



INSTITUT NATIONAL DE L'ENVIRONNEMENT INDUSTRIEL ET DES RISQUES

Etude de l'impact des Composés Organiques Volatils issus des émergences polluées de la vallée de l'Automne

Rapport de synthèse

ADEME

Martine.RAMEL@ineris.fr

Direction des Risques Chroniques

Février 2000

Etude de l'impact des Composés Organiques Volatils issus des émergences polluées de la vallée de l'Automne

Rapport de synthèse

ADEME

Février 2000

Ce document comporte 113 pages (hors couverture et annexes).

	Rédaction		Vérification	Approbation
NOM	Martine RAMEL, Sandra LEVEQUE	Férid BEN SLIMANE	Rémi PERRET	Michel NOMINE
Qualité	Direction des Risques Chroniques	Direction des Sols et Sous sols	Responsable d'Unité Direction des Risques Chroniques	Responsable scientifique Direction des Risques Chroniques
Visa				

TABLE DES MATIERES

INTRODUCTION GENERALE.....	5
PHASE 1 : LOCALISATION ET FONCTIONNEMENT DES ÉMERGENCES POLLUÉES.....	8
1. Introduction.....	8
2. Cartographie des émergences polluées	8
3. Etude des mécanismes et détermination du débit des émergences.....	13
3.1 Implantation de piézomètres	13
3.2 Mesures de la piézométrie	13
3.3 Mesures de perméabilité	15
3.4 Mesure de débit dans les fossés et sources	16
3.5 Etude du mécanisme conduisant aux émergences	18
3.6 Mesure du débit d'émergence	19
3.7 Estimation du débit des émergences à partir du résultat des débits des fossés	22
3.8 Calcul du débit theorique des émergences a partir des mesures piezometriques	23
3.9 Conclusion concernant le débit des émergences	25
4. Etude des apports en eaux météoriques dans la vallée.....	26
4.1 Etude hydrologique	26
4.2 Analyse statistique des pluies	26
5. Caracterisation de la pollution des nappes dans la vallee de l'Automne.....	28
5.1 Résultat des balances ioniques	29
5.2 Résultat des analyses de composés organiques	29
6. Conclusion de la phase 1.....	30
PHASE 2 : ANALYSES DES EAUX DES EMERGENCES.....	32
1. Introduction.....	32
2. Méthodologies.....	33
2.1 Prélèvements d'eaux sur le site	33
2.2 Caractérisation du potentiel émissif global des eaux	33
2.3 Analyses chimiques des eaux	34
3. Résultats	35
3.1 Etape 1 : Caractérisation du potentiel émissif des émergences	35
3.2 Etape 2 : Analyses chimiques des émergences	41
4. Conclusions de la phase 2	44
4.1 Etape 1 : Caractérisation du potentiel émissif des émergences	44
4.2 Etape 2 : Analyses chimiques des émergences	45

PHASE 3 : ETUDE DES SOURCES DE COV ET D'ODEURS DANS L'AIR.....	48
1. Introduction.....	48
2. Méthodologies.....	48
2.1 Caractérisation des émissions	48
2.2 Méthodologie d'analyses olfactométriques (IPSN/SERAC/LECEV)	49
2.3 Analyse physico-chimique des composés odorants et des composés organiques volatils	51
3. Résultats	52
4. Calculs d'extrapolation des flux	56
5. Conclusions de la phase 3	61
5.1 Caractérisation chimique des dégagements gazeux	61
5.2 Analyses olfactométriques	62
5.3 Calculs des flux de COV dans l'atmosphère	62
PHASE 4 : ETUDE DES ODEURS DANS L'ENVIRONNEMENT.....	64
1. Principe de la méthode	64
2. Campagne de mesures hivernale	65
2.1 Choix des points de mesures	65
2.2 Intervention de l'équipe	65
2.3 Conditions météorologiques	65
2.4 Synthèse de la campagne hivernale	65
3. Campagne de mesures estivale.....	66
3.1 Choix des points de mesures	66
3.2 Intervention de l'équipe	66
3.3 3.2.3. Conditions météorologiques	66
3.4 Synthèse de la campagne estivale	66
4. Conclusion de la phase 4.....	67
PHASE 5 : EVALUATION DES RISQUES SANITAIRES PAR VOIE RESPIRATOIRE.....	69
1. Introduction.....	69
2. Rappel sur l'évaluation des risques sanitaires	69
2.1 Principes de l'évaluation des risques	69
2.2 Les étapes d'une évaluation des risques	70
3. Sélection des substances.....	70
3.1 Composés détectés dans l'air de balayage des émergences	71
3.2 Composés détectés dans les émergences	74
4. Conclusions de l'étape de sélection des substances	75
5. Populations cibles	78
5.1 Riverains	78

5.2	Visiteurs occasionnels de la zone proche des émergences	78
5.3	Travailleurs	79
6.	Calcul des expositions	80
6.1	Le problème numérique	80
6.2	Description du modèle numérique	81
6.3	Description des hypothèses de calcul et des données d'entrée	82
6.4	Résultats obtenus	83
6.5	Détermination des concentrations inhalées	83
7.	Caractérisation des risques	84
7.1	Riverains	86
7.2	Promeneurs, enfants et chasseurs	88
7.3	Travailleurs	95
8.	Evaluation des incertitudes	98
8.1	Incertitudes liées à la toxicité des substances	98
8.2	Incertitudes liées à l'usage du site et à la définition des scénarios	102
9.	Conclusion de la phase 5	103
	CONCLUSION GÉNÉRALE	105
	LISTE DES ANNEXES	111

INTRODUCTION GENERALE

Le site pollué orphelin de Néry-Saintines occupe une ancienne carrière de calcaire à 14 km au sud de la ville de Compiègne, dans l'Oise. Cette carrière a été creusée en bordure d'un plateau qui domine la vallée de l'Automne, affluent rive gauche de l'Oise. Sa superficie est d'environ 4 hectares.

De 1969 à 1972, l'ancienne carrière, dite de Vaucelles, a été utilisée en tant que centre de « traitement » et de stockage de déchets industriels spéciaux. Pendant cette période de 9 ans, des résidus chimiques très divers (solvants, dont solvants chlorés, hydrocarbures, etc...) ont été déversés ou enfouis dans deux fosses creusées dans le substratum calcaire.

Depuis l'arrêt de l'exploitation ce site est à l'origine d'une pollution importante de la nappe des sables liée à des phénomènes de transferts du stock de produits chimiques dans celle-ci. Compte-tenu de la topographie du site, les eaux polluées de la nappe émergent en plusieurs points de la vallée de l'Automne.

Par arrêté préfectoral en date du 30 mars 1998, le Préfet de l'Oise a confié à l'ADEME la réalisation d'un programme d'études sur ce site visant à évaluer l'impact sur la population des émanations de composés organiques volatils issus des émergences polluées de la vallée de l'Automne, en procédant d'une part à la caractérisation des odeurs, et d'autre part à l'analyse des risques pour la santé humaine.

Ce programme d'étude a été confié par l'ADEME à l'INERIS et a comporté les différentes phases suivantes :

Phase 1 : Localisation et étude des mécanismes de fonctionnements des émergences

Cette phase, étape préalable à la quantification des émissions, a consisté à étudier les émergences de façon approfondie : leur étendue, leur localisation, et leur cartographie, les mécanismes de fonctionnement qui régissent leur formation et leurs débits d'alimentation.

Phase 2 : Identification et quantification des polluants organiques présents dans les eaux des émergences

L'objectif de cette phase analytique était d'identifier et de quantifier les composés organiques volatils présents dans les eaux émergentes situées dans la vallée de l'Automne et provenant de la nappe phréatique polluée, et de caractériser ainsi le potentiel émissif des émergences.

Phase 3 : Etude des dégagements gazeux de COV et des odeurs à partir des émergences

A partir des différents enseignements issus des investigations des deux premières phases, la phase 3 avait pour objet, d'une part, de quantifier les odeurs dégagées par les émergences et ressenties par les populations, et d'autre part d'identifier et de quantifier les composés organiques présents dans ces dégagements (COV), pour repérer les molécules responsables des odeurs

Phase 4 : Etude de l'impact olfactif

Afin d'appréhender l'impact olfactif sur les populations des émissions gazeuses provenant des émergences, une cartographie des odeurs ressenties dans l'environnement du site a été établie à partir de campagnes de mesures d'intensités odorantes, par des « jury de nez » (experts en analyse sensorielle).

Phase 5 : Etude de l'impact sur la santé humaine

Dans un dernier temps, une étude d'évaluation des risques pour la santé liés à l'exposition, par voie respiratoire, des populations aux composés organiques volatils dégagés par les émergences a été réalisée.

Il convient de noter que toutes les investigations sur le terrain, nécessaires au déroulement du programme d'étude, (cartographie, mesures piézométriques, déterminations des débits, prélèvements et analyses des eaux et de l'air, mesures d'odeurs) ont été effectuées à deux reprises, en période hivernale et en période estivale, afin d'augmenter leur représentativité.

Phase 1

Localisation et fonctionnement des émergences polluées

PHASE 1 : LOCALISATION ET FONCTIONNEMENT DES EMERGENCES POLLUEES

1. INTRODUCTION

L'objet de la présente phase du programme d'étude est, d'une part, de préciser la localisation des zones d'émergences, et d'en établir une cartographie, et d'autre part, d'explicitier les mécanismes conduisant à la formation des émergences polluées dans la vallée de l'Automne, de quantifier les apports des émergences en terme de débits, et de préciser la pollution des nappes dans la vallée de l'Automne au pied du coteau de Vaucelles (nappes de la tourbe et des alluvions sableuses).

Par ailleurs, cette partie doit permettre d'apprécier l'extension de la pollution des nappes en aval de la carrière de Vaucelles, à partir de prélèvements et d'analyses d'eaux dans les piézomètres en place.

Pour ce faire, les différentes opérations ci-après ont été initiées et seront développées dans ce qui suit :

- Repérage et cartographie des émergences polluées,
- Implantation de 4 piézomètres spécifiques à l'étude,
- Mesures de perméabilités,
- Mesures de débits dans les fossés de drainage des eaux superficielles,
- Mesures du débit des émergences,
- Etude hydrologique
- Prélèvements et analyses dans les piézomètres situés dans la vallée de l'Automne.

Deux campagnes d'investigations ont été réalisées sur le terrain, une campagne d'hiver (février 1999), et une campagne d'été (juin 1999).

2. CARTOGRAPHIE DES EMERGENCES POLLUEES

Quinze émergences au total (notées A à O) ont été répertoriées au pied de la carrière de Vaucelles dans la vallée de l'Automne lors des deux campagnes de février (du 8 au 12/02/99), et de juin (du 21 au 25/06/99).

Il est à noter que les émergences polluées présentent les caractéristiques suivantes :

- couleur orangée du sol,
- présence d'un film huileux à la surface de l'eau,
- odeur caractéristique plus ou moins forte.

Un repérage et une identification préliminaire des émergences à été réalisé par l'INERIS en compagnie de Monsieur Farandeu (géomètre expert).

Les contours des limites des émergences ont été établis par un minimum de 5 points repérés par le géomètre. Les surfaces émergentes ont été reportées sur un plan cadastral au format A0 (cf. Annexe A). Le niveau de certaines émergences a également été déterminé en cote IGN.

Le tableau ci-après compile les résultats relatifs aux émergences obtenus lors des 2 campagnes de mesure :

Emergence	Surface (m ²) lors de la première campagne (02/99)	Surface (m ²) lors de la deuxième campagne (06/99)	Variation (m ²) (surface 06/99 - surface 02/99)	Variation (en %) (surface 06/99 - surface 02/99)
A	130	130	0	0,0
B	280	135	-145	-51,8
C	80	80	0	0,0
D	370	0 (asséchée)	-370	-100,0
E	2160	1660	-500	-23,1
F	1300	500	-800	-61,5
G	25	25	0	0,0
H	35	0 (asséchée)	-35	-100,0
I	60	0 (asséchée)	-60	-100,0
J	140	25	-115	-82,1
K	210	210	0	0,0
L	360	85	-275	-76,4
M	400	655	255	63,8
N	60	25	-35	-58,3
O (*)	0 (?)	40	40 (?)	-
TOTAL	5 160	3 530	-2 080	-37,1

(*) émergence non repérée lors de la première campagne

Synthèse des surfaces des émergences sur 2 campagnes.

Les surfaces des émergences sont comprises entre 25 et 2160 m² selon les émergences et les saisons. Le niveau topographique des limites des émergences est compris entre 39,62 et 40,65 m IGN en hiver, et entre 38,72 et 41,12 m IGN en été.

La majorité des surfaces émergentes est localisée en bordure de la route départementale 98, au pied du coteau de Vaucelles, entre le parking et l'intersection avec la route départementale 123. Les plus grandes (E et F) sont localisées au niveau du parking.

Cependant certaines émergences ont été repérées au-delà de la voie de chemin de fer.

Ces résultats montrent une extension des émergences polluées (augmentation du nombre et des surfaces) par rapport aux précédentes campagnes de repérages réalisées par l'ADEME.

On relève une forte diminution (de 37 %) des surfaces émergentes entre les mois de février et juin. Certaines émergences sont complètement asséchées, c'est le cas de D, H et I, d'autres voient leur surface considérablement réduite (notamment B, E, F, J et L).

Les émergences asséchées ou présentant une forte diminution de leur surface sont toutes localisées dans des zones présentant une plus faible couverture végétale et un plus faible boisement. et sujettes à un ensoleillement et une évapotranspiration plus importants.

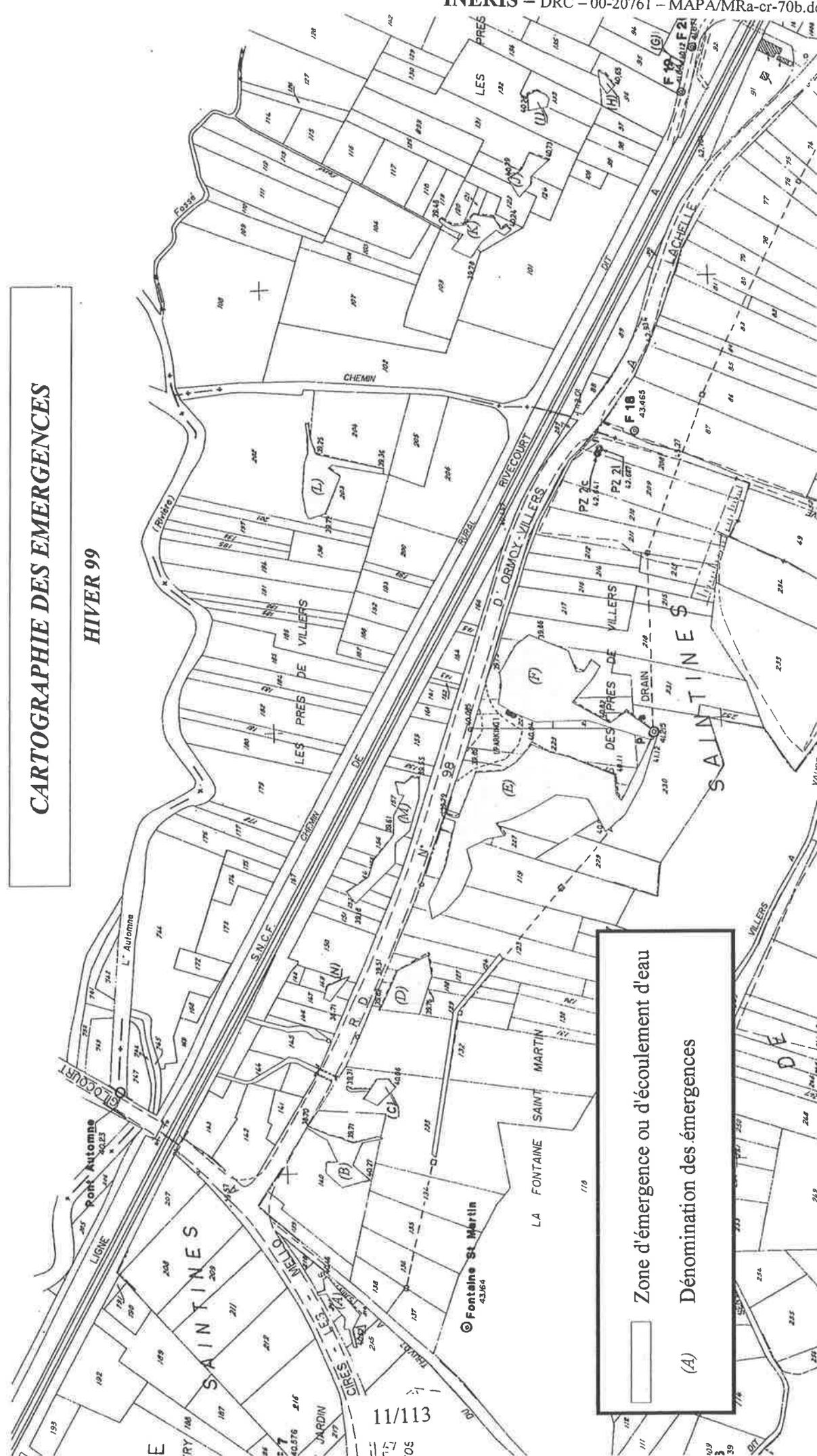
Les variations de l'étendue des émergences sont dues aux effets cumulés de la diminution des niveaux piezométriques et de l'augmentation de l'évapotranspiration.

On trouvera ci-après la cartographie des émergences établie à partir des plans fournis par le géomètre lors de chaque campagne de repérage.

CARTOGRAPHIE DES EMERGENCES

HIVER 99

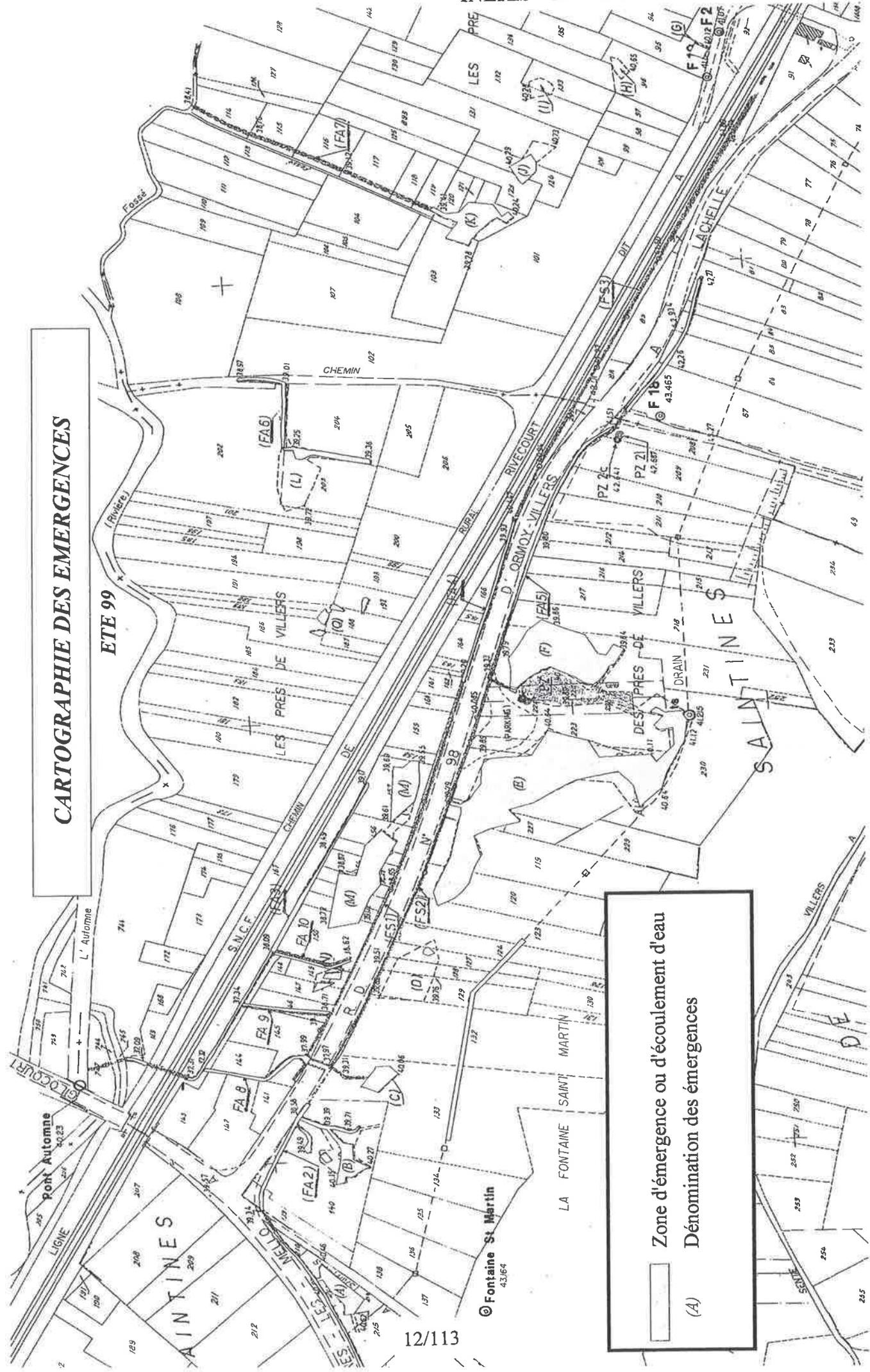
SAINTINES



Zone d'émergence ou d'écoulement d'eau

(A) Dénomination des émergences

CARTOGRAPHIE DES EMERGENCES



Zone d'urgence ou d'écoulement d'eau
 (A) Dénomination des émergences

© Fontaine St Martin
43,654

3. ETUDE DES MECANISMES ET DETERMINATION DU DEBIT DES EMERGENCES

3.1 IMPLANTATION DE PIEZOMETRES

Pour caractériser la pollution des nappes des sables de Cuise et de la tourbe et déterminer par le calcul le débit des émergences, 4 piézomètres ont été implantés en bordure de la route départementale 98.

L'exécution des piézomètres a été réalisée par l'entreprise PONTIGNAC sous la maîtrise d'œuvre de l'INERIS la semaine du 1^{er} au 5 février 1999.

Les 4 piézomètres ont été disposés en deux batteries composées chacune de deux piézomètres :

- un piézomètre "court" permettant de mesurer les niveaux et effectuer des prélèvements dans la nappe de la tourbe,
- un piézomètre "long" crépiné dans les alluvions sableuses permettant de mesurer les niveaux et effectuer des prélèvements dans nappe des alluvions.

Les couples de piézomètres sont distants de 125 mètres.

Les piézomètres ont été nivelés par le Cabinet Farandeu et équipés d'une tête métallique scellée et cadenassée afin de les protéger contre tout acte de malveillance.

La première batterie de piézomètres est composée des piézomètres PZ1L et PZ1C captant respectivement la nappe des alluvions et la nappe de la tourbe. Elle est localisée en bordure du parking situé sur la D98 (cf. plans Annexe A et photos de l'Annexe B).

La seconde batterie de piézomètres est composée des piézomètres PZ2L et PZ2C captant respectivement la nappe des alluvions et la nappe de la tourbe. Elle est localisée à l'intersection de la D98 et du chemin d'accès menant à la carrière de Vaucelles (cf. plans Annexe A et photos de l'Annexe B).

Lors de la réalisation des sondages la succession stratigraphique suivante a été rencontrée :

- un remblai silteux et un silt sableux plus ou moins tourbeux sur environ 2 mètres de profondeur ;
- une tourbe marron d'une épaisseur variant entre 1,3 et 4,8 mètres respectivement pour les couples (PZ2L et PZ2C) et (PZ1L et PZ1C) ;
- un sable légèrement argileux vert clair d'une épaisseur comprise entre 0,8 (pour PZ1L et PZ1C) et 3,9 mètres (pour PZ2L et PZ2C) ;
- un sable graveleux beige-vert clair.

Un descriptif de la coupe technique des différents piézomètres "longs" et "courts" est joint en Annexe C.

3.2 MESURES DE LA PIEZOMETRIE

Les deux campagnes de mesures du niveau piézométrique ont été réalisées le 8/02/99 pour la période hivernale et le 18/06/99 pour la période estivale sur l'ensemble des piézomètres implantés lors des différentes études de l'ADEME sur le site de Néry-Saintines.

Il est à noter que le piézomètre F4, localisé sur une parcelle exploitée par un agriculteur, n'a pas été repéré. Il est probable qu'il a été détruit ou enseveli sous le tas de foin stocké sur la parcelle ; par ailleurs, la mesure du niveau pour le piézomètre F18 n'a pu être réalisée au cours de la seconde campagne, en raison d'une rupture du tube PVC à 70 cm de profondeur.

Le tableau ci-dessous compile l'ensemble des relevés effectués sur les piézomètres implantés dans le secteur d'étude.

Piézomètre	Niveau capot (m IGN)	Sol/capot (en m)	Sol (m IGN)	Profondeur piézomètre (en m)	Nappe/capot (m IGN)		Niveau de la nappe (m IGN)		Variations des niveaux
					8/02/99	18/06/99	8/02/99	18/06/99	
F1	107,883	0,72	107,163	70,45	54,70	55,87	53,183	52,013	-1,170
F2	111,111	0,70	110,411	63,05	54,70	52,96	56,411	58,151	1,740
F3	94,521	0,86	93,661	53,65	44,89	44,69	49,631	49,831	0,200
F5	64,223	0,87	63,353	43,70	18,30	18,03	45,923	46,193	0,270
F6	50,390	0,47	49,920	21,66	2,63	2,74	47,760	47,650	-0,110
F7	40,576	0,75	39,826	16,00	0,67	0,79	39,906	39,786	-0,120
F8	97,060	0,30	96,760	69,40	45,31	45,02	51,750	52,040	0,290
F9	92,918	0,00	92,918	71,80	41,35	41,37	51,568	51,548	-0,020
F10	42,751	0,62	42,131	18,97	0,35	0,57	42,401	42,181	-0,220
F11	42,617	0,35	42,267	19,20	0,58	0,60	42,037	42,017	-0,020
F12	92,704	0,00	92,704	80,65	40,75	40,90	51,954	51,804	-0,150
F13	92,724	0,00	92,724	54,00	40,95	40,93	51,774	51,794	0,020
F14	93,050	0,21	92,840	102,90	51,95	52,36	41,100	40,690	-0,410
F15	109,578	1,20	108,378	99,50	54,70	55,42	54,878	54,158	-0,720
F16	52,753	0,50	52,253	30,34	0,24	0,29	52,513	52,463	-0,050
F17	95,711	0,09	95,621	77,80	43,70	44,00	52,011	51,711	-0,300
F18 (*)	43,465	0,20	43,265	3,13	1,54	-	41,925	-	-
F19 (*)	41,842	0,20	41,642	5,20	0,66	0,75	41,182	41,092	-0,090
F20 (*)	41,879	0,64	41,239	6,16	0,30	0,60	41,579	41,279	-0,300
PZ1L	40,974	0,64	40,334	12,33	0,00	0,00	40,974	40,974	0,000
PZ1C (*)	40,895	0,62	40,275	7,70	0,10	0,17	40,795	40,725	-0,070
PZ2L	42,687	0,50	42,187	13,41	0,91	1,05	41,777	41,637	-0,140
PZ2C (*)	42,641	0,53	42,111	7,61	1,03	1,38	41,611	41,261	-0,350

(*) Piézomètres captant la nappe de la tourbe.

Niveau piézométrique observés pour l'ensemble des piézomètres

Les piézomètres PZ1L, PZ1C et F16 présentent des niveaux piézométriques supérieurs à celui du sol (niveaux artésiens). Les piézomètres F7, F10 et F20 étaient dans cette situation lors de la première campagne, mais pas lors de la seconde campagne.

Les niveaux de nappe pour les piézomètres F11, F19, PZ2L et PZ2C sont situés à des profondeurs comprises entre 8 et 50 centimètres de la surface du sol.

Les niveaux piézométriques ont enregistré une baisse comprise entre 7 et 70 centimètres pour l'ensemble des piézomètres entre les deux campagnes ; seuls les piézomètres F3, F5, F8 et F13 ont vu leur niveau augmenter entre février et juin.

Cette diminution des niveaux piézométriques est attribuée à une plus faible recharge des nappes en période estivale.

Les cartes piézométriques de la nappe des sables de Cuise correspondant à chaque campagne sont représentées sur les plans de l'Annexe A.

L'écoulement général de cette nappe s'effectue selon une direction Sud-Sud-Ouest Nord-Nord-Est, perpendiculairement à l'Automne.

Le gradient moyen d'écoulement de cette nappe au niveau du coteau de Vaucelles a varié de 1,9 % à 2,9 %. Il devient plus faible dans la vallée de l'Automne avec des valeurs de 0,6 et 0,9 %. Ces valeurs de gradients sont beaucoup plus faibles l'été que l'hiver.

Ces gradients correspondent respectivement à des vitesses moyennes de transfert de l'ordre d'une part de 330 m/an en hiver et de 240 m/an en été et d'autre part de 110 m/an l'hiver et de 75 m/an l'été (pour une perméabilité horizontale des sables de Cuise de $4 \cdot 10^{-5}$ m/s et une porosité efficace de 0,1), soit des valeurs 30 % plus faibles en été.

Sur le plan de l'Annexe A est représentée la surface pour laquelle le niveau de la nappe des sables de Cuise est supérieur au niveau du terrain naturel. Cette région, qui couvre une superficie de l'ordre de 10 hectares, (plutôt 12 hectares en hiver) représente les zones potentiellement émergentes.

3.3 MESURES DE PERMEABILITE

Des mesures de perméabilité fine par impulsion (de type pulse) ont été réalisées dans la tourbe lors de l'exécution des 2 piézomètres captant cette nappe (PZ1C et PZ2C).

Des essais de mesure de perméabilité de type Le Franc (ou essai de poche) ont été réalisés dans les piézomètres " longs " (PZ1L et PZ2L) afin de déterminer la perméabilité de la nappe des alluvions sableuses.

La mise en œuvre des essais a été réalisée par l'entreprise Pontignac les 4 et 5 février 1999.

Le dépouillement et l'interprétation des essais figurent en Annexe C. Les valeurs de perméabilité sont compilées dans le tableau ci-dessous.

	Perméabilités (m/s) de la tourbe mesurées à l'aide des essais de perméabilité K12	Perméabilités (m/s) des sables mesurées à l'aide des essais Le Franc (valeurs moyennes)
Couple de piézomètres PZ1L et PZ1C	$8,7 \cdot 10^{-9}$	$8,3 \cdot 10^{-6}$
Couple de piézomètres PZ2L et PZ2C	$1,9 \cdot 10^{-6}$	$1,5 \cdot 10^{-5}$

Valeurs de perméabilités mesurées pour la nappe de la tourbe et la nappe des sables.

Les valeurs de perméabilité obtenues conduisent aux résultats suivants :

- le contraste de perméabilité entre la tourbe et les alluvions sableuses est fort pour le couple (PZ1L-PZ1C) puisqu'il y a un facteur 1000 entre les deux valeurs de perméabilités. En revanche il est plus faible pour le couple (PZ2L-PZ2C) puisqu'il est de l'ordre de 10. Ces contrastes de perméabilité observés pour des points distants de 125 mètres montrent l'importante hétérogénéité de la perméabilité de la tourbe.
- la valeur de la perméabilité des sables au voisinage de l'horizon tourbeux (zone de transition) semble être corrélée avec celle de la tourbe. Plus la valeur de la perméabilité de la tourbe est faible et plus celle des sables le sera.

3.4 MESURE DE DEBIT DANS LES FOSSES ET SOURCES

Des campagnes de mesure de débit ont été réalisées par jaugeage des eaux de surface dans l'ensemble du réseau de drainage dans les fossés localisés en bordure de la route départementale 98. Ces fossés drainent les eaux de ruissellement recueillies par les sous-bassins versants hydrologiques contenant le plateau de Vaucelles (dont la carrière), les eaux de certaines émergences polluées ainsi que les eaux de sources (Fontaine Saint Martin). Ces fossés, qui constituent également des sources potentiellement émissives lorsqu'ils ne sont pas enterrés, ont été répertoriés par le géomètre et reportés sur les plans de l'Annexe A.

Les campagnes de mesure se sont déroulées les 11 et 12 février 1999 pour la période hivernale, et le 21 juin pour la période estivale (cf. photos de l'Annexe B).

Pour ce qui concerne la période hivernale, il est à noter que les conditions météorologiques pour ces dates étaient caractérisées par un temps frais présentant des chutes de neige. Compte-tenu de l'absence de précipitations lors des deux jours de la campagne de mesure de débit et lors des 3 jours précédant celle-ci, les valeurs mesurées sont pratiquement représentatives des débits des émergences et sources alimentant les sous-bassins versants.

Pour ce qui concerne la période estivale, les conditions météorologiques pendant les mesures étaient caractérisées par un temps chaud et ensoleillé. Il n'y pas eu de précipitations lors de la semaine précédant l'intervention. De ce fait, les apports dus aux eaux de ruissellement sont négligeables et les débits mesurés reflètent également l'alimentation par les émergences.

La localisation des 21 points de mesure ainsi que la représentation des réseaux de fossés reconnus lors des investigations figure sur le plan général de l'Annexe A. Sur ce même plan figurent également les valeurs des débits mesurés.

Le tableau ci-dessous synthétise les débits mesurés dans les fossés pour les deux campagnes de mesure.

Points	Débit mesuré (l/min)		Variation (juin – février)	
	Campagne de février	Campagne de juin	en l/min	en %
1	8,1	0,9	-7,2	-89%
2	7,1	1,6	-5,5	-77%
3	24,7	4,8	-19,9	-81%
4	1,2	0,3	-0,9	-75%
5	5,4	0,2	-5,2	-96%
6	21,2	15,7	-5,5	-26%
7	37,4	27,2	-10,2	-27%
8	3,3	0,0	-3,3	-100%
9	50,2	42,5	-7,7	-15%
10	44,0	8,3	-35,7	-81%
11	8,0	4,1	-3,9	-49%
12	4,2	0,0	-4,2	-100%
13 (Fontaine St Martin)	19,4	14,8	-4,6	-24%
14	26,1	17,5	-8,6	-33%
15	31,0	132,2	101,2	327%
16	58,1	15,0	-43,1	-74%
17	14,5	0,0	-14,5	-100%
18	7,9	4,1	-3,8	-48%
19	0,9	0,0	-0,9	-100%
20	1,4	0,0	-1,4	-100%
21	6,9	4,1	-2,8	-41%

Synthèse des débits mesurés dans les fossés lors des 2 campagnes de mesure.

