

**Grand Paris Aménagement
Rapport d'Essai Laboratoire -
Essais d'oxydation au
permanganate de deux nappes
polluées en COHV**

GPA - Neuilly-Sur-Marne (93)

PIL n° 2603 0010 - U1 250020

Rapport Essai Laboratoire n°PIL n° 2603 0010 - Version 1

Etude de faisabilité d'un traitement par oxydation de 2 nappes polluées par COHV

Lots 10C2 et 10C3
Parc Maison Blanche
7 Avenue Jean Jaurès
93 330 Neuilly-sur-Marne

Ce document est conforme à la norme AFNOR NF X 31-620
 Partie 3 – Exigences d'ingénierie des travaux de réhabilitation
 Code B111 : Essais en laboratoire

Nombre d'exemplaires à diffuser : 1

A adresser à :

<u>Version</u>	<u>Date</u>	<u>Observation</u>
V1	20/05/2026	Version initiale
<u>Auteur</u>	<u>Vérificateur</u>	<u>Approbateur</u>
Sofie HERSSSENS Responsable Laboratoire	Amélie RICAUD Ingénieur d'Affaires Senior Chef de Projet	Boris DEVIC-BASSAGET Directeur Technique



SOMMAIRE

I. Introduction - Objectifs	4
II. Echantillons	4
III. Matériel et méthodes	5
III.1. Principe du test DSO	5
III.2. Principe du test d'oxydation chimique	5
III.3. Matériel et réactifs	5
III.3.1. Matériel	5
III.3.2. Réactifs	6
III.4. Mode opératoire du test DSO Permanganate (NaMnO ₄)	6
III.5. Mode opératoire du test d'oxydation	6
III.6. Analyses	7
IV. Caractérisations des échantillons à réception	7
IV.1. Caractérisation à réception	7
IV.2. Caractérisation pour essai	8
V. Résultats des essais DSO	10
V.1. DSO de la Zone Beauchamp	10
V.2. DSO de la Zone St Ouen	10
VI. Résultats des essais d'oxydation	10
VI.1. Essais ISCO de la Zone Beauchamp	10
VI.2. Essais ISCO de la Zone St Ouen	13
VII. Conclusion	15

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 01 : Échantillons reçus	4
Tableau 02 : Descriptif des essais DSO Permanganate	6
Tableau 03 : Descriptif des essais ISCO Beauchamp	7
Tableau 04 : Descriptif des essais ISCO St Ouen	7
Tableau 05 : Concentration en COHV des eaux à réception	8
Tableau 06 : Concentration en COHV dans les sols à réception	8
Tableau 07 : Concentration en COHV des sols préparés pour essai	9
Tableau 08 : Résultats des dosages pour calcul de la DSO	10
Tableau 09 : Résultats d'analyses sur l'eau et le sol des essais ISCO zone Beauchamp après 7 jours.	11
Tableau 10 : Bilan de masse et abattements du PCE pour zone Beauchamp	12
Tableau 11 : Teneurs en métaux dissous dans l'eau après oxydation pour zone Beauchamp	12
Tableau 12 : Résultats d'analyses sur l'eau et le sol des essais ISCO zone St Ouen après 7 jours.	13
Tableau 13 : Bilan de masse et abattements du PCE pour zone St Ouen	14
Tableau 14 : Teneurs en métaux dissous dans l'eau après oxydation pour zone St Ouen	14

LISTE DES FIGURES

Figure 01 : Aspect des échantillons reçus	5
---	---

I. INTRODUCTION - OBJECTIFS

Dans le cadre de futurs travaux de dépollution des milieux qui doivent être menés sur le site GPA à Neuilly-sur-Marne, il est nécessaire d'affiner le dimensionnement des quantités d'oxydant à injecter.

Le site est pollué principalement par chloroéthènes dont le tétrachloroéthylène (PCE) est majoritaire. Les dimensionnements actuels (rapport Essais de faisabilité de travaux de dépollution - N°U1.25.002.0 - Version 3 du 06/03/2026) ont été basés sur l'hypothèse d'une Demande de Sol en Oxydant (DSO) de 0,05% pour chaque nappe à traiter, ainsi qu'une teneur en COHV de 10 mg/kg dans les sols. Les essais laboratoire ont pour objectif de :

- déterminer la DSO en permanganate de sodium pour chaque nappe,
- déterminer la concentration optimale en permanganate de sodium pour dégrader les COHV dans les conditions des 2 nappes par un essai d'oxydation en présence d'eau et de sol avec différentes concentrations de permanganate.

Ce rapport présente une caractérisation de l'eau et des sols, un descriptif précis des résultats obtenus et leur interprétation dans l'optique d'une mise en œuvre sur site.

