RÉFÉRENCE : D2023-068-RSSP03-V1
DATE : 16/10/2026

EPFGE

SAINT-AVOLD (57) - ANCIENNE COKERIE DE CARLING

Synthèse des essais pilotes des matériaux à traiter sur la plateforme



* 5, rue du Talus
67400 ILLKIRCH-GRAFFENSTADEN
* Téléphone : +33 (0) 3 68 33 97 46
contact@archimed-env.com
* RCS STRASBOURG 802 657 437
SIRET 802 657 437 000 25 – NAF : 7112B
TVA : FR91 802 657 437
* Responsable légale : Amandine KUBLER

ENVIRONNEMENT LNE CERTIFICATION Sites et Sol Pollués Études, assistance et contrôle

ENVIRONNEMENT LNE CERTIFICATION Sites et Sols Pollués Ingénierie des travaux de réhabilitation

CERTIFICATION RÉGLEMENTAIRE
Attestations prévues par le code de l'environnement pour les CESSATIONS D'ACTIVITÉ et les SITES ET SOLS POLLUÉS
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

ATTES ALUR – ATTES SECUR / MEMOIRE / TRAVAUX

Sommaire

1. Contexte 5
2. Caractéristiques des matériaux à traiter 5
   - 2.1 Localisation de la plateforme 5
   - 2.2 Origine et localisation des stocks sur la plateforme 7
3. Synthèse des résultats des essais pilotes pour les matériaux à traiter au droit de la plateforme 11
   - 3.1 Résultats de l'essai de traitement de venting on site 11
     - 3.1.1 Matrice ZP22SP - essai de traitement des COHV 11
     - 3.1.2 Matrice ZP02NP - essai de traitement des COHV 12
   - 3.2 Résultats de l'essai de traitement de biodégradation aérobie on site 13
     - 3.2.1 Matrice ZP20SP - essai de traitement des HCT 13
     - 3.2.2 Matrice ZP13NP - essai de traitement des HCT et COHV 14
   - 3.3 Résultats de l'essai de traitement de biodégradation aérobie on site avec ajout d'oxygène 15
     - 3.3.1 Matrice ZP20SP - essai de traitement des HCT 15
     - 3.3.2 Matrice ZP23NP - essai de traitement des HCT 15
   - 3.4 Discussion du gain lié à l'ajout d'oxygène 16
   - 3.5 Résultats de l'essai de traitement des hydrocarbures lourds par désorption thermique on site – ZP28NP... 16
   - 3.6 Comment le COT / charbon présent peut-il limiter le traitement des COHV dans la matrice ? 17
     - 3.6.1 Choix des matrices à tester 17
     - 3.6.2 Résultats du test de venting chauffé 18
     - 3.6.3 Résultat du test de combustion 18
     - 3.6.4 Résultat du test de désorption thermique en colonne 19
     - 3.6.5 Résultats des tests de lavage 19
     - 3.6.6 Résultats des tests d'injection de vapeur 20

Annexes

Annexe 1 Rapport ORTEC 9XP179-BC2-V2

Annexe 2 Rapport ORTEC 9XP179-BC4-V02

Annexe 3 Rapport ORTEC 9XP179-BC5-01

Illustrations

Illustration 1: Plan d'implantation général de la plateforme 6

Illustration 2: Plan de localisation des stocks sur la plateforme à la fin du chantier du lot 03 – Plan 1/2 (source ARCHIMED Environnement) 8

Illustration 3: Plan de localisation des stocks sur la plateforme à la fin du chantier du lot 03 – Plan 2/2 (source ARCHIMED Environnement) 9

Tableaux

Tableau 1: Caractéristiques des stocks présents sur la plateforme à la fin du chantier 10

Tableau 2 : Caractéristiques de l'essai pilote de venting on site au droit des matériaux de la ZP22SP 11

Tableau 3 : Caractéristiques de l'essai pilote de venting on site au droit des matériaux de la ZP02NP 12

Tableau 4 : Caractéristiques de l'essai pilote de biodégradation aérobie on site au droit des matériaux de la ZP20SP 13

Tableau 5 : Caractéristiques de l'essai pilote de biodégradation aérobie on site au droit des matériaux de la ZP13NP 14

Tableau 6 : Caractéristiques de l'essai pilote de biodégradation aérobie on site au droit des matériaux de la ZP20SP 15

Tableau 7 : Caractéristiques de l'essai pilote de biodégradation aérobie on site au droit des matériaux de la ZP23NP 16

Tableau 8 : Caractéristiques de l'essai de désorption thermique on site au droit des matériaux de la ZP28NP 17

Tableau 9 : Caractéristiques des matrices testées 18

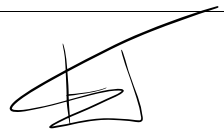
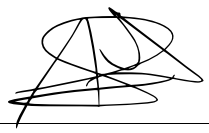
Tableau 10 : Résultats des analyses après tamisage à sec 19

Tableau 11 : Résultats des analyses après passage sur hydrocyclone 20

RENSEIGNEMENTS GÉNÉRAUX	
MAÎTRE D'OUVRAGE	EPFGE
SITE	ANCIENNE COKERIE DE CARLING
ADRESSE	RN33 (route de Carling) SAINT-AVOLD (57500)
MISSION	Synthèse des essais pilotes des matériaux à traiter sur la plateforme
RÉFÉRENCE	D2023-068-RSSP03-V0

VERSIONS		
VERSION	DATE	OBSERVATIONS/MODIFICATIONS
V0	13/10/2026	Version initiale
V1	16/10/2026	Prise en compte remarques EPFGE

CHEF DE PROJET	Étienne HEISSAT
SUPERVISEUR	Amandine KUBLER

SIGNATAIRES		
RÔLE	NOM	SIGNATURE
RÉDACTION	Kaoutar CHAOUI	
VÉRIFICATION TECHNIQUE	Étienne HEISSAT	
SUPERVISION	Amandine KUBLER	

1. Contexte

L'Établissement Public Foncier de Grand Est (EPFGE), est pleinement mobilisé dans la reconversion du site de l'ancienne Cokerie de Carling dont la grande superficie, la disponibilité et la position intégrée à l'écosystème industriel important que constitue la plateforme chimique de Carling/Saint-Avold en fait un site d'enjeu national. Sur l'intégralité du foncier acquis le 10 février 2023, la Communauté d'Agglomération Saint-Avold Synergie (CASAS) affecte environ 40 hectares à sa réindustrialisation.