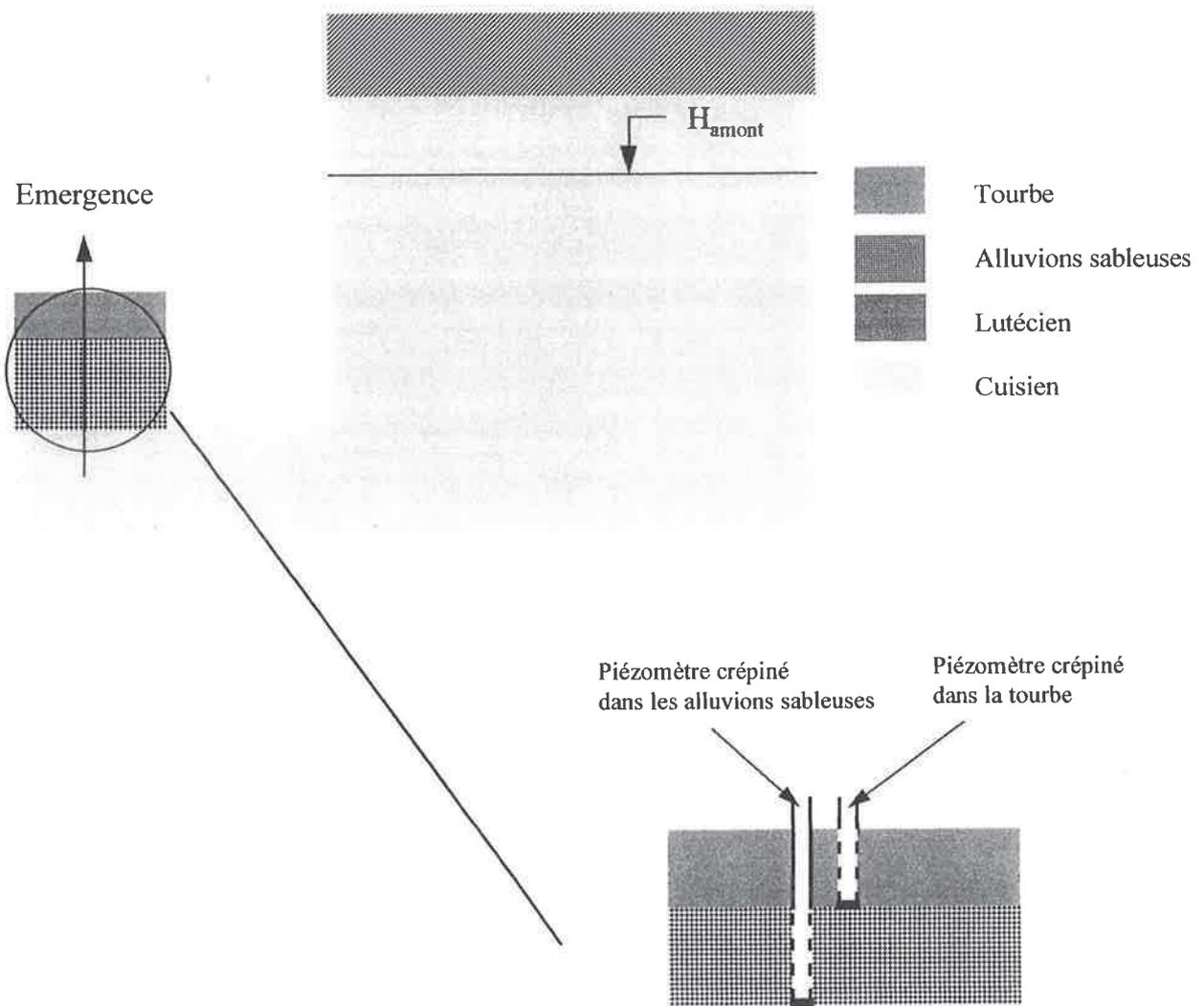
Ces résultats montrent une forte diminution des débits mesurés lors de la campagne de juin par rapport à celle de février. Cette diminution des débits, conforme à la réduction des surfaces émergentes, est plus particulièrement marquée pour les fossés alimentés par les émergences jouxtant la D98 (essentiellement D, E et F).

Le débit de la Fontaine St Martin (point 13), représentatif de celui de la nappe de Cuise, subit une baisse comparable à celle enregistrée pour les vitesses d'écoulement (de l'ordre de 30 %).

Le débit total rejoignant l'Automne est de 109 l/min en été pour 180 l/min en hiver. Cette valeur est relativement faible par rapport à la somme des débits issus des sous-bassins versants du plateau de Vaucelles (de l'ordre de 10 m³/min pour une pluie de fréquence annuelle et de durée 15 minutes, cf. étude hydrologique, en annexe).

3.5 ETUDE DU MECANISME CONDUISANT AUX EMERGENCES

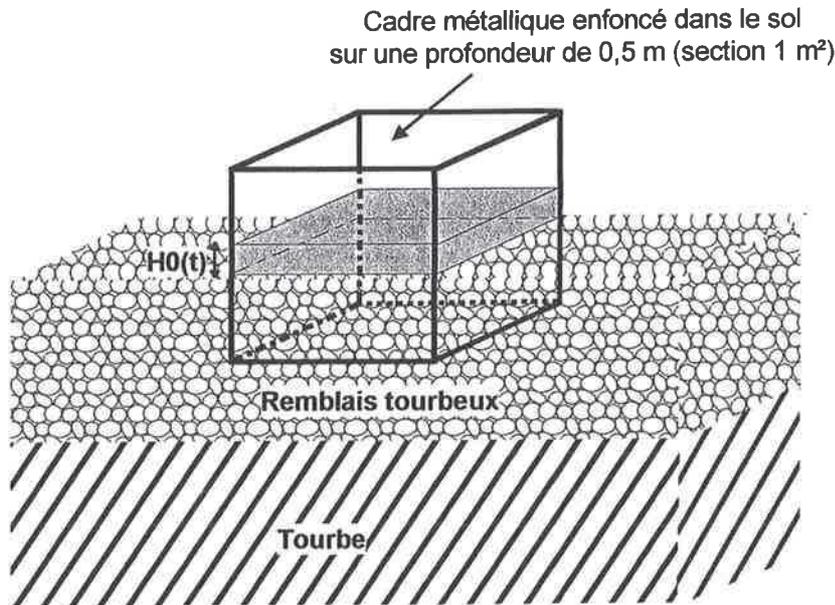
Le phénomène des émergences peut être représenté schématiquement par un vérin hydraulique (figure ci-dessous). La nappe de Cuise est mise en charge dans la vallée de l'Automne et du rû de la Douye. La charge piézométrique de la nappe de Cuise dans le plateau (H_{amont}) conditionne le débit des émergences.



*Représentation schématique du phénomène des émergences par un vérin hydraulique.
Dispositif piézométrique permettant la mesure et le calcul du débit des émergences*

3.6 MESURE DU DEBIT D'EMERGENCE

Des mesures ponctuelles du débit des émergences ont été réalisées sur l'émergence (F) en utilisant le dispositif décrit ci-dessous (cf. photos de l'Annexe B).



q (l/m²/jour) : débit spécifique d'alimentation de l'émergence)

$H_0(t)$: hauteur d'eau (1 mm correspond à un volume d'1 litre)

Dispositif utilisé lors d'une mesure ponctuelle de débit d'une émergence

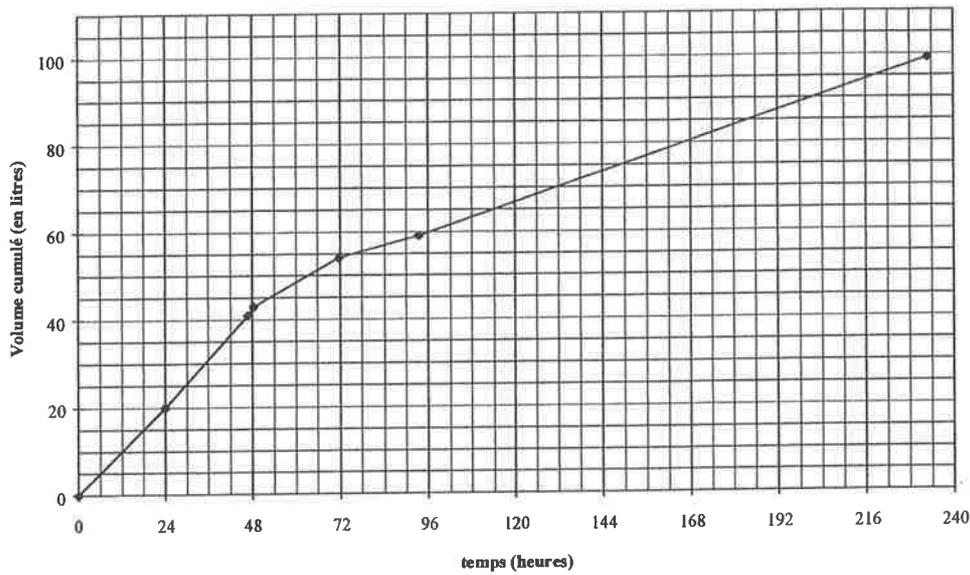
Il s'agit d'une chambre de mesure, composée d'un cadre métallique d'une section de un mètre carré (1 m²) enfoncée dans la tourbe sur une profondeur de 50 cm. Les variations au cours du temps du niveau de la hauteur d'eau dans le volume de la chambre de mesure ainsi isolée, permettent de tracer l'évolution des volumes cumulés d'alimentation des émergences au cours du temps. Le cylindre est muni d'un couvercle pour éviter son remplissage par les eaux météoriques et limiter l'évaporation.

Cette façon de procéder permet de mesurer ponctuellement et à différents endroits le débit spécifique des émergences (litre/jour/m²).

Ces mesures ponctuelles permettent de corroborer les valeurs du débit déterminées par le calcul à partir des données de perméabilités et des mesures du niveau des nappes présentés plus loin (paragraphe 3.8).

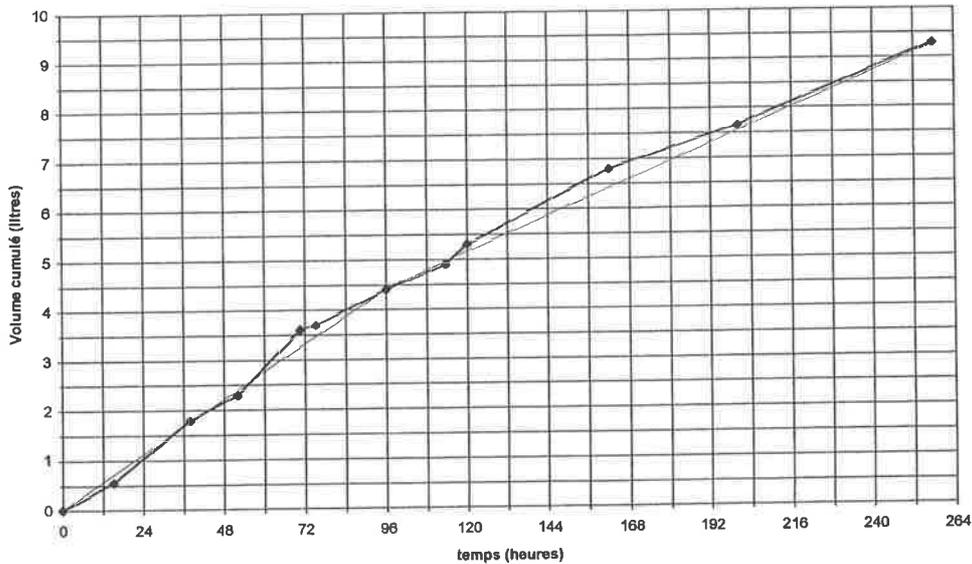
Les courbes de l'évolution du volume cumulé en fonction du temps (pour des périodes d'étude de près de 10 à 11 jours, à chaque saison) montrent deux pentes correspondant à deux débits spécifiques d'alimentation.

Détermination expérimentale du débit d'alimentation des émergences
 Evolution du débit cumulé en litres au cours du temps traversant une surface émergente de 1 m²



Courbe d'évolution du volume d'alimentation mesuré par la chambre de mesure sur une période de près de 10 jours (période du 8/02/99 au 18/02/99).

Détermination expérimentale du débit d'alimentation de l'émergence (F)
 Evolution du débit cumulé en litres au cours du temps traversant une surface émergente de 1 m²



Courbe d'évolution du volume d'alimentation mesuré par la chambre de mesure sur une période de près de 11 jours (période du 18/06/99 au 29/06/99).

Les débits spécifiques moyens q , déterminés au droit de l'émergence (F) pour les différentes périodes d'observation, sont compilés dans le tableau ci-dessous.

	Période (heures)		Débit spécifique d'alimentation q (l/m ² /jour)	
	<i>du 10/02/99 au 18/02/99</i>	<i>du 18/06 au 29/06/99</i>	<i>du 10/02/99 au 18/02/99</i>	<i>du 18/06 au 29/06/99</i>
pente 1	0 - 72	0 - 96	18,1	1,1
pente 2	72 - 233	96 - 257	6,7	0,7
valeur moyenne	0 - 233	0 - 257	10,2	0,9

Valeurs des débits spécifiques de l'émergence (F) mesurés in situ

Les mesures de débit à l'aide du dispositif expérimental, représentatives de l'évolution du débit moyen de l'émergence (F), la plus étendue, montrent une variation relativement faible sur une période d'environ 10 jours.

Les valeurs du débit spécifique moyen de l'émergence (F) se sont révélées dix fois plus faibles au cours de la campagne d'été par rapport à la campagne d'hiver (de l'ordre de 1 l/m²/j contre 10 l/m²/j).

3.7 ESTIMATION DU DEBIT DES EMERGENCES A PARTIR DU RESULTAT DES DEBITS DES FOSSES

Si l'on suppose que les débits mesurés dans les fossés sont principalement dus aux émergences (hypothèse pratiquement vérifiée comme il a été signalé auparavant), il est possible d'exprimer ces débits en débits spécifiques.

Le tableau ci-dessous compile les débits spécifiques calculés à partir des surfaces et des débits mesurés dans les fossés drainant quelques émergences, pour les deux campagnes de mesures.

Emergences concernées	Surface totale (m ²)		Débits mesurés dans les fossés (l/min)		Débit spécifique (l/m ² /jour)		Variation (juin – fév.) (en %)
	Fév. 99	Juin 99	Février 99	Juin 99	Fév. 99	Juin 99	
F	1 300	500	Débit point (2) 7,1	Débit point (2) 1,6	7,9	4,6	-41,8
E	2 160	1 660	Débit points (3+4) 25,9	Débit point (3+4) 5,1	17,3	4,4	-74,6
E + F	3 460	2 160	Débit points (2+3+4) 33	Débit points (2+3+4) 6,7	13,7	4,5	-67,2
D	370	0	Débit point (5) 5,4	Débit point (5) 0	21	0	-100
B	280	135	Débit points (12 + 11) 12,2	Débit points (12 + 11) 4,1	62,7	43,7	-30

Estimation du débit spécifique des émergences à partir du débit des fossés de drainage.

Ce tableau montre pour l'ensemble des émergences une importante diminution des débits spécifiques d'alimentation des émergences (comprise entre 30 et 100 %), cohérente avec les observations précédentes (surfaces des émergences et niveaux piézométriques).

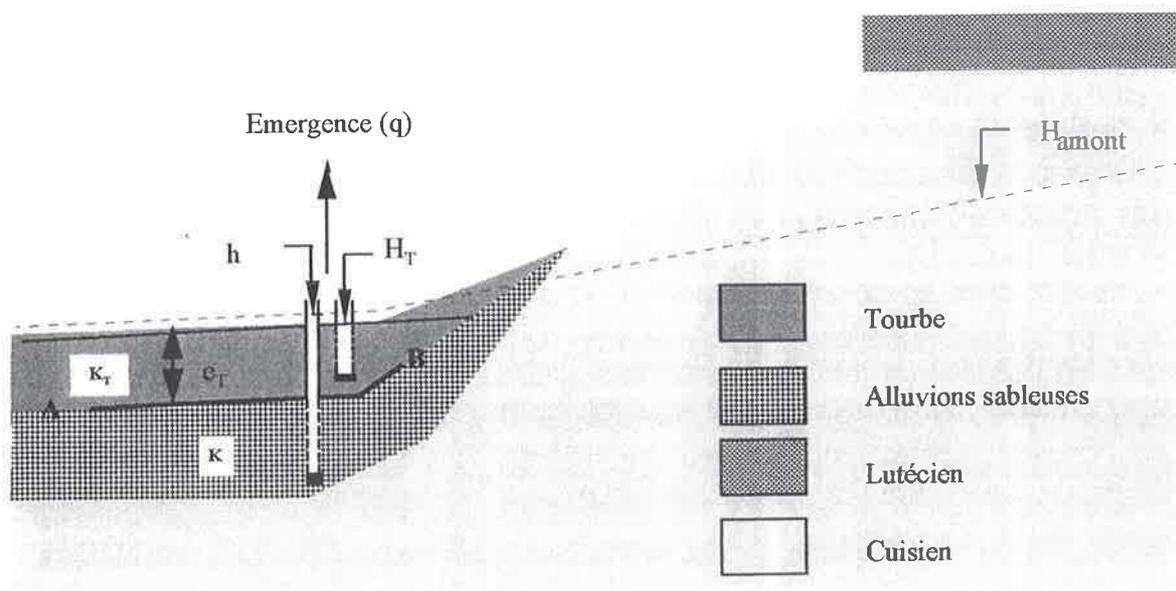
Les valeurs de débit spécifique mesuré à l'aide de la chambre de mesure uniquement au niveau de l'émergence (F) sont assez proches des valeurs calculées pour cette émergence à partir du débit des fossés : 10,2 et 7,9 l/j/m² en hiver, et 0,9 et 4,6 l/j/m² en été (on note toutefois une plus forte différence entre les deux méthodes en été avec une sous-estimation des débits mesurés par la chambre de mesure, liée aux phénomènes d'évapotranspiration).

D'une façon plus générale, les débits spécifiques d'alimentation des émergences calculés à partir des débits dans les fossés varient fortement entre les différentes zones de la vallée, l'émergence (B), en particulier, présente, pour les deux campagnes, des débits spécifiques nettement supérieurs à ceux des autres émergences.

3.8 CALCUL DU DEBIT THEORIQUE DES EMERGENCES A PARTIR DES MESURES PIEZOMETRIQUES

Le phénomène des émergences est typiquement une condition aux limites mixte de Fourier.

La nappe des alluvions alimente la surface par une différence de charge. La différence de charge $\Delta h = H_T - h$ crée le gradient nécessaire à l'écoulement d'un certain débit q par unité de surface de contact tourbe-alluvions (AB) d'après la loi de Darcy (voir figure ci-dessous).



Calcul du débit des émergences : schéma explicatif du dispositif mis en place.

Ce débit spécifique d'alimentation q [LT^{-1}] s'exprime par :

$$q = K_{eq} \frac{H_T - h}{e_T} \quad (1)$$

avec

$$K_{eq} = \frac{Ke + K_T e_T}{e + e_T}, \text{ perméabilité équivalente}$$

où :

h est la charge de la nappe des alluvions (mesurée par les piézomètres longs),

H_T est la charge mesurée dans la nappe de la tourbe,

e_T est l'épaisseur de la tourbe (déterminée lors de l'exécution des sondages),

e est l'épaisseur crépinée des alluvions sableuses

K_T est la perméabilité de la tourbe (mesurée lors des essais de perméabilité fine à l'aide de l'essai K12).

Le tableau ci-après compile les valeurs des débits spécifiques d'alimentation de la nappe de la tourbe par celle des alluvions obtenus par le calcul.

	Couple PZ1L-PZ1C		Couple PZ2L-PZ2C	
K_T (m/s)	8,7.10 ⁻⁹		8,3.10 ⁻⁶	
K (m/s)	1,9.10 ⁻⁶		1,5.10 ⁻⁵	
K_{eq} (m/s)	1,05.10 ⁻⁶		1,37.10 ⁻⁵	
e_T (m)	4,4		1,3	
e (m)	5,4		5,2	
	Fév. 99	Juin 99	Fév. 99	Juin 99
h (m IGN) (niveau piézométrique des PZL)	40,974	40,974	41,777	41,637
H_T (m IGN) (niveau piézométrique des PZC)	40,795	40,725	41,611	41,261
q [l/m ² /jour]	0,09	0,01	3,60	0,34

Détermination des débits spécifiques d'alimentation de la nappe de la tourbe par la nappe des alluvions.

Les résultats conduisent aux conclusions suivantes :

- les débits calculés pour la campagne de juin sont beaucoup plus faibles que ceux de février ;
- le débit calculé pour le couple PZ1L-PZ1C est très différent du débit mesuré *in situ* à l'aide du dispositif expérimental. En effet, le débit calculé est 100 fois inférieur au débit mesuré. La différence observée est certainement due à l'hétérogénéité de la tourbe en terme de perméabilité et d'épaisseur comme il a été souligné auparavant. De ce fait, il est fort probable que la perméabilité de la tourbe mesurée au droit du doublon PZ1L-PZ1C (à l'échelle du diamètre du forage), soit très différente de celle qui prévaut au droit de l'émergence (F) sur laquelle a été réalisée la mesure directe du débit spécifique.
- les débits calculés pour le couple PZ2L-PZ2C, pourtant plus éloigné de l'émergence (F) sont du même ordre de grandeur que les débits mesurés pour l'émergence (F).

Cette méthode théorique ne permet pas d'obtenir des valeurs de débits spécifiques pertinents sur des zones relativement larges, compte-tenu des hétérogénéités des valeurs de perméabilités, sauf de multiplier le nombre de couples piézomètres longs-courts. Néanmoins, l'implantation des doublons a permis de confirmer que le phénomène d'émergence est lié aux différences de charge entre les nappes des sables et de la tourbe et les contrastes de perméabilité.

3.9 CONCLUSION CONCERNANT LE DEBIT DES EMERGENCES

Il ~~est~~ convient de retenir les points suivants concernant les différentes méthodes de détermination des débits spécifiques d'alimentation des émergences développées précédemment :

- les valeurs mesurées à l'aide de la chambre de mesure présentent l'avantage d'intégrer une longue période d'observation (10 jours), mais elles ne sont représentatives que de la zone étudiée, compte-tenu des hétérogénéités d'alimentation des différentes émergences, essentiellement dues aux différences de perméabilité, et à un degré moindre, aux variations des niveaux ;
- les valeurs déterminées à l'aide des mesures de débits dans les fossés et des surfaces des émergences présentent l'avantage de s'affranchir des hétérogénéités d'alimentation et de fournir un débit spécifique moyen pour une émergence donnée. L'inconvénient majeur de cette méthode est qu'elle ne fournit qu'un débit spécifique instantané des émergences, cependant, la comparaison, sur l'émergence (F), des valeurs obtenues par cette méthode avec les mesures intégrées sur dix jours à l'aide de la chambre a permis de conforter la validité de ces données instantanées ;
- les valeurs théoriques ponctuelles obtenues à l'aide des mesures de perméabilités et des variations de niveaux piézométriques entre les nappes se sont avérées, quant à elles, peu pertinentes en raison de leur caractère très ponctuel et de l'importante hétérogénéité des perméabilités au droit des émergences. Une meilleure représentativité des valeurs obtenues par cette méthode aurait nécessité la multiplication des couples piézomètres longs-courts.

Ainsi, compte tenu des fortes disparités observées entre les différentes émergences, les valeurs de débit spécifique d'alimentation retenues pour la suite de l'étude seront celles calculées pour les émergences (E+F) à l'aide des débits des fossés, soit respectivement **14 et 5 l/j/m²** pour les campagnes de février et de juin. Ces deux émergences sont en effet les plus représentatives, en termes d'étendue et d'activité, des émergences localisées dans la vallée de l'Automne.

4. ETUDE DES APPORTS EN EAUX METEORIQUES DANS LA VALLEE

L'objet de cette partie est de quantifier les apports des eaux de ruissellement sur le sous-bassin versant contenant la carrière de Vaucelle, en vue principalement de déterminer la part des eaux provenant des émergences par rapport à l'ensemble des eaux de surface, et d'apprécier les facteurs de dilution de la pollution issue des émergences par les eaux de ruissellement (atténuation des nuisances). Dans un premier temps l'étude hydrologique a permis d'appréhender les apports des eaux de ruissellement provenant des pluies de façon globale au niveau des sous-bassins versants, dans un second temps, une analyse statistique des données pluviométriques a permis d'affiner la connaissance des phénomènes de dilution potentielle.

4.1 ETUDE HYDROLOGIQUE

L'étude hydrologique est présentée dans son ensemble en annexe D.

Il convient essentiellement de retenir que l'étude fine de la topographie a permis de délimiter trois sous-versants dans le secteur de l'étude :

- deux sous-versants principaux (A et B) délimités par la ligne de crête du coteau de Vaucelles et acheminant les eaux de ruissellement vers les émergences localisées en bordure de la départementale 98.
- Un sous-bassin versant mineur (C), délimité par la départementale 98 et l'Automne, dont les eaux ne s'écoulent pas en totalité vers les fossés des émergences.

Les débits de crues de chaque sous-bassin, ont été déterminés pour des pluies de différentes occurrences (annuelles, bisannuelles, quinquennales et décennales). Les valeurs pour une pluie de fréquence annuelle et de durée de 15 min sont les suivantes :

- Sous-bassin A : 8,2 m³/min,
- Sous-bassin B : 6,3 m³/min,
- Sous-bassin C : 1,9 m³/min,

Ce qui correspond à un débit global de 14,5 m³/min (A+B).

Ces valeurs qui représentent des apports instantannés provenant des épisodes ponctuels de pluies, apparaissent très importants par rapport aux valeurs de débit spécifique d'alimentation des émergences (14 litres/jour/m² en février, et 5 litre/jour/m² en juin), et des débits d'écoulement des eaux des émergences dans les fossés (débit total rejoignant l'Automne de l'ordre 180 l/min en hiver, et de 110 l/min en été). Ces valeurs doivent être nuancées à partir d'une analyse plus fine des données pluviométriques afin d'appréhender les phénomènes de dilution potentielle.

4.2 ANALYSE STATISTIQUE DES PLUIES

L'analyse de la série pluviométrique de l'année 1998 (année pluviométrique moyenne), constituée par la répartition des pluies par pas de temps de 6 minutes recueillies auprès de la station météorologique de Beauvais-Tillé a permis de déterminer la probabilité d'occurrence de chaque événement pluvieux.

L'analyse statistique des résultats montre que 95 % du temps sur une année (soit l'équivalent de 347 jours sur 365, en temps cumulé), la dilution du débit des émergences par les eaux de ruissellement est nulle en raison de l'absence de précipitations. Il est entendu que ce résultat fait appel aux données cumulées de durées d'événements pluvieux et ne correspond en aucun cas au nombre de jours de pluie. Ramené à une année, ce temps cumulé de pluie correspond à une moyenne de 1,2 heures de pluie par jour.

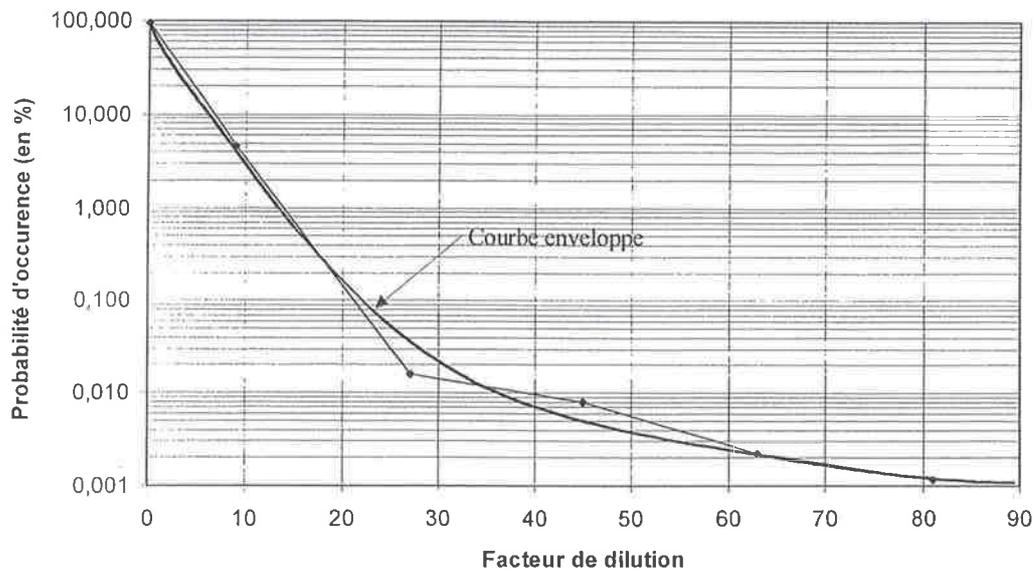
Pour chaque classe d'événement pluvieux, les débits de ruissellement pour les sous-bassins versants A et B alimentant le pied du coteau de Vaucelles ont été calculés à l'aide de la formule rationnelle. Pour chaque classe d'intensité de pluie, les facteurs de dilution correspondants ont été calculés en divisant les valeurs des débits totaux joignant l'Automne (respectivement 180 et 110 l/min pour les campagnes de février et juin 1999) par le débit total provenant des sous-bassins versants A et B.

Les résultats obtenus figurent dans le tableau ci-dessous.

Classes d'intensités de pluie (mm/min)	Durées cumulées des pluies sur un an (min)	Probabilités d'occurrence des pluies (en %)	Débits de ruissellement (l/min) calculés à l'aide de la formule rationnelle (Q = C.i.A)			Facteur de dilution du débit des émergences par les eaux de ruissellement	
			issu du sous-bassin versant A	issu du sous-bassin versant B	Total à l'exutoire (A+B)	pour la valeur des débits mesurée en février 1999	pour la valeur des débits mesurée en juin 1999
0,0	501 204	95,358 %	0	0	0	0	0
[0-0,2]	24 252	4,614 %	1 156	467	1 623	9,0	14,9
[0,2-0,4]	84	0,016 %	3 467	1 401	4 868	27,0	44,8
[0,4-0,6]	42	0,008 %	5 778	2 334	8 112	45,1	74,6
[0,6-0,8]	12	0,002 %	8 089	3 268	11 357	63,1	104,5
[0,8-1,0]	6	0,001 %	10 400	4 202	14 602	81,1	134,3

Probabilités d'occurrence des événements pluvieux et des facteurs de dilution du débit des émergences par les eaux pluviales.

Ces données ont permis de tracer la fonction de répartition des facteurs de dilution :



Densité de probabilité de la dilution des eaux émergentes par les eaux de ruissellement provenant des sous-bassins versants issus de la carrières de Vaucelles (sous-bassins versants A et B).

Cette répartition des facteurs de dilution montre qu'une dilution d'un facteur supérieur à 10 des eaux des émergences par les eaux de ruissellement n'est obtenue que dans 3 % du temps sur une année.

L'ensemble des résultats qui précèdent montre, que si la dilution des eaux émergentes par les eaux de ruissellement est importante, ponctuellement, pendant les épisodes pluvieux, ses effets sont négligeables en raison de sa faible occurrence dans le temps.

L'approche probabiliste des calculs de dilution par les eaux de ruissellement confirme l'hypothèse selon laquelle l'eau des émergences provient essentiellement de la nappe des sables de Cuise et non pas du ruissellement.

5. CARACTERISATION DE LA POLLUTION DES NAPPES DANS LA VALLEE DE L'AUTOMNE

L'objet de la présente partie est de caractériser la pollution des nappes de la tourbe et des alluvions sableuses dans la vallée de l'Automne par les composés organiques halogénés volatils (OHV).

Les deux campagnes de prélèvements des eaux souterraines d'hiver et d'été se sont déroulées le 10/02/99, et le 21/06/99.

Les prélèvements ont été réalisés après une purge de 30 minutes à l'aide d'un préleveur jetable dans les piézomètres PZ1L, PZ1C, PZ2L, PZ2C, F5, F6, F10 et F20.

Il convient de noter que des analyses qualitatives, complémentaires aux analyses spécifiques des OHV, ont été réalisées par spectrométrie de masse (CG/SM) au cours de la seconde campagne de mesures, afin de confirmer l'identification des composés quantifiés.

5.1 RESULTAT DES BALANCES IONIQUES

Des balances ioniques ont été réalisées pour les prélèvements effectués dans les couples de piézomètres (PZ1L, PZ1C) et (PZ2L, PZ2C) afin de comparer les compositions ioniques des nappes de la tourbe et des alluvions sableuses.

Les résultats des analyses ainsi que l'expression des résultats sous forme de graphe radar conduisent aux observations suivantes :

- la composition des eaux est voisine pour le magnésium, le calcium et le carbonate. Les différences sont essentiellement observées pour le sulfate,
- les eaux des couples de piézomètres (PZ1L, PZ1C) et (PZ2L, PZ2C) présentent des sommes de d'anions et de cations voisines s'ils sont pris individuellement,
- les piézomètres longs présentent globalement des concentrations ioniques plus élevées que leurs homologues.

Les balances ioniques ne montrent pas de différences significatives entre les eaux de deux piézomètres issus d'un même couple, ce qui confirme l'alimentation de la nappe de la tourbe par celle des sables.

5.2 RESULTAT DES ANALYSES DE COMPOSES ORGANIQUES

Les résultats des analyses des OHV et la cartographie des résultats figurent en Annexe E.

Les spectres de masse obtenus pour chaque échantillon figurent en annexe F.

Il est à noter que compte-tenu des enseignements issus de la première campagne d'analyses dans les eaux des émergences, le 1,2 cis dichloroéthylène pour les OHV et le tétrahydrofurane (THF) pour les éthers ont été analysés, dans les eaux des piézomètres au cours de la seconde campagne d'analyses.

Ces résultats d'analyses conduisent aux observations suivantes :

- dans l'ensemble l'importante contamination des nappes en OHV, en BTEX (principalement le benzène) et en éthers mise en évidence depuis plusieurs années sur ce site est confirmée.
- d'une manière générale, il y a eu une augmentation des concentrations en été par rapport à la campagne d'hiver, pour l'ensemble des piézomètres étudiés mis à part F6 dont les concentrations sont restées en dessous des seuils de détection.
- de façon très logique, les piézomètres F5 et PZ1 localisés dans l'axe Sud-Nord de la carrière sont les plus pollués,
- le piézomètre F6 semble être localisé à la limite de l'extension vers l'Ouest du panache de pollution de la nappe des alluvions sableuses comme le montrent les faibles valeurs des concentrations pour l'ensemble des substances analysées.
- en revanche, l'extension latérale du panache vers l'Est, notamment pour les OHV, va au delà du piézomètre F10.
- les analyses par spectrométrie de masse ont permis de mettre en évidence la présence de sulfures organiques issus des phénomènes de biodégradation mis en évidence par la présence du chlorure de vinyle.

