				EAU SOUTERRAINE		
POINT DE PRELEVEMENT		N°2	N°3	N°4	N°5	FH	F1	F2
DATE DES PRELEVEMENTS		8/87				3/3/87 ET 31/3/87		
Chloroforme	<2	<2	<2	42	115/100	83/90	<2/23	
Tetrachloroéthylène	<0.05	59	3	86	31/21	40/29	4/30	
Trichloroéthylène	<2	31	44	109	175/150	150/140	6/110	
Trichlorofluorométhane	<2	<2	<2	12	3/3	2/2	??/?	
Trichlorotrifluoroéthane	5	210	201	51	21/20	14/16	??/?	

Le trichlorofluorométhane et le trichlorotrifluoroéthane, en particulier, sont des composés dont l'origine industrielle est incontestable.

Leur présence simultanée dans les trois forages du champ captant de l'AVRE, et dans plusieurs échantillons de déchets prélevés dans la décharge non contrôlée, ne peut être attribuée au hasard.

Parallèlement les prélèvements effectués dans l'AVRE face au forage n° 2 et dans l'égout de l'hopital ont donné les résultats suivants :

- concentration en trichloréthylène, et plus généralement en composés organochlorés, inférieure au seuil de détection sauf en ce qui concerne le chloroforme qui a été dosé à 3 micro g/l dans l'AVRE le 31/3/87.

Ces résultats prouvent que l'origine de la pollution est bien à rechercher dans la fraction du débit pompé fourni par l'aquifère crayeux.

#### 4 - CONCLUSION

Les différentes analyses effectuées sur les 3 forages des rives de l'AVRE, sur l'eau de l'AVRE et dans l'égout de l'hôpital prouvent que le transfert des produits pollués n'est pas assuré par la rivière elle-même ni par le rejet de l'hôpital.

En dehors des alluvions des différents cours d'eau, le seul réservoir aquifère important est constitué par la craie plus ou moins fissurée du Sénonien.

C'est à cet aquifère qu'il faut attribuer le transfert des solvants incriminés.

Du fait du faible pendage de ces couches, la surface piézométrique de cet aquifère suit généralement la surface topographique en atténuant fortement les reliefs, et se raccorde dans les vallées à la piézométrie alluviale.

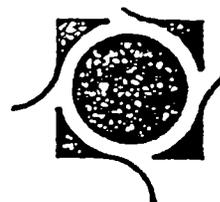
Ainsi, l'écoulement souterrain général au droit du site de la décharge non contrôlée s'effectue en direction de l'Ouest, où même du Nord, s'il n'existe pas de dôme piézométrique au droit du promontoire du "Bois des Buissons".

Localement, un écoulement préférentiel en direction du Nord ou du Nord Est est peut être favorisé par l'existence d'un accident tectonique orienté Sud Ouest - Nord Est.

Quoi qu'il en soit, le site de la décharge non contrôlée est dans le bassin versant de l'AVRE et les lixiviatés qui en proviennent aboutissent dans la vallée de l'AVRE.

Les composés liquides ou solubles déposés dans la décharge non contrôlée se retrouvent donc dans les ouvrages du champ captant de la ville de DREUX après un temps de transfert qui ne peut être évalué dans l'état actuel des connaissances.

LYONNAISE DES EAUX



LABORATOIRE CENTRAL

38, rue du Président Wilson  
78230 LE FÈCO

TEL: 39.76.64.10

TELEX 696287 F

Asree par le Ministère de l'Environnement  
Pour les analyses types 1-2-3-4-5-6

ANALYSE DE CONTRÔLE

Nous vous prions de bien vouloir trouver ci-dessous  
les résultats des analyses des échantillons prélevés à

N° 1  
028134006  
ORIGINAL

DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 1

Numéro Chrono : 53300

Origine du prélèvement : EAU BRUTE

Date du prélèvement ..... 3/3/87

NITRATES ( mg/l NO3 ) ..... 37

AUTRES COMPOSÉS ORGANOCLORES ( micros/l ) .....

HALOFORMES TOTAUX ( micros/l ) ..... 88 -

CHLOROFORME ( micros/l ) ..... 83 -

MONOCHLORODIBROMOMETHANE ( micros/l ) ..... 82 -

DICHLOROBROMOMETHANE ( micros/l ) ..... 82 -

BROMOFORME ( micros/l ) .....

TETRACHLORURE DE CARBONE ( micros/l ) ..... 4.3

TRICHLORETHYLENE ( micros/l ) ..... 150 -

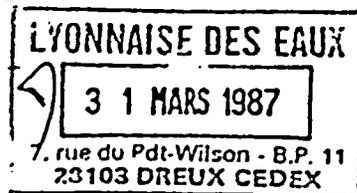
1,1,1 TRICHLOROETHANE ( micros/l ) ..... 161 -

TETRACHLORETHYLENE ( micros/l ) ..... 40 -

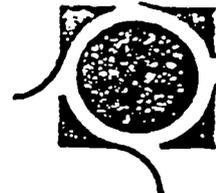
CONCLUSIONS :

présence de solvants chlorés d'origine industrielle.  
trifluorométhane : 204/l  
trichlorotrifluoroéthane : 1408/l

Trichlo  
Tr



Le Feco - le 27-03-87  
Le Directeur  
*[Signature]*



LABORATOIRE CENTRAL

38, rue du Président Wilson  
78230 LE PECQ

YONNAISE DES EAUX

TELEPHONE 39.76.64.10

TELEX 696287 F

Agree par le Ministère de l'Environnement  
Pour les analyses types 1-2-3-4-5-6

ANALYSE DE CONTRÔLE

N. 11  
028134006  
ORIGINAL

Nous vous prions de bien vouloir trouver ci-dessous  
les résultats des analyses des échantillons prélevés à  
DREUX VALLEE DE L'AURE FORAGE 1

Numéro Chrono : 53593

Origine du prélèvement : EAU BRUTE

Date du prélèvement ..... 31/ 3/87

ASPECT .....	Clair
TURBIDITE ( U.J ) .....	0.07
ODEUR SUR PLACE .....	0
SAVEUR SUR PLACE .....	0
TEMPERATURE ( Des.C ) .....	10.5
PH .....	7.14
PHs .....	7.44
Is .....	-0.30
RESISTIVITE ( ohm.cm ) .....	1725
CHLORURES ( mg/l Cl ) .....	7.25
SULFATES ( mg/l SO4 ) .....	17
CALCIUM DETERMINE PAR CALCUL ( mg/l Ca ) .....	114
DURETE TOTALE ( Des.F. ) .....	32.0
TITRE ALCALIMETRIQUE COMPLET ( Des.F. ) .....	25.7
DURETE MAGNESIENNE 1/2 Ha ( Des.F. ) .....	3.5
NITRATES ( mg/l NO3 ) .....	38
NITRITES ( mg/l NO2 ) .....	0.00
AMMONIAQUE ( mg/l NH4 ) .....	0.0
OXYDABILITE KMnO4 à chaud milieu acide ( mg/l O2 ) .....	0.10
AUTRES COMPOSES ORGANIQUES ( microg/l ) .....	
HALOFORMES TOTAUX ( microg/l ) .....	56
CHLOROFORME ( microg/l ) .....	50
BROMOCHLORODIFLUOROMETHANE ( microg/l ) .....	2
DICHLORODIFLUOROMETHANE ( microg/l ) .....	2
BROMOFORME ( microg/l ) .....	
TETRACHLORURE DE CARBONE ( microg/l ) .....	5.6
TRICHLOROETHYLENE ( microg/l ) .....	140
1,1,1 TRICHLOROETHANE ( microg/l ) .....	170
TETRACHLOROETHYLENE ( microg/l ) .....	29
FER ( microg/l Fe ) .....	410
MANGANÈSE ( microg/l Mn ) .....	410
COLIFORMES TOTAUX/100 ml .....	0
COLIFORMES FÉCAUX/100 ml .....	0
STREPTOCOQUES FÉCAUX/100 ml .....	0
DENOMBR. BÉRNÉS TOTAUX/1 ml 37 Des.C. ....	1
DENOMBR. BÉRNÉS TOTAUX/1 ml 22 Des.C. ....	1

CONCLUSIONS :

Commentaire détaillé sur document ci-joint.