II. ECHANTILLONS

Les échantillons ci-dessous, provenant du site GPA à Neuilly-sur-Marne (93) ont été reçus au laboratoire pour essai. Les échantillons d'eau ont été prélevés par Remédiation France le 24/03/2026 et les échantillons de sol ont été prélevés par IDDEA lors de la réalisation de la pose des piézomètres PZ IDA 7 à 9.

Catégorie	Nom	Date de prélèvement	Date de réception	Quantité	Nappe
Eau	PZ A	24/03/2026	27/03/2026	10L + 250mL	St Ouen
Eau	PZ IDA 4	24/03/2026	27/03/2026	10L + 250mL	Beauchamp
Sol	PZ IDA 7	11/03/2026	27/03/2026	4 sacs	Beauchamp
Sol	Sable Beauchamps	NC	27/03/2026	1 sac	Beauchamp
Sol	PZ IDA 8	12/03/2026	27/03/2026	1 sac	St Ouen
Sol	PZ IDA 9	11/03/2026	27/03/2026	2 sacs	St Ouen
Sol	PZ IDA 7	11/03/2026	30/03/2026	4 terrines	Beauchamp
Sol	PZ IDA 8	12/03/2026	30/03/2026	1 terrine	St Ouen
Sol	PZ IDA 9	11/03/2026	30/03/2026	4 terrines	St Ouen

Tableau 01 : Échantillons reçus

Remarque : La caractérisation à réception est effectuée sur terrine. En supposant une meilleure conservation dans les terrines, la DSO est lancée sur les sols reçus en sac et les essais ISCO dans la mesure du possible sur les terrines.

