



MINISTÈRE DE L'INDUSTRIE
ÉTABLISSEMENT PUBLIC FONCIER DE LA MÉTROPOLE
LORRAINE

Réhabilitation des friches industrielles de Lorraine

Étude de pré-faisabilité des travaux de
biotraitement
des pollutions rencontrées sur les sites des
cokeries de THIONVILLE (57) et MICHEVILLE (54)

Rapport final

Corinne CHAUSSIDON

30 Janvier 1990
R 30459 LOR 4S 90

MINISTERE DE L'INDUSTRIE
ETABLISSEMENT PUBLIC FONCIER DE LA METROPOLE LORRAINE
Réhabilitation des friches industrielles de Lorraine
Etude de pré-faisabilité des travaux de biotraitement des pollutions
rencontrées sur les sites des cokeries de
THONVILLE (57) et MICHEVILLE (54)
Rapport final

Corinne CHAUSSIDON - R 30459 LOR 4S 90

P R E A M B U L E

Cette étude à caractère méthodologique sur les techniques de biotraitement des sols pollués par des produits organiques a été financée pour moitié par le BUREAU DE RECHERCHES GEOLOGIQUES ET MINIERES (BRGM) dans le cadre de sa mission de Service Public et par l'Etablissement Public Foncier de la Métropole Lorraine (EPML).

MINISTERE DE L'INDUSTRIE
ETABLISSEMENT PUBLIC FONCIER DE LA METROPOLE LORRAINE
Réhabilitation des friches industrielles de Lorraine
Etude de pré-faisabilité des travaux de biotraitement des pollutions
rencontrées sur les sites des cokeries de
THIONVILLE (57) et MICHEVILLE (54)
Rapport final

Corinne CHAUSSIDON - R 30459 LOR 4S 90

R E S U M E

Dans le cadre de résorption de pollution rencontrée sur différents sites d'anciennes cokeries, l'ETABLISSEMENT PUBLIC FONCIER DE LA METROPOLE LORRAINE (EPML) a demandé au BUREAU DE RECHERCHES GEOLOGIQUES ET MINIERES (BRGM) - Service Géologique Régional Lorraine de réaliser une étude de faisabilité du traitement par biodégradation accélérée et de situer ce traitement par rapport aux autres techniques de dépollution dans le but de la revalorisation des sites de **THIONVILLE** et de **MICHEVILLE**.

Ces deux sites ont fait l'objet d'une campagne de prélèvements dans les zones qui avaient préalablement été reconnues comme polluées par des goudrons. Les échantillons (17 au total) ont été soumis à une analyse systématique de recherche de polluants : indice phénols, indice CH₂, CN totaux. Les échantillons les plus pollués (7 d'entre eux) ont été soumis à une analyse chimique détaillée. Des tests de lixiviation ont été effectués sur 2 échantillons de façon à tester l'activité bactérienne sur les lixiviats.

L'étude de la flore bactérienne et de son activité a été réalisée sur des échantillons de sols bruts et lixiviés. Cette étude montre que dans les échantillons lixiviés ou non, on observe des populations bactériennes (aérobies et anaérobies) et des propagules de champignons en nombre aussi important que dans les sols. Ces bactéries sont capables de se développer en utilisant les lixiviats comme source de carbone et peuvent donc biodégrader les substances polluantes.

La zonation de la pollution en hydrocarbures est, dans tous les cas analysés, associée à une pollution en phénols et/ou en métaux lourds ou en cyanures.

Le contexte géologique des deux sites est identique et répond au schéma suivant :

- remblais divers,
- alluvions récentes argileuses,
- alluvions anciennes graveleuses,
- marnes du Toarcien, altérées en tête sur 1 à 2,00 m environ, et compactes à très compactes en-dessous.

La nappe des alluvions anciennes est polluée au niveau de la cokerie de Thionville.

Les diverses solutions de traitement de la pollution ont été passées en revue :

- biodégradation,
- steam stripping,
- lessivage des sols,
- excavation : mise en décharge, incinération, stabilisation,
- confinement : paroi étanche, soil cover,

avec leur principe, leur mise en oeuvre et leur coût. Une analyse des avantages et des inconvénients de chaque traitement a été menée. La comparaison des diverses méthodes a abouti à une ou plusieurs solutions de traitement paraissant la(les) plus adéquate(s).

MINISTERE DE L'INDUSTRIE
ETABLISSEMENT PUBLIC FONCIER DE LA METROPOLE LORRAINE
Réhabilitation des friches industrielles de Lorraine
Etude de pré-faisabilité des travaux de biotraitement des pollutions
rencontrées sur les sites des cokeries de
THIONVILLE (57) et MICHEVILLE (54)
Rapport final

Corinne CHAUSSIDON - R 30459 LOR 4S 90

S O M M A I R E

	Page
1 - INTRODUCTION	10
1.1. Mission du BRGM	10
1.2. Rappels des objectifs	10
1.3. Les méthodes et les travaux réalisés	11
2 - ANALYSE DES GAZ IN-SITU	13
2.1. Rappel du principe et des résultats in-situ	13
2.2. Résultats de l'analyse fine des gaz au laboratoire	13
3 - ANALYSES CHIMIQUES DES ECHANTILLONS	16
3.1. Les analyses effectuées	16
3.2. Résultats de la première phase	16
3.3. Résultats de la deuxième phase	19
3.4. Choix des échantillons pour l'analyse de la microflore bactérienne	20
3.5. Résultats de la troisième phase	21
4 - ETUDE DES MICROFLORES BACTERIENNES	23
4.1. Objectif de l'étude	23
4.2. Matériel et méthodes	23
4.2.1. Choix des échantillons	
4.2.2. Méthodes d'analyse	
4.3. Résultats	25
4.3.1. Analyse et dénombrement de la microflore totale bactérienne et fongique	
4.3.2. Recherche et dénombrement de microorganismes qui se développent en biodégradant les produits présents dans les lixiviats. Test d'activité globale	
4.3.3. Identification des microorganismes considérés comme les plus représentatifs du milieu	

.../...

5 - ETAT DE POLLUTION DES SITES	34
5.1. Zonation de la pollution	34
5.1.1. Site de Micheville	
5.1.2. Site de Thionville	
5.2. Contexte hydrogéologique	36
5.2.1. Géologie	
5.2.2. Piézométrie	
6 - LA DEPOLLUTION DES SOLS PAR BIODEGRADATION ACCELEREE	38
6.1. Principe	38
6.2. Schéma de mise en oeuvre	39
6.3. Estimation des coûts	40
6.4. Modèle envisageable sur le site de Thionville	40
6.4.1. La pollution superficielle des remblais	
6.4.2. La pollution de la nappe	
7 - LES AUTRES SOLUTIONS DE TRAITEMENT DES SOLS POLLUES	42
7.1. Dépollution des sols sans excavation	42
7.1.1. Steam stripping	
7.1.2. Lessivage des sols pollués	
7.2. Dépollution des sols avec excavation	43
7.2.1. Mise en décharge	
7.2.2. Incinération	
7.2.3. Stabilisation	
7.3. Confinement de la pollution	45
7.3.1. Couverture étanche ou "soil cover"	
7.3.2. Barrières étanches	
7.4. Comparaison des différentes méthodes de traitement	46
8 - APPLICATION AU CAS DE MICHEVILLE ET THIONVILLE	46
8.1. Site de Micheville	46
8.2. Site de Thionville	46
8.2.1. Traitement des sols	
8.2.2. Traitement des eaux	
9 - CONCLUSION	49

MINISTERE DE L'INDUSTRIE
ETABLISSEMENT PUBLIC FONCIER DE LA METROPOLE LORRAINE
Réhabilitation des friches industrielles de Lorraine
Etude de pré-faisabilité des travaux de biotraitement des pollutions
rencontrées sur les sites des cokeries de
THONVILLE (57) et MICHEVILLE (54)
Rapport final

Corinne CHAUSSIDON - R 30459 LOR 4S 90

LISTE DES ANNEXES

- 1 - Résultats de la première phase d'analyse chimique. Analyse préliminaire.
- 2 - Résultats de la seconde phase d'analyse chimique. Identification des principaux polluants.
- 3 - Résultats de la troisième phase d'analyse chimique. Test de lixiviation.
- 4 - Analyse des eaux souterraines de Thionville.

MINISTERE DE L'INDUSTRIE
ETABLISSEMENT PUBLIC FONCIER DE LA METROPOLE LORRAINE
Réhabilitation des friches industrielles de Lorraine
Etude de pré-faisabilité des travaux de biotraitement des pollutions
rencontrées sur les sites des cokeries de
THONVILLE (57) et MICHEVILLE (54)
Rapport final

Corinne CHAUSSIDON - R 30459 LOR 4S 90

LISTE DES FIGURES ET DES TABLEAUX

- Figure 1 - Courbe de minéralisation du carbone des échantillons T3 et T7 en fonction du temps dans des dispositifs d'incubation en cuve fermée.
- Figure 2 - Localisation de la pollution sur le site de Thionville.
- Figure 3 - Localisation de la pollution sur le site de Micheville.
- Figure 4 - Piézométrie en étiage du site de Thionville
- Figure 5 - Schéma de principe d'une opération de traitement par biodégradation aérobie.
- Figure 6 - Modèle de biodégradation accélérée envisageable sur le site de Thionville.
- Figure 7 - Schéma de principe du stripping vapeur.
- Tableau 1 - Résultats des analyses de gaz au laboratoire.
- Tableau 2 - Valeurs indicatives de pollution des sols exprimées en mg/kg matières sèches (extrait de la norme des Hollandais).
- Tableau 3 - Analyse des échantillons choisis pour les tests de lixiviation.

Tableau 4 - Dénombrement des bactéries et des champignons dans les résidus de cokerie non lixiviés.

Tableau 5 - Dénombrement des bactéries et des champignons dans les résidus de cokerie après lixiviation.

Tableau 6 - Dénombrement des microorganismes se développant sur les lixiviats.

Tableau 7 - Quantité de carbone et d'azote minéralisés après 7 semaines d'incubation des échantillons bruts T7 et T3.

Tableau 8 - Dénombrement des bactéries aérobies formant des colonies et présentes dans les flacons en fin d'incubation.

Tableau 9 - Isolement et identification des bactéries provenant des résidus de cokerie ou de leur lixiviat.

Tableau 10 - Comparaison des différents modes de traitement des sols pollués d'anciennes cokeries.

1 - INTRODUCTION

1.1. Mission du BRGM

Dans le cadre de la réhabilitation des friches industrielles de Lorraine, l'EPML (Etablissement Public Foncier de la Métropole Lorraine) a confié au BRGM (Bureau de Recherches Géologiques et Minières) - Service Géologique Régional Lorraine une étude de faisabilité de biotraitement in-situ pour la résorption de la pollution des sites de cokerie et de situer ce traitement par rapport aux autres techniques de dépollution.

De nombreuses études déjà effectuées par le BRGM pour le compte de l'EPML, sur les possibilités de réutilisation de ces friches industrielles, ont montré que, dans la majorité des cas, les anciens sites de cokerie présentaient un degré de pollution important du sol et des eaux souterraines. Ces études réalisées jusqu'à présent n'ont été qu'un simple constat de pollution à la suite duquel il a été envisagé différents types d'intervention pour résorber ces nuisances.

Il est apparu que pour connaître la faisabilité de ces différents procédés, il était nécessaire de mieux connaître les polluants, leur répartition spatiale, leur évolution dans le temps et leur environnement pédologique.

La présente étude, objet de ce rapport, effectuée sur les sites de Micheville (54) et de Thionville (57), essaie de répondre à ces questions.

Ce rapport fait suite au rapport préliminaire n° 89 SGN 272 LOR auquel on se référera.

1.2. Rappel des objectifs

Le but de cette étude est triple :

1° Définir la nature des corps polluants : type de chaîne hydrocarbonée, etc...

2° Etudier la flore bactérienne en faisant un état des bactéries existantes susceptibles d'être activées, en vue de la dégradation des molécules d'hydrocarbures présentes dans les zones polluées et en mettant en évidence les produits qui pourraient entraver ou bloquer le processus de dégradation.

3° Estimer la faisabilité technique et économique du procédé de biotraitement in-situ et de le comparer aux autres techniques.

1.3. Les méthodes et les travaux réalisés

Sur chacun des deux sites il a été réalisé une série d'une dizaine de sondages à la pelle mécanique, de 3,50 m de profondeur environ quand cela était possible (arrêt sur niveau de crasse noire prise en masse). L'emplacement de ces sondages a été déterminé en fonction des études préliminaires ou en fonction de la campagne d'analyse des gaz (CO₂, CH₄) effectuée sur les sites en Janvier 1989.