Dans le cadre d'une première phase de travaux engagée début 2024, l'EPFGE a réalisé une première phase de dépollution et de mise en conformité sanitaire à travers trois marchés de travaux :

- Lot 01 : Essais pilotes de traitement (laboratoire, in situ et on-site) ;
- Lot 02 : Création d'une plateforme de stockage, tri et traitement des terres ;
- Lot 03 : Terrassement des zones à traiter du secteur du premier porteur de projet.

Les travaux correspondant à ces trois premiers lots se sont déroulés entre 2024 et 2025 avec le rendu des résultats des derniers essais pilotes mi-novembre 2025.

La plateforme de stockage accueille actuellement environ 12 000 m^3 de matériaux à traiter. L'étude d'Avant-Projet a permis d'identifier 3 blocs de matériaux :

- Bloc α : matériaux charbonneux noirs comportant des teneurs élevées en COT et COHV ;
- Bloc β : matériaux charbonneux noirs comportant des teneurs modérées en COT mais des teneurs importantes en COHV ;
- Bloc γ : matériaux sableux impactés en COHV.

Les résultats des essais pilotes n'ont pas permis d'identifier une technique de traitement fiable pour les matériaux du bloc α et dans une moindre mesure pour ceux du bloc β. Le traitement par désorption thermique reste la technique la plus prometteuse.

Ce document constitue une synthèse des résultats des essais pilotes réalisés sur les matériaux stockés au droit de la plateforme. Il est intégré au dossier de consultation des entreprises pour la phase candidature relative au traitement des matériaux et a pour objectif de présenter les essais pilotes déjà réalisés sur les matériaux stockés afin de permettre aux candidats d'avoir un retour d'expérience, notamment sur les solutions testées et leurs limites.

2. Caractéristiques des matériaux à traiter

2.1 Localisation de la plateforme

La plateforme de traitement des terres est localisée sur le site des anciennes cokeries de CARLING sur la commune de Saint Avold.

Elle a été implantée sur la parcelle n°019 section 57 et n°019 section 56. Le plan de localisation de la plateforme est présenté sur la figure ci-dessous.

BUREAU D'ÉTUDES ENVIRONNEMENT	MAITRE D'OUVRAGE	OPÉRATION	Date :	Dossier n° :
archimed environnement 5, RUE DU TALUS 67400 ILLKIRCH-GRAFFENSTADEN contact@archimed-env.com	EPFGE Rue Robert Blum 54 701 PONT-À-MOUSSON	Zone des 18,3 ha COKES DE CARLING 57 500 SAINT-AVOLD	18/11/2025	D2023-068
			Version : 1-AKA	Echelle : 1/1 000 - A3

Plateforme de stockage



2.2 Origine et localisation des stocks sur la plateforme

Les tas mis en stock sur la plateforme correspondent :

- Aux stocks pour lesquels les concentrations sont supérieures aux valeurs de l'Arrêté Préfectoral du 16 juin 2021 ;
- Aux stocks pour lesquels les contrôles sur les gaz du sol ont fait apparaître la possibilité de risques sanitaires non compatibles après remblais.

La localisation des tas sur la plateforme est présentée sur les illustrations suivantes.

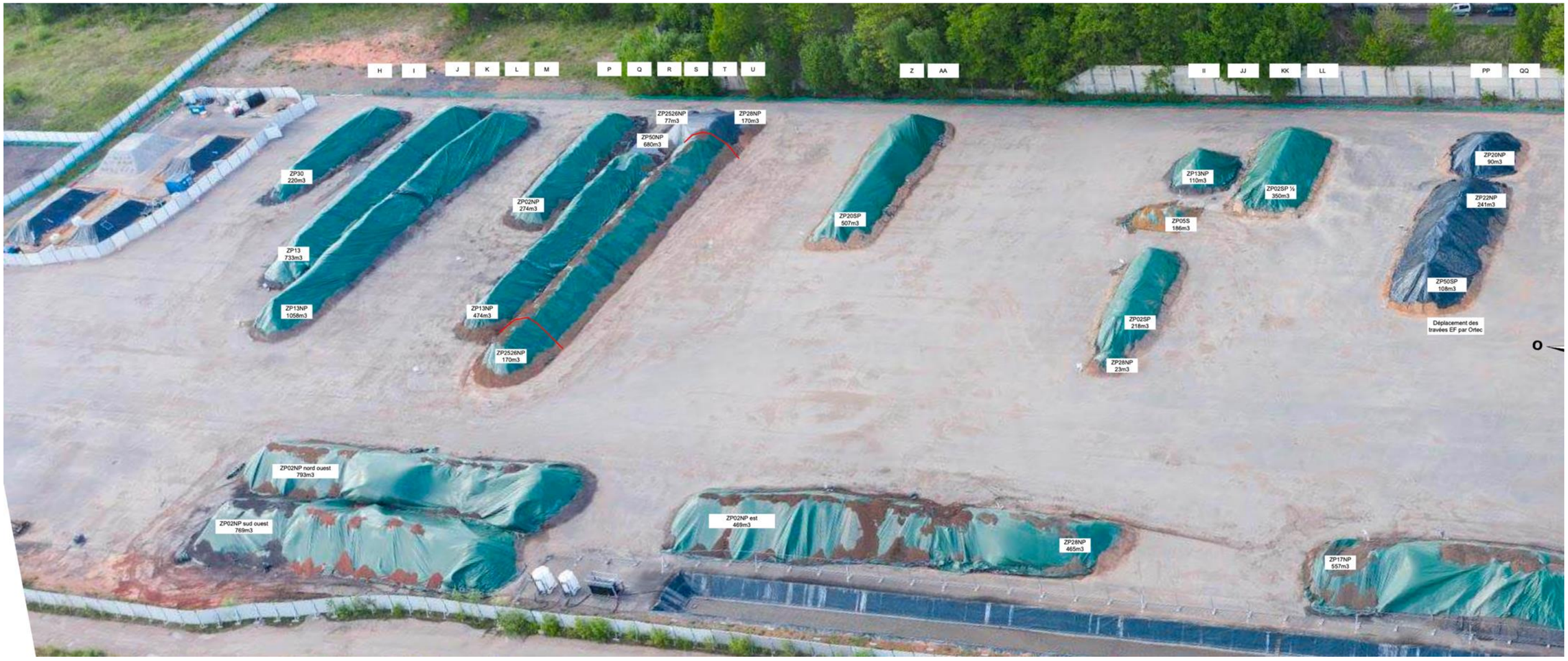


Illustration 2: Plan de localisation des stocks sur la plateforme à la fin du chantier du lot 03 – Plan 1/2 (source ARCHIMED Environnement)



Illustration 3: Plan de localisation des stocks sur la plateforme à la fin du chantier du lot 03 – Plan 2/2 (source ARCHIMED Environnement)

Le tableau ci-après présente la synthèse des données analytiques disponibles avant caractérisations complémentaires réalisées en octobre 2025. Pour chaque stock les concentrations supérieures aux seuils de l'Arrêté Préfectoral du 16 juin 2021 sont présentées en jaune.