6. CONCLUSION DE LA PHASE 1

Les résultats de cette phase ont permis d'apporter un certain nombre d'enseignements indispensables à la suite de l'étude, en particulier pour ce qui concerne :

- la cartographie des émergences polluées : les différentes zones de la vallée de l'Automne concernée par la présence d'eaux polluées provenant de la nappe, susceptibles d'être à l'origine de dégagements de composés organiques volatils dans l'atmosphère ont été répertoriées, localisées et définies dans l'espace avec précision.
- La détermination des différents débits hydrauliques dans la vallée : les débits unitaires dans les fossés jouxtant les émergences ont été mesurés, ainsi le débit total rejoignant l'Automne est de l'ordre 180 l/min en hiver, et de l'ordre de 110 l/min en été. A partir de ces mesures, le débit spécifique d'alimentation des émergences par les eaux contaminées de la nappe des sables des alluvions a été estimé à environ 5 litre/jour/m² en juin contre 14 litres/jour/m² en février.

Les calculs de dilution par les eaux de ruissellement ont montré que l'eau des émergences correspond principalement à l'eau provenant de la nappe de Cuise, la dilution par les eaux de pluie, par ruissellements, étant négligeable plus de 95 % du temps.

- Les résultats des mesures piézométriques : la zone potentiellement émergente (surface pour laquelle le niveau piézométrique de la nappe de Cuise est supérieur à la topographique) est à peu près identique en été et en hiver et correspond à 10-12 ha.

L'ensemble des mesures piézométriques (piézomètres existant sur le site et piézomètres mis en œuvre dans la zone d'émergence spécifiquement pour la présente étude) et les déterminations des balances ioniques ont également permis de confirmer que l'on a bien affaire, dans la vallée de l'Automne, à deux nappes d'eaux souterraines distinctes, et clairement identifiées : la nappe des sables des alluvions, et la nappe de la tourbe.

- La caractérisation de la pollution des nappes de la tourbe et des alluvions sableuses : le principal enseignement concerne les variations des concentrations et de compositions observées dans les différents piézomètres.

Phase 2

Analyses des eaux des émergences

PHASE 2 : ANALYSES DES EAUX DES EMERGENCES

1. INTRODUCTION

L'objectif de cette phase est d'identifier et de quantifier les composés organiques volatils présents dans les eaux émergentes, situées dans la vallée de l'Automne et provenant de la nappe phréatique polluée, et de caractériser ainsi le potentiel émissif des différentes zones d'émission de la vallée.

Deux campagnes de prélèvements et d'analyses ont été effectuées à deux saisons différentes : entre le 15 et le 18 février 1999, en hiver, et entre le 15 et le 29 juin 1999, en été.

Chacune des deux campagnes de prélèvements a été réalisée à partir des éléments de connaissance issus de la première phase de l'étude qui a consisté à recenser et localiser précisément les zones d'émergence susceptibles d'être à l'origine des dégagements gazeux de composés organiques volatils dans l'atmosphère, à chaque saison.

Compte tenu de l'étendue de la surface potentiellement concernée par les émergences, du nombre important de zones distinctes d'émission, et de la complexité des analyses à réaliser, nous avons procédé en deux temps pour d'une part faire un choix pertinent des points de prélèvement pour analyse, et d'autre part déterminer la répartition spatiale des pollutions dans la vallée :

1^{ère} étape :

Caractérisation globale des différentes zones d'émergences ou d'écoulement d'eaux susceptibles de présenter des dégagements gazeux dans l'atmosphère par de nombreux prélèvements sur toute la zone considérée et détermination de leur potentiel émissif global à partir de l'analyse rapide de l'indice de COVT.

2^{ème} étape :

Sélection des points les plus émissifs de la vallée et analyses chimiques approfondies des composés organiques volatils dans les eaux correspondantes.

2. METHODOLOGIES

2.1 PRELEVEMENTS D'EAUX SUR LE SITE

Les prélèvements d'eaux dans les émergences ont été effectués en surface, manuellement à l'aide de récipients en verre, en respectant une homogénéité d'échantillonnage dans les cas de surface hétérogène (présence de voile organique à la surface de l'eau).

La première série d'échantillons destinés à la détermination du potentiel émissif global de COVT a été réalisée dans des flacons en polyéthylène de 5 litres. La deuxième série d'échantillons prélevés en vue des analyses chimiques a été effectuée dans des flacons en verre de 1 litre. Les prélèvements ont été conservés en chambre froide ($< 4^{\circ}\text{C}$) avant analyses.

Des fiches signalétiques de prélèvement et d'observation ont été renseignées pour chaque opération, avec en particulier des informations concernant l'aspect des eaux émergentes, les principales conditions météorologiques, et les odeurs ressenties sur le site (un exemple de ces fiches est fourni en Annexe G)

2.2 CARACTERISATION DU POTENTIEL EMISSIF GLOBAL DES EAUX

Afin de caractériser et de quantifier le potentiel émissif global de composés organiques volatils totaux (COVT), des essais en laboratoire ont été réalisés, dans des conditions opératoires connues et reproductibles, selon le protocole décrit ci-après :

- introduction de l'échantillon d'eaux (5 l) à étudier dans un pilote d'une capacité de 10 litres ;
- entraînement par effet de stripping des composés volatils par un courant d'air comprimé traversant l'échantillon à un débit régulé de 2,5 l/min à température ambiante ($20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$) ;
- analyse directe dans l'air de stripping de l'indice global de COVT en continu pendant toute la durée de l'essai.

Cette analyse, dont le principe fait l'objet de la norme NF X 43-301, est réalisée à l'aide d'un analyseur équipé d'un détecteur à ionisation de flamme (FID) qui ne donne pas d'indication sur la nature des COV présents dans l'effluent, mais permet d'apprécier la charge totale de l'effluent en COVT et ses variations dans le temps. Cette méthode conduit à la détermination d'un indice de composés organiques que l'on exprime en ppm "équivalent méthane". L'appareil, équipé d'un système catalytique, permet de distinguer le méthane des composés organiques non méthaniques. Dans le cas présent, ceci a permis de différencier les dégagements provenant directement des pollutions de la nappe des émissions liées à une activité biologique classique, caractéristiques des zones de type marécageux.

Ces essais de stripping ont été réalisés entre 24 et 48 heures après les prélèvements sur le site.

2.3 ANALYSES CHIMIQUES DES EAUX

A la suite de la première phase de caractérisation du potentiel émissif global des émergences, les eaux les plus polluées ont fait l'objet d'analyses approfondies :

◆ ANALYSES SPECIFIQUES PAR FAMILLES CHIMIQUES

• Composés halogénés (OHV), aromatiques, polaires

Chaque échantillon a été analysé comme suit :

- extraction des COV par “ head-space ” (espace de tête statique à 80°C),
- injection d'un volume gazeux en tête de colonne chromatographique,
- double détection en sortie de séparation chromatographique :
 - * détecteur ECD (capture d'électron) pour les composés halogénés,
 - * détecteur FID pour les autres composés organiques.

• Phénols et crésols

L'analyse des phénols et des crésols a été réalisée après extraction par chromatographie liquide (HPLC) et détection fluorimétrique.

• Aldéhydes et cétones

Les aldéhydes et les cétones ont été dosés directement dans les eaux comme suit :

- dérivatisation à la dinitrophénylhydrazine (DNPH) en milieu acétonitrile,
- analyse par chromatographie liquide (HPLC) et détection U.V.

• Chlorophénols

Les chlorophénols ont été dosés comme suit :

- extraction liquide/liquide à l'hexane,
- dérivatisation à l'anhydride acétique en milieu tampon,
- analyse par chromatographie gazeuse et détection ECD.

◆ ANALYSES COMPLEMENTAIRES D'IDENTIFICATION DES COV

Des analyses complémentaires d'identification des COV par chromatographie en phase gazeuse et spectrométrie de masse (CG/SM) ont été effectuées afin de mettre en évidence les principaux composés organiques présents dans les eaux.

Deux techniques d'extraction ont été mises en œuvre successivement sur chaque échantillon :

extraction des composés volatils par stripping à l'hélium à 60°C, qui correspond à l'analyse des composés organiques volatils susceptibles de se dégager dans des conditions ambiantes de pression et de température,

extraction liquide/liquide au dichlorométhane, qui conduit à une analyse plus complète des composés organiques présents dans les eaux.

3. RESULTATS

3.1 ETAPE 1 : CARACTERISATION DU POTENTIEL EMISSIF DES EMERGENCES

Dans la mesure où cette étape d'analyse doit permettre d'orienter l'étude des émissions d'odeurs et de COVT dans l'atmosphère (Phase 3), elle doit être le plus exhaustive possible, et prendre en compte, non seulement les émergences proprement dites, mais aussi des surfaces immergées susceptibles de représenter des sources potentielles d'émissions de COVT : les zones d'écoulement des eaux (fossés et ruisseaux), recensées et localisées avec précision au cours de l'été 99, et la zone du drain.

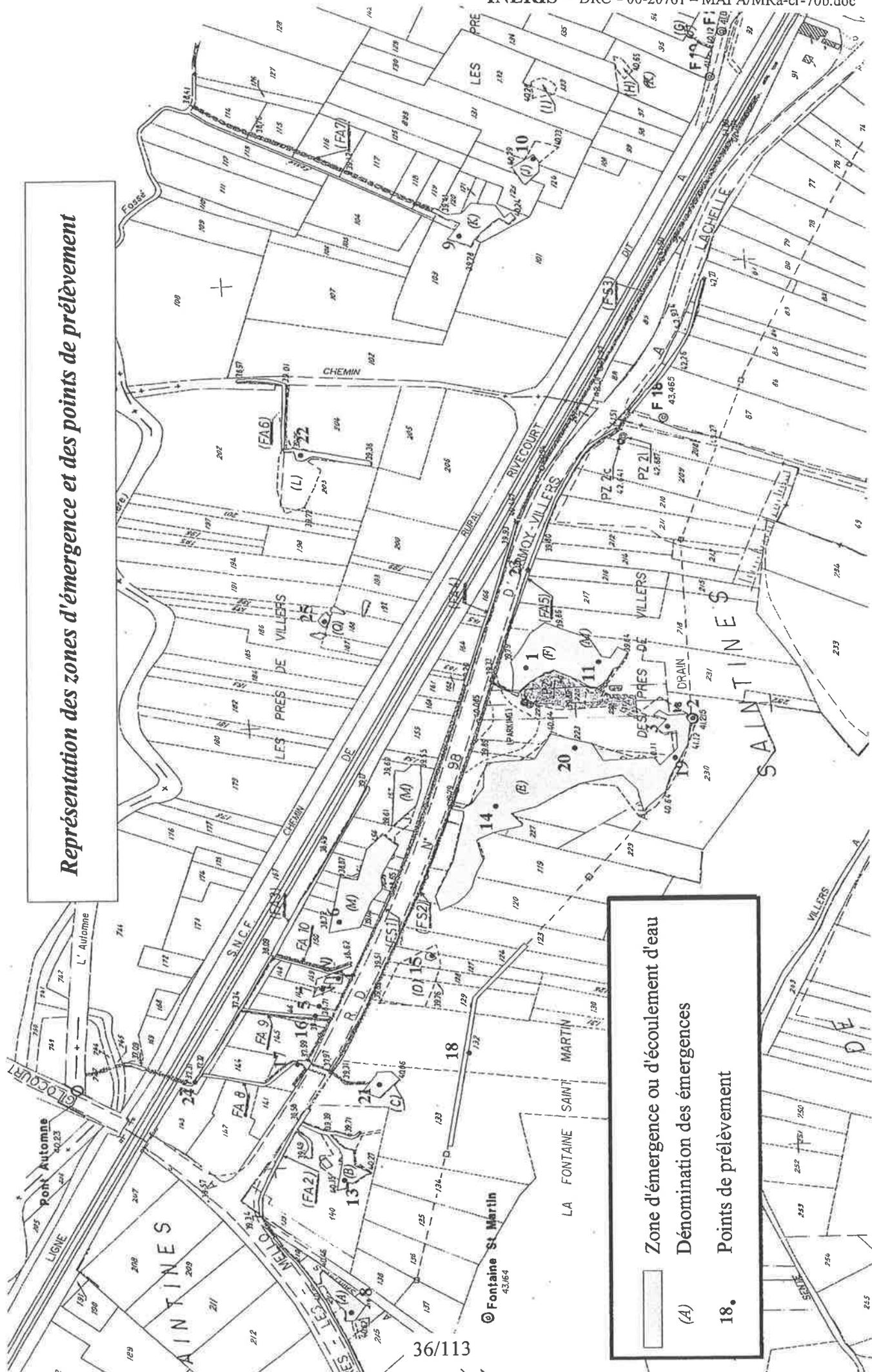
Au total 25 points de prélèvement ont été étudiés au cours des deux campagnes de mesures. 20 points ont été retenus pour la première campagne, et ont donc été conservés pour la seconde afin de confirmer les premiers résultats, et d'appréhender les variabilités dans le temps (excepté le point 12 qui n'a pas été confirmé comme une zone d'émergence). Cinq points supplémentaires ont été intégrés, afin de confirmer les observations sur certaines zones ou d'étudier des zones passées inaperçues lors de la première étape de recensement :

- les émergences (L) et (C) qui n'avaient pas fait l'objet d'investigations lors de la campagne d'hiver,
- l'émergence (O) qui n'avait pas été recensée lors de la campagne d'hiver,
- le fossé d'écoulement des eaux vers l'automne, qui se prolonge de l'autre côté de la voie ferrée,
- le fossé d'écoulement des eaux le long de la route CD 98.

On trouvera, ci-après,

- une représentation cartographique de la zone concernée par les émergences, et de tous les points de prélèvements définis après l'étape de recensement et de localisation des sources potentielles de COVT,
- un tableau récapitulatif des résultats obtenus,
- une présentation synthétique des potentiels émissifs obtenus sur les différents points de mesure, lors de chaque campagne.

Représentation des zones d'émergence et des points de prélèvement



Zone d'émergence ou d'écoulement d'eau
 (A) Dénomination des émergences
 18. Points de prélèvement

© Fontaine St Martin
43.664

Référence prélèvement	Aspect eaux	Odeur	COVT* ppm éq.CH ₄		COVT non méthaniques ppm éq.CH ₄		Observations
			Fév.99	Juin 99	Fév.99	Juin 99	
1	gris/vert dépôts noirs	très forte	1790	1435	715	600	émergence (F)
2	noir	très forte	355	275	280	231	eau sortant du puits
3	eau claire	sans	50	51	46	16	zone d'écoulement du puits (F)
4	Rouge orangé	forte	135	280	121	250	émergence (N)
5	trouble	moyenne	400	535	380	490	zone immergée entre fossé et émergence (M)
6	Gris/noir	forte	180	1200	180	120	émergence (M)
7	Vert/marron	moyenne	365	635	346	575	émergence (N)
8	Vert/marron	faible	55	4	3	4	émergence (A) + écoulement canalisé
9	noir	forte	65	435	64	25	émergence (K)
10	jaune	moyenne	195	290	50	15	émergence (J) (I) étant sec
11	eau claire	faible	980	575	49	28	trou d'eau dans émergence (F)
12	non prélevé	non prélevé	15	non prélevé	3	non prélevé	Zone non confirmée comme émergence
13	brun/noir	faible	40	4	8	4	émergence (B)
14	noir	moyenne	190	595	55	95	émergence (E)
15	jaune	moyenne	7	63	7	12	émergence (D)
16	rouille	forte	130	247	118	237	fossé d'écoulement vers la voie SNCF
17	jaune	faible	50	56	40	37	fossé d'écoulement vers la voie SNCF
18	brun foncé	moyenne	70	235	62	180	zone d'émergence du drain
19	rouille	moyenne	160	70	80	28	zone d'émergence du drain
20	noir	forte	815	1093	326	220	émergence (E)

* : Concentrations maximales atteintes durant l'essai

Tableau récapitulatif du potentiel émissif des émergences

Référence prélèvement	Aspect eaux	Odeur	COVT* ppm éq.CH ₄	COVT non méthaniques ppm éq.CH ₄	Observations
21	vert	faible	26	8	émergence (C)
22	vert	forte	1095	145	émergence (L)
23	noir/vert	moyenne	285	14	fossé d'écoulement le long de la RD 98
24	eau claire	sans	13	11	fossé d'écoulement vers l'Automne, au niveau de la voie SNCF
25	noir	forte	895	205	émergence (O)

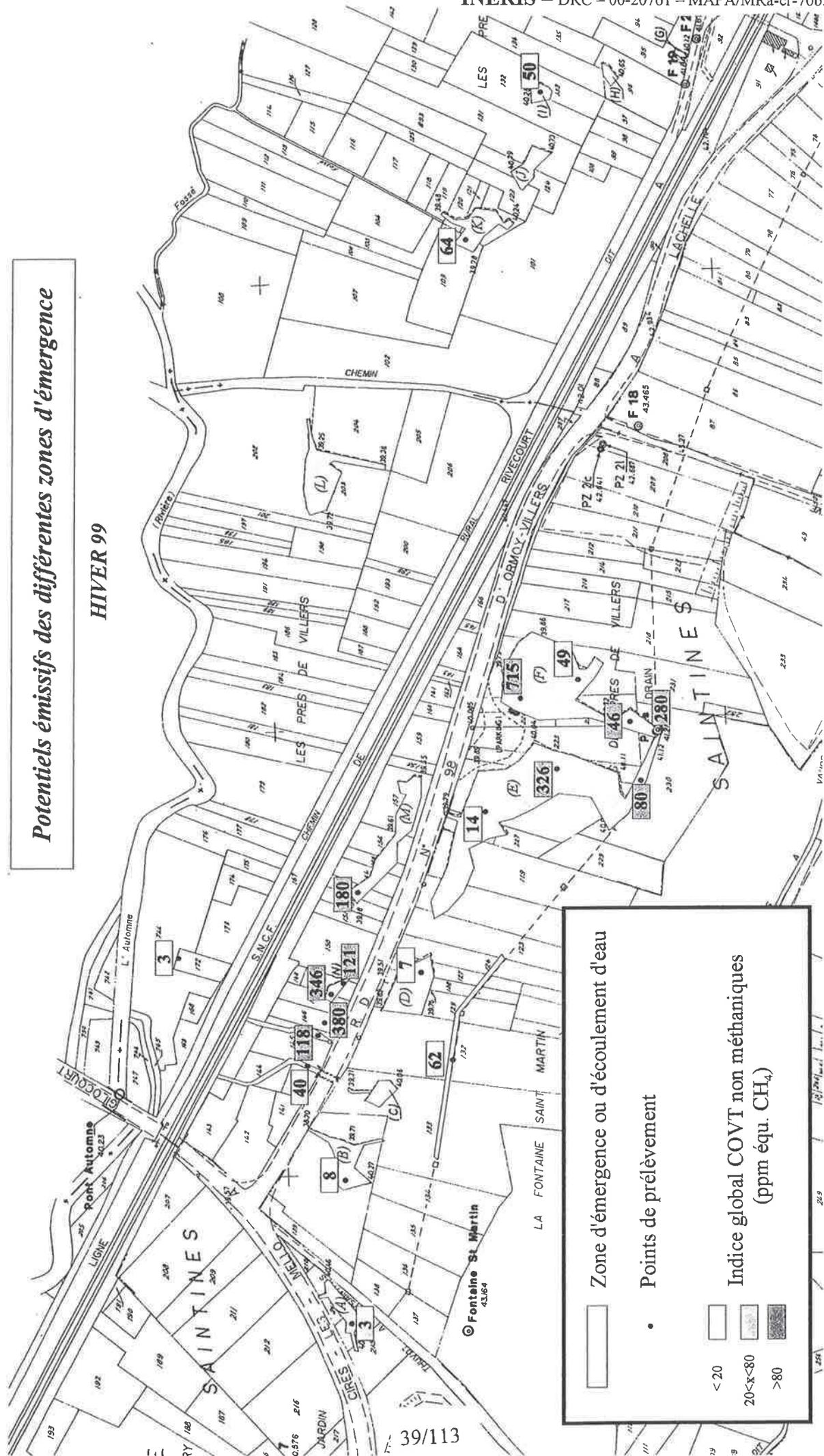
* : Concentrations maximales atteintes durant l'essai

Tableau récapitulatif du potentiel émissif des émergences

Points de prélèvements supplémentaires par rapport à la campagne de mesures d'hiver

Potentiels émissifs des différentes zones d'émergence

HIVER 99



Zone d'émergence ou d'écoulement d'eau
 Points de prélèvement
 < 20
 20 < X < 80
 > 80

Indice global COVT non méthaniques (ppm équ. CH₄)

3.2 ETAPE 2 : ANALYSES CHIMIQUES DES EMERGENCES

A partir des informations recueillies lors de l'étape précédente, de caractérisation globale du potentiel émissif des différentes zones d'émergence de la vallée, dans un premier temps, **six** points de prélèvements ont été retenus en vue des analyses chimiques des eaux pour la première campagne d'analyses en hiver. A la suite des premiers résultats, qui mettaient en évidence une grande hétérogénéité spatiale de la pollution des eaux émergentes dans la vallée, il nous a semblé utile d'étudier **deux** zones supplémentaires au cours de la seconde étape d'analyses, en été.

Le choix des 8 points a été réalisé en fonction des principaux critères suivants :

- potentiels émissifs les plus élevés,
- surface d'émission significative,
- niveau d'odeur important,
- répartition dans l'espace des zones considérées.

Les points retenus sont les suivants :

Point n° 1

Zone d'émergence (F) la plus proche des zones de circulation (route CD 98 et parking) présentant le plus fort potentiel émissif et le plus fort niveau d'odeurs.

Point n° 2

Eaux polluées s'écoulant en permanence du puits. Ce point de prélèvement ne correspond pas à une zone d'émission proprement dite, mais représente une source ponctuelle de pollution importante (odeur et COVT) ainsi qu'un point d'alimentation des zones d'émergences en aval.

Point n° 7

Emergence (N) située entre la route CD 98 et la voie ferrée, présentant un fort potentiel émissif et un niveau d'odeurs moyen, et étant représentative des émergences (N) et (M).

Point n° 9

Emergence (K) présentant un niveau d'odeur moyen, et un potentiel émissif relativement faible, mais étant représentatif de l'ensemble de la zone d'émergence la plus extrême du site, et la plus proche des habitations. Cette zone n'avait pas fait l'objet d'investigations lors de la précédente campagne.

Point n° 16

Fossé d'écoulement des eaux captées, entre la route CD 98 et la voie ferrée, à forts niveau d'odeur et potentiel émissif.

Point n° 18 et point 19

Zone d'émergence du drain. Le point de prélèvement sur le drain a été légèrement modifié entre les deux campagnes (point 19 en février et point 18 en juin), d'une part pour tenir compte des variations des potentiels émissifs, et d'autre part pour s'éloigner des zones des émergences (E) et (F) étudiées par ailleurs.

Point n° 20

Zone importante d'émergence (E) située sur la pente entre le drain et la route CD 98, à niveau d'odeurs moyen et fort potentiel émissif.

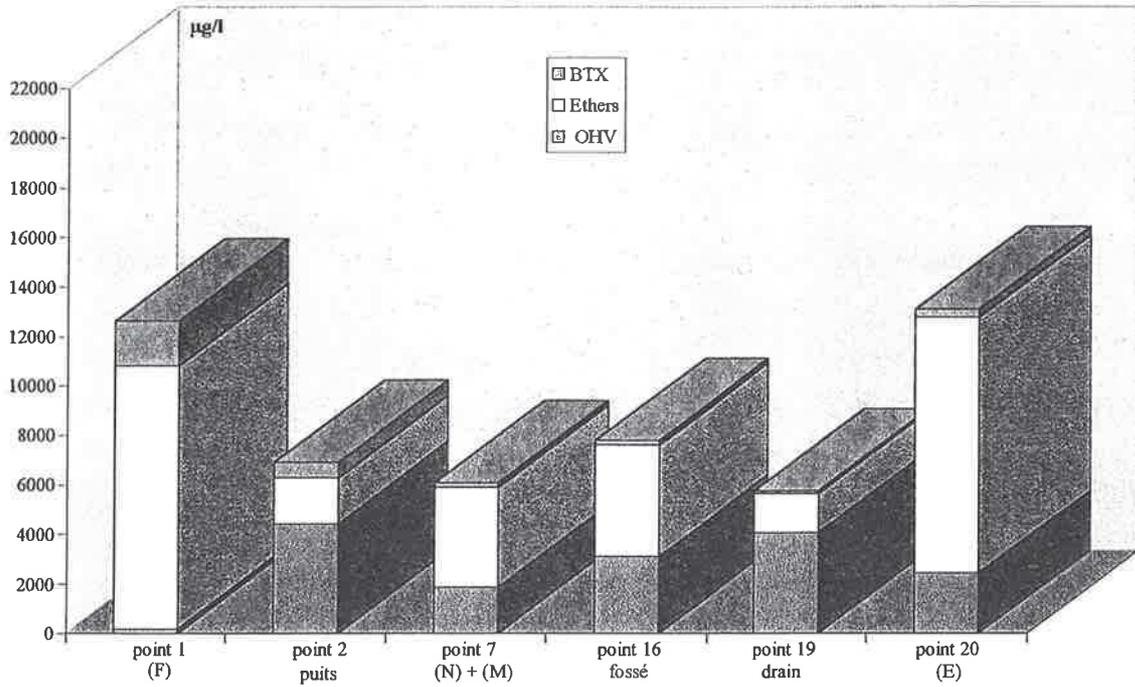
Point n° 25

Emergence (O) à forts niveau d'odeur et potentiel émissif, étant passée inaperçue lors de la campagne d'hiver. Ce point est également représentatif de la zone d'émergence (L), située à proximité. Ces deux derniers points n'ont pas fait l'objet d'investigations en février.

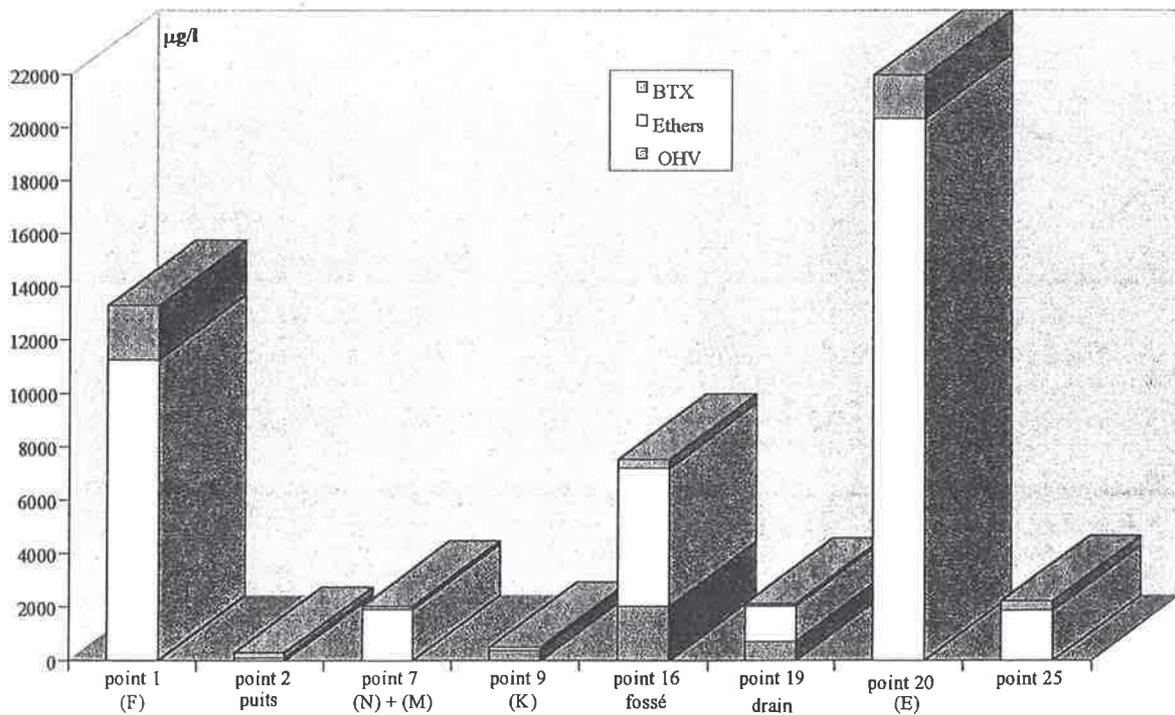
On trouvera, ci-après, des représentations graphiques, sous forme d'histogrammes, par fonctions chimiques, des résultats d'analyses obtenus à chaque saison.

Les résultats détaillés sont présentés en Annexe H sous forme de tableaux, par famille chimique. On trouvera en Annexe I et J la totalité des spectres de masse obtenus, d'une part après une extraction par stripping (transfert air/air) (Annexe I), et d'autre part après extraction au dichlorométhane (transfert air/solvant) (Annexe J).

Il convient de noter que les spectres obtenus après extraction au dichlorométhane font apparaître de très nombreux composés organiques dont une grande majorité n'est pas volatile aux températures ambiantes. Ces dernières analyses fournissent des informations sur le niveau de pollution des eaux émergentes et sur les familles de composés concernées plus que sur les dégagements gazeux dans l'atmosphère.



Synthèse des analyses quantitatives des composés organiques dans les émergences au cours de la campagne de mesures d'hiver



Synthèse des analyses quantitatives des composés organiques dans les émergences au cours de la campagne de mesures d'été

4. CONCLUSIONS DE LA PHASE 2

4.1 ETAPE 1 : CARACTERISATION DU POTENTIEL EMISSIF DES EMERGENCES

La caractérisation du potentiel émissif des eaux émergentes dans la vallée, sous la forme d'un indice global de COVT s'est avéré un outil très précieux pour visualiser les différentes zones de pollutions et identifier les points les plus critiques en termes d'émissions de composés volatils.

La principale conclusion concerne la grande hétérogénéité spatiale de la pollution des eaux émergentes dans la vallée : la zone la plus polluée paraît relativement délimitée au centre, alors que les émergences situées aux extrémités Est et Ouest de la zone présentent des potentiels d'émission bien moindre.

La seconde étape de caractérisation du potentiel émissif des eaux émergentes dans la vallée, sous la forme d'un indice global de COVT, correspondant à des conditions estivales de température et de pluviométrie, fait apparaître des niveaux d'émissions globales du même ordre de grandeur que lors de la campagne d'hiver.

On peut distinguer les différentes zones suivantes :

- Une zone importante entre la route CD 98 et le drain, qui remonte de chaque côté de l'aire de parking et qui compte, en hiver, les deux émergences les plus étendues : (E) et (F). Cette zone est très odorante à proximité, et présente des potentiels d'émission de COVT parmi les plus élevés, les valeurs ayant peu varié entre les deux campagnes.
- Une zone située entre la route CD 98 et la voie ferrée qui représente une source potentielle de polluants dans l'atmosphère importante, liée d'une part aux émergences (M) et (N), et d'autre part aux fossés d'écoulement des eaux canalisées entre la route et l'Automne. Les points complémentaires étudiés le long du principal fossé d'écoulement jusqu'à l'Automne confirment que le fossé est susceptible de représenter des dégagements de COVT sur l'ensemble de sa longueur, avec des tronçons plus ou moins émissifs.
- La partie ouest de la zone d'étude, entre la route CD 98 et le drain, vers la fontaine Saint-Martin qui comprend trois émergences, (B), (C), (D), de surfaces plus faibles, et très peu émissives. Le point complémentaire étudié sur l'émergence (C) confirme les faibles émissions de cette zone.
- Une zone d'émergence située au niveau des "prés de Villers", entre la voie ferrée et l'Automne, (L) et (O). Cette zone était apparue lors de la première campagne comme une zone négligeable. Les investigations réalisées en été ne confirment pas cette observation et mettent en évidence des potentiels émissifs significatifs, qui méritent que cette zone soit prise en compte dans la suite de l'étude.
- Une zone plus réduite, proche du hameau de Vaucelles, comprend plusieurs petites émergences faiblement émissives : (G), (H), (I), (J), (K).
- La zone du drain le long de la vallée, qui représente des eaux très odorantes et un potentiel émissif significatif.
- Le fossé de drainage des eaux situé le long de la route CD 98 entre le chemin privé de la carrière et le parking, qui ne présente pas de potentiel émissif significatif.

4.2 ETAPE 2 : ANALYSES CHIMIQUES DES EMERGENCES

Parmi les huit échantillons d'eaux analysés, quatre correspondent aux zones d'émergences les plus chargées ((E), (F), (N)), (O), un correspond à la zone des émergences les plus excentrées et les plus proches des habitations, un correspond au fossé d'écoulement des eaux le plus pollué, situé entre la CD 98 et l'Automne, un à la zone du drain, et un à l'eau s'écoulant du puits.

L'ensemble des analyses effectuées montre que globalement les eaux sont très chargées en COV, avec comme principaux polluants mis en évidence :

- les éthers,
- le benzène, et dans une moindre mesure, le toluène,
- le monochlorure de vinyle (MVC),
- les solvants chlorés, dont principalement le 1.1.dichloroéthylène.

Les éthers mis en évidence sont le diéthyléther, le diisopropyléther, et le tetrahydrofuranne.

Parmi les autres analyses spécifiques effectuées, il convient de retenir la présence de chlorophénols, uniquement sur certains points, les faibles niveaux de concentrations en phénol (excepté sur les points 2 et 20), et l'absence, à des niveaux significatifs, d'aldéhydes et de cétones (excepté la méthylisobutylcétone sur les points 1 et 2).

Les analyses d'identification par CG/SM ont permis de mettre en évidence la présence de sulfures organiques complexes dans les échantillons 1 et 2 (émergence (F) et eau provenant du puits), sulfures organiques très odorants et caractéristiques de l'odeur ressentie près du parking.

Si on compare de façon plus détaillée les résultats des deux campagnes de mesures, les différents éléments suivants peuvent être retenus :

- Les prélèvements d'eaux effectués en été présentent des concentrations en composés chlorés globalement plus faibles, avec des proportions de MVC moindres qu'en hiver.
- Les éthers sont du même ordre de grandeur, excepté sur l'émergence (E) (point 20) qui s'est révélée deux fois plus chargée, au cours de l'été.
- Le benzène est également présent en plus fortes concentrations dans les eaux des émergences les plus chargées (E) et (F) en été.

Si on reprend les résultats obtenus sur chaque point de prélèvement, on retiendra les conclusions suivantes :

- L'eau s'écoulant du puits (point 2) est beaucoup moins chargée en juin qu'en février où elle représentait l'échantillon globalement le plus pollué, ce qui montre une forte variabilité dans le temps des caractéristiques des eaux de la nappe phréatique. Cette eau contient, en particulier : des solvants chlorés (dichloroéthylène et dichloroéthane largement majoritaires) à des niveaux de concentrations de plusieurs mg/l, des éthers, du benzène et du toluène, du phénol, des chlorophénols et des sulfures organiques.