Des échantillons ont été prélevés dans ces sondages à différentes profondeurs et dans les zones qui apparaissent visuellement les plus polluées : présence de goudrons ou d'hydrocarbures, odeur forte de H₂S. Sur les sites de Micheville et de Thionville, il a été prélevé respectivement 6 et 11 échantillons référencés, en mentionnant la profondeur par rapport au sol, comme suit :

Site de Micheville

Mi 1 - 0,5 m
Mi 3 - 0,2 m
Mi 3 - 0,5 m
Mi 6 - 1,0 m
Mi 7 - 0,2 m
Mi 9 - 0,2 m

Site de Thionville

T5 - 0,5 m T3 - 2,5 m
T7 - 0,5 m T3bis - 1,5 m
T1 - 0,8 m T3bis - 2,0 m
T3 - 0,5 m T5 - 1,2 m
T3 - 1,2 m T6 - 0,5 m
T3 - 1,7 m

Les plans des essais et les coupes des sondages sont en annexes 1 et 2 du rapport préliminaire n° 89 SGN 272 LOR.

L'ensemble de ces échantillons a été soumis à une analyse systématique de recherche de polluants de façon à avoir un échantillonnage représentatif.

Après définition des différentes classes de pollution, il a été réalisé sur des représentants de chaque classe une identification plus précise des polluants, ce qui a permis de définir précisément la nature des hydrocarbures et des phénols présents sur le site.

Des essais de lixiviation ont été réalisés sur les deux échantillons les plus pollués.

L'étude de la flore bactérienne et de son activité possible a été réalisée sur des échantillons de sols bruts lixiviés et sur culture à partir du lixiviat.

Les analyses chimiques de sols et de lixiviats ont été réalisées à l'Institut de Recherche Hydrologique de Nancy.

Les études sur la flore bactérienne du sol ont été réalisées par le Laboratoire de Pédologie du CNRS de Nancy.

2 - ANALYSE DES GAZ IN-SITU

2.1. Rappel du principe et des résultats in-situ

Les gaz du sol ont été prélevés à une profondeur comprise entre 0,30 et 0,50 m à l'aide d'une canne métallique enfoncée dans le sol. Ces gaz ont été pompés et analysés in-situ par chromatographie en phase gazeuse à l'aide d'un appareil de terrain.

Les détails du protocole expérimental et des résultats obtenus sont dans le rapport préliminaire n° 89 SGN 272 LOR (§ 3.2.).

Sur le site de Thionville, il n'a pas été trouvé de méthane. Les teneurs en CO₂ mesurées sont généralement faibles et inférieures à 0,5 % en volume. Des prélèvements sur le profil n° 2 ont été réalisés de façon à obtenir une analyse complète des gaz au laboratoire d'Orléans : échantillon P2 (2) et P2 (7).

Sur le site de Micheville, le méthane n'est également pas présent. Des anomalies en CO₂ ont été observées sur le profil n° 1, des échantillons de gaz ont été prélevés pour analyse complète au laboratoire : échantillon P1 (5) et P1 (9).

2.2. Résultats de l'analyse fine des gaz au laboratoire

L'analyse fine des 4 prélèvements a porté sur 13 gaz différents. Les résultats sont reportés dans le tableau ci-après. Il s'agit de concentration exprimée en % volume.

Tableau 1 - Résultats des analyses de gaz au laboratoire

	THIONVILLE		MICHEVILLE		air %
	P2 (2) %	P2 (7) %	P1 (5) %	P1 (9) %	
CO2	1,71	1,22	0,95	1,89	0,034
Ar	0,93	0,904	0,898	0,92	0,93
O2	17,4	19,2	19,9	18,6	20,95
N2	79,9	78,4	78,2	78,8	78,08
He	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	0,00052
H2	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,00005
H2S	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	-
CH4	<0,0003	<0,0007	<0,0003	0,0003	0,0002
C2 H6	<0,0003	<0,0004	<0,0007	<0,0007	-
C3 H8	<0,0003	<0,0003	<0,0004	<0,0004	-
C3 H10	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003	-
C5 H12	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003	-
C6 H14	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003	-

Incertitude relative sur la mesure : 2,0 % pour tous les gaz

5,0 % pour H2 et He.

Le degré de pollution des sols, par l'intermédiaire des prélèvements gazeux, est déterminé par référence à la concentration des principaux gaz de l'air : azote (N₂), oxygène (O₂), argon (Ar), dioxyde de carbone (CO₂) et méthane (CH₄).

Dans les 4 prélèvements analysés, la concentration de CO₂ est faible : elle est de l'ordre de 1 à 2 %, à peine plus élevée que la teneur naturelle des sols qui est de 0,5 %. Cependant, cette élévation de la concentration en dioxyde de carbone s'accompagne d'une diminution de la concentration d'oxygène par rapport à l'air. Il y a donc consommation d'oxygène et formation de CO₂, ce qui se traduit par une activité de la matière organique dans le sol.

Les 4 points de prélèvements correspondent à des zones où l'activité biologique est la plus importante.

Les concentrations en méthane et en H₂S restent faibles. Ceci signifie que toute l'activité biologique se transforme en CO₂.

De même, il n'y a pas de formation d'hydrogène ni d'hélium.

3 - ANALYSE CHIMIQUE DES ECHANTILLONS

3.1. Les analyses effectuées

L'analyse des échantillons prélevés dans les sondages à la pelle mécanique s'est déroulée en 3 phases successives.

Dans un premier temps, l'ensemble des 17 échantillons a été soumis à une recherche systématique des polluants : indice phénol, indice CH₂, cyanure total.

Dans un deuxième temps, les échantillons les plus représentatifs de la pollution du site ont été soumis à une identification précise des polluants organiques (solvants polycycliques aromatiques, composés monocycliques aromatiques volatiles) et minéraux (métaux lourds, cyanures, sulfures...).

Cette série d'analyses a porté sur 7 échantillons (3 du site de Micheville et 4 du site de Thionville).

Dans un troisième temps, 2 échantillons ont été soumis à une lixiviation complète (d'après le protocole défini dans la norme AFNOR X 31-210) avec analyse du matériau brut avant lixiviation et analyse du lixiviat après chaque extraction.

3.2. Résultats de la première phase

Le tableau des résultats d'analyse chimique systématique des 17 échantillons est reporté en annexe 1 du présent rapport.

La comparaison des résultats avec la norme des Hollandais ou la réglementation canadienne, dont le tableau des principales valeurs est reporté ci-après, permet, à défaut de réglementation française, de se fixer une idée de la pollution des sites.

* Site de MICHEVILLE

L'échantillon Mi 9 - 0,2 m présente une teneur en phénols élevée et les échantillons Mi 6 - 1,0 m et Mi7 - 0,2 m ont des teneurs en cyanures fortes. Ces échantillons ont été prélevés près du parc brise fonte, du hangar à briques et du magasin à sulfates. Deux d'entre eux (Mi 9 et Mi 7) ont également des valeurs d'indice CH₂, indicateur de présence de composés organiques, supérieurs à 100 mg/kg de matières brutes ; ce qui peut paraître élevé compte-tenu des valeurs généralement admissibles pour les composés organiques dans ces normes.

* Site de THIONVILLE

La pollution de ce site apparaît nettement aux points de prélèvement T3, T3 bis, T6 et T7. Les échantillons présentent des teneurs élevées en phénols (sauf T3 bis dont les concentrations en phénols sont de l'ordre de 4 mg/kg de matières brutes), en cyanures (sauf pour T7) et en composés organiques car les valeurs des indices CH₂ sont très élevées : elles sont supérieures à 2000 mg/kg matières brutes pour les échantillons T3 et T3 bis. Ces valeurs sont d'ailleurs en relation avec l'anomalie de gaz observée.

Dans les deux sites, la teneur en soufre total est toujours très élevée (en général, supérieure à 1 g/kg matière sèche).

	C1	C2	C3
<u>Métaux</u>			
Cr	100 (*75)	250	800
Ni	50	100	500
Cu	50	100	500
Zn	200	500	3000
	*100	*500	*1500
Cd	1 (*1,5)	5	20
Pb	50	150 (*200)	600
<u>Composés inorganiques</u>			
NH ou N	-	-	-
F total	200	400	2000
CN total	5	50	500
S total	2	20	200
	*500	*1000	*2000
<u>Composés volatiles aromatiques monocycliques</u>			
benzène	0,01(*0,1)	0,5	5
toluène	0,05(*0,1)	3	30
xylène	0,05(*0,1)	5	50
styrène	0,1	5	50
<u>Composés phénoliques</u>			
phénols	0,02(*0,1)	1	10
composés non chlorés (pour chaque élément)	*0,1	*1	*10

Tableau 2 - Valeurs indicatives de pollution des sols, exprimées en mg/kg matière sèche. Extrait des "Normes hollandaises".

C1 : concentration optimale en élément dans le sol n'entraînant aucun risque et pour laquelle on peut considérer qu'il n'y a pas de pollution.

C2 : concentration admissible en élément dans le sol pour laquelle les risques de pollution sont "acceptables".

C3 : concentration limite en élément dans le sol au-delà de laquelle le sol est considéré comme pollué et des mesures d'isolation ou de dépollution doivent être envisagées selon l'utilisation future du site.

* d'après les critères de contamination des sols du Ministère de l'Environnement du Québec, version du 15.02.1988.

*** Choix des échantillons pour la deuxième phase d'analyse**

Etant donné les teneurs élevées en un ou plusieurs composés polluants de certains échantillons, 7 d'entre eux ont été choisis pour une analyse plus complète. Il s'agit des échantillons :

Mi 6 - 1,0 m	}	pour le site de Micheville
Mi 7 - 0,2 m		
Mi 9 - 0,2 m		

T7 - 0,5 m	}	pour le site de Thionville
T3 - 1,7 m		
T3bis - 1,5 et 2,0 m		
T6 - 0,5 m		

Remarques : les échantillons T3bis 1,5 et 2,0 m ont été préalablement mélangés et homogénéisés.

3.3. Résultats de la deuxième phase

Le tableau des résultats d'analyse chimique soumis à une identification précise des polluants organiques et minéraux est reporté en annexe 2 du présent rapport.

Tout comme pour la première phase d'analyse, la comparaison des résultats obtenus avec la norme des Hollandais ou des Canadiens, dont le tableau des principales valeurs est reporté ci-avant, permet d'identifier la pollution des sites.

*** Site de MICHEVILLE**

Les échantillons prélevés sur le site présentent une pollution en métaux lourds du type Cadmium et Plomb. Seuls les échantillons prélevés près du parc brise fonte (échantillon Mi 6) et près du magasin à sulfates (échantillon Mi 9) présentent cette pollution. Bien que les échantillons Mi 7 et Mi 9 aient été prélevés dans des remblais présentant des traces de goudron ou de bitume et que l'indice CH2 de ces échantillons mesurés au cours de la première phase d'analyse soit supérieur à 100 mg/kg matière sèche, la teneur en solvants organiques ou en composés phénolés est toujours faible. Cette teneur en CH2

est due à des huiles lourdes dont la composition exacte est difficilement déterminable, résultant de l'activité annexe liée au site.

*** Site de THIONVILLE**

La pollution du site en métaux lourds et en composants organiques est très importante. Les teneurs en Cadmium, Cuivre, Plomb et Zinc sont très supérieures aux concentrations limites définies dans la "norme des Hollandais", notamment aux points de prélèvement T3, T6 et T3bis. Seul l'échantillon T3bis présente une pollution en Nickel. Le chrome est généralement présent en des concentrations acceptables.

Quant à la pollution par les solvants organiques, les échantillons T7 et surtout T3 présentent des concentrations très élevées. Pour les composés phénoliques, c'est l'échantillon T7 qui présente les teneurs les plus élevées, de 10 à 30 fois supérieures aux concentrations limites des "Hollandais". Les échantillons T3 et T6 présentent également des valeurs fortes, tandis que l'échantillon T3bis ne contient que du xylène et du styrène en concentrations élevées.

3.4. Choix des échantillons pour l'analyse de la microflore bactérienne

Du fait de leurs teneurs élevées en solvants organiques et en composés phénoliques, les échantillons T3 - 1,7 m et T7 - 0,5 m ont été choisis pour la poursuite de l'analyse et du test de lixiviation.

L'étude des bactéries permettant la dépollution du site par biodégradation sera réalisée sur les échantillons :

- Mi7 - 0,2 m,
- Mi9 - 0,2 m,
- T7 - 0,5 m,
- T3 - 1,7 m,
- T6 - 0,5 m,
- T3bis - 1,5 et 2,0 m.

3.5. Résultats de la troisième phase

Les résultats des analyses des échantillons bruts, des suivis analytiques des extractions obtenus lors du test de lixiviation ainsi que les quantités extraites lors des 3 extractions sont reportés en annexe 3 du présent rapport.

Les quantités solubilisées et cumulées au cours du test représentées pour chaque échantillon sont reportées dans le tableau 3.

Tableau 3 - Analyses des échantillons choisis pour les tests de lixiviation

	T7 - 0,5 m	T3 - 1,7 m
FLUORURES	14,6	19
INDICE PHENOL	129	12,3
CN TOTAUX	2,8	79,3
N DE NH4	82	41,2
SOUFRE TOTAL	390	810
INDICE CH2	1,2	10
SULFURES	<5	<7
SULFOCYANURES	195	<3
CHROME TOTAL	<0,6	<0,7
ZINC	7,3	16,2
CADMIUM	<0,6	<0,7
NICKEL	<0,6	<0,7
PLOMB	2,9	44
FER	85,7	721
ALUMINIUM	34	812
CUIVRE	<0,6	5,5
MANGANÈSE	41	19

Les résultats sont exprimés en mg/kg matière sèche.

