

# BOUYGUES IMMOBILIER 92 URBANERA

Ancienne usine EIF  
Rue Pierre de Montreuil à MONTREUIL (93)

## Plan de conception des travaux de remise en état

Rapport

Réf : CSSPIF191334 / RSSPIF09336-02

MO / JV / ABU

14/06/2019





## BOUYGUES IMMOBILIER URBANERA

### Reconversion de l'usine EIF Rue Pierre de Montreuil à MONTREUIL (93)

#### Plan de conception des travaux de réhabilitation

Pour cette étude, le chef du projet est Mathieu OUGIER

| Objet de l'indice                          | Date       | Indice | Rédaction |   | Vérification |           | Validation/Supervision |           |
|--|------------|--------|-----------|---|--------------|-----------|------------------------|-----------|
|  |            |        | Nom       | Signature   | Nom          | Signature | Nom                    | Signature |
| Version initiale                           | 13/06/2019 | 01     | M. OUGIER |  | J.VILLEMAGNE |           | A. BARITEAU            |           |
| Echanges avec Bouygues Immobilier UrbanEra | 14/06/2019 |        | M. OUGIER |  | J.VILLEMAGNE |           | A. BARITEAU            |           |
|  |            |        |           |   |              |           |                        |           |
|  |            |        |           |   |              |           |                        |           |

|                                  |  |
|----------------------------------|--|
| Numéro de contrat / de rapport : | Réf : CSSPIF191334 / RSSPIF09336-02  |
| Numéro d'affaire :               | A45560   |
| Domaine technique :              | SP13   |
| Mots clé du thésaurus            | PLAN DE CONCEPTION DE TRAVAUX<br>REDUCTION<br>VENTING<br>EXTRACTION MULTIPHASE |

Agence Ile-de-France – site de Paris – 143, avenue de Verdun – 92442 Issy-les-Moulineaux Cedex  
 Tél : 01.46.10.25.70 • Fax : 01.46.10.25.64 - agence.de.paris@burgeap.fr

## SOMMAIRE

|            |   |           |
|------------|---|-----------|
| <b>1.</b>  | <b>Codification des prestations</b> .....   | <b>7</b>  |
| <b>2.</b>  | <b>Introduction – Objet de la prestation</b> .....  | <b>8</b>  |
| <b>3.</b>  | <b>Synthèse sur l'état du site et délimitation des zones de pollution concentrée</b> .....                                    | <b>10</b> |
| <b>3.1</b> | <b>Investigations réalisées au droit du site</b> .....  | <b>10</b> |
| <b>3.2</b> | <b>Synthèse sur l'état des milieux</b> .....  | <b>10</b> |
| <b>3.3</b> | <b>Projet d'aménagement et schémas conceptuels retenus</b> .....  | <b>11</b> |
| <b>3.4</b> | <b>Délimitation des zones de pollution concentrée à traiter</b> .....   | <b>14</b> |
| 3.4.1      | Contexte hydrogéologique .....  | 14        |
| 3.4.2      | Seuils de traitement et volume de sols à traiter.....   | 14        |
| 3.4.3      | Localisation des zones de pollution concentrée.....   | 15        |
| 3.4.4      | Extensions verticales des zones de pollution concentrée .....   | 15        |
| <b>4.</b>  | <b>Sélection des techniques</b> .....   | <b>21</b> |
| <b>4.1</b> | <b>Essai de réduction</b> .....   | <b>21</b> |
| 4.1.1      | Objectifs de l'essai .....  | 21        |
| <b>4.2</b> | <b>Essai de venting</b> .....   | <b>22</b> |
| 4.2.1      | Principe d'un traitement par venting.....   | 22        |
| 4.2.2      | Objectifs des essais de venting.....  | 23        |
| <b>4.3</b> | <b>Essai d'extraction multiphasique</b> .....   | <b>23</b> |
| 4.3.1      | Principe de traitement .....  | 23        |
| 4.3.2      | Objectifs .....   | 23        |
| <b>5.</b>  | <b>Essais réalisés</b> .....  | <b>24</b> |
| <b>5.1</b> | <b>Planning d'exécution</b> .....   | <b>24</b> |
| <b>5.2</b> | <b>Implantation des ouvrages pour les essais in situ</b> .....  | <b>24</b> |
| <b>5.3</b> | <b>Essai d'injection</b> .....  | <b>27</b> |
| 5.3.1      | Matériels et produits.....  | 27        |
| 5.3.2      | Mise en œuvre .....   | 27        |
| 5.3.3      | Résultats.....  | 27        |
| 5.3.4      | Essai de réduction en laboratoire.....  | 29        |
| 5.3.5      | Résultats.....  | 30        |
| <b>5.4</b> | <b>Venting</b> .....  | <b>36</b> |
| 5.4.1      | Moyens mis en œuvre.....  | 36        |
| 5.4.2      | Installation des ouvrages de venting .....  | 37        |
| 5.4.3      | Réalisation des essais .....  | 39        |
| <b>5.5</b> | <b>Mise en œuvre des essais d'extraction multiphase</b> .....   | <b>46</b> |
| 5.5.1      | Moyens mis en œuvre.....  | 46        |
| 5.5.2      | Réalisation d'ouvrages d'essais et de pilotage.....   | 47        |
| 5.5.3      | Réalisation des essais .....  | 47        |
| <b>6.</b>  | <b>Éléments de dimensionnement des traitements pressentis</b> .....   | <b>56</b> |
| <b>6.1</b> | <b>Bilan massique</b> .....   | <b>56</b> |
| <b>6.2</b> | <b>Traitement de la zone non saturée</b> .....  | <b>56</b> |
| 6.2.1      | Traitement de la zone source en zone non saturée autour de T31 .....  | 56        |
| 6.2.2      | Traitement par venting .....  | 59        |
| 6.2.3      | Traitement des déblais des pieux et longrines et traitement de l'ensemble du site par excavation sur 50 cm de profondeur..... | 62        |
| 6.2.4      | Bilan du traitement de la zone non saturée.....   | 67        |
| <b>6.3</b> | <b>Traitement de la zone saturée</b> .....  | <b>68</b> |
| 6.3.1      | Cas particulier de la zone du sondage T34 – Traitement par extraction multi-phase.....  | 68        |
| 6.3.2      | Traitement de la zone saturée – Traitement par réduction.....   | 70        |
| 6.3.3      | Bilan du traitement de la zone saturée.....   | 74        |
| <b>6.4</b> | <b>Dispositions constructives à mettre en place</b> .....   | <b>75</b> |
| 6.4.1      | Drainage de gaz sous bâtiment.....  | 75        |

|            |   |           |
|------------|---|-----------|
| 6.4.2      | Vide-sanitaire sous bâtiment.....   | 77        |
| <b>6.5</b> | <b>Surveillance environnementale pendant le chantier .....</b>  | <b>78</b> |
| 6.5.1      | Principe .....  | 78        |
| 6.5.2      | Surveillance de qualité des eaux souterraines .....   | 78        |
| 6.5.3      | Surveillance de qualité de l'air.....   | 78        |
| <b>6.6</b> | <b>Repli du chantier et réception post traitement.....</b>  | <b>79</b> |
| 6.6.1      | Principe .....  | 79        |
| 6.6.2      | Budget.....   | 79        |
| <b>6.7</b> | <b>Bilan du traitement.....</b>   | <b>80</b> |
| <b>7.</b>  | <b>Aspect sanitaire et aménagements constructifs.....</b>   | <b>81</b> |
| <b>7.1</b> | <b>Données d'entrée retenues spécifiques à chaque zone .....</b>  | <b>81</b> |
| 7.1.1      | Zone 1 – Construction de logements de plain-pied – HORS CHAMP DU PRESENT<br>PCT.....  | 81        |
| 7.1.2      | Zone 2 – Conservation du bâtiment existant avec extension, Activité en RdC .....  | 81        |
| 7.1.3      | Zone 3 – Conservation du bâtiment existant avec extension, Activité en RdC .....  | 81        |
| 7.1.4      | Zone 4 – Conservation partielle du bâtiment existant avec extension, activité en RdC<br>et logements en R+1 (partiellement) ..... | 82        |
| 7.1.5      | Zone 5 – Construction de locaux de plain-pied, Activité en RdC.....   | 82        |
| 7.1.6      | Zone 6 – Construction d'un hôtel de plain-pied.....   | 82        |
| 7.1.7      | Zone 7 – Construction de locaux de plein pied, Activité en RdC.....   | 82        |
| <b>7.2</b> | <b>Bilan des calculs de risque sanitaires .....</b>   | <b>82</b> |
| <b>8.</b>  | <b>Synthèse.....</b>  | <b>84</b> |



## FIGURES

|  |    |
|--|----|
| Figure 1 : Localisation de la zone des appels à projet et de l'emprise de l'ancienne usine EIF .....   | 8  |
| Figure 2 : Plan de localisation des différentes zones d'aménagement sur le site (source : faisabilité envoyée le 28/06/2018 par Bouygues Immobilier UrbanEra).....               | 12 |
| Figure 3 : Cartographie des COHV entre 0 et 2 m de profondeur basés sur l'ensemble des résultats d'analyse sols – Emprise des zones de pollution concentrées .....               | 16 |
| Figure 4 : Cartographie des COHV entre 2 et 4 m de profondeur basés sur l'ensemble des résultats d'analyse sols – Emprise des zones de pollution concentrées .....               | 17 |
| Figure 5 : Cartographie des BTEX entre 0 et 2 m de profondeur basés sur l'ensemble des résultats d'analyse sols – Emprise des zones de pollution concentrées .....               | 18 |
| Figure 6 : Cartographie des BTEX entre 2 et 4 m de profondeur basés sur l'ensemble des résultats d'analyse sols – Emprise des zones de pollution concentrées .....               | 19 |
| Figure 7 : Cartographie des zones sources en COHV et en BTEX .....   | 20 |
| Figure 8 : Implantation des ouvrages utilisés pour les essais .....  | 26 |
| Figure 9 : Fiche synthétique de l'essai d'injection .....  | 28 |
| Figure 10 : Dégradation des chloroéthènes par voie biologique .....  | 29 |
| Figure 11 : Calendrier des essais en laboratoire.....  | 30 |
| Figure 12 : Illustration de la performance de la réduction in situ pour les BTEX (extrait rapport ENOVEO en annexe 5) .....  | 32 |
| Figure 13 : Illustration de la performance de la réduction in situ pour les chloroéthènes (extrait rapport ENOVEO).....  | 34 |
| Figure 14 : Skid de venting.....   | 36 |
| Figure 15 : Localisation des ouvrages de venting, zone source COHV et BTEX .....   | 37 |
| Figure 16 : Localisation des ouvrages de venting, zone source COHV .....   | 38 |
| Figure 17 : Skid d'extraction multiphase.....  | 46 |
| Figure 18 : Essais d'EMP réalisés au droit de l'ouvrage PZEMP1 .....   | 49 |
| Figure 19 : Essais d'EMP réalisés au droit de l'ouvrage PZ4ESV .....   | 53 |
| Figure 20 : Localisation de la zone de pollution concentrée au droit du sondage T31 .....  | 57 |
| Figure 21 : Localisation prévisionnelle des aiguilles de venting.....  | 60 |
| Figure 22 : Volumes de terres à évacuer hors site dans le cadre de la réalisation des longrines, pieux et têtes de pieux.....  | 63 |
| Figure 23 : Zonage des hypothèses d'estimation de volumes et surcoûts liés au décapage superficiel.....  | 65 |
| Figure 24 : Localisation prévisionnelle des installations d'extraction multiphase.....   | 68 |
| Figure 25 : Localisation de la zone de pollution concentrée au droit du sondage T25 .....  | 72 |
| Figure 26 : Exemple de système de draine de gaz (source guide de la conception pour la protection des bâtiments contre les gaz souterrains, Groupe Alphard, décembre 2016) ..... | 75 |

## TABLEAUX

|  |    |
|--|----|
| Tableau 1 : Synthèse du bilan massique.....  | 14 |
| Tableau 2 : Missions réalisées dans le cadre de l'essai de réduction .....   | 21 |
| Tableau 3 : codes AFNOR associés aux techniques de ventilation mécanique in situ .....   | 23 |
| Tableau 4 : Planning d'exécution des essais in situ .....  | 24 |
| Tableau 5 : Résultats des essais de réduction chimique des chloroéthènes.....  | 33 |
| Tableau 6 : Résultats des essais de réduction biologique des chloroéthènes.....  | 33 |
| Tableau 7 : Résultats des essais de réduction chimique et biologique des chloroéthènes .....   | 33 |
| Tableau 8 : Résultats des analyses des sols de la zone non saturée au niveau des zones d'essais .....  | 39 |
| Tableau 9 : Résultats des essais de venting longue durée en zone Nord .....  | 43 |
| Tableau 10 : Résultats des analyses des gaz extrait en zone centrale .....   | 44 |
| Tableau 11 : Flux extraits en g/h .....  | 45 |
| Tableau 12 : Résultats d'analyses d'eau en fin d'essai au droit de l'ouvrage PZEMP1 .....  | 50 |
| Tableau 13 : Résultats d'analyses d'air en fin d'essai au droit de l'ouvrage PZEMP1 .....  | 51 |
| Tableau 14 : Résultats d'analyses d'air en début d'essai et en fin d'essai au droit de l'ouvrage PZ4ESV .....  | 54 |
| Tableau 15 : Teneurs d'admission et coûts des traitements hors site pour les sols de la zone source autour de T31.....   | 58 |
| Tableau 16 : Budget de traitement de la zone T31 .....   | 59 |
| Tableau 17 : Volume de sol à traiter en zone non saturée, hors secteur de T31 .....  | 59 |
| Tableau 18 : Coût de venting pour la zone non saturée .....  | 61 |
| Tableau 19 : Calcul de cubatures et de coûts de gestion liés au décapage de terres de surface – Hors bâtiments non détruits, et futurs logements et hôtel..... | 66 |
| Tableau 20 : Calcul de cubatures et de coûts de gestion liés au décapage de terres de surface – Zones 1 (futurs logements) et 6 (futur hôtel) .....            | 66 |
| Tableau 21 : Coût de traitement de la zone T34 par extraction multiphase.....  | 70 |
| Tableau 22 : Volume de sol à traiter en zone saturée.....  | 70 |
| Tableau 23 : Budget estimatif pour le traitement in situ de la zone saturée par réduction .....  | 71 |
| Tableau 24 : Budget de traitement pour les dispositions constructives pour les futurs logements et locaux d'activité au sud du site.....                       | 76 |
| Tableau 25 : Planning prévisionnel des travaux à réaliser.....   | 80 |
| Tableau 26 : Rappel des différentes phases de traitement.....  | 80 |
| Tableau 27 : Synthèse des scénarii étudiés.....  | 83 |

## ANNEXES

- Annexe 1. Rapport d'essai de traitabilité des techniques de traitement testées par BURGEAP au droit du site (rapport RESICE08481-01 du 06/12/2018)
- Annexe 2. Détail des surcoûts liés aux pieux et longrines (hypothèse haute)
- Annexe 3. Exemple de mise en place de vide-sanitaire au droit d'un bâtiment existant (document ACI)

## 1. Codification des prestations

Notre étude est conforme à la méthodologie nationale de gestion des sites et sols pollués d'avril 2017 et aux exigences de la **norme AFNOR NF X 31-620-2 « Qualité du sol – Prestations de services relatives aux sites et sols pollués »**, pour le domaine B : « ingénierie des travaux de réhabilitation ». Elle comprend les prestations suivantes :

- PCT : plan de conception de travaux
- B111 : essais de laboratoire
- B112 : essais pilote

## 2. Introduction – Objet de la prestation

Le site de l'ancienne usine EIF est localisé dans le quartier des « Murs à Pêches » dans le haut Montreuil (93) ; cette emprise foncière est incluse dans l'assiette foncière de l'un des sites de l'appel à projet « Réinventons la Métropole du Grand Paris ».

Le terrain de l'appel à projet, d'une superficie d'environ 2 ha, est occupée en partie est par des maisons individuelles, une zone en friche, en partie centrale l'ancienne usine EIF, et à l'ouest la partie concernée par un appel à projet d'agriculture urbaine (dite « zone AAP »). Le terrain objet du présent plan de conception de travaux couvre uniquement l'ancienne usine EIF (**Figure 1**).



**Figure 1 : Localisation de la zone des appels à projet et de l'emprise de l'ancienne usine EIF**

Les études de diagnostic réalisées par SUEZ REMEDIATION pour le compte de l'Etablissement Public d'Ile de France (EPFIF) ont montré que le milieu souterrain au droit de l'ancienne usine EIF est plus ou moins fortement impacté par les différentes activités exploitées par le passé sur le site, en particulier par les solvants chlorés et les hydrocarbures aromatiques volatils. Ces polluants ont migré hors des emprises du site.

BOUYGUES IMMOBILIER UrbanEra, lauréat de l'appel à projet, a étudié, en concertation avec l'EPFIF, les modalités de réaménagement de l'emprise EIF et des parcelles situées à l'est de ce terrain, en particulier le traitement des zones source et des zones de pollution concentrée situées au droit du terrain EIF.

Dans ce cadre, BOUYGUES IMMOBILIER UrbanEra a confié à BURGEAP la réalisation d'un plan de gestion, objet du rapport référencé RSSIF08117-04 en date du 21/12/2018. Ce plan de gestion s'est notamment appuyé sur la réalisation d'un essai de traitabilité, objet du rapport référencé RESICE08481-01 en date du 12/12/2018.

A partir de ces précédentes études, BOUYGUES IMMOBILIER UrbanEra a confié à BURGEAP la réalisation du plan de conception des travaux (PCT) de remise en état du terrain EIF, objet du présent rapport.

### 3. Synthèse sur l'état du site et délimitation des zones de pollution concentrée

#### 3.1 Investigations réalisées au droit du site

Plusieurs études environnementales comprenant la réalisation d'investigations ont été réalisées entre 2013 et 2018 au droit du site par les bureaux d'études SITA Remédiation/SUEZ Environnement pour le compte de l'EPFIF et par BURGEAP pour le compte de Bouygues Immobilier UrbanEra. Ces études ont donné lieu à la réalisation des investigations suivantes :

- **72 sondages de sol** ont été réalisés jusqu'à 4 m de profondeur, au droit de l'ensemble des parcelles (parcelle ouest concernée par l'appel à projets, ancien site « EIF », parcelles est) ;
- **12 piézomètres** en vue de prélèvement d'eaux souterraines ont été réalisés jusqu'à 6 m de profondeur, au droit de l'ensemble des parcelles (parcelle ouest concernée par l'appel à projets, ancien site « EIF », parcelles est) ;
- **9 point de mesures de la qualité de l'air ambiant** ont été prélevés depuis le début du suivi, dans le bâtiment 1 en RDC (aussi appelé bâtiment F dans certaines études), dans l'actuel bâtiment 3 (aussi appelé bâtiments C et D dans certaines études) en RDC au sud et à l'est, dans le bâtiment et à l'extérieur, dans le bâtiment 4 (aussi appelé bâtiment B dans certaines études) et dans la maison des murs à pêches et dans l'actuel bâtiment 5 (aussi appelé bâtiment A dans certaines études) en RDC et R+1 ;
- **4 piézomètres gaz** à 2 m de profondeur et **4 piézomètres gaz** à 1 m de profondeur ont été réalisés, au droit de l'ancien site « EIF ». Un piézomètre gaz (PZG6) a également été réalisé en 2016 hors site, en bordure sud (rue Marcel Largillière) ;
- **1 prélèvement d'eau du robinet** renouvelé 8 fois entre 2014 et 2018 à l'intérieur de l'actuelle brasserie. D'autres prélèvements avaient été mis en place et ont été interrompus en raison de l'interdiction d'utilisation de l'eau suite à des dépassements des valeurs de référence en TCE/PCE.

#### 3.2 Synthèse sur l'état des milieux

Les principaux polluants retrouvés au droit du site sont les COHV (la famille des chloroéthènes) et les BTEX. Ces polluants sont liés aux activités pratiquées dès le XIX et jusqu'aux années 1970 sur le site à savoir des activités de peausserie.

- pour les sols :

Au droit de l'ensemble des zones investiguées et très majoritairement au niveau des remblais, les teneurs en métaux et métalloïdes sont supérieures au bruit de fond géochimique francilien (localement significatives d'un impact).

Au droit du site « EIF », les analyses réalisées ont mis en évidence des éléments très différents suivants les zones :

- en partie est du site, les sondages n'ont pas recoupé de niveaux de sols significativement impactés ;
- en partie nord-ouest du site, un sondage a mis en évidence une anomalie ponctuelle (teneurs fortes en BTEX (environ 20 mg/kg), COHV (environ 10 000 mg/kg), PCB (12 mg/kg) et hydrocarbures (environ 50 000 mg/kg) en surface ;
- au droit des bâtiments 1 et 2 (respectivement F et E dans certaines études) : les sondages ont mis en évidence la présence en teneurs fortes de BTEX jusqu'à 1 200 mg/kg et de COHV jusqu'à 4 000 mg/kg en surface et en profondeur.



Au droit de la zone est (zone de logements dans le projet URBANERA), les analyses réalisées ont mis en évidence des teneurs en composés organiques faibles, à l'exception d'un sondage ayant des teneurs un peu plus marquées en hydrocarbures et COHV.