Il convient de rappeler que ce point ne correspond pas à une surface d'émission, mais représente une source d'alimentation des zones d'émergence en aval.

- La zone d'émergence (F) située au plus près du parking (point 1) est relativement peu chargée en OHV comparativement aux autres échantillons (mais avec une forte proportion de MVC, surtout en février), mais représente par contre des niveaux très élevés d'éthers et de benzène (plusieurs mg/l). Cette zone est caractérisée sur le plan olfactif par la présence de sulfures organiques.
- La zone des émergences (M) et (N) située entre la route CD 98 et la voie ferrée (point 7) était chargée en composés chlorés, en février, avec de fortes concentrations en MVC et en éthers.
- Le fossé d'écoulement des eaux entre la route CD 98 et l'automne (point 16) est très chargé en composés chlorés et en éthers, et s'est révélé, lors de cette deuxième campagne plus chargé que les émergences (M) et (N).
- Les eaux émergentes au niveau du drain sont de composition relativement proche le long du drain (points 18 et 19) avec des proportions de MVC plus importantes.
- La zone d'émergence (E), (point 20), est très chargée en COV et représente des teneurs très importantes en éthers (≈ 17 mg/l) et en composés chlorés, en particulier en MVC.
- Les eaux de la zone des émergences (O) et (L) située au niveau des prés de Villers (point 25) ne contiennent que des traces de composés chlorés, mais représentent des concentrations non négligeables d'éthers et de benzène.
- Les résultats obtenus sur le point 9 confirment que la zone des émergences (G), (H), (I), (J), (K) est très peu chargée.

Phase 3

Etude des sources de COV et d'odeurs dans l'air

PHASE 3 : ETUDE DES SOURCES DE COV ET D'ODEURS DANS L'AIR

1. INTRODUCTION

L'objectif de cette phase d'étude est d'une part de quantifier les odeurs dégagées par les émergences et ressenties par les populations, et d'autre part d'identifier et de quantifier les composés organiques présents dans ces dégagements (COV). Cette caractérisation physico-chimique permettra de repérer les molécules responsables des odeurs et, dans un dernier temps, de réaliser l'analyse des risques pour la santé liés à l'exposition des populations aux COV (Phase 5 du programme).

La phase 3 du présent rapport présente l'ensemble des mesures à la source : analyses physico-chimiques et analyses olfactométriques. Elle comprend deux étapes réparties dans le temps correspondant à deux saisons différentes.

2. METHODOLOGIES

Compte tenu de la configuration du site et de la diversité des phénomènes d'échanges et de transfert eaux/atmosphère à l'origine des dégagements odorants, dans l'espace et dans le temps (variations des températures en particulier), nous avons adopté une approche qui consiste à prélever des échantillons d'eaux au niveau des différentes sources d'odeurs et à étudier les dégagements gazeux des eaux, en laboratoire, dans des conditions opératoires reproductibles, en mettant en œuvre des caissons de simulation développés spécifiquement à cet effet.

Cette méthodologie, qui conduit à déterminer des flux d'émissions gazeuses dans l'environnement par unité de surface émergente et par unité de temps, permet de s'affranchir des conditions météorologiques susceptibles d'influer sur l'importance des dégagements au moment des prélèvements, de se placer dans des conditions définies (à savoir représentatives de températures moyennes d'environ 20°C), et de comparer les différentes sources entre elles de façon rigoureuse.

Les prélèvements et analyses des dégagements odorants ont été réalisés dans l'air de balayage à la sortie du caisson de simulation, en vue d'une part des analyses olfactométriques, effectuées par l'IPSN¹, et d'autre part des analyses physico-chimiques, effectuées par l'INERIS.

2.1 CARACTERISATION DES EMISSIONS

Lors de chaque campagne de mesures, des échantillons liquides ont été recueillis sur le site, aux différents points à étudier, (environ 10 litres), transportés dans les laboratoires de l'INERIS puis introduits dans un caisson de simulation pour analyse des dégagements gazeux.

¹ IPSN : Institut de Protection et de Sécurité Nucléaire, au Laboratoire d'Etude des transferts de Contamination, Epuration et Ventilation du Service d'Etudes et de Recherches en Aérocontamination et en Confinement (SERAC/LECEV),

Chaque échantillon prélevé a été étudié dans la journée, à raison de deux essais par jour, selon le protocole ci-après :

- introduction de l'échantillon liquide dans le caisson : 10 litres,
- fermeture hermétique du caisson,
- balayage du volume interne du caisson par de l'air pur à un débit de 0,72 m³/h,
- prélèvement d'air odorant, à la sortie du caisson, sur lequel on réalise les analyses décrites ci-après.

On trouvera en annexe K un schéma de principe du dispositif mis en œuvre.

Les concentrations mesurées en odeurs ou en polluants, associées à la valeur du débit d'air de balayage, permettent de déduire le flux de polluants émis par unité de surface émettrice.

2.2 METHODOLOGIE D'ANALYSES OLFACTOMETRIQUES (IPSN/SERAC/LECEV)

Compte tenu du caractère tout à fait spécifique des analyses olfactométriques, nous trouverons, ci-après un certain nombre de définitions permettant de se familiariser avec les différents termes utilisés.

Définitions

- **Mélange odorant**

Un mélange odorant est un mélange gazeux pouvant être prélevé à la source, avant toute dilution dans l'atmosphère extérieure (au niveau de la surface émettrice dans le cas présent). Les échantillons prélevés sont conservés dans des conditions telles que leurs compositions n'évoluent pas jusqu'à leur analyse par olfactométrie, effectuée dans les 24 ou 30 heures qui suivent les prélèvements.

- **Seuil de perception du mélange odorant**

Par convention, c'est la concentration des molécules odorantes dans l'air dont la probabilité de perception est de 50 % (par définition, la concentration d'odeur au seuil de perception vaut 1).

- **Facteur de dilution au seuil de perception d'un mélange odorant**

L'analyse d'un mélange odorant par olfactométrie à l'aide d'un jury d'experts consiste à déterminer le seuil de perception défini ci-dessus, par présentations successives, à chacun des membres du jury, de l'échantillon prélevé ayant subi des dilutions plus ou moins importantes (une telle analyse est effectuée à l'aide d'un olfactomètre, le plus souvent au laboratoire).

Pour une dilution donnée du mélange odorant, le facteur de dilution est défini à partir de la dilution du débit Q_2 de mélange odorant, provenant de l'échantillon prélevé, par le débit Q_1 de gaz inodore. Ainsi, le facteur de dilution K , sans dimension, est déterminé de la façon suivante :

$$K = \frac{Q_1 + Q_2}{Q_2}$$

Q_1 et Q_2 étant exprimés en unités de débit volumique (en m³.h⁻¹).

Le “ **facteur de dilution au seuil de perception** ”, noté K_{50} , est défini comme étant le facteur de dilution qu’il faut appliquer à un effluent pour qu’il ne soit plus ressenti comme odorant par 50% des personnes constituant un échantillon de population, et correspond à la dilution qui permet de ramener la concentration du mélange odorant au seuil de perception précédemment défini, pour 50% des experts.

- **Concentration d’odeur**

La concentration d’odeur d’un mélange gazeux est définie directement par la valeur du facteur de dilution au seuil de perception (K_{50}). Elle est donnée sans dimension.

- **Débit d’odeur de la source odorante**

Comme dans le cas des rejets chimiques, une source d’odeur est caractérisée, non seulement par la concentration d’odeur de ses effluents, mais aussi par la quantité d’odeur émise à chaque instant, appelée “ débit d’odeur ”. Pour une source odorante donnée, ce débit d’odeur est défini comme étant le produit de la concentration d’odeur du mélange gazeux par le débit d’air rejeté à la source. Il est donc exprimé en m^3/h si la concentration d’odeur est donnée sans dimension et le débit d’air en m^3/h .

- **Débit d’émission spécifique**

C’est le débit d’odeur émis par unité de surface d’une source odorante surfacique ; il est exprimé en $m^3/h/m^2$.

Remarque : les considérations précédentes, et en particulier les unités utilisées, correspondent à la présentation utilisée dans l’arrêté du 02 février 1998², qui concerne les installations classées. Dans une norme européenne en cours de préparation on introduit une unité spécifique : **l’unité d’odeur** (symbolisée en France par “uo” et en Europe par “ou_E”) qui est par définition la quantité d’un produit donné qui, diluée dans 1 m^3 d’air, conduit au seuil de perception du mélange ainsi constitué. L’unité d’odeur est donc homogène à un nombre de molécules, un nombre de moles ou une masse de produit odorant. Dans ce cas, la concentration d’odeur s’exprime en uo/m^3 , et le débit d’odeur en uo/h .

Principe de la mesure du facteur de dilution au seuil de perception

Les échantillons gazeux à analyser ont été prélevés par l’IPSN dans l’air de balayage du caisson de simulation, en parallèle aux prélèvements en vue des analyses physico-chimiques, et introduits dans des sacs en Tedlar (matériau inerte chimiquement). Les sacs de prélèvements gazeux ont été transportés au laboratoire d’olfactométrie de l’IPSN (SERAC/LECEV), à Saclay, pour analyse dans un délai inférieur à 24 heures.

Le principe de l’analyse proprement dite est décrit dans la norme AFNOR NF X 43-101 (Méthode de mesurage de l’odeur d’un effluent gazeux). Les experts doivent indiquer, par un choix forcé, dans lequel des trois masques d’un olfactomètre ils perçoivent l’odeur pour des dilutions variées, présentées dans un ordre aléatoire.

² Arrêté relatif aux « prélèvements et à la consommation d’eau, ainsi qu’aux rejets de toute nature des installations classées pour la protection de l’environnement soumises à autorisation »

Les réponses des experts font l'objet d'un traitement statistique, conformément à la norme AFNOR NF X 43-101, et permettent de déterminer la valeur du facteur de dilution au seuil de perception (ou concentration de l'odeur), assortie de la valeur de l'écart-type correspondant.

2.3 ANALYSE PHYSICO-CHIMIQUE DES COMPOSES ODORANTS ET DES COMPOSES ORGANIQUES VOLATILS

Pour chaque émergence étudiée, on a réalisé des prélèvements gazeux dans l'air de balayage du caisson, en vue des différents prélèvements et analyses décrits ci-dessous :

- **Dosage des composés soufrés réduits**

La détermination des différents produits soufrés réduits a été réalisée directement dans l'air de balayage, par chromatographie en phase gazeuse et détection par photométrie de flamme. L'appareil séquentiel TRACOR 270 HA, équipé d'un système d'échantillonnage en continu, permet une analyse directe et spécifique des composés soufrés réduits les plus volatils, et les plus odorants : hydrogène sulfuré (H_2S), méthylmercaptan (CH_3SH), éthylmercaptan (C_2H_5SH), diméthylsulfure (DMS), à des teneurs supérieures à 5 ppb.

- **Analyse des COVT**

La mesure de l'indice de composés organiques volatils totaux (COVT) est réalisée directement sur le site ou en laboratoire à l'aide d'un appareil doté d'un détecteur à ionisation de flamme (Cf. norme NF X 43-301). L'appareil ne donne pas d'indication sur la nature des COV présents dans l'effluent, mais permet d'apprécier la charge totale de l'effluent en COV et ses variations dans le temps.

- **Dosage en différé des COHV, des BTX, des aldéhydes, des alcools et des nitriles**

Les principales familles de composés organiques volatils susceptibles d'être présentes sur le site ont été analysées, de façon spécifique, par piégeages des polluants dans l'air de balayage, puis analyse ultérieure en laboratoire selon le protocole ci-après :

1. aspiration d'un volume connu d'air à analyser,
2. passage de l'air dans des modules de piégeage placés en parallèle pour l'absorption ou l'adsorption des différents composés :
 - ⇒ sur des cartouches de support d'adsorption (charbon actif) pour les composés halogénés (OHV),
 - ⇒ sur des cartouches de support d'adsorption ("carbotrap" et charbon actif) pour les autres composés organiques volatils (polaires et aromatiques),
 - ⇒ sur des cartouches de support d'adsorption (gel de silice) pour les alcools et les nitriles,
 - ⇒ en solution de DNPH en milieu acétonitrile pour le piégeage des aldéhydes et des cétones,
 - ⇒ en solution aqueuse pour les composés phénoliques.

3. analyse en laboratoire des différentes espèces piégées :

- ⇒ OHV : par chromatographie en phase gazeuse et détection spécifique par capture d'électron (ECD) après extraction des tubes de charbon actif au méthanol,
- ⇒ autres composés organiques (aromatiques -BTX- et aliphatiques) : par chromatographie en phase gazeuse et détection par ionisation de flamme (FID) après extraction des tubes de charbon actif au méthanol, et extraction thermique des carbotrap,
- ⇒ aldéhydes et cétones : par chromatographie liquide et détection UV,
- ⇒ alcools et nitriles : par chromatographie en phase gazeuse et détection par ionisation de flamme (FID) après extraction à l'acétone,
- ⇒ phénol et crésols : par chromatographie liquide (HPLC) et détection fluorimétrique,
- ⇒ chlorophénols : par chromatographie gazeuse et détection ECD après extraction liquide/liquide à l'hexane, et dérivatisation à l'anhydride acétique.

• **Analyse complémentaire d'identification des COV :**

Des analyses qualitatives et quantitatives des effluents ont été réalisées parallèlement, afin de confirmer l'identification des composés dosés comme ci-dessus, et de mettre en évidence la présence éventuelle de produits organiques autres que ceux recherchés de manière spécifique, selon le protocole ci-après :

1. prélèvement d'un volume connu des gaz à analyser à un faible débit,
2. piégeage des produits à analyser dans une cartouche garnie d'un support adsorbant (carbotrap),
3. récupération en laboratoire des produits à 150 °C puis transfert direct des produits désorbés en tête de colonne chromatographique et identification par spectrométrie de masse (CG/SM),
4. analyse quantitative des principaux composés mis en évidence par CG/SM, par chromatographie et détection FID ou ECD.

3. RESULTATS

Les zones d'émergences étudiées au cours des deux campagnes d'essais, correspondent aux points retenus au cours de la phase 2 comme étant les plus émissifs, à savoir :

- Point n° 1 :** Zone d'émergence (F) la plus proche des zones de circulation (route CD 98 et parking),
- Point n° 7 :** Emergences (N) et (M) située entre la route CD 98 et la voie ferrée,
- Point n° 9 :** Emergence (K), représentative de l'ensemble de la zone d'émergence la plus extrême du site, et la plus proche des habitations
- Point n° 16 :** Fossé d'écoulement des eaux captées, émergent de la route CD 98 à la voie ferrée,
- Point n° 18 ou 19 :** Zone d'émergence au niveau du drain,

Point n° 20 : Zone importante d'émergence (E) située sur la pente entre le drain et la route CD 98.

Point n°25 : Emergence (O), située entre la voie ferrée et l'Automne, et étant passée inaperçue lors de la campagne d'hiver. Ce point est également représentatif de la zone d'émergence (L) située à proximité.

On considérera dans la suite de l'étude que les zones non retenues à ce stade peuvent être considérées comme négligeables en terme de dégagements gazeux dans l'environnement du site.

Les tableaux récapitulatifs de l'ensemble des résultats olfactométriques et physico-chimiques obtenus au cours des deux campagnes de mesures sont présentés en Annexe L.

Ils présentent successivement :

- Les valeurs de concentration mesurées dans l'air de balayage exprimées par le facteur de dilution au seuil de perception (K_{50} , sans dimension) pour les analyses olfactométriques et en $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de chacun des composés dosés, pour les analyses physico-chimiques. Il convient de noter que ces valeurs dépendent des conditions opératoires (débit de balayage, en particulier), identiques pour tous les essais.
- Les facteurs d'émission spécifique correspondants, exprimés en $\text{m}^3/\text{h}/\text{m}^2$ pour les débits d'émission d'odeurs (cf. définitions) et en $\mu\text{g}/\text{h}/\text{m}^2$ pour les débits d'émissions de COV. Pour ces calculs, on a considéré, d'une part le débit de balayage respecté pour l'ensemble des essais de $0,72 \text{ m}^3/\text{h}$ et d'autre part la surface de balayage du caisson de $0,5 \text{ m}^2$. Ces résultats sont donc bien représentatifs du potentiel émissif des émergences et dépendent directement de la charge polluante des eaux en COV.

Parmi les analyses effectuées, un certain nombre de familles chimiques n'ont été détectées dans aucun des échantillons étudiés. Il s'agit des composés suivants, qui ne seront pas repris dans les tableaux de résultats :

- **Composés soufrés réduits légers (H_2S , CH_3SH , $\text{C}_2\text{H}_5\text{SH}$) :** $< 5 \mu\text{g}/\text{m}^3$
- **Alcools :** $< 100 \mu\text{g}/\text{m}^3$
- **Nitriles :** $< 30 \mu\text{g}/\text{m}^3$

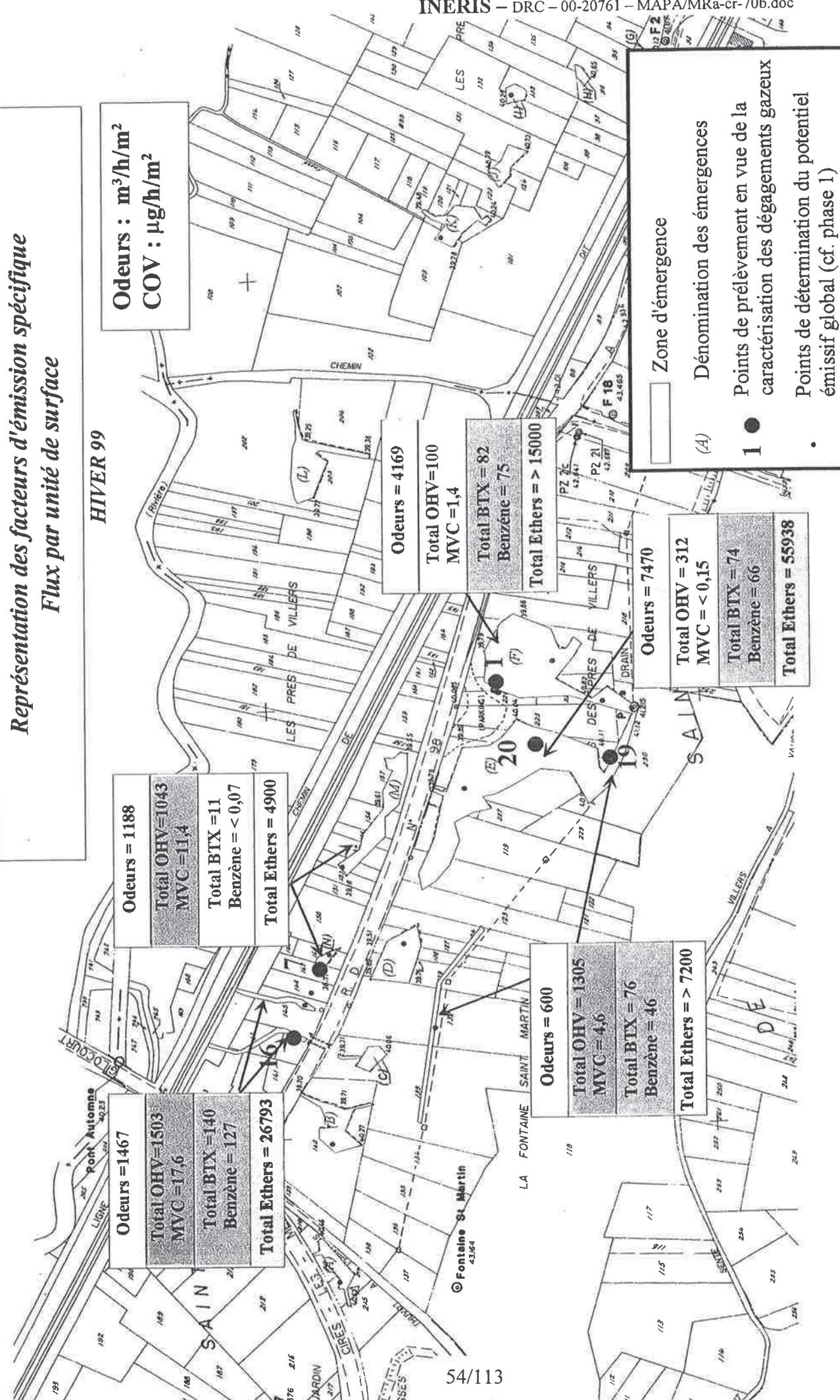
On trouvera, ci-après, des représentations synthétiques des valeurs de facteur d'émission spécifique obtenues par familles chimiques, et en odeurs, sur le plan des émergences.

L'Annexe M présente l'ensemble des spectres de masse obtenus.

**Représentation des facteurs d'émission spécifique
Flux par unité de surface**

HIVER 99

Odeurs : m³/h/m²
COV : µg/h/m²



Odeurs = 1188
Total OHV=1043
MVC=11,4
Total BTX =11
Benzène = < 0,07
Total Ethers = 4900

Odeurs = 1467
Total OHV=1503
MVC=17,6
Total BTX =140
Benzène = 127
Total Ethers = 26793

Odeurs = 4169
Total OHV=100
MVC=1,4
Total BTX = 82
Benzène = 75
Total Ethers = > 15000

Odeurs = 600
Total OHV = 1305
MVC=4,6
Total BTX = 76
Benzène = 46
Total Ethers = > 7200

Odeurs = 7470
Total OHV = 312
MVC = < 0,15
Total BTX = 74
Benzène = 66
Total Ethers = 55938

(A) Zone d'urgence

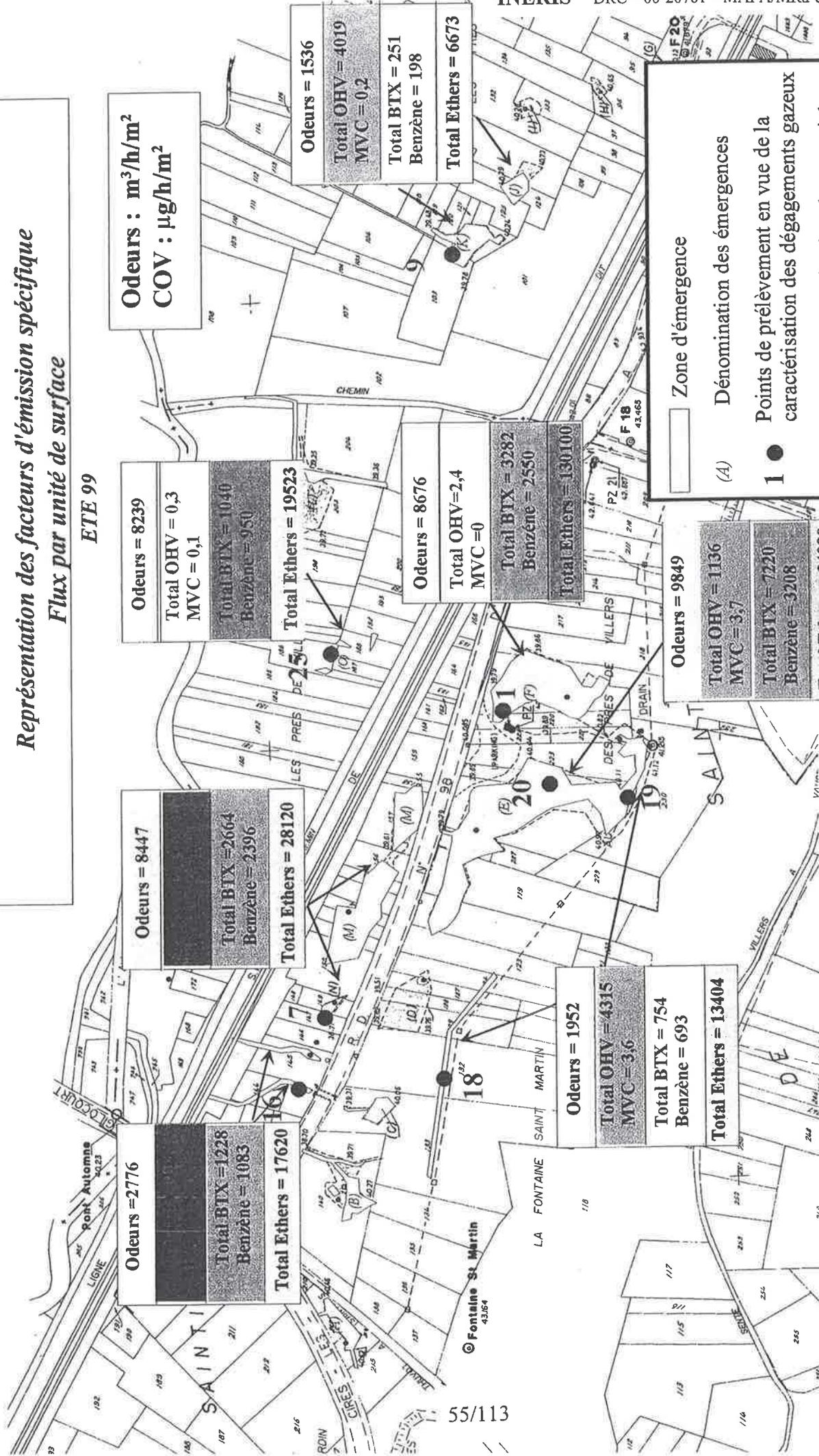
(A) Dénomination des urgences

1 ● Points de prélèvement en vue de la caractérisation des dégagements gazeux

● Points de détermination du potentiel émissif global (cf. phase 1)

Représentation des facteurs d'émission spécifique
Flux par unité de surface

ETE 99



Odeurs : $m^3/h/m^2$
 COV : $\mu g/h/m^2$

Odeurs = 8239
 Total OHV = 0,3
 MVC = 0,1
 Total BTX = 1040
 Benzène = 950
 Total Ethers = 19523

Odeurs = 8447
 Total BTX = 2664
 Benzène = 2396
 Total Ethers = 28120

Odeurs = 2776
 Total BTX = 1228
 Benzène = 1083
 Total Ethers = 17620

Odeurs = 1536
 Total OHV = 4019
 MVC = 0,2
 Total BTX = 251
 Benzène = 198
 Total Ethers = 6673

Odeurs = 8676
 Total OHV = 2,4
 MVC = 0
 Total BTX = 3282
 Benzène = 2550
 Total Ethers = 130100

Odeurs = 9849
 Total OHV = 1136
 MVC = 3,7
 Total BTX = 7220
 Benzène = 3208
 Total Ethers = 34090

Odeurs = 1952
 Total OHV = 4315
 MVC = 3,6
 Total BTX = 754
 Benzène = 693
 Total Ethers = 13404

Zone d'émergence

(A) Dénomination des émergences

1 ● Points de prélèvement en vue de la caractérisation des dégagements gazeux

• Points de détermination du potentiel émissif global (cf. phase 1)

4. CALCULS D'EXTRAPOLATION DES FLUX

Les calculs de flux ont été effectués à partir des données issues des travaux de repérage et de cartographie effectués par le cabinet de géomètre “ Farandeu ”, présentés la phase 1.

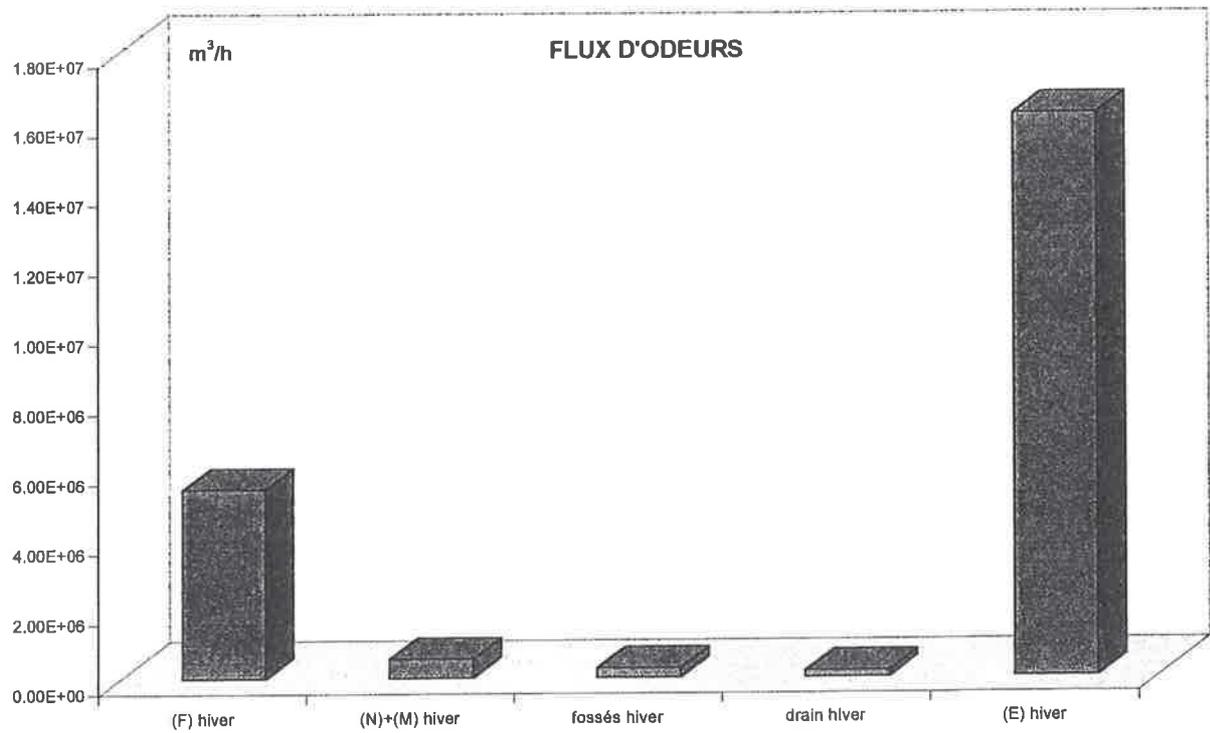
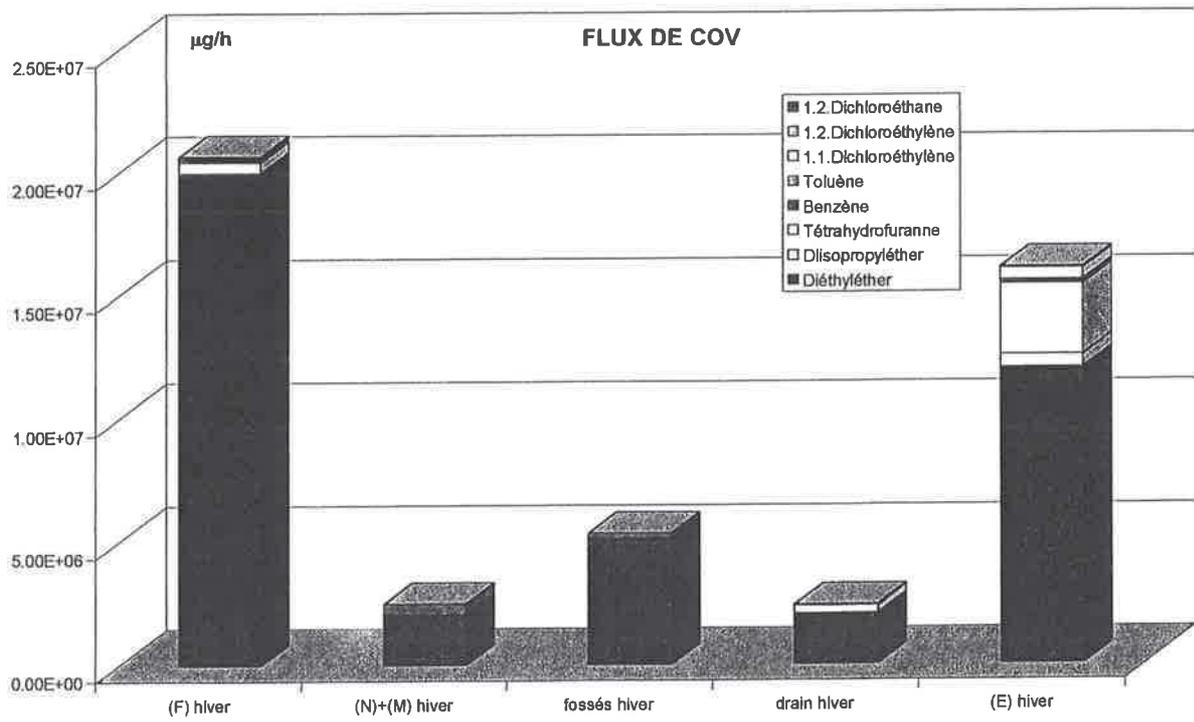
Nous trouverons ci-après un tableau récapitulatif des superficies prises en compte.