L'échantillon T7 libère en présence d'eau :

- une pollution organique moyenne (DCO de l'ordre de 150 à 200 mg/l) parfaitement biodégradable (la DBO5 passe de 150 mg/l à 70 mg/l),
- une partie des phénols contenus dans le matériau brut initial : environ 18 % des phénols passent en solution ;
- la quasi-totalité des sulfocyanures ;
- très peu de métaux lourds, notamment le Cadmium, le Nickel, le Plomb et le Zinc qui étaient présents en quantité très importantes dans le matériau brut.

L'échantillon T3 libère, en présence d'eau :

- une pollution organique élevée (DCO de l'ordre de 600 mg/l au cours des 3 extractions) et difficilement biodégradable (DBO5 est de l'ordre de 100 mg/l) ;
- une partie des cyanures totaux ;
- une faible quantité de phénols étant donné que le matériau brut de départ n'en contenait que très peu ;
- très peu de métaux lourds compte-tenu de leur quantité très importante dans le matériau brut.

Bien que les matériaux bruts soient très chargés en solvants organiques et en composés métalliques, les quantités d'éléments qui passent en solution restent faibles. Seuls les composés phénoliques, les sulfocyanures et les cyanures ne sont pas fixés sur le matériau et ils se retrouvent en grande partie dans les lixiviats.

4 - ETUDE DES MICROFLORES BACTERIENNES

4.1. Objectifs de l'étude

La méthode de traitement biologique in-situ des sites d'anciennes cokeries polluées par des composés organiques, des phénols, des cyanures, des sulfocyanures, qui se développe depuis une dizaine d'années aux USA mais aussi en Allemagne fédérale, nécessite des études préliminaires portant sur la biodégradabilité des polluants organiques et sur les conditions locales. Pour envisager cette dépollution microbienne, il est indispensable de caractériser les populations microbiennes présentes dans les résidus mais aussi et surtout la microflore qui peut intervenir dans la dépollution en dégradant les substances polluantes présentes.

L'objectif de cette étude est donc :

- de caractériser la microflore bactérienne et fongique présente dans les résidus de cokerie : dénombrement, identification ;
- de mesurer l'activité de la biodégradation.

4.2. Matériel et méthodes

4.2.1. Choix des échantillons

L'analyse a porté sur :

- 6 échantillons de matériaux bruts (avant lixiviation) provenant des 2 sites et choisis d'après les résultats de la deuxième phase d'analyse chimique comme étant les plus représentatifs de la pollution. Il s'agit des échantillons :
 - Mi7 - 0,2 m
 - Mi9 - 0,2 m
 - T7 - 0,5 m
 - T3 - 1,7 m
 - T6 - 0,5 m
 - T3bis - 1,5 et 2,0 m.

Ces échantillons ont été utilisés pour les dénombrements des microflores bactériennes totales aérobies et anaérobies ainsi que des microflores fongiques ;

- 2 échantillons de matériaux après lixiviation. Il s'agit des échantillons T7 - 0,5 m et T3 - 1,7 m qui ont été choisis pour effectuer l'ensemble des autres tests et analyses, à savoir :

1° Le dénombrement des microflores bactériennes totales aérobies et anaérobies et des microflores fongiques après lixiviation des échantillons.

2° Le dénombrement des microflores bactériennes présentes dans le lixiviat.

3° Le dénombrement des microflores bactériennes se développant en utilisant les produits des lixiviats capables de dégrader les produits organiques des résidus.

4° Les tests de biodégradation et de minéralisation des produits organiques présents dans ces résidus.

4.2.2. Méthodes d'analyse

Les dénombrements ont été effectués selon la méthode indirecte des suspensions-dilutions successives et cultures en milieux liquides ou solides.

Les microflores bactériennes ont été dénombrées sur milieux nutritifs gélosés et sur milieux nutritifs liquides (nutriment agar et nutriment broth Difco, désignés par NA et NB).

Pour les lixiviats des échantillons T7 - 0,5 m et T3 - 1,7 m, le dénombrement et l'isolement des bactéries ont été effectués sur le milieu additionné de gélose (15 °/..).

Pour les microflores anaérobies, les incubations ont été effectuées en jarres anaérobies avec des dispositifs de type "Gaspak" qui éliminent l'oxygène des milieux.

Les microflores fongiques ont été dénombrées sur milieu gélosé (Potato Dextrose Agar Difco, désigné par PDA).

Les isolements pour identification ont été conduits sur ces mêmes milieux. Les identifications des microorganismes isolés (essentiellement des bactéries) ont fait appel à des examens microscopiques suivis de colorations Gram et de tests oxydase puis complétés par des méthodes de caractérisations biochimiques par étude du métabolisme des bactéries en galeries API (API SYSTEM).

Les tests de biodégradation ont été conduits en incubation en cuve en plaçant 60 g de résidu brut de cokerie en présence de 300 ml d'eau naturelle (du robinet) dans des flacons d'1 litre fermés. Les incubations ont été poursuivies pendant 7 semaines à 24 °C à l'obscurité sur agitateur rotatif. Chaque traitement comprenait 4 répétitions. Des témoins stériles (sans microorganismes) étaient constitués de flacons d'incubation identiques autoclavés 2 fois 30 mn à 120 °C.

Dans ces flacons, au début de l'incubation (temps 0), on a mesuré le pH, le carbone organique et minéral en solution (TCM analyser Carlo Erba), l'ammoniaque par spectrophotométrie (spectroquant Merck). Au cours de l'incubation, on a déterminé le CO₂ dégagé (minéralisation des produits organiques) par spectrophotométrie infra-rouge. En fin d'incubation, on a mesuré le pH, les teneurs en carbone organique, carbone minéral et ammoniaque des milieux. Par ailleurs, des contrôles concernant la microflore (stérilité des témoins et dénombrement des bactéries dans les essais non stériles) ont été effectués.

4.3. Résultats

4.3.1. Analyse et dénombrement de la microflore totale bactérienne et fongique

*** Dans les résidus non lixiviés**

Les résultats présentés dans le tableau ci-après montrent que les résidus non lixiviés contiennent, selon leur origine, 10⁶ à 10⁸ bactéries aérobies viables (se développant en présence d'oxygène sur bouillon nutritif NB) par gramme de résidu sec.

Les échantillons Mi7, Mi9, T3 et T3bis comportent un nombre quasi-identique de bactéries anaérobies viables (se développant sur bouillon nutritif NB en l'absence d'oxygène) que de bactéries aérobies viables.

Ces bactéries anaérobies viables sont beaucoup moins nombreuses ou même non décelées pour les échantillons T7 et T6 (10^2 et 0 bactéries/gramme de résidu sec).

Le nombre de propagules de champignons viables varie d'un peu plus de 10^2 à presque 10^5 par gramme de résidu sec.

Tableau 4 - Dénombrement des bactéries et des champignons dans les résidus de cokeries non lixiviés (nombres de bactéries et de propagules de champignons formant des colonies par gramme de résidu sec).

ECHANTILLONS	pH	BACTERIES		PROPAGULES DE CHAMPIGNONS
		Aérobies	Anaérobies	
Mi7	8,0	$1,5 \cdot 10^7$	$7,4 \cdot 10^7$	$6,7 \cdot 10^4$
Mi9	7,9	$1,1 \cdot 10^6$	$6,0 \cdot 10^6$	$3,6 \cdot 10^4$
T7	7,6	$2,2 \cdot 10^8$	$4,2 \cdot 10^2$	$7,2 \cdot 10^4$
T3	7,0	$3,2 \cdot 10^7$	$2,5 \cdot 10^6$	$2,5 \cdot 10^4$
T3bis	7,1	$5,0 \cdot 10^7$	$3,3 \cdot 10^7$	$5,5 \cdot 10^2$
T6	7,8	$7,3 \cdot 10^7$	0	$7,3 \cdot 10^3$

*** Dans les résidus lixiviés**

Après lixiviation, le nombre de bactéries aérobies et de propagules de champignons est très voisin (tableau 5) de celui des échantillons non lixiviés. La lixiviation modifie légèrement le nombre des bactéries anaérobies pour T3 mais beaucoup plus nettement pour T7.

Tableau 5 - Dénombrement des bactéries et des champignons dans les résidus de cokeries après lixiviation (nombres de bactéries et de propagules de champignons formant des colonies par gramme de résidu sec).

ECHANTILLONS	pH	BACTERIES		PROPAGULES DE CHAMPIGNONS
		Aérobies	Anaérobies	
T7 lixivié	7,3	$8,6 \cdot 10^6$	$6,1 \cdot 10^6$	$2,5 \cdot 10^4$
T3 lixivié	7,0	$8,0 \cdot 10^7$	$1,6 \cdot 10^4$	$4,1 \cdot 10^5$

* Dans les lixiviats

Pour les échantillons T7 et T3, on dénombre (tableau 6) respectivement 10^6 et 10^7 bactéries aérobies, 10^4 et 10^7 bactéries anaérobies pouvant croître sur les lixiviats de ces mêmes échantillons, c'est-à-dire utilisant les produits lixiviés (dans ce cas hydrosolubles) de ces résidus comme source de carbone et d'énergie et pouvant donc les biodégrader.

Tableau 6 - Dénombrement des microorganismes se développant sur les lixiviats (nombre de bactéries formant des colonies par gramme de résidu sec).

ECHANTILLONS	BACTERIES AEROBIES	BACTERIES ANAEROBIES
T7	$5,2 \cdot 10^6$	$4,4 \cdot 10^4$
T3	$3,3 \cdot 10^7$	$2,7 \cdot 10^6$ à $6,2 \cdot 10^8$

Dans ces résidus de cokerie, et plus particulièrement les échantillons T7 et T3, qu'ils aient été ou non lixiviés, on observe des populations bactériennes (10^6 à 10^8 bactéries/gramme de résidu sec) et des propagules de champignons (10^2 à 10^5 par gramme de résidu sec) en nombre aussi important que ce que l'on trouve dans les couches superficielles du sol. La lixiviation ne modifie pas sensiblement leur nombre. Les bactéries anaérobies sont souvent aussi nombreuses que les bactéries aérobies et 10^4 à 10^8 bactéries anaérobies peuvent croître en utilisant les produits de lixiviation de ces résidus comme source de carbone et d'énergie et sont donc capables de biodégrader les substances polluantes.

4.3.2. Recherche et dénombrement de microorganismes qui se développent en biodégradant les produits présents dans les lixiviats. Test d'activité globale

la biodégradation des résidus de cokerie est mesurée en déterminant, d'une part, les quantités de CO₂ dégagé, recueillies dans l'atmosphère des flacons d'incubation et, d'autre part, les quantités de carbone minéral en solution dans la suspension "eau-résidus de cokerie" de ces mêmes dispositifs d'incubation en cuve. Pour le calcul, on déduit des valeurs obtenues dans les traitements non stériles (avec microorganismes) les valeurs mesurées au temps zéro d'incubation.

*** Minéralisation du carbone et de l'azote**

Les résultats de l'incubation et de la minéralisation des échantillons T3 et T7 sont reportés dans le tableau 7 ci-après.

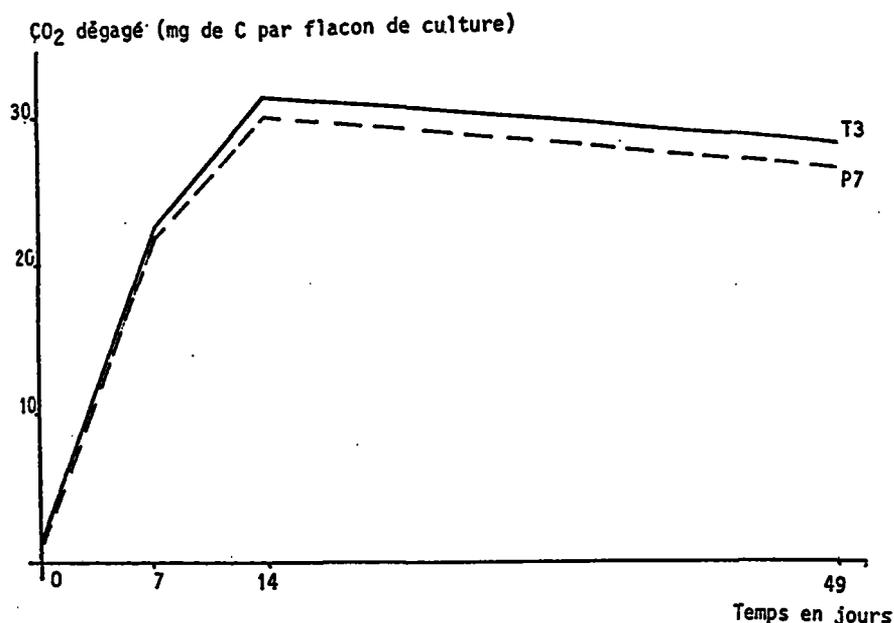
Tableau 7 - Quantités de carbone et d'azote minéralisés (CO₂ et NH₄ formés) après 7 semaines d'incubation des échantillons bruts T7 et T3 (résultats exprimés en mg de carbone et de NH₄ par kg de résidu brut).