*ci-dessus  
Présence de solvants  
chlorés et fluorés  
d'origine industrielle  
trichloro fluoro méthane, 2,2,2  
chloro tri fluoro éthane 1,1,1*

Le Pecq - le 30-04-87  
Le Directeur

2 /

## **ANNEXE 3**

**LYONNAISE DES EAUX/FÉVRIER 1993**

**RÉSULTATS D'ANALYSE D'ORGANOCHLORÉS  
DANS LES FORAGES AEP DES RIVES DE L'AVRE**

*Contamination d'un sol par des solvants chlorés*

NOM DU SITE	PARAMÈTRE	DATE	RÉSULTAT (µg/l)
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 1	CHLOROFORME	86-10	84
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 1	CHLOROFORME	87-02	83
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 1	CHLOROFORME	87-03	90
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 1	CHLOROFORME	87-05	81
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 1	CHLOROFORME	87-06	94
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 1	CHLOROFORME	87-08	91
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 1	CHLOROFORME	87-10	98
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 1	CHLOROFORME	87-11	150
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 1	CHLOROFORME	87-12	98
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 1	CHLOROFORME	88-03	105
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 1	CHLOROFORME	88-04	106
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 1	CHLOROFORME	88-06	170
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 1	CHLOROFORME	88-08	194
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 1	CHLOROFORME	88-11	80
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 1	CHLOROFORME	88-12	160
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 1	CHLOROFORME	89-02	140
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 1	CHLOROFORME	89-04	144
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 1	CHLOROFORME	89-10	130
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 1	CHLOROFORME	89-12	45
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 1	CHLOROFORME	90-02	130
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 1	CHLOROFORME	90-04	83
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 1	CHLOROFORME	90-06	2
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 1	CHLOROFORME	90-08	96
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 1	CHLOROFORME	90-09	83
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 1	CHLOROFORME	91-01	65
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 1	CHLOROFORME	91-03	61
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 1	CHLOROFORME	91-05	55
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 1	CHLOROFORME	91-07	65
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 1	CHLOROFORME	91-09	62
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 1	CHLOROFORME	91-11	60
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 1	CHLOROFORME	92-01	62
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 1	CHLOROFORME	92-03	61
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 1	CHLOROFORME	92-07	66

*Contamination d'un sol par des solvants chlorés*

NOM DU SITE	PARAMÈTRE	DATE	RÉSULTAT (µg/l)
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 2	CHLOROFORME	86-10	34
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 2	CHLOROFORME	87-03	0
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 2	CHLOROFORME	87-05	41
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 2	CHLOROFORME	87-06	37
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 2	CHLOROFORME	87-08	40
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 2	CHLOROFORME	87-10	28
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 2	CHLOROFORME	87-11	76
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 2	CHLOROFORME	87-12	56
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 2	CHLOROFORME	88-03	50
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 2	CHLOROFORME	88-04	46
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 2	CHLOROFORME	88-06	90
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 2	CHLOROFORME	88-08	106
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 2	CHLOROFORME	88-11	26
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 2	CHLOROFORME	88-12	62
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 2	CHLOROFORME	89-02	42
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 2	CHLOROFORME	89-04	38
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 2	CHLOROFORME	89-10	32
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 2	CHLOROFORME	89-12	40
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 2	CHLOROFORME	90-01	35
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 2	CHLOROFORME	90-02	55
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 2	CHLOROFORME	90-02	55
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 2	CHLOROFORME	90-04	18
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 2	CHLOROFORME	90-04	18
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 2	CHLOROFORME	90-06	26
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 2	CHLOROFORME	90-08	15
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 2	CHLOROFORME	90-09	11
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 2	CHLOROFORME	91-01	13
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 2	CHLOROFORME	91-03	13
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 2	CHLOROFORME	91-05	19
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 2	CHLOROFORME	91-07	18
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 2	CHLOROFORME	91-09	17
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 2	CHLOROFORME	91-11	19
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 2	CHLOROFORME	92-03	20
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 2	CHLOROFORME	92-07	13

*Contamination d'un sol par des solvants chlorés*

NOM DU SITE	PARAMÈTRE	DATE	RÉSULTAT (µg/l)
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 1	TETRACHLORURE DE CARBONE	86-10	5,2 0
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 1	TETRACHLORURE DE CARBONE	87-02	4,30
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 1	TETRACHLORURE DE CARBONE	87-03	5,60
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 1	TETRACHLORURE DE CARBONE	87-05	4,20
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 1	TETRACHLORURE DE CARBONE	87-10	16,80
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 1	TETRACHLORURE DE CARBONE	87-11	37,00
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 1	TETRACHLORURE DE CARBONE	87-12	5,30
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 1	TETRACHLORURE DE CARBONE	88-03	5,80
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 1	TETRACHLORURE DE CARBONE	88-06	10,00
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 1	TETRACHLORURE DE CARBONE	88-08	12,20
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 1	TETRACHLORURE DE CARBONE	88-12	6,50
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 1	TETRACHLORURE DE CARBONE	89-02	4,20
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 1	TETRACHLORURE DE CARBONE	89-04	5,70
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 1	TETRACHLORURE DE CARBONE	89-10	5,70
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 1	TETRACHLORURE DE CARBONE	89-12	4,50
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 1	TETRACHLORURE DE CARBONE	90-02	1,00
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 1	TETRACHLORURE DE CARBONE	90-04	2,20
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 1	TETRACHLORURE DE CARBONE	90-06	0,05
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 1	TETRACHLORURE DE CARBONE	90-08	3,20
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 1	TETRACHLORURE DE CARBONE	90-09	4,30
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 1	TETRACHLORURE DE CARBONE	91-01	3,80
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 1	TETRACHLORURE DE CARBONE	91-03	0,40
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 1	TETRACHLORURE DE CARBONE	91-05	0,20
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 1	TETRACHLORURE DE CARBONE	91-07	4,00
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 1	TETRACHLORURE DE CARBONE	91-09	5,10
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 1	TETRACHLORURE DE CARBONE	91-11	4,70
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 1	TETRACHLORURE DE CARBONE	92-01	2,40
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 1	TETRACHLORURE DE CARBONE	92-03	1,60
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 1	TETRACHLORURE DE CARBONE	92-07	3,90

*Contamination d'un sol par des solvants chlorés*

NOM DU SITE	PARAMÈTRE	DATE	RÉSULTAT (µg/l)
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 2	TETRACHLORURE DE CARBONE	86-10	2,60
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 2	TETRACHLORURE DE CARBONE	87-03	0,00
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 2	TETRACHLORURE DE CARBONE	87-05	3,20
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 2	TETRACHLORURE DE CARBONE	87-10	7,50
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 2	TETRACHLORURE DE CARBONE	87-11	21,00
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 2	TETRACHLORURE DE CARBONE	87-12	2,90
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 2	TETRACHLORURE DE CARBONE	88-03	2,50
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 2	TETRACHLORURE DE CARBONE	88-04	2,60
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 2	TETRACHLORURE DE CARBONE	88-06	4,90
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 2	TETRACHLORURE DE CARBONE	88-08	6,80
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 2	TETRACHLORURE DE CARBONE	88-11	0,30
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 2	TETRACHLORURE DE CARBONE	88-12	1,60
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 2	TETRACHLORURE DE CARBONE	89-02	1,50
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 2	TETRACHLORURE DE CARBONE	89-04	1,30
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 2	TETRACHLORURE DE CARBONE	89-10	1,50
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 2	TETRACHLORURE DE CARBONE	89-12	4,10
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 2	TETRACHLORURE DE CARBONE	90-01	1,40
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 2	TETRACHLORURE DE CARBONE	90-02	0,50
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 2	TETRACHLORURE DE CARBONE	90-02	0,50
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 2	TETRACHLORURE DE CARBONE	90-04	0,60
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 2	TETRACHLORURE DE CARBONE	90-04	0,60
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 2	TETRACHLORURE DE CARBONE	90-06	0,05
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 2	TETRACHLORURE DE CARBONE	90-08	0,60
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 2	TETRACHLORURE DE CARBONE	90-09	1,00
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 2	TETRACHLORURE DE CARBONE	91-01	1,00
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 2	TETRACHLORURE DE CARBONE	91-03	0,50
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 2	TETRACHLORURE DE CARBONE	91-05	0,10
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 2	TETRACHLORURE DE CARBONE	91-07	1,00
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 2	TETRACHLORURE DE CARBONE	91-09	1,40
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 2	TETRACHLORURE DE CARBONE	91-11	1,60
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 2	TETRACHLORURE DE CARBONE	92-03	0,50
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 2	TETRACHLORURE DE CARBONE	92-07	0,80

*Contamination d'un sol par des solvants chlorés*

NOM DU SITE	PARAMÈTRE	DATE	RÉSULTAT (µg/l)
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 1	TRICHLORETHYLENE	86-10	10
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 1	TRICHLORETHYLENE	87-02	150
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 1	TRICHLORETHYLENE	87-03	140
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 1	TRICHLORETHYLENE	87-05	110
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 1	TRICHLORETHYLENE	87-06	104
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 1	TRICHLORETHYLENE	87-08	122
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 1	TRICHLORETHYLENE	87-10	315
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 1	TRICHLORETHYLENE	87-11	700
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 1	TRICHLORETHYLENE	87-12	192
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 1	TRICHLORETHYLENE	88-03	300
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 1	TRICHLORETHYLENE	88-04	330
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 1	TRICHLORETHYLENE	88-06	720
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 1	TRICHLORETHYLENE	88-08	860
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 1	TRICHLORETHYLENE	88-11	300
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 1	TRICHLORETHYLENE	88-12	330
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 1	TRICHLORETHYLENE	89-02	400
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 1	TRICHLORETHYLENE	89-04	435
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 1	TRICHLORETHYLENE	89-10	500
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 1	TRICHLORETHYLENE	89-12	135
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 1	TRICHLORETHYLENE	90-02	260
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 1	TRICHLORETHYLENE	90-04	109
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 1	TRICHLORETHYLENE	90-06	2
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 1	TRICHLORETHYLENE	90-08	260
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 1	TRICHLORETHYLENE	90-09	165
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 1	TRICHLORETHYLENE	91-01	280
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 1	TRICHLORETHYLENE	91-03	250
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 1	TRICHLORETHYLENE	91-05	220
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 1	TRICHLORETHYLENE	91-07	285
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 1	TRICHLORETHYLENE	91-09	310
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 1	TRICHLORETHYLENE	91-11	260
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 1	TRICHLORETHYLENE	92-01	365
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 1	TRICHLORETHYLENE	92-03	370
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 1	TRICHLORETHYLENE	92-07	618