Tableau 1: Caractéristiques des stocks présents sur la plateforme à la fin du chantier

N°	STOCK	TRAVEE	VOLUME EN M3	NOM ECHANTILLON	COMPLEMENT	N°ECHANTILLON	LITHOLOGIE	GRANULOMETRIE	MOTIF DE DECLASSEMENT	DATE DE PRELEVEMENT	Mesures PID	Matières sèches	HAP Totaux	BTEX Totaux	COHV totaux	HC C5-C10	HC C10-C40
1	ZP30	HI	220	ZP30*	-	405734	SABLE	NON CRIBLE	Dépassement objectif AP sur sols bruts	10/10/2024	0	87,7	41,5	2,5	17,18	6,5	250
2	ZP13	JK	733	ZP13N(P)/2 LL	-	188664	REMBLAIS A RESIDUS HOUILLER NOIR	0 -31,5 mm	Dépassement objectif AP sur sols bruts	25/06/2024	1,4	86,7	71,7	1,66	24,11	10	950
				ZP13(P)/2 WW	-	188654	REMBLAIS A RESIDUS HOUILLER NOIR	0 -31,5 mm	Dépassement objectif AP sur sols bruts	25/06/2024	0,1	88,3	72,9	3,52	16,08	15	840
3	ZP13	LM	1058	ZP13/NP/L/1	ZP13NP-3 (Moitié Nord)	265307	REMBLAIS A RESIDUS HOUILLER NOIR	0 -31,5 mm	Dépassement objectif AP sur sols bruts	31/07/2024	/	88,1	21,3	3	43	2,8	410
				ZP13/NP/L/2	ZP13NP-3 (Moitié Sud)	265308	REMBLAIS A RESIDUS HOUILLER NOIR	0 -31,5 mm	Dépassement objectif AP sur sols bruts	31/07/2024	/	85,8	24,2	3	33	2,7	380
4	ZP02NP	PQ	274	ZP02N(P)-1-PQ	-	493808	REMBLAIS A RESIDUS HOUILLER NOIR	0 -31,5 mm	Dépassement objectif AP sur sols bruts	19/11/2024	0	85,2	7,83	0,3	42,06	1,5	220
5	ZP13NP	RS	474	ZP13N(P)/ISDI1/S	ZP13NP - (Moitié Nord)	280030	REMBLAIS A RESIDUS HOUILLER NOIR	0 -31,5 mm	Dépassement objectif AP sur sols bruts	09/08/2024	/	88,9	63,3	1,6	16	5,6	330
				ZP13N(P)/ISDI2/S	ZP13NP - (Moitié Sud)	280032	REMBLAIS A RESIDUS HOUILLER NOIR	0 -31,5 mm	Dépassement objectif AP sur sols bruts	09/08/2024	/	90,2	168	2,4	35,12	7,2	450
6	ZP2526NP	RS	77	ZP25-26N(P)/2bis/CCC	-	236699	REMBLAIS A RESIDUS HOUILLER NOIR	0 -31,5 mm	Teneurs sanitairement incompatibles avec l'usage futur	17/07/2024	60	88,3	172	3	6,7	39	5800
7	ZP2526NP	TU	170	ZP25-26N(P)/T	-	227837	REMBLAIS A RESIDUS HOUILLER NOIR	0 -31,5 mm	Teneurs sanitairement incompatibles avec l'usage futur	12/07/2024	/	87,7	10,8	0,39	0,792	6	4100
8	ZP50NP	TU	680	ZP50N(P)/T	ZP50NP	227833	REMBLAIS A RESIDUS HOUILLER NOIR	0 -31,5 mm	Dépassement objectif AP sur sols bruts	12/07/2024	/	89,4	24	3	25	1	150
9	ZP28NP	TU	170	ZP28N(P)/T	-	227835	REMBLAIS A RESIDUS HOUILLER NOIR	0 -31,5 mm	Teneurs sanitairement incompatibles avec l'usage futur	12/07/2024	/	89,8	543	0,38	0,39	1,4	1700
10	ZP20SP	Z/AA	507	ZP20S(P)/1	-	195489	SABLE	0 -31,5 mm	Teneurs sanitairement incompatibles avec l'usage futur	27/06/2024	15,5	87,1	72,6	1,787	3,2	3,8	1700
				ZP20S(P)/2	-	195490	SABLE	0 -31,5 mm	Teneurs sanitairement incompatibles avec l'usage futur	27/06/2024	10,8	86,7	67,3	1,15	6,48	2,6	1200
11	ZP28NP	II/JJ	23	ZP28 N (P) - II-JJ	-	635900	REMBLAIS A RESIDUS HOUILLER NOIR	0 -31,5 mm	Dépassement objectif AP sur sols bruts	30/01/2025	18,5	86,5	175	30	67	1	6500
12	ZP02SP	II/JJ	218	ZP02 S (P) - II-JJ	-	635899	SABLE	0 -31,5 mm	Dépassement objectif AP sur sols bruts	30/01/2025	1	85,5	18,6	0,27	23,28	1,5	40,5
13	ZP05S	II/JJ	186	ZP05S(P)-FF	-	635887	SABLE	0 -31,5 mm	Teneurs sanitairement incompatibles avec l'usage futur	30/01/2025	0	81,3	217	3,66	1,8	14	360
14	ZP13NP	II/JJ	110	ZP13 N (P) - II-JJ	-	635897	REMBLAIS A RESIDUS HOUILLER NOIR	0 -31,5 mm	Dépassement objectif AP sur sols bruts	30/01/2025	1,9	85,5	15,7	6,3	73	1	420
15	ZP02SP 1/2	KK/LL	350	ZP02SP LL-2	-	376591	SABLE	0 -31,5 mm	Dépassement objectif AP sur sols bruts	26/09/2024	/	86	1,27	0,3	31,58	1	30,3
16	ZP50SP	PP/QQ	108	ZP50S(P)/ISDI/E	-	280043	SABLE	0 -31,5 mm	Teneurs sanitairement incompatibles avec l'usage futur	09/08/2024	/	88,2	34	0,15	1,1	1	730
17	ZP22NP	PP/QQ	241	ZP22/NP/A	-	265299	REMBLAIS A RESIDUS HOUILLER NOIR	0 -31,5 mm	Teneurs sanitairement incompatibles avec l'usage futur	31/07/2024	/	85,8	194	3	0,82	7,9	3000
18	ZP20NP	PP/QQ	90	ZP20N(P)/E	-	280039	REMBLAIS A RESIDUS HOUILLER NOIR	0 -31,5 mm	Teneurs sanitairement incompatibles avec l'usage futur	09/08/2024	/	88,1	16,2	0,54	2,997	< 1,00	1000
19	ZP15/16SP	UU/VV	140	ZP15/16 S (P)	ZP15/16SP	155377	SABLE	0 -31,5 mm	Dépassement objectif AP sur sols bruts	11/06/2024	0	93,2	6,56	0,83	24	2,3	160
20	ZP22SP	WW/XX	518	ZP22 S (P)/1 WW	ZP22SP-2	188659	SABLE	0 -31,5 mm	Dépassement objectif AP sur sols bruts	25/06/2024	0,2	87,6	31,5	0,07	26,22	1	420
21	ZP13NP	ZZ	667	ZP13N(P)/1/ZZ	ZP13NP-2 (Moitié Nord)	236696	REMBLAIS A RESIDUS HOUILLER NOIR	0 -31,5 mm	Dépassement objectif AP sur sols bruts	17/07/2024	4,6	88,1	26,7	1,65	69,56	11	470
				ZP13N(P)/2/ZZ	ZP13NP-2 (Moitié Sud)	236697	REMBLAIS A RESIDUS HOUILLER NOIR	0 -31,5 mm	Dépassement objectif AP sur sols bruts	17/07/2024	6,2	86,6	30,7	30	110	1	540