	ECHANTILLON T3	ECHANTILLON T7
C recueilli dans l'atmosphère des flacons	466	440
C recueilli dans les solutions d'incubation	232	270
C total minéralisé	698	710
NH ₄ formé	19,5	188
pH final des solutions	6,6	6,8

On constate que les quantités de CO₂ dégagé dans l'atmosphère de ces flacons fermés et qui correspondent à la minéralisation des résidus atteignent un maximum (aussi bien pour T7 que pour T3) après 2 semaines d'incubation (figure 1). Puis on observe un pallier légèrement décroissant. Ce ralentissement du dégagement de CO₂ peut être dû au dispositif lui-même qui correspond à un système confiné ou bien à une diminution de la biodégradabilité des matières résiduelles subsistant après la première phase de minéralisation.

Les quantités de carbone minéralisé correspondent respectivement pour T3 et T7 à 466 et 440 mg de carbone organique par kg de résidu brut.

Figure 1 - Courbe de minéralisation du carbone des échantillons T3 et T7 en fonction du temps dans des dispositifs d'incubation en cuve fermée.



En fin d'incubation, on observe la production de carbone minéral soluble dans les solutions d'incubation, qui provient aussi de la minéralisation de ces mêmes résidus. Ces quantités correspondent pour T3 et T7 à, respectivement, 232 et 270 mg de carbone par kg de résidu brut.

Dans les solutions, en fin d'incubation, on trouve encore, respectivement, pour T3 et T7, 929 et 1.107 mg de carbone organique hydrosoluble par kg de résidu. Dans les témoins stériles sans microorganisme, ces quantités sont plus importantes (respectivement 1.510 et 1.447) confirmant ainsi l'efficacité de la biodégradation. Les quantités plus importantes dans les témoins stériles s'expliquent par l'autoclavage qui libère des produits organiques et par l'absence de microorganismes et donc de biodégradation et minéralisation.

En complément des tests de minéralisation du carbone, on a effectué des mesures succinctes de minéralisation de l'azote en déterminant les quantités d'ammoniaque en solution. On trouve ainsi que, respectivement, pour T3 et T7, il s'est formé 19,5 et 188 mg d'ammoniaque par kg de résidu (tableau 6). Cet ammoniaque peut provenir de la minéralisation de produits organiques azotés mais aussi de celle des cyanures.

*** Microflore en fin d'incubation**

En fin d'incubation, le dénombrement des bactéries aérobies sur milieu nutritif gélosé (NA) et liquide (NB) montre que des populations bactériennes viables importantes sont présentes dans les surnageants (en suspension dans le milieu) et sur les résidus eux-mêmes (tableau 8).

Tableau 8 - Dénombrement des bactéries aérobies formant des colonies et présentes dans les flacons en fin d'incubation (résultats exprimés en nombre de bactéries par ml de surnageant ou par gramme de résidu sec).

	ECHANTILLON T3	ECHANTILLON T7
Bactéries aérobies dans le milieu	1,8.10 ⁵	1,5.10 ⁵
Sur le résidu	6,2.10 ⁵	1,1.10 ⁵

La microflore présente dans les résidus de cokerie entraîne la biodégradation des produits organiques qui se traduit par la minéralisation des produits carbonés et azotés (production de CO₂ et d'ammoniaque dans le milieu). Les essais conduits en dispositifs fermés (incubation en cuve) ne permettent d'obtenir qu'une minéralisation limitée qui, en fonction des courbes de dégagement de CO₂ observées, s'arrête après 2 semaines. Cet arrêt peut être dû à l'usage d'un dispositif expérimental fermé où s'accumule le CO₂ et les produits lixiviés ou issus de la biodégradation. Des systèmes ouverts, de type semi-continu ou continu en cuve ou de type percolation, permettraient très certainement des tests plus complets sur des durées d'incubation plus longues. Malgré cet arrêt de la minéralisation, après 15 jours d'incubation, on trouve en fin d'incubation (après 7 semaines) d'abondantes populations de bactéries viables dans le milieu et sur les résidus (respectivement 10⁵ par ml ou par g).

En comparant aux tests de DBO effectués sur la première extraction par lixiviation, on observe dans ces tests de minéralisation une biodégradation relativement plus importante. Les DBO₅ sont en effet respectivement de 156 et de 104 mg O₂ sur la première extraction pour T7 et T3, alors que les consommations d'oxygène pour la même masse de résidus sont de 186 et 189 mg de O₂.

Les produits présents dans l'échantillon T3 semblent sensiblement moins dégradables que ceux de l'échantillon T7 si l'on ne considère que les produits carbonés. Mais la différence est plus sensible si l'on considère la minéralisation des produits azotés (mesurée ici par la production d'ammoniaque).

4.3.3. Identification des microorganismes considérés comme les plus représentatifs du milieu

Les microorganismes ont été isolés des échantillons T7 et T3 en prenant :

- des microorganismes provenant des échantillons non lixiviés et se développant en utilisant les lixiviats comme milieu nutritif ;
- des microorganismes provenant des lixiviats et se développant sur milieu nutritif gélosé (NA) ;
- des microorganismes provenant des échantillons lixiviés T7 et T3 et se développant sur milieu Potato Dextrose Agar (PDA).

Trente bactéries et deux champignons ont été isolés.

Les champignons ont été isolés à partir des échantillons lixiviés sur milieu PDA et se développent sur ce même milieu. Ils ont été isolés à la dilution 10^4 . Il s'agit d'un champignon imparfait arthrosporé ou porosporé.

Parmi les 30 souches de bactéries, on constate que pour celles isolées du milieu "lixiviat", 3 sur 10 et 3 sur 5, respectivement pour T7 et T3, ne se sont pas développées au cours des repiquages sur milieu NA dilué (gélose nutritive diluée). Ces bactéries semblent donc particulièrement adaptées aux milieux lixiviats et aux produits des résidus de cokerie qu'ils contiennent. Sur ces mêmes milieux, 4 des 7 souches isolées pour T7 et 1 des 2 souches isolées pour T3 sont aérobie-anaérobie facultatives.

Les bactéries isolées et identifiées comprennent pour 22 souches :

- 7 Pseudomonas,
- 8 Bacillus,
- 4 Actinomycétales,
- 1 Flavobacterium,
- 1 Enterobacter,
- 1 Aeromonas.

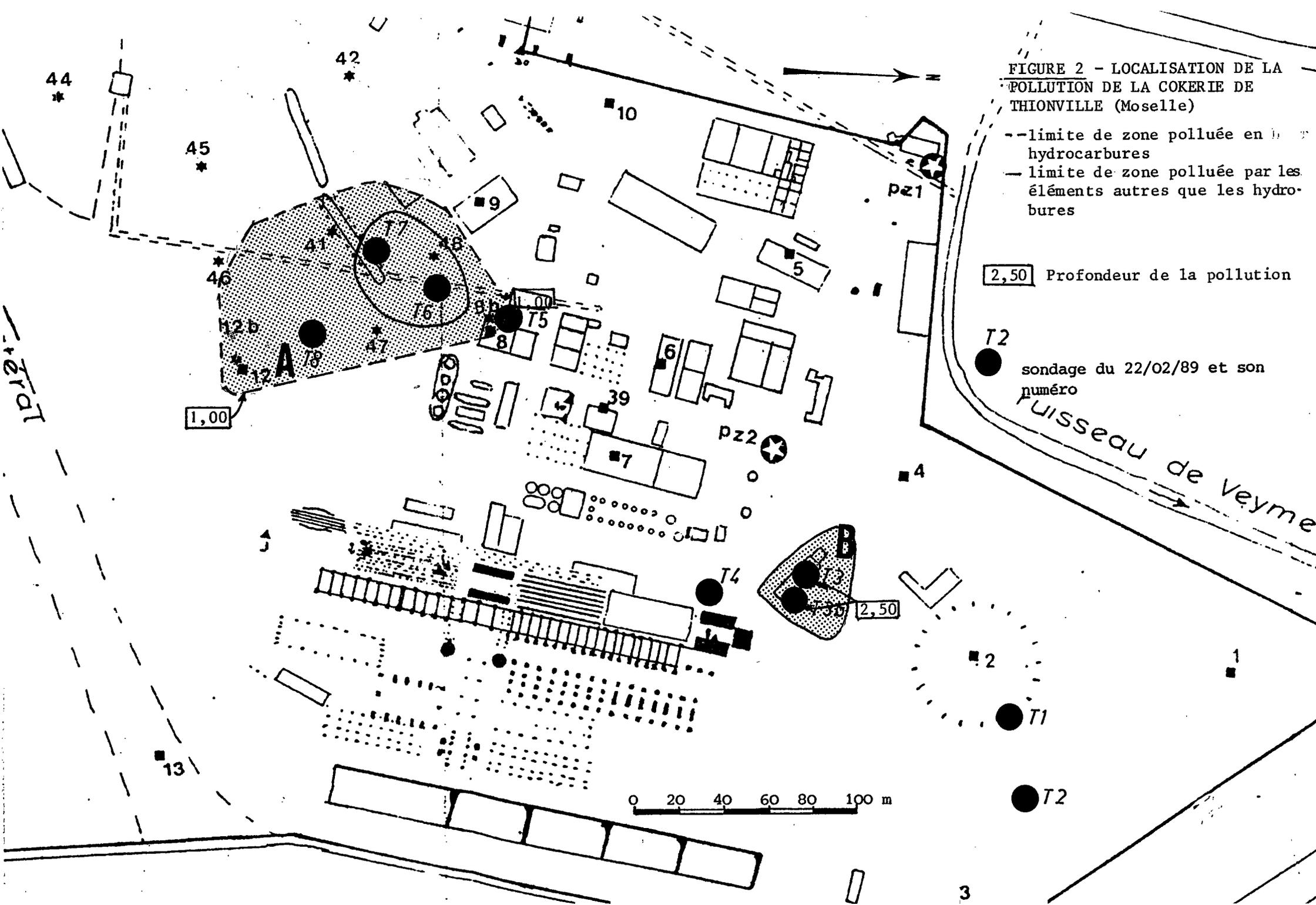
Des actinomycètes ou bactéries filamenteuses qui sont considérées comme des bactéries productrices d'antibiotiques et dégradant des substances peu biodégradables sont aussi présentes en nombre relativement important (4 souches). Il y a lieu de souligner que, parmi ces bactéries, nombreuses sont celles qui sont aérobie-anaérobie facultatives et peuvent donc croître en absence d'oxygène. Ces bactéries correspondent à des genres et espèces qui sont habituellement présents dans les milieux naturels et en particulier dans les sols.

Echantillon et milieu d'origine	Dilution et milieu d'isolement	N° de la souche et identification
P7 milieu lixiviat	10 ⁻⁶ NA dilué	P7-1 <i>Pseudomonas fluorescens</i>
P7 milieu lixiviat	10 ⁻⁶ NA dilué	P7-1-2 <i>Flavobacterium</i>
P7 milieu lixiviat	10 ⁻⁶ NA dilué	P7-2 Actinomycece (bactérie filamenteuse non identifiée)
P7 milieu lixiviat	10 ⁻⁶ NA dilué	P7-2-1 <i>Pseudomonas fluorescens</i> (*)
P7 milieu lixiviat	10 ⁻⁶ NA dilué	P7-2-2 <i>Pseudomonas aureofaciens</i> (*)
P7 milieu lixiviat	10 ⁻⁶ NA dilué	P7, 3 <i>Bacillus sphaericus</i>
Lixiviat de P7 milieu NA	10 ⁻² NA dilué	L3-1 <i>Pseudomonas aureofaciens</i>
Lixiviat de P7 milieu NA	10 ⁻² NA dilué	L3-2 <i>Pseudomonas vesicularis</i>
Lixiviat de P7 milieu NA	10 ⁻² NA dilué	L3-3 <i>Pseudomonas salmonicida</i>
Lixiviat de P7 milieu NA	10 ⁻² NA dilué	L-3-4 <i>Pseudomonas vesicularis</i>
Lixiviat de P7 milieu NA	10 ⁻² Na dilué	L3-5 Actinomycece (bactérie filamenteuse non identifiée)
P7 lixivié milieu PDA	10 ⁻⁴ PDA	311' <i>Bacillus subtilis</i>
P7 lixivié milieu PDA	10 ⁻⁴ PDA	311" <i>Bacillus subtilis</i>
P7 lixivié milieu PDA	10 ⁻⁴ PDA	311''' <i>Bacillus subtilis</i>
T3 milieu lixiviat	10 ⁻⁷ NA dilué	T3,1 <i>Bacillus brevis</i>
T3 milieu lixiviat	10 ⁻⁷ NA dilué	T3,3 Actinomycece (bactérie filamenteuse non identifiée)
Lixiviat de T3 milieu NA	10 ⁻² NA dilué	L4,1' <i>Bacillus</i>
Lixiviat de T3 milieu NA	10 ⁻² Na dilué	L4,1" <i>Bacillus</i>
Lixiviat de T3 milieu NA	10 ⁻² NA dilué	L4,1''' <i>Bacillus</i>
Lixiviat de T3 milieu NA	10 ⁻² NA dilué	L4,2 Actinomycece (bactérie filamenteuse non identifiée)
Lixiviat de T3 milieu NA	10 ⁻² NA dilué	L4,3 <i>Pseudomonas fluorescens</i>
T3 lixivié milieu PDA	10 ⁻⁴ PDA	41,2 <i>Enterobacter agglomerans</i>

(*) Genre certain, espèce incertaine.