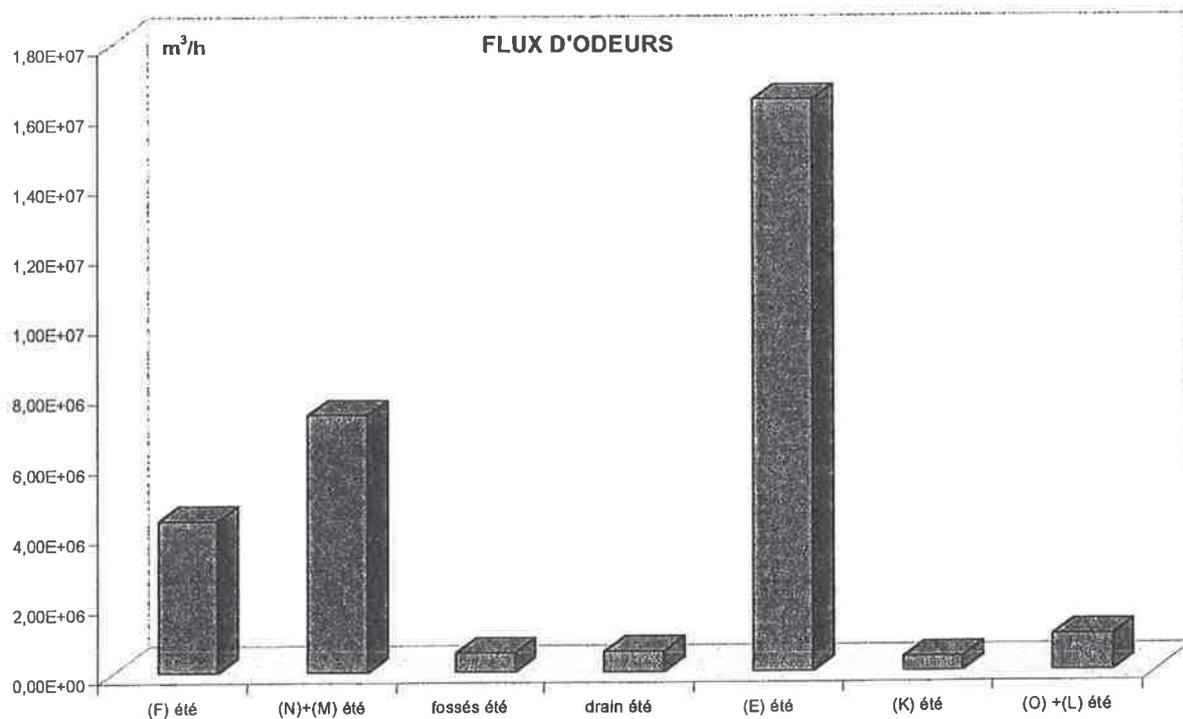
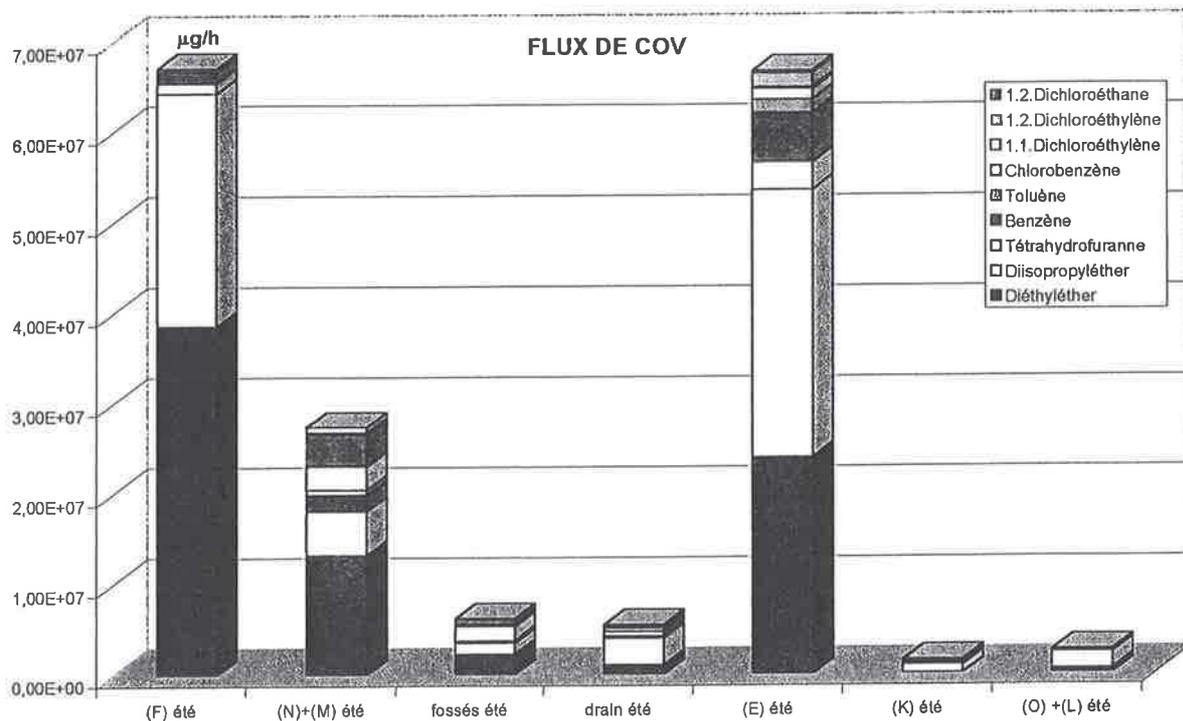
Réf. Emergences	Point de mesure	Superficies
(A)+(B)+(C)+(D)	non prises en compte (émissions négligeables)	Fév. 99 : 860 m ² Juin 99 : 345 m ²
(E)	20	Fév. 99 : 2160 m² Juin 99 : 1660 m²
(F)	1	Fév. 99 : 1300 m² Juin 99 : 500 m²
(G)+(H)+(I)+(J)+(K)	Fév. 99 : non prises en compte Juin 99 : 9	Fév. 99 : 470 m ² Juin 99 : 260 m²
(M)+(N)	7	Fév. 99 : 460 m² Juin 99 : 670 m²
(L) + (O)	Fév. 99 : non prises en compte Juin 99 : 25	Fév. 99 : 360 m ² Juin 99 : 125 m²
Zone du drain	Fév. 99 : 19 Juin 99 : 18	≈ 300 m ²
Fossé RD 98/Voie SNCF	16	≈ 180 m ²

Superficies des émergences

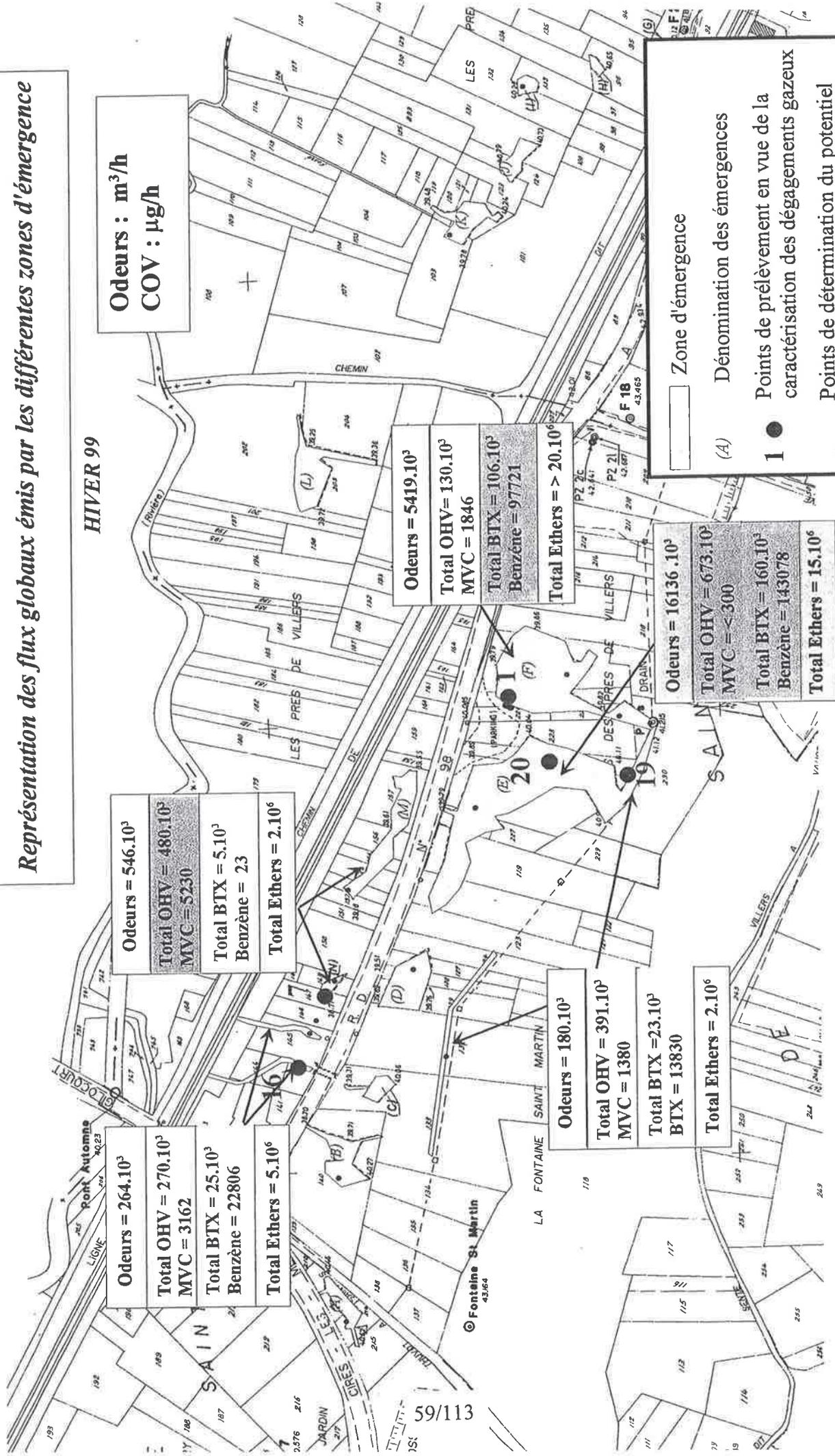
On trouvera, ci-après, pour chaque campagne de mesures, d'une part, des histogrammes qui résument les calculs de flux effectués à partir des analyses olfactométriques (flux d'odeurs en m³/h) et physico-chimiques (flux de COV en µg/h), et d'autre part, et d'autre part, des représentations synthétiques des calculs de flux par familles chimiques, sur le plan de la zone concernée.

On trouvera en Annexe L le détail, sous forme de tableaux, des calculs de flux d'odeurs et des différentes familles chimiques analysées (seuls les composés détectés et quantifiés ont été repris dans les tableaux).





Représentation des flux globaux émis par les différentes zones d'émergence



Zone d'émergence

Dénomination des émergences

Points de prélèvement en vue de la caractérisation des dégagements gazeux

Points de détermination du potentiel émissif global (cf. phase 1)

(A)

1

.

Odeurs = 5419.10³
 Total OHV = 130.10³
 MVC = 1846
 Total BTX = 106.10³
 Benzène = 97721
 Total Ethers = > 20.10⁶

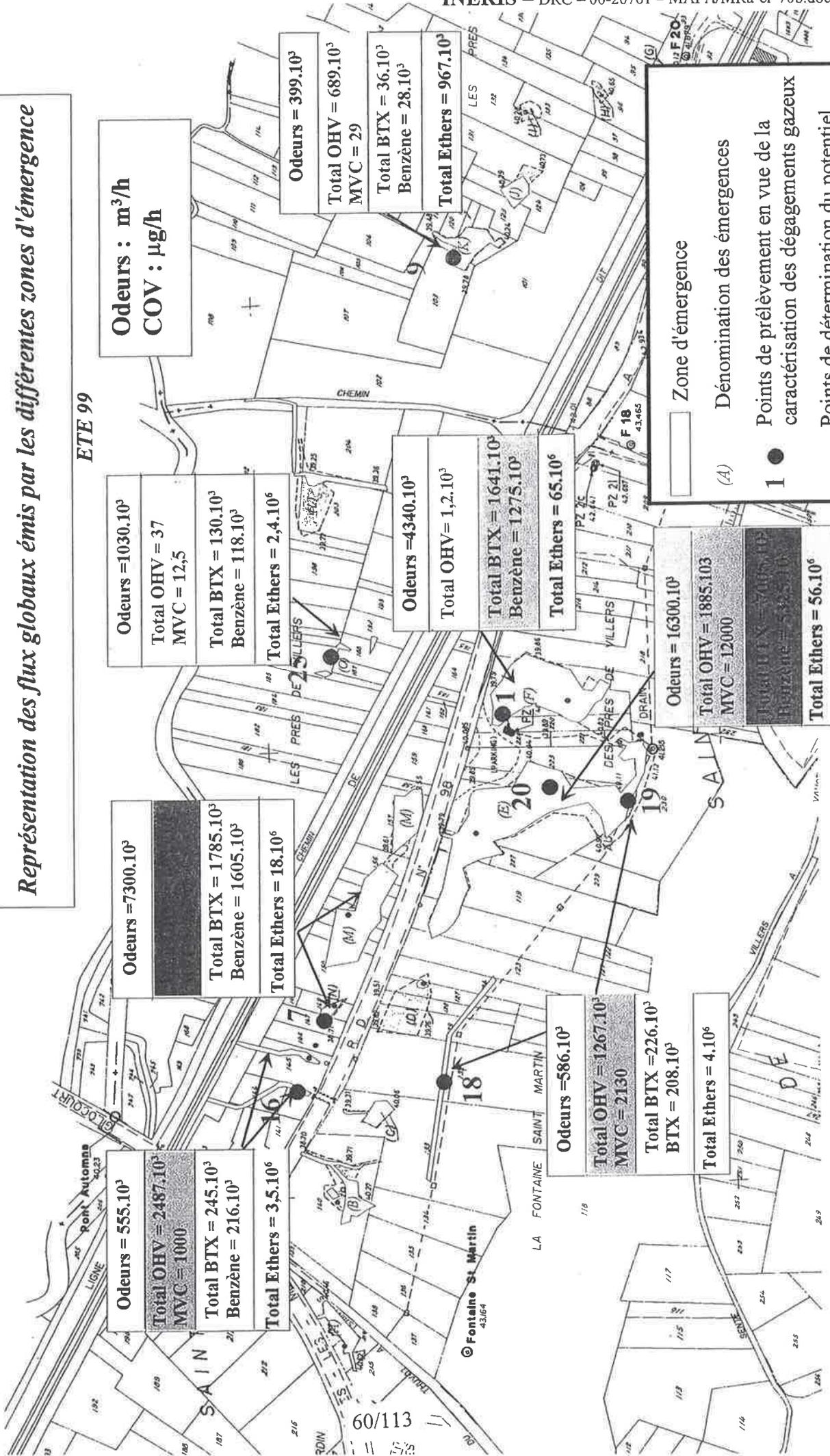
Odeurs = 16136.10³
 Total OHV = 673.10³
 MVC = < 300
 Total BTX = 160.10³
 Benzène = 143078
 Total Ethers = 15.10⁶

Odeurs = 546.10³
 Total OHV = 480.10³
 MVC = 5230
 Total BTX = 5.10³
 Benzène = 23
 Total Ethers = 2.10⁶

Odeurs = 180.10³
 Total OHV = 391.10³
 MVC = 1380
 Total BTX = 23.10³
 BTX = 13830
 Total Ethers = 2.10⁶

Odeurs = 264.10³
 Total OHV = 270.10³
 MVC = 3162
 Total BTX = 25.10³
 Benzène = 22806
 Total Ethers = 5.10⁶

Représentation des flux globaux émis par les différentes zones d'émergence



Odeurs : m^3/h
COV : $\mu g/h$

Odeurs = 1030.10^3
Total OHV = 37
MVC = 12,5
Total BTX = 130.10^3
Benzène = 118.10^3
Total Ethers = $2,4.10^6$

Odeurs = 7300.10^3
Total BTX = 1785.10^3
Benzène = 1605.10^3
Total Ethers = 18.10^6

Odeurs = 555.10^3
Total OHV = 2487.10^3
MVC = 1000
Total BTX = 245.10^3
Benzène = 216.10^3
Total Ethers = $3,5.10^6$

Odeurs = 399.10^3
Total OHV = 689.10^3
MVC = 29
Total BTX = 36.10^3
Benzène = 28.10^3
Total Ethers = 967.10^3

Odeurs = 4340.10^3
Total OHV = $1,2.10^3$
Total BTX = 1641.10^3
Benzène = 1275.10^3
Total Ethers = 65.10^6

Odeurs = 16300.10^3
Total OHV = 1885.103
MVC = 12000
Total BTX = 2015.10^3
Benzène = 152.10^3
Total Ethers = 56.10^6

Odeurs = 586.10^3
Total OHV = 1267.10^3
MVC = 2130
Total BTX = 226.10^3
Benzène = 208.10^3
Total Ethers = 4.10^6

Zone d'émergence

(A)

1 ●

•

Dénomination des émergences

Points de prélèvement en vue de la caractérisation des dégagements gazeux

Points de détermination du potentiel émissif global (cf. phase 1)

5. CONCLUSIONS DE LA PHASE 3

5.1 CARACTERISATION CHIMIQUE DES DEGAGEMENTS GAZEUX

D'une façon générale, les résultats des analyses réalisées dans les dégagements gazeux des émergences, au cours des deux campagnes de mesures, d'hiver et d'été sont cohérents avec ceux des analyses des COV dans les eaux (phase 1 de l'étude), pour ce qui concerne d'une part les composés chimiques mis en évidence et leurs proportions, et d'autre part, les charges polluantes relatives des différentes zones.

Les principaux composés mis en évidence sont, par ordre d'importance :

- **Les éthers** : Il s'agit principalement du diéthyléther qui représente, de loin, le composé majoritaire dans les dégagements gazeux avec des niveaux de concentration de plusieurs dizaines de mg/m³ dans l'air de balayage de certains échantillons. **Le diisopropyléther** est également présent dans de fortes proportions, en particulier en juin 99.
- **Les composés chlorés** : Les émissions de composés chlorés sont également relativement importantes sur certains points. Elles sont constituées essentiellement de **1.1.dichloroéthylène**, le **1.2.dichloroéthylène** (surtout présent en juin 99) et de **1.2.dichloroéthane**, et dans une moindre mesure, de chlorobenzène, de trichloroéthylène et de trichloroéthane. Il convient de noter que les niveaux d'émission en monochlorure de vinyle se sont avérés relativement faibles par rapport aux autres OHV, si on les compare aux concentrations mesurées dans les eaux. Il s'agit cependant de valeurs à prendre en compte, en raison de la toxicité de ce composé.
- **Les BTX** : Les BTX présents en concentrations relativement faibles en février, ont représenté une part significative des émissions de COV en juin. Il s'agit, dans la majorité des cas, exclusivement de benzène qui doit être considéré comme un polluant caractéristique du site, et dans une moindre mesure de toluène.
- **Le tétrahydrofuranne** présente sur certains points des concentrations significatives, et a représenté, en particulier au niveau de l'émergence (E), située entre la route CD 98 et la carrière le composé majoritaire, après le diéthyléther, au cours de la campagne d'hiver.
- **Les sulfures organiques** : les analyses par spectrométrie de masse ont fait apparaître la présence de sulfures organiques, en traces, sur de nombreux points de mesure. Ces composés sont à considérer comme des polluants importants du site, compte tenu de leur caractère très odorant.

5.2 ANALYSES OLFACTOMETRIQUES

Les mesures de facteurs de dilution au seuil de perception dans les dégagements gazeux des émergences font apparaître des concentrations d'odeurs relativement modérées. Compte tenu des écart-types expérimentaux (correspondant à la dispersion des réponses individuelles des experts), en février 99 il n'y a pas de différence significative entre les résultats obtenus sur les émergences (N) et (M) entre la route et la voie ferrée, les fossés et la zone du drain. Seuls les émergences (F) et (E), correspondants à la zone d'émergence située au pied de la carrière, entre la route CD 98 et le drain sont significativement plus émissifs. En juin, il convient de noter l'importance relative des émergences (N) et (M).

Ces résultats sont très cohérents avec les analyses physico-chimiques, en termes de hiérarchie des différentes zones d'émergences. Les odeurs sont liées aux fortes concentrations d'éther et aux sulfures organiques, mais aussi aux différents composés chlorés qui ne sont pas des polluants malodorants, mais qui contribuent, en mélange, aux nuisances olfactives caractéristiques du site.

5.3 CALCULS DES FLUX DE COV DANS L'ATMOSPHERE

Les calculs de flux et la comparaison des différentes zones du site confirment les conclusions qui précèdent :

- La principale zone d'émergence située entre la route CD 98 et la carrière (points de prélèvement 1 et 20, correspondant aux émergences E et F) représente la majorité des émissions de COV sur l'ensemble de la vallée. Cette zone correspond également aux odeurs les plus fortes liées aux concentrations élevées d'éthers et à la présence de sulfures organiques.
- Les fossés d'écoulement des eaux captées situés entre la route CD 98 et la voie ferrée (point 16) ainsi que la zone du drain (point 19) représentent des émissions surfaciques importantes en différents composés organiques volatils, en particulier en diéthyléther, en dichloroéthylène et surtout en dichloroéthane au niveau du drain (point 19), mais compte tenu des surfaces d'échange avec l'atmosphère plus faibles que les émergences proprement dites, la contribution de ces zones à l'ensemble des émissions du site est moindre.

Phase 4

**Etude des odeurs dans
l'environnement**

PHASE 4 : ETUDE DES ODEURS DANS L'ENVIRONNEMENT

1. PRINCIPE DE LA METHODE

L'objectif de l'étude des odeurs à l'environnement est d'évaluer l'impact sur la population des émanations de composés organiques volatils dans la vallée de l'Automne.

Il s'agit de mesures *d'intensités odorantes* effectuées en différents points de l'environnement étudié. Ce travail a été réalisé par le Laboratoire d'Etude des transferts de Contamination, Epuración et Ventilation du Service d'Etudes et de Recherches en Aérocontamination et en Confinement (SERAC/LECEV), de l'IPSN (Institut de Protection et de Sécurité Nucléaire).

Les mesures effectuées sont conformes à la norme NF X 43-103, dans laquelle la méthode utilisée ici est largement décrite. Une description en est donnée dans l'annexe N ; seuls quelques principes sont rappelés ci-dessous.

Les mesures d'odeur dans l'environnement sont destinées à permettre une évaluation aussi quantitative que possible du niveau d'odeur dans une zone donnée.

Pour ce faire, les niveaux d'odeur dans un environnement sont déterminés à l'aide des estimations *d'intensités odorantes* faites par un jury qualifié, supposé constituer un échantillonnage représentatif de la population. La méthode retenue pour estimer les intensités d'odeur est la méthode des "équivalences olfactives", dans laquelle l'intensité odorante de l'atmosphère à analyser est comparée aux intensités d'une gamme étalon de 1.butanol ou de pyridine, choisis comme corps purs de référence.

Dans le cas présent, la solution de référence est de la pyridine en solution dans l'eau et l'échelle de référence est la suivante :

Niveau d'odeur	faible		moyen		fort		très fort		
Concentration de pyridine dans l'eau (vol/vol)	3.10^{-6}	à	3.10^{-5}	à	3.10^{-4}	à	3.10^{-3}	à	3.10^{-2}

Les fiches-réponses obtenues sur le site pour chacun des observateurs sont rassemblées et les valeurs moyennes, pour le jury, des intensités odorantes mesurées en chacun des points de mesure sont extraites de l'ensemble des données.

Les résultats détaillés sont donnés dans l'Annexes O, d'une part sous forme de cartes, et d'autre part, sous forme de résumé des observations des personnes constituant le « jury de nez ».

Comme pour l'ensemble des mesures sur le site, deux campagnes d'intervention du jury ont eu lieu, correspondant respectivement à des conditions hivernales (mars 99) et estivales (août 99).

2. CAMPAGNE DE MESURES HIVERNALE

2.1 CHOIX DES POINTS DE MESURES

Les différents points de mesures (voir annexe O) ont été choisis d'un commun accord entre les différentes parties impliquées dans cette étude (ADEME, INERIS, SERAC/LECEV).

Le circuit emprunté tient compte du site étudié, des zones d'habitations environnantes et des autres industries riveraines du site.

2.2 INTERVENTION DE L'EQUIPE

Sept experts sont intervenus le vendredi 19 mars 1999 et ont effectué des mesures d'intensités odorantes aux points de mesures préalablement choisis, en se déplaçant toujours ensemble sur les circuits. Les déplacements ont été effectués en voiture afin de se déplacer suffisamment rapidement entre les points de mesures.

2.3 CONDITIONS METEOROLOGIQUES

Les données météorologiques utilisées dans cette étude nous sont fournies par MÉTÉO FRANCE ; elles proviennent de la station la plus proche, en l'occurrence Creil.

Les données météorologiques recueillies a posteriori sont données en annexe O. Elles montrent que, pour les heures de mesures qui nous concernent, la situation était relativement stable : le vent est orienté de Nord-Ouest à Nord avec une vitesse comprise entre 3 et 6 m.s⁻¹.

2.4 SYNTHÈSE DE LA CAMPAGNE HIVERNALE

Les résultats obtenus dans le contexte de notre campagne de mesures hivernale montrent que le site étudié est principalement caractérisé par des odeurs d'origine naturelle et urbaine.

Cependant, trois résultats sur cent dix mettent en évidence des odeurs d'origine industrielle, perçues à un niveau d'intensité fort : elles sont dues à l'activité de l'usine SEITA et elles sont localisées à proximité de l'usine. Trois autres résultats, classés dans cette même famille d'odeur, correspondant à des niveaux d'intensités faible ou moyen, ont en fait une origine non clairement identifiée.

Dix résultats sur cent dix mettent en évidence des odeurs d'origine agricole, perçues à un niveau d'intensité faible ; elles sont issues de champs où la terre a été labourée depuis peu.

Enfin, seize résultats sur cent dix mettent en évidence des odeurs issues des émergences du site pollué de Néry-Saintines :

- ces odeurs, caractéristiques, apparaissent très localisées puisqu'elles sont perçues essentiellement (12 cas sur 16) aux points 5 et 19 (tous deux en bordure de la route D98, entre Saintines et Vaucelle, au pied du coteau abritant le site pollué étudié) à des niveaux d'intensités faibles (1 cas sur 12), moyens (3 cas sur 12) ou forts (8 cas sur 12) ; notons que ces odeurs sont perçues majoritairement sous la forme de bouffées (3 cas sur 6 pour le point 5 et 6 cas sur 6 pour le point 19) ;

- ces mêmes odeurs sont également perçues en d'autres points, mais de façon plus anecdotique (4 cas sur 16) : au point 17 (à quelques centaines de mètres du point 19, le long de la route D98) et au point 18 (sur le coteau abritant le site pollué, à environ 500 m au-dessus du point 17) à un niveau d'intensité faible ; les odeurs issues d'émergences ont été également perçues une fois (sur quatre mesures effectuées en ce point) sur le pont au-dessus de la rivière (point 6).

3. CAMPAGNE DE MESURES ESTIVALE

3.1 CHOIX DES POINTS DE MESURES

Pour les besoins de la comparaison, les points de mesures étudiés sont les mêmes qu'en mars 1999. Seul le point 25 a été rajouté afin d'observer l'influence des émergences odorantes à l'ouest du site pollué orphelin (voir annexe O).

3.2 INTERVENTION DE L'EQUIPE

Sept experts sont intervenus en soirée le lundi 23 août 1999 et le mardi 24 août 1999 toute la journée. Un expert supplémentaire, qui n'a pas pu participer aux mesures du lundi soir, était présent le mardi toute la journée, ce qui monte à huit le nombre d'experts pour la majeure partie de cette campagne de mesures.

Comme précédemment, les experts ont effectué des mesures d'intensités odorantes aux points de mesures préalablement choisis, en se déplaçant toujours ensemble sur les circuits. De nouveau, les déplacements ont été effectués en voiture afin de se déplacer suffisamment rapidement entre les points de mesures.

3.3 3.2.3. CONDITIONS METEOROLOGIQUES

Comme précédemment, les données météorologiques utilisées proviennent de la station MÉTÉO FRANCE de Creil.

Les données météorologiques recueillies sont données en annexe O. Elles montrent que, pour les heures de mesures qui nous concernent, la situation est relativement stable en vitesse mais pas en direction : en effet, le vent faible, de 1 à 3 m.s⁻¹, s'oriente entre le Nord/Nord-Est et l'Ouest en passant par le Sud.

3.4 SYNTHÈSE DE LA CAMPAGNE ESTIVALE

Les résultats obtenus *dans le contexte de notre campagne de mesures estivale* montrent que le site étudié est principalement caractérisé par des odeurs d'origine naturelle et urbaine.

Parmi les cent cinquante sept résultats recueillis, trois, classés dans les odeurs d'origine industrielle, ont en fait une origine non clairement identifiée. Les niveaux d'intensité associés sont faibles ou moyens.

Vingt résultats sur cent cinquante sept mettent en évidence des odeurs d'origine agricole, perçues à des niveaux d'intensité faibles à forts ; elles ont diverses origines (bouse de vache, poulailler, champs labourés ou cultivés, épandage).

Enfin, seize résultats sur cent cinquante sept mettent en évidence des odeurs issues des émergences du site pollué de Néry-Saintines :

- ces odeurs, caractéristiques, apparaissent très localisées puisqu'elles sont perçues essentiellement (8 cas sur 16) au point 19 (en bordure de la route D98, entre Saintines et Vaucelle, au pied du coteau abritant le site pollué étudié) à des niveaux d'intensités moyens (4 cas sur 8) ou forts (4 cas sur 8) ; notons que ces odeurs sont perçues majoritairement de façon continue (6 cas sur 8) ; précisons également que les odeurs ne sont pas toujours perceptibles au milieu du parking et qu'il peut être nécessaire de se rapprocher notablement de l'émergence pour les sentir (2 cas sur 8) ;
- ces mêmes odeurs sont également perçues au point 5 en bordure de la D98 (4 cas) à des niveaux d'intensité moyens ou forts et au point 6 sur le pont au-dessus de la rivière (4 cas également) à des niveaux d'intensités faibles ou moyens ; en ces points, la perception se fait essentiellement sous la forme de bouffées (7 cas sur 8).

4. CONCLUSION DE LA PHASE 4

Deux campagnes de mesures d'une journée environ ont été effectuées dans l'environnement du site pollué de Néry-Saintines, les vendredi 19 mars 1999 et mardi 24 août 1999 respectivement. La première campagne, représentative de conditions météorologiques hivernales, a eu lieu par vent faible à modéré (vitesse comprise entre 3 et 6 m.s⁻¹) de direction Nord-Ouest à Nord, avec des températures comprises entre 5 et 11°C. La seconde, représentative de conditions météorologiques estivales, a eu lieu par vent faible de direction variable allant du Nord/Nord-Est à l'Ouest en passant par le Sud, avec des températures comprises entre 17 et 29°C.

Les résultats obtenus suite à nos deux campagnes de mesures montrent que le site est principalement caractérisé par des odeurs d'origine naturelle et urbaine, indépendamment de la saison. Les odeurs d'origine industrielle sont rares, tandis que les odeurs d'origine agricole, un peu plus fréquentes, sont localisées autour des sources.

En ce qui concerne les odeurs issues des émergences dues au site pollué orphelin de Néry-Saintines, elles apparaissent, en conditions hivernales comme en conditions estivales, perceptibles dans l'environnement, très localement, à proximité des émergences, avec des intensités atteignant facilement le niveau fort de notre échelle de référence.

Ces odeurs ressenties en conditions hivernales principalement sous la forme de bouffées seraient ressenties, en conditions estivales, plutôt de façon continue au point 19 (Vaucelles-D98, sur le parking) où les intensités sont les plus importantes, et plutôt sous la forme de bouffées au point 5 ((Pont d'Automne, côté Saintines) et au point 6 (Pont d'Automne, côté Béthisy-Saint-Pierre).

Nous pouvons noter que les niveaux d'intensité sont globalement plus élevés pendant la campagne de mesures hivernale (8 niveaux d'intensités forts dont 3 supérieurs à 1.10⁻³, 3 moyens et 5 faibles) par rapport à la campagne de mesures estivale (5 niveaux d'intensités forts tous inférieurs à 1.10⁻³, 8 moyens et 3 faibles) ; ces résultats sont visualisés sur la courbe donnée en annexe O.

Phase 5

**Evaluation des risques sanitaires
par voie respiratoire**

PHASE 5 : EVALUATION DES RISQUES SANITAIRES PAR VOIE RESPIRATOIRE

1. INTRODUCTION

L'ensemble de cette phase d'étude vise à évaluer les risques pour la santé humaine liés à l'exposition de la population, par voie respiratoire (inhalation), aux composés organiques volatils (COV) émanant des émergences d'eaux polluées de la Vallée de l'Automne.

2. RAPPEL SUR L'EVALUATION DES RISQUES SANITAIRES

L'évaluation de l'impact sanitaire des sites pollués a pour but de quantifier le risque pour les populations humaines compte tenu de l'usage du site.

2.1 PRINCIPES DE L'EVALUATION DES RISQUES

Dans un domaine où les connaissances scientifiques sont incomplètes et les sources d'incertitudes nombreuses, l'évaluation des risques est avant tout une démarche, une méthode d'analyse structurée où les éléments d'information sont collectés, ordonnés et évalués, c'est-à-dire mis en perspective par rapport aux incertitudes, afin de quantifier le risque d'une manière transparente et de présenter de manière explicite aux différentes parties les éléments d'analyse sur lesquels la prise de décision pourra s'appuyer.

L'évaluation détaillée des risques est réalisée en tenant compte des trois principes suivants :

- le principe de précaution inscrit dans la loi du 2 Février 1995 ;
- le principe de proportionnalité (qui veille à ce qu'il y ait cohérence entre le degré d'approfondissement de l'étude et l'importance de la pollution et son incidence prévisible) ;
- le principe de spécificité (prise en compte des caractéristiques et de l'usage propres au site).

L'évaluation détaillée des risques doit s'appuyer sur les connaissances scientifiques et les données propres au site. Néanmoins compte tenu du déficit de connaissance et des incertitudes inhérentes à l'évaluation des risques, l'évaluateur est amené à faire des hypothèses et à prendre des options pour mener à bien son analyse. Ce sont les principes de précaution et de proportionnalité qui doivent guider les choix de l'évaluateur.

Les règles de l'évaluation des risques sont alors :

- de présenter et d'expliquer systématiquement les choix réalisés (afin d'assurer la transparence) ;
- et d'évaluer leurs conséquences.

2.2 LES ETAPES D'UNE EVALUATION DES RISQUES

L'évaluation détaillée des risques doit s'appuyer :

- d'une part sur la connaissance du site et les données recueillies sur celui-ci
- et d'autre part sur les connaissances scientifiques et des hypothèses concernant :
 - les propriétés, la toxicité et le devenir des substances polluantes dans l'environnement,
 - le comportement des individus ou récepteurs potentiellement exposés.

L'évaluation des risques pour la santé doit comporter les étapes suivantes :

- la caractérisation du site, qui doit permettre de définir la source de pollution, les cibles et les voies de transfert des polluants des sources vers les cibles et qui permet également de renseigner les valeurs spécifiques d'un certain nombre de paramètres ;
- l'évaluation de la toxicité des substances, qui consiste à identifier les effets indésirables qu'une substance est intrinsèquement capable de provoquer chez l'homme et à estimer la relation entre le niveau d'exposition à une substance, et l'incidence et la gravité de cet effet ;
- l'évaluation de l'exposition qui consiste à estimer la fréquence, la durée et l'importance de l'exposition ;
- la caractérisation du risque qui correspond à la synthèse des informations issues de l'évaluation de l'exposition et de l'évaluation de la toxicité sous la forme d'une expression quantitative du risque. Les incertitudes y sont évaluées et les résultats interprétés.

L'évaluation des risques est en fait une démarche itérative. Une approche par allers-retours entre l'étape de caractérisation du risque et les différentes étapes antérieures est souvent nécessaire pour orienter la recherche bibliographique et l'acquisition de données de manière plus pertinente, c'est-à-dire sur les points les plus sensibles vis-à-vis du résultat.