22	ZP23NP(AB	AAA/BBB	59	ZP23 N(P) (AB)	ZP23NP-2	265297	REMBLAIS A RESIDUS HOUILLER NOIR	0 -31,5 mm	Saturation du support gaz du sol	31/07/2024	/	87,2	75,3	1,83	3,53	11	770
23	ZP23SP	AAA/BBB	277	ZP23/SP/A	-	265298	SABLE	0 -31,5 mm	Teneurs sanitairement incompatibles avec l'usage futur	31/07/2024	/	85,7	12	0,3	5,72	1	850
24	ZP18NP	AAA/BBB	75	ZP18/NP/C	-	265309	REMBLAIS A RESIDUS HOUILLER NOIR	0 -31,5 mm	Teneurs sanitairement incompatibles avec l'usage futur	31/07/2024	/	86,5	30,6	3	2,1	1	1000
25	ZP16NP	AAA/BBB	34	ZP16 N (P)/C	ZP16NP	280033	REMBLAIS A RESIDUS HOUILLER NOIR	0 -31,5 mm	Dépassement objectif AP sur sols bruts	09/08/2024	/	95,9	11,4	0,064	17,69	1	420
26	ZP02NM	AAA/BBB	56	ZP02SM HH	-	376593	REMBLAIS A RESIDUS HOUILLER NOIR	31,5 - 80 mm	Dépassement objectif AP sur sols bruts	26/09/2024	/	92,5	11,9	0,95	100,322	7,8	120
27	ZP14NP	AAA/BBB	105	ZP14N(P)/1 SS TT	ZP14NP-3	155378	REMBLAIS A RESIDUS HOUILLER NOIR	0 -31,5 mm	Dépassement objectif AP sur sols bruts	11/06/2024	2,7	91,7	18,7	0,763	16,909	1,3	630
28	ZP14NM	AAA/BBB	32	ZP14 N (M) HH	ZP14NM	180918	REMBLAIS A RESIDUS HOUILLER NOIR	31,5 - 80 mm	Dépassement objectif AP sur sols bruts	20/06/2024	0,1	85	21,4	0,07	36	1,7	130
29	ZP50NP	AAA/BBB	84	ZP50N(P) DD	ZP50NP	155386	REMBLAIS A RESIDUS HOUILLER NOIR	0 -31,5 mm	Dépassement objectif AP sur sols bruts	11/06/2024	1,4	90,7	2,79	0,516	24,19	1	120
30	ZP23NP	BBB/CCC	47	ZP23N(P) (UU-VV)	ZP23NP-2	159983	REMBLAIS A RESIDUS HOUILLER NOIR	0 -31,5 mm	Dépassement objectif AP sur sols bruts	12/06/2024	2,3	88,6	39	1,18	32,66	2,3	2500
31	ZP28NP	BBB/CCC	143	ZP28N (M)/V	-	265302	REMBLAIS A RESIDUS HOUILLER NOIR	31,5 - 80 mm	Dépassement objectif AP sur sols bruts	31/07/2024	/	96,8	891	30	67	1	2700
32	ZP17NP	BBB/CCC	40	ZP17N(P)	-	155380	REMBLAIS A RESIDUS HOUILLER NOIR	0 -31,5 mm	Teneurs sanitairement incompatibles avec l'usage futur	11.06.2024	1,3	91,7	12,4	1,94	2,8	10	650
33	ZP22SP	BBB/CCC	179	ZP22 S (P) VV	ZP22SP-1	188657	SABLE	0 -31,5 mm	Dépassement objectif AP sur sols bruts	25/06/2024	0,2	85,6	16,8	0,3	27,15	1	290
34	ZP50SP	BBB/CCC	162	ZP50S(P)/SS	ZP50SP-1	280027	SABLE	0 -31,5 mm	Dépassement objectif AP sur sols bruts	09/08/2024		89,4	10,6	0,16	23,09	1	85,6
35	ZPSP	BBB/CCC	27	ZP SP	-	493824	SABLE	0 -31,5 mm	Dépassement objectif AP sur sols bruts	19/11/2024	2,3	86,2	36,2	<0,07	17	<1,00	97,2
36	ZP48NP	BBB/CCC	14	ZP48 NP	-	155358	REMBLAIS A RESIDUS HOUILLER NOIR	0 -31,5 mm	Teneurs sanitairement incompatibles avec l'usage futur	11/06/2024	0,1	92	30	2,86	13,18	6,3	350
37	ZP23NP	DDD/EEE	139	ZP23NP (QQ-RR)	-	635889	REMBLAIS A RESIDUS HOUILLER NOIR	0 -31,5 mm	Teneurs sanitairement incompatibles avec l'usage futur	30/01/2025	13,3	85,5	115	1,5	6,18	4,3	800
38	ZP27NP	DDD/EEE	72	ZP27 NP (LL-MM)	-	635895	REMBLAIS A RESIDUS HOUILLER NOIR	0 -31,5 mm	Teneurs sanitairement incompatibles avec l'usage futur	30/01/2025	9,8	87,3	578	4,46	7,8	8,1	2300
39	ZP49SP	DDD/EEE	13	ZP49S(P) OO	ZP49SP	188661	SABLE	0 -31,5 mm	Dépassement objectif AP sur sols bruts	25/06/2024	0,7	89	16,6	1,023	18,12	4,4	220
40	ZP14SP	DDD/EEE	409	ZP14S(P)/1 QQ RR (Moitié Nord du lot criblé)	ZP14SP-2	155375	SABLE	0 -31,5 mm	Dépassement objectif AP sur sols bruts	11/06/2024	3,4	91,7	7,78	1,2	23,33	5	130
41	ZP02NP nord ouiest	NOUE	793	ZP02NPB-1(Noue)	ZP02NP nord-ouest (Moitié Est)	349973	REMBLAIS A RESIDUS HOUILLER NOIR	0 -31,5 mm	Dépassement objectif AP sur sols bruts	17/09/2024	0,2	86,6	18,8	0,51	97,29	5,9	280
				ZP02NPB-2(Noue)	ZP02NP nord-ouest (Moitié Ouest)	349974	REMBLAIS A RESIDUS HOUILLER NOIR	0 -31,5 mm	Dépassement objectif AP sur sols bruts	17/09/2024	0,7	88,1	46,1	0,64	76,437	5,9	230
42	ZP02NP sud ouest	NOUE	769	ZP02NPC-1(Noue)	ZP02NP sud-ouest (Moitié Est)	349975	REMBLAIS A RESIDUS HOUILLER NOIR	0 -31,5 mm	Dépassement objectif AP sur sols bruts	17/09/2024	0,5	0,8	9,92	0,71	82,319	6,5	210
				ZP02NPC-2(Noue)	ZP02NP sud-ouest (Moitié Ouest)	349976	REMBLAIS A RESIDUS HOUILLER NOIR	0 -31,5 mm	Dépassement objectif AP sur sols bruts	17/09/2024		88,1	1,06	1,2	110,61	12	240
43	ZP02NP est	NOUE	469	ZP02NPA(Noue)	ZP02NP est	349972	REMBLAIS A RESIDUS HOUILLER NOIR	0 -31,5 mm	Dépassement objectif AP sur sols bruts	17/09/2024	0,7	87,1	29,8	0,85	110,44	6,2	290
44	ZP28NP	NOUE	465	ZP28 N (P) Noue	ZP28NP	242312	REMBLAIS A RESIDUS HOUILLER NOIR	0 -31,5 mm	Teneurs sanitairement incompatibles avec l'usage futur	19/07/2024	39,5	89	705	3	0,92	3,3	2000
45	ZP17NP	NOUE	557	ZP22+13+17N(P)/ISDI2/N+9	-	280053	REMBLAIS A RESIDUS HOUILLER NOIR	0 -31,5 mm	Dépassement objectif AP sur sols bruts	09/08/2024	/	87,9	32,8	1	32,25	7,2	320