Tableau 9 - Isolement et identification des bactéries provenant des résidus de cokerie ou de leur lixiviat.

FIGURE 2 - LOCALISATION DE LA POLLUTION DE LA COKERIE DE THIONVILLE (Moselle)



5 - ETAT DE POLLUTION DES SITES

5.1. Zonation de la pollution

5.1.1. le site de Thionville

La zonation de la pollution en hydrocarbures, mise en évidence au cours de la reconnaissance géotechnique préliminaire de 1987 est confirmée par cette nouvelle étude.

La pollution par les hydrocarbures est dans tous les cas analysés associée à des teneurs élevées en phénols et en métaux lourds (Plomb, Cadmium, Cuivre) et aussi, mais de façon moins systématique, aux cyanures (sondages T3 et T3bis).

La zonation des terrains pollués est représentée sur la figure 2.

Le volume de terrain représenté, en première approximation :

- zone A = 7.000 m² sur une profondeur de 1,00 m environ,
- zone B = 300 m² sur une profondeur de 2,50 m environ.

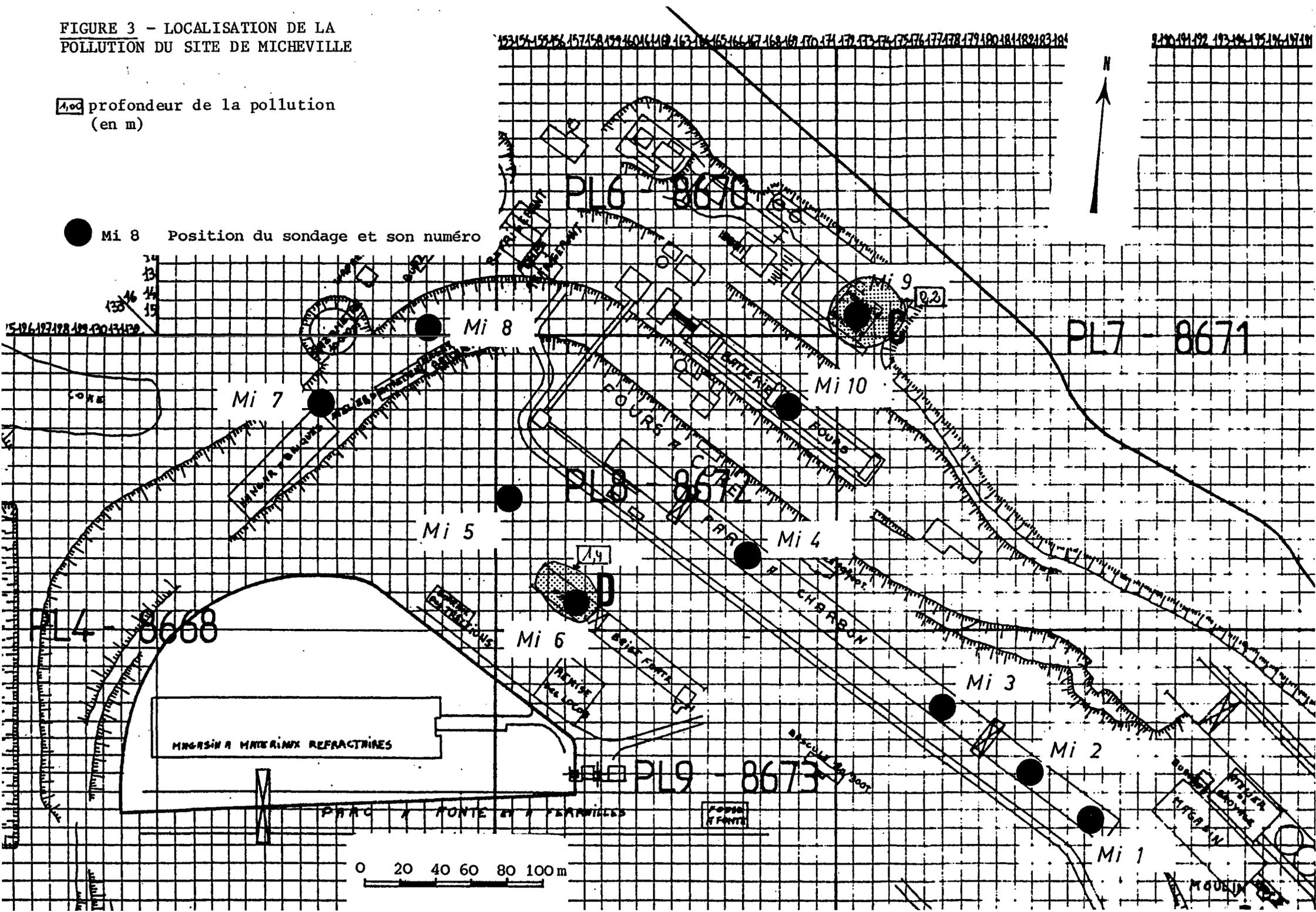
Il est bien évident qu'avant d'envisager tout traitement de dépollution des sols, des sondages complémentaires autour des 2 zones ainsi définies doivent être envisagés afin de circonscrire avec plus de précision la surface polluée. En effet, actuellement, 2 points de sondage sont séparés de 500 m environ et l'erreur commise sur l'évaluation des volumes de terrains à traiter, donc des coûts, peut être très grande.

Le rapport 87 SGN 190 avait montré que sur le site de Thionville, les polluants relargués (phénols, cyanures, hydrocarbures...) sont entraînés par les eaux de filtration et passent dans la nappe (cf. annexe 4). Etant donné la piézométrie du secteur (cf. § 5.2.), la nappe des alluvions est drainée par la Moselle (facteur de dilution de l'ordre de 4 à 5000) à l'aval du ruisseau de Veymerange. Les alimentations en eau potable des communes avoisinantes ne sont donc pas en danger. Cependant, il serait souhaitable de s'assurer qu'il n'y a pas de risque de propagation de la pollution par quelques analyses d'eau prélevée au Nord du ruisseau de Veymerange.

FIGURE 3 - LOCALISATION DE LA POLLUTION DU SITE DE MICHEVILLE

□ profondeur de la pollution (en m)

● Mi 8 Position du sondage et son numéro



5.1.2. Le site de Micheville

La pollution du site de Micheville est très localisée en 2 points particuliers :

- le parc brise fonte (point Mi6)
- le magasin à sulfates (point Mi9) cf. figure 3

La pollution du sol est essentiellement due aux métaux lourds : Plomb et Cadmium et en :

- phénols pour le point Mi9,
- cyanures pour le point Mi6.

Le volume de terrain pollué n'est pas facile à estimer car la pollution est ponctuelle et mise en évidence par 2 points de sondage disjoints.

On peut donc, en première approximation, dire que le volume de terrain pollué représente :

- 100 m³ pour la zone C (profondeur 0,2 m),
- 400 m³ pour la zone D (profondeur 1,4 m).

Avant d'envisager tout traitement, ces volumes sont à affiner par une campagne de sondages autour des points Mi6 et Mi9.

Seuls les remblais superficiels sont pollués au droit des sondages réalisés.

5.2. Contexte hydrogéologique

5.2.1. Géologie

*** Site de Thionville**

Le rapport du BRGM n° 87 SGN 190 LOR fait état d'une épaisseur des remblais superficiels variable de 0,5 à 5 m environ. Sur le site de la cokerie, elle est de 3,00 à 5,00 m excepté le long du CD 953 où elle n'est que de 1,5 à 2,00 m. Sous ces remblais, on rencontre des terrains d'origine alluviale ; le site de l'ancienne usine de Thionville se trouve dans le lit majeur de la Moselle.

Les différents horizons rencontrés sont, du haut vers le bas :

- des alluvions récentes, essentiellement des argiles limoneuses molles,
- des alluvions anciennes à dominante sablo-graveleuse,
- le substratum constitué des marnes à Amalthées, généralement altérées en tête, compactes à très compactes.

*** Site de Micheville**

L'ensemble du site est également construit sur un remblai d'épaisseur variable de 0,4 à 3,00 m environ. La cokerie de Micheville a été construite dans la vallée alluviale de l'Alzette. Les différents horizons rencontrés sont, du haut vers le bas :

- des alluvions récentes, agiles silto-sableuses jaunâtres à panachures rouille orangée,
- des alluvions anciennes,
- le substratum constitué par les marnes du Toarcien.

5.2.2. Piézométrie

*** Site de Thionville**

Le site de Thionville a fait l'objet d'une investigation hydrogéologique en avril 1987 (cf. rapport 87 SGN 283 LOR) avec pose de 2 piézomètres à 6,00 et 8,00 m de profondeur.

La reconstitution de la piézométrie a été effectuée à partir des sondages fournis par les archives d'USINOR et du Code Minier, en tenant compte du fait que pour la période examinée (1962/1970), la cote du plan d'eau est de 153,40 NGF au niveau du Port d'Illange et de 149,10 au-delà de l'écluse. Le résultat de cette reconstitution est reporté sur la figure 4.

Il semble que le gradient hydraulique très important au niveau de l'écluse entraîne la constitution d'une zone d'appel remontant vers le Sud. De ce fait, tous les écoulements sous l'emprise de la friche industrielle se dirigent vers ce point particulier de la Moselle.

* Site de Micheville

La piézométrie du site de Micheville n'est pas connue. Cependant, l'interprétation de la carte géologique de la région permet de dire que les alluvions peuvent être le siège d'une nappe superficielle. Les marnes du Toarcien, imperméables et compactes, ne sont pas le siège d'une nappe. Les calcaires avoisinant le site, du fait du pompage et de l'exhaure des mines de fer, sont également dépourvus de nappe aquifère.

6 - LA DEPOLLUTION DES SOLS PAR BIODEGRADATION ACCELEREE

6.1. Principe

Le principe de la méthode repose sur la présence dans le sous-sol, même à grande profondeur, de nombreux microorganismes capables de dégrader les produits organiques considérés comme des polluants pour l'environnement. L'activité métabolique microbienne qui entre en jeu pour dégrader les molécules organiques est la respiration anaérobie ou aérobie, cette dernière étant la plus efficace.

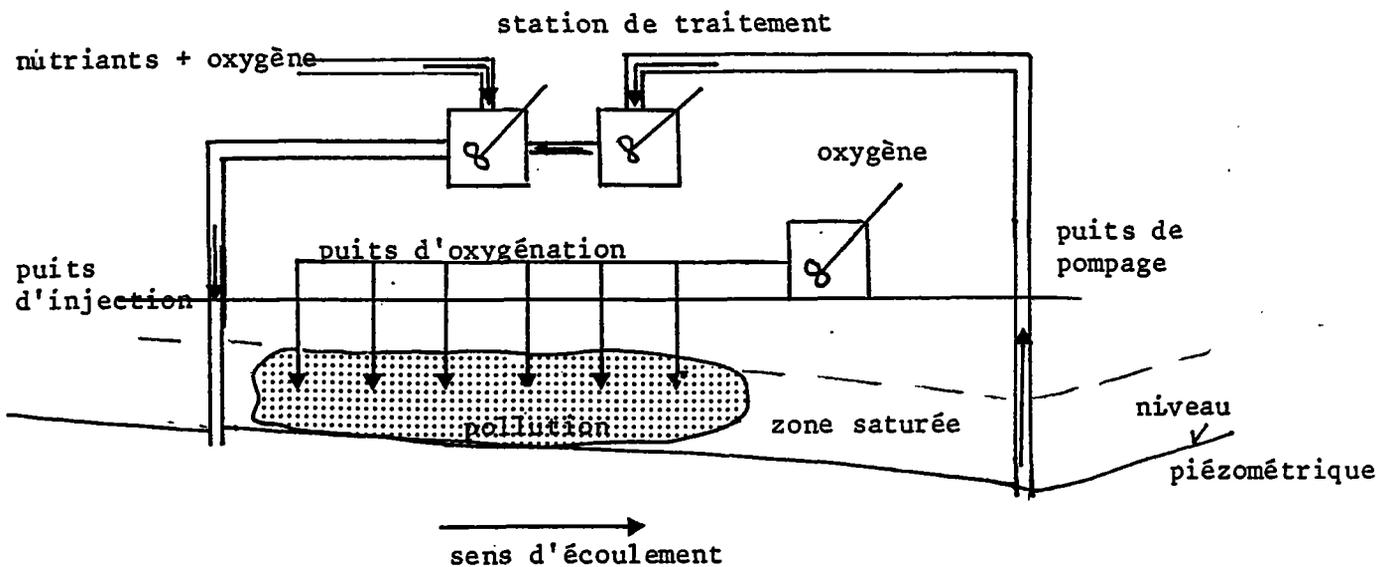
Dans le cas de la respiration aérobie : les substances organiques (donc les polluants) fournissent la source de carbone ; il faut apporter au milieu les quantités suffisantes d'éléments nutritifs et d'oxygène pour que le processus puisse consommer la totalité du carbone, c'est-à-dire la pollution présente dans le milieu. Ce processus ne génère pas de sous produits dangereux. Le résultat de la biodégradation est $CO_2 - H_2O - NH_4$.