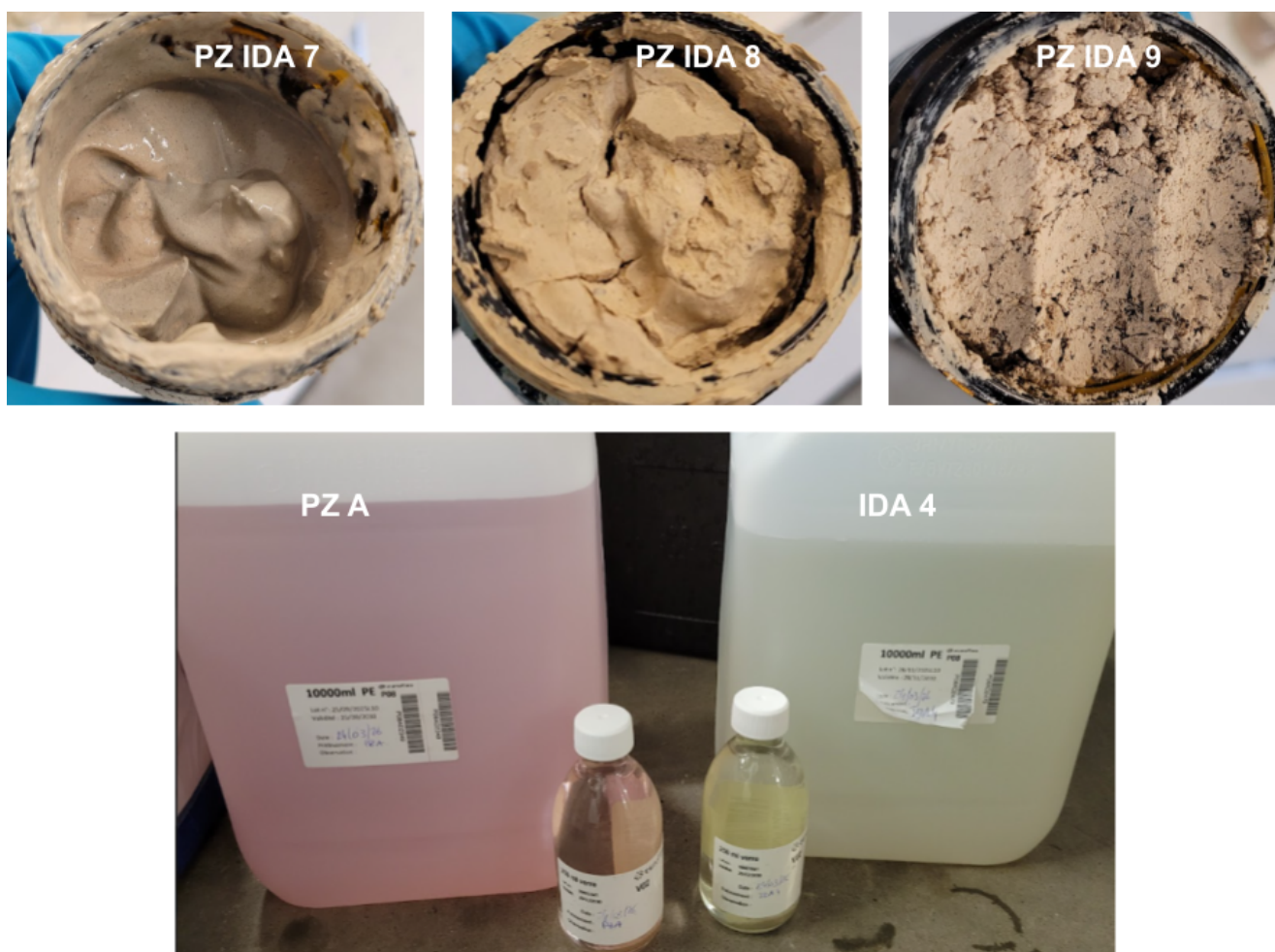


Figure 01 : Aspect des échantillons reçus

III. MATÉRIEL ET MÉTHODES

III.1. Principe du test DSO

La mesure de la DSO consiste à ajouter une quantité connue d'oxydant à un échantillon de sol non pollué. Après réaction, la phase aqueuse est séparée du sol et l'oxydant résiduel y est dosé. On en déduit ainsi la quantité d'oxydant consommée par le sol, indépendamment de la pollution.

III.2. Principe du test d'oxydation chimique

Le test consiste à mettre en contact l'eau et le sol pollués du site avec le permanganate de sodium à différentes concentrations. Les concentrations mises en jeu sont basées sur la DSO obtenue précédemment. Les polluants (COHV) sont dosés après une semaine de contact dans la phase aqueuse et le sol.

III.3. Matériel et réactifs

III.3.1. Matériel

- Terrines en verre
- Flacons verre 100mL, à visser
- Bouchons/capsules avec septum butyl/teflon
- Agitateur va-et-vient
- Centrifugeuse, Megastar VWR
- Matériel courant de laboratoire

III.3.2. Réactifs

- Permanganate de sodium 40%, qualité technique ACROS

III.4. Mode opératoire du test DSO Permanganate (NaMnO_4)

Le sol est mis en contact avec une solution de permanganate allant de 0,32 à 32 g/L. Les flacons sont stockés à l'abri de la lumière et agités 2 heures par jour pendant 10 jours. La teneur résiduelle en permanganate est analysée dans l'essai le moins concentré dont le surnageant n'est pas décoloré.

On en déduit la DSO à 10 jours qui correspond à la quantité d'oxydant consommée par le sol.

Cet essai est réalisé sur le sol "PZ IDA 7" pour simuler le sol de la nappe de Beauchamp et sur un échantillon composite 50/50 en masse "PZ IDA 8 / PZ IDA 9" pour simuler le sol de la nappe du St Ouen.

Essais St Ouen	Essais Beauchamp	Concentration NaMnO_4 (g/L)	Volume NaMnO_4 (mL)	Sol (g)
A1	C1	0,32	50	20
A2	C2	0,6	50	20
A3	C3	1,2	50	20
A4	C4	2,5	50	20
A5	C5	4	50	20
A6	C6	8	50	20
A7	C7	16	50	20
A8	C8	32	50	20

Tableau 02 : Descriptif des essais DSO Permanganate

III.5. Mode opératoire du test d'oxydation

Le sol et l'eau sont placés dans des flacons de 100mL en verre. La solution oxydante est ensuite ajoutée au mélange (selon le tableau ci-dessous). Pour chaque sol testé, un témoin sans oxydant est également préparé. Les concentrations testées sont basées sur les résultats DSO obtenus.

Les quantités de NaMnO_4 pour les matériaux de la nappe de Beauchamp varient de 0,05% à 2,35% dans le sol et de 0,05% à 0,60% pour les matériaux de la nappe du St Ouen.

Les flacons sont bouchés et retournés manuellement pendant quelques secondes. Le test est effectué "en batch perdu", chaque condition est préparée en double pour permettre l'utilisation complète du flacon lors du prélèvement pour analyse à 7 jours et garder un doublon en cas de besoin. Après fermeture, les flacons sont stockés à 17°C, à l'abri de la lumière et agités 2 heures par jour sur table va-et-vient.

Une analyse du pH et de l'oxydant résiduel est réalisée après 7 jours dans la phase aqueuse. La phase aqueuse est séparée du sol par centrifugation du flacon test. Les COHV sont analysés dans l'eau et le sol en

fin d'essai. L'extraction des COHV du sol est réalisée directement dans le flacon test après élimination de l'eau surnageante.