- pour les eaux souterraines : deux zones de pollution concentrée (une en COHV, une en BTEX) ont été identifiées au droit du site :
  - au droit des piézomètres Pz1 à Pz4 (réalisés au droit du site « EIF »), les concentrations mesurées en COHV sont comprises entre 12 000 µg/l et jusqu'à presque 2 000 000 µg/l et la répartition des composés de la famille des chloroéthènes montre qu'au droit des piézomètres PZ2 et PZ5 la dégradation dépasse 50% (ratio molaire pour le cis DCE) tandis qu'au droit de PZ4, la dégradation en cis-DCE est quasiment totale (>90% molaire) ;
  - au droit des piézomètres Pz1 à Pz4 (réalisés au droit du site « EIF »), les concentrations en BTEX mesurées sont comprises entre 3 400 µg/l et jusqu'à 760 000 µg/l ;
  - au droit de la parcelle ouest concernée par l'appel à projets d'agriculture urbaine, un panache de pollution avec des concentrations en BTEX très atténuées (jusqu'à 30 µg/l) mais des concentrations en COHV encore marquée (jusqu'à 7 200 µg/l, DCE majoritaire, le chlorure de vinyle est retrouvé au droit de certains ouvrages).
- pour l'air ambiant/air intérieur : un suivi a été effectué entre 2014 et 2018 dans plusieurs bâtiments du site, des dépassements des valeurs de référence ont été retrouvés en certains points pour les composés suivants :
  - les hydrocarbures ;
  - le benzène ;
  - les COHV ;
- pour l'eau du robinet : un suivi de l'eau distribuée à l'intérieur de la brasserie a été effectué entre 2014 et 2018 ; d'autres points de contrôle de la qualité des eaux ne sont plus suivis depuis 2016 en raison de l'interdiction d'utilisation de ces points d'eau suite à des dépassements des seuils de potabilité en TCE et PCE.

Sur la base d'une approche statistique de l'ensemble des données disponibles, deux zones de pollution concentrée (une principalement par les BTEX, l'autre principalement par les COHV) ont été identifiées. Leur présentation est développée dans le paragraphe 3.4.

### 3.3 Projet d'aménagement et schémas conceptuels retenus

Le projet d'aménagement comporte (cf. **Figure 2** ci-après) :

- Zone 1 : partie est de l'emprise étudiée, des logements collectifs avec des espaces verts extérieurs dont certains à usage privés (configuration des bâtiments encore à l'étude) ;
- Zones 2, 3 et 4 : partie est du site EIF, les activités artisanales avec conservation d'une grande partie des bâtiments existants (bâtiments sur terre-plein) de la zone 2 au nord à la zone 4 au sud. Il est à noter que des logements sont également prévus au droit de la zone 4 ;
- Zone 5 : en partie sud-ouest de l'ancien site EIF, des commerces en niveau de plain-pied et des logements en niveau R+1 ;
- Zone 6 : en partie nord-ouest du site EIF, un hôtel sur terre-plein ;
- Zone 7 : en partie ouest du site EIF, des activités et parking en niveau de plain-pied et R+1 et des logements en niveau R+2 ;

A l'ouest de l'emprise étudiée, une parcelle est dédiée à une activité d'agriculture urbaine, hors cadre de la présente étude.





Figure 2 : Plan de localisation des différentes zones d'aménagement sur le site (source : faisabilité envoyée le 28/06/2018 par Bouygues Immobilier UrbanEra)



Selon les types activités futurs fournis par BOUYGUES IMMOBILIER UrbanEra et les zones de pollution concentrée identifiées au droit du site (impliquant localement des dispositions constructives de maîtrise des voies de transfert des impacts), 7 schémas conceptuels ont été établis.

Une ARR prédictive a été réalisée pour chacune des zones définies prenant en compte si nécessaire des dispositions constructives particulières pour limiter les transferts des polluants volatils depuis le milieu souterrain vers l'air des bâtiments :

- Zone 1 : futurs logements collectifs à l'est avec espaces verts extérieurs. Avec les conditions d'études retenues (notamment le décapage des terres superficielles sur une épaisseur de 0,50 m au droit de l'ensemble du site), les niveaux de risque estimés sont inférieurs aux critères d'acceptabilité ;
- Zone 2 : activités artisanales (avec conservation du bâtiment actuel). Avec la mise en œuvre d'un dispositif constructif s'opposant au transfert des polluants, les niveaux de risque estimés depuis les sols sont inférieurs aux critères d'acceptabilité ;
- Zone 3 : activités artisanales (avec conservation du bâtiment actuel). Avec la mise en œuvre d'un dispositif constructif s'opposant au transfert des polluants, les niveaux de risque estimés sont inférieurs aux critères d'acceptabilité ;
- Zone 4 : activités artisanales (avec conservation partielle du bâtiment actuel) + logements en R+1 au droit d'un des bâtiments. Avec la mise en œuvre d'un dispositif constructif s'opposant au transfert des polluants, les niveaux de risque estimés sont inférieurs aux critères d'acceptabilité ;
- Zone 5 : activités artisanales en RDC et logements en R+1. Avec la mise en œuvre d'un dispositif constructif s'opposant au transfert des polluants, les niveaux de risque estimés depuis les sols et la nappe sont inférieurs aux critères d'acceptabilité ;
- Zone 6 : futur hôtel. Avec le décapage des sols sur 50 cm, la prise en compte des concentrations moyennes dans les sols et d'un dispositif constructif s'opposant au transfert des polluants vers le bâtiment, les niveaux de risque sont inférieurs aux critères d'acceptabilité ;
- Zone 7 : activités artisanales en RDC. Avec la mise en œuvre d'un drainage des gaz sous bâtiment, l'enlèvement de certains spots et la prise en compte d'un abattement sécuritaire des concentrations résiduelles suite au traitement, les niveaux de risque estimés sont inférieurs aux critères d'acceptabilité.

### 3.4 Délimitation des zones de pollution concentrée à traiter

#### 3.4.1 Contexte hydrogéologique

Les sols à traiter sont répartis en deux zones source principales renfermant l'une principalement des COHV et l'autre des BTEX qui sont les principaux polluants identifiés au droit du site.

La succession lithologique au droit du site est la suivante :

- remblais d'épaisseur et d'origines diverses selon les zones (en moyenne, 1,50 m) ;
- calcaires de Brie, constitués à la base par des marnes blanchâtres et au sommet par des calcaires avec la présence éparse de blocs de meulière ; l'épaisseur moyenne de cette formation est d'environ 3 m ;
- marnes vertes, dont l'épaisseur est estimée à 5 m environ (cet horizon n'a pas été entièrement recoupé lors des investigations réalisées au droit du site).

La limite calcaire de Brie/ marne verte n'est pas franche et on observe au droit de certains sondages des « surépaisseurs » de marnes ou au contraire leur quasi absence. Les argiles vertes ont en effet au droit du site une structure en « boîte d'œufs ».

Les formations de Brie contiennent une nappe perchée sur les argiles vertes. Un essai de pompage a été réalisé par SUEZ pour le compte de l'EPFIF en mars 2018. Les essais ont été réalisés sur les ouvrages PZ13 et PZ14. Il a été mis en évidence un aquifère de faible perméabilité comprise entre  $5 \cdot 10^{-6}$  et  $5 \cdot 10^{-7}$ . Des mesures granulométriques ont été réalisées sur un échantillon de calcaire de Brie : sa porosité totale est de 35,1%. La granulométrie est la suivante : Argile 48,7%, Silt 24,1% et Sable : 27,2%.

#### 3.4.2 Seuils de traitement et volume de sols à traiter

Les deux principales zones à traiter renferment l'une principalement des COHV et l'autre des BTEX ; ces zones sont en partie disjointes.

A l'issue du plan de gestion, les seuils de traitement retenus sont :

- 200 mg/kg pour les BTEX ;
- 250 mg/kg pour les COHV.

Le volume de sols à traiter a été évalué à environ **7 400 m<sup>3</sup>** pour l'ensemble des zones à traiter répartis à **46% en ZNS et 54% en ZS** (cf. Tableau 1).

**Tableau 1 : Synthèse du bilan massique**

|                      | Profondeur | COHV 250 + BTEX 200 |                  | BTEX >200 - COHV <250 |           | BTEX < 200 - COHV >250 |           | Total ZNS | total ZS  |
|----------------------|------------|---------------------|------------------|-----------------------|-----------|------------------------|-----------|-----------|-----------|
|                      |            | Surface commune m2  | Volume commun m3 | Surface m2            | Volume m3 | Surface m2             | Volume m3 | Volume m3 | Volume m3 |
| REMBLAIS             | 0-0,5      | 54                  | 27               | 888                   | 444       | 912                    | 456       | 3 394     |           |
|                      | 0,5-1      | 60                  | 30               | 792                   | 396       | 744                    | 372       |           |           |
|                      | 1-1,5      | 73                  | 37               | 857                   | 429       | 729                    | 365       |           |           |
|                      | 1,5-2      | 125                 | 63               | 881                   | 441       | 673                    | 337       |           |           |
| MARNES               | 2-2,5      | 232                 | 116              | 932                   | 466       | 554                    | 277       |           | 2 574     |
|                      | 2,5-3      | 250                 | 125              | 968                   | 484       | 512                    | 256       |           |           |
|                      | 3-3,5      | 260                 | 130              | 960                   | 480       | 480                    | 240       |           |           |
| ARGILES +/- MARNEUSE | 3,5-4      | 266                 | 133              | 948                   | 474       | 456                    | 228       |           | 1 410     |
|                      | 4-4,5      | 273                 | 137              |                       |           | 447                    | 224       |           |           |
|                      | 4-4,8      | 272                 | 82               |                       |           | 445                    | 133       |           |           |
|                      | Total      |                     | 878              |                       | 3 613     |                        | 2 887     | 3 394     | 3 984     |

Le stock de polluants estimés dans les zones de pollution concentrée ainsi déterminée représente **9,74 tonnes** pour **11,16 tonnes** totalisées pour les BTEX, soit **87,2 %** et **14,1 tonnes** pour **15,4 tonnes** totalisées pour les COHV, soit **92 %**.

### 3.4.3 Localisation des zones de pollution concentrée

La cartographie des zones de pollution concentrée est la suivante :

- pour les COHV (cf. **Figures 3 et 4** ci-après), une zone de pollution concentrée principale est identifiée au droit du bâtiment EIF n°2 et sur l'actuel parking extérieur au droit du sondage T31 ;
- pour les BTEX (cf. **Figures 5 et 6** ci-après), une zone de pollution concentrée principale est identifiée au droit du bâtiment de l'actuelle cour intérieure et sur l'actuel parking extérieur au droit du sondage T34.

### 3.4.4 Extensions verticales des zones de pollution concentrée

Pour les COHV, la zone source au droit du bâtiment EIF n°2 est plus concentrée dans la zone saturée entre 2,5 m et 4 m que dans les terrains non saturés sus-jacents. Sur la base des mesures PID effectuées lors des sondages, elle semble s'estomper à partir de 4,5 m de profondeur.

Au droit du sondage T31, les concentrations s'atténuent avec la profondeur dès 2,5 m ; il faut toutefois noter que les informations environnementales sont insuffisantes au droit de cette zone source (un seul sondage réalisé), ce qui induit un manque de précision du krigeage.

Pour les BTEX, les concentrations mesurées au droit de la cour intérieure diminuent rapidement avec la profondeur, excepté au droit du sondage T34.

Au droit du sondage T34, une anomalie ponctuelle a été mise en évidence. Il faut toutefois noter qu'un seul sondage représente cette zone source ce qui induit un manque de précision du krigeage.

Au droit de sondage T31, une anomalie ponctuelle en COHV a été mise en évidence. Son extension n'est pas délimitée. Elle est localisée dans la zone saturée.

Ces éléments sont reportés en **Figure 7**.

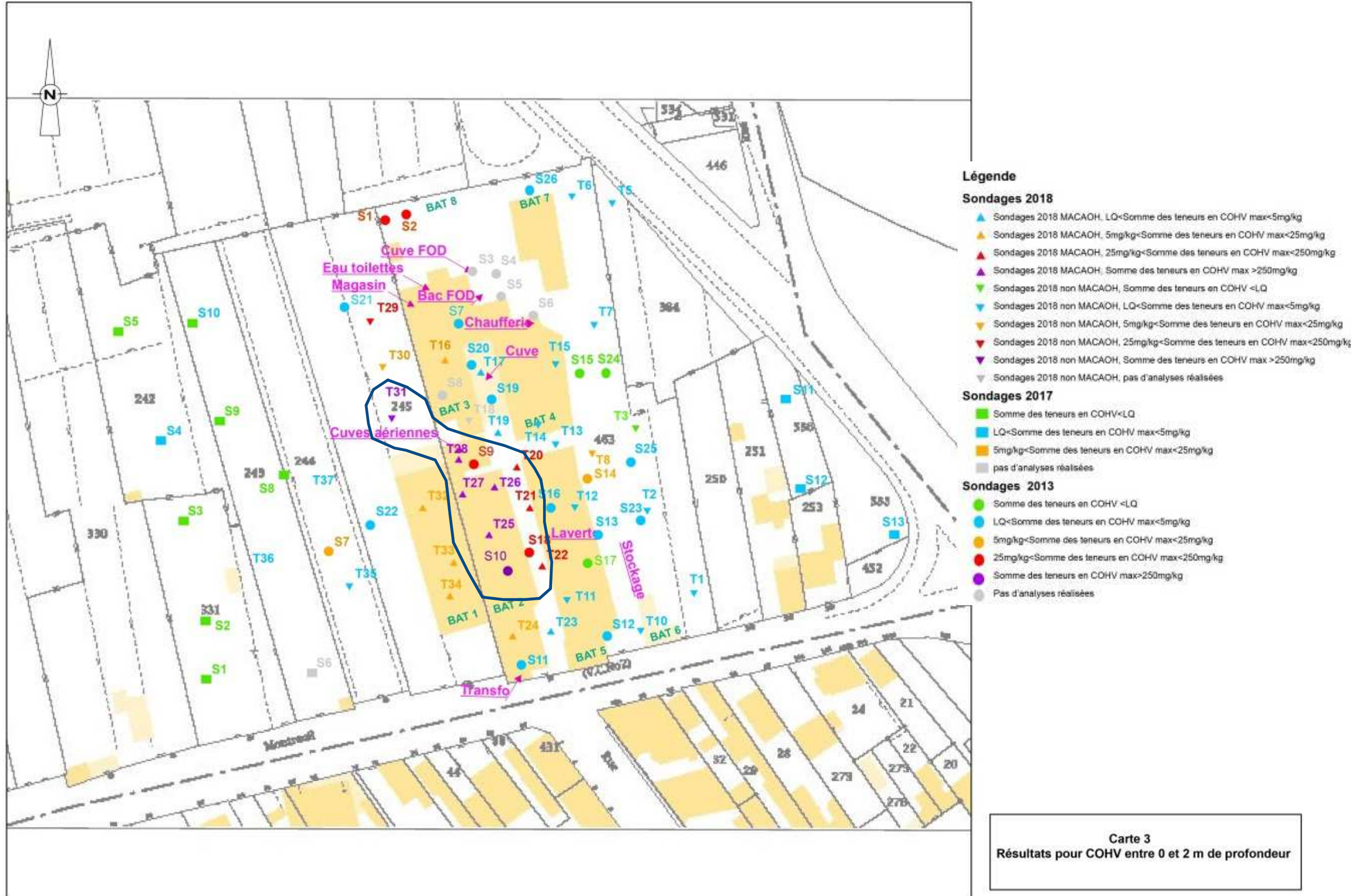


Figure 3 : Cartographie des COHV entre 0 et 2 m de profondeur basés sur l'ensemble des résultats d'analyse sols – Emprise des zones de pollution concentrées



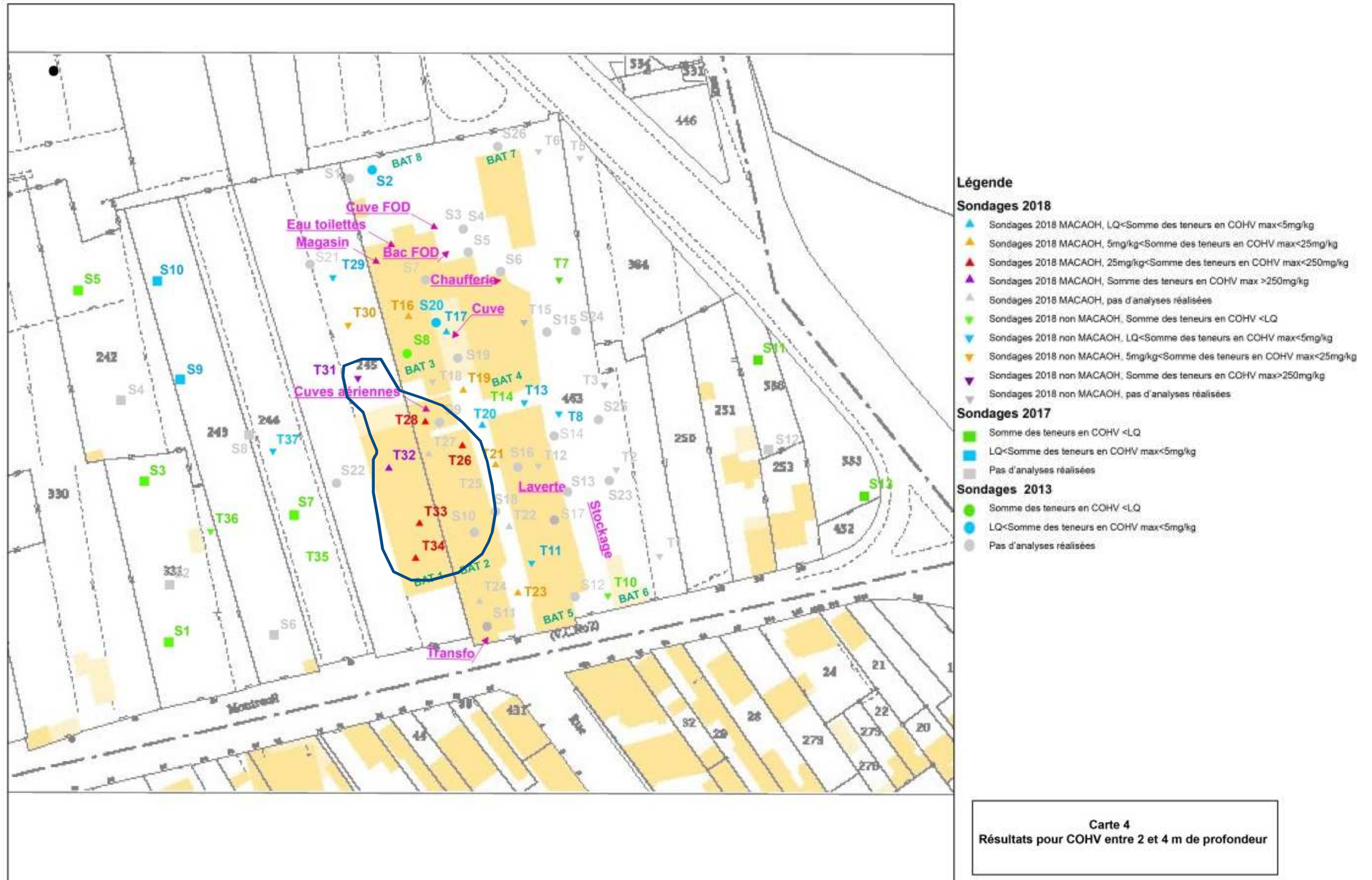


Figure 4 : Cartographie des COHV entre 2 et 4 m de profondeur basés sur l'ensemble des résultats d'analyse sols – Emprise des zones de pollution concentrées



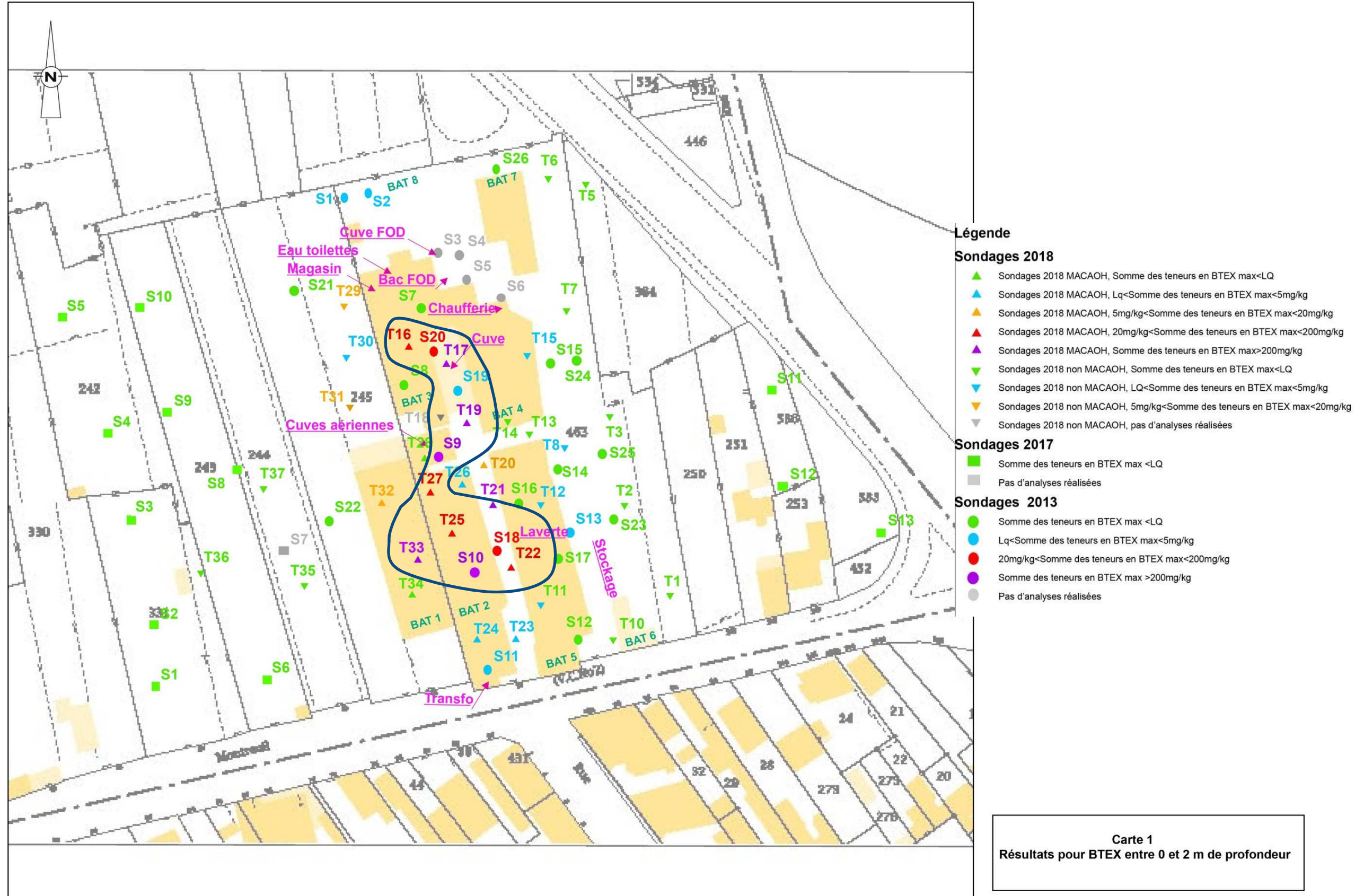


Figure 5 : Cartographie des BTEX entre 0 et 2 m de profondeur basés sur l'ensemble des résultats d'analyse sols – Emprise des zones de pollution concentrées