En conditions naturelles, les processus sont très lents. Il faut environ 20 ans pour dégrader complètement une pollution par hydrocarbures dans un sol sableux très perméable.

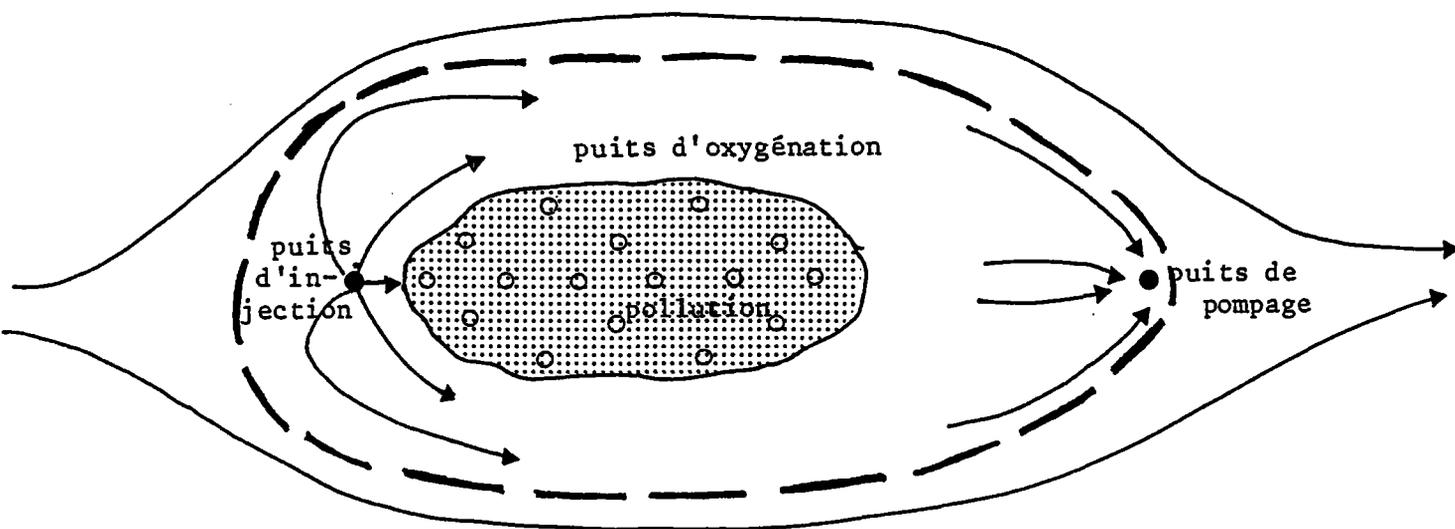
La vitesse de processus dépend de différents facteurs :

- la température qui doit être comprise entre 20 et 37 °C, une diminution de 10 °C divise par 2 l'activité microbienne ;
- la perméabilité qui doit être suffisante pour assurer une bonne mise en contact bactéries/polluants, permettre une bonne circulation des additifs injectés et une bonne récupération, s'il y a lieu, des produits résiduels ;
- l'homogénéité des terrains.

L'activité anaérobie est aussi capable de dégrader certains composés organiques. Cependant, la réalisation et le contrôle in-situ des conditions anaérobies sont très délicats à mettre en oeuvre et n'ont pas encore fait l'objet d'expérimentation sur le site.



a) Vue en coupe



b) Vue en plan

FIGURE 5 - SCHEMA DE PRINCIPE D'UNE OPERATION DE TRAITEMENT PAR BIODEGRADATION AEROBIE.

6.2. Schéma de mise en oeuvre

La figure 5 ci-contre donne le schéma de principe d'une opération de traitement par biodégradation aérobie accélérée.

L'eau de lessivage est injectée dans l'aquifère ou dans la zone insaturée pour assurer la dépollution par un puits d'injection. Cette eau est chargée en nutriments, en oxygène et éventuellement en bactéries. Elle est récupérée par les puits de pompage puis recyclée avant d'être réinjectée.

Le système doit assurer :

- la mise en contact des produits traitants avec le panache de pollution,
- le contrôle du mouvement de ces produits,
- la récupération des résidus du traitement et leur recyclage éventuel.

L'apport d'oxygène dans le milieu peut se faire :

- sous forme gazeuse par des puits d'aération (cf. figure 5) ;
- sous forme d'ozone ou, plus fréquemment, sous forme de peroxyde d'hydrogène H₂O₂, ce qui permet de fournir de plus grandes quantités d'oxygène dans le milieu, de supprimer les puits d'aération car le H₂O₂ peut être injecté directement avec les nutriments, de maintenir les puits d'injection en bon état en empêchant le colmatage microbien constaté avec l'air. De plus, la toxicité du peroxyde est inexistante pour des teneurs inférieures à 1.000 ppm.

Les apports de nutriments tels que azote et phosphore sont nécessaires pour stimuler l'activité bactérienne. Les éléments ne se trouvent pas, en général, en quantité suffisante dans le sol.

6.3. Estimation des coûts

Le coût d'un tel traitement dépend de différents facteurs :

- type de polluant (éléments nutritifs consommés, temps nécessaire pour biodégrader),
- quantité de polluant (éléments nutritifs consommés, nombre de puits, temps nécessaire),
- extension de l'aire polluée,
- profondeur de la nappe (coût des puits),
- niveau de réhabilitation (temps de traitement).

Il peut être estimé à 90 - 150 F/m³ de terrain pollué.

6.4. Modèle envisageable sur le site de Thionville

6.4.1. La pollution des remblais

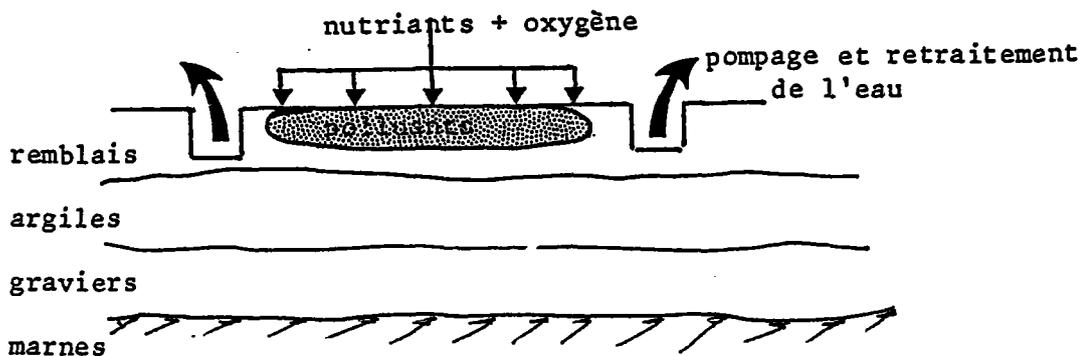
La pollution en hydrocarbures sur le site de Thionville est superficielle (généralement en 0,1 m et 1,00 m sous le terrain naturel) et essentiellement dans les remblais.

La solution de traitement par biodégradation accélérée peut être envisagée uniquement dans les zones polluées par les hydrocarbures. Nous rappelons que, dans ce cas aussi, une nouvelle campagne d'analyses est nécessaire afin de délimiter précisément la zone à traiter.

Le modèle envisageable est le suivant (cf. figure 6) :

- arrosage de la zone polluée de nutriments et d'oxygène par l'intermédiaire d'une rampe,
- circulation du mélange au travers de la zone polluée,
- récupération de l'eau grâce aux tranchées drainantes réalisées sur le pourtour du site,
- pompage de l'eau, retraitement éventuel, activation et réinjection dans le système.

Figure 6 - Modèle de biodégradation accélérée envisageable sur le site de Thionville



Pour dimensionner ce modèle, il est nécessaire de connaître :

- la perméabilité des remblais,
- la perméabilité des alluvions sous-jacentes,
- la continuité des argiles sous les remblais.

de façon à définir le régime piézométrique de la nappe des remblais créée par ce dispositif, à caler le modèle hydraulique et à calculer le débit qui pourra circuler sans inonder le secteur.

6.4.2. La pollution de la nappe

Si on voulait également traiter les eaux de la nappe des sables et graviers polluée par les hydrocarbures (cf. annexe 4), on pourrait envisager un système comparable à celui décrit ci-avant pour les remblais, la décontamination se faisant par l'intermédiaire de puits descendus sous les argiles.

Le zonage de la pollution n'est pas connu avec précision (seulement 3 piézomètres sur le site). On peut craindre que la pollution de la nappe ne soit pas localisée sous la cokerie mais que l'ensemble de la zone soit pollué. Le secteur de traitement de la nappe risque de s'étendre à l'aval jusque dans la Moselle (à confirmer par piézomètres supplémentaires).

7 - LES AUTRES SOLUTIONS DE TRAITEMENT DES SOLS POLLUES

7.1. Dépollution des sols sans excavation

7.1.1. Steam stripping

Les hydrocarbures présents dans le sol sont rendus volatiles par l'injection de vapeur sous pression à 130 - 180 °C dans le sol en un certain nombre de points. La vapeur permet, d'une part, de vaporiser les polluants et, d'autre part, de véhiculer les produits gazeux dans le sol. Ces derniers ainsi que l'excès de vapeur sont extraits du sol grâce à un point basse pression. Le mélange vapeur - hydrocarbures gazeux passe en phase aqueuse dans un condensateur (cf. figure 6). Le condensé aqueux est traité par filtration ou par adsorption sur charbon actif.

La mise en oeuvre de la technique nécessite cependant quelques précautions :

- la pression appliquée par l'injection de vapeur ne doit pas être trop forte pour ne pas faire éclater le sol et occasionner des courts-circuits ;
- une partie de la vapeur se condensant dans le sol pourra entraîner des polluants en direction de la nappe qui devra être décontaminée simultanément ;
- le front de condensation est situé entre le point d'injection et le point d'adsorption. La vitesse de déplacement de ce front dépend de la porosité, de la perméabilité, de la teneur en eau du sol, de la distance point d'adsorption - point d'injection et du gradient de pression.

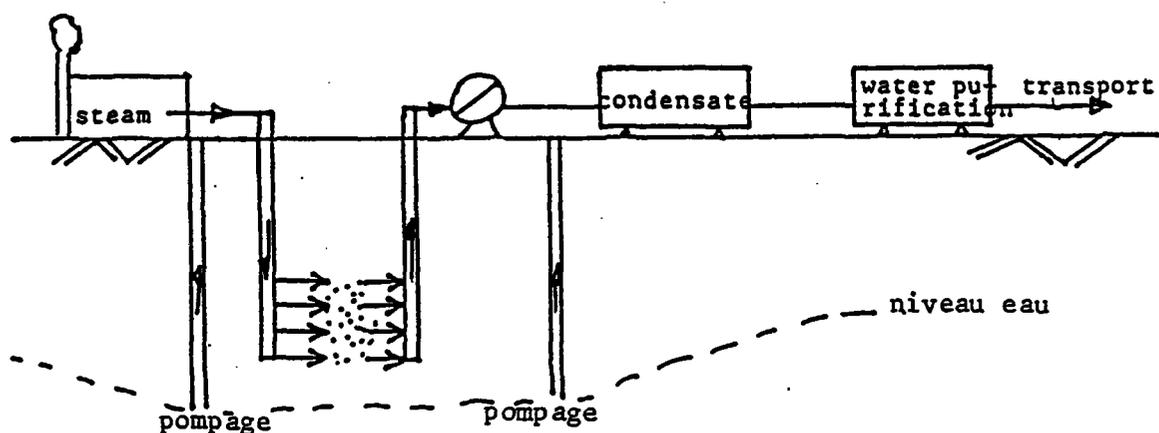


Figure 7 - Schéma du principe de stripping vapeur

Cette méthode s'applique à tous produits organiques vaporisables : hydrocarbures aromatiques polycycliques ou non, halogènes dont le point d'ébullition est compris entre 100 et 250 °C.

Le coût du traitement estimé à partir d'un dispositif expérimental mis en place à Manheim en novembre 1984 est de l'ordre de 90 à 270 F/m³ de sol traité.