		BT	B1	B2	B3	B4	B5
Ratio DSO	x	0	0,02	0,1	0,2	0,5	1
% NaMnO ₄ /sol	%	0,00	0,05	0,24	0,47	1,18	2,35
Sol PZ IDA 7	g	16	16	16	16	16	16
Eau PZ IDA 4	mL	32	32	32	32	32	32
NaMnO ₄ 40%	μL	0	14	68	135	338	677
CC NaMnO ₄ Eau	g/L	0,0	0,2	1,2	2,4	5,9	11,8

Tableau 03 : Descriptif des essais ISCO Beauchamp

		OT	O1	O2	O3	O4	O5
Ratio DSO	x	0	0,25	0,5	1	2	3
% NaMnO ₄ /sol	%	0,00	0,05	0,10	0,20	0,40	0,60
Sol Composite IDA8/IDA9	g	16	16	16	16	16	16
Eau PZ A	mL	32	32	32	32	32	32
NaMnO ₄ 40%	μL	0	14	29	57	114	171
CC NaMnO ₄ Eau	g/L	0,0	0,25	0,50	0,99	1,98	2,98

Tableau 04 : Descriptif des essais ISCO St Ouen

III.6. Analyses

- pH Eau - d'après NF ISO 10390
- COHV Eau par GC/MS - d'après NF EN ISO 10301
- Métaux dissous - d'après NF EN ISO 17294-2
- Permanganate - méthode interne par spectrométrie UV-Visible
- Matière Sèche - d'après NF ISO 11465
- COHV Sol par GC/MS - d'après NF ISO 22155
- Métaux Totaux Sol - extraction d'après NF ISO 11466, analyse d'après NF EN ISO 17294-2

IV. CARACTÉRISATIONS DES ÉCHANTILLONS À RÉCEPTION

IV.1. Caractérisation à réception

L'eau PZ A a une teinte légèrement rosâtre à réception. Le polluant majoritaire est le PCE à 1500 μg/L.

L'eau PZ IDA4 est également pollué par PCE (1400 μg/L) et présente des traces d'autres chloroéthènes comme le cis-dichloroéthylène (110 μg/L) et le trichloroéthylène (56 μg/L).

Les 3 sols sont très peu pollués en COHV (0,1 à 0,2 mg/kg MS) et présentent des textures très fines.

Analyse	Unité	PZA	PZ IDA4
Chlorure de vinyle	µg/L	< 1	< 1
1,1 Dichloroéthylène	µg/L	< 1	1,1
Trans-1,2 Dichloroéthylène	µg/L	< 1	3,3
Cis-1,2 Dichloroéthylène	µg/L	1,4	110
Trichloroéthylène	µg/L	1,8	56
Tétrachloroéthylène	µg/L	1500	1400
1,1 Dichloroéthane	µg/L	< 1	< 1
1,2 Dichloroéthane	µg/L	< 4	< 4
1,1,1 Trichloroéthane	µg/L	< 1	< 1
Dichlorométhane	µg/L	< 50	< 50
Chloroforme	µg/L	< 2	< 2
Tétrachlorure de carbone	µg/L	< 1	< 1
Somme COHV	µg/L	1503	1570

Tableau 05 : Concentration en COHV des eaux à réception

Analyse	Unité	PZ IDA 7	PZ IDA 8	PZ IDA 9
Matière sèche	%	52,5	53,3	57,8
Chlorure de vinyle	mg/kg MS	< 0,03	< 0,03	< 0,02
1,1 Dichloroéthylène	mg/kg MS	< 0,03	< 0,03	< 0,02
Trans-1,2 Dichloroéthylène	mg/kg MS	< 0,03	< 0,03	< 0,02
Cis-1,2 Dichloroéthylène	mg/kg MS	< 0,03	< 0,03	< 0,02
Trichloroéthylène	mg/kg MS	< 0,03	< 0,03	< 0,02
Tétrachloroéthylène	mg/kg MS	0,21	0,12	0,14
1,1 Dichloroéthane	mg/kg MS	< 0,03	< 0,03	< 0,02
1,2 Dichloroéthane	mg/kg MS	< 0,11	< 0,11	< 0,1
1,1,1 Trichloroéthane	mg/kg MS	< 0,03	< 0,03	< 0,02
Dichlorométhane	mg/kg MS	< 1,35	< 1,38	< 1,2
Chloroforme	mg/kg MS	< 0,05	< 0,06	< 0,05
Tétrachlorure de carbone	mg/kg MS	< 0,03	< 0,03	< 0,02
Somme COHV	mg/kg MS	0,21	0,12	0,14

Tableau 06 : Concentration en COHV dans les sols à réception

IV.2. Caractérisation pour essai

Le sol PZ IDA 7 préparé pour essai présente un pH de 7,9 et 2,9% de matière organique avec une matière sèche faible de 54,5%.

Le sol composite PZ IDA 8/IDA 9 a un pH plus basique (8,8) et une matière sèche plus élevée (78,7%). Sa matière organique est de 2,2% MS.

Les 2 sols ne contiennent pas de COHV. Il a alors été décidé de les utiliser pour les essais de DSO afin d'obtenir une DSO la plus représentative possible.

L'analyse des métaux dans les sols ne révèle pas de teneurs anormales incompatibles avec l'oxydation. Les pH des 2 sols sont compatibles avec la plage optimum de l'oxydant envisagé.