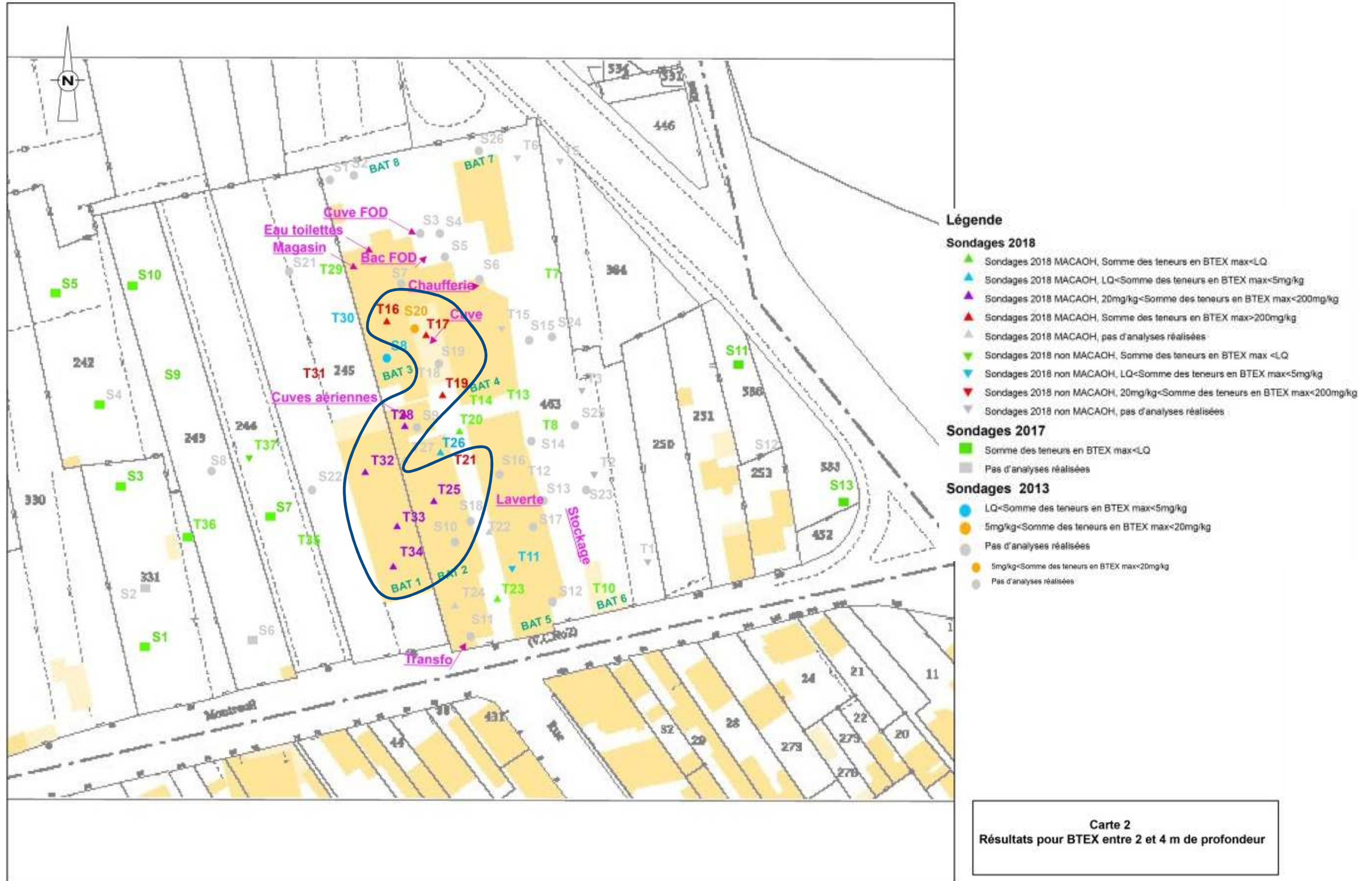


Figure 6 : Cartographie des BTEX entre 2 et 4 m de profondeur basés sur l'ensemble des résultats d'analyse sols – Emprise des zones de pollution concentrées



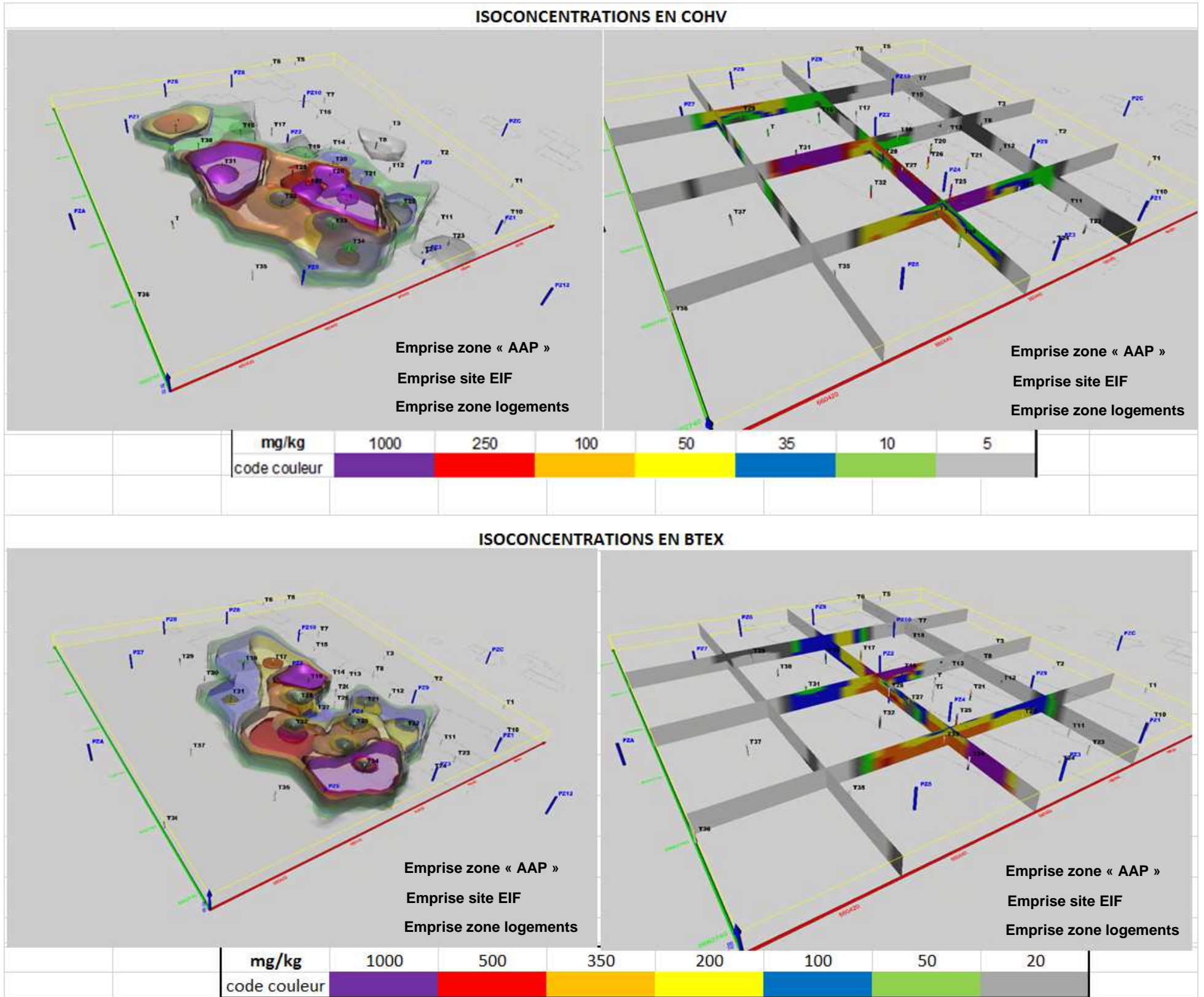


Figure 7 : Cartographie des zones sources en COHV et en BTEX



## 4. Sélection des techniques

Les techniques sélectionnées doivent être aptes à traiter les COHV et les BTEX. Au stade du plan de gestion, les techniques retenues étaient :

- la réduction chimique et biologique pour la zone saturée ;
- le venting pour la zone non saturée ;
- l'extraction multiphase pour la zone saturée ;
- le traitement par excavation et évacuation des terres impactées hors site.

BOUYGUES IMMOBILIER UrbanEra a missionné BURGEAP pour la réalisation d'essais pilote pour l'ensemble des techniques de traitement in situ envisageables. En effet, l'évacuation hors site ne demande aucun essai préalable à sa mise en œuvre, seul un maillage suffisamment dense de sondages en préalable est un gage pour la fiabilité des estimations de volume à évacuer vers les différentes filières hors site.

Ces essais ont été réalisés en 2018 par BURGEAP, et ont fait l'objet du rapport d'essai de traitabilité référencé RESICE08481-01, en date du 12/12/2018.

**Le présent chapitre développe le principe des essais qui ont été réalisés.**

**Le chapitre 5 détaille les essais réalisés, et le chapitre 6 regroupe les éléments de dimensionnement obtenus à l'issue de ces investigations.**

### 4.1 Essai de réduction

#### 4.1.1 Objectifs de l'essai

Cet essai s'applique aux traitements correspondant aux codes AFNOR suivants :

**Tableau 2 : Missions réalisées dans le cadre de l'essai de réduction**

| Code         | Prestation                  |
|--------------|-----------------------------|
| <b>C313c</b> | Réduction chimique in situ  |
| <b>C323b</b> | Réduction chimique sur site |
| <b>C315a</b> | Biodégradation dynamisée    |

La réduction est soit chimique soit biologique. Les deux processus peuvent coexister, être consécutifs l'un de l'autre ou être inhibiteurs l'un par rapport à l'autre. Les réducteurs couramment utilisés sont :

- Fer zérovalent (FZV) ou autre métal à degré de valence 0 ;
- mélange de fer zérovalent et de matière organique ;
- matière organique : réduction biologique.

L'objectif de l'essai en laboratoire est de déterminer :

- si le réducteur choisi peut décomposer les polluants d'intérêt et leurs produits de dégradation le cas échéant ;
- si la réduction chimique ou la réduction biologique est le processus majoritaire ;
- la quantité estimée de réducteur nécessaire ;
- la formation d'éventuels sous-produits et leur durée de vie.

Les essais ont été réalisés en laboratoire et un essai d'injection sur site a également été réalisé.

## 4.2 Essai de venting

L'objectif est de mesurer la faisabilité d'un traitement par venting et d'acquies les données de terrain permettant d'appréhender la réponse du milieu à la mise en dépression du sol. Les essais sont réalisés au niveau de la source de pollution dans la zone non saturée, c'est à dire dans l'horizon de remblais limono-sableux à limono-argileux entre 0 et 2 m de profondeur.

### 4.2.1 Principe d'un traitement par venting

Le venting est un procédé in-situ permettant d'extraire les composés organiques volatils de la zone insaturée (phase pure, adsorbée, gazeuse et dissoute dans l'eau interstitielle). Cette technique consiste à mettre en dépression la zone insaturée et à induire des circulations d'air centrées sur et en direction de chaque puits d'extraction souvent appelé « aiguille ». Le traitement par venting ne concerne que les zones non saturées.

Le renouvellement de l'air dans les pores du sol a pour conséquence de modifier les équilibres physico-chimiques entre les différentes phases présentes. Ainsi, au cours de son passage à travers la zone contaminée, l'air se « charge » en polluant volatil et déplace l'équilibre de volatilisation des composés sorbés sur les grains de sols. Ces gaz sont récupérés dans les points d'extraction et traités en surface.

Le venting est une technique favorable dans les cas suivants :

*Pression de vapeur :*

- ce paramètre est le plus important pour évaluer l'efficacité d'un venting. La pression de vapeur d'un polluant représente sa capacité à se volatiliser ;
- les composés ayant une pression de vapeur supérieure 0,13 kPa (10 mmHg) sont facilement traitables par venting. C'est le cas pour tous les composés d'intérêt sur le site EIF ;
- par exemple pour le PCE, la pression de vapeur est comprise entre 1.9 kPa (20°C) - 2.462 KPa (25°C), **ce qui confirme la capacité du traitement à extraire ce produit ;**
- par exemple pour le benzène, la pression de vapeur est comprise entre 10 kPa (20°C) – 12,6 KPa (25°C), **ce qui confirme la capacité du traitement à extraire ce produit.**

*Constante de Henry :*

- cette constante traduit la tendance d'un constituant dissous à se répartir entre la phase gazeuse et la phase dissoute et permet donc de déterminer si un polluant dissous dans l'eau du sol pourra se volatiliser lors de la mise en œuvre du venting ;
- les polluants ayant une constante de Henry supérieure à 0,01 sont généralement facilement extractibles par venting ;
- dans le cas du PCE, la constante de Henry est de 0,754 (à 25°C), **ce qui permet d'affirmer que le composé est facilement extractible par cette technique ;**
- dans le cas du benzène, la constante de Henry est de 0,229 (à 25°C), **ce qui permet d'affirmer que le composé est facilement extractible par cette technique.** Les autres BTEX ont également une constante de Henry supérieure à 0,01.

Le bioventing est associé au venting dans la mesure où la circulation d'air induite par le venting, ou augmentée par une injection d'air complémentaire, permet une dégradation biologique de certains polluants dont le produit de dégradation est le dioxyde de carbone et l'eau.

Ces traitements sont couramment mis en œuvre dans le cas de COV. Les codes AFNOR associés à cette technique sont les suivants :

**Tableau 3 : codes AFNOR associés aux techniques de ventilation mécanique in situ**

| Code         | Prestation |
|--------------|------------|
| <b>C311a</b> | Venting    |
| <b>C315b</b> | Bioventing |

#### 4.2.2 Objectifs des essais de venting

Les essais ont pour objectifs :

- la détermination de leur faisabilité ;
- l'évaluation de la réponse du milieu :
  - dépression acceptable ;
  - débit d'air par pointe ;
  - flux de polluants à l'état initial ;
- le rayon d'influence pour déterminer le nombre d'ouvrages de venting à mettre en œuvre ;
- l'évaluation du flux à traiter.

### 4.3 Essai d'extraction multiphasique

#### 4.3.1 Principe de traitement

L'extraction multiphasique EMP est utilisée pour extraire à l'aide d'un vide renforcé (jusque 800 m bars) :

- les gaz des sols ;
- l'eau libre du sol ;
- la phase organique.

En l'absence de phase libre, on parle d'extraction double phase air / eau. Dans les sols de faible perméabilité, l'extraction multiphasique peut permettre d'extraire plus d'eau qu'un pompage traditionnel.

Cet essai s'applique au traitement correspondant au code AFNOR C311b.

#### 4.3.2 Objectifs

L'essai a pour objectifs :

- la détermination de la faisabilité de l'EMP ;
- l'évaluation de la réponse du milieu :
  - dépression acceptable pour la zone de battement de nappe et pour la zone saturée ;
  - débit d'air et d'eau par ouvrage ;
  - flux de polluants à l'état initial dans chaque phase ;
- le rayon d'influence pour déterminer le nombre d'ouvrages d'EMP à mettre en place le cas échéant ;
- l'évaluation de la cinétique de traitement.

## 5. Essais réalisés

### 5.1 Planning d'exécution

Les essais de réduction en laboratoire, prestation B111, ont été confiés au laboratoire spécialisé ENOVEO.

Les essais in situ, prestation B112, ont été mis en œuvre par BURGEAP. La réalisation des essais s'est faite selon le programme suivant :

**Tableau 4 : Planning d'exécution des essais in situ**

| Date       | Opération  | Détails                      |                                       | Intervenants               |
|------------|--|------------------------------|---------------------------------------|----------------------------|
| 09-févr-18 | prélèvements de sols vers T25  | prélèvements de sols         | T25                                   | BURGEAP/ATME               |
| 28-mars-18 | prélèvements d'eaux en PZ4 pour les essais chez ENOVEO                     | prélèvement d'eau 20l        | PZ4                                   | BURGEAP                    |
| 02-mai-18  | mise en place des nouveaux ouvrages de venting et d'extraction multiphases | 3 piézaires en zone Centrale | PZV1, PZV2, PZV3, à proximité de PZG1 | BURGEAP/AGRI ENVIRONNEMENT |
|            |  | 1 puits d'EMP                | PZ4e                                  |                            |
|            |  | 2 piézomètres de contrôle    | PZ4EMP1 et PZ4                        |                            |
| 03-mai-18  | essais d'injection   |                              |                                       | BURGEAP/AGRI ENVIRONNEMENT |
| 04-mai-18  | fin des essais et repli  |                              |                                       |                            |
| 25-mai-18  | Réalisation d'ouvrages complémentaires                                     | 3 piézaires en zone Nord     | PZV4, PZV5, PZV6                      | BURGEAP /ATME              |
|            |  | 1 puits d'EMP en secteur Sud | PZ3e                                  |                            |
| 28-mai-18  | essai de venting sur la zone centrale                                      |                              |                                       | BURGEAP                    |
| 29-mai-18  | essai de venting sur la zone Nord  |                              |                                       |                            |
| 30-mai-18  | Essai d'EMP en zone Sud  |                              |                                       |                            |
| 31-mai-18  | Essai d'EMP en zone Centrale   |                              |                                       |                            |
| 01-juin-18 | Fin des essais et rangement  |                              |                                       |                            |
| 04-juin-18 | Repli  |                              |                                       |                            |

### 5.2 Implantation des ouvrages pour les essais in situ

Les ouvrages utilisés pour les essais sont présentés sur la figure 2. Les ouvrages suivants, existants, ont été réutilisés :

- PZG1 ;
- PZ4 ;
- PZ3.

Afin de pouvoir réaliser les essais de traitabilité présentés dans les paragraphes suivants, il a été nécessaire de réaliser neuf ouvrages supplémentaires, dont la localisation est présentée en **Figure 8**.

Les ouvrages ont été réalisés en deux phases, la première en semaine 18 par AGRI ENVIRONNEMENT (PZV1, PZV2, PZV3, PZ4ESV et PZ4C), la seconde par ATME en semaine 21 (PZV4, PZV5, PZV6 et PZEMP1).

Les ouvrages ont été forés à la tarière creuse/tarière pleine jusqu'à des profondeurs de 6 m pour les piézomètres eau et 1 m pour les piézomètres gaz. Leurs caractéristiques techniques sont les suivantes :

- Tube PVC ou PEHD pour les piézomètres eau en diamètre intérieur 80 mm ;
- Tube PVC ou PEHD pour les piézomètres gaz en diamètre intérieur 50 et 25 mm.

Pour les piézomètres gaz, au-dessus du niveau crépiné, l'espace annulaire est comblé par de la bentonite sur 30 cm et au-dessus par 20 cm de ciment.

Au droit de l'ouvrage PZ3, l'aquifère est plutôt marneux, au droit de l'ouvrage PZ4, l'aquifère est plus argileux. Au droit de ce dernier ouvrage, 1 piézomètre de contrôle et 1 piézomètre d'extraction ont été mis en place tandis qu'au niveau de l'ouvrage PZ3, un ouvrage d'extraction a été installé.

Les ouvrages PZG1, PZV3 et PZV2 sont situés respectivement à 1,5, 3 et 5 m de distance du puits d'extraction PZV1.

Les ouvrages PZV5 et PZV6 sont situés respectivement à 1,5 et 3 m de distance du puits d'extraction PZV4.

Concernant les essais d'extraction multiphases, ils ont été réalisés au niveau des piézomètres PZ3 et PZ4. Des contrôles de niveau d'eau ont été réalisés au droit des ouvrages PZEMP1, PZ4ESV et PZ4C.