7.1.2. Lessivage des sols pollués

Le lessivage des sols pollués peut se faire soit à l'eau soit avec une solution adéquate contenant des produits chimiques variables suivant le composé à déplacer. La solution percole par gravité (épandage en surface) ou est injectée sous pression. La solution effluente chargée de polluants est ensuite collectée dans des tranchées, dans des drains ou dans des puits de pompage.

Cette technique facile à mettre en oeuvre nécessite :

- un sol perméable,
- une diminution du niveau de la nappe par pompage.

La localisation des puits d'injection et de pompage nécessite d'avoir une parfaite connaissance du sous-sol.

Le volume d'eau récupéré peut être grand, donc coûteux à traiter.

Il faut compter une moyenne de 50 à 100 F/m³ de terrain à traiter à laquelle il faut ajouter le prix du traitement de l'eau.

7.2. Dépollution du sol avec excavation

Ces solutions ne sont valables que pour de faibles volumes de terrain à traiter. De plus, il faut prévoir le remblaiement ou l'utilisation future du trou laissé par l'excavation.

7.2.1. Mise en décharge

Les sols pollués sont excavés et transportés dans une décharge de classe 1. Les décharges de la région, acceptant les sols pollués, sont :

- Jeandelaincourt,
- Laimont.

Le coût de l'excavation, du transport et de la mise en décharge est de l'ordre de 600 F/m³ environ.

7.2.2. Incinération

L'incinération des sols pollués ne peut être envisagée que dans le cas de petites quantités. Les centres d'incinération pour le traitement des goudrons sont :

- TREDI (Strasbourg),
- SONULOR (Douai),
- HOUILLERES DU BASSIN NORD-PAS-DE-CALAIS.

Les coûts d'incinération sont de l'ordre de 1.000 à 1.500 F/m³, y compris le transport.

7.2.3. Stabilisation

Le matériau contaminé est mélangé avec du ciment, du calcaire ou des résines pour le solidifier.

Le sol, une fois traité, peut être réutilisé ou remis en place à condition que l'on soit assuré d'avoir éliminé toute pollution.

C'est le cas du procédé PETRIFIX développé par la Société TREDI.

Le coût est de l'ordre de 750 à 800 F/m³ de terrain à traiter.

7.3. Confinement de la pollution

7.3.1. Couvertures étanches ou "soil cover"

L'objectif des couvertures étanches est de réduire l'infiltration de l'eau de pluie dans le sol pollué et sa propagation dans la nappe, mais aussi d'assurer le drainage des gaz et d'éviter la remontée capillaire des polluants. Ces différentes fonctions ne peuvent être remplies que par un système multicouches formées, par exemple, de haut en bas par :

- une couche de terre végétale, support de la végétation,
- une barrière étanche formée d'argile compactée,
- une couche filtrante,
- une membrane imperméable,
- une couche filtrante.

Toutes ces fonctions doivent également répondre au critère de pérennité. Ainsi, il faudra veiller à ce que la couverture végétale (destinée à favoriser l'évapo-transpiration et le ruissellement) ne dégrade pas l'étanchéité de la couverture avec des racines profondes ; le ruissellement ne devra pas être excessif, par ailleurs, pour éviter tout problème d'érosion.

Cette solution impose que la pollution soit localisée dans des terrains en zone non saturée et ne migre pas sous l'effet de la gravité vers la profondeur.

Le coût est de l'ordre de 200 F/m² de couverture étanche.

7.3.2. Barrières étanches

Dans les terrains perméables, on empêche la migration des polluants dans les nappes phréatiques par mise en place de barrières étanches verticales. Ces barrières sont efficaces si elles sont ancrées dans un substratum imperméable. Eventuellement, des barrières horizontales peuvent être mises en place par injection de coulis de ciment. Les barrières verticales sont des parois en acier, des feuilles de matériaux isolants synthétiques ou de matériaux formés de bentonite-ciment.

		BIODEGRADATION AEROBIE	STEAM STRIPPING	LESSIVAGE	MISE EN DECHARGE	INCINERATION	STABILISATION	SOIL COVER	PAROI ETANCHE
PRINCIPE		Dégradation des polluants organiques en produits inertes ou moins toxiques, sous l'action de bactéries développées ou ajoutées, dans le sol pollué. O ₂ et des éléments nutritifs sont apportés dans le système.	Volatilisation des hydrocarbures par injection de vapeur sous pression. L'eau polluée, récupérée par une diminution de pression, doit être traitée.	Lavage du sol avec solutions adaptées par gravité ou injection. L'eau polluée est repompée et traitée, les agents nettoyants étant récupérés.	Excavation et transport des sols pollués dans une décharge de classe 1.	Excavation et transport des sols pollués dans un centre d'incinération (cimenteries, centres spécialisés...).	Excavation et mélange du sol pollué avec du ciment, du calcaire, des résines pour stabiliser la pollution. Peut être remis en place.	Mise en place d'une couverture étanche afin d'empêcher les infiltrations d'eau. Système multicouches.	Mise en place d'une barrière étanche autour des déchets.
CARACTERISTIQUES DU TRAITEMENT	Excavation du sol	Non	Non	Non	Oui	Oui	Oui	Non	Non, sauf volume de la paroi
	Régime des eaux souterraines	Le régime doit être connu avec précision	Doit se faire en zone non saturée. Eventuellement rabattement de la nappe.	Doit se faire en zone non saturée. Eventuellement, rabattage de la nappe.			La nappe ne doit pas baigner les sols pollués.	La nappe ne doit pas baigner les sols pollués	L'eau doit être pompée à l'intérieur de l'enceinte si pas de couverture étanche.
	Traitement de l'eau	Dans le sol et en surface	En surface, en unité de traitement	En surface en unité de traitement ou en centre spécialisé	Ne permet pas de traiter l'eau polluée.	Ne permet pas de traiter l'eau polluée.	Ne permet pas de traiter l'eau polluée.	Ne permet pas de traiter l'eau polluée	L'eau doit être traitée dans un centre spécialisé.
	Contrainte d'aménagement ultérieur	Nul	Nul	Nul	Excavation à reboucher	Excavation à reboucher	Précaution pour fondations ultérieures	Précaution pour fondations ultérieures	Précaution pour fondations ultérieures
	Contrôle du résultat	Nombreux forages et analyses de vérification	Nombreux sondages et analyses de vérification	Nombreux sondages et analyses de vérification	Facile Visuel pour les goudrons	Facile Visuel pour les goudrons	Facile Visuel ou par analyse de sol	Facile, prévoir pose de piézomètres en aval	Facile Pose de piézomètres autour de la zone confinée
	Type de polluants	Biodégradables	Hydrocarbures (point d'ébullition < 250°)	Inorganiques	Tout type de polluant Suivant normes et teneurs	Tout type de polluant organique Suivant normes	Tout type de polluant Suivant normes	Tout type de polluant Suivant normes	Tout type de polluant Suivant normes
	Concentration résiduelle	Variable selon la durée du traitement. Le taux de dépollution est de 80 à 85 % environ.	Variable selon la pollution et la durée du traitement	Variable selon la pollution et la durée de traitement	Aucune	Aucune	Aucune, sauf si le mélange stabilisé est remis en place	Les déchets restent en place	Les déchets confinés restent sur place
	Durée du traitement	Longue (plusieurs années)	Longue (plusieurs années)	Longue (plusieurs années)	Rapide (quelques semaines)	Rapide si faible volume	Rapide (quelques semaines)	Rapide (quelques semaines)	Rapide (quelques semaines)
LIMITES		Nécessité d'ajuster le pH, de fournir de l'O ₂ et des éléments nutritifs (contrôle) Ne s'applique qu'à des profondeurs limitées. Pas recommandée dans les sols de perméabilité inférieure à 10 ⁻⁵ m/s. Procédé difficile à contrôler. Uniquement pour produits organiques. Ne règle pas tous les problèmes de pollution.	Ne s'applique que dans le cas de polluants volatils d'une nappe profonde et de formations sableuses. La localisation et la conception des puits demande une bonne connaissance du sous-sol Pas recommandé dans les sols de perméabilité inférieure à 10 ⁻⁵ m/s. Difficile à contrôler.	Non applicable s'il s'agit de polluants complexes contenant des produits de différentes solubilités. Les agents de nettoyage peuvent réagir avec le sol. Localisation et conception des puits demandent une bonne connaissance du sous-sol. Difficile de contrôler l'efficacité du traitement. Le volume d'eau récupéré peut être grand, donc coûteux à traiter.	Ne permet pas de traiter l'eau polluée. Coût très élevé. Valable pour de petites quantités. Problème du remblaiement. Excavation Transport	Ne permet pas de traiter l'eau polluée. Coût très élevé. Valable pour les petites quantités de polluants. Problème de remblaiement. Excavation. Transport.	Excavation et remise en place du produit. Coût élevé. Manque de garantie à long terme sur le piègeage des polluants qui restent sur le site. Valable pour petites quantités.	Limité aux zones non saturées même en hautes-eaux. La zone confinée n'est constructible que sous conditions. La pollution reste sur place. Intérêt de rassembler la pollution sur la plus petite surface possible.	Paroi doit être ancrée dans un substratum imperméable (naturel ou artificiel). A coupler avec une couverture étanche. Problème d'étanchéité au niveau des points de raccordement. Pas intéressant au point de vue coût si petit volume à traiter ou pollution sur grande profondeur. Zone confinée n'est constructible que sous certaines conditions. La pollution reste sur place.
COUTS		90 à 150 F/m ³	100 à 270 F/m ³	50 à 100 F/m ³	600 F/m ³	1000 à 1500 F/m ³	750 à 800 F/m ³	200 F/m ² de couverture	350 à 400 F/m ² de paroi

TABLEAU 10 - COMPARAISON DES DIFFERENTS MODES DE TRAITEMENT DES SOLS POLLUES D'ANCIENNES COKERIES

Le coût d'une telle réalisation est de l'ordre de 350 à 400 F/m² de paroi.

Cette dernière solution est souvent associée avec une couverture étanche de façon à isoler complètement la pollution du milieu environnant.

7.4. Comparaison des différents modes de traitement

Le tableau 10 permet de comparer les différents modes de traitement des sols pollués tant du point de vue caractéristique, durée, limite et coût.

8 - APPLICATION AUX SITES DE MICHEVILLE ET THIONVILLE

8.1. Site de Micheville

Etant donné la localisation de la pollution en des endroits très ponctuels, nous pensons que la solution excavation - mise en décharge conviendrait le mieux.

Si les volumes se confirmaient, pour les 500 m³ de terrain à traiter, le coût de la dépollution serait de : 500 x 600 F = 300.000 Francs, y compris excavation et transport.

8.2. Site de Thionville

Pour le site de Thionville, plusieurs solutions sont envisageables, chacune présentant des avantages et des inconvénients.

8.2.1. Traitement des sols

*** 1ère solution : traitement in-situ**

On peut envisager une biodégradation aérobie puis un lessivage du sol. En effet, la biodégradation est valable uniquement pour les composés organiques. Elle ne permet pas de traiter les métaux lourds qui restent dans le sol malgré le lessivage dû à l'arrosage (les quantités de métaux lourds libérés par lixiviation sont faibles par rapport aux quantités présentes dans le matériau). Le lessivage du sol traité par biodégradation permettrait, avec une solution adéquate (milieu réducteur ou acide), de solubiliser les métaux lourds et donc de les récupérer au cours des cycles de lessivage.

- . Coût* : biodégradation : $7.500 \times 150 = 1.125.000$ F
- lessivage : $7.500 \times 50 = 375.000$ F
- Total = 1.500.000 F

. Inconvénients :

- le traitement peut durer plusieurs années en fonction de l'épaisseur de la couche de goudrons à traiter,
- contrôle par forages et analyses.

* 2ème solution : confinement

On peut envisager de mettre en place une couverture étanche avec paroi souple qui s'ancrera dans un fossé à 2,00 m de profondeur dans les argiles de surface. Les remblais pollués seront confinés entre la couche d'argile à la base et la membrane étanche au sommet.

- . Coût* : 1.400.000 F.

- . Avantages : rapidité d'exécution.

. Inconvénients :

- les polluants restent sur place,
- la dépollution de la nappe doit faire l'objet d'un autre traitement,
- la zone confinée est potentiellement gelée (espaces verts, parking, voies de communication). Néanmoins, si on veut réutiliser les terrains (constructions de bâtiments), on peut envisager de coupler l'étanchéité avec une dalle béton ou un radier généralisé sur lesquels on pourrait construire un bâtiment ou mettre en place un remblai de 1,00 à 1,50 m au-dessus de la couverture étanche afin d'y ancrer des fondations superficielles. Par contre, les fondations profondes sont à proscrire.

* 3ème solution : excavation de l'ensemble des terres polluées, mise en décharge

. Coût* : $7.500 \times 600 = 4.500.000$ F.

. Inconvénient : coût très élevé dépendant du volume excavé.