*Contamination d'un sol par des solvants chlorés*

NOM DU SITE	PARAMÈTRE	DATE	RÉSULTAT (µg/l)
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 2	TRICHLORETHYLENE	86-10	45
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 2	TRICHLORETHYLENE	87-05	96
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 2	TRICHLORETHYLENE	87-06	95
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 2	TRICHLORETHYLENE	87-08	106
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 2	TRICHLORETHYLENE	87-10	250
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 2	TRICHLORETHYLENE	87-11	400
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 2	TRICHLORETHYLENE	87-12	146
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 2	TRICHLORETHYLENE	88-03	185
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 2	TRICHLORETHYLENE	88-04	187
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 2	TRICHLORETHYLENE	88-06	500
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 2	TRICHLORETHYLENE	88-08	610
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 2	TRICHLORETHYLENE	88-11	130
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 2	TRICHLORETHYLENE	88-12	270
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 2	TRICHLORETHYLENE	89-02	270
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 2	TRICHLORETHYLENE	89-04	252
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 2	TRICHLORETHYLENE	89-10	220
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 2	TRICHLORETHYLENE	89-12	130
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 2	TRICHLORETHYLENE	90-01	230
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 2	TRICHLORETHYLENE	90-02	210
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 2	TRICHLORETHYLENE	90-02	210
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 2	TRICHLORETHYLENE	90-04	79
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 2	TRICHLORETHYLENE	90-04	79
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 2	TRICHLORETHYLENE	90-06	2
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 2	TRICHLORETHYLENE	90-08	120
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 2	TRICHLORETHYLENE	90-09	98
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 2	TRICHLORETHYLENE	91-01	105
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 2	TRICHLORETHYLENE	91-03	78
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 2	TRICHLORETHYLENE	91-05	80
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 2	TRICHLORETHYLENE	91-07	95
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 2	TRICHLORETHYLENE	91-09	130
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 2	TRICHLORETHYLENE	91-11	115
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 2	TRICHLORETHYLENE	92-03	130
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 2	TRICHLORETHYLENE	92-07	107

*Contamination d'un sol par des solvants chlorés*

NOM DU SITE	PARAMÈTRE	DATE	RÉSULTAT (µg/l)
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 1	1,1,1 TRICHLOROETHANE	86-10	132
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 1	1,1,1 TRICHLOROETHANE	87-02	161
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 1	1,1,1 TRICHLOROETHANE	87-03	170
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 1	1,1,1 TRICHLOROETHANE	87-05	140
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 1	1,1,1 TRICHLOROETHANE	87-06	192
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 1	1,1,1 TRICHLOROETHANE	87-08	170
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 1	1,1,1 TRICHLOROETHANE	87-10	145
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 1	1,1,1 TRICHLOROETHANE	87-11	415
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 1	1,1,1 TRICHLOROETHANE	87-12	117
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 1	1,1,1 TRICHLOROETHANE	88-03	140
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 1	1,1,1 TRICHLOROETHANE	88-04	145
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 1	1,1,1 TRICHLOROETHANE	88-06	150
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 1	1,1,1 TRICHLOROETHANE	88-08	200
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 1	1,1,1 TRICHLOROETHANE	88-11	100
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 1	1,1,1 TRICHLOROETHANE	88-12	140
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 1	1,1,1 TRICHLOROETHANE	89-02	160
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 1	1,1,1 TRICHLOROETHANE	89-04	85
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 1	1,1,1 TRICHLOROETHANE	89-10	125
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 1	1,1,1 TRICHLOROETHANE	89-12	30
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 1	1,1,1 TRICHLOROETHANE	90-02	36
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 1	1,1,1 TRICHLOROETHANE	90-04	12
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 1	1,1,1 TRICHLOROETHANE	90-06	2
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 1	1,1,1 TRICHLOROETHANE	90-08	39
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 1	1,1,1 TRICHLOROETHANE	90-09	23
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 1	1,1,1 TRICHLOROETHANE	91-01	56
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 1	1,1,1 TRICHLOROETHANE	91-03	98
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 1	1,1,1 TRICHLOROETHANE	91-05	58
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 1	1,1,1 TRICHLOROETHANE	91-07	78
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 1	1,1,1 TRICHLOROETHANE	91-09	78
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 1	1,1,1 TRICHLOROETHANE	91-11	68
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 1	1,1,1 TRICHLOROETHANE	92-01	40
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 1	1,1,1 TRICHLOROETHANE	92-03	39
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 1	1,1,1 TRICHLOROETHANE	92-07	112

*Contamination d'un sol par des solvants chlorés*

NOM DU SITE	PARAMÈTRE	DATE	RÉSULTAT (µg/l)
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 2	1,1,1 TRICHLOROETHANE	86-10	85
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 2	1,1,1 TRICHLOROETHANE	87-03	0
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 2	1,1,1 TRICHLOROETHANE	87-05	90
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 2	1,1,1 TRICHLOROETHANE	87-06	95
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 2	1,1,1 TRICHLOROETHANE	87-08	97
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 2	1,1,1 TRICHLOROETHANE	87-10	125
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 2	1,1,1 TRICHLOROETHANE	87-11	230
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 2	1,1,1 TRICHLOROETHANE	87-12	89
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 2	1,1,1 TRICHLOROETHANE	88-03	88
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 2	1,1,1 TRICHLOROETHANE	88-04	89
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 2	1,1,1 TRICHLOROETHANE	88-06	120
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 2	1,1,1 TRICHLOROETHANE	88-08	156
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 2	1,1,1 TRICHLOROETHANE	88-11	45
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 2	1,1,1 TRICHLOROETHANE	88-12	110
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 2	1,1,1 TRICHLOROETHANE	89-02	100
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 2	1,1,1 TRICHLOROETHANE	89-04	49
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 2	1,1,1 TRICHLOROETHANE	89-10	54
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 2	1,1,1 TRICHLOROETHANE	89-12	29
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 2	1,1,1 TRICHLOROETHANE	90-01	28
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 2	1,1,1 TRICHLOROETHANE	90-02	29
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 2	1,1,1 TRICHLOROETHANE	90-02	29
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 2	1,1,1 TRICHLOROETHANE	90-04	9
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 2	1,1,1 TRICHLOROETHANE	90-06	2
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 2	1,1,1 TRICHLOROETHANE	90-08	19
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 2	1,1,1 TRICHLOROETHANE	90-09	15
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 2	1,1,1 TRICHLOROETHANE	91-01	16
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 2	1,1,1 TRICHLOROETHANE	91-03	28
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 2	1,1,1 TRICHLOROETHANE	91-05	27
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 2	1,1,1 TRICHLOROETHANE	91-07	35
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 2	1,1,1 TRICHLOROETHANE	91-09	36
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 2	1,1,1 TRICHLOROETHANE	91-11	33
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 2	1,1,1 TRICHLOROETHANE	92-03	18
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 2	1,1,1 TRICHLOROETHANE	92-07	27

*Contamination d'un sol par des solvants chlorés*

NOM DU SITE	PARAMÈTRE	DATE	RÉSULTAT (µg/l)
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 1	TETRACHLORETHYLENE	86-10	32
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 1	TETRACHLORETHYLENE	87-02	40
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 1	TETRACHLORETHYLENE	87-03	29
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 1	TETRACHLORETHYLENE	87-05	40
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 1	TETRACHLORETHYLENE	87-06	0
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 1	TETRACHLORETHYLENE	87-08	95
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 1	TETRACHLORETHYLENE	87-10	125
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 1	TETRACHLORETHYLENE	87-11	145
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 1	TETRACHLORETHYLENE	87-12	68
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 1	TETRACHLORETHYLENE	88-03	80
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 1	TETRACHLORETHYLENE	88-04	75
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 1	TETRACHLORETHYLENE	88-06	180
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 1	TETRACHLORETHYLENE	88-08	240
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 1	TETRACHLORETHYLENE	88-11	46
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 1	TETRACHLORETHYLENE	88-12	96
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 1	TETRACHLORETHYLENE	89-02	80
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 1	TETRACHLORETHYLENE	89-04	83
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 1	TETRACHLORETHYLENE	89-10	66
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 1	TETRACHLORETHYLENE	89-12	57
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 1	TETRACHLORETHYLENE	90-02	40
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 1	TETRACHLORETHYLENE	90-04	16
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 1	TETRACHLORETHYLENE	90-06	2
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 1	TETRACHLORETHYLENE	90-08	33
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 1	TETRACHLORETHYLENE	90-09	26
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 1	TETRACHLORETHYLENE	91-01	31
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 1	TETRACHLORETHYLENE	91-03	43
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 1	TETRACHLORETHYLENE	91-05	38
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 1	TETRACHLORETHYLENE	91-07	45
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 1	TETRACHLORETHYLENE	91-09	65
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 1	TETRACHLORETHYLENE	91-11	58
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 1	TETRACHLORETHYLENE	92-01	51
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 1	TETRACHLORETHYLENE	92-03	35
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 1	TETRACHLORETHYLENE	92-07	67