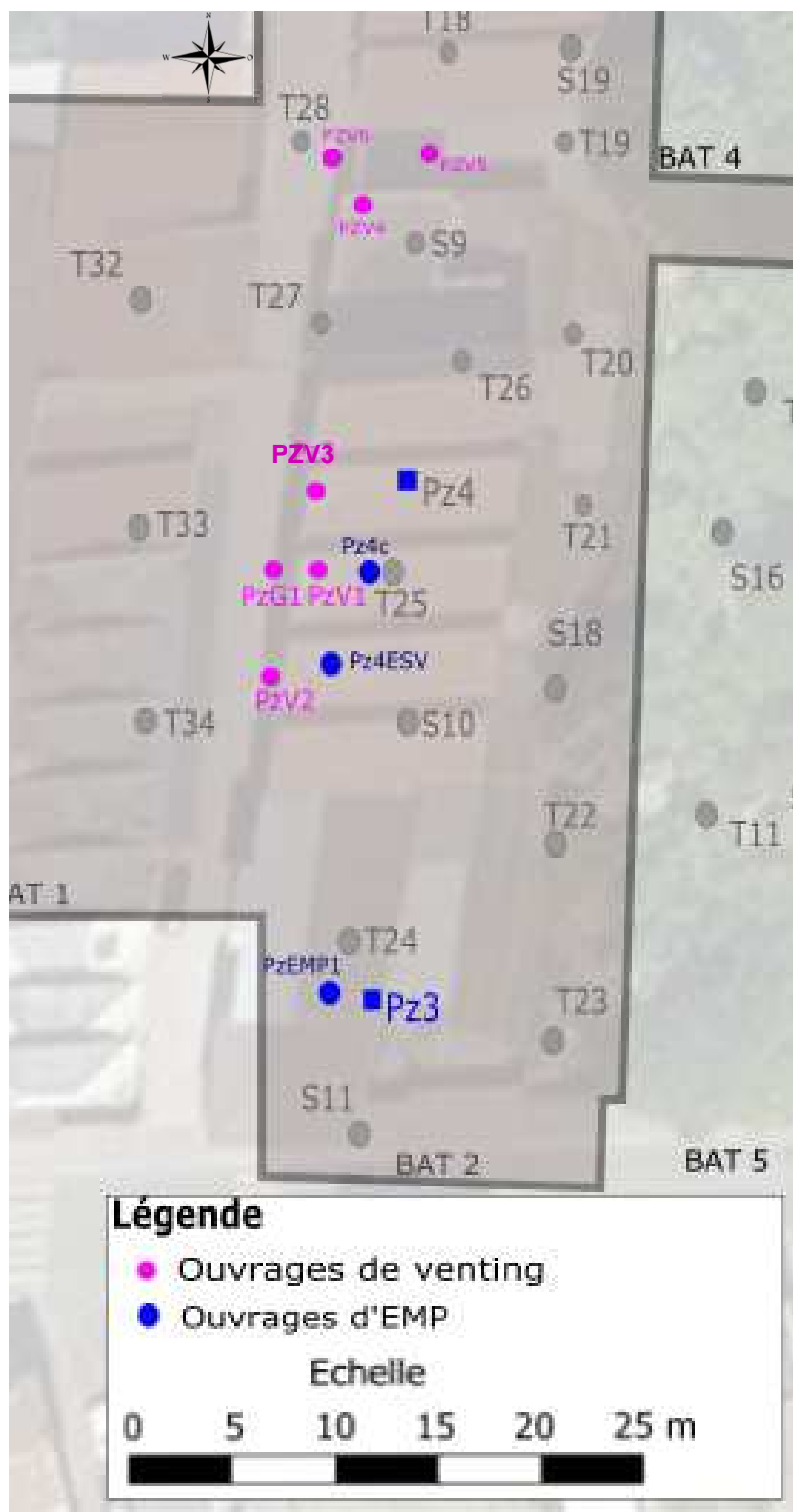


Figure 8 : Implantation des ouvrages utilisés pour les essais

## 5.3 Essai d'injection

### 5.3.1 Matériels et produits

L'injection a été sous-traitée à la société AGRI ENVIRONNEMENT, équipé d'une sondeuse GEOPROBE avec une pompe DP800. Le produit injecté est du fer zérovalent de marque PEROXYCHEM.

Le fer a été mélangé sur site pour un dosage d'environ 10 g/l.

### 5.3.2 Mise en œuvre

Initialement, l'opération prévoyait une injection à proximité de 2 piézomètres PZ3 et PZ4 pour ensuite suivre les évolutions du milieu pendant quelques semaines.

Des difficultés de passage d'une deuxième dalle à 1,70 m de profondeur nous ont contraints à nous déplacer au droit d'un troisième point au Nord du Bâtiment EIF. Les points d'injection sont :

- essai 1 : Nord du bâtiment 2 : injection avec succès de 360 L de réducteur ;
- essai 2 : zone centrale : injection avortée après avoir injecté 20 L de produit du fait d'un milieu trop argileux ;
- essai 3 : refus de sondages en 4 points, en raison de la présence d'une dalle à 1,7 m de profondeur.

### 5.3.3 Résultats

La fiche d'essais présentée en page suivante récapitule les principales informations relatives aux essais réalisés.

3 carottages de contrôles ont été réalisés à proximité du point d'injection en zone Nord, respectivement à 0,50 m, 1 m, et 1,50 m du point d'injection. Dans l'horizon saturé entre 2 m et 4,50 m, les carottes montrent les éléments suivants :

- à 0,50 m et 1 m, l'horizon des marnes a été transformé en boue calcaire ;
- à 1,50 m, l'horizon est une marne humide semblable aux marnes prélevées lors des opérations de diagnostic.

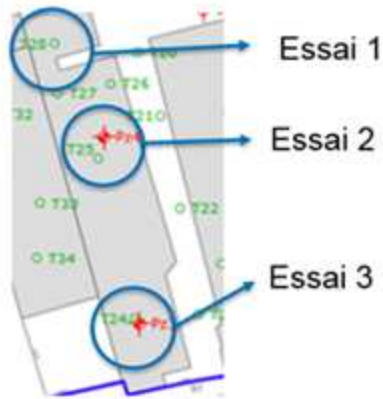
Le produit injecté s'est donc propagé, aux conditions d'essais mises en œuvre, jusqu'à une distance comprise entre 1m et 1m50 du point d'injection.

Aucun piézomètre n'est présent à proximité de cette zone, en conséquence le produit n'a pu être suivi dans les eaux souterraines.

Les principaux enseignements sont :

- confirmation de l'impossibilité d'injecter dans les argiles vertes ;
- l'injectabilité dans les marnes : l'injection provoque une déstructuration des marnes avec apparition d'un horizon boueux jusqu'à une distance de 1 m (a minima) du point d'injection.





Injection de Fer zérovalent 10g/l avec pompe DP800 sous pression 45bars,



| Essai 1      | volume injecté(l)   | temps d'injection( minutes) | Profondeur |
|--------------|---------------------|-----------------------------|------------|
| station 1    | 60                  | 5                           | 4m50       |
| station 2    | 60                  | 5                           | 4m50       |
| station 3    | 60                  | 5                           | 3m50       |
| station 4    | 60                  | 5                           | 3m50       |
| station 5    | 60                  | 5                           | 3m50       |
| station 6    | 60                  | 5                           | 2m50       |
| Station 7    | refoulement produit | 10                          | 2m50       |
| <b>TOTAL</b> | 360                 |                             |            |

| Essai 2      | volume injecté(l)   | temps d'injection(mi nutes) | Profondeur |
|--------------|---------------------|-----------------------------|------------|
| station 1    | 20                  | 15                          | 4m50       |
| station 2    | refoulement produit | 10                          | 3m50       |
| station 2    | refoulement produit | 10                          | 2m50       |
| <b>TOTAL</b> | 20                  |                             |            |

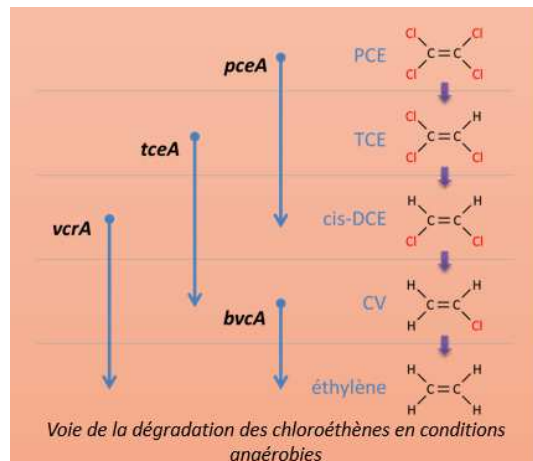
Figure 9 : Fiche synthétique de l'essai d'injection



### 5.3.4 Essai de réduction en laboratoire

#### 5.3.4.1 Principe de traitement

Pour la dégradation biologique des chloroéthènes, les processus sont reportés dans le synoptique suivant, avec les biomarqueurs *pceA*, *tceA*, *vcrA*, *bvcA* associés aux bactéries anaérobies déhalorespirantes, dont seules les espèces déhalococcoïdes sont connues pour dégrader toute la chaîne.



**Figure 10 : Dégradation des chloroéthènes par voie biologique**

La dégradation chimique des chloroéthènes suit des processus variés tels que l'hydrogénolyse, dont les chloro-acétylènes sont intermédiaires de dégradation, ou l' $\alpha$  ou  $\beta$  élimination pour lesquels l'éthylène et l'éthane sont les molécules filles.

#### 5.3.4.2 Réalisation des pilotes

Les essais ont été confiés au laboratoire ENOVEO spécialisé dans ce domaine. L'objectif des essais est de tester la performance des processus de réduction biologique et de réduction chimique des COHV.

6 pilotes ont été constitués, par un mélange de sols et d'eaux souterraines (10% / 90%) prélevés par BURGEAP en T25, sol marneux entre 2,5 et 3,5 m de profondeur et pour les eaux prélevées en PZ4, soit le secteur le plus impacté du site pour la zone saturée.

Les différents pilotes réalisés sont les suivants :

- 1 pilote, dénommé « témoin » a été mis en traitement sans additif ;
- 2 pilotes dénommés A1 et A2 ont été additionnés de fer zérovalent pour constituer des pilotes de réduction chimique. Ont été additionnés 0,3% massique de fer zérovalent à T0, puis 2% à T60 jours (T3). Le pilote A2 a ensuite fait l'objet d'un ajout de source de carbone, 0,3% du mélange ajouté au pilote B2 après 60 jours d'essai (cf. ci-après) ;
- 2 pilotes dénommés B1 et B2 ont été additionnés de carbone organique pour constituer des pilotes de réduction biologique. Ont été additionnés 0,3 % massique de carbone organique à T0. Pour B1 le carbone organique est constitué à part égale de lactate et de mélasse, assez solubles et rapidement disponibles pour la fermentation. Pour B2, il s'agit à parts égales de lactate, mélasse et huile de soja, l'huile de soja étant peu soluble et plus lentement fermentescible. ;
- le pilote C a été additionné d'un produit du commerce, de marque EHC® et distribué par REGENESIS, mêlant fer zérovalent et carbone organique en vue d'une action combinée de réduction chimique et biologique. L'apport a été de 2% massique.

Les pilotes ont démarré début avril 2018. Le pilote C avec un retard de 15 jours du fait de l'indisponibilité du produit au démarrage.

Les différentes matrices ont été analysées à T<sub>0</sub>, avant ajout des réactifs.

Les contrôles T<sub>1</sub> à T<sub>4</sub> ont été répartis sur une durée de 3 mois environ. Le dernier (T<sub>5</sub>) a été réalisé en août 2018. Le pas de temps entre ces contrôles est illustré ci-après.

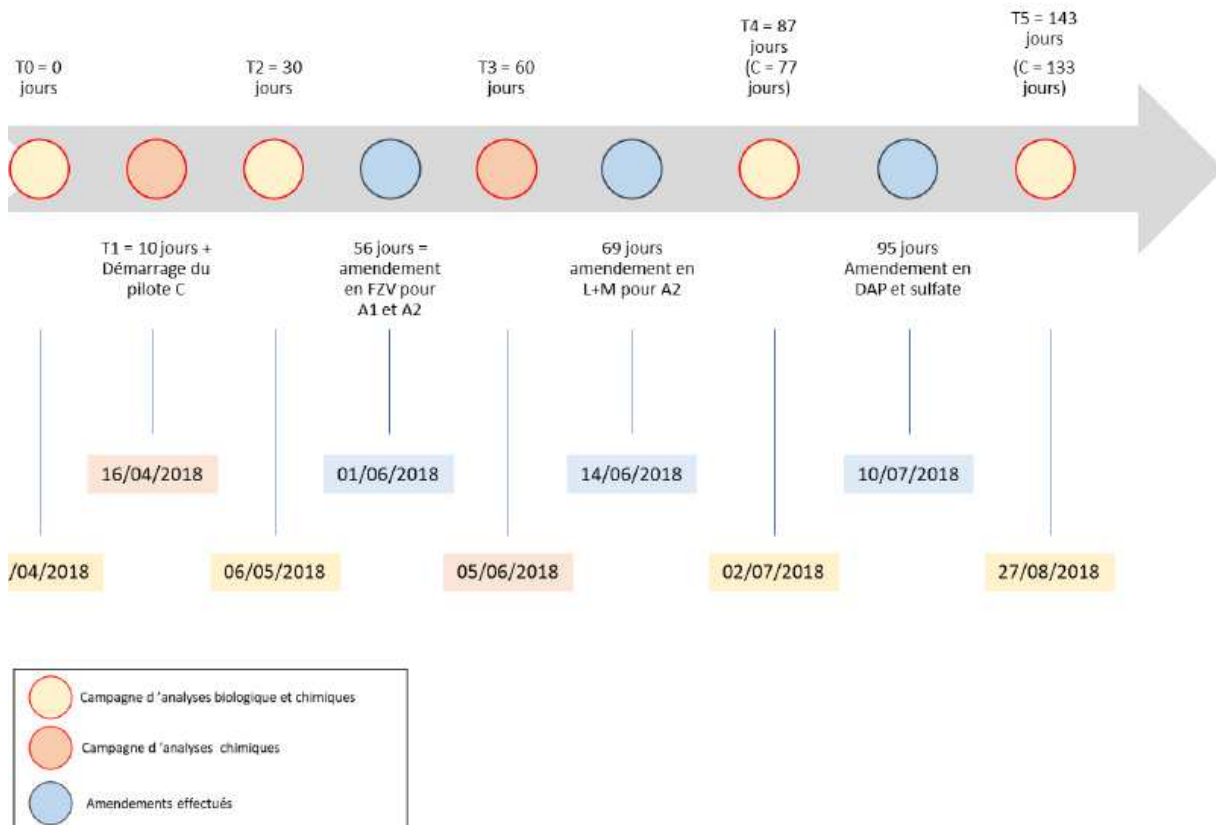


Figure 11 : Calendrier des essais en laboratoire

## 5.3.5 Résultats

### 5.3.5.1 Réduction des BTEX

Les résultats par pilote sont illustrés sur la **Figure 12**, ils indiquent :

- le pilote témoin ne montre aucun abattement ;
- les concentrations en BTEX sont abattues significativement dans trois conditions : A1, A2 de réductions chimiques et C de réduction chimique et biologique : plus de 90% d'abattement ;
- les pilotes de réduction biologique seuls (B1 et B2) montrent des résultats non probants pour l'abattement des BTEX.

En synthèse, ces essais montrent qu'il est possible d'atteindre une efficacité de plus de 90% pour la réduction des BTEX, mais le processus de dégradation n'a pas été identifié (chimique via des acides de Lewis ou biologique, des biomarqueurs de dégradation ayant été analysés en quantité significative).

La voie de traitement par ajout de fer zérovalent est par conséquent à privilégier mais devra être associée à des essais complémentaires pour rechercher les mécanismes de dégradation afin d'optimiser le traitement.

Figure 12 : Illustration de la performance de la réduction in situ pour les BTEX (extrait rapport ENOVEO en annexe 5)



### 5.3.5.2 Réduction des chloroéthènes

Les résultats par pilote sont illustrés en **Figure 13**. Les résultats sont présentés dans les **Tableaux 5 à 7**.

**Tableau 5 : Résultats des essais de réduction chimique des chloroéthènes**

|                            |         | Pilote A1 |       |       |       |       |      | Pilote A2 |       |       |       |       |      |
|----------------------------|---------|-----------|-------|-------|-------|-------|------|-----------|-------|-------|-------|-------|------|
| Paramètres                 | Unités  | A1T0      | A1T1  | A1T2  | A1T3  | A1T4  | A1T5 | A2T0      | A2T1  | A2T2  | A2T3  | A2T4  | A2T5 |
| Trichloroéthylène          | µmole/l | 102       | 51    | 32    | 25    | 1     | -    | 102       | 65    | 9     | 11    | 0     | 0    |
| Tetrachloroéthylène        | mmole/l | 305       | 323   | 335   | 93    | 3     | 0,04 | 305       | 345   | 102   | 325   | 30    | 0    |
| cis 1,2-Dichloroéthylène   | µmole/l | 3 569     | 4 353 | 4 363 | 4 177 | 2 156 | 40   | 3 569     | 4 703 | 2 950 | 4 105 | 2 032 | 12   |
| Trans-1,2-dichloroéthylène | µmole/l | 13        | 10    | 6     | 4     | 1     | -    | 13        | 12    | 4     | 4     | -     | -    |
| Chlorure de vinyle         | µmole/l | 51        | 56    | 56    | 43    | 4     | 4    | 51        | 58    | 32    | 42    | 24    | 1    |
| Ethane                     | µmole/l | -         | -     | 14    | -     | 8     |      | -         | -     | 5     | -     | 60    |      |
| Ethylene                   | µmole/l | -         | -     | 75    | -     | 43    |      | -         | -     | 30    | -     | 200   |      |
| Methane                    | µmole/l |           |       | 8     |       | 3     |      |           |       | 2     |       | 29    |      |

L'abattement mesuré dépasse 90%. Aux résultats intermédiaires, les concentrations en éthylène sont élevées, témoignant de l'efficacité du processus.

**Tableau 6 : Résultats des essais de réduction biologique des chloroéthènes**

|                            |         | Pilote B1 |       |       |       |       |      | Pilote B2 |       |       |       |      |       |
|----------------------------|---------|-----------|-------|-------|-------|-------|------|-----------|-------|-------|-------|------|-------|
| Paramètres                 | Unités  | B1T0      | B1T1  | B1T2  | B1T3  | B1T4  | B1T5 | B2T0      | B2T1  | B2T2  | B2T3  | B2T4 | B2T5  |
| Trichloroéthylène          | µmole/l | 66        | 61    | 76    | 65    | 82    |      | 66        | 29    | 76    | 42    | 7    | 25    |
| Tetrachloroéthylène        | mmole/l | 315       | 323   | 802   | 388   | 461   |      | 315       | 244   | 802   | 92    | 110  | 48    |
| cis 1,2-Dichloroéthylène   | µmole/l | 3 239     | 4 425 | 4 177 | 4 198 | 4 332 |      | 3 239     | 3 445 | 4 177 | 3 290 | 728  | 3 559 |
| Trans-1,2-dichloroéthylène | µmole/l | 9         | 9     | 11    | 9     | 7     |      | 9         | 8     | 11    | 8     | 1    | 6     |
| Chlorure de vinyle         | µmole/l | 58        | 31    | 74    | 27    | 24    |      | 58        | 52    | 74    | 43    | 4    | 34    |
| Ethane                     | µmole/l | -         | -     | 0     | -     | -     |      | -         | -     | -     | -     |      |       |
| Ethylene                   | µmole/l | -         | -     | 1     | -     | -     |      | -         | -     | -     | -     |      |       |
| Methane                    | µmole/l |           |       | 6     |       |       |      |           |       |       |       |      |       |

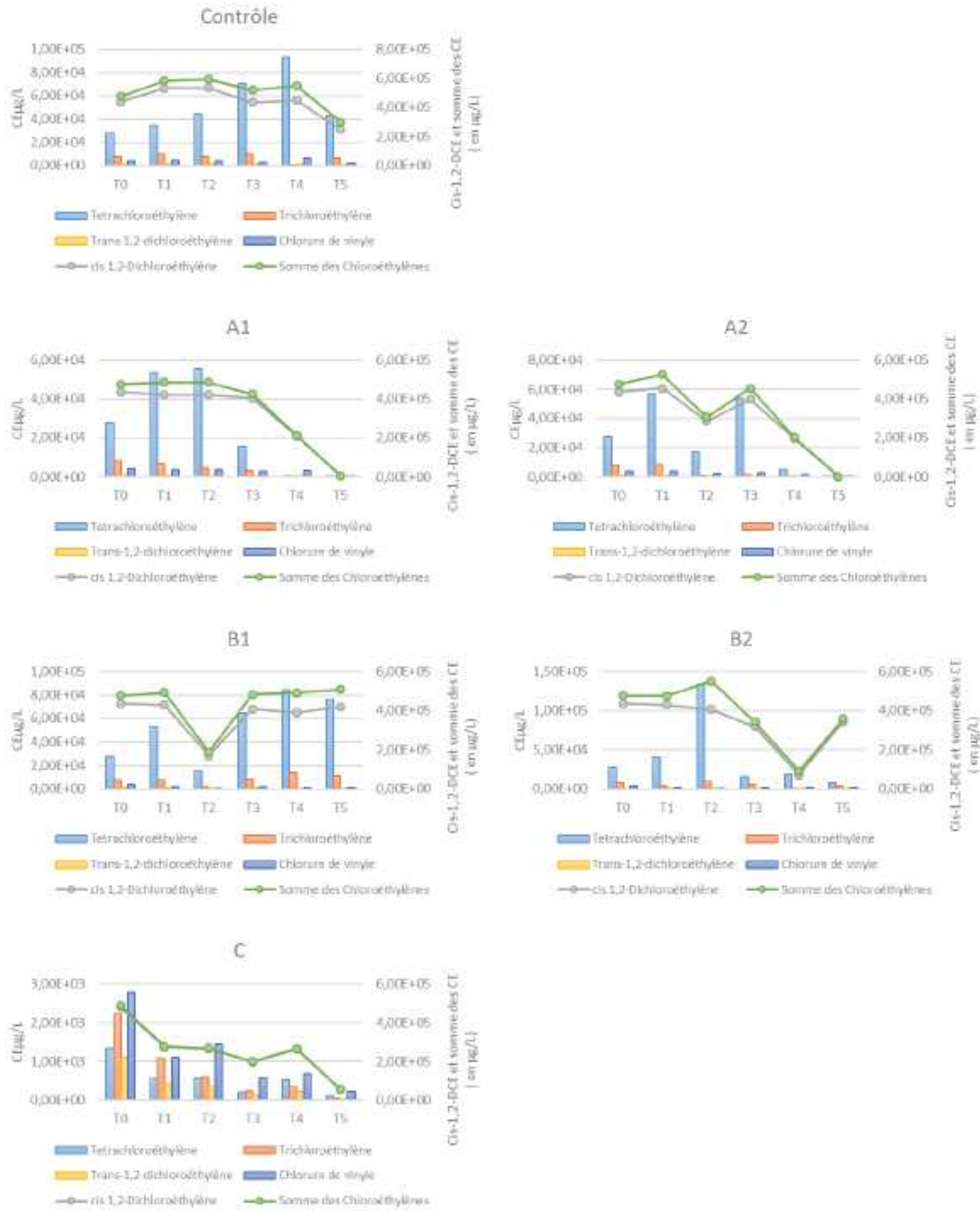
La biodégradation biologique permet la dégradation du PCE, mais la cinétique du processus est lente et en fin d'essai la concentration en cis-DCE n'a pas significativement évolué.