3. SELECTION DES SUBSTANCES

Le choix des substances à retenir pour l'évaluation des risques pour la santé humaine a été effectué parmi les substances détectées dans :

- l'air de balayage des émergences : c'est à dire les composés quantifiés (par chromatographie (gazeuse ou HPLC) et détection par FID, ECD...), et les composés complémentaires détectés lors des analyses par chromatographie et spectrométrie de masse (CG-SM)
- les émergences : c'est à dire les composés quantifiés lors des analyses, et les composés détectés par CG-SM.

Il convient de noter que la principale étape de sélection des substances a été réalisée après la première campagne d'analyses, en février 99, afin de tenir compte des enseignements acquis pour la seconde campagne de mesures.

Le processus de sélection adopté est résumé sous forme d'un logigramme en annexe P. Il est présenté ci-dessous pour chacun des milieux considéré.

3.1 COMPOSES DETECTES DANS L'AIR DE BALAYAGE DES EMERGENCES

3.1.1 Effets cancérigènes

Dans un premier temps, parmi l'ensemble des substances détectées dans l'air de balayage des émergences, ont été recherchées les substances qui ont des effets cancérigènes.

Pour sélectionner les substances cancérigènes, nous avons consulté les critères de classification adoptés par les organismes de référence classiquement consultés en évaluation des risques, à savoir : la Commission Européenne, le IARC-CIRC (Centre International de Recherche pour le Cancer) et par l'US-EPA (Environmental Protection Agency des Etats-Unis).

Ces classifications définissent la plausibilité de la cancérogénicité d'une substance à partir des données épidémiologiques et expérimentales disponibles. Elle ne concerne pas la force de l'action cancérigène. Les critères de classification des trois organismes cités ci-dessus sont explicités en Annexe P.

Pour cette étude, par souci de précaution, nous avons retenu toutes les substances classées comme cancérigènes par au moins un des trois organismes, c'est-à-dire les substances :

- de la première, deuxième et troisième catégorie du classement européen (et étiquetées R45-R40),
- des groupes 1, 2A et 2B définis par le IARC-CIRC,
- des groupes A, B1, B2 et C définis par l'USEPA.

Ainsi les substances suivantes ont été retenues pour leurs effets cancérigènes :

- chlorure de vinyle,
- benzène,
- formaldéhyde,
- trichloroéthylène,
- tétrachloroéthylène,
- trans 1, 3, dichloropropène,
- 1, 2, dichloroéthane,
- chloroforme,
- 1, 1, 2, trichloroéthane,
- tétrachlorure de carbone,
- 1, 4, dichlorobenzène,
- acétaldéhyde,
- 1, 1, dichloroéthylène,
- 1, 4 dioxane.

3.1.2 Effets non cancérigènes

Dans un deuxième temps, l'ensemble des substances détectées dans l'air de balayage des émergences a été évalué pour leurs effets non cancérigènes.

La sélection des substances pour leurs effets non cancérigènes a principalement été effectuée au vu de la relation dose-effet attribuée à chaque substance.

Ces relations sont déterminées pour des expositions, soit par voie orale (dose journalière tolérable), soit par voie respiratoire (concentration tolérable).

Pour l'ensemble des substances détectées dans l'air de balayage des émergences, la concentration tolérable³ a été recherchée pour une exposition chronique⁴ dans la base de données IRIS de l'USEPA. En l'absence de données adéquates dans cette base de données, la base HEAST de l'USEPA et les « Toxicological Profiles » de l'ATSDR ont été consultées⁵. Il s'agit de sources de données largement reconnues au niveau international. Si pour un composé donné, aucune concentration tolérable n'a été établie par un de ces organismes, sa dose journalière tolérable (relation dose/effets pour la voie orale) a été recherchée, et la dérivation voie à voie a été effectuée pour convertir la dose journalière tolérable (mg/kg/j) en une concentration tolérable (mg/m³) : cette dernière est obtenue en divisant la dose journalière tolérable par le volume respiratoire (m³/j) et en multipliant ce rapport par le poids corporel (en kg), le volume respiratoire étant pris à égal 20 m³/j et le poids corporel à 70 kg.

La concentration tolérable (valeur dérivée ou non de la dose journalière tolérable) de chaque substance a alors été comparée à sa concentration maximale mesurée dans l'air de balayage des émergences.

Nous rappelons que les concentrations mesurées dans l'air des émergences sont issues d'un protocole expérimental mettant en œuvre un caisson de simulation en laboratoire. Il ne s'agit pas de mesure sur site dans l'air ambiant. Les concentrations mesurées dépendent des conditions opératoires. Elles sont utilisées comme base de raisonnement afin de comparer les émergences dans des conditions reproductibles et afin de sélectionner les substances les plus pertinentes en terme de risque par inhalation lié aux émergences (en éliminant les substances présentes à de très faibles concentrations par rapport aux concentrations tolérables).

³La concentration tolérable est la concentration d'une substance chimique qui peut être inhalée en moyenne sur 24 heures pendant la vie entière sans risque appréciable pour la santé. Elle s'exprime en (mg/m³) ou en (µg/m³).

⁴ Exposition chronique : Exposition persistante, récurrente ou de longue durée (ayant lieu sur une période comprise entre quelques années et la vie entière).

⁵ De plus, pour les substances, pour lesquelles aucune information n'était disponible dans les bases de données de l'US EPA et de l'ATSDR, les directives de qualité des eaux et de l'air de l'OMS ont été consultées.

Les substances dont la concentration maximale mesurée dans l'air de balayage (sur les cinq émergences étudiées en février et sur les sept étudiées en juin) est inférieure d'au moins deux ordres de grandeur à la concentration tolérable (c'est à dire concentration maximale < 1/100*concentration tolérable), n'ont pas été retenues. La marge prise entre la concentration maximale relevée et la concentration tolérable a pour but de tenir compte de la variabilité possible, dans le temps et dans l'espace, des concentrations émises à partir des émergences, et de l'additivité des risques liés aux substances ayant les mêmes organes cibles. En effet pour tenir compte de l'effet concomitant de différentes substances, le projet de guide sur l'Évaluation Détaillée des Risques du Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement prévoit d'ajouter au moins les risques liés aux substances produisant les mêmes effets sur les mêmes organes par le même mécanisme d'action.

Les substances retenues dès la première campagne de mesures n'ont pas été réexaminées ensuite, par contre, par souci de précaution, les substances non retenues dans un premier temps, et à nouveau détectées dans l'air des émergences au cours de la seconde campagne d'analyses ont fait l'objet d'un deuxième examen de sélection.

Suite à ce mode de sélection, les composés retenus pour leurs effets non cancérigènes (première et seconde étape de sélection) sont repris dans les deux tableaux de synthèse placés à la fin du présent chapitre (pages 75 et 76).

On trouvera en Annexe Q les tableaux détaillés qui présentent les concentrations maximum sur lesquelles la sélection a été établie (tableaux 3 et 4).

3.1.3 Substances non cancérigènes pour lesquelles la relation dose-effets n'est pas connue

Ce sont les substances pour lesquelles aucune concentration tolérable (ou dose journalière tolérable) ne figure dans les bases de données IRIS et HEAST (de l'USEPA), de l'ATSDR ou dans les directives de qualité des eaux de boisson et de l'air de l'OMS. C'est pourquoi, ces substances ne peuvent pas être retenues pour la quantification du risque. Les éléments d'information issus de cette étape seront utilisés dans le chapitre concernant l'évaluation des incertitudes.

Compte tenu du nombre important de substances déjà relevées et qui seront prises en compte dans la quantification de l'exposition et du risque, les substances, pour lesquelles aucune dose ou concentration tolérable n'est disponible, ne seront pas retenues. Une appréciation qualitative de leur toxicité est donnée sous la forme des phrases de dangers des substances chimiques selon la classification et l'étiquetage de l'Union Européenne (cf. Annexe R).

Toutefois, les substances dont la fréquence de détection sur les émergences et dont la concentration dans l'air sont très faibles (détectées 1 ou 2 fois sur les 5 émergences, et en concentration non quantifiable sur les spectres de spectrométrie de masse (pic trop faible)) n'ont pas été prises en compte.

Les substances concernées sont présentées en Annexe Q (tableau 5).

3.2 COMPOSES DETECTES DANS LES EMERGENCES

Le comportement dans l'environnement et la toxicité des substances détectées dans les émergences ont été évalués, afin de repérer d'éventuelles substances très toxiques et volatiles, qui pourraient être émises dans l'atmosphère à partir des émergences, mais qui n'auraient pas été détectées dans l'air de balayage des émergences. Cette évaluation a été effectuée entre les deux campagnes d'analyses, ainsi les substances identifiées à l'issue de cet examen ont été recherchées spécifiquement dans l'air des émergences pour confirmer ou infirmer leur absence lors de la deuxième campagne de mesures.

Donc, seules les substances présentes dans les émergences et non détectées dans l'air de balayage des émergences sont considérées dans cette partie.

L'ensemble des substances passées au crible de cette dernière étape de sélection est listé en Annexe Q, ainsi que leurs caractéristiques physico-chimiques, leurs relations dose/effet (si disponibles), (cancérogènes et non cancérogènes) leur concentration maximale détectée et leur fréquence de détection dans les cinq émergences. Il s'agit des substances soit quantifiées par les analyses des émergences, soit détectées par spectrométrie de masse à une concentration et une fréquence de détection non négligeables.

Ces substances ont été séparées en plusieurs classes en fonction de leur volatilité à partir de leur constante de Henry. Cette constante régissant la partition d'une substance entre les milieux air et eau, elle exprime la volatilité d'un polluant depuis une phase aqueuse.

Les relations dose/effet des substances ont également été recherchées dans les bases de données IRIS de l'US EPA, dans celle de l'ATSDR et dans les directives de qualité des eaux et de l'air de l'OMS. En l'absence de valeurs pour une substance, celle-ci n'est pas retenue. Il s'agit d'une décision arbitraire, justifiée par le fait que l'USEPA, l'ATSDR et l'OMS sont les trois principaux organismes internationaux fournisseurs de données toxicologiques, consultés dans toutes évaluations des risques pour la santé humaine.

Ainsi, sept substances détectées dans l'eau des émergences au cours de la première campagne ont fait l'objet d'analyses spécifiques complémentaires dans l'air au cours de seconde campagne. Trois de ces substances ont été retenues pour la suite de l'étude (cf. tableaux de synthèse ci-après).

Le déroulement de la démarche est reprise, de façon détaillée, en Annexe Q.

4. CONCLUSIONS DE L'ETAPE DE SELECTION DES SUBSTANCES

L'ensemble des substances ayant fait l'objet de la procédure de sélection est listé en Annexe Q. Les tableaux ci-après présentent les substances retenues (lors des première et deuxième campagnes d'analyses) pour faire l'objet de l'évaluation des risques sanitaires. On a également rassemblé dans ces tableaux les données toxicologiques utilisées pour leur sélection et pour l'évaluation des risques.

Des fiches ont été élaborées pour chacune des substances sélectionnées dans l'étape précédente. Ces fiches présentées en Annexe W donnent les effets que ces substances peuvent provoquer par voie respiratoire. En outre, les principaux organes cibles de chaque substance sont résumés, également dans l'Annexe W.

Les sources bibliographiques qui ont été consultées pour établir ces fiches sont les suivantes : INRS (fiches toxicologiques), USEPA (IRIS sous internet), ATSDR (Toxicological Profiles, CD Rom, 1997) et certains livres d'hygiène industrielle tels que le Lauwerys, le Patty's,...

Substances	Classification UE	Classification IARC	Classification USEPA	Excès de risque unitaire ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) ⁻¹
✓ Chlorure de vinyle Chloréthylène	R 45	1	A	$8.4 \cdot 10^{-5}$ (HEAST)
✓ Benzène	R 45	1	A	$2.2 \text{ à } 7.8 \cdot 10^{-6}$ (IRIS)
Formaldéhyde (formol)	R 40	2A	B1	$1.3 \cdot 10^{-5}$ (IRIS)
✓ Trichloroéthylène	R 40	2A		$1.7 \cdot 10^{-6}$ (Superfund health risk technical support center)
✓ Tétrachloroéthylène	R 40	2A		$5.8 \cdot 10^{-7}$ (Superfund health risk technical support center)
Trans 1,3- Dichloropropène		2B	B2	$3.7 \cdot 10^{-5}$ (HEAST)
✓ 1,2-Dichloroéthane	R 45	2 B	B2	$2.6 \cdot 10^{-5}$ (IRIS)
✓ Chloroforme		2B	B2	$2.3 \cdot 10^{-5}$ (IRIS)
✓ Tétrachlorure de carbone		2B	B2	$1.5 \cdot 10^{-5}$ (IRIS)
1,4-Dichlorobenzène		2B		$2.4 \cdot 10^{-2} \text{ (mg/kg/j)}^{-1}$ convertie en $6.86 \cdot 10^{-6}$ $(\mu\text{g}/\text{m}^3)^{-1}$ (HEAST)
Acétaldéhyde	R 40	2B	B2	$2.2 \cdot 10^{-6}$ (IRIS)
✓ 1,1-Dichloroéthylène	R 40		C	$5.0 \cdot 10^{-5}$ (IRIS)
✓ 1,1,2-Trichloroéthane		3	C	$1.6 \cdot 10^{-5}$ (IRIS)
1,4-Dioxane*		2B	B2	$1.1 \cdot 10^{-2} \text{ (mg/kg/j)}^{-1}$ convertie en $3.14 \cdot 10^{-6}$ $(\mu\text{g}/\text{m}^3)^{-1}$ (IRIS)

Classes de cancérogénicité et excès de risque unitaire pour les effets cancérigènes des substances sélectionnées pour leurs effets cancérigènes

* : Substance détectée dans l'eau des émergences lors de la première campagne, et retenue après la seconde campagne d'analyses dans l'air.

Substances	Concentration tolérable	Facteurs d'incertitude
Formaldéhyde	3 10 ⁻³ mg/m ³ (ATSDR)	30
Acétaldéhyde	9 10 ⁻³ mg/m ³ (IRIS)	1000
Chloroforme	10 ⁻² mg/m ³ (ATSDR)	100
Trichloroéthane (1,1,2)	4 10 ⁻³ mg/kg/j (IRIS) convertie en 1,4 10 ⁻² mg/m ³	1000
Chlorobenzène	2 10 ⁻² mg/m ³ (HEAST)	10000
Trans (1,3) dichloropropène	2. 10 ⁻² mg/m ³ (IRIS)	30
(1,1) Dichloroéthylène	9 10 ⁻³ mg/kg/j (IRIS) convertie en 3 10 ⁻² mg/m ³	1000
Cis (1,2) dichloroéthylène	10 ⁻² mg/kg/j (HEAST) convertie en 3.5 10 ⁻² mg/m ³	3000
Chlorure de vinyle	7.85 10 ⁻² mg/m ³ (ATSDR)	300
(1,2) Dichlorobenzène	0.2 mg/m ³ (HEAST)	1000
Tétrachlorure de carbone	0.3 mg/m ³ (ATSDR)	100
Toluène	0.4 mg/m ³ (IRIS)	300
Trichloroéthylène	0.546 mg/m ³ (ATSDR)	300
Ethyl-éther	0.2 mg/kg/j (IRIS) convertie en 0.7 mg/m ³	3000
(1,4) Dichlorobenzène	0.8 mg/m ³ (IRIS)	100
(1,2) Dichloréthane	0.886 mg/m ³ (ATSDR)	300
Cyclohexanone	5 mg/kg/j (IRIS) convertie en 17.5 mg/m ³	100
(1,1,1) Trichloroéthane	3.9 mg/m ³ (ATSDR)	
(ortho) Xylène	0.441 mg/m ³ (ATSDR)	
(méta) Xylène	0.441 mg/m ³ (ATSDR)	
(para) Xylène	0.441 mg/m ³ (ATSDR)	
Trans (1,2) Dichloroéthylène*	0.8 mg/m ³ (ATSDR)	
Méthylisobutylcétone*	8 10 ⁻² mg/kg/j (HEAST) convertie en 0.28 mg/m ³	3000

Concentration tolérable et facteurs d'incertitude de la relation dose-effet des substances sélectionnées pour leurs effets non cancérigènes

* : Substances détectées dans l'eau des émergences lors de la première campagne, et retenues après la seconde campagne d'analyses dans l'air.

5. POPULATIONS CIBLES

Différentes catégories de population ont été identifiées comme cibles pouvant être exposées aux émissions de polluants volatils depuis les émergences.

5.1 RIVERAINS

Trois villages entourent la zone des émergences : les villages de Saintines, de Béthisy Saint Pierre et le hameau de Vaucelles (situé sur la commune de Néry).

Le village de Saintines compte environ 860 habitants, Béthisy Saint Pierre : 3140 habitants et Vaucelles : 230 habitants (d'après les renseignements fournis oralement par les mairies) ; soit au total pour les trois villages 4220 habitants.

Il sera considéré que ces habitants sont exposés pendant 30 ans de leur vie, toute l'année et toute la journée à l'émission de substances volatiles par les émergences.

Remarque : Il est très courant dans les évaluations de risque pour des scénarios résidentiels de considérer des expositions de 30 années pour les résidents. De plus, l'apparition des émergences au niveau du site date des années 1970, soit il y a environ 30 ans.

Quelques habitations isolées du hameau de Vaucelles, situées entre la voie ferrée et la route départementale n°98 (à proximité des piézomètres F19 et F20) et les quelques habitations situées près du pont de l'Automne, sont plus proches de la zone des émergences que le reste de leur village respectif. Les résultats de la modélisation de la dispersion permettront de montrer si ces habitations sont exposées à une concentration en polluants plus importante que le reste des villages.

Quelques agriculteurs du village de Saintines (juste à l'entrée du village) et du hameau de Vaucelles (à proximité du chemin menant vers la carrière) cultivent des terres à proximité du site. Les résultats de la modélisation de la dispersion permettront de montrer si les zones où sont situés ces champs sont plus exposées que le reste des villages.

Lors de la visite du site, une activité de bucheronnage a été mise en évidence (présence de tas de bois) à proximité des émergences K et L (c'est à dire par rapport à la voie de chemin de fer du côté de Béthisy Saint Pierre). Les résultats de la modélisation de la dispersion permettront de montrer si la zone autour des émergences K et L est plus exposée que le reste des villages.

De même une exposition liée à la position de la rivière entraînant la présence de pêcheurs pourra être évaluée suite aux résultats de la modélisation de la dispersion atmosphérique des émissions des émergences.

Si ces 4 catégories de population ont une exposition différente de celles des riverains, elles seront considérées séparément de celle des habitants des villages.

5.2 VISITEURS OCCASIONNELS DE LA ZONE PROCHE DES EMERGENCES

Les émergences sont entourées de bois, où des personnes sont susceptibles de se promener, de jouer et de chasser (présence de cabane et de panneau "chasse réservée"). Les expositions pour ces catégories de populations seront donc évaluées.

5.2.1 Promeneurs

Il sera considéré que ces personnes se promènent toute l'année dans les bois (autour des émergences) durant 2 heures par semaine, pendant 30 ans.

Pour le calcul du risque collectif (risque cancérigène), il sera supposé que l'ensemble des habitants des 3 villages (Saintines, Vaucelles, Béthisy Saint Pierre) est susceptible de se promener dans les bois, c'est à dire 4220 personnes.

5.2.2 Enfants

L'exposition d'enfants âgés entre 6 et 15 ans (exposition pendant 10 ans) jouant dans les bois (à proximité des émergences), pendant 2 mois de l'année (les 2 mois de vacances d'été) 8 heures par jour sera considérée. Les enfants de moins de 6 ans ne sont pas considérés car nous avons jugé que ces derniers sont trop jeunes pour aller jouer dans les bois. Les enfants de plus de 15 ans ne sont pas considérés car nous avons jugé qu'ils sont trop âgés pour avoir de l'intérêt pour des jeux dans les bois.

Pour le calcul du risque collectif (risque cancérigène), il sera supposé que l'ensemble des enfants des 3 villages est susceptible de se promener dans les bois. C'est à dire (d'après les renseignements fournis oralement par les mairies), pour Saintines environ 130 enfants (6-15 ans), pour Vaucelles : 30 et Béthisy : 400, soit au total 560 enfants (âgés de 6-15 ans).

5.2.3 Chasseurs

L'exposition des chasseurs chassant dans les bois (à proximité des émergences), pendant 6 mois de l'année (durée de la période de la chasse), 8 heures par semaine (c'est à dire 1 jour par semaine), pendant 30 ans sera considérée.

Pour le calcul du risque collectif (risque cancérigène), il sera supposé que l'ensemble des chasseurs des 3 villages est susceptible de chasser dans les bois à proximité des émergences. C'est à dire (d'après les renseignements fournis oralement par les mairies), pour Saintines environ 10 chasseurs, pour Vaucelles : 10 et Béthisy : 40, soit au total une centaine de chasseurs.

5.3 TRAVAILLEURS

L'exposition des travailleurs susceptibles d'intervenir sur ou à proximité du site sera envisagée.

Différentes catégories de travailleurs peuvent avoir une activité sur ou à proximité du site :

1. Les travailleurs susceptibles d'intervenir dans les zones des émergences pour des travaux de terrassement ou de sondage : ces travailleurs sont susceptibles d'être en contact direct avec les émergences et les terres polluées (inhalation directe des polluants émis par les émergences et les terres quasiment sans dispersion).
2. Les travailleurs susceptibles d'intervenir sur la route départementale n°98 pour des travaux d'entretien des abords de la route (agents de la DDE de Crépy en Valois) ou de réparation de la route (entre autre, pour combler la source donnant en plein milieu de la route qui réapparaît régulièrement (pratiquement tous les ans)). Depuis quelques années, l'entreprise Meunier (de Chambly) est chargée par la DDE de Crépy en Valois de réparer cette route.

Remarques : Suite à l'enquête téléphonique réalisée auprès de la DDE de Crépy en Valois et des entreprises IRH, Gester, Sobesol, et Meunier, les seules personnes fréquentant le site et ses environs ayant indiqué avoir ressenti des effets sont des personnes de l'entreprise Meunier. Ainsi il y a environ huit ans, des personnes de cette entreprise chargées de combler la source au niveau du fossé (directement au niveau de l'écoulement de l'eau) ayant travaillé pendant pratiquement 2 semaines tous les jours ont ressenti de profonds picotements au niveau des yeux et des irritations au niveau de la gorge pendant les travaux (2 ouvriers sur les 4 ou 5 personnes présentes). Les symptômes se sont estompés dès qu'ils ont quitté le site. Depuis cette entreprise est retournée une autre fois sur le site, aucun incident ne s'est produit.

6. CALCUL DES EXPOSITIONS

6.1 LE PROBLEME NUMERIQUE

L'objet des calculs effectués est de modéliser la dispersion des polluants gazeux émis par les émergences d'eaux contaminées recensées sur le site de Néry-Saintines. Il s'agit ainsi d'en déduire une approximation des concentrations atmosphériques de manière à conduire une évaluation du risque pour les populations avoisinantes et/ou les populations fréquentant le site. Il faut donc estimer les concentrations annuelles moyennes que l'on peut s'attendre à rencontrer dans l'atmosphère à une certaine distance du site. Les caractéristiques du problème sont donc les suivantes :

- calcul à long terme,
- sources surfaciques (représentées par les émergences),
- prise en compte des expositions proches des sources.

Il est bien connu qu'à l'heure actuelle, aucun modèle ne donne de solution réellement satisfaisante à ce type de problème. En effet un calcul réellement rigoureux, avec prise en compte du relief et des obstacles éventuels nécessiterait la mise en œuvre de modèles complexes tridimensionnels avec un nombre de points de calcul suffisamment élevé pour être représentatif de la zone que l'on souhaite modéliser. Par contre la lourdeur associée à ces outils (en terme de temps de calcul) ne permet pas de les exploiter pour simuler un nombre important de situations afin d'avoir une idée précise des effets à long terme (intégration d'une rose des vents). Ils ne peuvent être utilisés que pour simuler une situation qui présente un intérêt très particulier dans l'ensemble de la problématique (conditions météorologiques très pénalisantes, détermination de l'influence réelle du relief...).

Une alternative est représentée par des modèles simplifiés. L'approche " box model " assimile le domaine de calcul à une boîte dans laquelle les niveaux de concentration sont supposés totalement homogènes. Les modèles gaussiens identifient le panache dispersé de polluant à une distribution gaussienne. Bien que de nombreuses précautions doivent être prises quant à l'interprétation des résultats obtenus avec ce dernier type de modèle dans la configuration qui nous occupe, nous avons choisi de le mettre en œuvre pour estimer les niveaux de concentration. La principale raison vient de la recherche de concentrations annuelles, et donc de la nécessité de pouvoir effectuer un nombre très important de calculs de manière à couvrir toute une année. De plus il est important d'ajouter que le modèle choisi correspond à une solution " standard " souvent rencontrée pour traiter des problèmes similaires.

6.2 DESCRIPTION DU MODELE NUMERIQUE

Le modèle gaussien assimile le panache dispersé à une distribution gaussienne, qui pour une source ponctuelle (typiquement une cheminée), a la forme suivante :

$$C(x,y,z;H) = \frac{Q}{2\pi u \sigma_y \sigma_z} \left(\exp\left(\frac{-y^2}{2\sigma_y^2}\right) \left[\exp\left(-\frac{(z-H)^2}{2\sigma_z^2}\right) + \exp\left(-\frac{(z+H)^2}{2\sigma_z^2}\right) \right] \right)$$

C est la concentration recherchée au point de coordonnées (x,y,z), Q est le débit de polluant, H est la hauteur réelle du rejet par rapport au sol, u est la vitesse de vent, et σ_y et σ_z les coefficients de dispersion associés au modèle. Ils ont été établis de manière empirique à partir de campagnes de mesures de référence effectuées il y a plusieurs dizaines d'années. Des formules de corrélation ont été extraites sur cette base, en fonction de caractéristiques basiques de site (rugosité, nature urbaine ou rurale) et de la météorologie (vitesse de vent et stabilité atmosphérique). De manière générale, les limites des modèles gaussiens sont bien connues:

- traitement des terrains relativement plats ou peu accidentés,
- non validation, par des mesures de référence, des coefficients de dispersion à une distance inférieure de 100m de la source,
- instabilité pour les vents faibles (présence de u au dénominateur dans la formule précédente).

En dépit de ces restrictions ces modèles gaussiens sont largement utilisés étant donné le faible coût de calcul représenté par le calcul de la concentration en un point. Il est possible de multiplier de manière importante le nombre de récepteurs et le nombre de situations météorologiques à prendre en compte, en conservant un temps de calcul raisonnable.

Une deuxième difficulté vient du traitement des sources surfaciques. D'une façon générale, la formule ci-dessus s'applique aux sources ponctuelles. Cependant différents codes ont été développés afin de s'adapter de façon spécifique aux sources surfaciques.

Le logiciel que nous avons adopté propose à notre sens la technique la plus cohérente pour effectuer cette généralisation : la source surfacique est considérée comme constituée d'une infinité de sources ponctuelles dont les contributions sont intégrées numériquement sur l'ensemble de la surface.

Le code utilisé pour réaliser les simulations est l'outil américain référencé par l'USEPA, ISCLT3. Il permet de traiter plusieurs sources de différente nature (ponctuelle et/ou surfacique), simultanément, et de calculer des moyennes annuelles de concentration à condition de lui fournir les données météorologiques adéquates. Le calcul des coefficients de dispersion repose sur des formules standards faisant intervenir la classification de la stabilité atmosphérique proposée par Pasquill. Il s'agit d'une méthode bien connue, qui caractérise la turbulence atmosphérique suivant 6 classes numérotées de A (très instable, favorisant fortement la dispersion) à F (très stable, représentative des situations d'inversion thermique et donc de la présence d'un couvercle qui "colle" les polluants près du sol). La classe D correspond à une situation courante dite "neutre". Le calcul de la hauteur réelle H pour les sources ponctuelles se fait suivant les formules de Briggs.

Enfin, la version utilisée de ISCLT3 ne permet pas de prendre en compte l'influence d'un relief accidenté lorsque des sources surfaciques sont considérées.

6.3 DESCRIPTION DES HYPOTHESES DE CALCUL ET DES DONNEES D'ENTREE

Etant donné le type de modèle utilisé dans cette étude, le but n'est pas de donner une valeur précise des niveaux de concentration que l'on peut attendre sur le site, mais plutôt une tendance et un ordre de grandeur, qui permettront d'appréhender les zones à risque et celles qui ne présentent aucun danger. Nous avons donc choisi de nous placer dans la mesure du possible dans des situations majorantes qui auront tendance à surestimer les niveaux de concentration. Cette contrainte a conditionné bon nombre de choix effectués au moment de la préparation des calculs, qui sont exposés ci-dessous.

6.3.1 Domaine de calcul et de site

Le domaine de calcul est une zone carrée de 2km*2km centrée sur le point référencé comme "puits" dans l'ensemble des cartes d'émission présentées dans les phases précédentes. Les récepteurs sont positionnés sur un quadrillage de cette zone avec un pas de 100 m. Les concentrations sont calculées au niveau du sol.

Le modèle ne pouvant prendre en compte le relief, nous avons considéré celui-ci comme quasiment plat. Cela ne s'avère pas réellement choquant étant donnée la configuration du site. En effet les émergences et les villages avoisinants sur lesquels se concentre l'évaluation de risques sont situés au creux d'une vallée assez large. Enfin une valeur de rugosité relativement importante (0,9 m) a été affectée à l'ensemble du domaine de manière à représenter la présence, très marquée, de la forêt.

6.3.2 Données météorologiques

Les données météorologiques considérées pour cette étude sont celles relevées sur la station locale de Creil. Nous avons choisi de traiter nous même les données tri-horaires sur l'année 1998 fournies sur la station de Creil pour la vitesse et direction de vent, et sur l'aéroport de Roissy pour la nébulosité. Ce dernier paramètre nous a permis grâce à des tables de correspondance de reconstituer le triplet (vitesse de vent, direction de vent, classe de stabilité) pour une année que nous considérerons comme représentative. L'analyse de ces triplets en données tri-horaire nous a permis d'extraire un certain nombre de situations météorologiques rencontrées dans l'année (1030 au total) et d'y affecter des fréquences d'occurrence.

Ces données nous permettent de constituer le fichier météorologique qui sera fourni au logiciel. Les fréquences d'occurrence serviront de poids dans la pondération des concentrations calculées pour chacune des situations météorologiques considérées.

6.3.3 Données d'émission

Afin de constituer le fichier d'émission, nous avons étudié les rapports émis lors des phases précédentes et présentant l'estimation des flux émis au niveau du site. Les résultats des deux campagnes de mesure (été et hiver) ont été analysés. Pour tous les calculs nous avons pris les débits qui correspondaient aux émissions les plus importantes pour respecter l'hypothèse de majoration que nous nous sommes fixée. Ainsi pour certaines substances, ce sont les résultats de la campagne d'hiver et pour d'autres ceux de la campagne d'été.

Les sources qui ont été retenues sont celles décrites et quantifiées dans la phase 3. Sept sources sont considérées. Etant donnée leur taille, seules deux d'entre elles sont traitées comme des sources surfaciques : les sources (E) et (F) correspondant respectivement aux points de mesure 20 et 1. Les autres sont assimilées à des sources ponctuelles correspondant à une cheminée émettant les polluants au niveau du sol, et de diamètre tel que la surface d'émission ainsi modélisée corresponde à peu près à la surface réelle de la source. Les zones d'émission ponctuelles sont donc les sources correspondant aux points de prélèvement 9, 7, 25, 18, 16. Nous avons suivi les regroupements de sources préconisés dans la phase 3.

Les hypothèses suivantes ont été retenues pour la conduite des calculs :

- Il est important de préciser que dans tous les cas, les dimensions des sources retenues correspondent aux valeurs maximales entre la campagne d'hiver et la campagne d'été.
- Le calcul de sources ponctuelles par ISCLT3 requiert une vitesse d'éjection (même si celle-ci est très faible). Nous en avons calculé une pour chacun des polluants en fonction de sa masse molaire et du débit émis.
- Le logiciel ne peut traiter que des sources surfaciques ayant la forme de rectangles. Nous nous sommes donc efforcés de redécouper les sources réelles de façon à obtenir des rectangles ayant une surface équivalente à celle mesurée sur le site.
- Les variations temporelles de surface des sources n'ont pas été prises en compte puisque seule l'hypothèse majorante a été retenue sur toute l'année.

Une fiche technique du modèle gaussien ISCLT3 est présentée en Annexe S.

6.4 RESULTATS OBTENUS

Les "moyennes annuelles" en concentrations atmosphériques ont ainsi été estimées pour chacun des polluants recensés sur le site.

Les cartographies en Annexe T présentent, pour chacun des polluants recensés sur le site, les concentrations dans l'air de la zone étudiée (zone carrée de 2km*2km centrée sur le point référencé comme « puits » dans l'ensemble des cartes d'émission).

6.5 DETERMINATION DES CONCENTRATIONS INHALEES

Les concentrations inhalées par les différentes catégories de population exposée aux substances émises par les émergences sont calculées à partir des concentrations dans l'air de la zone où leur exposition se produit, pondérée par leur fréquence d'exposition aux émissions des émergences.

Dans le calcul des risques cancérigènes, les concentrations inhalées par les populations sont moyennées sur la vie entière (70 ans) de ces populations, soit $CI = C_{air} * \frac{T}{70} * F$, avec

- CI Concentration inhalée (mg/m³)
- C_{air} Concentration dans l'air (mg/m³)
- T Durée d'exposition (an)
- F Fréquence d'exposition (-)

Dans le calcul des risques non cancérigènes, les concentrations inhalées par les populations sont moyennées sur la durée d'exposition de ces populations, soit $CI = C_{air} * F$.

Pour rappel, les fréquences et les durées d'exposition de chaque catégorie de populations sont présentées dans le tableau ci-dessous :

Population	Fréquence d'exposition (F)	Durée d'exposition
Riverains	365 j/an et 24 h/24 (F=1)	30 ans
Enfants	2 mois/an et 8 h/24 (F=2/12*8/24)	10 ans
Promeneurs	2 h/semaine (F=2/(7*24))	30 ans
Chasseurs	6 mois/an et 8 h/semaine (F=6/12*8/(7*24))	30 ans

Fréquence et durée d'exposition des populations exposées aux émissions des émergences

7. CARACTERISATION DES RISQUES

Rappel sur la quantification des risques

Le risque lié à l'effet cancérigène d'une substance est évalué à partir d'un Excès de Risque Individuel (ERI). L'ERI représente la probabilité d'occurrence que la cible développe l'effet associé à la substance pendant sa vie du fait de l'exposition considérée. Ce dernier est calculé en multipliant la dose journalière d'exposition par l'excès de risque unitaire ou la concentration inhalée (CI) par l'excès de risque unitaire par inhalation (ERUI). Dans le cadre de cette étude sur le site pollué de Néry-Saintines, seuls les risques liés à une voie d'exposition par inhalation sont évalués :

$ERI = CI_{vie\ entière} * ERUI$ (CI_{vie entière} : concentration inhalée moyennée sur la vie entière).