*Contamination d'un sol par des solvants chlorés*

<b>NOM DU SITE</b>	<b>PARAMÈTRE</b>	<b>DATE</b>	<b>RÉSULTAT (µg/l)</b>
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 2	TETRACHLORETHYLENE	86-10	42
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 2	TETRACHLORETHYLENE	87-05	29
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 2	TETRACHLORETHYLENE	87-06	38
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 2	TETRACHLORETHYLENE	87-08	47
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 2	TETRACHLORETHYLENE	87-10	56
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 2	TETRACHLORETHYLENE	87-11	95
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 2	TETRACHLORETHYLENE	87-12	39
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 2	TETRACHLORETHYLENE	88-03	48
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 2	TETRACHLORETHYLENE	88-04	41
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 2	TETRACHLORETHYLENE	88-06	100
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 2	TETRACHLORETHYLENE	88-08	160
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 2	TETRACHLORETHYLENE	88-11	16
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 2	TETRACHLORETHYLENE	88-12	61
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 2	TETRACHLORETHYLENE	89-02	46
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 2	TETRACHLORETHYLENE	89-04	36
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 2	TETRACHLORETHYLENE	89-10	20
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 2	TETRACHLORETHYLENE	89-12	54
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 2	TETRACHLORETHYLENE	90-01	32
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 2	TETRACHLORETHYLENE	90-02	28
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 2	TETRACHLORETHYLENE	90-02	28
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 2	TETRACHLORETHYLENE	90-04	11
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 2	TETRACHLORETHYLENE	90-04	11
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 2	TETRACHLORETHYLENE	90-06	2
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 2	TETRACHLORETHYLENE	90-08	2
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 2	TETRACHLORETHYLENE	90-09	9
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 2	TETRACHLORETHYLENE	91-01	6
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 2	TETRACHLORETHYLENE	91-03	10
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 2	TETRACHLORETHYLENE	91-05	11
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 2	TETRACHLORETHYLENE	91-07	10
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 2	TETRACHLORETHYLENE	91-09	20
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 2	TETRACHLORETHYLENE	91-11	21
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 2	TETRACHLORETHYLENE	92-03	9
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 2	TETRACHLORETHYLENE	92-07	12

*Contamination d'un sol par des solvants chlorés*

<b>NOM DU SITE</b>	<b>PARAMÈTRE</b>	<b>DATE</b>	<b>RÉSULTAT (µg/l)</b>
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 1	HALOFORMES TOTAUX	86-10	90
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 1	HALOFORMES TOTAUX	87-02	88
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 1	HALOFORMES TOTAUX	87-03	96
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 1	HALOFORMES TOTAUX	87-05	85
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 1	HALOFORMES TOTAUX	87-06	101
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 1	HALOFORMES TOTAUX	87-08	100
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 1	HALOFORMES TOTAUX	87-10	98
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 1	HALOFORMES TOTAUX	87-11	150
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 1	HALOFORMES TOTAUX	87-12	98
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 1	HALOFORMES TOTAUX	88-03	105
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 1	HALOFORMES TOTAUX	88-04	106
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 1	HALOFORMES TOTAUX	88-06	170
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 1	HALOFORMES TOTAUX	88-08	194
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 1	HALOFORMES TOTAUX	88-11	80
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 1	HALOFORMES TOTAUX	88-12	160
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 1	HALOFORMES TOTAUX	89-02	140
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 1	HALOFORMES TOTAUX	89-04	144
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 1	HALOFORMES TOTAUX	89-10	130
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 1	HALOFORMES TOTAUX	89-12	45
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 1	HALOFORMES TOTAUX	90-02	130
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 1	HALOFORMES TOTAUX	90-04	83
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 1	HALOFORMES TOTAUX	90-06	2
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 1	HALOFORMES TOTAUX	90-08	96
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 1	HALOFORMES TOTAUX	90-09	83
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 1	HALOFORMES TOTAUX	91-01	65
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 1	HALOFORMES TOTAUX	91-03	61
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 1	HALOFORMES TOTAUX	91-05	55
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 1	HALOFORMES TOTAUX	91-07	65
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 1	HALOFORMES TOTAUX	91-09	62
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 1	HALOFORMES TOTAUX	91-11	60
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 1	HALOFORMES TOTAUX	92-01	62
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 1	HALOFORMES TOTAUX	92-03	61
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 1	HALOFORMES TOTAUX	92-07	66

*Contamination d'un sol par des solvants chlorés*

NOM DU SITE	PARAMÈTRE	DATE	RÉSULTAT (µg/l)
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 2	HALOFORMES TOTAUX	86-10	37
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 2	HALOFORMES TOTAUX	87-03	0
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 2	HALOFORMES TOTAUX	87-05	44
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 2	HALOFORMES TOTAUX	87-06	39
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 2	HALOFORMES TOTAUX	87-08	44
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 2	HALOFORMES TOTAUX	87-10	28
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 2	HALOFORMES TOTAUX	87-11	76
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 2	HALOFORMES TOTAUX	87-12	56
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 2	HALOFORMES TOTAUX	88-03	50
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 2	HALOFORMES TOTAUX	88-04	46
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 2	HALOFORMES TOTAUX	88-06	90
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 2	HALOFORMES TOTAUX	88-08	106
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 2	HALOFORMES TOTAUX	88-11	26
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 2	HALOFORMES TOTAUX	88-12	62
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 2	HALOFORMES TOTAUX	89-02	42
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 2	HALOFORMES TOTAUX	89-04	38
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 2	HALOFORMES TOTAUX	89-10	32
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 2	HALOFORMES TOTAUX	89-12	40
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 2	HALOFORMES TOTAUX	90-01	35
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 2	HALOFORMES TOTAUX	90-02	55
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 2	HALOFORMES TOTAUX	90-02	55
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 2	HALOFORMES TOTAUX	90-04	18
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 2	HALOFORMES TOTAUX	90-04	18
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 2	HALOFORMES TOTAUX	90-06	26
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 2	HALOFORMES TOTAUX	90-08	15
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 2	HALOFORMES TOTAUX	90-09	11
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 2	HALOFORMES TOTAUX	91-01	12
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 2	HALOFORMES TOTAUX	91-03	13
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 2	HALOFORMES TOTAUX	91-05	19
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 2	HALOFORMES TOTAUX	91-07	18
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 2	HALOFORMES TOTAUX	91-09	17
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 2	HALOFORMES TOTAUX	91-11	19
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 2	HALOFORMES TOTAUX	92-03	20
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 2	HALOFORMES TOTAUX	92-07	13

*Contamination d'un sol par des solvants chlorés*

NOM DU SITE	PARAMÈTRE	DATE	RÉSULTAT (µg/l)
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 1	TRICHLOROFLUOROMETHANE	89-10	150
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 1	TRICHLOROFLUOROMETHANE	90-02	0
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 1	TRICHLOROFLUOROMETHANE	90-08	2
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 1	TRICHLOROFLUOROMETHANE	90-09	2
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 1	TRICHLOROFLUOROMETHANE	91-01	2
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 1	TRICHLOROFLUOROMETHANE	91-03	2
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 1	TRICHLOROFLUOROMETHANE	91-05	1
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 1	TRICHLOROFLUOROMETHANE	91-09	3
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 1	TRICHLOROFLUOROMETHANE	91-11	3
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 1	TRICHLOROFLUOROMETHANE	92-01	1
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 1	TRICHLOROFLUOROMETHANE	92-07	1

NOM DU SITE	PARAMÈTRE	DATE	RÉSULTAT (µg/l)
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 2	TRICHLOROFLUOROMETHANE	89-10	47
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 2	TRICHLOROFLUOROMETHANE	90-02	1
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 2	TRICHLOROFLUOROMETHANE	90-02	0
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 2	TRICHLOROFLUOROMETHANE	90-08	1
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 2	TRICHLOROFLUOROMETHANE	90-09	1
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 2	TRICHLOROFLUOROMETHANE	91-01	1
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 2	TRICHLOROFLUOROMETHANE	91-03	1
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 2	TRICHLOROFLUOROMETHANE	91-05	1
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 2	TRICHLOROFLUOROMETHANE	91-09	1

NOM DU SITE	PARAMÈTRE	DATE	RÉSULTAT (µg/l)
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 1	TRICHLOROTRIFLUOROETHANE	89-10	460
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 1	TRICHLOROTRIFLUOROETHANE	90-08	11
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 1	TRICHLOROTRIFLUOROETHANE	90-09	13
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 1	TRICHLOROTRIFLUOROETHANE	91-01	9
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 1	TRICHLOROTRIFLUOROETHANE	91-03	10
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 1	TRICHLOROTRIFLUOROETHANE	91-05	6
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 1	TRICHLOROTRIFLUOROETHANE	91-09	16
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 1	TRICHLOROTRIFLUOROETHANE	91-11	10
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 1	TRICHLOROTRIFLUOROETHANE	92-01	10
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 1	TRICHLOROTRIFLUOROETHANE	92-03	6
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 1	TRICHLOROTRIFLUOROETHANE	92-07	13

Contamination d'un sol par des solvants chlorés

NOM DU SITE	PARAMÈTRE	DATE	RÉSULTAT (µg/l)
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 2	TRICHLOROTRIFLUOROETHANE	89-10	160
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 2	TRICHLOROTRIFLUOROETHANE	90-01	6
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 2	TRICHLOROTRIFLUOROETHANE	90-02	1
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 2	TRICHLOROTRIFLUOROETHANE	90-02	0
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 2	TRICHLOROTRIFLUOROETHANE	90-04	1
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 2	TRICHLOROTRIFLUOROETHANE	90-04	0
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 2	TRICHLOROTRIFLUOROETHANE	90-08	3
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 2	TRICHLOROTRIFLUOROETHANE	90-09	6
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 2	TRICHLOROTRIFLUOROETHANE	91-01	3
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 2	TRICHLOROTRIFLUOROETHANE	91-03	4
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 2	TRICHLOROTRIFLUOROETHANE	91-05	1
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 2	TRICHLOROTRIFLUOROETHANE	91-09	5
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 2	TRICHLOROTRIFLUOROETHANE	91-11	4
DREUX VALLEE DE L'AVRE FORAGE 2	TRICHLOROTRIFLUOROETHANE	92-03	3

## **ANNEXE 4**

### **PROTOCOLE D'ANALYSE DES TUBES DE CHARBON ACTIF**

Le protocole utilisé est conforme à la norme AFNOR X43-252 (Qualité de l'air - Air des lieux de travail/septembre 1987).