Analyse	Unité	PZ IDA 7	Composite PZ IDA 8/IDA 9
pH	/	7,93	8,80
Matière sèche	%	54,5	56,3
Matière organique totale	% MS	2,9	2,2
Chlorure de vinyle	mg/kg MS	< 0,03	< 0,01
1,1 Dichloroéthylène	mg/kg MS	< 0,04	< 0,02
Trans-1,2 Dichloroéthylène	mg/kg MS	< 0,03	< 0,01
Cis-1,2 Dichloroéthylène	mg/kg MS	< 0,03	< 0,01
Trichloroéthylène	mg/kg MS	< 0,03	< 0,01
Tétrachloroéthylène	mg/kg MS	< 0,03	< 0,01
1,1 Dichloroéthane	mg/kg MS	< 0,03	< 0,01
1,2 Dichloroéthane	mg/kg MS	< 0,11	< 0,06
1,1,1 Trichloroéthane	mg/kg MS	< 0,03	< 0,01
Dichlorométhane	mg/kg MS	< 1,33	< 0,74
Chloroforme	mg/kg MS	< 0,05	< 0,03
Tétrachlorure de carbone	mg/kg MS	< 0,03	< 0,01
<i>Somme COHV</i>	<i>mg/kg MS</i>	<i>< LQ</i>	<i>< LQ</i>
Antimoine	mg/kg MS	0,9	< 0,5
Arsenic	mg/kg MS	5,4	< 5
Baryum	mg/kg MS	30	27
Cadmium	mg/kg MS	< 0,5	< 0,5
Chrome	mg/kg MS	22	7,3
Cuivre	mg/kg MS	3,9	5,5
Fer	mg/kg MS	8900	3900
Manganèse	mg/kg MS	100	120
Mercure	mg/kg MS	0,6	0,8
Molybdène	mg/kg MS	< 2	< 2
Nickel	mg/kg MS	8,6	5,9
Plomb	mg/kg MS	11	8,6
Sélénium	mg/kg MS	< 2	< 2
Zinc	mg/kg MS	17	14

Tableau 07 : Concentration en COHV des sols préparés pour essai

V. RÉSULTATS DES ESSAIS DSO

V.1. DSO de la Zone Beauchamp

Le permanganate se décolore très rapidement au contact du sol PZ IDA 7. Après 24 heures, l'essai C4 à 4 g/L de NaMnO₄ est déjà incolore, ce qui indique une forte consommation de permanganate.

Au bout de 10 jours, l'essai C6 (8g/L) est incolore et C7 (16 g/L) présente toujours une teinte rose. L'oxydant résiduel pour le calcul de la DSO est donc analysé dans C7.

La DSO en NaMnO₄ est de 23520 mg/kg soit 166 mmol/kg.

V.2. DSO de la Zone St Ouen

Le permanganate se décolore très peu au contact du sol composite PZ IDA 8/IDA 9. Après 24 heures, seul l'essai A1 à 0,32 g/L de NaMnO₄ est déjà incolore.

Au bout de 10 jours, l'essai A2 (0,6 g/L) est incolore et A3 (1,2 g/L) présente toujours une teinte rose. L'oxydant résiduel pour le calcul de la DSO est donc analysé dans A3.

La DSO en NaMnO₄ est de 1985 mg/kg soit 14 mmol/kg.

		Beauchamp PZ IDA7	St Ouen Composite PZ IDA8/IDA9
Oxydant		NaMnO ₄	NaMnO ₄
Délai de mesure		10 jours	10 jours
Concentration d'oxydant initial	g/L	14,98	1,02
Concentration d'oxydant final	g/L	5,15	0,23
volume d'oxydant	mL	50	50
masse de sol	g	20,9	19,9
DSO	mg/kg	23520	1985
MM oxydant	g/mol	141,89	141,89
DSO	mmol/kg	165,7	14,0

Tableau 08 : Résultats des dosages pour calcul de la DSO

VI. RÉSULTATS DES ESSAIS D'OXYDATION

VI.1. Essais ISCO de la Zone Beauchamp

La quantité théorique de permanganate pour oxyder les COHV présents dans l'eau (1,5 mg/L) et le sol (<0,5 mg/kg MS) de la nappe Beauchamp est négligeable par rapport à la DSO obtenue.

La valeur de DSO (23,5 g/kg, soit 2,35 %) est élevée. Les dosages testés ont alors été choisis entre 0,05% de NaMnO₄ dans le sol (dose hypothétique initiale) et 1 x la DSO obtenue (2,35%).

Après 7 jours, le témoin (BT) présente un pH de 7,5, le pH varie peu dans les essais au permanganate. On note une forte augmentation du potentiel d'oxydo-réduction dans tous les essais avec oxydant par rapport au témoin (221 mV). Les 2 essais les plus concentrés en oxydant (B4 et B5) ont un potentiel supérieur à 600 mV, cohérent avec la présence résiduelle de permanganate (1,6 à 5 g/L). On peut noter la consommation totale de permanganate dans les essais les moins dosés (B1 à B3).