3. Synthèse des résultats des essais pilotes pour les matériaux à traiter au droit de la plateforme

3.1 Résultats de l'essai de traitement de venting on site

3.1.1 Matrice ZP22SP - essai de traitement des COHV

Les caractéristiques de l'essai sont données dans le tableau suivant. Elles sont reprises du rapport de synthèse des essais on site du BC2 de ORTEC (9XP179-BC2-02 du 14/11/2025) transmis en annexe 1.

Tableau 2 : Caractéristiques de l'essai pilote de venting on site au droit des matériaux de la ZP22SP

VOLUME TESTE	MATRICE	DEBIT DE TRAITEMENT	DUREE DU PILOTE	CONCENTRATION INITIALE SUR STOCK[1]
50 m^3	Sable grèseux (0 – 31,5 mm)	I = 30 m^3/h E = 50 m^3/h	3 mois	26 à 27 mg/kg COHV

Après montage de la pile, l'état initial réalisé sur les matériaux mis en forme a montré que les concentrations mesurées en COHV sur le triplicat étaient comprises entre 2,91 et 4,05 mg/kg. Ce décalage entre les concentrations mesurées sur le stock et la pile témoigne des difficultés de représentativité de l'échantillonnage.

Les concentrations mesurées au PID tout au long de l'essai sont en augmentation traduisant un dégazage des composés volatils. Cependant, ce dégazage n'est pas observé sur les mesures spécifiques en COHV sur les gaz du sol.

Les concentrations en CO_2 varient entre 400 et 2 000 ppm en cours d'essai traduisant un développement bactérien.

Les concentrations sur les sols en COHV varient entre 3,5 et 10,2 mg/kg MS, soit des valeurs 2 à 3 fois supérieures à l'état initial après montage de la pile.

Dans ces conditions, il n'est pas possible de conclure sur l'efficacité d'un traitement par venting compte tenu de l'incertitude existante sur les concentrations de l'état initial. Le dégazage mesuré au PID qui n'atteint pas de décroissance laisse penser qu'un traitement prolongé au-delà de 3 mois pourrait être efficace. Cependant cette solution reste à valider avec un pilote pour lequel les concentrations après montage devront être validées avant démarrage.

[1] Il s'agit de la concentration mesurée sur le stock de la plateforme avant réalisation des essais pilotes. Les essais pilotes comprennent la réalisation d'un nouvel état initial dont les résultats sont présentés ci-après.

3.1.2 Matrice ZP02NP - essai de traitement des COHV

Les caractéristiques de l'essai sont données dans le tableau suivant. Elles sont reprises du rapport de synthèse des essais on site du BC2 de ORTEC (9XP179-BC2-02 du 14/11/2025).

Tableau 3 : Caractéristiques de l'essai pilote de venting on site au droit des matériaux de la ZP02NP

VOLUME TESTE	MATRICE	DEBIT DE TRAITEMENT	DUREE DU PILOTE	CONCENTRATION INITIALE SUR STOCK[2]
50 m3	Remblais à résidus houillers « Noir » (0 – 31,5 mm)	I = 30 m^3/h E = 50 m^3/h	3 mois	76 à 110 mg/kg COHV

Après montage de la pile, l'état initial réalisé sur les matériaux mis en forme a montré que les concentrations mesurées en COHV sur le triplicat étaient comprises entre 88,01 et 144,01 mg/kg[3]. Ces concentrations sont cohérentes avec celles mesurées sur le stock présent sur la plateforme.

Les concentrations mesurées au PID tout au long de l'essai sont en augmentation traduisant un dégazage des composés volatils. Les concentrations en COHV sur les gaz du sol présentent un profil typique d'une gaussienne avec un pic de valeur à T+2mois.

Les concentrations en CO_2 sont relativement stable à 400 ppm avec un pic à 1 000 ppm semblant traduire d'un développement bactérien négligeable.

Les concentrations sur les sols en COHV varient entre 116 et 428,9 mg/kg MS, soit des valeurs 3 à 4 fois supérieures à l'état initial après montage de la pile. La concentration en fin d'essai est de 346,7 mg/kg M.S.