## **1. TUBES D'ÉCHANTILLONNAGE**

Les tubes employés (ORBO 32 large, SUPELCO) sont remplis de 2 zones successives de charbon actif, la seconde étant utilisée comme indicateur de non-saturation et permettant de valider la qualité de prélèvement.

## **2. PRÉLÈVEMENT ET CONSERVATION**

Le prélèvement se fait par pompage, selon la méthodologie décrite dans le Rapport en 3.2.2. Après prélèvement, le tube est obturé et conservé sur le terrain dans une glacière contenant de la carboglace, puis dans le compartiment "freezer" d'un réfrigérateur en attendant la désorption.

## **3. DÉSORPTION**

Les deux zones repérées de chaque tube sont disposées, avec leurs tampons respectifs dans des flacons contenant un volume de 2 ml de sulfure de carbone. Après obturation des flacons par sertissage, on ajoute un étalon interne, (dichlorobutane) puis les flacons sont agités avant d'être analysés par chromatographie en phase gazeuse.

## **4. ANALYSE CHROMATOGRAPHIQUE**

Les conditions sont les suivantes :

**COLONNE : CP WAX 52 CB**

Longueur : 50 m

Diamètre interne : 0,53 mm

Épaisseur du film : 2,0 µm

**Programmation de température :**

40°C (3 mn)----- 80°C (10 mn)----- 200°C (2 mn)

**Débit de gaz vecteur (Hélium) : 6 psi (0,5 bar)**

**Gaz make up : Hélium à 25 ml/mn**

**INJECTEUR : Split**

Température : 250°C

**DETECTEUR : NPD ou FID**

Température : 280°C

Contamination d'un sol par des solvants chlorés

VOLUME INJECTE / 1,5 µl.

Un exemple de chromatogramme obtenu est donné ci-joint.

LOW BATTERY

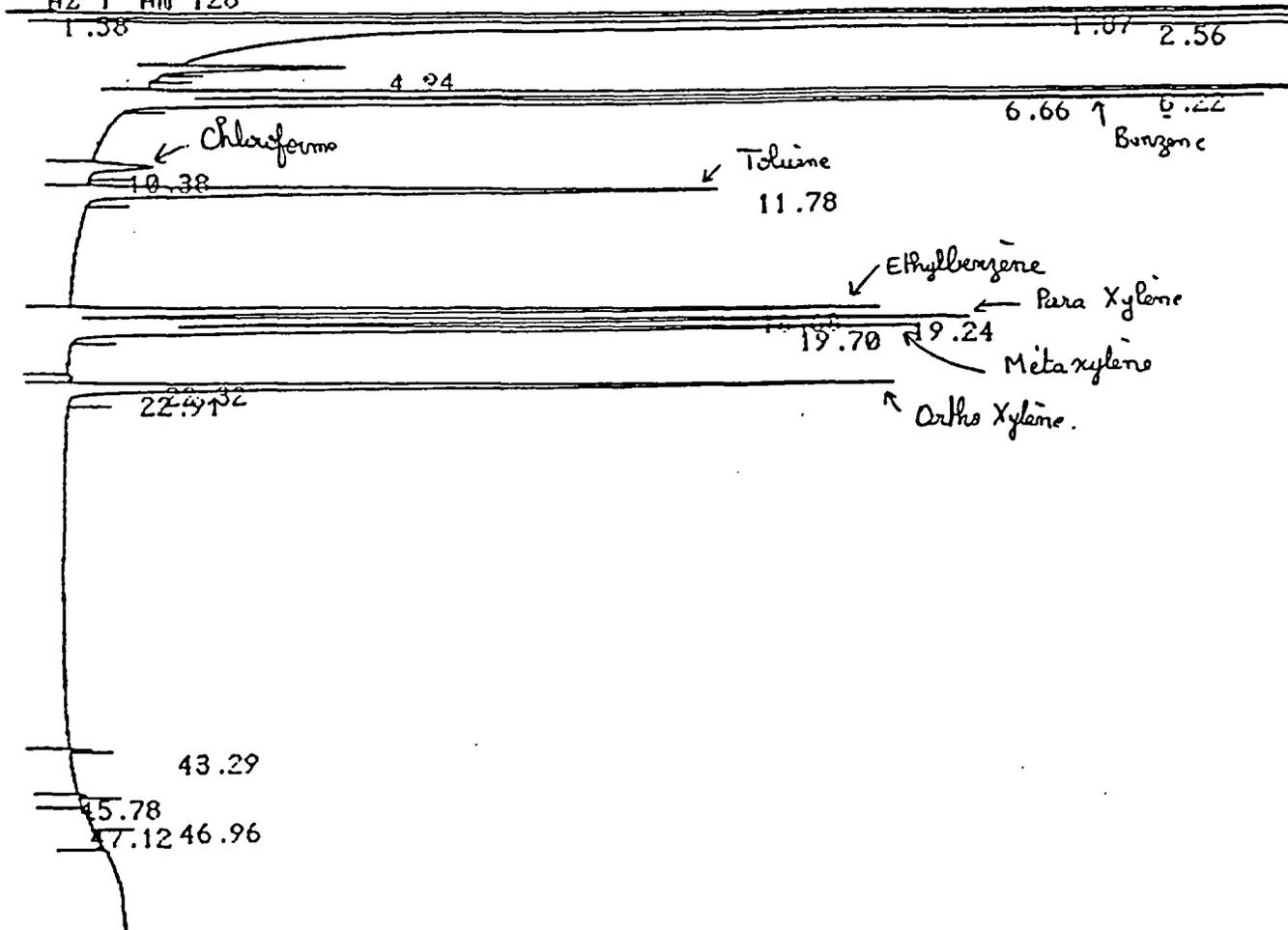
250mg/l

Hydrocarbures Aromatiques dans CS2

CPG/FID

CHANNEL A INJECT : 2-02-93 08:46:33 STORED TO BIN # 51

AZ 1 AM 128



## **ANNEXE 5**

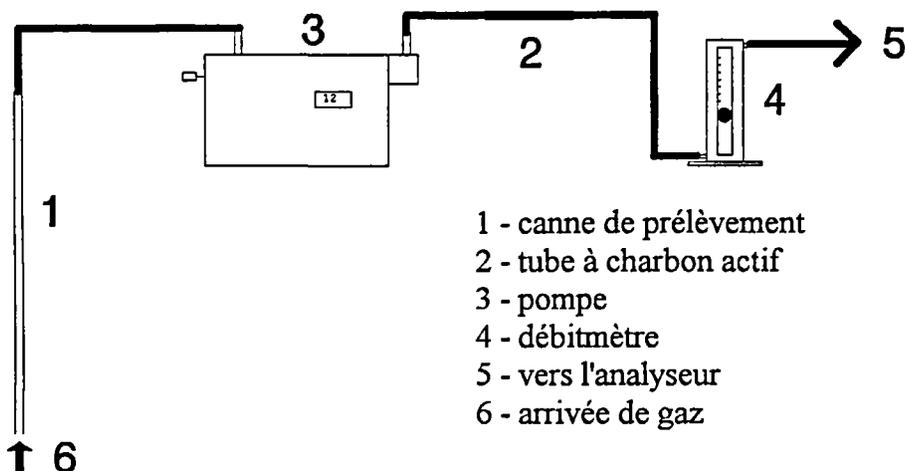
### **ESSAIS EN LABORATOIRE SUR LA CONFIGURATION DU SYSTÈME DE PRÉLÈVEMENT DE GAZ SUR SITE**

## 1. INTRODUCTION

Certains résultats de la première campagne (novembre 92) ont posé le problème d'une contamination éventuelle du système de prélèvement. Nous disposions en effet pour cette campagne de deux systèmes complets de prélèvement (pompe + canne + raccords), utilisés en parallèle sur deux points successifs de mesure. Les analyses sur charbons actifs révèlent la présence de TCE aux points B-6 (1,2 ppmv) puis B-4 (0,16ppmv), prélevés avec le même système, alors que la teneur mesurée est nulle en B-5, prélevé avec un deuxième système. La même observation est faite pour le toluène détecté en B-7 puis B-5, non trouvé en B-6, ou le PCE (0,36 ppmv en C-2, 0,2 en C-4, 0 en C-3). Des essais en laboratoire ont donc été réalisés pour vérifier s'il pouvait ou non y avoir une contamination résiduelle, et comment y remédier en cas de réponse positive.

## 2. ESSAIS EN LABORATOIRE

La configuration du système de prélèvement de novembre 92 a été reproduite au laboratoire (configuration 1). Un système avec tube à perméation permet d'obtenir un gaz à 4 ppmv de Trichloroéthylène dans l'air. Ce gaz arrive à l'extrémité de la canne, il est pompé à travers le système.