. Avantages :

- les polluants ne sont plus sur le site,
- la zone, après remblaiement, n'a plus aucune contrainte, en particulier du point de vue constructibilité.

* Les coûts sont estimés à partir d'un volume de 7.500 m³, volume qui doit, comme nous l'avons déjà signalé par ailleurs, être confirmé par une campagne de reconnaissance complémentaire permettant d'affiner les limites de la pollution.

8.2.2. Traitement de la nappe

S'il apparaissait que les eaux de la nappe des sables et graviers doivent être dépolluées, bien qu'aucun captage d'eau avoisinant ne soit directement menacé, deux solutions sont envisageables :

- biodégradation,
- pompage de dépollution avec traitement des eaux (résines échangeurs d'ions) ou rejet dans la Moselle (facteur de dilution de 1.000 environ).

Cependant, la zone à traiter est très étendue par rapport à l'ensemble du site et le coût global du traitement est très important.

De plus, toute l'étude de faisabilité reste à faire :

- extension et caractérisation de la pollution par mise en place d'un réseau de piézomètres et analyse des eaux,
- débit à mettre en oeuvre avant d'envisager toute solution de traitement de la nappe.

9 - CONCLUSION

Cette étude, cofinancée par le BRGM - Service Géologique Régional Lorraine - mission Service Public et l'Etablissement Public Foncier de la Métropole Lorraine a permis de mettre en évidence la pré-faisabilité des travaux de biotraitement de la pollution rencontrée sur les sites des anciennes cokeries de MICHEVILLE (54) et de THIONVILLE (57).

La pollution de ces sites est due à la présence d'hydrocarbures en nappe plus ou moins épaisse, souvent associée à des teneurs en phénols, en métaux lourds et en cyanures élevées. Une première zonation des surfaces polluées a permis d'estimer : **7.500 m² à Thionville, 300 m² à Micheville.**

L'étude de la flore bactérienne montre la présence de populations de bactéries aérobies et anaérobies et de champignons qui se développent sur les échantillons de sols lixiviés ou non. Cette microflore entraîne la biodégradation des produits organiques polluants qui se traduit par la production de CO₂ et de NH₄ dans le milieu.

La biodégradation est donc techniquement faisable sur le site de Thionville ou de Micheville, cependant certains inconvénients majeurs subsistent.

L'étude et la comparaison des différentes méthodes de traitement des sites pollués a permis de faire le choix suivant :

MICHEVILLE : excavation - mise en décharge. Coût* = 300 KF.

THIONVILLE :

. Traitement des sols : biodégradation + lessivage

Coût* = 1.500 KF.

Inconvénient : durée très longue.

. Couverture étanche

Coût* = 1.400 KF.

Inconvénients : zone gelée du point de vue constructibilité, pollution reste sur place.

Avantage : rapidité d'exécution.

. Excavation - mise en décharge

Coût* = 4.500 KF.

Inconvénient : coût très élevé dépendant du volume excavé.

Avantages : la pollution n'est plus sur le site, la zone après remblaiement n'est plus gelée.

. Traitement des eaux

La biodégradation ou des pompages de dépollution peuvent être envisagés. Cependant, la zone à traiter, non définie actuellement, est très étendue sur l'ensemble du site (pollution non localisée) et le coût global du traitement ne peut être estimé.

* Volume à confirmer par étude de sols complémentaire permettant de localiser précisément la pollution.

MINISTERE DE L'INDUSTRIE
ETABLISSEMENT PUBLIC FONCIER DE LA METROPOLE
LORRAINE

Réhabilitation des friches industrielles de Lorraine

Etude de pré-faisabilité des travaux de
biotraitement
des pollutions rencontrées sur les sites des
cokeries de THIONVILLE (57) et MICHEVILLE (54)

Rapport final

ANNEXE 1

RESULTATS DE LA PREMIERE PHASE D'ANALYSE CHIMIQUE. ANALYSE PRELIMINAIRE

R 30459 LOR 4S 90

ANNEXE 1 - PREMIERE SERIE D'ANALYSES SUR RESIDUS DE COKERIE.
ANALYSE PRELIMINAIRE.

REPERES	% RESIDU SEC A 105°	SOUFRE TOTAL % Mat.sèche	INDICE PHENOL* mg/kg mat. sèche	ON TOTAL mg/kg mat. sèche	INDICE CH2** mg/kg mat. sèche
Mi 1 - 0,5	86,0	0,58	< 2	< 2	47
Mi 3 - 0,2	84,4	0,51	< 2	< 2	57
Mi 3 - 0,5	77,4	1,25	< 2	< 2	< 10
Mi 6 - 1,0	48,3	< 0,1	< 4	182	< 20
Mi 7 - 0,2	94,3	0,43	< 2	97	106
Mi 9 - 0,2	82,9	1,15	33	< 2	230
T 5 - 0,5	73,6	10,21	< 2	< 2	34
T 7 - 0,5	83,3	1,2	1085	15	498
T 1 - 0,8	87,3	1,06	< 2	17	< 10
T 3 - 0,5	81,6	1,27	< 2	15	< 10
T 3 - 1,2	77,0	0,34	< 2	5	357
T 3 - 1,7	69,1	3,68	29	376	2713
T 3 - 2,5	74,4	0,65	< 2	78	5712
T3 bis-1,5	56,2	1,18	< 2	1388	489
T3 bis-2,0	64,7	0,91	4	912	7342
T 5 - 1,2	48,4	< 0,1	< 2	5	372
T 6 - 0,5	95,6	0,42	146	10	230

* Analysé par chromatographie liquide après lessivage à l'eau.

** Analysé par chromatographie en phase gazeuse après extraction en euxley avec du pentane.

MINISTERE DE L'INDUSTRIE
ETABLISSEMENT PUBLIC FONCIER DE LA METROPOLE
LORRAINE

Réhabilitation des friches industrielles de Lorraine

Etude de pré-faisabilité des travaux de
biotraitement
des pollutions rencontrées sur les sites des
cokeries de THIONVILLE (57) et MICHEVILLE (54)

Rapport final

ANNEXE 2

RESULTATS DE LA DEUXIEME PHASE D'ANALYSE CHIMIQUE. IDENTIFICATION DES
PRINCIPAUX POLLUANTS.

R 30459 LOR 4S 90

ANNEXE 2 - DEUXIEME SERIE D'ANALYSES SUR RESIDUS DE COKERIE. IDENTIFICATION DES PRINCIPAUX POLLUANTS

	Mi6	Mi7	Mi9	T7	T3	T6	T3bis
	1,0 m	0,2 m	0,2 m	0,5 m	1,7 m	0,5 m	1,5+2,0m
Résidu à 105°C (%)	60,5	93,5	79,8	85,3	62,8	91,1	56,3
Résidu à 550°C (% mat. sèche)	94,9	88,7	37,6	39,7	46,7	37,2	7,3
Sulfures (mg/kg mat. sèche)	276	482	135	211	217	68	32
Sulfocyanures (mg/kg mat. sèche)	<80	<53	<63	223	80	<55	<88
<u>Eléments métalliques (mg/kg mat. sèche)</u>							
Cd	52	10	96	466	49	19842	<60
Cu	78	113	239	466	2826	9677	1465
Ni	48	36	181	242	268	253	863
Cr	20	64	154	93	133	105	493
Pb	263	124	3059	22418	19914	6720	5068
Zn	1075	225	1596	12343	4197	8199	12055
Al	3087	36471	62367	51511	45717	37231	356164
<u>Solvants (mg/kg mat. sèche)</u>							
benzène	<3,5	<2	<2,5	25	2914	<2	<3
toluène	<3,5	<2	<2,5	52	5987	<2	19
xylène	<3,5	<2	<2,5	79	4076	12	126
styrène	<3,5	<2	<2,5	28	955	<2	52
<u>Phénols (mg/kg mat. sèche)</u>							
phénol	1,6	1,5	9,4	399	10	3,5	0,5
m + p. crésol	nd	0,64	4,8	85	7	61	nd
o. crésol	nd	0,64	3,8	243	10	42	nd
3-4 diméthylphénol	nd	nd	4,8	nd	13	11	nd
3-5 "	nd	nd	7,1	129	14	64	nd
2 naphtol	nd	nd	2,1	29	nd	nd	nd
2-5 diméthylphénol	nd	nd	4,9	nd	12	29	nd
2-6 "	nd	nd	nd	349	nd	nd	nd
1 naptol	nd	0,4	nd	nd	nd	nd	nd

nd : non déterminé.

MINISTERE DE L'INDUSTRIE
ETABLISSEMENT PUBLIC FONCIER DE LA METROPOLE
LORRAINE

Réhabilitation des friches industrielles de Lorraine

Etude de pré-faisabilité des travaux de
biotraitement
des pollutions rencontrées sur les sites des
cokeries de THIONVILLE (57) et MICHEVILLE (54)

Rapport final

ANNEXE 3

RESULTATS DE LA TROISIEME PHASE D'ANALYSE CHIMIQUE
TEST DE LIXIVIATION

R 30459 LOR 4S 90

ANNEXE 3 - TROISIEME SERIE D'ANALYSES SUR RESIDUS DE COKERIE. TEST DE LIXIVIATION.

1. CARACTERISTIQUES ANALYTIQUES SOMMAIRES DE L'ECHANTILLON

	T7 - 0,5 m	T3 - 1,7 m
ASPECT	pâteux, homogène, noir, forte odeur de goudron	pâteux, homogène, noir, forte odeur de goudron
HUMIDITE (%)	14,7	30,9
MATIERE MINERALE (% de la mat. sèche)	39,7	46,7
INDICE PHENOL (mg/kg mat. sèche)	1060	29
CN TOTAUX	14	376
SULFURES	211	197
SULFOCYANURES	223	72
INDICE CH2	486	2713
SOUFRE TOTAL	12000	36800
CHROME	93	133
ZINC	12343	4197
CADMIUM	466	49
NICKEL	242	268
PLOMB	22418	19914
FER	226700	167023
ALUMINIUM	51511	45717
CUIVRE	466	2826
MANGANESE	9471	4882

2. SUIVIS ANALYTIQUES DES EXTRACTIONS AU COURS DU TEST DE LIXIVIATION

	T7 - 0,5 m			T3 - 1,7 m		
	1° extrac.	2° extrac.	3° extrac.	1° extrac.	2° extrac.	3° extrac.
ASPECT	légèrement trouble			trouble		
COULEUR	ambrée			brune	grise	grise
pH	6,95	6,80	7,0	7,15	6,85	6,85
Résistivité .cm	2326	5405	3330	3030	6452	5263
DBO5 mgO2/l	156	70	68	104	106	100
DCO "	280	160	156	600	676	584

3. QUANTITES EXTRAITES LORS DES TROIS EXTRACTIONS

	T7 - 0,5 m.			T3 - 1,7 m		
	1ère extraction mg/l	2è extraction mg/l	3è extraction mg/l	1ère extraction mg/l	2è extraction mg/l	3è extraction mg/l
FLUORURES	0,6	0,35	0,3	0,8	0,3	0,2
INDICE PHENOL	11,3	2,7	1,6	0,42	0,23	0,20
CN TOTAUX	0,064	0,098	0,080	1,72	1,76	2,0
N DE NH4	6	0,9	0,1	1,6	0,8	0,45
SOUFRE TOTAL	24	5	4,3	27	17	12
INDICE CH2	0,1	< 0,1	< 0,1	0,6	0,1	< 0,1
SULFURES	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5
SULFOCYANURES	10,0	2,6	4,0	< 0,2	< 0,2	< 0,2
CHROME TOTAL	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05
ZINC	0,22	0,19	0,21	0,32	0,45	0,35
CADMIUM	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05
NICKEL	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05
PLOMB	0,10	0,10	0,05	0,75	1,30	1,0
FER	2,15	2,79	2,37	14	20,5	15,3
ALUMINIUM	0,91	1,05	0,94	15,5	24,4	16,2
CUIVRE	< 0,05	< 0,05	< 0,05	0,09	0,15	0,14
MANGANESE	1,40	0,64	1,47	0,47	0,40	0,42

TEST DAPHNIES REALISE SUR LE 1er EXTRAIT : 4,3 équitox/m3

TEST DAPHNIES REALISE SUR LE 1er EXTRAIT : 5,7 équitox/l

ANNEXE 4 - ANALYSE DES EAUX SOUTERRAINES A THIONVILLE (extrait du rapport 89 SGN 283 LOR).

	PZ 1	PZ 2	S 45
LIEU DE PRELEVEMENT:	PZ 1	PZ 2	S 45
résistivité (ohm.cm)	885	515	690
pH	7,3	7,98	7,86
DBO5	36	503	317
DCO	59	879	570
sulfures (mg/l)	-	-	0,30
cyanures (mg/l)	0,02	0,65	0,34
phénols (mg/l)	0,11	43,0	0,08
mat. grasses (mg/l)	20	40	300
hydrocarb. (mg/l) -1-	0,20	86,0	0,40
SEC (mg/l) -2-	30	90	-

-1- Dosés globalement aux infrarouges.

-2- Substances extractibles au chloroforme.