L'essai de venting traduit d'une libération des solvants chlorés à des valeurs très supérieures à celles mesurées initialement. Cette évolution est à mettre en relation avec la présence de matériaux « charbonneux » pour lesquels la concentration en COT est relativement élevée (137 g/kg). Sous l'application d'un débit d'air, le traitement biologique ne semble pas activé mais la désorption des solvants semble efficace. La durée du pilote ne nous permet pas de savoir si la désorption des composés à traiter pourrait être complète ou si une partie de la pollution resterait liée à la porosité des matériaux.

Un délai allongé de traitement par venting pouvant impacter le coût de traitement des matériaux, ORTEC a proposé de tester le traitement de cette typologie de matériaux par désorption thermique, injection de vapeur ou lavage.

[2] Il s'agit de la concentration mesurée sur le stock de la plateforme avant réalisation des essais pilotes. Les essais pilotes comprennent la réalisation d'un nouvel état initial dont les résultats sont présentés ci-après.

[3] Un des triplicats présentait une valeur à 1,49 mg/kg M.S.

3.2 Résultats de l'essai de traitement de biodégradation aérobie on site

3.2.1 Matrice ZP20SP - essai de traitement des HCT

Les caractéristiques de l'essai sont données dans le tableau suivant. Elles sont reprises du rapport de synthèse des essais on site du BC2 de ORTEC (9XP179-BC2-02 du 14/11/2025).

Tableau 4 : Caractéristiques de l'essai pilote de biodégradation aérobie on site au droit des matériaux de la ZP20SP

VOLUME TESTE	MATRICE	DEBIT DE TRAITEMENT	DUREE DU PILOTE	CONCENTRATION INITIALE SUR STOCK[4]
50 m^3	« Sables grèseux » (0 – 31,5 mm)	I = 30 m^3/h E = 50 m^3/h	4 mois	1 700 mg/kg HCT

Caractéristiques de l'état initial

Après montage de la pile, l'état initial réalisé sur les matériaux mis en forme a montré que les concentrations mesurées en HCT sur le triplicat étaient comprises entre 679 et 945 mg/kg. Ces concentrations sont inférieures à celles mesurées sur le stock présent sur la plateforme mais restent cohérentes entre elles.

Pour information, les concentrations initiales en COHV sur le triplicat sont comprises entre 5,10 et 8,69 mg/kg M.S.

A l'état initial, l'expression des gènes des bactéries pouvant traiter les C5-C20 était relativement faible.

Résultats de l'essai pilote

Les concentrations mesurées en PID sont en augmentation avec la mesure d'un pic important après l'arrêt de l'essai traduisant un effet rebond. Ce comportement est également visible sur les valeurs d'O_2 et CO_2 qui sont relativement stables durant l'essai mais traduisent d'une reprise de l'activité bactérienne après l'arrêt de l'essai (baisse des concentrations en O_2 et augmentation des valeurs en CO_2).

Les teneurs mesurées en CO_2 sont comprises entre 7 000 et 11 000 ppm.

L'expression des gènes des bactéries est plus importante en fin d'essai et reste centrée sur les HCT C5-C20.

Le taux d'abattement après réalisation de l'essai est de 45% avec une meilleure dégradation sur les fractions légères d'hydrocarbures.

[4] Il s'agit de la concentration mesurée sur le stock de la plateforme avant réalisation des essais pilotes. Les essais pilotes comprennent la réalisation d'un nouvel état initial dont les résultats sont présentés ci-après.

3.2.2 Matrice ZP13NP - essai de traitement des HCT et COHV

Les caractéristiques de l'essai sont données dans le tableau suivant. Elles sont reprises du rapport de synthèse des essais on site du BC2 de ORTEC (9XP179-BC2-02 du 14/11/2025).

Tableau 5 : Caractéristiques de l'essai pilote de biodégradation aérobie on site au droit des matériaux de la ZP13NP

VOLUME TESTE	MATRICE	DEBIT DE TRAITEMENT	DUREE DU PILOTE	CONCENTRATION INITIALE SUR STOCK[5]
50 m^3	Remblais à résidus houillers « Noirs » (0 – 31,5 mm)	I = 30 m^3/h E = 50 m^3/h	4 mois	950 mg/kg HCT 24 mg/kg COHV

Caractéristiques de l'état initial

Après montage de la pile, l'état initial réalisé sur les matériaux mis en forme a montré que les concentrations mesurées en HCT sur le triplicat étaient comprises entre 648 et 952 mg/kg. Ces concentrations sont cohérentes avec celles mesurées sur le stock présent sur la plateforme.

Les concentrations initiales en COHV sur le triplicat sont plus importantes que celles mesurées initialement sur le stock dans le cadre de la traçabilité analytique des matériaux. Elles sont comprises entre 70,48 et 107,68 mg/kg M.S.

A l'état initial, l'expression des gènes des bactéries pouvant traiter les C5-C20 était relativement faible.

Résultats de l'essai pilote

Globalement les mêmes observations que pour la matrice précédente sont faites sur l'évolution des concentrations mesurées au PID et sur les gaz du sol. Les teneurs mesurées en CO_2 sont légèrement inférieures entre 7 000 et 9 000 ppm.

L'expression des gènes des bactéries est plus importante en fin d'essai et reste centrée sur les HCT C5-C20.

Le taux d'abattement après réalisation de l'essai est de 54% avec une meilleure dégradation sur les fractions légères d'hydrocarbures. En revanche, aucun abattement n'est observé sur les COHV.

[5] Il s'agit de la concentration mesurée sur le stock de la plateforme avant réalisation des essais pilotes. Les essais pilotes comprennent la réalisation d'un nouvel état initial dont les résultats sont présentés ci-après.

3.3 Résultats de l'essai de traitement de biodégradation aérobie on site avec ajout d'oxygène

3.3.1 Matrice ZP20SP - essai de traitement des HCT

Les caractéristiques de l'essai sont données dans le tableau suivant. Elles sont reprises du rapport de synthèse des essais on site du BC2 de ORTEC (9XP179-BC2-02 du 14/11/2025).

Tableau 6 : Caractéristiques de l'essai pilote de biodégradation aérobie on site au droit des matériaux de la ZP20SP

VOLUME TESTE	MATRICE	DEBIT DE TRAITEMENT	DUREE DU PILOTE	CONCENTRATION INITIALE SUR STOCK[6]
50 m^3	« Sables grèseux » (0 – 31,5 mm)	I = 0,3 m^3/h 20 min I / 40 min : A 426 kg d'O_2	4 mois	1 700 mg/kg HCT

Caractéristiques de l'état initial

Après montage de la pile, l'état initial réalisé sur les matériaux mis en forme a montré que les concentrations mesurées en HCT sur le triplicat étaient comprises entre 798 et 945 mg/kg. Ces concentrations sont inférieures à celles mesurées sur le stock présent sur la plateforme mais restent cohérentes entre elles.