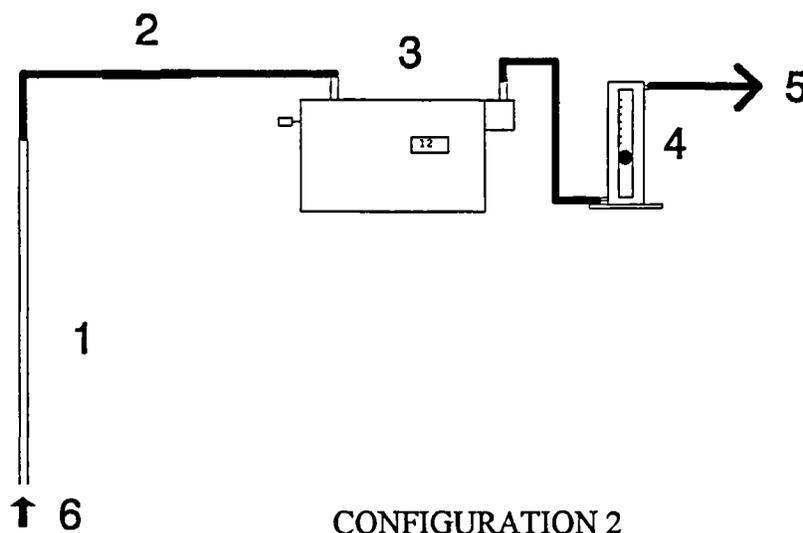
CONFIGURATION 1

Nous avons procédé aux opérations successives décrites dans le tableau ci-après, chacune correspondant à un passage de gaz au travers d'un tube de charbon actif au débit de 0,5 l/mn et à une analyse de TCE de chaque tube.

Configuration	Nature de l'essai	Temps de pompage	TCE (ppmv)
1	Pompage sur air extérieur	20 minutes	0
1	Pompage sur air + TCE	20 minutes	3,59
1	Purge sur air extérieur (1 mn) puis pompage sur air extérieur (20 mns)	21 minutes	0,22
1	Pompage sur air extérieur	20 minutes	0

Ces essais permettent de constater une rémanence du TCE dans l'ensemble du système de prélèvement, et confortent donc l'hypothèse envisagée ci-dessus pour les points B-6, B-5, C-3.

La configuration du système de prélèvement a donc été modifiée, en plaçant le tube de charbon actif immédiatement en sortie de canne (configuration 2).



Une série de mesures similaires à la précédente a été effectuée, dont le tableau ci-dessous donne les résultats.

Configuration	Nature de l'essai	Temps de pompage	TCE (ppmv)
2	Pompage sur air extérieur	20 minutes	0
2	Pompage sur air + TCE	20 minutes	3,80
2	Purge sur air extérieur (1 mn) puis pompage sur air extérieur (20 mns)	21 minutes	0
2	Pompage sur air extérieur	20 minutes	0

Les résultats du 3<sup>ème</sup> essai permettent de constater l'absence de TCE résiduel dans cette configuration. Cette dernière a donc été retenue pour la deuxième campagne de mesure.

## **ANNEXE 6**

### **RECONNAISSANCE PAR SONDAGES ÉLECTRIQUES SUR LE SITE D'UNE ANCIENNE DÉCHARGE A DREUX**



*document non public*

**reconnaissance  
par sondages électriques  
sur le site d'une ancienne décharge  
à Dreux**

---

**F. Mathieu**

**avril 1994  
N 1426**

**BRGM**  
**SERVICE GÉOLOGIQUE NATIONAL**  
Département Infrastructure Géologique et Géophysique  
Groupe Géophysique Structures profondes représentation 3D  
B.P. 6009 - 45060 ORLEANS CEDEX 2 - France - Tél. : (33) 38.64.34.34



## **RESUME**

La prospection électrique effectuée sur le site d'une ancienne décharge, dans la banlieue Nord-Ouest de Dreux avait pour but la détermination de l'épaisseur des argiles à silex recouvrant les formations crayeuses.

En l'absence d'étalonnage, l'interprétation 1D des sondages électriques offre deux possibilités quant à l'épaisseur des argiles à silex ; soit 1 à 2 m, soit 10 m suivant les hypothèses au maximum.

## **T**ABLE DES MATIERES

<b>1. INTRODUCTION</b> .....	5
<b>2. MISE EN OEUVRE</b> .....	8
<b>3. RESULTATS</b> .....	10
<b>4. CONCLUSION</b> .....	14

## **L**ISTE DES FIGURES

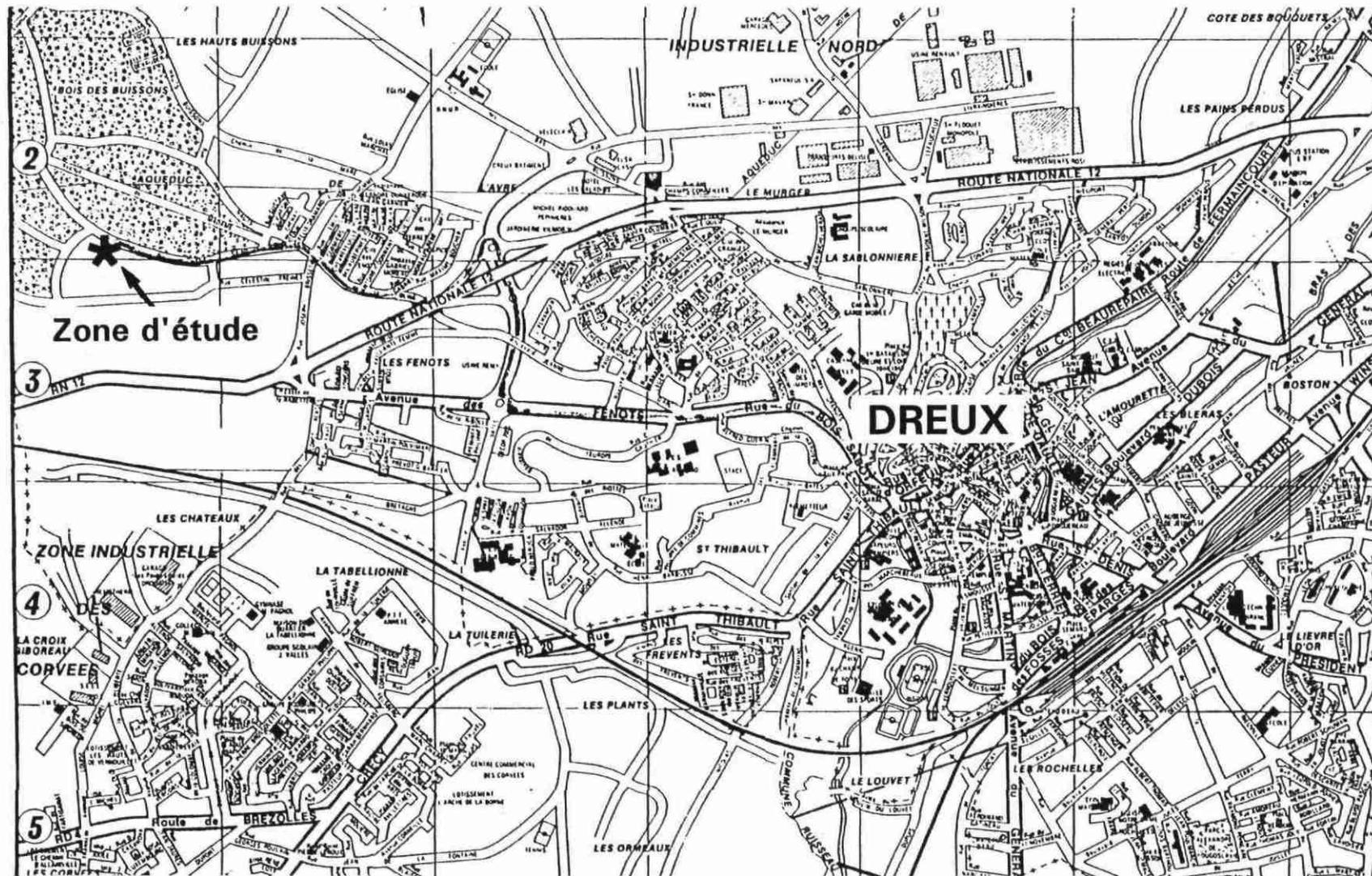
Figure 1 - Plan de situation de la zone d'étude .....	6
Figure 2 - Contexte géologique .....	7
Figure 3 - Localisation des sondages électriques.....	9
Figure 4 - Modélisation 1D de SE1 .....	11
Figure 5 - Modélisation 1D de SE2.....	12
Figure 6 - Modélisation 1D de SE3.....	13

# **1. INTRODUCTION**

La cellule de géophysique générale du BRGM a effectué à la demande de SGN/UPE, une prospection par méthodes électriques dans la région de Dreux. Ces travaux géophysiques s'intègrent dans une étude d'environnement concernant une ancienne décharge de produits polluants située dans la banlieue Nord-Ouest de Dreux (figure 1).

L'objectif de l'étude est la détermination de l'épaisseur des argiles à silex recouvrant les formations crayeuses avant la réalisation de forages (figure 2).

Compte tenu du contraste de résistivité existant entre les argiles à silex et la craie, la technique du sondage électrique a été retenue.