Un ERI_{global} est défini. Il est la somme des risques liés à chacune des substances cancérigènes du site. Il exprime la probabilité supplémentaire pour un individu de développer un cancer du fait de l'inhalation de polluants issus du site par rapport à la pollution et à l'exposition ubiquitaires.

L'Excès de Risque Collectif (ERC) représente le nombre de cas de cancer supplémentaire (par rapport au bruit de fond) qui pourra apparaître dans une population. Il est calculé en multipliant l'ERI_{global} par le nombre d'individus exposés.

Pour les effets non cancérogènes, la possibilité de survenue d'un effet toxique s'exprime par un indice de risque (IR). Ce dernier est calculé en divisant la dose journalière d'exposition par la dose journalière tolérable, ou la concentration inhalée (CI) par la concentration tolérable (CT). Dans le cadre de cette étude, sur le site pollué de Néry-Saintines, seuls les risques liés à une voie d'exposition par inhalation sont évalués :

$$IR = \frac{CI_{durée-d'exposition}}{CT}$$

(CI_{durée-d'exposition} : concentration inhalée moyennée sur la durée d'exposition).

Lorsque l'indice de risque est supérieur à 1, la possibilité d'apparition d'un effet toxique ne peut être exclue. De manière générale, cette possibilité apparaît d'autant plus forte que l'IR augmente. Mais ce degré de vraisemblance n'est pas linéaire par rapport à l'IR.

Les substances présentant les mêmes effets sur les mêmes organes par le même mécanisme d'action doivent voir leur indice de risque additionné. En première approche, le niveau de risque non cancérogène peut être calculé comme la somme des indices de risques liés à l'ensemble des substances aux effets non cancérogènes. Mais si la somme des indices de risque ainsi obtenue dépasse la valeur de 1, une approche plus circonstanciée doit être adoptée : consistant par exemple à n'additionner que les substances présentant les mêmes organes cibles.

Les cartographies des risques (cancérogène et non cancérogène) pour une exposition théorique continue sur site sont en Annexe U : la cartographie intitulée " ERI " représente le niveau de risque cancérogène, c'est à dire la somme des Excès de Risque Individuel des substances sélectionnées ayant des effets cancérogènes, la cartographie intitulée " IR 5 " représente le niveau de risque non cancérogène global, c'est à dire la somme des indices de risque de l'ensemble des substances sélectionnées ayant des effets non cancérogènes (non pondérés par les scénarios d'exposition).

7.1 RIVERAINS

7.1.1 Evaluation des niveaux de risque

Les évaluations de risque (cancérigène et non cancérigène) ont été réalisées en considérant les résultats du modèle gaussien ISCLT3.

Les excès de risque individuel liés à l'ensemble des substances cancérigènes ont été calculés. Les indices de risque calculés pour évaluer les niveaux de risque non cancérigène des différentes populations exposées sont des indices de risques globaux, c'est à dire que les risques liés à l'ensemble des substances ayant des effets non cancérigènes ont été sommés. Les résultats sont présentés dans le tableau ci-après :

Population	Risque cancérigène (ERI)	Risque non cancérigène (IR)
Riverains	$1.5 \cdot 10^{-6}$ (= $3.5 \cdot 10^{-6} \cdot 30/70$)	0.14

Risques cancérigènes et non cancérigènes des riverains évalués à partir des résultats du modèle gaussien

Remarque : Les calculs des indices de risque réalisés en ne sommant que les risques liés aux substances présentant les mêmes organes cibles montrent que les principaux organes cibles sont le système nerveux central et le foie (indices de risque les plus élevés).

L'ERI des riverains est inférieur à la limite de 10^{-5} considérée comme niveau de risque acceptable dans la circulaire du Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement du 10 décembre 1999 concernant les Principes de fixation des objectifs de réhabilitation des sites et sols pollués. En effet, il est mentionné dans cette circulaire que les objectifs de dépollution seront généralement basés sur ce niveau de risque de 10^{-5} .

L'indice de risque global (IR) des riverains est largement inférieur à 1.

L'excès de risque collectif des riverains est de 0.015. L'excès de risque collectif restant largement inférieur à 1, aucun cas de cancer attribuable à l'inhalation de polluants gazeux émis par les émergences d'eaux polluées du site de Néry-Saintines ne devrait être observé.

L'ERI et l'IR (de même pour l'ERC) pour les riverains correspondent à une exposition de 365 jours par an et 24 heures sur 24 à l'émission de polluants volatils par les émergences, cela revient donc à considérer que les riverains inhalent en continu cette concentration de polluants volatils.

D'après les résultats de la modélisation de la dispersion des substances effectuée par le modèle gaussien ISCLT3, les habitants des maisons situées près de la voie ferrée, des maisons situées près du pont de l'Automne ou les agriculteurs dont les champs sont à proximité des villages (entre les villages et la zone des émergences) sont exposés à la même concentration en polluants que les habitants des 3 villages, leurs niveaux de risque sont identiques.

7.1.2 Incertitudes liées à la détermination de l'exposition des populations

La dispersion des substances émises par les émergences dans l'atmosphère de la zone délimitée par les 3 villages (Saintines, Vaucelles et Béthisy Saint Pierre) a été calculée par le modèle gaussien ISCLT3. Ce modèle permet de réaliser des calculs à long terme, de considérer des sources surfaciques et de déterminer des concentrations en champ proche. Il permet de simuler un nombre important de situations afin d'avoir un ordre de grandeur précis des effets à long terme (intégrations des roses de vent) et de déterminer des concentrations annuelles. En outre, il permet de traiter des sources de natures différentes (surfacique et ponctuelle), ce qui a été réalisé dans le cadre de cette étude.

Les calculs de dispersion ont été conduits avec le souci de privilégier des hypothèses majorantes :

- les débits considérés pour tous les calculs (et pour tous les composés organiques retenus) correspondent aux émissions les plus importantes des 2 campagnes de mesures ;
- les dimensions des émergences ont été ajustées suivant que l'émission maximale concernait la première campagne ou la seconde campagne de mesures ;
- l'ensemble des émergences a été considéré, y compris les 2 supplémentaires (K et O+L) de la seconde campagne de mesures.

De plus, les valeurs des débits d'émission des substances organiques par les émergences ont été déterminées expérimentalement, à l'aide d'un caisson de simulation, dans des conditions majorantes (par exemple, température moyenne de 20°C) par rapport aux conditions réelles du site. Les valeurs des débits mesurés expérimentalement sont donc majorantes par rapport aux moyennes annuelles du site.

Les valeurs de concentrations calculées par le modèle gaussien ISCLT3 doivent être relativisées sachant les incertitudes qui entourent l'application de ce type de modèle. En particulier nous n'avons pas tenu compte du relief du site. Les valeurs des concentrations calculées par le modèle ne sont pas tout à fait fiables, et plus particulièrement, les niveaux de concentrations peuvent être mal évalués au niveau de la source (limites des modèles gaussiens sur la source).

Néanmoins, compte tenu de l'état de l'art, ce modèle est recommandé par l'US EPA (SSL, 1996) pour traiter les problèmes de dispersion depuis des sources surfaciques. Les zones d'influence du panache de polluants peuvent être considérées comme correctement calculées par le modèle.

C'est pourquoi, hormis dans la zone même des émergences, où les niveaux de concentrations peuvent être mal évalués par le modèle, il peut être considéré que les niveaux de concentration calculés par le modèle sont corrects. Ces calculs ont été utilisés pour évaluer les risques (cancérigène et non cancérigène) encourus par les habitants des 3 villages. Ils ont permis de montrer que, même en considérant que les riverains sont continuellement exposés par inhalation des polluants volatils émis par les émergences (365 jours par an et 24 heures sur 24), ce qui est très majorant par rapport à leur présence probable dans leur village, leur excès de risque individuel par inhalation est de l'ordre de 10^{-6} et leur indice de risque est très inférieur à 1.

Dans tous les cas, des hypothèses majorantes ont été considérées pour évaluer ces risques, le risque paraît donc acceptable, pour les riverains, selon les termes de la circulaire du 10 décembre 1999 du Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement.

7.2 PROMENEURS, ENFANTS ET CHASSEURS

7.2.1 Evaluation des niveaux de risque en considérant les résultats du modèle gaussien (ISCLT3) de dispersion

Les évaluations de risque (cancérigène et non cancérigène) ont été réalisées en considérant les résultats du modèle gaussien ISCLT3.

Les excès de risque individuel liés à l'ensemble des substances cancérigènes ont été calculés pour les différentes populations. Les indices de risque calculés pour évaluer les niveaux de risque non cancérigène des différentes populations exposées sont des indices de risques globaux, c'est à dire que les risques liés à l'ensemble des substances ayant des effets non cancérigènes ont été sommés. Les résultats sont présentés dans le Tableau ci-après.

Ces catégories de personnes ayant une activité dans les bois, sont susceptibles de passer du temps dans des zones assez proches des émergences. Il n'est pas possible de situer leur position exacte dans les bois par rapport aux émergences. Dans les résultats présentés dans le tableau ci-dessous, il est donc considéré que ces catégories de populations sont exposées à la concentration maximale, en polluants volatils issue de l'émission par les émergences, de l'ensemble de la zone considérée (zone carrée de 2 km * 2 km centrée sur le point référencé comme " puits " dans l'ensemble des cartes de la zone).

Population	Risque cancérigène (ERI)	Risque non cancérigène (IR)
Promeneurs	$2.7 \cdot 10^{-7}$	0,024
Chasseurs	$5.3 \cdot 10^{-7}$	0,047
Enfants	$4.2 \cdot 10^{-7}$	0,11

Risques cancérigènes et non cancérigènes des promeneurs, enfants et chasseurs évalués à partir des résultats du modèle gaussien

Remarque : Les calculs des indices de risque réalisés en ne sommant que les risques liés aux substances présentant les mêmes organes cibles montrent que les principaux organes cibles sont le système nerveux central et le foie (indices de risque les plus élevés).

Les ERI des différentes catégories de population sont inférieurs à la limite de 10^{-5} considérée comme niveau de risque acceptable dans la circulaire du Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement du 10 décembre 1999 concernant les Principes de fixation des objectifs de réhabilitation des sites et sols pollués. En effet, il est mentionné dans cette circulaire que les objectifs de dépollution seront généralement basés sur ce niveau de risque de 10^{-5} .

Les indices de risque globaux (IR) des différentes populations sont largement inférieurs à 1.

Les excès de risque collectif des promeneurs, chasseurs et enfants sont présentés dans le tableau ci-dessous :

Populations	Risque cancérigène : Excès de risque collectif
Promeneurs	$1.1 \cdot 10^{-3}$
Chasseurs	$5.3 \cdot 10^{-5}$
Enfants	$2.4 \cdot 10^{-4}$

Excès de risque collectif évalués à partir des résultats du modèle gaussien

L'excès de risque collectif restant largement inférieur à 1, aucun cas de cancer attribuable à l'inhalation de polluants gazeux émis par les émergences d'eaux polluées du site de Néry-Saintines ne devrait être observé dans ces populations.

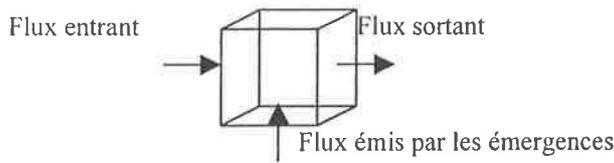
Incertitudes liées à cette approche

Les niveaux de concentrations évalués par le modèle gaussien de dispersion ISCLT3 sont corrects hormis dans la zone même des émergences. En effet, les concentrations calculées par le modèle gaussien ISCLT3 sont mal évaluées au niveau de la source ; les coefficients de dispersion utilisés par le modèle gaussien dans le calcul de la dispersion des substances étant mal adaptés pour une distance inférieure de 100 mètres de la source. Or, les cartographies présentées en Annexe U montrent que les sources ayant la plus grande influence sur les niveaux de risque sont les émergences 20, 19 et 1, c'est à dire les émergences situées à proximité du puits et à proximité des bois et de la route où les populations concernées (promeneurs, chasseurs, enfants et travailleurs) sont susceptibles d'avoir une activité. D'après les évaluations des risques réalisées pour les promeneurs, chasseurs, enfants et travailleurs à partir des calculs du modèle gaussien ISCLT3, le risque pour ces populations est faible. Mais l'incertitude du résultat étant importante et ne sachant pas si à une distance inférieure à 100 mètres, le modèle ISCLT3 tend à minorer ou à majorer le risque, nous avons également évalué les niveaux de risque pour les 3 catégories de population en considérant une dispersion verticale des substances émises par les émergences. Ceci peut être réalisé à partir d'un " box modèle ".

7.2.2 Evaluation des niveaux de risque en considérant les résultats de la dispersion par box modèle

L'approche de modélisation de la dispersion par box modèle est couramment utilisée en évaluation des risques pour les sols pollués, où les populations exposées sont habituellement à proximité des sources.

Le modèle de dispersion utilisé est un modèle simple représentant la dispersion du flux émis par les émergences dans une boîte située au-dessus des émergences, la personne considérée comme étant exposée étant au milieu de cette boîte. La concentration en polluants à l'intérieur de cette boîte est supposée être totalement homogène. La surface de la boîte est considérée comme étant égale à la surface de l'émergence.



$$V * \frac{dC}{dt} = S * q + C_0 * Q - C_f * Q$$

C : Concentration dans la boîte (g/m³)

C₀ : Concentration dans le flux entrant (g/m³)

C_f : Concentration dans le flux sortant (g/m³)

q : Flux émis par l'émergence (g/(s.m²))

Q : Débit d'air traversant la boîte (m³/s)

V : Volume de la boîte (m³)

S : Surface de l'émergence (m²)

Le débit d'air à travers la boîte est créée par le vent, c'est à dire Q=H*I*v, avec :

H : Hauteur de la boîte (m)

l : Dimension perpendiculaire à la direction du vent (m)

V : Vitesse du vent à la hauteur H (m/s)

La concentration est prise à l'équilibre (c'est à dire $\frac{dC}{dt} = 0$). Il est pris comme hypothèse

que la concentration en la substance dans le flux entrant (C₀) est nulle. La concentration dans le flux sortant (C_f) représente ce qui est inhalé par la personne "présente" dans la

boîte : $C_f = S * \frac{q}{Q}$.

S*q représente le flux surfacique (µg/h) d'émission par l'émergence.

Classiquement, on considère que la hauteur de la boîte est de 2 mètres.

Une dispersion par un vent très faible est considérée : 1 m/s à 10 mètres de hauteur. Afin de déterminer, la vitesse du vent à 2 mètres de hauteur la relation suivante est utilisée :

$$v = v_m * \left(\frac{z}{z_m} \right)^p$$

Avec

V_m : Vitesse du vent à la hauteur z_m

p : Facteur dépendant de la classe de stabilité et de l'environnement (rural ou urbain)

Pour une zone rurale de classe de stabilité D, la valeur de p est 0,15.

La vitesse du vent à 2 mètres de hauteur est donc de 0.79 m/s.

Le détail des calculs des concentrations est présenté en Annexe V.

Pour chaque substance, le flux surfacique d'émission par les émergences pris en compte est le flux maximal émis par les émergences : pendant 6 mois de l'année est considérée une exposition au flux maximal mesuré (sur les 5 émergences) pendant la première campagne de mesures et pendant les 6 autres mois de l'année est considérée une exposition au flux maximal mesuré (sur les 7 émergences) pendant la deuxième campagne de mesures.

Les émergences entraînant les flux surfaciques les plus élevés sont :

- dans la première campagne de mesures : selon les substances, les émergences (E), (M)+(N), (F), et la zone du drain ;
- dans la seconde campagne de mesures : selon les substances, les émergences (E), (M)+(N), (F), et la zone fossé RD98+voie SNCF.

Au flux surfacique émis par une émergence, a été associée la dimension perpendiculaire à la direction du vent de l'émergence.

Les formes des émergences n'étant pas régulières et la direction du vent n'étant pas forcément constante, il nous paraît difficile de donner une valeur précise à la dimension perpendiculaire au vent de chaque émergence, seul un intervalle de variation de valeurs (très étendu pour la plupart des émergences) peut être défini. C'est pourquoi, nous avons choisi d'évaluer les concentrations en substances dispersées dans l'air au-dessus des émergences en considérant les dimensions minimales et maximales des émergences (quelle que soit la direction du vent), la surface des émergences étant considérée comme constante.

Dans le tableau ci-dessous sont présentées les dimensions minimales et maximales des émergences.

en mètres	Dimension minimale	Dimension maximale
<i>1^{ère} campagne de mesures</i>		
(E)	10	80
(F)	30	80
(M)	4	10
(N)	2	10
(M)+(N)	2	10
Zone du drain	2	5
<i>2^{ème} campagne de mesures</i>		
(E)	10	100
(F)	10	50
(M)	5	20
(N)	10	15
(M)+(N)	5	20
Fossé RD 98 / voie SNCF	1	50

Dimensions des émergences

Dans le tableau ci-après sont présentées les résultats des évaluations des risques (cancérigène et non cancérigène) pour les différentes catégories de population à partir des calculs de dispersion par le box modèle pour les différentes dimensions des émergences présentées précédemment. Les indices de risque calculés pour évaluer les niveaux de risque non cancérigène des 3 populations exposées sont des indices de risques globaux, c'est à dire que les risques liés à l'ensemble des substances ayant des effets non cancérigènes ont été sommés.

	Dimension minimale	Dimension maximale
<i>Risque cancérigène global (ERI)</i>		
Promeneurs	$2.6 \cdot 10^{-5}$	$5.9 \cdot 10^{-6}$
Chasseurs	$5.2 \cdot 10^{-5}$	$1.2 \cdot 10^{-5}$
Enfants	$4.1 \cdot 10^{-5}$	$9.2 \cdot 10^{-6}$
<i>Risque non cancérigène global (IR)</i>		
Promeneurs	0.09	0.02
Chasseurs	0.2	0.03
Enfants	0.4	0.09

Risques cancérigène et non cancérigène des différentes catégories de populations évalués en fonction des différentes largeurs des émergences

Quelles que soient les valeurs des dimensions des émergences considérées, les indices de risques des différentes catégories de populations exposées sont inférieurs à 1.

En considérant les valeurs minimales des dimensions des émergences, les excès de risque individuels des différentes populations sont compris entre 10^{-5} et 10^{-4} , donc supérieurs à la limite considérée comme acceptable par la circulaire du Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement, mais inférieurs à la limite considérée par la circulaire comme inacceptable.

En considérant les valeurs maximales des dimensions des émergences, les ERI des différentes catégories de population sont inférieurs à la limite de 10^{-5} considérée comme niveau de risque acceptable dans la circulaire du Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement du 10 décembre 1999.

Incertitudes liées à l'approche de dispersion par le box modèle

La dispersion verticale des flux de substances émis par les émergences évaluée par un box modèle est une approche simplificatrice de la réalité, mais qui a été utilisée de manière aussi majorante que possible, dans la mesure où :

- Les flux de substances émis par les émergences, considérés pour les calculs de concentration, sont, pour les deux campagnes de mesures, les flux maximaux émis par les différentes émergences.

- La valeur des flux de polluants émis par les émergences a été déterminée de façon expérimentale, à l'aide d'un caisson de simulation. Les conditions expérimentales (température...) sont probablement majorantes par rapport à une situation réelle.
- Il est supposé que la concentration en polluants inhalée par les populations est la concentration qu'il y a au-dessus des émergences à une hauteur de 2 mètres. En fait, il est très peu probable que les cibles (promeneurs, chasseurs ou enfants) aillent au-dessus des émergences, au pire ils seront dans les bois à une distance de quelques mètres des émergences. Et à quelques mètres, la concentration en polluant sera légèrement moindre que ce qu'il y a au-dessus des émergences (dans les 2 cas une hauteur de respiration de 2 mètres est considérée). Donc à ce point de vue, l'approche a été quelque peu majorante.
- La vitesse du vent choisie est très faible (1 m/s à 10 mètres de hauteur), la dispersion est ainsi limitée et la concentration majorée. En effet, dans la région du site (rose des vents de Creil), la vitesse du vent varie entre 1 et 4 m/s.

Toutes ces hypothèses et valeurs de paramètres retenus tendent donc à majorer le risque.

Le box modèle est un modèle de dispersion très simplificateur de la réalité. Il est difficile d'évaluer où se situent les valeurs des concentrations qu'il calcule par rapport aux concentrations réelles présentes au-dessus des émergences du site. Son utilisation dans le cadre de l'évaluation des risques pour les promeneurs, chasseurs et enfants était nécessaire étant donné que l'approche par le modèle gaussien de dispersion ISCLT3 précédemment considérée ne nous permettaient pas de conclure. De plus, il n'était pas possible de remplacer l'utilisation du box modèle par des mesures expérimentales, sur site, dans l'air ambiant au-dessus des émergences. En effet, étant donné que les conditions environnementales (vent, température...) du site ont une influence très importante sur les mesures dans l'air, la reproductibilité des résultats serait difficile à assurer. De plus, le nombre très important de substances et leurs faibles niveaux de concentrations dans l'air ambiant autour des émergences rendent ce type d'analyses peu pertinents. C'est pourquoi, même en étant conscient des incertitudes qui entourent ce modèle, il ne nous était pas possible de nous affranchir de son utilisation.

C'est pourquoi, afin que les résultats du box modèle nous permettent de conclure sur les niveaux de risques encourus par les promeneurs, chasseurs et enfants, de nombreuses hypothèses majorantes ont été prises en compte. Par exemple, l'hypothèse suivante a été considérée : pour chacun des 6 mois de l'année, dans le choix des flux surfaciques à prendre en compte dans le calcul, pour chaque substance, l'émergence ayant le flux surfacique en cette même substance le plus élevé a été retenue. Cela revient à considérer que les populations sont au-dessus de l'émergence « 1 » pour être exposées à la substance « A », qu'elles sont au-dessus de l'émergence « 2 » pour être exposées à la substance « B ». C'est une approche évidemment théorique et majorante (les populations ne pouvant être exposées à plusieurs émergences assez éloignées l'une de l'autre en même temps). Le seul paramètre à ne pas avoir été pris d'office majorant est la dimension perpendiculaire au vent des émergences. Que les dimensions minimales ou maximales des émergences soient considérées, pour les 3 populations, les IR restent inférieurs à 1. Quant aux ERI des 3 populations, en considérant les valeurs maximales des dimensions des émergences, ils sont inférieurs à 10^{-5} , donc selon les termes de la circulaire dans des limites acceptables. Si les dimensions minimales des émergences sont considérées, les ERI des différentes populations sont de l'ordre de 5.10^{-5} , soient largement inférieurs à la limite de 10^{-4} , et donc dans un ordre de grandeur qui n'est pas inacceptable selon la circulaire.

Les niveaux de risque des populations restent donc dans des limites qui ne sont pas inacceptables, selon les termes de la circulaire, même en considérant un très grand nombre d'hypothèses majorantes et peu probables, et en particulier les valeurs minimales des dimensions perpendiculaires au vent des émergences (considérer que le vent est continuellement perpendiculaire aux dimensions minimales des émergences est une approche évidemment majorante mais aussi peu probable, puisque d'une part pour certaines des émergences, leur dimension minimale n'est pas dans la direction principale du vent et d'autre part la direction du vent n'étant pas constante, le vent ne sera pas constamment perpendiculaire à cette dimension minimale).

7.2.3 Incertitudes liées aux paramètres d'exposition

Le seul paramètre d'exposition intervenant dans les différentes évaluations des risques des différentes catégories de populations est le temps d'exposition des populations à l'inhalation des polluants volatils émis par les émergences.

Temps d'exposition

Promeneurs : il a été considéré que leur temps d'exposition à l'inhalation des polluants organiques émis par les émergences est de 2 heures par semaine.

Cette donnée dépend des habitudes individuelles des promeneurs, certains exerceront cette activité plusieurs fois par semaine, d'autres uniquement le week-end, d'autres seulement quelques fois par an... Dans l'évaluation des risques pour ces promeneurs, on considère qu'ils passent tout le temps de promenade dans la zone proche des émergences. Or ces promeneurs ne feront que passer dans cette zone, ils n'y resteront pas.

Considérer que les promeneurs sont 2h par semaine dans la zone à proximité des émergences est une approche tout à fait sécuritaire.

Chasseurs : il a été considéré que leur temps d'exposition à l'inhalation des polluants organiques émis par les émergences est de 8 heures par semaine, 6 mois de l'année.

En ce qui concerne les 6 mois de l'année, l'incertitude sur cette donnée est assez faible. En effet, selon les départements, la chasse est autorisée pendant 5 à 6 mois de l'année (en général, d'octobre à mars).

En ce qui concerne les 8 heures par semaine, l'incertitude sur cette donnée est plus importante. Comme pour les promeneurs, c'est une donnée individuelle. Elle correspond à une journée de chasse, dans la même zone, par semaine. Contrairement aux promeneurs, les chasseurs sont susceptibles de rester dans la même zone durant plusieurs heures. Lors de la visite du site, des panneaux « Chasse Gardée » ont été aperçus, la présence de chasseurs est donc confirmée. Une grande majorité des chasseurs exerceront cette activité uniquement le week-end, soit 1 ou 2 journées par semaine. La valeur de « 1 journée (8 heures) par semaine » a été considérée en partant du fait que même si les chasseurs chassent plusieurs jours par semaine, ils ne chasseront pas tous les jours dans la même zone, soit dans la zone critique à proximité des émergences pour l'étude menée.

Si l'on considère que ces chasseurs passent 2 journées (16 heures) par semaine à proximité des émergences, les risques qu'ils encourent sont alors multipliés par 2, par rapport à ceux évalués précédemment. Dans l'évaluation des risques qu'ils encourent menée à partir des résultats de dispersion par le box modèle, et pour une durée d'exposition de 16 heures par semaine le risque cancérigène serait alors de $2 \cdot 10^{-5}$. Soit un risque dépassant le seuil acceptable de 10^{-5} fixé par la circulaire, mais restant tout de même dans le même ordre de grandeur.

Enfants : il a été considéré que leur temps d'exposition à l'inhalation des polluants organiques émis par les émergences est de 8 heures par jour, 2 mois de l'année (et durant 10 ans).

En ce qui concerne les 10 ans d'exposition, cette donnée n'intervient que dans le calcul du risque cancérigène. Cette durée de 10 ans correspond au fait que ce sont les enfants âgés de 6 à 15 ans qui sont susceptibles d'aller jouer dans les bois. C'est une durée assez moyenne, quelques années supplémentaires sont individuellement possibles (au grand maximum 5 ans). En effet, il paraît peu vraisemblable que des enfants beaucoup plus jeunes ou beaucoup plus âgés aillent jouer dans les bois.

En ce qui concerne les 2 mois de l'année, ils correspondent au 2 mois de vacances d'été. Là encore, c'est une valeur moyenne et surtout une donnée individuelle. L'hiver, il est extrêmement peu probable que les enfants aillent jouer dans les bois. Par contre, lorsque le climat est meilleur, il est tout à fait possible que les enfants aillent également jouer dans les bois le week-end et pendant les vacances (de Pâques par exemple). 1 mois supplémentaire aurait pu être considéré.

En ce qui concerne les 8 heures par jour, l'incertitude sur cette donnée est faible. Il est probable que des enfants jouant dans les bois pendant des vacances passeront cette durée journalière dans la même zone (à construire des cabanes par exemple).

Si l'on considère que des enfants passent pendant 15 ans, 3 mois de l'année, 8 heures par jour à proximité des émergences, la valeur du risque cancérigène évalué à partir des résultats de dispersion par le box modèle, est d'environ $2 \cdot 10^{-5}$, soit un risque dépassant le seuil acceptable de 10^{-5} fixé par la circulaire, mais restant tout de même dans le même ordre de grandeur.

7.3 TRAVAILLEURS

La population des travailleurs susceptibles d'intervenir dans les zones des émergences pour réaliser des travaux de dépollution ou de sondage ou pour intervenir au niveau de la route RD98 est exposée de manière aiguë (au maximum quelques jours de travaux dans une vie) à l'inhalation de polluants volatils émis par les émergences. Conformément à ce qui a été proposé par l'INERIS en réponse à l'appel d'offre de l'ADEME, leurs possibles risques toxiques liés à leur exposition aiguë ne seront évalués que de manière qualitative en comparant, pour chaque polluant, sa concentration maximale mesurée dans l'air de balayage des émergences à ses valeurs limites d'exposition professionnelle (VLE et VME).

L'évaluation ne peut être que qualitative, puisque les concentrations en polluants auxquelles seront exposés, par inhalation, les travailleurs en effectuant leurs travaux de dépollution, terrassement, ou de sondage (c'est à dire en remuant les terres polluées) ou en réparant la route en comblant l'émergence qui réapparaît régulièrement au milieu de la route pourraient être assez différentes des concentrations mesurées expérimentalement dans l'air de balayage des émergences à l'aide d'un caisson de simulation.

Les valeurs limites d'exposition en milieu professionnel (VLE et VME) sont des valeurs indicatrices ou réglementaires utilisées dans la gestion des risques professionnels. Les VLE sont des valeurs limites d'exposition à court terme, mesurée sur une durée maximale de 15 minutes, en fonction de la nature du risque, des conditions de travail et des possibilités techniques de mesurage. Les VME sont des valeurs limites de moyenne d'exposition destinées à protéger les travailleurs des effets à terme, mesurées ou estimées sur la durée d'un poste de travail de 8 heures. La VME peut être dépassée sur de courtes périodes, sous réserve de ne pas dépasser la VLE, lorsqu'elle existe.

Pour chaque substance retenue lors de l'étape de sélection (aussi bien celles ayant des effets cancérigènes que celles ayant des effets non cancérigènes), la concentration maximale dans l'air de balayage des émergences mesurée lors des 2 campagnes de mesures (déterminée expérimentalement à l'aide du caisson de simulation) a été comparée à sa VLE et à sa VME. Les résultats sont présentés dans le tableau ci-après.

Substances	Cmax (mg/m ³)	VLE (mg/m ³)	VME (mg/m ³)
Chlorure de vinyle	0.0122	pdv	2,6
Benzène	1.62	pdv	16
Formaldéhyde (formol)	0.034	pdv	0,624
Trichloroéthylène	0.460	1080	405
Tétrachloroéthylène	0.001	pdv	335
Trans 1,3-Dichloropropène	0.0056	?	?
1,2-Dichloroéthane	2.6	pdv	40
Chloroforme	0.0616	250	25
Tétrachlorure de carbone	0.0038	60	12
1,4-Dichlorobenzène	0.0205	675	450
Acétaldéhyde	0.0133	pdv	180
1,1-Dichloroéthylène	4.0	pdv	20
1,1,2-Trichloroéthane	0.035	2500	1650
1,4 dioxane	0.0471	140	35
Chlorobenzène	0.430	pdv	47
Cis (1,2) dichloroéthylène	0.605	pdv	20
(1,2) Dichlorobenzène	0.041	300	pdv
Toluène	0.450	550	375
Ethyl-éther	38.670	1500	1200
Cyclohexanone	0.374	pdv	100
Xylène o	0.035	650	435
Xylène m	0.013	650	435
Xylène p	0.013	650	435
trans 1,2 dichloroethylene	0.480	pdv	20
methylisobutylcetone	0.035	pdv	205
1,1,1 trichloroethane	0.160	2000	650

(pdv : pas de valeur)

Comparaison des concentrations maximales mesurées dans l'air de balayage des émergences aux valeurs limites d'exposition professionnelle

Pour chaque substance, la concentration maximale mesurée expérimentalement dans l'air de balayage des émergences est largement inférieure à la VME et à la VLE.

Il est possible, cependant, que lors de travaux de terrassement par exemple, les ouvriers soient exposés à des concentrations plus importantes que celles indiquées. Le port d'un appareil de protection respiratoire apparaît donc nécessaires durant les travaux à proximité des émergences.

8. EVALUATION DES INCERTITUDES

8.1 INCERTITUDES LIEES A LA TOXICITE DES SUBSTANCES

8.1.1 Risque cancérigène

Dans les différentes évaluations du risque sanitaire lié à l'inhalation des polluants organiques volatils émis par les émergences, pour les différentes catégories de populations, l'essentiel du risque cancérigène est lié à deux substances : le 1, 1 dichlororéthylène et le 1, 2 dichloroéthane.

Dans l'évaluation du risque dans laquelle il est considéré que les concentrations inhalées en polluants par les différentes catégories de populations sont égales aux concentrations en polluants dispersés (dispersion calculée par le box modèle),

- 50 % du risque cancérigène est lié aux effets cancérigènes du 1, 1 dichlororéthylène,
- 40 % du risque cancérigène est lié aux effets cancérigènes du 1, 2 dichloroéthane.

Le 1, 1 dichloroéthylène est une substance dont les effets cancérigènes ont été classés en classe C par l'US EPA (IRIS, 1998), la classe C correspondant aux possibles cancérigènes pour l'homme (c'est à dire des substances, pour lesquelles, il n'existe pas de données chez l'homme et les connaissances sont limitées chez l'animal). Elle a été classée en C sur la base d'une étude menée chez des souris exposées à des concentrations de 10-25 ppm, 4-5 fois par semaine pendant 12 mois. Cette étude a montré une augmentation significative de l'adénocarcinome du rein chez les mâles, une augmentation des carcinomes mammaires chez la femelle et des adénomes pulmonaires chez les 2 sexes. D'autres études animales ont été réalisées, mais leurs résultats ne sont pas adéquats. Chez l'homme, une étude épidémiologique menée sur 138 salariés exposés au 1, 1 dichloroéthylène n'a pas montré d'association entre un effet cancérigène et l'exposition (étude inadéquate). L'excès de risque unitaire par inhalation du 1, 1 dichloroéthylène ($5 \cdot 10^{-5} (\mu\text{g}/\text{m}^3)^{-1}$) a été établi sur la base de la première étude chez les souris. Au niveau européen, le 1, 1 dichloroéthylène a été classé en troisième catégorie pour ses effets cancérigènes (R40 : possibilités d'effets irréversibles).

Le 1, 2 dichloroéthane une substance dont les effets cancérigènes ont été classés en classe B2 par l'US EPA (IRIS, 1991), la classe B2 correspondant au probable cancérigène pour l'homme (c'est à dire des substances, pour lesquelles, il existe des preuves suffisantes chez l'animal et des preuves non adéquates ou pas de preuve chez l'homme). Elle a été classée en B2 sur la base d'une étude menée chez des rats et des souris exposés par gavage pendant 78 semaines. Cette étude a permis d'observer une augmentation significative de cancers mammaires, utérins, gastriques et pulmonaires. Une exposition par inhalation chez des rats et des souris n'a pas permis d'observer une augmentation significative de l'incidence des tumeurs. L'excès de risque unitaire par inhalation du 1, 2 dichloroéthane ($2.6 \cdot 10^{-5} \mu\text{g}/\text{m}^3$) a été établi à partir de l'excès de risque unitaire par voie orale (lui-même établi sur la base de la première étude présentée ci-dessus).