Après équilibre des phases eau et sol, le témoin présente une teneur de 700 µg/L de PCE dans l'eau et 2,3 mg/kg MS dans le sol (Tableau 09). Le bilan de masse du témoin est cohérent avec les teneurs en PCE

observées initialement dans l'eau et le sol. En effet, le batch BT contient 87,7 µg de PCE pour une quantité théorique de 95,5, l'ordre de grandeur est respecté.

L'efficacité du permanganate est mise en évidence, la baisse du PCE dans l'eau et le sol est d'autant plus forte que la concentration en oxydant est grande.

La plus faible dose (0,05% de NaMnO4 dans le sol) est trop faible pour obtenir une baisse significative en PCE (5%). La dose B3 (0,47% dans le sol) permet d'atteindre une teneur en PCE de 13 µg/L dans l'eau et 0,46 mg/kg MS dans le sol, soit 89,4% d'abattement. Le TCE n'est plus détecté dans l'essai B4 avec une dose supérieure en permanganate de sodium (1,18%).

La dose optimum semble donc se situer entre 0,5 et 1% de NaMnO4 par rapport au sol.

On note une augmentation des teneurs en chrome et sélénium dissous avec l'augmentation de la dose en permanganate. L'augmentation du manganèse soluble est liée à la présence du permanganate, le manganèse n'étant pas un métal lourd il ne pose pas de problème environnemental tant que le dosage optimal en oxydant est respecté (B1 à B3).

Analyse	Unité	BT	B1	B2	B3	B4	B5
Ratio DSO	x	0	0,02	0,1	0,2	0,5	1
% NaMnO4 dans le sol	%	0	0,05	0,24	0,47	1,18	2,35
CC NaMnO4 (inclus MS)	g/L	0	0,19	0,96	1,92	4,79	9,58
Eau							
CV	µg/L	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1
1,1 DCE	µg/L	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1
Trans DCE	µg/L	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1
Cis DCE	µg/L	19,0	4,9	1,4	< 1	< 1	< 1
TCE	µg/L	5,0	2,5	< 1	< 1	< 1	< 1
PCE	µg/L	700	650	190	13	< 1	< 1
pH	/	7,50	7,62	7,76	7,57	7,50	7,44
Redox	mV	484	388	369	379	606	627
NaMnO4	g/L	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	1,64	4,98
Sol							
CV	mg/kg MS	< 0,03	< 0,03	< 0,03	< 0,03	< 0,03	< 0,03
1,1 DCE	mg/kg MS	< 0,03	< 0,03	< 0,03	< 0,03	< 0,03	< 0,03
Trans DCE	mg/kg MS	< 0,03	< 0,03	< 0,03	< 0,03	< 0,03	< 0,03
Cis DCE	mg/kg MS	< 0,03	< 0,03	< 0,03	< 0,03	< 0,03	< 0,03
TCE	mg/kg MS	< 0,03	< 0,03	< 0,03	< 0,03	< 0,03	< 0,03
PCE	mg/kg MS	2,3	2,3	1,1	0,46	0,14	0,14

Tableau 09 : Résultats d'analyses sur l'eau et le sol des essais ISCO zone Beauchamp après 7 jours.

		BT	B1	B2	B3	B4	B5	Théorique*
% NaMnO ₄ dans le sol	%	0	0,05	0,24	0,47	1,18	2,35	0
Eau	mL	65,5	65,8	66,3	66,1	65,5	64,1	65,5
PCE	µg/L	700	650	190	13	<1	<1	1400
Sol	g	34,02	32,88	33,74	34,39	34,03	33,74	34,02
PCE	mg/kg MS	2,3	2,3	1,1	0,46	0,14	0,14	0,21
MS sol	%	53,5	53,5	53,5	53,5	53,5	53,5	53,5
masse PCE eau	µg	45,9	42,8	12,6	0,9	<0,1	<0,1	91,7
masse PCE sol	µg	41,9	40,5	19,9	8,5	2,5	2,5	3,82
Somme PCE Eau+Sol	µg	87,7	83,2	32,5	9,3	2,5	2,5	95,5
Abattement	%	-	5,1%	63,0%	89,4%	>97,0%	>97,0%	-

* La colonne théorique correspond au calcul avec les teneurs dans l'eau PZIDA4 et le sol PZIDA7 avant mélange