Sondages électriques à Dreux

Fig. 1 - Localisation de la zone d'étude sur le plan de la ville de Dreux - Echelle 1/20 000

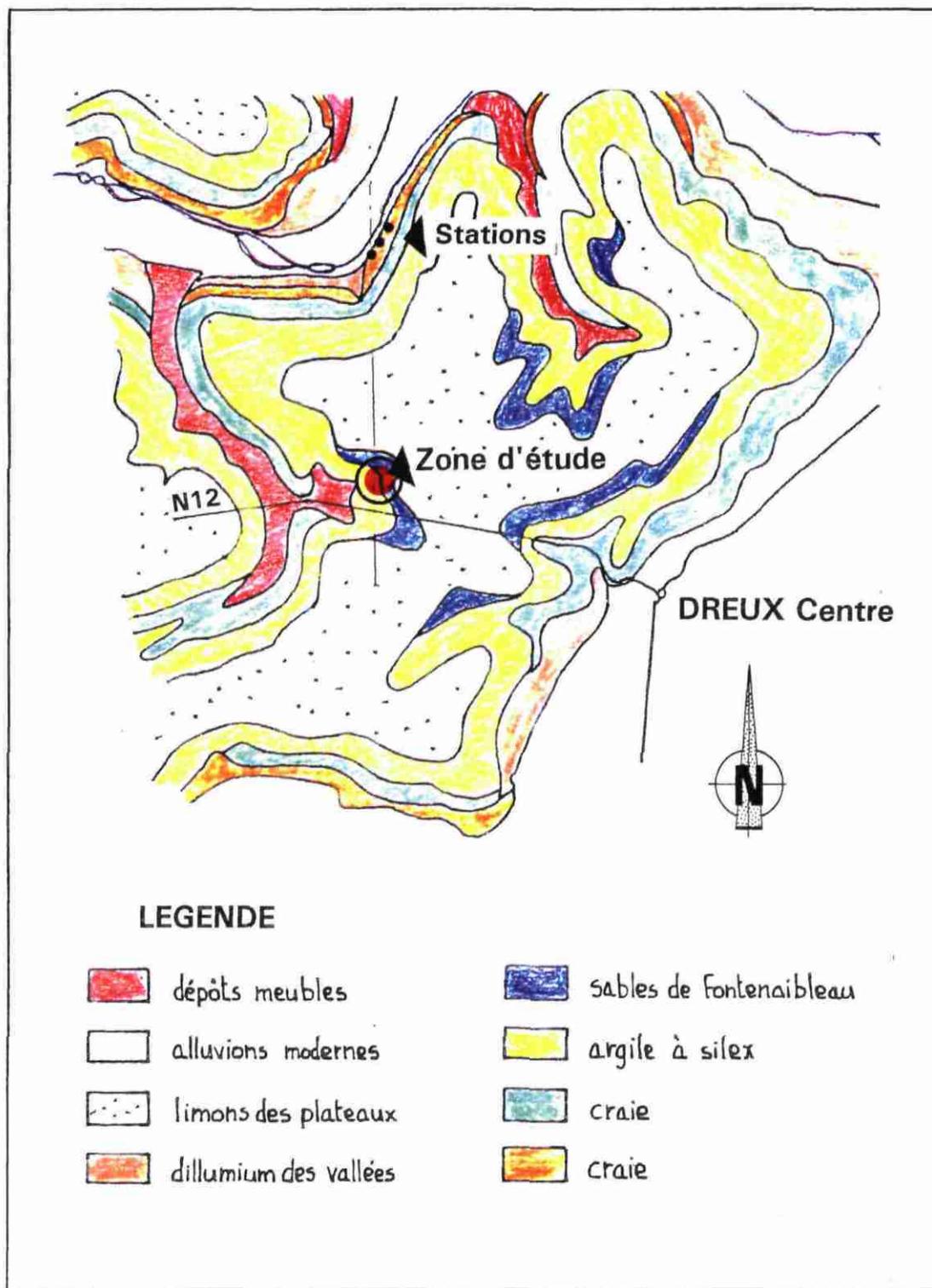


Fig. 2 - Contexte géologique - Echelle 1/60 000

## **2. MISE EN OEUVRE**

- les opérations sur le terrain se sont déroulées le 17 février 1994,
- personnel : F. MATHIEU  
R. BAUDU  
G. RICHALET,
- matériel : 1 Syscal R2 avec matériel annexe pour les prospections électriques,
- volume des travaux : trois sondages électriques ( $100 \text{ m} \leq AB/2 < 250 \text{ m}$ ) ont été effectués sur le site de l'ancienne décharge (figure 3). Le manque d'accessibilité n'a pas permis de réaliser les 3 SE avec la même orientation pour les lignes d'injections.