**Tableau 7 : Résultats des essais de réduction chimique et biologique des chloroéthènes**

|                            |         | Pilote C |       |       |       |       |     |
|----------------------------|---------|----------|-------|-------|-------|-------|-----|
| Paramètres                 | Unités  | CT0      | CT1   | CT2   | CT3   | CT4   | CT5 |
| Trichloroéthylène          | µmole/l | 17       | 8     | 5     | 2     | 3     | 0   |
| Tetrachloroéthylène        | mmole/l | 8        | 3     | 3     | 1     | 3     | 1   |
| cis 1,2-Dichloroéthylène   | µmole/l | 4 941    | 2 826 | 2 733 | 2 042 | 2 723 | 563 |
| Trans-1,2-dichloroéthylène | µmole/l | 11       | 4     | 4     | 2     | 0     |     |
| Chlorure de vinyle         | µmole/l | 44       | 18    | 23    | 9     | 4     |     |
| Ethane                     | µmole/l | 0        | -     | 1     | -     | -     |     |
| Ethylene                   | µmole/l | 1        | -     | 1     | -     | -     |     |
| Methane                    | µmole/l | 13       |       | 31    |       | -     |     |

La biodégradation mixte chimique et biologique assurée par l'ajout d'un produit du commerce EHC® permet la dégradation des chloroéthènes à près de 90% d'efficacité.

Figure 13 : Illustration de la performance de la réduction in situ pour les chloroéthènes (extrait rapport ENOVEO)



### 5.3.5.3 Conclusion des essais de réduction en laboratoire

Les pilotes de réduction chimique permettent d'envisager des abattements supérieurs à 90% pour les chloroéthènes et pour les BTEX.

Toutefois, si le mécanisme de dégradation pour les chloroéthènes est clairement identifié avec le fer zérovalent, il n'est pas expliqué pour les BTEX et plusieurs hypothèses peuvent être envisagées, biologiques ou chimiques.

Une bonne performance des pilotes avec le produit du commerce EHC® est également constatée.

En termes de transposition à un traitement pleine échelle, le traitement par voie chimique sera privilégié, le réactif étant moins coûteux et plus facile à injecter. Le dosage de FZV est à choisir à 2% masse de masse de sol. Pour le traitement des BTEX, il est possible qu'il faille également prévoir une injection de matière organique (cas du pilote A2).



## 5.4 Venting

### 5.4.1 Moyens mis en œuvre

Le skid de venting est composé :

- d'un support métallique ;
- d'un séparateur de condensats PEHD, fonctionnant pour un débit d'air entre 10 et 800 m<sup>3</sup>/h avec sécurité niveau haut ;
- d'un extracteur d'air: turbine à canal latéral avec soupape de sécurité, débit max. 150 m<sup>3</sup>/h et dépression max. -200 mbar ;
- d'un filtre à charbon actif air de 160 l pour un débit d'air entre 10 et 150 m<sup>3</sup>/h.



**Figure 14 : Skid de venting**

Les équipements de mesures ont été :

- PID ppm 10,6 eV ;
- Pompe d'échantillonnage d'air à soufflet, clapet ou péristaltique. La pompe à clapet permet le pompage de l'air dans le réseau en dépression, l'échantillonnage étant réalisé par la pompe Gilair ;
- Nourrice pour raccorder plusieurs ouvrages de contrôles simultanément ;
- Pompe d'échantillonnage d'air Gilair plus – débit 1 à 5000 ml/min, précision de la mesure à débit constant : 5%- alimentation batterie IP54 ;
- Débitmètre GO-Cal ;
- Micromanomètre 0-200 mbar ;
- Anémomètre sonde vitesse air chaud 0-40 m/s ;
- Détecteur CH<sub>4</sub> / H<sub>2</sub>S résolution 10 ppm ;
- Détecteur CO<sub>2</sub> – O<sub>2</sub> de type analyseur biogaz.

L'alimentation a été faite depuis l'atelier du menuisier voisin. Un coffret électrique a été acheté par BURGEAP. La puissance installée a été de 3 KW en monophasée, protection 16A.



## 5.4.2 Installation des ouvrages de venting

### 5.4.2.1 Localisation des ouvrages

Les essais de venting ont été réalisés sur deux zones différentes (**Figures 15 et 16**) :

- 1 zone au centre du bâtiment 2 EIF, zone source COHV et BTEX,
- 1 zone au nord du bâtiment 2 EIF, zone source COHV.

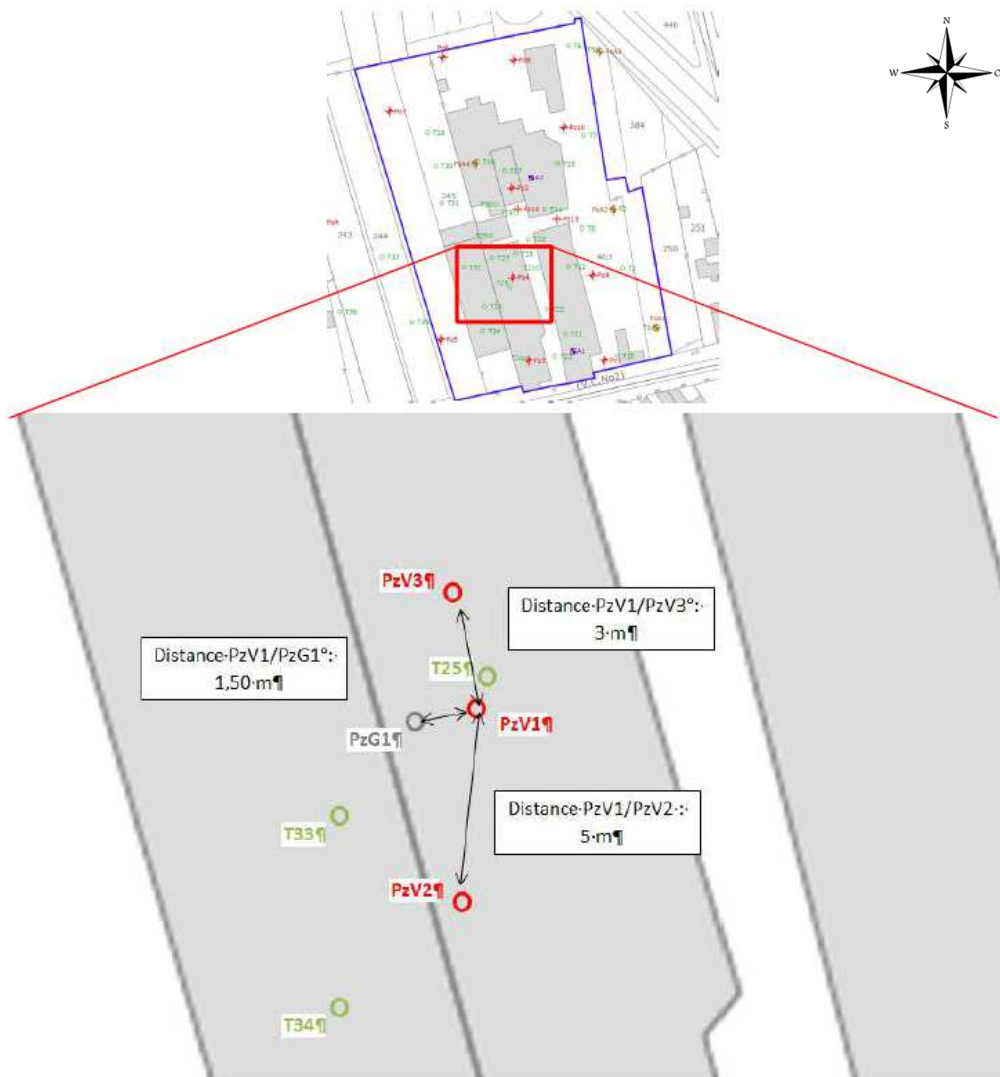
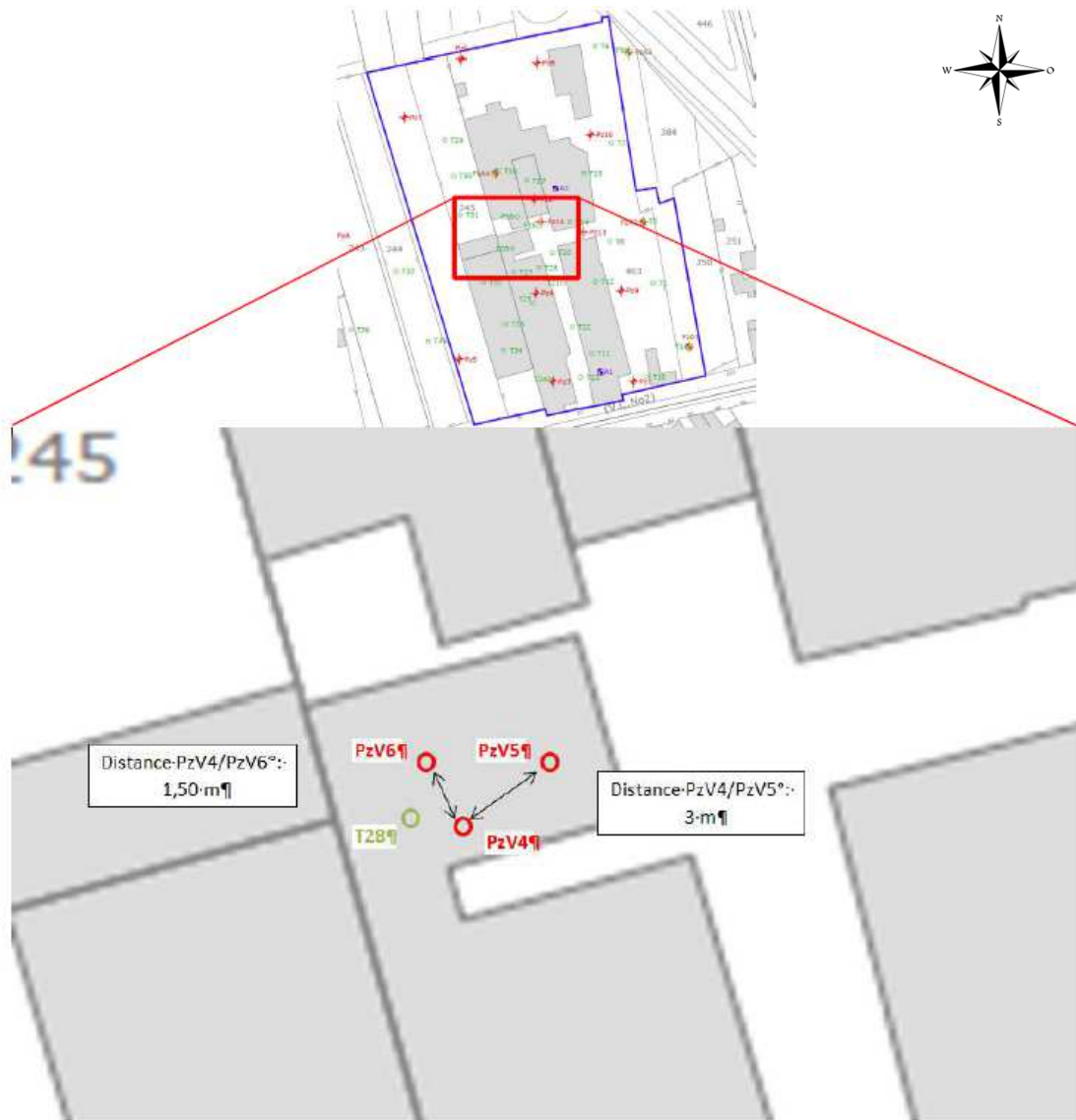


Figure 15 : Localisation des ouvrages de venting, zone source COHV et BTEX



**Figure 16 : Localisation des ouvrages de venting, zone source COHV**

Le **Tableau 8** présente les résultats des analyses de sols au niveau des zones d'essais ; ces données sont détaillées dans le plan de gestion.

**Tableau 8 : Résultats des analyses des sols de la zone non saturée au niveau des zones d'essais**

|         |       | T25             |        | T28              |       |
|---------|-------|-----------------|--------|------------------|-------|
|         |       | 0,8m            | 1,8m   | 0,8m             | 1,2m  |
|         |       | limons argileux | marnes | remblai grossier | limon |
| PCE     | mg/kg | 500             | 1400   | 310              | 47    |
| TCE     |       | 26              | 150    | 1,6              | 0,49  |
| cis-DCE |       | 24              | 64     | 1,2              | 1,2   |
| BTEX    |       | 1,03            | 75     | <LQ              | <LQ   |

T25 se situe au centre du bâtiment : 1<sup>ère</sup> zone d'essai et T28 au nord, 2<sup>ème</sup> zone d'essai.

Au droit de la zone centrale (sondage T25), les sols non saturés sont fortement impactés par les BTEX et les COHV. Les terrains au droit de ce sondage sont constitués de remblais jusqu'à 1 m de profondeur de type limons argileux puis de marnes calcaires entre 1 et 2 m qui reposent sur des argiles grises-vertes recoupés jusqu'à 5 m de profondeur.

Au droit de la zone Nord (sondage T28), les sols non saturés sont uniquement impactés par des COHV. Au droit de ce sondage, les sols non saturés sont composés de remblais limoneux remaniés avec des déchets de démolition (briques notamment) et d'un niveau marneux fin. Néanmoins, dans cette zone, les terrains sont hétérogènes, ils renferment notamment plus ou moins de débris de démolition.

#### 5.4.2.2 Equipements des piézairs

Les forages ont été réalisés en diamètre 140 mm. Les piézairs sont équipés de tubes PVC ou PEHD de diamètre 2", crépinés 0,5 mm. L'espace annulaire a été comblé par un massif filtrant de granulométrie 1-2mm en face du niveau crépiné. La hauteur crépinée est de 50 cm entre 0,5m et 1m. Au-dessus du niveau crépiné, l'espace annulaire est comblé par de la bentonite sur 30cm et au-dessus par 20 cm de ciment.

#### 5.4.3 Réalisation des essais

Au total, 4 essais ont été réalisés :

- au droit de la zone centrale, 2 essais par paliers débit / dépression ont été réalisés sur 2 ouvrages différents (PZV1 et PZV2) ;
- au droit de la zone Nord, zone impactée par les COHV, sondage T28, 1 essai par palier a été réalisé ainsi qu'un essai longue durée à dépression fixe.

#### 5.4.3.1 Essais par paliers

##### ► Méthodologie appliquée

Les essais ont été réalisés le 28/05/2018 sur une durée de 1h30.

Les essais par paliers ont été réalisés sur une dizaine de paliers  $\Delta P/Q$  sur une durée moyenne 10 minutes environ par palier jusqu'à stabilisation.

Pendant les essais ont été mesurés :

- AP et gaz saturant ( $CH_4/O_2/CO$ ,  $H_2S$ ) dans chacun des ouvrages de monitoring ;
- Suivi PID, Vgaz et T°C : mesures à pas réguliers en entrée et ponctuellement en sortie du charbon actif.

Par ailleurs, pour l'essai longue durée dans la zone nord et un essai par palier sur la zone centrale, un détecteur CO<sub>2</sub> a été utilisé pour permettre de quantifier la production de CO<sub>2</sub> associée à la biodégradation des BTEX.

### ► Résultats des essais par paliers

#### ► Pour les essais en zone Centrale

1. le débit critique n'est pas atteint : les courbes débit / dépression sont globalement linéaires ;
2. l'absence de dépression mesurable sur les ouvrages de contrôle probablement en lien avec un milieu un peu plus grossier et hétérogène qu'un limon, d'où un débit critique non atteint. Les divers sondages réalisés dans la ZNS montrent que la lithologie du premier mètre est très variable sur le site ;
3. l'absence d'H<sub>2</sub>S, de CO et des traces de méthane ;
4. la saturation du détecteur PID pendant la durée de l'essai à l'extraction ;
5. l'influence du venting se fait ressentir à 3m avec une diminution des mesures PID, donc des teneurs de COV, et des variations du taux d'oxygène. A 5m, l'essai par paliers ne permet pas de mesurer une influence.

#### ► Pour la zone Nord

1. la courbe débit / dépression est globalement linéaire. Entre 150 mbar et 200 mbar apparaît une inflexion qui pourrait indiquer le débit critique au-delà duquel la performance du venting est affectée ;
2. l'absence de dépression mesurable sur les ouvrages de contrôles, sauf ponctuellement, 0,1 mbar de dépression à 1,5m peut être liée à un milieu un peu plus grossier et hétérogène qu'un limon et/ou à une durée d'essai insuffisante ;
3. l'absence d'H<sub>2</sub>S, de CO et des traces de méthane ;
4. la saturation du détecteur PID pendant la durée de l'essai à l'extraction ;
5. l'influence du venting se fait ressentir à 1,50 m et à 3 m avec une augmentation des concentrations en PID et une baisse du taux d'oxygène (à 1,50 m uniquement).

Les résultats des essais sont illustrés page suivante. Les tableaux de monitoring détaillés sont fournis dans le rapport d'essai de traitabilité, disponible en **Annexe 1**.

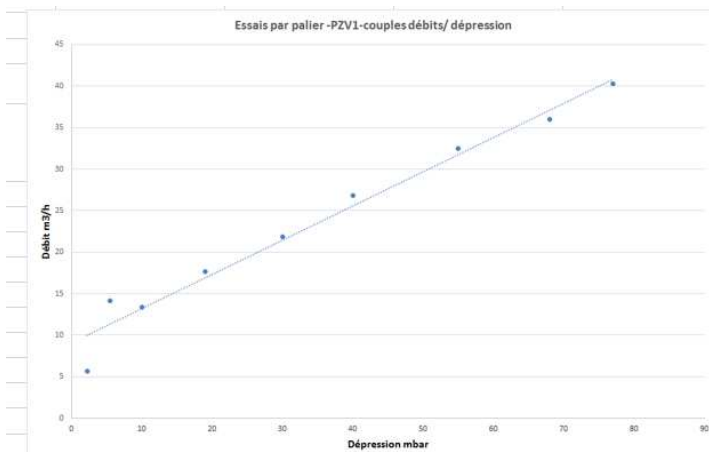
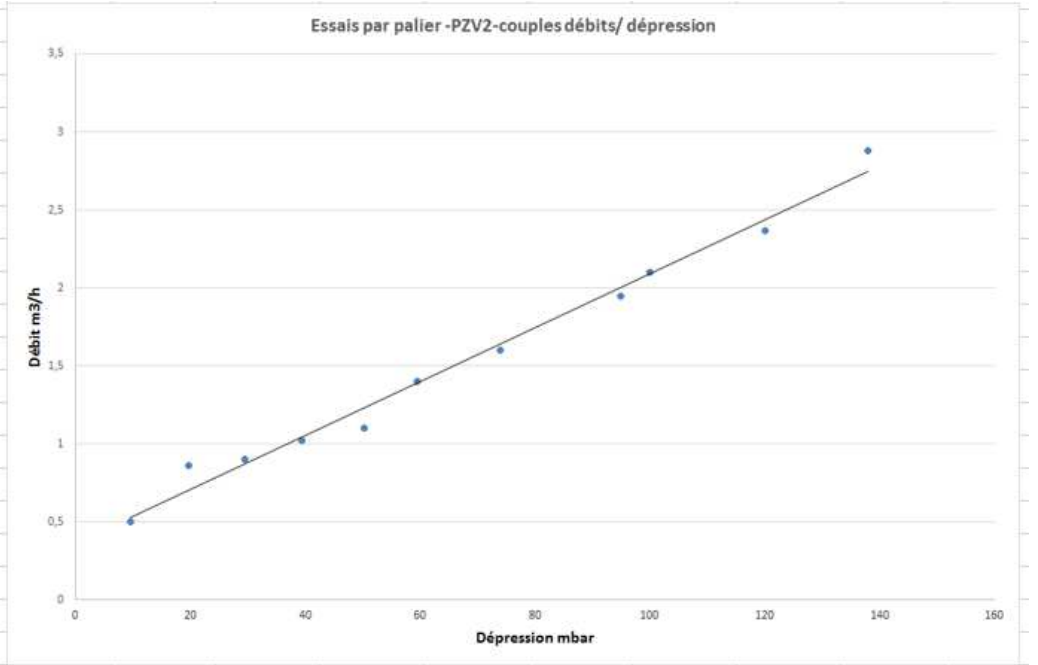
### ► Conclusion des essais par paliers

Il ressort des essais par paliers :

- l'absence de dépression mesurée sur les ouvrages de contrôles, simultanément à des débits d'extraction et des dépressions à l'extraction élevées, qui semblent indiquer un milieu plutôt grossier ou hétérogène avec une forte circulation d'air ce qui est cohérent avec le caractère hétérogène et perméable des remblais ;
- un rayon d'influence du venting qui est choisi en première approche à 3 m, distance à laquelle les concentrations (mesures PID) et taux d'oxygène sont modifiés lors du venting ;
- pour l'essai longue durée, en zone nord le débit est choisi à 25 m<sup>3</sup>/h (correspondant au débit critique).