Tableau 10 : Bilan de masse et abattements du PCE pour zone Beauchamp

Analyse	Unité	BT	B1	B2	B3	B4	B5
Ratio DSO	x	0	0,02	0,1	0,2	0,5	1
% NaMnO ₄ dans le sol	%	0	0,05	0,24	0,47	1,18	2,35
Antimoine	µg/L	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10
Arsenic	µg/L	< 100	< 100	< 100	< 100	< 100	< 100
Baryum	µg/L	< 100	< 100	< 100	< 100	< 100	< 100
Cadmium	µg/L	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10
Chrome	µg/L	< 10	< 10	27	68	110	130
Cuivre	µg/L	< 50	< 50	< 50	< 50	< 50	< 50
Fer	µg/L	< 500	< 500	< 500	< 500	< 500	< 500
Manganèse	µg/L	990	1300	710	420	460000	1500000
Mercure	µg/L	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5
Molybdène	µg/L	< 50	< 50	< 50	< 50	< 50	< 50
Nickel	µg/L	< 50	< 50	< 50	< 50	< 50	< 50
Plomb	µg/L	< 50	< 50	< 50	< 50	< 50	< 50
Sélénium	µg/L	< 50	< 50	< 50	55	67	72
Zinc	µg/L	< 100	< 100	< 100	< 100	< 100	< 100

Tableau 11 : Teneurs en métaux dissous dans l'eau après oxydation pour zone Beauchamp

VI.2. Essais ISCO de la Zone St Ouen

La quantité théorique de permanganate pour oxyder les COHV présents dans l'eau (1,4 mg/L) et le sol (<0,5 mg/kg MS) de la nappe St Ouen est négligeable par rapport à la DSO obtenue.

La valeur de DSO (1,99 g/kg, soit 0,20 %) est modérée. Les dosages testés ont alors été choisis entre 0,05% de NaMnO₄ dans le sol (dose hypothétique initiale) et 3 x la DSO obtenue (0,6%).

Après 7 jours, le témoin (OT) présente un pH de 7,8, le pH varie peu dans les essais au permanganate. On note une forte augmentation du potentiel d'oxydo-réduction dans tous les essais contenant encore de l'oxydant en fin d'essai (O3 à O5 entre 530 et 588 mV) par rapport au témoin (222 mV). Ces valeurs sont cohérentes avec la présence résiduelle d'oxydant NaMnO₄ uniquement dans les essais les plus fortement dosés O3 (0,07 g/L) à O5 (1,05g/L).

Après équilibre des phases eau et sol, le témoin présente une teneur de 1600 µg/L de PCE dans l'eau et 1,8 mg/kg MS dans le sol (Tableau 12). Le bilan de masse du témoin est légèrement supérieur avec les teneurs en PCE observées initialement dans l'eau et le sol, mais reste cohérent. En effet, le batch OT contient 103 µg de PCE pour une quantité théorique de 89,9, l'ordre de grandeur est respecté.

L'efficacité du permanganate est mise en évidence, la baisse du PCE dans l'eau et le sol est d'autant plus forte que la concentration en oxydant est grande.

La plus faible dose (0,05% de NaMnO₄ dans le sol) permet d'obtenir une baisse significative de 75,7% en PCE, il reste toutefois 390 µg/L de PCE dans la phase aqueuse. La dose O3 (0,2% dans le sol, soit la DSO obtenue) permet de ne plus détecter le PCE dans l'eau et le sol, soit 99,9% d'abattement. L'essai O2 à 0,1% présente une teneur résiduelle de 70µg/L de PCE dans l'eau et 0,11 mg/kg MS de PCE dans le sol.

La dose optimum semble donc se situer entre 0,1 et 0,2% de NaMnO₄ par rapport au sol.

Le témoin présente 18 µg/L de chrome dissous, on note une augmentation des teneurs en chrome avec l'augmentation de la dose en permanganate à prendre en compte dans le traitement. L'augmentation du manganèse soluble est liée à la présence du permanganate, le manganèse n'étant pas un métal lourd il ne pose pas de problème environnemental tant que le dosage optimal en oxydant est respecté (O1 à O3).

Analyse	Unité	OT	O1	O2	O3	O4	O5
Ratio DSO			0,25	0,5	1	2	3
% NaMnO ₄ dans le sol	%	0	0,05	0,1	0,2	0,4	0,6
CC NaMnO ₄ (inclus MS)	g/L	0	0,22	0,45	0,9	1,79	2,69
Eau							
CV	µg/L	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1
1,1 DCE	µg/L	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1
Trans DCE	µg/L	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1
Cis DCE	µg/L	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1
TCE	µg/L	2,6	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1
PCE	µg/L	1600	390	70	< 1	< 1	< 1
pH	/	7,81	7,79	7,74	7,77	7,86	7,75
Redox	mV	222	214	183	530	571	588
NaMnO ₄	g/L	<0,005	<0,005	<0,005	0,069	0,439	1,05
Sol							
CV	mg/kg MS	< 0,03	< 0,03	< 0,03	< 0,03	< 0,03	< 0,03
1,1 DCE	mg/kg MS	< 0,03	< 0,03	< 0,03	< 0,03	< 0,03	< 0,03
Trans DCE	mg/kg MS	< 0,03	< 0,03	< 0,03	< 0,03	< 0,03	< 0,03
Cis DCE	mg/kg MS	< 0,03	< 0,03	< 0,03	< 0,03	< 0,03	< 0,03
TCE	mg/kg MS	< 0,03	< 0,03	< 0,03	< 0,03	< 0,03	< 0,03
PCE	mg/kg MS	1,8	0,45	0,11	< 0,03	< 0,03	< 0,03

Tableau 12 : Résultats d'analyses sur l'eau et le sol des essais ISCO zone St Ouen après 7 jours.