Pour information, les concentrations initiales en COHV sur le triplicat sont comprises entre 3,70 et 6,97 mg/kg M.S.

Résultats de l'essai pilote

Les évolutions des concentrations en gaz du sol (PID, CO_2, O_2) sont globalement équivalentes à celle observées pour l'essai de biodégradation sans ajout d'oxygène. Les concentrations en CO_2 sont toutefois nettement plus importantes sur cette matrice.

L'expression des gènes des bactéries est plus importante en fin d'essai et reste centrée sur les HCT C5-C20.

Le taux d'abattement après réalisation de l'essai est de 52% avec une meilleure dégradation sur les fractions légères. En revanche, aucun abattement n'est observé sur les COHV.

3.3.2 Matrice ZP23NP - essai de traitement des HCT

Les caractéristiques de l'essai sont données dans le tableau suivant. Elles sont reprises du rapport de synthèse des essais on site du BC2 de ORTEC (9XP179-BC2-02 du 14/11/2025).

[6] Il s'agit de la concentration mesurée sur le stock de la plateforme avant réalisation des essais pilotes. Les essais pilotes comprennent la réalisation d'un nouvel état initial dont les résultats sont présentés ci-après.

Tableau 7 : Caractéristiques de l'essai pilote de biodégradation aérobie on site au droit des matériaux de la ZP23NP

VOLUME TESTE	MATRICE	DEBIT DE TRAITEMENT	DUREE DU PILOTE	CONCENTRATION INITIALE SUR STOCK[7]
50 m^3	Remblais à résidus houillers « Noir » (0 – 31,5 mm)	I = 0,3 m^3/h 20 min I / 40 min : A 426 kg d'O_2	4 mois	2 500 mg/kg HCT

Caractéristiques de l'état initial

Après montage de la pile, l'état initial réalisé sur les matériaux mis en forme a montré que les concentrations mesurées en HCT sur le triplicat étaient comprises entre 287 et 1 090 mg/kg. Ces concentrations sont inférieures à celles mesurées sur le stock présent sur la plateforme et présente une certaine hétérogénéité.

Pour information, les concentrations en COHV sont comprises entre 2,60 et 5,49 mg/kg M.S.

Résultats de l'essai pilote

Les évolutions des concentrations en gaz du sol (PID, CO_2, O_2) sont globalement équivalentes à celle observées pour l'essai de biodégradation sans ajout d'oxygène.

Par rapport à l'état initial, l'expression des gènes des bactéries a augmenté en fin d'essai et reste centrée sur les HCT C5-C20.

Le taux d'abattement après réalisation de l'essai est de 20% avec une meilleure dégradation sur les fractions légères. En revanche, aucun abattement n'est observé sur les COHV. Pour expliquer ce faible taux d'abattement, deux hypothèses peuvent être formulées :

- Surdosage des concentrations en O_2 (les matériaux de cette matrice étant plus proches des points d'injection) ;
- Incompatibilité du traitement avec la quantité de COT dans ces sols, en lien vraisemblable avec la présence de résidus houillers.

3.4 Discussion du gain lié à l'ajout d'oxygène

Comparativement, l'ajout d'oxygène ne semble pas apporter une plus-value importante au traitement. Seule l'activité bactérienne semble stimulée mais l'effet sur les concentrations apparaît limité.

3.5 Résultats de l'essai de traitement des hydrocarbures lourds par désorption thermique on site – ZP28NP

Les caractéristiques de l'essai sont données dans le tableau suivant. Elles sont reprises du rapport de synthèse des essais on site du BC2 de ORTEC (9XP179-BC2-02 du 14/11/2025).

[7] Il s'agit de la concentration mesurée sur le stock de la plateforme avant réalisation des essais pilotes. Les essais pilotes comprennent la réalisation d'un nouvel état initial dont les résultats sont présentés ci-après.

Tableau 8 : Caractéristiques de l'essai de désorption thermique on site au droit des matériaux de la ZP28NP

VOLUME TESTE	MATRICE	DEBIT DE TRAITEMENT	DUREE DU PILOTE	CONCENTRATION INITIALE SUR STOCK[8]
100 m^3	Remblais à résidus houillers « Noir » (0 – 31,5 mm)	T°C consigne : 400°C Extraction : 127 à 150 m^3/h	2,5 mois	2 000 mg/kg HCT 705 mg/kg HAP

Caractéristiques de l'état initial

Après montage de la pile, l'état initial réalisé sur les matériaux mis en forme a montré que les concentrations mesurées en HCT sur le triplicat étaient comprises entre 835 et 1 300 mg/kg. Les concentrations en HAP étaient comprises entre 360 et 480 mg/kg. Ces concentrations sont inférieures à celles mesurées sur le stock présent sur la plateforme.

Pour information, les concentrations initiales en COHV sur le triplicat sont comprises entre 0,38 et 0,55 mg/kg M.S.

Résultats de l'essai pilote

Les évolutions des concentrations mesurées au PID sont relativement standard avec des valeurs comprises entre 40 et 120 ppm en début d'essai puis proche de la limite de quantification.

En fin d'essai pilote le traitement permet un abattement de :

- 83% sur les HCT C10-C40 avec une concentration finale de 186 mg/kg
- 88% d'abattement sur les HAP avec une concentration finale de 52 mg/kg.

L'essai pilote pour le traitement des hydrocarbures lourds est donc concluant.

3.6 Comment le COT / charbon présent peut-il limiter le traitement des COHV dans la matrice ?

3.6.1 Choix des matrices à tester

Compte tenu des résultats des premiers essais pilotes visant à valider un traitement des matériaux par venting, il a été émis l'hypothèse que la concentration en COT et la typologie charbonneuse des matériaux jouait un rôle dans la séquestration des COHV sur la matrice.

Pour vérifier cette hypothèse deux matrices ont été retenues en ciblant les matériaux noirs. Les caractéristiques des matrices sont présentées dans le tableau ci-dessous.

Elles sont reprises du rapport de synthèse des essais on site du BC4 et BC5 de ORTEC (9XP179-BC4-02 et 9XP179-BC5-01 du 14/11/2025).

[8] Il s'agit de la concentration mesurée sur le stock de la plateforme avant réalisation des essais pilotes. Les essais pilotes comprennent la réalisation d'un nouvel état initial dont les résultats sont présentés ci-après.