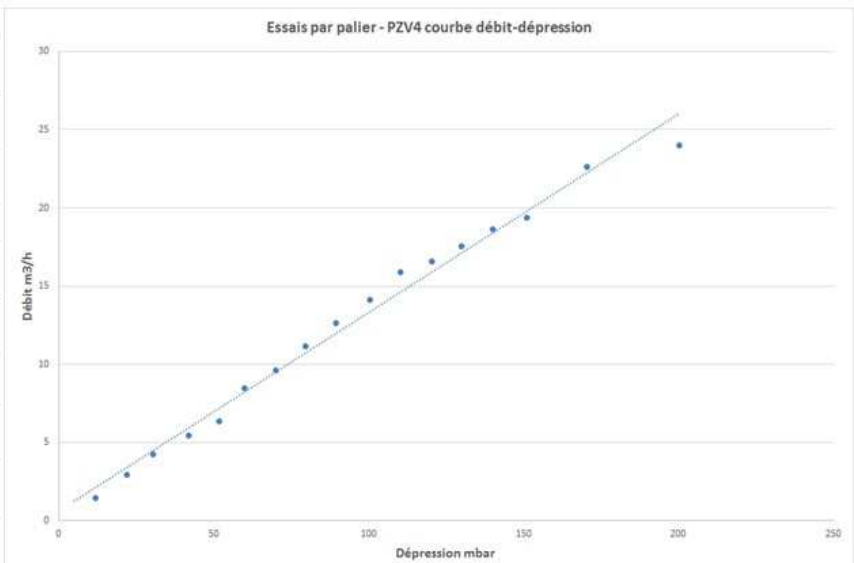
► Essai par paliers en zone centrale du bâtiment 2



| PUITS D'EXTRACTION |                                   | SKID DE VENTING           |         |       |                                   | PUITS DE CONTRÔLE         |         |       |                                   |                           |       |                                   |                           |       |
|--------------------|-----------------------------------|---------------------------|---------|-------|-----------------------------------|---------------------------|---------|-------|-----------------------------------|---------------------------|-------|-----------------------------------|---------------------------|-------|
|                    |                                   | Points de mesure          |         |       |                                   | Piézair 1,5m = PZG1       |         |       |                                   | PZv3 3m                   |       | PZv2 5m                           |                           |       |
| Temps (min)        | Pression en tête d'ouvrage (mbar) | Mesure PID ppmV (Isobut.) | CO2 ppm | O2 %  | Pression en tête d'ouvrage (mbar) | Mesure PID ppmV (Isobut.) | CO2 ppm | O2 %  | Pression en tête d'ouvrage (mbar) | Mesure PID ppmV (Isobut.) | O2 %  | Pression en tête d'ouvrage (mbar) | Mesure PID ppmV (Isobut.) | O2 %  |
| 0                  | 0                                 | 750                       | 7100    |       | 0                                 | 380                       | 6700    | 20,50 | 0,00                              | >1000                     | 20,50 |                                   |                           |       |
| 10                 | 2,2                               | >1000                     |         |       |                                   |                           |         |       |                                   | >1000                     |       |                                   |                           |       |
| 20                 | 5,5                               | >1000                     |         | 20,20 | 0,00                              | 370                       |         | 20,50 |                                   | >1000                     |       | 0,00                              | >1000                     |       |
| 30                 | 10                                | >1000                     |         |       |                                   |                           |         |       | 0,00                              | 625                       | 20,50 |                                   |                           |       |
| 40                 | 19                                | >1000                     |         |       |                                   |                           |         |       |                                   | 625                       | 19,90 |                                   | >1000                     | 19,70 |
| 50                 | 30                                | >1000                     |         |       |                                   |                           |         |       |                                   | 664,00                    | 20,20 | 0,00                              | >1000                     | 19,40 |
| 60                 | 40                                | >1000                     |         |       | 0,00                              | 270                       | 2700    | 19,60 | 0,00                              | 710                       |       |                                   | >1000                     | 19,60 |
| 70                 | 55                                | >1000                     | 1400    | 20,40 | 0,00                              | 130                       |         |       | -0,10                             | >1000                     | 20,00 |                                   | >1000                     | 19,70 |
| 80                 | 68                                | >1000                     |         |       | 0,00                              | 98                        |         | 19,60 |                                   | 966,00                    | 18,20 | 0,00                              | >1000                     | 19,60 |
| 94                 | 77                                | >1000                     | 1400    | 20,40 |                                   |                           | 2500    | 19,60 | 0,00                              | 892,00                    | 19,50 | 0,00                              | >1000                     | 19,60 |

► Essai par paliers en zone nord du bâtiment 2

| PUITS D'EXTRACTION |                                      |             |          | SKID DE VENTING  |                           | PUITS DE CONTRÔLE |                                   |                           |      |       |                                   |                           |       |
|--------------------|--------------------------------------|-------------|----------|------------------|---------------------------|-------------------|-----------------------------------|---------------------------|------|-------|-----------------------------------|---------------------------|-------|
| Diamètre (mm) 50   |                                      |             |          | Points de mesure |                           | PZV6              |                                   |                           | PZV5 |       |                                   |                           |       |
| Temps (min)        | Pression en tête d'ouvrage (en mbar) | Vitesse m/s | Q m3/h   | T°C air extrait  | Mesure PID ppmV (Isobut.) | O2 %              | Pression en tête d'ouvrage (mbar) | Mesure PID ppmV (Isobut.) | CO   | O2 %  | Pression en tête d'ouvrage (mbar) | Mesure PID ppmV (Isobut.) | O2 %  |
| 0                  |                                      |             |          |                  | 972                       | 20,9              |                                   | 503                       | 0    | 20,9  |                                   | 115                       | 20,9  |
| 10                 | 5                                    | 0,08        |          | 21               | 140                       | 20,90             | 0                                 | 660,00                    | 1,00 | 20,40 | -0,1                              | 60                        | 20,9  |
| 20                 | 11,8                                 | 0,2         | 1,413    | 20,4             | 194                       | 20,90             | 0                                 | 880,00                    | 3,00 | 19,80 | -0,1                              | 341                       | 21    |
| 30                 | 22                                   | 0,41        | 2,89665  |                  | 284                       | 20,90             | 0                                 | >1000                     | 3    | 19,40 | 0                                 | 400                       | 20,9  |
| 40                 | 30,4                                 | 0,6         | 4,239    |                  | 420                       | 20,20             | 0                                 | >1000                     | 4    | 19,10 | 0                                 | 453                       | 20,9  |
| 50                 | 41,9                                 | 0,77        | 5,44005  | 19,6             | >1000                     | 20,00             | 0                                 | >1000                     | 4    | 18,80 | 0                                 | 503                       | 20,9  |
| 60                 | 51,7                                 | 0,9         | 6,3585   |                  | >1000                     | 20,10             | 0                                 | >1000                     | 3    | 19    | 0                                 | 463                       | 20,9  |
| 70                 | 60                                   | 1,2         | 8,478    | 19,6             | >1000                     | 19,90             |                                   | >1000                     | 2,00 | 19,00 | 0                                 | 466                       | 20,9  |
| 80                 | 70                                   | 1,36        | 9,6084   | 19,7             | >1000                     | 19,80             | 0,00                              | >1000                     | 2,00 | 19,30 | 0                                 | 450                       | 20,8  |
| 90                 | 79,7                                 | 1,58        | 11,1627  |                  | >1000                     | 19,80             | 0,00                              | >1000                     | 2,00 | 19,10 | 0                                 | 431                       | 20,9  |
| 100                | 89,5                                 | 1,79        | 12,64635 |                  | >1000                     | 19,80             | 0,00                              | >1000                     | 2,00 | 19,10 | -0,1                              | 449,00                    | 20,9  |
| 110                | 100,4                                | 2           | 14,13    |                  | >1000                     | 19,70             | 0,00                              | >1000                     | 1,00 | 19,20 | 0,00                              | 446,00                    | 20,9  |
| 120                | 110,3                                | 2,25        | 15,89625 |                  | >1000                     | 19,90             | 0,00                              |                           | 1,00 | 19,30 | 0,00                              | 442,00                    | 20,90 |
| 130                | 120,5                                | 2,35        | 16,60275 |                  | >1000                     | 19,80             | 0,00                              | -1000                     | 1,00 | 19,50 | 0,00                              | 453,00                    | 20,90 |
| 140                | 130                                  | 2,48        | 17,5212  |                  | >1000                     | 20,00             | 0,00                              | -1000                     | 1,00 | 19,50 | 0,00                              | 508,00                    | 20,90 |
| 150                | 140,1                                | 2,64        | 18,6516  |                  | >1000                     | 20,10             | 0,00                              | >1000                     | 1,00 | 19,60 | 0,00                              | 425,00                    | 20,90 |
| 160                | 151                                  | 2,74        | 19,3581  | 19,50            | >1000                     | 20,10             | 0,00                              | >1000                     | 0,00 | 19,70 | 0,00                              | 441,00                    | 20,90 |
| 170                | 170,6                                | 3,2         | 22,608   | 19,50            | >1000                     | 20,10             | 0,00                              | >1000                     | 0,00 | 19,70 | 0,00                              | 424,00                    | 20,90 |
| 180                | 200,2                                | 3,4         | 24,021   | 19,60            | >1000                     | 20,10             | 0,00                              | >1000                     | 0,00 | 19,80 | 0,00                              | 432,00                    | 20,90 |



### 5.4.3.2 Essai longue durée en zone Nord

#### ► Méthodologie appliquée

L'essai a été réalisé le 29/05/2018 sur une durée de 2h00, l'extraction étant réalisée sur l'ouvrage PZV4 à un débit de 25 m<sup>3</sup>/h. Les mesures réalisées lors de l'essai longue durée sont (cf. **Tableau 9**) :

- les mesures PID (COV),
- les mesures de CO<sub>2</sub> et O<sub>2</sub> ;
- les mesures de H<sub>2</sub>S, hygrométrie, CH<sub>4</sub> ponctuellement.

#### ► Résultats

Il ressort de l'essai :

- le maintien du couple débit / dépression d'environ 24 m<sup>3</sup>/h /110 mbar ;
- la saturation du PID sur le puits d'extraction et des valeurs en CO<sub>2</sub> élevées qui tendent à diminuer lors de l'essai, de 9 800 à 5 800 ppm en fin d'essai; le taux de CO<sub>2</sub> de l'air extérieur a été mesuré à 300 ppm. Cette mesure pourrait témoigner d'un mécanisme actif de dégradation biologique d'hydrocarbures / BTEX en zone non saturée, mais les BTEX n'ont pas été quantifiés en T28. Il est toutefois possible que ce soit lié à la présence à proximité d'une anomalie locale en BTEX/hydrocarbures non identifiée ;
- une dépression sur les ouvrages de monitoring qui ne dépasse pas 0,1 mbar ;
- à 1,5 m du puits d'extraction, les mesures PID (concentration COV) augmentent jusqu'à saturation de l'appareil de mesure peu après le démarrage tandis qu'à 3 m les mesures PID sont variables sans tendance nette. Concernant les mesures O<sub>2</sub> / CO<sub>2</sub>, à 1,50 m on note la quasi absence de CO<sub>2</sub> sauf en fin d'essai, et également une légère augmentation du taux d'O<sub>2</sub> au-delà de 20%. Inversement, à 3 m le taux de CO<sub>2</sub> et le taux d'O<sub>2</sub> sont stables à environ 600 ppm et 20,9% ;
- l'hygrométrie des gaz extraits est mesurée à 80% pour une hygrométrie extérieure à 70%.

**Tableau 9 : Résultats des essais de venting longue durée en zone Nord**

| PUITS D'EXTRACTION |                                      |             |                     | SKID DE VENTING  |                           |                   |                 |                  | PUITS DE CONTRÔLE                    |                           |                 |                  |                                      |                           |                 |                  |
|--------------------|--------------------------------------|-------------|---------------------|------------------|---------------------------|-------------------|-----------------|------------------|--------------------------------------|---------------------------|-----------------|------------------|--------------------------------------|---------------------------|-----------------|------------------|
| Diamètre (mm)      |                                      | 50          |                     | Points de mesure |                           |                   |                 |                  | PZV6                                 |                           |                 |                  | PZV5                                 |                           |                 |                  |
| PZV4               |                                      |             |                     |                  |                           |                   |                 |                  |                                      |                           |                 |                  |                                      |                           |                 |                  |
| Temps (min)        | Pression en tête d'ouvrage (en mbar) | Vitesse m/s | Q m <sup>3</sup> /h | T°C air extrait  | Mesure PID ppmV (Isobut.) | %H <sub>2</sub> O | CO <sub>2</sub> | O <sub>2</sub> % | Pression en tête d'ouvrage (en mbar) | Mesure PID ppmV (Isobut.) | CO <sub>2</sub> | O <sub>2</sub> % | Pression en tête d'ouvrage (en mbar) | Mesure PID ppmV (Isobut.) | CO <sub>2</sub> | O <sub>2</sub> % |
| 14h26              |                                      |             |                     |                  | >1000                     |                   | 9800            | 19,9             |                                      | 880                       | 400             | 20,1             |                                      | 280                       | 700             | 20,9             |
| 14h28              | 109,5                                | 2,63        | 19                  | 20               | >1000                     |                   | 7900,00         | 20,00            |                                      |                           |                 |                  |                                      |                           |                 |                  |
| 14h35              |                                      |             | 0                   |                  |                           |                   |                 |                  | 0,00                                 | >1000                     | 100,00          | 20,10            | 0                                    | 423                       | 600             | 20,9             |
| 14h45              | 102                                  | 3,4         | 24                  | 20,0             | >1000                     |                   | 7500            | 20,10            | 0,00                                 | >1000                     | 100             | 20,10            |                                      |                           | 600             | 20,9             |
| 15h00              | 103                                  | 3,5         | 25                  |                  | >1000                     |                   | 7000            | 20,20            | 0,00                                 | >1000                     | 100             | 20,20            | 0                                    | 346                       | 600             | 20,9             |
| 15h20              | 104                                  | 3,3         | 23                  |                  | >1000                     |                   | 6800            | 20,20            | 0,00                                 | >1000                     | 100             | 20,20            | 0                                    | 247                       | 600             | 20,9             |
| 15h40              | 108                                  | 3,45        | 24                  |                  | >1000                     |                   | 6400            | 20,20            | 0,10                                 | >1000                     | 0               | 20               | 0                                    | 410                       | 600             | 20,9             |
| 16h00              | 112                                  | 3,4         | 24                  |                  | >1000                     | 80                | 6300            | 20,30            | 0,10                                 | >1000                     | 0,00            | 20,40            | 0                                    | 179                       | 500             | 20,9             |
| 16h20              | 109                                  | 3,4         | 24                  |                  | >1000                     |                   | 6100            | 20,40            | 0,10                                 | >1000                     | 0,00            | 20,50            | 0                                    | 383                       | 900             | 20,9             |
| 16h40              | 109                                  | 3,1         | 22                  |                  | >1000                     |                   | 6100            | 20,40            | 0,10                                 | >1000                     | 100,00          | 20,90            | 0,1                                  | 363                       | 600             | 20,9             |
| 17h00              |                                      |             | 0                   |                  | >1000                     |                   | 5900            | 20,40            | 0,10                                 | >1000                     | 100,00          | 20,90            | 0,00                                 | 323,00                    | 600,00          | 20,9             |
| 17h20              |                                      |             | 0                   |                  | >1000                     |                   | 5800            | 20,40            | 0,10                                 | >1000                     | 200,00          | 20,90            | 0,00                                 | 293,00                    | 500,00          | 20,9             |

### 5.4.3.3 Analyse des gaz extraits

#### ► Echantillons prélevés et modes de prélèvements

Trois échantillons de gaz ont été prélevés :

- 1 échantillon en entrée de traitement sur la zone centrale pendant l'essai par paliers ;
- 1 échantillon en entrée de traitement au début de l'essai longue durée et 1 échantillon en entrée de traitement à la fin de l'essai longue durée en zone Nord.

Les prélèvements ont été faits par l'intermédiaire d'une pompe Gilair sur une durée de 30 secondes à 5 minutes sur support charbon actif : zone de mesure et zone de contrôle. Dans tous les cas, les teneurs dans la zone de contrôle sont inférieures aux limites de quantification, ce qui permet de valider les résultats de la zone de mesure. Les échantillons ont été analysés par le laboratoire AGROLAB agréé par le COFRAC ou équivalent.

### ► Résultats d'analyses

Les résultats des analyses des gaz extraits sont présentés dans le **Tableau 10**.

**Tableau 10 : Résultats des analyses des gaz extrait en zone centrale**

|   |                   | Concentrations calculées              |                                |                                  |
|---|-------------------|---------------------------------------|--------------------------------|----------------------------------|
|   |                   | Campagne de prélèvement du 30/05/2018 |                                |                                  |
|   |                   | Venting par paliers - PZV1            | Venting longue durée - T0 PZV4 | Venting longue durée - TF - PZV4 |
| Volume pompé                                  | m <sup>3</sup>    | 0,00015                               | 0,00015                        | 0,0006                           |
| <b>Hydrocarbures par TPH</b>                  |                   |                                       |                                |                                  |
| Aliphatic nC>5-nC6                            | µg/m <sup>3</sup> | <53333,3                              | <53333,3                       | <13333,3                         |
| Aliphatic nC>6-nC8                            | µg/m <sup>3</sup> | 93333,3                               | <53333,3                       | 14500,0                          |
| Aliphatic nC>8-nC10 (3)                       | µg/m <sup>3</sup> | 173333,3                              | <53333,3                       | 31666,7                          |
| Aliphatic nC>10-nC12 (3)                      | µg/m <sup>3</sup> | <53333,3                              | <53333,3                       | 16666,7                          |
| Aromatic nC>6-nC7 benzène                     | µg/m <sup>3</sup> | 4666,7                                | <1333,3                        | 783,3                            |
| Aromatic nC>7-nC8 toluène                     | µg/m <sup>3</sup> | 16666,7                               | <2666,7                        | <666,7                           |
| Aromatic nC>8-nC10                            | µg/m <sup>3</sup> | 260000,0                              | <53333,3                       | 14166,7                          |
| Aromatic nC>10-nC12                           | µg/m <sup>3</sup> | <53333,3                              | <53333,3                       | <13333,3                         |
| Somme des TPH                                 | µg/m <sup>3</sup> | 548000,0                              | <324000                        | 77783,3                          |
| <b>BTEX</b>                                   |                   |                                       |                                |                                  |
| Benzène (2)                                   | µg/m <sup>3</sup> | 4666,7                                | <1333,3                        | 783,3                            |
| Toluène                                       | µg/m <sup>3</sup> | 16666,7                               | <2666,7                        | <666,7                           |
| Ethylbenzène                                  | µg/m <sup>3</sup> | 13333,3                               | <2666,7                        | <666,7                           |
| m+p - Xylène                                  | µg/m <sup>3</sup> | 172000,0                              | 10000,0                        | 4833,3                           |
| o - Xylène                                    | µg/m <sup>3</sup> | 37333,3                               | <2666,7                        | 1333,3                           |
| <b>Autres HAM</b>                             |                   |                                       |                                |                                  |
| Naphtalène                                    | µg/m <sup>3</sup> | <2666,7                               | <2666,7                        | <666,7                           |
| <b>COHV</b>                                   |                   |                                       |                                |                                  |
| Tétrachloroéthylène (PCE) (2)                 | µg/m <sup>3</sup> | 800000,0                              | 1000000,0                      | 1400000,0                        |
| Trichloroéthylène (TCE)                       | µg/m <sup>3</sup> | 164000,0                              | 163333,3                       | 216666,7                         |
| cis-1,2-dichloroéthylène                      | µg/m <sup>3</sup> | 1866666,7                             | 328000,0                       | 350000,0                         |
| trans-1d2-dichloroéthylène                    | µg/m <sup>3</sup> | 24666,7                               | <2666,7                        | 5000,0                           |
| 1,1-dichloroéthylène                          | µg/m <sup>3</sup> | <2666,7                               | <1333,3                        | <666,7                           |
| Chlorure de Vinyle                            | µg/m <sup>3</sup> | 4200,0                                | <1333,3                        | 1533,3                           |
| 1,1,2-trichloroéthane                         | µg/m <sup>3</sup> | <5333,3                               | <2666,7                        | <1333,3                          |
| 1,1,1-trichloroéthane                         | µg/m <sup>3</sup> | <5333,3                               | <2666,7                        | <1333,3                          |
| 1,2-dichloroéthane                            | µg/m <sup>3</sup> | <5333,3                               | <2666,7                        | <1333,3                          |
| 1,1-dichloroéthane                            | µg/m <sup>3</sup> | <5333,3                               | <2666,7                        | <1333,3                          |
| Tétrachlorométhane (tétrachlorure de carbone) | µg/m <sup>3</sup> | <5333,3                               | <2666,7                        | <1333,3                          |
| Trichlorométhane (chloroforme)                | µg/m <sup>3</sup> | <5333,3                               | <2666,7                        | <1333,3                          |
| Dichlorométhane                               | µg/m <sup>3</sup> | <6666,7                               | <6666,7                        | <1666,7                          |

### ► Zone centrale

La somme des BTEX est mesurée à 244 mg/m<sup>3</sup> avec une forte prédominance des xylènes. Le PCE est mesuré à 800 mg/m<sup>3</sup>, le TCE à 164 mg/m<sup>3</sup> et le cis-DCE à 1 867 mg/m<sup>3</sup>. Les autres COHV sont présents en moindres concentrations.