		OT	O1	O2	O3	O4	O5	Théorique *
% NaMnO4 dans le sol	%	0	0,05	0,1	0,2	0,4	0,6	-
Eau	mL	64,2	64,1	64	64	64	64,3	64,2
PCE	µg/L	1600	390	70	<1	<1	<1	1400
Sol	g	32,55	32,04	32,94	32,35	32,37	34,35	32,55
PCE	mg/kg MS	1,8	0,45	0,11	<0,03	<0,03	<0,03	0,11
MS sol	%	0,563	0,563	0,563	0,563	0,563	0,563	0,563
masse PCE eau	µg	102,7	25,0	4,48	<0,06	<0,06	<0,06	89,9
masse PCE sol	µg	0,33	0,08	0,02	<0,01	<0,01	<0,01	0,02
Somme PCE Eau+Sol	µg	103,0	25,1	4,5	<0,1	<0,1	<0,1	89,9
Abattement	%	-	75,7%	95,6%	>99,9%	>99,9%	>99,9%	-

* La colonne théorique correspond au calcul avec les teneurs dans l'eau PZA et le sol PZ IDA8/IDA9 avant mélange

Tableau 13 : Bilan de masse et abattements du PCE pour zone St Ouen

Analyse	Unité	OT	O1	O2	O3	O4	O5
Ratio DSO			0,25	0,5	1	2	3
% NaMnO4 dans le sol	%	0	0,05	0,1	0,2	0,4	0,6
Antimoine	µg/L	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10
Arsenic	µg/L	< 100	< 100	< 100	< 100	< 100	< 100
Baryum	µg/L	< 100	< 100	< 100	< 100	< 100	< 100
Cadmium	µg/L	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10
Chrome	µg/L	18	32	62	79	81	91
Cuivre	µg/L	< 50	< 50	< 50	< 50	< 50	< 50
Fer	µg/L	< 500	< 500	< 500	< 500	< 500	< 500
Manganèse	µg/L	< 10	< 10	< 10	19000	130000	280000
Mercuré	µg/L	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5
Molybdène	µg/L	< 50	< 50	< 50	< 50	< 50	< 50
Nickel	µg/L	< 50	< 50	< 50	< 50	< 50	< 50
Plomb	µg/L	< 50	< 50	< 50	< 50	< 50	< 50
Sélénium	µg/L	< 50	< 50	< 50	< 50	< 50	< 50
Zinc	µg/L	< 100	< 100	< 100	< 100	< 100	< 100

Tableau 14 : Teneurs en métaux dissous dans l'eau après oxydation pour zone St Ouen

VII. CONCLUSION

Des essais d'oxydation ont été menés au laboratoire Remédiation France sur des échantillons du site Grand Paris Aménagement à Neuilly-sur-Marne (93). Deux zones "Beauchamp" et "St Ouen" ont été testées afin d'estimer les demandes du sol en oxydant et d'évaluer les quantités optimales d'oxydant à injecter pour le traitement des COHV en présence.

Pour la zone Beauchamp, la DSO au permanganate de sodium obtenue après 10 jours est de 23,5 g/kg, elle est très importante malgré une faible pollution en PCE (1,5 mg/L et <0,5 mg/kg MS). Les essais d'oxydation menés avec des teneurs allant de 0,05% à 2,35% de NaMnO_4 dans le sol (0,19 à 9,6 g/L) montrent un dosage optimum légèrement supérieur à 0,47% afin de ne plus détecter le PCE dans l'eau.

La DSO au NaMnO_4 à 10 jours pour la zone St Ouen est modérée (1,99 g/kg). Les essais d'oxydation ont été menés entre 0,05% et 0,6% de NaMnO_4 dans le sol (0,22 à 2,7 g/L). La dose optimum qui permet de ne plus détecter le PCE dans l'eau et le sol se situe entre 0,1 et 0,2% dans le sol brut.

Dans les 2 cas, une augmentation du chrome soluble est observée ne dépassant pas 100 µg/L pour les doses optimales retenues. Il est possible qu'une partie du chrome soluble soit liée à la qualité du réactif utilisé en laboratoire. Le choix d'un réactif de qualité supérieure permettra de limiter ce relargage.