Il est intéressant de noter que dans les différentes évaluations du risque menées pour les différentes catégories de populations en considérant différents niveaux de concentration inhalée, environ 50 % du risque cancérigène est lié à une substance évaluée par l'US EPA comme possible cancérigène pour l'homme (classe C) à partir d'une seule étude animale (dont les résultats sont significatifs mais pas confirmés par d'autres études), l'étude épidémiologique réalisée étant inadéquate pour évaluer le risque cancérigène pour l'homme de cette substance.

Il est bon de rappeler que les substances dont les effets cancérigènes sont classés en classe C auraient pu ne pas être retenues pour leurs effets cancérigènes, leurs preuves de cancérogénéicité étant assez limitées. Elles l'ont été par souci de précaution.

Il est aussi intéressant de noter que dans les différentes évaluations du risque menées pour les différentes catégories de populations en considérant différents niveaux de concentration inhalée, environ 40 % du risque cancérigène est lié à une substance : le 1, 2 dichloroéthane pour lequel l'étude réalisée chez l'animal exposé par inhalation n'a pas permis d'observer une augmentation significative de l'incidence des tumeurs. L'US EPA a néanmoins établi un excès de risque unitaire par inhalation à partir des études menées sur la voie orale, une étude ayant montré que les principaux métabolites dans l'urine des rats ayant ingéré et inhalé du 1, 2 dichloroéthane sont identiques et sont générés dans les mêmes quantités.

Donc environ 90% du risque cancérigène est lié à des substances dont la plausibilité de la cancérogénéicité par inhalation n'est pas pleinement affirmée.

Le fait que l'essentiel du risque soit lié au 1, 1 dichloroéthylène et au 1, 2 dichloroéthane est lié d'une part au fait que ces deux substances ont des concentrations très élevées dans l'air (beaucoup plus élevé que la majorité des autres substances) et d'autre part que leurs excès de risque unitaire par inhalation sont également parmi les plus élevés de ceux de l'ensemble des substances.

Dans l'évaluation du risque dans laquelle il est considéré que les concentrations inhalées en polluants par les différentes catégories de populations sont égales aux concentrations en polluants dispersés (dispersion calculée par un box modèle),

- 8 % du risque cancérigène est lié aux substances dont les effets cancérigènes sont classés en classe A (principalement le benzène),
- 1 % du risque cancérigène est lié aux substances dont les effets cancérigènes sont classés en classe B1 (formaldéhyde et trichloroéthylène),
- 41 % du risque cancérigène est lié aux substances dont les effets cancérigènes sont classés en classe B2 (principalement le 1,2 dichloroéthane),
- 50 % du risque cancérigène est lié aux substances dont les effets cancérigènes sont classés en classe C (principalement le 1, 1 dichloroéthylène).

Les substances cancérigènes certaines chez l'homme (classe A) représentent donc une faible part du risque total.

8.1.2 Risque non cancérigène

Dans les différentes évaluations du risque sanitaire lié à l'inhalation des polluants organiques volatils émis par les émergences, pour les différentes catégories de populations, l'essentiel du risque non cancérigène est lié à deux substances : le 1, 1 dichlororéthylène et l'éther (diéthyl éther).

Dans l'évaluation du risque dans laquelle il est considéré que les concentrations inhalées en polluants par les différentes catégories de populations sont égales aux concentrations en polluants dispersés (dispersion calculée par un box modèle),

- 70 % du risque non cancérigène est lié aux effets non cancérigènes du 1, 1 dichlororéthylène,
- 7 % du risque non cancérigène est lié aux effets non cancérigènes de l'éther.

Le 1, 1 dichloroéthylène est une substance dont les effets non cancérigènes par inhalation pour une exposition chronique ont été démontrés chez l'animal (effets sur le foie et sur le rein). Ni l'US EPA, ni l'ATSDR, ni l'OMS n'ont établi de concentration tolérable pour le 1, 1 dichloroéthylène. Les effets non cancérigènes de cette substance ayant été démontrés (en effet, l'ATSDR rapporte des observations chez l'homme et des études animales), nous avons réalisé une dérivation voie à voie pour dériver une concentration tolérable à partir de la dose journalière tolérable (voie orale) de l'US EPA (IRIS). Cette dose a été établie à partir d'une LOAEL déterminée par une étude chez le rat (avec un facteur de sécurité de 1000), la confiance de l'EPA dans leur valeur étant moyenne.

Ni l'US EPA, ni l'ATSDR, ni l'OMS n'ont établi de concentration tolérable pour l'éther. Une dérivation voie à voie a été réalisée pour dériver une concentration tolérable à partir de la dose journalière tolérable (voie orale) de l'US EPA (IRIS). Cette dose a été établie à partir d'une NOAEL déterminée par une étude chez le rat sur la base des effets critiques affectant la digestion et la nutrition (avec un facteur de sécurité de 3000), la confiance de l'EPA dans leur valeur étant faible. La dérivation voie à voie a été réalisée pour l'éther sans que nous ne disposions de preuves comme quoi cette substance a des effets toxiques par inhalation, au titre du principe de précaution (en effet, nous ne disposons pas de preuve non plus comme quoi cette substance n'a pas d'effets toxiques par inhalation). Mais il faut savoir que pendant de nombreuses années, l'éther a été utilisé en large quantité dans le domaine médical.

Donc environ 80% du risque non cancérigène est lié à deux substances pour lesquels aucun des principaux organismes internationaux que sont l'EPA, l'ATSDR et l'OMS n'ont établi de concentration tolérable pour la voie par inhalation.

Le fait que l'essentiel du risque soit lié au 1, 1 dichloroéthylène et à l'éther est lié :

- en ce qui concerne le 1, 1 dichloroéthylène, au fait que cette substance a une concentration très élevée dans l'air (beaucoup plus élevée que celle de la majorité des autres substances) et d'autre part que sa concentration tolérable (dérivée) est parmi les plus faibles de celles de l'ensemble des substances,
- en ce qui concerne l'éther, au fait que sa concentration dans l'air est vraiment très élevée par rapport à celles des autres polluants.

Dans l'évaluation du risque dans laquelle il est considéré que les concentrations inhalées en polluants par les différentes catégories de populations sont égales aux concentrations en polluants dispersés (dispersion calculée par un box modèle), l'ensemble des substances pour lesquelles une dérivation voie à voie a été utilisée pour établir une concentration tolérable représente environ 80 % du risque non cancérigène.

L'incertitude sur le risque évalué pour des substances pour lesquelles une dérivation voie à voie est nécessaire pour établir une concentration tolérable est plus grande que l'incertitude sur le risque évalué pour des substances pour lesquelles une concentration tolérable est disponible.

Mais, les dérivations voie à voie ont été réalisées pour ces substances, afin de ne pas négliger les risques non cancérigènes associés à une substance pour laquelle aucune concentration tolérable n'est disponible, au titre du principe de précaution. C'est une approche très précautionneuse, en effet, pour certaines substances, la dérivation voie à voie a été faite sans que ses effets non cancérigènes par inhalation n'aient été démontrés (par exemple, pour l'éther).

8.1.3 Substances pour lesquelles aucune information concernant leur toxicité ne figure dans les bases de données de l'US EPA, l'ATSDR et l'OMS

Parmi les substances détectées dans l'air de balayage des émergences lors des première et deuxième campagnes de mesures, certaines n'avaient pas fait l'objet d'évaluation (aucune information concernant leur toxicité) de la part de l'US EPA, l'ATSDR et l'OMS. Parmi ces substances que nous n'avons donc pu évaluer faute de données et dont les concentrations dans l'air de balayage des émergences ne sont pas négligeables, le diisopropyl éther, le tétrahydrofurane, et le benzène ont été évaluées par l'Union Européenne :

- Le diisopropyl éther n'a pas été classé dangereux pour la santé,
- Le tétrahydrofurane a été classé irritant pour les yeux et les voies respiratoires,
- Le benzène (pour ses effets non cancérigènes) a été classé comme toxique par inhalation (effets non cancérigènes).

Donc, à priori, de ces 3 substances non retenues, seul le benzène (pour ses effets non cancérigènes) a une toxicité non négligeable.

Le benzène a été détecté dans l'air à une concentration non négligeable ($88 \mu\text{g}/\text{m}^3$ lors de la première campagne de mesures et $1620 \mu\text{g}/\text{m}^3$ lors de la seconde campagne de mesures, en ce qui concerne les concentrations maximales détectées dans l'air de balayage des émergences). Le benzène a des effets non cancérigènes hématologiques, immunologiques et neurologiques par inhalation, le risque non cancérigène associé au benzène n'est donc a priori absolument pas négligeable, mais il n'est pas quantifiable étant donné qu'aucune relation dose/effet n'a été établie pour cette substance.

Dans les différentes évaluations des risques réalisées, le risque cancérigène des substances est beaucoup plus limitant en terme de concentrations acceptables dans l'environnement que le risque non cancérigène des polluants. C'est pourquoi le fait que les effets non cancérigènes du benzène ne puissent être considérés faute de données a sans doute une importance limitée sur l'évaluation des risques par inhalation des substances émises par les émergences pour les différentes populations.

8.2 INCERTITUDES LIEES A L'USAGE DU SITE ET A LA DEFINITION DES SCENARIOS

Jusqu'à présent, dans ce rapport, les risques ont été évalués séparément pour chaque catégorie de populations cibles (riverains, promeneurs, enfants...). Or, les enfants, les promeneurs et les chasseurs peuvent également être des riverains (c'est d'ailleurs, ce qui a été considéré dans les calculs des excès de risque collectif des différentes cibles). Les enfants peuvent également devenir, après leur enfance, des promeneurs ou des chasseurs.

C'est pourquoi, dans le calcul des risques cancérigènes, les 2 scénarios suivants doivent également être envisagés :

- Enfant+riverains+promeneur,
- Enfant+riverains+chasseur.

Dans les évaluations des risques liés à ces 2 scénarios d'exposition, dont les résultats sont présentés dans le tableau ci-dessous, les expositions des enfants, promeneurs et chasseurs ont été évaluées à partir des calculs de dispersion du box modèle (en utilisant les valeurs minimales des dimensions des émergences) et les expositions des riverains ont été évaluées à partir des calculs du modèle gaussien ISCLT3.

Scénarios	Risque cancérigène (ERI)
Enfant+riverains+promeneur	6.8 10 ⁻⁵
Enfant+riverains+chasseur	9.4 10 ⁻⁵

Risques cancérigène et non cancérigène pour les scénarios d'exposition enfant+riverains+promeneur et enfant+riverains+chasseur

Pour les 2 scénarios, les excès de risque individuel sont de l'ordre de 10⁻⁴ (légèrement inférieurs), les hypothèses considérées dans ces calculs étant majorantes (plus particulièrement dans les calculs du box modèle : notamment prise en compte des dimensions minimales des largeurs des émergences...).

Les enfants peuvent également être des riverains, c'est pourquoi dans le calcul des risques non cancérigènes, le scénario enfant +riverains est envisagé. L'indice de risque lié à ce scénario est de 0.54 (en considérant les résultats de la dispersion par le box modèle obtenus avec les dimensions minimales des émergences). Cet indice de risque est largement inférieur à 1.

9. CONCLUSION DE LA PHASE 5

Les risques sanitaires liés à l'inhalation des composés organiques volatils émis par les émergences d'eaux polluées du site de Néry-Saintines ont été évalués pour les différentes catégories de population susceptibles d'être exposées.

D'une façon générale, cette étude d'évaluation des risques sanitaires a été conduite en retenant, de façon systématique, les hypothèses les plus majorantes, en particulier :

- un grand nombre de substances ont été retenues pour faire l'objet de l'évaluation des risques,
- toutes les substances ayant été classées comme cancérigènes ont été retenues. Il se trouve que les cancérigènes certains et probables ne représentent qu'une faible partie du risque cancérigène global, alors que l'essentiel du risque cancérigène est lié à des substances dont les preuves de cancérogénicité sont faibles.
- Concernant les risques non cancérigènes, pour certaines substances, et en particulier de diéthyléther présent de façon majoritaire, aucun des principaux organismes internationaux que sont l'US EPA, l'ATSDR ou l'OMS n'a établi de concentration tolérable. Une dérivation voie à voie à partir des doses journalières tolérables a donc été effectuée, afin de ne pas négliger d'éventuels risques non cancérigènes associés à certaines substances, même si l'existence d'un effet par inhalation n'a pas toujours été démontrée.
- Dans les modélisations (par le modèle gaussien ou le box modèle) de dispersion des flux de polluants émanant des différentes zones, les flux maximaux de l'ensemble des émergences ont été retenus, et des vitesses de vent faible ont été prises en compte.

D'une façon générale, les risques cancérigènes se sont avérés plus limitants que les risques non cancérigènes pour les différentes catégories de populations qui doivent cependant faire l'objet de distinctions au niveau des conclusions :

- Pour ce qui concerne **les travailleurs** susceptibles d'intervenir directement sur la zone concernée par les émergences, la charge polluante des eaux justifie la nécessité d'appareils de protection respiratoire spécifiques.
- Pour **les promeneurs, chasseurs, et enfants**, les risques ont été évalués à partir d'un box modèle (permettant de simuler une dispersion verticale des substances), en considérant des hypothèses de modélisation majorantes. Ce modèle a permis de montrer qu'il n'y a pas de risque non cancérigène. Quant au risque cancérigène, les excès de risque individuels, pour les 3 catégories de population, dépassent la limite de 10^{-5} seulement dans les conditions les plus pénalisantes mais tout en restant inférieurs à 10^{-4} . (un risque supérieur à 10^{-4} étant considéré comme inacceptable par la circulaire Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement du 10 décembre 1999 concernant la fixation des objectifs de dépollution des sites contaminés).

- Pour ce qui concerne **les habitants des villages de Néry, Vaucelles et Béthisy Saint Pierre**, les risques ont été évalués à partir des calculs de dispersion réalisés par le modèle gaussien ISCLT3. Les niveaux de risques cancérigène et non cancérigène sont en deçà des limites que la circulaire du Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement du 10 décembre 1999 recommande pour la fixation des objectifs de dépollution des sites contaminés :
 - ◇ pour le risque non cancérigène des riverains, indice de risque largement inférieur à 1,
 - ◇ pour le risque cancérigène, Excès de Risque Individuel (ERI) nettement inférieur à 10^{-5} (un risque de 10^{-5} signifiant qu'une personne exposée durant la vie entière a une probabilité de 1 sur 100 000 de contracter un cancer lié à la pollution du site).

CONCLUSION GENERALE

Le site pollué orphelin de Néry-Saintines occupe une ancienne carrière de calcaire à 14 km au sud de la ville de Compiègne, dans l'Oise. Cette carrière a été creusée en bordure d'un plateau qui domine la vallée de l'Automne, affluent rive gauche de l'Oise. Sa superficie est d'environ 4 hectares.

De 1963 à 1972, l'ancienne carrière, dite de Vaucelles, a été utilisée en tant que centre de « traitement » et de stockage de déchets industriels spéciaux. Pendant cette période de 9 ans, des résidus chimiques très divers (solvants, dont solvants chlorés, hydrocarbures, etc...) ont été déversés ou enfouis dans deux fosses creusées dans le substratum calcaire.

Depuis l'arrêt de l'exploitation ce site est à l'origine d'une pollution importante de la nappe des sables liée à des phénomènes de transferts du stock de produits chimiques dans celle-ci. Compte-tenu de la topographie du site, les eaux polluées de la nappe émergent en plusieurs points de la vallée de l'Automne.

La mission confiée à l'INERIS par l'ADEME, concernant la réalisation d'un programme d'étude sur ce site pollué visait à évaluer l'impact sur la population des émanations de composés organiques volatils dans la vallée de l'Automne, sous forme d'une part de la caractérisation des odeurs, et d'autre part de l'analyse des risques pour la santé humaine.

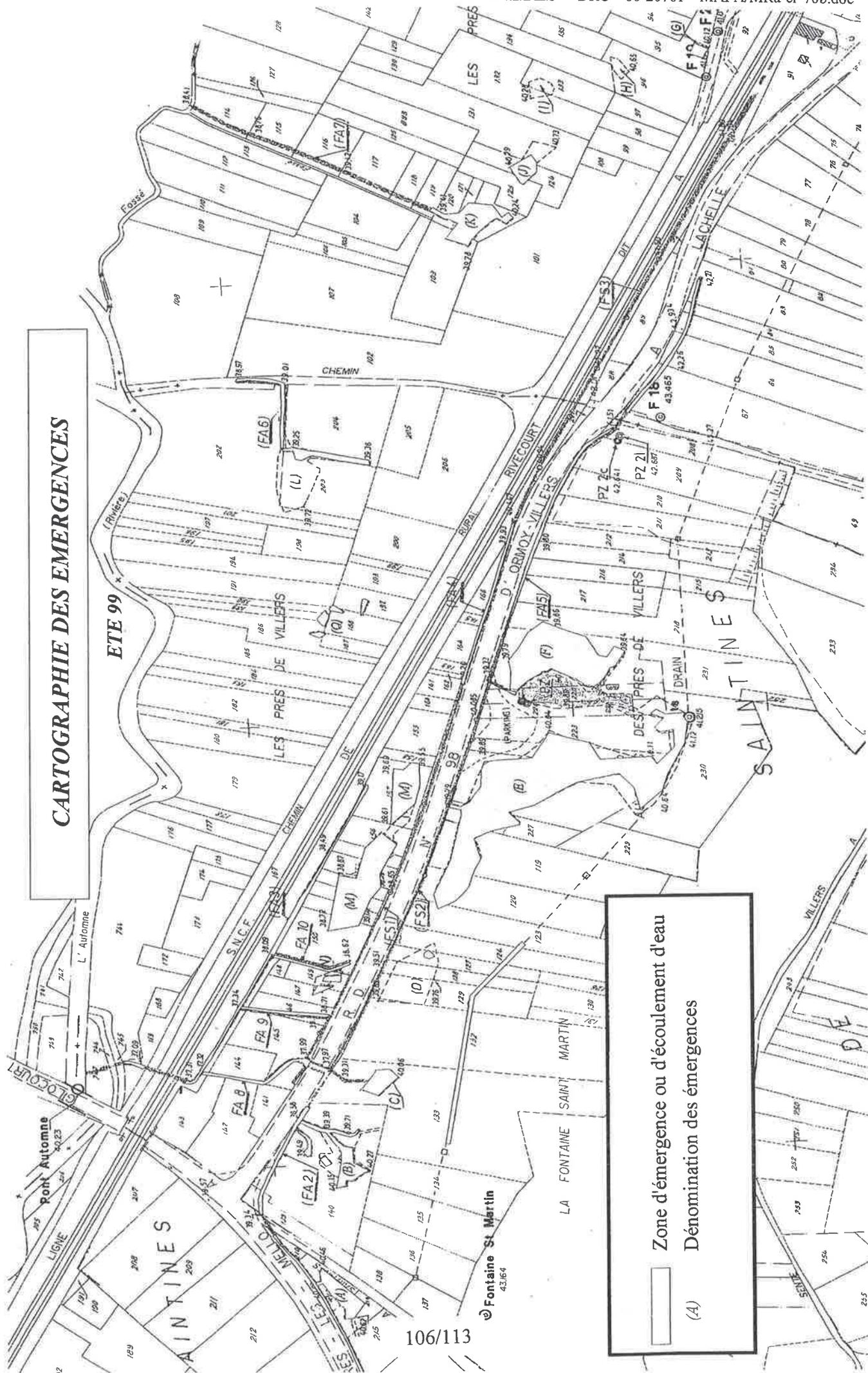
Ce programme d'étude a comporté les différentes phases suivantes :

Phase 1 : Localisation et étude des mécanismes de fonctionnement des émergences

Dans un premier temps, les études de cartographie et d'hydrologie ont permis d'apporter un certain nombre d'informations sur le système considéré et sur les phénomènes qui régissent la formation des émergences :

- La cartographie des émergences polluées : les différentes zones de la vallée de l'Automne concernées par la présence d'eaux polluées, susceptibles d'être à l'origine de dégagements de composés organiques volatils dans l'atmosphère ont été répertoriées, localisées et repérées dans l'espace, pour deux saisons différentes (les émergences provenant directement de la nappe polluée, mais aussi les fossés de drainage et d'écoulement des eaux vers l'Automne). On trouvera, ci-après, à titre d'illustration, la cartographie des émergences établie en juin 1999.

CARTOGRAPHIE DES EMERGENCES



ETE 99

LES PRES DE VILLERS

Fontaine St Martin
43.664

Zone d'urgence ou d'écoulement d'eau

(A) Dénomination des émergences

- Les mécanismes qui conduisent à la formation des émergences : l'ensemble des mesures piézométriques a permis de confirmer que l'on a bien affaire, dans la vallée de l'Automne, à deux nappes d'eaux souterraines distinctes, clairement identifiées, et en communication par drainance : la nappe des sables des alluvions, et la nappe de la tourbe.

La zone potentiellement émergente, c'est à dire la surface pour laquelle le niveau piézométrique de la nappe des sables est supérieur à la topographie, a été délimitée.

- La détermination des différents débits hydrauliques dans la vallée : les débits unitaires dans les fossés jouxtant les émergences ont été mesurés, ainsi le débit total rejoignant l'Automne est de l'ordre 180 l/min en hiver, et de l'ordre de 110 l/min en été. A partir de ces mesures, le débit spécifique d'alimentation des émergences par les eaux contaminées de la nappe des sables des alluvions a été estimé à environ 5 litre/jour/m² en juin contre 14 litres/jour/m² en février.

L'évaluation des apports d'eaux de ruissellement lors des épisodes pluvieux a confirmé que les émergences sont principalement alimentées par les eaux polluées de la nappe des sables des alluvions, les phénomènes de dilution par les eaux pluviales et de ruissellement étant négligeables, sauf pendant les épisodes pluvieux importants

Phase 2 : Identification et quantification des polluants organiques présents dans les eaux des émergences

L'objectif de cette phase analytique était d'identifier et de quantifier les composés organiques volatils présents dans les eaux émergentes situées dans la vallée de l'Automne et provenant de la nappe phréatique polluée, et de caractériser ainsi le potentiel émissif des émergences.

Ces analyses ont montré que globalement les eaux émergentes dans la vallée sont très chargées en composés organiques volatils avec comme principaux polluants mis en évidence et quantifiés : les éthers, le benzène, le monochlorure de vinyle (MVC), et les solvants chlorés, dont principalement le 1.1.dichloroéthylène.

Par ailleurs, il existe une grande hétérogénéité spatiale de la pollution des eaux émergentes dans la vallée : la zone la plus polluée paraît relativement délimitée au centre de la vallée, au niveau du parking situé sur la route RD 98, alors que les émergences situées aux extrémités Est et Ouest de la vallée présentent des potentiels d'émission bien moindre.

Phase 3 : Etude des dégagements gazeux de composés organiques volatils et des odeurs à partir des émergences

La quantification des émissions gazeuses provenant des émergences a consisté à établir les données suivantes :

- le débit d'émission spécifique (quantité de polluant par unité de surface et par unité de temps) de chaque composé organique présent dans les dégagements gazeux, pour les principales émergences,
- le débit d'émission d'odeurs associé à partir d'analyses sensorielles,
- les flux d'émissions correspondants (composés physico-chimiques et odeurs) compte tenu des surfaces d'échanges eaux/atmosphère concernées.

Les résultats se sont avérés cohérents avec ceux des analyses des COV dans les eaux, pour ce qui concerne d'une part les composés chimiques mis en évidence et leurs proportions, et d'autre part, les charges polluantes relatives des différentes zones.

Les principaux enseignements concernent d'une part la nature des polluants et l'importance de leurs émissions dans l'atmosphère, et d'autre part, la répartition géographique des émissions dans la vallée.

Ainsi, les principaux composés mis en évidence sont, par ordre d'importance :

- Les éthers : Il s'agit principalement du diéthyléther qui représente, de loin, le composé majoritaire dans les dégagements gazeux avec des niveaux de concentration de plusieurs dizaines de mg/m³ dans l'air de balayage de certains échantillons. Le diisopropyléther est également présent dans de fortes proportions.
- Les composés chlorés : Les émissions de composés chlorés sont également relativement importantes sur certains points. Elles sont constituées essentiellement de 1.1.dichloroéthylène, le 1.2. dichloroéthylène et de 1.2.dichloroéthane, et dans une moindre mesure, de trichloroéthylène et de trichloroéthane. Il convient de noter que les niveaux d'émission en monochlorure de vinyle se sont avérés relativement faibles par rapport aux autres OHV, si on les compare aux concentrations mesurées dans les eaux. Il s'agit cependant de valeurs à prendre en compte, en raison de la toxicité de ce composé.
- Les BTX : Les BTX représentent une part significative des émissions de COV. Cependant il s'agit, dans la majorité des cas, exclusivement de benzène qui doit être considéré comme un polluant caractéristique du site.
- Le tétrahydrofurane présente sur certains points des concentrations significatives, et représente, en particulier au niveau de l'émergence (E), située entre la route CD 98 et la carrière le composé majoritaire, après le diéthyléther.
- Les sulfures organiques : les analyses par spectrométrie de masse ont fait apparaître la présence de sulfures organiques, en traces, sur certains points de mesure. Ces composés sont à considérer comme des polluants importants du site, compte tenu de leur caractère très odorant.

Les analyses olfactométriques au niveau des sources, (mesures de facteurs de dilution au seuil de perception dans les dégagements gazeux des émergences) ont fait apparaître des concentrations d'odeurs relativement modérées, en cohérence avec les analyses physico-chimiques, pour ce qui concerne la répartition spatiale des sources odorantes. Les odeurs sont liées aux fortes concentrations d'éther et aux sulfures organiques, mais aussi aux différents composés chlorés qui ne sont pas des polluants malodorants, mais qui contribuent, en mélange, aux nuisances olfactives caractéristiques du site.

- La principale zone d'émergence située entre la route CD 98 et la carrière, correspondant aux émergences (E) et (F) représente la majorité des émissions de COV sur l'ensemble de la vallée, car elle associe les concentrations et les surfaces les plus importantes. Cette zone correspond également aux odeurs les plus fortes liées aux concentrations élevées d'éthers et à la présence de sulfures organiques.

- Les fossés d'écoulement des eaux captées situés entre la route CD 98 et la voie ferrée ainsi que la zone du drain, bien que très chargés en composés organiques volatils, en particulier diéthyléther, dichloroéthylène et surtout dichloroéthane au niveau du drain, ont une contribution moindre à l'ensemble des émissions du site, en raison de leur faible surface d'échange avec l'atmosphère.

Phase 4 : Impact olfactif des dégagements gazeux de composés organiques volatils provenant des émergences

A partir des différents enseignements issus de l'ensemble des investigations réalisées, les impacts des dégagements gazeux ont été appréhendés, d'une part en terme de nuisances olfactives, et d'autre part en terme de risques pour la santé des populations environnantes.

Sur le plan olfactif, l'impact au niveau des populations a été évalué à partir de campagnes de mesures par un « jury de nez » (experts en analyse sensorielle). dans l'environnement du site, aussi bien l'environnement proche qui concerne des lieux de passage ou les habitations les plus proches, que les zones riveraines comprenant les villages situés autour de la carrière.

Les résultats obtenus suite aux deux campagnes de mesures, réalisées en hiver et en été, montrent que le site est principalement caractérisé par des odeurs d'origine naturelle et urbaine, indépendamment de la saison. Les odeurs d'origine industrielle sont rares, tandis que les odeurs d'origine agricole, un peu plus fréquentes, sont localisées.

Les odeurs issues des émergences dues au site pollué orphelin de Néry-Saintines, sont ressenties, très localement, à proximité des émergences, plutôt sous la forme de bouffées, en conditions hivernales, et plutôt de façon continue, en conditions estivales, en particulier au niveau de la route RD 98 où les intensités sont les plus importantes, atteignant facilement le niveau fort de l'échelle de référence. Les points les plus éloignés des émergences où des odeurs ont été perçues se situent de chaque côté du pont de l'Automne.

Phase 5 : Impact sanitaire des dégagements gazeux de composés organiques volatils provenant des émergences

Les risques sur la santé liés à l'inhalation des composés organiques volatils émis par les émergences d'eaux polluées du site de Néry-Saintines ont été évalués pour les différentes catégories de population susceptibles d'être exposées, à partir d'une démarche classique d'évaluation des risques sanitaires qui comprenait les étapes suivantes, en retenant, de façon systématique, les hypothèses les plus majorantes, à chaque étape :

- un grand nombre de substances ont été retenues pour faire l'objet de l'évaluation des risques,
- toutes les substances ayant été classées comme cancérigènes ont été retenues. Il se trouve que les cancérigènes certains et probables ne représentent qu'une faible partie du risque cancérigène global, alors que l'essentiel du risque est lié à des substances dont les preuves de cancérogénicité sont faibles.
- Concernant les risques non cancérigènes, pour certaines substances, et en particulier de diéthyléther présent de façon majoritaire, aucun des principaux organismes internationaux de toxicité n'a établi de concentration tolérable. Une dérivation voie à voie à partir des doses journalières tolérables a donc été effectuée, afin de ne pas négliger d'éventuels risques non cancérigènes associés à certaines substances, même si l'existence d'un effet par inhalation n'a pas toujours été démontrée.

- Dans les modélisations (par le modèle gaussien ou le « box modèle ») de dispersion des flux de polluants émanant des différentes zones, les flux maximaux de l'ensemble des émergences ont été retenus, et des vitesses de vent faible ont été prises en compte.

D'une façon générale, les risques cancérigènes se sont avérés plus limitants que les risques non cancérigènes pour les différentes catégories de populations qui doivent cependant faire l'objet de distinctions au niveau des conclusions :

- Pour ce qui concerne **les travailleurs** susceptibles d'intervenir directement sur la zone concernée par les émergences, la charge polluante des eaux justifie la nécessité d'appareils de protection respiratoire spécifiques.
- Pour **les promeneurs, chasseurs, et enfants**, le niveau de risque non cancérigène est négligeable. Quant au risque cancérigène, les excès de risque individuels, pour les 3 catégories de population, dépassent la limite de 10^{-5} seulement dans les conditions les plus pénalisantes mais tout en restant inférieurs à 10^{-4} . (un risque supérieur à 10^{-4} étant considéré comme inacceptable par la circulaire du Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement du 10 décembre 1999 concernant la fixation des objectifs de dépollution des sites contaminés).
- Pour ce qui concerne **les habitants des villages de Néry, Vaucelles et Béthisy Saint Pierre**, les niveaux de risques cancérigène et non cancérigène sont en deçà des limites que la circulaire du Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement du 10 décembre 1999 recommande pour la fixation des objectifs de dépollution des sites contaminés :
 - ◇ pour le risque non cancérigène des riverains, indice de risque largement inférieur à 1,
 - ◇ pour le risque cancérigène, Excès de Risque Individuel (ERI) nettement inférieur à 10^{-5} (un risque de 10^{-5} signifiant qu'une personne exposée durant la vie entière a une probabilité de 1 sur 100 000 de contracter un cancer lié à la pollution du site).

LISTE DES ANNEXES

Repère	Désignation précise	Nb/N° pages
	PHASE 1	
A	Cartographie des fossés et émergences (Plans du Cabinet Farandeu)	2 plans A0
	Vues tridimensionnelles du secteur étudié	2 pages
	Plans de synthèse de la topographie, piézométrie à l'échelle de la carrière et au pied du coteau de Vaucelles	2 pages A3
B	Planches photographiques	10 pages
C	Coupes techniques des piézomètres	5 pages
	Compte rendu des essais de mesures de perméabilité	10 pages
D	Etude hydrologique	17 pages +annexes
E	Résultats des analyses dans les eaux souterraines Cartographie de la pollution des nappes dans la vallée de l'Automne	2 plans A3
F	Spectres de masse des eaux souterraines	37 pages
	PHASE 2	
G	Exemple d'une fiche de prélèvement d'eaux	2 pages
H	Tableaux des résultats d'analyses des COV dans l'eau des émergences	7 pages
I	Spectres de masse des eaux des émergences après extraction par stripping	6 pages
J	Spectres de masse des eaux des émergences après extraction au dichlorométhane	31 + 31
	PHASE 3	
K	Schéma de principe du dispositif pour l'étude des émissions gazeuses à partir des émergences	1 page
L	Résultats complets des analyses des COV dans les dégagements gazeux des émergences	17 pages
M	Spectres de masse dans les dégagements gazeux des émergences	10 pages
	PHASE 4	
N	Méthodologie de mesure de l'intensité odorante d'une atmosphère	6 pages
O	Résultats des mesures d'intensité odorante dans l'environnement des émergences	21 pages

Repère	Désignation précise	Nb/N°pages
	PHASE 5	
P	Critères de classification des substances cancérigènes	1 page
Q	Tableaux de sélection des substances Sélection des composés détectés dans l'eau des émergences	12 pages
R	Tableau de toxicité des substances selon la classification et l'étiquetage de l'Union Européenne	2 pages
S	Fiche technique de présentation du modèle Gaussien	2 pages
T	Cartographies des concentrations atmosphériques " moyennes annuelles " pour chacun des polluants recensés sur le site	
U	Cartographies des risques : " ERI » et " IR 5 "	2 pages
V	Détails des calculs des concentrations dans l'air ambiant à partir du Box-modèle	9 pages
W	Fiches toxicologiques des substances chimiques	38 pages

PERSONNES AYANT PARTICIPE A L'ETUDE

Travail	Nom	Qualité
Chef de projet	Martine RAMEL	Ingénieur DRC
Phase 1	Ferid BEN SLIMANE	Ingénieur DRS
Phase	Bruno TRIART	Technicien DRS
Phases 2-3	Martine RAMEL	Ingénieur DRC
	Vincent FUVEL	Technicien DRC
Analyses physico-chimiques	Roland DUJARDIN	Ingénieur DRC
	Martine GARDEDIEU	Technicienne DRC
Phase 4	Anne-Marie GOURONNEC	IPSN(SERAC/LECEV)
Phase 5	Sandra Lévêque	Ingénieur DRC
	Roseline BONNARD	Ingénieur DRC
Modélisation	Laurence ROUIL	Ingénieur DRC
Toxicologie	Annick PICHARD	Ingénieur DRC
Vérificateur	Rémi PERRET	Responsabilité Unité DRC
Approbateur	Michel NOMINE	Responsable scientifique DRC