Ces résultats sont cohérents avec ceux retrouvés en octobre 2013 au niveau de PZG1, et comme PZG1, des hydrocarbures sont présents dans les gaz des sols, majoritairement des aromatiques.

### ► Zone Nord

La somme des BTEX est mesurée à 10 mg/m<sup>3</sup> (xylènes) uniquement au démarrage de l'essai et à 6,2 mg/m<sup>3</sup> en fin d'essai.

Pour les COHV :

- le PCE est mesuré à 10 000 mg/m<sup>3</sup>, en début d'essai et en fin d'essai à 14 000 mg/m<sup>3</sup>,
- le TCE est mesuré à 163 mg/m<sup>3</sup>, en début d'essai et en fin d'essai à 216 mg/m<sup>3</sup>,
- le cis-DCE est mesuré à 328 mg/m<sup>3</sup>, en début d'essai et en fin d'essai à 350 mg/m<sup>3</sup>.



Des hydrocarbures sont présents dans les gaz des sols, majoritairement des aliphatiques.

Les concentrations en COV sont relativement stables, elles sont néanmoins en légère baisse en BTEX et augmentent plutôt en COHV.

#### 5.4.3.4 Flux de polluants et délai de traitement

Sur la base des débits d'extraction de 25 m<sup>3</sup>/h, des résultats d'analyses des gaz extraits en laboratoire et des mesures de CO<sub>2</sub> pour l'échantillon prélevé en PZV1, les flux de polluants sont calculés (**Tableau 11**).

**Tableau 11 : Flux extraits en g/h**

|                     | Flux  |               |             |
|---------------------|-------|---------------|-------------|
|                     | g/h   |               |             |
|                     | PZV1  | PZV4(initial) | PZV4(final) |
| <b>PCE</b>          | 20,00 | 250,00        | 350,00      |
| <b>TCE</b>          | 4,10  | 4,08          | 5,42        |
| <b>cis-DCE</b>      | 46,67 | 8,20          | 8,75        |
| <b>BTEX</b>         | 6,10  | 0,25          | 0,17        |
| <b>BTEX(éq.CO2)</b> | 5,40  | -             | -           |

Ce qu'il faut retenir de ces résultats :

- les concentrations sont élevées. Au droit de l'ouvrage PZV4, elles augmentent légèrement entre le début et la fin des essais, avec un total COV de l'ordre de 300 g/heure ;
- une concentration en BTEX dégradés en CO<sub>2</sub> est calculée à 5,4 g/h, pour évaluer la part potentielle du bioventing par rapport au venting.

D'une manière générale, les flux polluants fournissent une tendance et permettent le dimensionnement du système de traitement des gaz. Ils ne doivent pas être utilisés pour dimensionner une durée de traitement.

Toutefois, au vu des flux de polluants au stade initial, le venting apparaît une technique adaptée au site en particulier pour les COHV.

Nota : pour l'essai réalisé en PZV4, le taux de CO<sub>2</sub> n'a pas été pris en compte dans le calcul en raison de la différence de concentration entre l'air extrait et la mesure dans les piézairs voisins. Les résultats en CO<sub>2</sub> indiquent cependant une forte activité de biodégradation présente dans le milieu souterrain qu'il faudra prendre en compte pour l'optimisation du traitement.

## 5.5 Mise en œuvre des essais d'extraction multiphase

### 5.5.1 Moyens mis en œuvre

Le skid d'extraction multiphases est composé :

- 1 structure métallique avec 1 cuve à vide ;
- 2 pompes à palettes sèches 25 m<sup>3</sup>/h ;
- 1 pompe de reprise des eaux 6 - 16 m<sup>3</sup>/h (10 m<sup>3</sup>/h à 27 m HMT) ;
- 1 armoire électrique ;
- 1 filtre à charbon actif « eau » acier, dimensions : Ø 950 mm x H 2500 mm. Plancher filtrant avec crépines, Capacité en charbon actif : 1000 litres, Charbon actif en grains (0,6 - 2,36 mm) ;
- 1 filtre à charbon actif « air » acier Ø 500 mm x H 1730 mm, Fond plat / Dôme plat, volume de charbon : 200 l, Charge de charbon actif air pour FA 200, Charbon actif pellets de 4 mm.



**Figure 17 : Skid d'extraction multiphase**

Les équipements de mesure sont :

- PID ppm avec une lampe 10,6 eV ;
- Pompe d'échantillonnage d'air à soufflet, clapet ou péristaltique. La pompe à clapet permet le pompage de l'air dans le réseau en dépression, l'échantillonnage étant réalisé par la pompe Gilair ;
- Nourrice pour raccorder plusieurs ouvrages de contrôles simultanément ;
- Pompe d'échantillonnage d'air Gilair plus – débit 1 à 5000 ml/min, précision de la mesure à débit constant : 5%- alimentation batterie IP54 ;
- Débitmètre GO-Cal ;
- Anémomètre sonde vitesse air chaud 0-40 m/s ;
- Détecteur CH<sub>4</sub> / H<sub>2</sub>S résolution 10 ppm ;
- Détecteur CO<sub>2</sub> – O<sub>2</sub> de type analyseur biogaz.

L'alimentation électrique a été assurée par l'atelier du menuisier voisin. Un coffret électrique a été acheté par BURGEAP. La puissance installée a été de 3 KW en monophasée, protection 32A.

## 5.5.2 Réalisation d'ouvrages d'essais et de pilotage

Les étapes successives de l'opération sont :

- mise en place des ouvrages par les sociétés AGRI ENVIRONNEMENT (ouvrages proches de PZ4 : PZ4ESV et PZ4c) et ATME (ouvrage proche de PZ3 : PZEMP1) ;
- mise à disposition des équipements et livraison par PLM Equipements ;
- réalisation de l'essai sous la conduite de BURGEAP.

Suite aux difficultés rencontrées lors de l'essai d'injection, il a été décidé de pratiquer l'essai d'EMP sur deux zones au lieu d'une seule.

Au droit de la zone à proximité de l'ouvrage PZ3, l'aquifère est plutôt marneux. Au droit de la zone à proximité de l'ouvrage PZ4, l'aquifère est plus argileux.

Au droit de l'ouvrage PZ4, un piézomètre de contrôle et un piézomètre d'extraction ont été mis en place tandis qu'au niveau de PZ3, un ouvrage d'extraction a été installé. L'implantation des ouvrages est fournie en **Figure 8** en chapitre 5.2 ci-avant.

Les piézomètres réalisés dans le cadre de cet essai sont implantés à 6 m de profondeur. Ils ont été forés à la tarière en diamètre 275 mm et équipés en tubes PEHD de diamètre 3". Ils ont été crépinés de 1 à 5 m de profondeur (crépine 1 mm), avec un massif filtrant de granulométrie [1,2mm-2mm].

## 5.5.3 Réalisation des essais

### 5.5.3.1 Méthodologie appliquée

Les essais ont été réalisés les 30 et 31/05/2018. Un premier essai a été mené en faisant varier le niveau du tube d'aspiration entre le toit de l'aquifère (3 m environ) et le fond de l'ouvrage (vers 5,5 m de profondeur).

Un deuxième essai a été réalisé en maintenant la canne d'aspiration à un niveau fixe vers 4,5 m de profondeur.

Pendant les essais ont été mesurés :

- $\Delta P$  et gaz saturant ( $CH_4/O_2/CO/CO_2/ H_2S$ ) dans chacun des ouvrages de monitoring ;
- Photoioniseur (COV),  $V_{gaz}$  et  $T^\circ C$  : mesures à pas réguliers en entrée et ponctuellement en sortie du charbon actif.

Pour l'essai réalisé au droit de la zone à proximité de l'ouvrage PZ4, un suivi des niveaux d'eau a été réalisé pendant l'essai par des sondes de pression « Diver ». Une mesure par sonde piézométrique a également été réalisée.

Enfin, les prélèvements suivants ont été réalisés :

- un prélèvement d'air à la fin de l'essai ;
- un prélèvement d'eau dans l'ouvrage avant le démarrage de l'essai.

### 5.5.3.2 Essais au droit de l'ouvrage PZEMP1

#### ► Synthèse des données d'essais

Les principaux résultats sont les suivants :

- l'eau de nappe est aspirée à une dépression d'environ 750 mbar ; une arrivée d'eau en continu a ensuite lieu (phénomène de slurping) ;
- le débit d'eau pompée d'environ 140 l/h ;
- le couple débit/dépression n'est pas totalement stabilisé à la fin de l'essai ; il avoisine 500 mbar/4,3 m<sup>3</sup>/h.
- l'influence de l'EMP est enregistrée au niveau de l'ouvrage de contrôle situé à une distance de 3 m par rapport à l'ouvrage d'extraction ; en fin d'essai, le rabattement semble se stabiliser au droit de cet ouvrage (rabattement mesurée compris entre 0,2 et 0,3 m). En appliquant la formule de Sichardt<sup>1</sup> pour une nappe libre au rabattement mesuré dans l'ouvrage de contrôle voisin et en prenant en considération une perméabilité de 10<sup>-6</sup> m/s, le rayon d'influence est de l'ordre de 6 à 8 m ;
- des traces d'H<sub>2</sub>S et de méthane sont mesurées ; les teneurs en H<sub>2</sub>S dépassent la valeur limite d'exposition, des moyens de surveillance seront donc à mettre en œuvre dans le cas d'un traitement par EMP ;
- dans les gaz des sols, les concentrations en COV mesurées au PID ainsi qu'en CO<sub>2</sub> diminuent tout au long de l'essai.

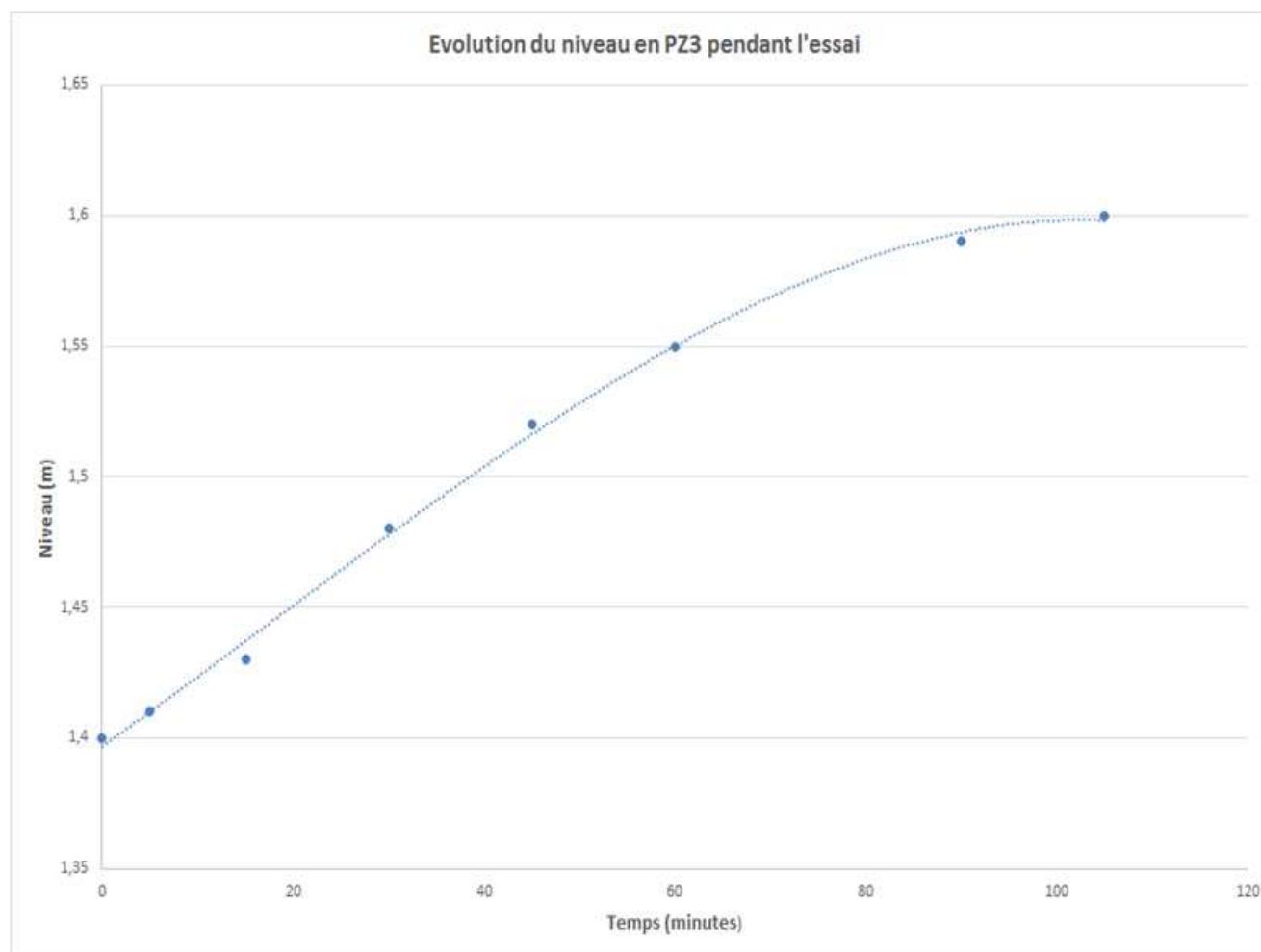
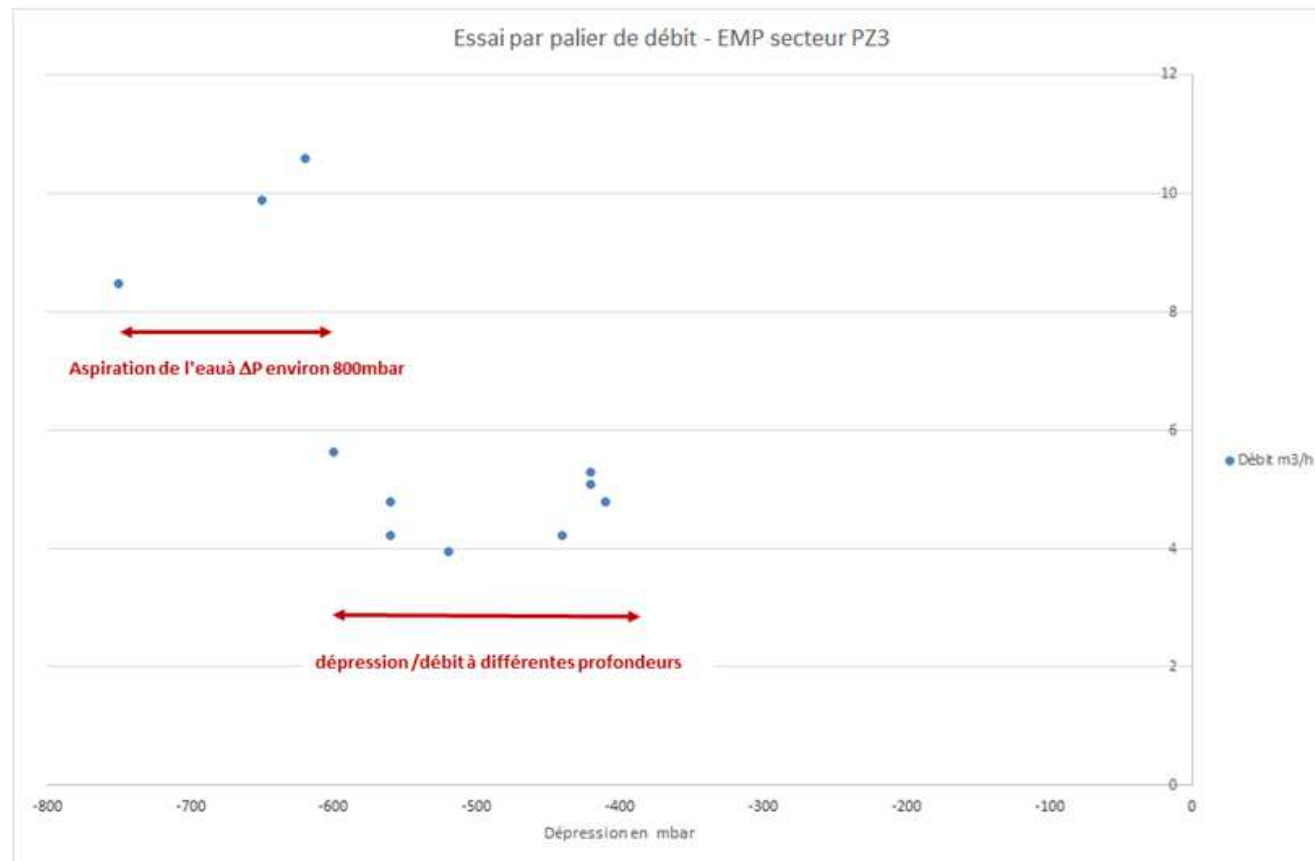
Les données d'essais sont présentées page suivante.

$$R = 3000(H - h)\sqrt{K}$$



Figure 18 : Essais d'EMP réalisés au droit de l'ouvrage PZEMP1

| Horaire | Evénement                   | Hauteur | Temp. Air (°C) | Pression<br>mbar | Débit<br>m <sup>3</sup> /h | Vitesse<br>m/s | PID   | O2<br>% | CO2<br>ppm | H2S<br>ppm | CH4<br>ppm | Vidange<br>d'eau | Niveau (m)   |      |       |       |
|---------|-----------------------------|---------|----------------|------------------|----------------------------|----------------|-------|---------|------------|------------|------------|------------------|--------------|------|-------|-------|
|         |                             |         |                |                  |                            |                |       |         |            |            |            |                  | PZ3          | PZ3e | PZ4p1 | PZ4p2 |
|         |                             |         |                |                  |                            |                |       |         |            |            |            |                  | sommets tube |      |       |       |
| 10h00   |                             | 3m      | 20             | -75.0            | 8.48                       | 1.2            | >1000 | 20.9    | 1500       | 8          |            |                  | 1.24         | 1.99 | 1.33  | 1.32  |
|         |                             |         |                | -65.0            | 9.99                       | 1.4            | 737   | 20.9    | 1300       | 11         |            |                  |              |      |       |       |
| 10h10   |                             | 3m50    | 29             | -62.0            | 10.60                      | 1.5            | >1000 | 20.9    | 1300       | 27         | 44         |                  | 1.32         |      |       |       |
| 10h20   |                             | 4m      | 32.8           | -60.0            | 8.65                       | 0.8            | >1000 | 20.9    | 1500       | 18         | 58         |                  | 1.38         |      |       |       |
| 10h30   |                             | 4m50    | 32.3           | -66.0            | 4.80                       | 0.68           | >1000 | 20.9    | 1800       | 22.7       | 85         |                  | 1.4          |      |       |       |
| 10h40   |                             | 5m      | 34.1           | -66.0            | 4.24                       | 0.6            | >1000 | 20.9    | 2200       | 9.7        | 68         |                  | 1.42         |      |       |       |
| 10h50   |                             | max 5.5 | 37.5           | -62.0            | 3.96                       | 0.56           | 850   | 20.9    | 1600       | 7          | 71         |                  | 1.45         |      | 1.33  | 1.32  |
| 11h00   |                             | 5m      | 38.3           | -44.0            | 4.239                      | 0.6            | 353   | 20.9    | 900        |            | 52         |                  |              |      |       |       |
| 11h10   |                             | 4m      | 41             | -42.0            | 5.29875                    | 0.75           | 149   | 20.9    | 900        | 3          | 31         |                  | 1.51         |      |       |       |
| 11h20   |                             | 3m      | 41             | -42.0            | 8.0868                     | 0.72           | 87    | 20.9    | 800        | 2.7        | 14         |                  |              |      |       |       |
|         |                             | 2m      | 40             | -41.0            | 4.8042                     | 0.68           | 87    | 20.9    | 800        | 1.9        | 19         |                  | 1.54         |      |       |       |
| 11h59   |                             | 5.5     |                |                  |                            |                |       |         |            |            |            |                  |              |      | 1.33  | 1.32  |
| ARRET   |                             |         |                |                  |                            |                |       |         |            |            |            |                  |              |      |       |       |
| 14h15   |                             | 5.5m    | 24.3           | -58.0            | 10.60                      | 1.5            | >1000 | 20.9    | 1700       | 2.7        | 70         |                  | 0            | 1.4  |       |       |
| 14.22   | vidange auto pompe eau      |         |                |                  |                            |                |       |         |            |            |            | 200l             | -0.01        | 1.41 |       |       |
| 14h30   |                             | 4m50    | 33.2           | -62.0            | 5.65                       | 0.8            | 866   | 20.9    | 900        | 3.9        | 28.5       |                  | -0.03        | 1.43 |       |       |
| 14h45   |                             | 4m50    | 38.8           | -60.0            | 4.45                       | 0.63           | 840   | 20.9    | 800        | 3.7        |            |                  | -0.08        | 1.48 |       |       |
| 15h00   |                             | 4m50    | 40.6           | -60.0            | 4.24                       | 0.6            | 812   | 20.9    | 700        | 3.4        |            |                  | -0.12        | 1.52 |       |       |
| 15h15   |                             | 4m50    | 41             | -49.0            | 4.24                       | 0.6            | 805   | 20.9    | 700        | 3.9        | 17.5       |                  | -0.15        | 1.55 |       |       |
| 15h45   | Prélèvement d'air 5 minutes |         | 41.9           | -48.0            | 4.38                       | 0.62           | 960   | 20.9    | 700        | 2.2        | 18         |                  | -0.19        | 1.59 |       |       |
| 15h50   | vidange auto pompe eau      |         |                |                  |                            |                |       |         |            |            |            | 200l             |              | 1.6  |       |       |
| 16h00   |                             | 5m      | 44.7           | -48.0            | 5.86                       | 0.83           | 522   | 20.9    | 700        | 2.2        | 16.4       |                  | -0.2         |      |       |       |
|         |                             | 1.504l  |                |                  |                            |                |       |         |            |            |            | 50 l             |              |      |       |       |



► Flux polluants extraits pour l'essai au droit de l'ouvrage PZEMP1

Le **Tableau 12** présente les résultats des analyses des eaux prélevées pendant l'essai au droit de l'ouvrage PZEMP1 et à la sortie du charbon actif eau.