Tableau 9 : Caractéristiques des matrices testées

MATRICE	COT APRES RECARACTERISATION DES STOCKS	COHV APRES RECARACTERISATION DES STOCKS
ZP02NP Remblais à résidus houillers « Noir » (0 – 31,5 mm)	78 967 mg/kg	225 mg/kg COHV dont 97% de PCE
ZP13 NP Remblais à résidus houillers « Noir » (0 – 31,5 mm)	200 000 mg/kg	347 mg/kg COHV[9] dont 97% de PCE

Les essais à réaliser avaient pour objectif de répondre à la problématique suivante : existe-t-il un seuil à partir duquel la concentration en COT (associée à la présence des matériaux charbonneux) rend le traitement des particulièrement difficiles ?

3.6.2 Résultats du test de venting chauffé

Le test de venting chauffé a été réalisé en laboratoire de manière à tester les deux matrices présentées ci-dessus.

Les résultats montrent une montée en température conforme à ce qui était attendu dans le cadre d'essais de venting chauffé. Dans les gaz extraits des sols, une bonne diminution des concentrations est relevée pour la matrice ZP02, tandis qu'aucune baisse des concentrations n'est relevée pour la matrice ZP13. Dans les sols, aucun abattement n'est observé en moyenne sur la matrice ZP02 et un abattement moyen de 73% est observé sur la matrice ZP13.

Les concentrations en COHV à l'état final demeurent supérieures au seuil de réhabilitation pour les deux matrices testées, indiquant que le venting chauffé testé au laboratoire ne permet pas d'atteindre les objectifs de réhabilitation fixés pour le terrain (comparaison donnée à titre indicatif et à considérer à la lumière des différences entre les conditions au laboratoire et sur site).

Compte tenu de ces données, il semble que les COHV restent fortement adsorbés sur les sols des matrices ZP02 et ZP13, et que l'injection d'air chaud testé ne permet pas de les désorber et volatiliser complètement. La présence de charbon au sein des sols induit probablement des phénomènes de désorption / sorption et limite ainsi l'efficacité du venting chauffé par séquestration des polluants.

3.6.3 Résultat du test de combustion

Un test de combustion a été réalisé sur la matrice ZP13 NP afin de vérifier que les concentrations élevées en COT et le charbon associé ne pourrait pas être à l'origine de combustion des matériaux (inflammation des matériaux avec risque d'incendie).

[9] Une forte hétérogénéité a été mise en œuvre sur les triplicats de l'état initial en COHV (entre 191 et 1 004 mg/kg M.S.

Les résultats du test ont démontré l'absence de combustion des matériaux validant la possibilité de les traiter en désorption thermique.

3.6.4 Résultat du test de désorption thermique en colonne

Le test engagé sur la ZP13 a été stoppé du fait d'un début de combustion des matériaux qui vient contredire les résultats du test précédent. En effet, contrairement aux résultats du test de combustion sur les mêmes matériaux, une montée importante de la température, du CO a été constatée. Un départ de fumée a également été mis en évidence. Ces constats viennent invalider les résultats du test de combustion présenté ci-avant.

Les résultats obtenus sur la matrice moins impactée en COT correspondant aux matériaux de la ZP02NP met en évidence un abattement moyen de 54% qui présente des hétérogénéités importantes selon les compartiments de la colonne (entre 33 et 84%). Les abattements ne permettent pas d'atteindre les concentrations fixées par l'arrêté préfectoral du site (15 mg/kg M.S.).

3.6.5 Résultats des tests de lavage

Un essai de lavage a été mis en œuvre sur les matériaux de la ZP13. En première approche, les matériaux ont été mis dans un bécher avec de l'eau et il a été constaté qu'une partie de la fraction charbonneuse flottait sans pour autant la quantifier.

L'essai de lavage a été réalisé en deux temps :

- Tamisage à sec pour récupération des éléments grossiers (>4 mm) ;
- Séparation par hydrocyclone des fractions <à 63 µm et comprises entre 63 µm et 4 mm.

La fraction fine traitée par hydrocyclone a ensuite été décantée, floculée puis filtrée sur géotube avant analyse.

Une première quantification de l'abattement après tamisage à sec est présentée dans le tableau ci-après.

Tableau 10 : Résultats des analyses après tamisage à sec

PARAMETRES	ETAT INITIAL MOYEN	FRACTION >4MM	FRACTION <4 MM
Somme des COHV	498	34	87
Somme des BTEX	64	9,32	7,18
HCT (C5-C10)	290	31,7	22,5
HCT (C10-C40)	548	736	562
Somme des HAP	61	21,9	45,7
COT	190 333	189 000	199 000

Les résultats sont encourageants sur les composés volatils avec un abattement de l'ordre de 84% obtenu uniquement après tamisage à sec. Les concentrations restent toutefois supérieures au seuil de l'arrêté préfectoral qui fixe une valeur de 15 mg/kg pour la somme des 19 COHV.

Les analyses réalisées sur la partie séparées par hydrocyclone sont présentées dans le tableau ci-après.

Tableau 11 : Résultats des analyses après passage sur hydrocyclone

PARAMETRES	ETAT INITIAL MOYEN	LAVAGE SUR X >4MM	SABLE (63 µM – 4 MM) POST HYDROCYCLONE	FILTRAT DE BOUE
Somme des COHV	498	37	77	21

Les concentrations mesurées sur la partie supérieure à 4 mm lavée sont du même ordre de grandeur que celle mesurée après tamisage à sec. Ce point pourrait confirmer qu'un tamisage fin sans lavage serait suffisant.

Les concentrations mesurées sur la partie intermédiaire restent élevées et ne permettent pas de valider le lavage comme technique de traitement.

Enfin, les concentrations mesurées sur le filtrat de boue sont proches du seuil de réhabilitation fixé par l'arrêté préfectoral.

3.6.6 Résultats des tests d'injection de vapeur

Un test d'injection de vapeur consiste à générer de la vapeur dans une enceinte puis à l'injecter dans une colonne de sol. L'eau, en traversant les porosités du sol, va désorber les polluants hydrophobes et entraîner leur migration pour récupération.

Un essai d'injection de vapeur en colonne a été réalisé en laboratoire sur les matériaux de la ZP13 via l'utilisation de trois thermocouples sur une durée de 149 minutes.

Les résultats d'analyse sur les différents compartiments de la colonne donnent des concentrations en somme des COHV comprises entre 101 et 358 mg/kg de COHV.

Même si les concentrations mesurées dans les eaux recondensées sont encourageantes, le traitement par injection de vapeur ne permet pas d'atteindre les objectifs de l'arrêté préfectoral.

Annexe 1

Rapport ORTEC 9XP179-BC2-V2

archimed environnement

Annexe 2

Rapport ORTEC 9XP179-BC4-V02

Annexe 3

Rapport ORTEC 9XP179-BC5-01