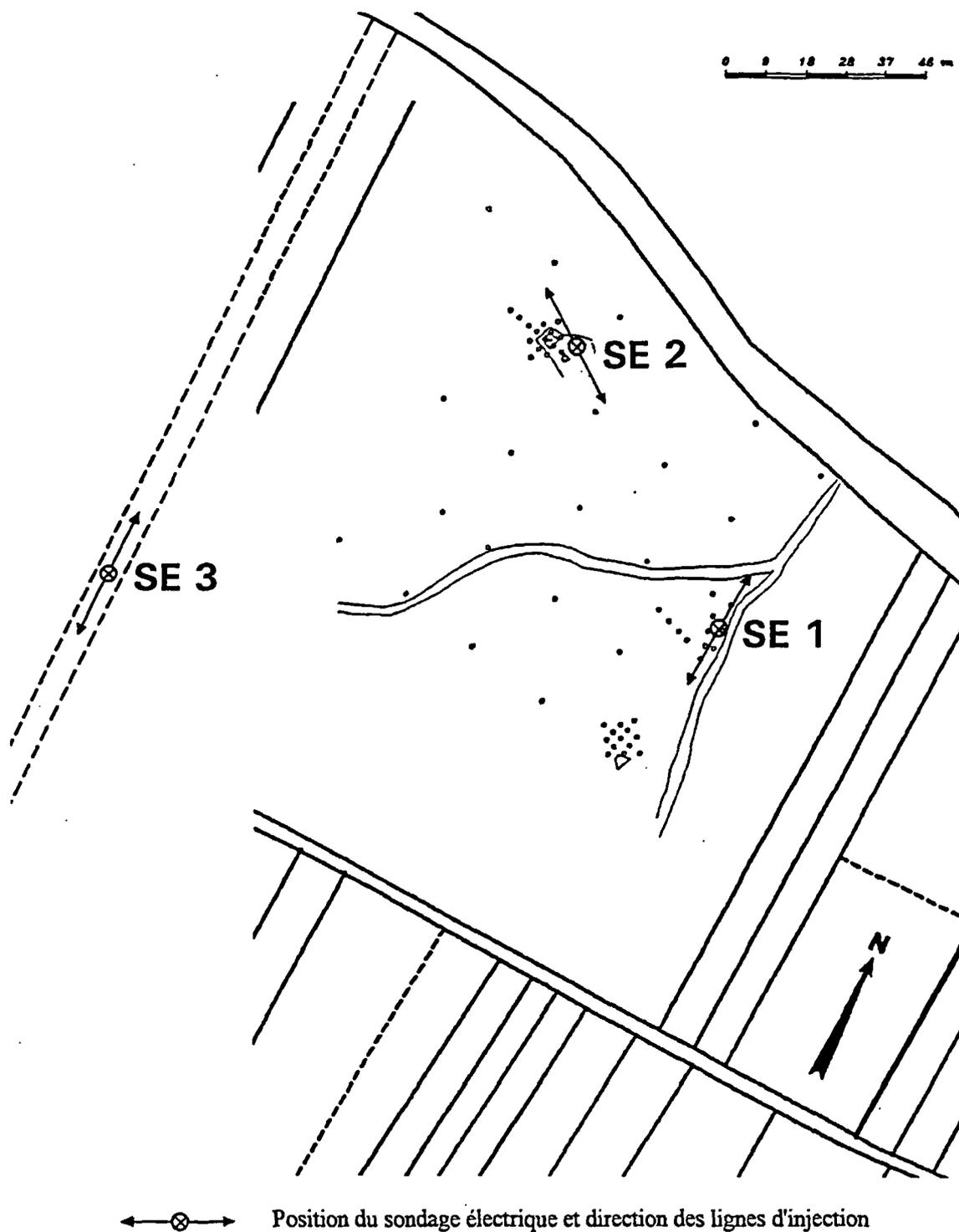


Fig. 3 - Localisation des sondages électriques

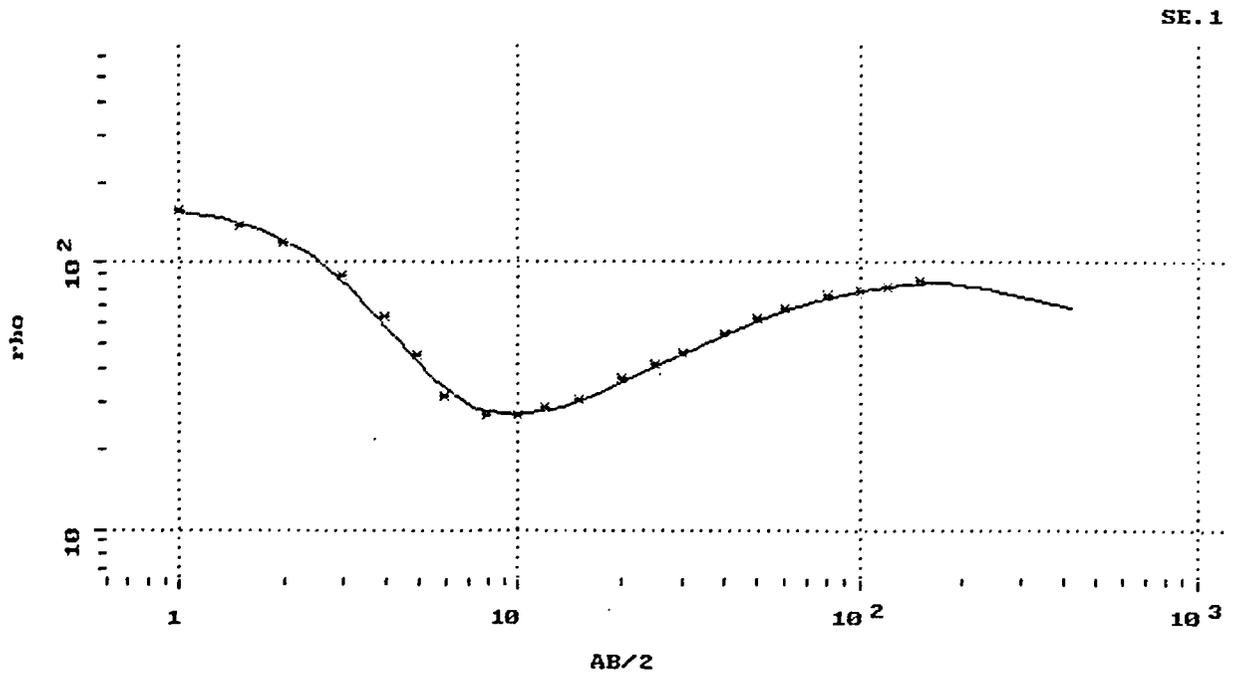
### **3. RESULTATS**

L'interprétation 1D des trois sondages électriques (figures 4, 5 et 6) donne une coupe géoélectrique relativement identique sur l'ensemble du site :

- un recouvrement résistant, dont l'épaisseur varie de 0,9 m à 1,45 m, correspondant à des argiles à silex secs ;
- un niveau conducteur (22 à 30 ohm.m) dont la puissance est inférieure à 10 m. Cette unité peut être assimilée soit à des argiles à silex humides, soit à la zone d'altération de la craie ;
- une unité résistante (110 à 130 ohm.m) correspondant à la craie ;
- un quatrième niveau plus conducteur (environ 55 ohm.m) assimilable à une autre formation crayeuse.

L'absence de sondage électrique d'étalonnage (SE effectué à l'aplomb d'un forage dont la coupe géologique est connue) d'une part et l'impossibilité d'orienter correctement les lignes d'injection d'autre part ont pu altérer quelque peu l'interprétation. Cependant il est indubitable que l'épaisseur des argiles à silex est soit de 1 à 2 m si le niveau conducteur (22-30 ohm.m) correspond à l'altération de la craie, soit d'environ 10 m dans le cas contraire.

	Resistivite (ohm.m)	Profondeur (m)
	∞	
1-----	165.000	0.000
2-----	22.000	1.450
3-----	110.000	11.000
4-----	55.000	100.000



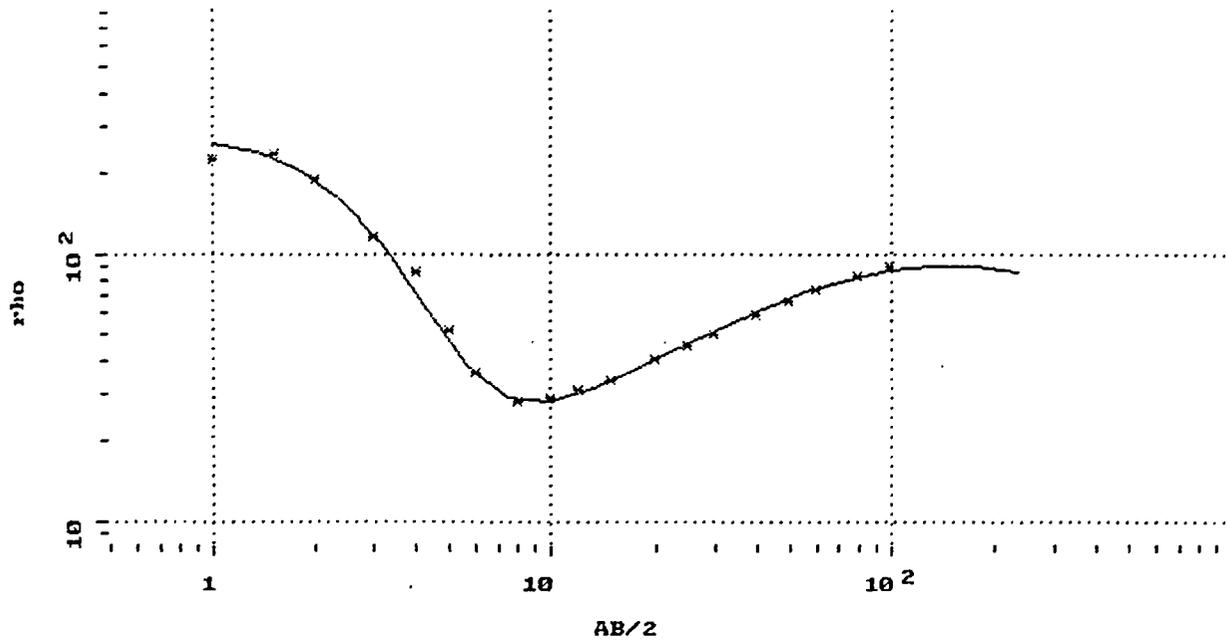
\* BRGM/GPH \* GRIVEL \*

Schlumberger

Fig. 4 - Modélisation 1D de SE1

	Resistivite (ohm.m)	Profondeur (m)
	$\infty$	
1-----	280.000	0.000
2-----	22.000	1.350
3-----	120.000	9.500
4-----	55.000	100.000

SE. 2

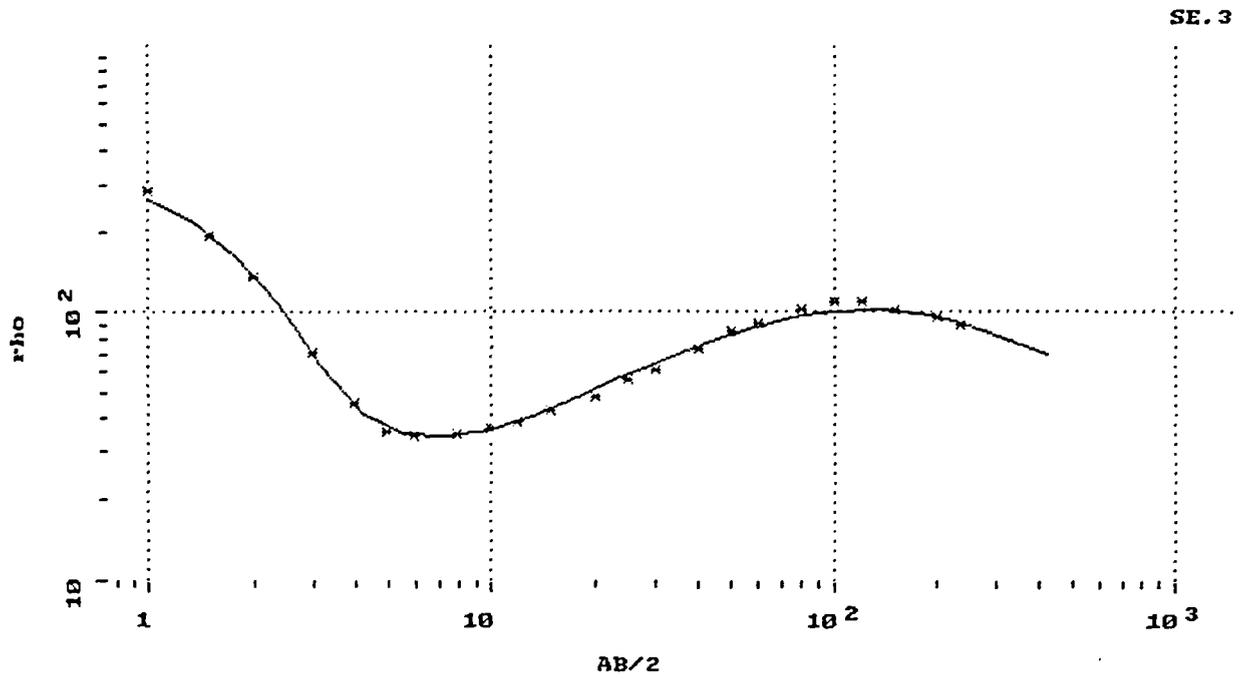


\* BRGM/GPH \* GRIVEL \*

Schlumberger

Fig. 5 - Modélisation 1D de SE2

	Resistivite (ohm.m)	Profondeur (m)
	∞	
1-----	320.000	0.000
2-----	30.000	0.900
3-----	130.000	9.000
4-----	55.000	100.000



\* BRGM/GPH \* GRIVEL \*

Schlumberger

Fig. 6 - Modélisation 1D de SE3

## **4. CONCLUSION**

La réalisation de trois sondages électriques sur le site d'une ancienne décharge, dans la banlieue de Dreux, a montré que l'épaisseur des argiles à silex recouvrant les formations crayeuses était de 1 à 2 m ou d'une dizaine de mètres au maximum, suivant les hypothèses.