**Tableau 12 : Résultats d'analyses d'eau en fin d'essai au droit de l'ouvrage PZEMP1**

|  | Campagne de prélèvement du 31/05/2018 |                          |                            |
|--|---------------------------------------|--------------------------|----------------------------|
|  | Pz3E - Entrée<br>filtre CA            | flux polluant<br>extrait | Pz3E - Sortie<br>filtre CA |
| <b>BTEX</b>                                      | <b>µg/l</b>                           | <b>g/h</b>               | <b>µg/l</b>                |
| Benzène  | <200                                  |                          | <0,2                       |
| Toluène  | <500                                  |                          | <0,5                       |
| Ethylbenzène                                     | <500                                  |                          | <0,5                       |
| m,p-Xylène                                       | 1 000                                 | 0,14                     | <0,2                       |
| o-Xylène   | <500                                  |                          | <0,50                      |
| Somme xylènes                                    | 1 000                                 |                          | <LQ                        |
| Somme des BTEX                                   | 1 000                                 |                          | <LQ                        |
| <b>COHV</b>                                      | <b>-</b>                              | <b>-</b>                 | <b>-</b>                   |
| Tétrachloroéthylène (PCE)                        | 37 000                                | 5,18                     | 3,4                        |
| Trichloroéthylène (TCE)                          | 5 300                                 | 0,74                     | <0,5                       |
| Somme TCE + PCE                                  | 42 300                                | 5,92                     | 3,4                        |
| cis-1,2-dichloroéthylène                         | 8 100                                 | 1,13                     | <0,50                      |
| trans-1,2-dichloroéthylène                       | <500                                  |                          | <0,50                      |
| Somme cis + trans-1,2-DCE                        | 8 100                                 | 1,13                     | <0,1                       |
| 1,1-dichloroéthylène                             | <100                                  |                          | <0,1                       |
| Chlorure de Vinyle                               | 430                                   | 0,06                     | <0,2                       |
| 1,1,2 trichloroéthane                            | <500                                  |                          | <0,5                       |
| 1,1,1 trichloroéthane                            | <500                                  |                          | <0,5                       |
| 1,2 dichloroéthane                               | <500                                  |                          | <0,5                       |
| 1,1 dichloroéthane                               | <500                                  |                          | <0,5                       |
| Tétrachlorométhane<br>(tétrachlorure de carbone) | <100                                  |                          | <0,1                       |
| Trichlorométhane (chloroforme)                   | <500                                  |                          | <0,5                       |
| Dichlorométhane                                  | <500                                  |                          | <0,5                       |
| Somme des COHV                                   | 50 830                                |                          | 3,4                        |

Les résultats des analyses d'air des échantillons prélevés pendant l'essai au niveau de l'ouvrage PZEMP1 sont rassemblés dans le **Tableau 13**.

**Tableau 13 : Résultats d'analyses d'air en fin d'essai au droit de l'ouvrage PZEMP1**

|                               | Campagne de prélèvement du 30/05/2018 |              |                               |
|-------------------------------|---------------------------------------|--------------|-------------------------------|
|                               | EMP - Pz3 - Tf<br>(5min) - ZM         | Flux extrait | EMP - Pz3 - Tf<br>(5min) - ZC |
|                               | mg/m <sup>3</sup>                     | g/h          | mg/m <sup>3</sup>             |
| Volume pompé (m3)             | 0,0015                                |              | 0,0015                        |
|                               | mg/m <sup>3</sup>                     | g/h          | mg/m <sup>3</sup>             |
| <b>Hydrocarbures par TPH</b>  |                                       |              |                               |
| Aliphatic nC>5-nC6            | 2,6                                   | 0,01         | -                             |
| Aliphatic nC>6-nC8            | 16,0                                  | 0,07         | 4,1                           |
| Aliphatic nC>8-nC10 (4)       | 16,0                                  | 0,07         | -                             |
| Aliphatic nC>10-nC12 (4)      | 20,0                                  | 0,09         | 6,2                           |
| Aromatic nC>6-nC7 benzène     | 5,0                                   | 0,02         | -                             |
| Aromatic nC>7-nC8 toluène     | 7,3                                   | 0,03         | -                             |
| Aromatic nC>8-nC10            | 28,0                                  | 0,13         | -                             |
| Aromatic nC>10-nC12           | <5                                    |              | -                             |
| Somme des TPH                 | 94,9                                  | <b>0,43</b>  | 10,3                          |
| <b>BTEX</b>                   |                                       |              |                               |
| Benzene (2)                   | 5,0                                   | 0,02         | -                             |
| Toluene                       | 7,4                                   | 0,03         | -                             |
| Ethylbenzene                  | 1,7                                   | 0,01         | -                             |
| m+p - Xylene                  | 14,9                                  | 0,07         | -                             |
| o - Xylene                    | 3,2                                   | 0,01         | -                             |
| Somme des BTEX                |                                       | <b>0,15</b>  |                               |
| <b>Autres HAM</b>             |                                       |              |                               |
| Naphtalène                    | <0,27                                 | -            | -                             |
| <b>COHV</b>                   |                                       |              |                               |
| Tétrachloroéthylène (PCE) (3) | 1133,3                                | 5,1          | -                             |
| Trichloroéthylène (TCE)       | 113,3                                 | 0,5          | -                             |
| cis-1,2-dichloroéthylène      | 73,3                                  | 0,3          | -                             |
| trans-1d2-dichloroéthylène    | <0,5                                  | -            | -                             |
| 1,1-dichloroéthylène          | 0,6                                   | 0,0          | -                             |
| Chlorure de Vinyle            | 7,3                                   | 0,0          | -                             |
| Somme des COHV                |                                       | <b>6,0</b>   |                               |

Le flux polluant extrait via la phase aqueuse avoisine 7,11 g/h en COHV et 0,14 g/h en BTEX, soit au total environ 200 g/jour pour une canne d'extraction.

Le flux polluant extrait via la phase gazeuse avoisine 6,58 g/h en somme des composés volatils.

Il est toutefois à noter que ce flux est en constante baisse pendant la durée de l'essai. Après traitement, soit en sortie du filtre à charbon actif eau, seules des traces de PCE sont retrouvées.

### 5.5.3.3 Essais au droit de l'ouvrage PZ4ESV

#### ► Synthèse des données d'essais

Les principaux résultats sont :

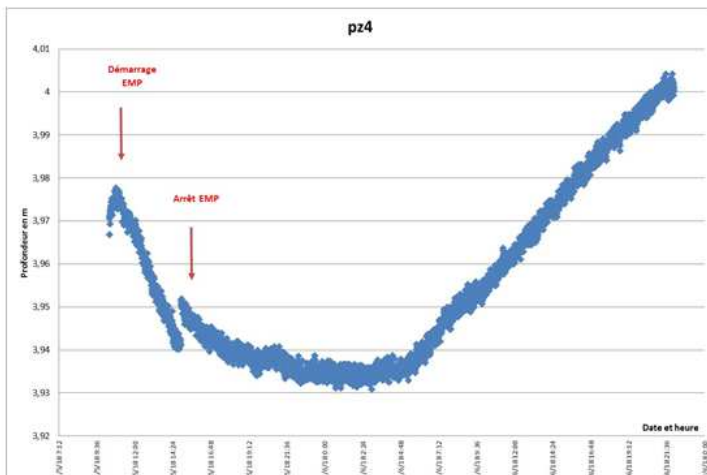
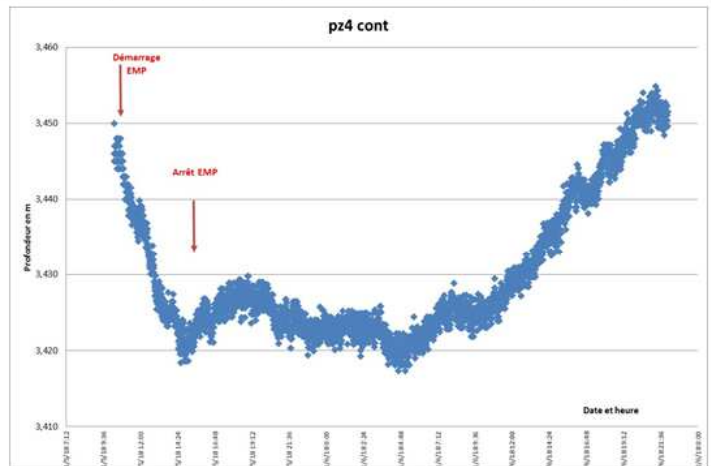
- l'eau de nappe est aspirée à une dépression d'environ 750 mbar ; une arrivée d'eau en continu a ensuite lieu (phénomène de slurping) ;
- le débit d'eau pompée est d'environ 100 l/h ;
- la température de l'air extrait augmente régulièrement ; l'essai a été arrêté alors que cette température atteignait 60°C, température excédant la plage de mesure de l'anémomètre ; la mesure de la vitesse est par conséquent faussée ;
- la dépression est en constante baisse pendant l'essai. Le couple débit /dépression mesuré n'est par conséquent pas stabilisé ; la valeur la plus fiable est celle mesurée au démarrage 180 mbar / 80 m<sup>3</sup>/h ;
- l'influence de l'EMP est enregistrée dans les ouvrages de contrôle situés respectivement à une distance de 4 m (rabattement mesuré compris entre 4 et 5 cm) et 8 m (rabattement mesuré compris entre 2 et 3 cm) ; le rayon d'influence est par conséquent supérieur à 8 m. Néanmoins, le retour à l'équilibre est très lent après l'essai (supérieur à 24h), le rayon d'influence doit donc se situer nettement au-delà de 8 m ;
- les teneurs en H<sub>2</sub>S et CH<sub>4</sub> restent à l'état de traces ;
- dans les gaz des sols, les concentrations en CO<sub>2</sub> diminuent tout au long de l'essai ; au démarrage de l'essai, le PID était saturé cependant il est tombé en panne pendant l'essai, on ne sait donc comment ont évolué les teneurs en COV.

Les données d'essais sont présentées page suivante.



Figure 19 : Essais d'EMP réalisés au droit de l'ouvrage PZ4ESV

| Evènement  | Profondeur<br>m             | Temp. air<br>°C | Pression<br>mbar | Vitesse<br>m/s | Débit<br>m3/h | PID    | O2<br>% | CO2<br>ppm | H2S<br>ppm | CH4<br>ppm | Niveau (m) |                  |      |
|--|-----------------------------|-----------------|------------------|----------------|---------------|--------|---------|------------|------------|------------|------------|------------------|------|
|  |                             |                 |                  |                |               |        |         |            |            |            | PZ4ESV     | PZ4<br>somm tube | PZ4c |
| arrage l'eau monte à 750 mbar de dépression environ) |                             |                 |                  |                |               |        |         |            |            |            |            |                  |      |
| 11h00  | 3m                          | 23,3            | -180             | 2,8            | 79,98         | > 1000 | 20,9    | 1300       |            | 6          |            |                  |      |
| 11h45  | 4m                          | 37,5            | -150             | 3,0            | 84,78         | > 1000 | 20,9    | 1100       | 0,8        | 5,3        |            | 1,23             |      |
|  |                             |                 |                  |                |               |        |         |            |            |            |            |                  |      |
|  | 5m                          | 41              | -200             | 2,6            | 73,48         |        |         | 1100       |            |            |            |                  |      |
| 12h15  | max 5,2<br>fond 5,97        | 44              | -200             | 2,6            | 73,48         | -      | -       | 1200       |            |            |            |                  |      |
| redémarrage  |                             |                 |                  |                |               |        |         |            |            |            |            |                  |      |
| 13h40  | EMP PZ4 T0                  | max 5,2         | 27               | -210           | 3,0           | 84,78  |         | 1000       |            |            |            |                  |      |
| arrage l'eau monte à 750 mbar de dépression environ) |                             |                 |                  |                |               |        |         |            |            |            |            |                  |      |
| 13h45  | prélèvement d'air 1 minute) |                 | 39               | -190           | 3,1           | 87,61  |         | 1000       |            |            |            |                  |      |
| 13h50  | 0,307L                      |                 | 44               | -180           | 3,2           | 90,43  |         | 900        |            |            |            |                  |      |
| 13h55  |                             |                 | 50               | -180           | 3,2           | 90,43  |         | 900        |            |            |            |                  |      |
| 14h00  |                             |                 | 52               | -180           | 3,5           | 98,91  |         | 800        |            |            |            |                  |      |
| 14h05  | 5m                          |                 | 55               | -170           | 3,6           | 101,74 |         | 800        |            |            |            |                  |      |
| 14h10  |                             |                 | 57               | -170           | 3,7           | 104,56 |         | 700        |            |            |            |                  |      |
| 14h15  |                             |                 | 58               | -170           | 3,7           | 104,56 |         | 700        |            |            |            |                  |      |
| 14h20  |                             |                 | 59               | -160           | 3,9           | 110,21 |         | 700        |            | 2,5ppm     |            | 1,27             |      |
| 14h30  |                             | vidange auto    |                  |                |               |        |         |            |            |            |            |                  |      |
| prélèvement d'air                                    |                             | 1 minute        | 0,308l           |                |               |        |         |            |            |            |            |                  |      |



### ► Flux polluants extraits pour l'essai au droit de l'ouvrage PZ4ESV

Les résultats des analyses des échantillons d'air prélevés pendant l'essai en PZ4ESV et le flux de polluants calculés correspondants sont fournis dans le **Tableau 14**.

**Tableau 14 : Résultats d'analyses d'air en début d'essai et en fin d'essai au droit de l'ouvrage PZ4ESV**

|                               | Campagne de prélèvement du 31/5/2018 |              |                    |              |
|-------------------------------|--------------------------------------|--------------|--------------------|--------------|
|                               | concentration à t0                   | Flux à t0    | concentration à tf | Flux à tf    |
|                               | mg/m <sup>3</sup>                    | g/h          | mg/m <sup>3</sup>  | g/h          |
| <b>Volume pompé</b>           | 0,0003                               |              | 0,0003             |              |
| <b>Hydrocarbures par TPH</b>  |                                      |              |                    |              |
| Aliphatic nC>5-nC6            | -                                    |              |                    |              |
| Aliphatic nC>6-nC8            | 43,3                                 | 3,5          | 25,7               | 2,1          |
| Aliphatic nC>8-nC10 (4)       | 16,3                                 | 1,3          | 16,0               | 1,3          |
| Aliphatic nC>10-nC12 (4)      | -                                    |              |                    |              |
| Aromatic nC>6-nC7 benzène     | 126,7                                | 10,1         | 53,3               | 4,3          |
| Aromatic nC>7-nC8 toluène     | 123,3                                | 9,9          | 63,3               | 5,1          |
| Aromatic nC>8-nC10            | 116,7                                | 9,3          | 80,0               | 6,4          |
| Aromatic nC>10-nC12           | -                                    |              |                    |              |
| <b>Somme des TPH</b>          | <b>426,3</b>                         | <b>34,1</b>  | <b>238,3</b>       | <b>19,1</b>  |
| <b>BTEX</b>                   |                                      |              |                    |              |
| Benzene (2)                   | 126,0                                | 10,1         | 52,7               | 4,2          |
| Toluene                       | 122,0                                | 9,8          | 63,0               | 5,0          |
| Ethylbenzene                  | 10,7                                 | 0,9          | 7,3                | 0,6          |
| m+p - Xylene                  | 83,3                                 | 6,7          | 56,0               | 4,5          |
| o - Xylene                    | 23,0                                 | 1,8          | 15,7               | 1,3          |
| <b>Somme des BTEX</b>         |                                      | <b>29,2</b>  |                    | <b>15,6</b>  |
| <b>Naphtalène</b>             |                                      |              |                    |              |
| <b>COHV</b>                   |                                      |              |                    |              |
| Tétrachloroéthylène (PCE) (3) | 1500,0                               | 120,0        | 1133,3             | 90,7         |
| Trichloroéthylène (TCE)       | 800,0                                | 64,0         | 400,0              | 32,0         |
| cis-1,2-dichloroéthylène      | 566,7                                | 45,3         | 197,3              | 15,8         |
| trans-1d2-dichloroéthylène    | 4,3                                  | 0,3          | 1,7                | 0,1          |
| 1,1-dichloroéthylène          | 2,1                                  | 0,2          | 0,8                | 0,1          |
| Chlorure de Vinyle            | 1,1                                  | 0,1          | -                  |              |
| <b>Somme des COHV</b>         |                                      | <b>229,9</b> |                    | <b>138,6</b> |

Le flux des polluants extraits via la phase gazeuse avoisine 138 g/h en COHV et 16 g/h en BTEX. Les concentrations sont en nette baisse entre le flux initial et le flux en fin d'essai.

### ► Conclusion de l'essai d'EMP

Les deux essais réalisés sur deux secteurs montrent des comportements du milieu très différents.

- les rayons d'influence évalués pour l'eau souterraine sont :
  - entre 6 et 8 m lorsque la lithologie marneuse prédomine (PZEMP1, zone sud) ;
  - au-delà de 8 m en zone centrale où l'aquifère est plus argileux (PZ4ESV zone centrale).
- les débits extraits sont de l'ordre de 100 à 150 l/h ;
- pour l'essai réalisé en zone sud (au droit de l'ouvrage PZEMP1), les flux d'air extraits sont importants, mais la dépression n'est pas stabilisée pendant l'essai (en baisse constante) et l'échauffement de l'air extrait fausse la mesure de vitesse ;
- pour l'essai réalisé en zone centrale (au droit de l'ouvrage PZ4ESV), les débits extraits sont moindres (4-5 m<sup>3</sup>/h) ;
- en zone Sud, le flux polluant extrait via la phase aqueuse estimé avoisine 7,11 g/h pour les COHV et 0,14 g/h pour les BTEX, soit au total environ 200 g/jour de COV pour une canne d'extraction ;
- le flux polluant extrait en phase gazeuse est en constante baisse pendant la durée de l'essai.

En synthèse, **l'EMP est fonctionnelle au droit du site**. Aucune phase n'a été récupérée pendant l'essai, ce qui indique l'absence de phase d'une manière générale en zone source, ou en faible proportion<sup>2</sup>.

Les flux de COV extraits pour l'essai en zone Sud avoisinent 6,6 g/h dans l'air et 7,3 g/h dans les eaux.

Le rayon d'influence d'un ouvrage d'extraction au minimum sera de 6 à 8 m ou plus, avec un débit qui n'excèdera pas 100 à 150 l/h par pointe.

Au vu des problèmes d'échauffement d'air, il sera préférable en cas de traitement par extraction multiphasées de fonctionner avec un réseau air/eau séparatif.

<sup>2</sup> Ce constat est cohérent avec les calculs réalisés avec le logiciel OREOS<sup>®</sup>, qui établit l'absence de phase ou sa présence à faible proportion en zone source à l'exception du secteur du sondage T34.

## 6. Eléments de dimensionnement des traitements pressentis

### 6.1 Bilan massique

Les volumes de sols pollués en BTEX et en COHV à traiter sont essentiellement disjoints et répartis à 46% en ZNS et 54% en ZS.

Le stock de polluants estimés dans les zones de pollution concentrée ainsi déterminé représente 9,7 tonnes pour 11,1 tonnes totalisées (87,2%) pour les BTEX et 14,1 tonnes pour 15,4 tonnes totalisées (92%) pour les COHV.

Ainsi, les stocks de polluants à traiter en ZNS sont :

- 5,1 tonnes de BTEX ;
- 4,6 tonnes de COHV.

Les stocks de polluants à traiter en ZS sont :

- 5,1 tonnes de BTEX ;
- 7,5 tonnes de COHV.

### 6.2 Traitement de la zone non saturée

Le traitement par venting est adapté pour la zone non saturée. Toutefois des opérations d'excavations / traitement hors site seront nécessaires :

- au droit du secteur du sondage T31, qui présente de fortes anomalies en composés non-volatils (hydrocarbures, PCB) ;
- au droit de l'ensemble des terrains hors bâtis conservés pour permettre les aménagements.

2 options sont disponibles :

- Venting sur tous les secteurs préalablement aux excavations. Cette option permet d'éviter de monopoliser une structure de type chapiteau pour réaliser les excavations ;
- Venting indépendamment des terrains qui seront excavés sous chapiteau.

Nous développons la première option dans cette étude, mais les 2 approches restent valables.

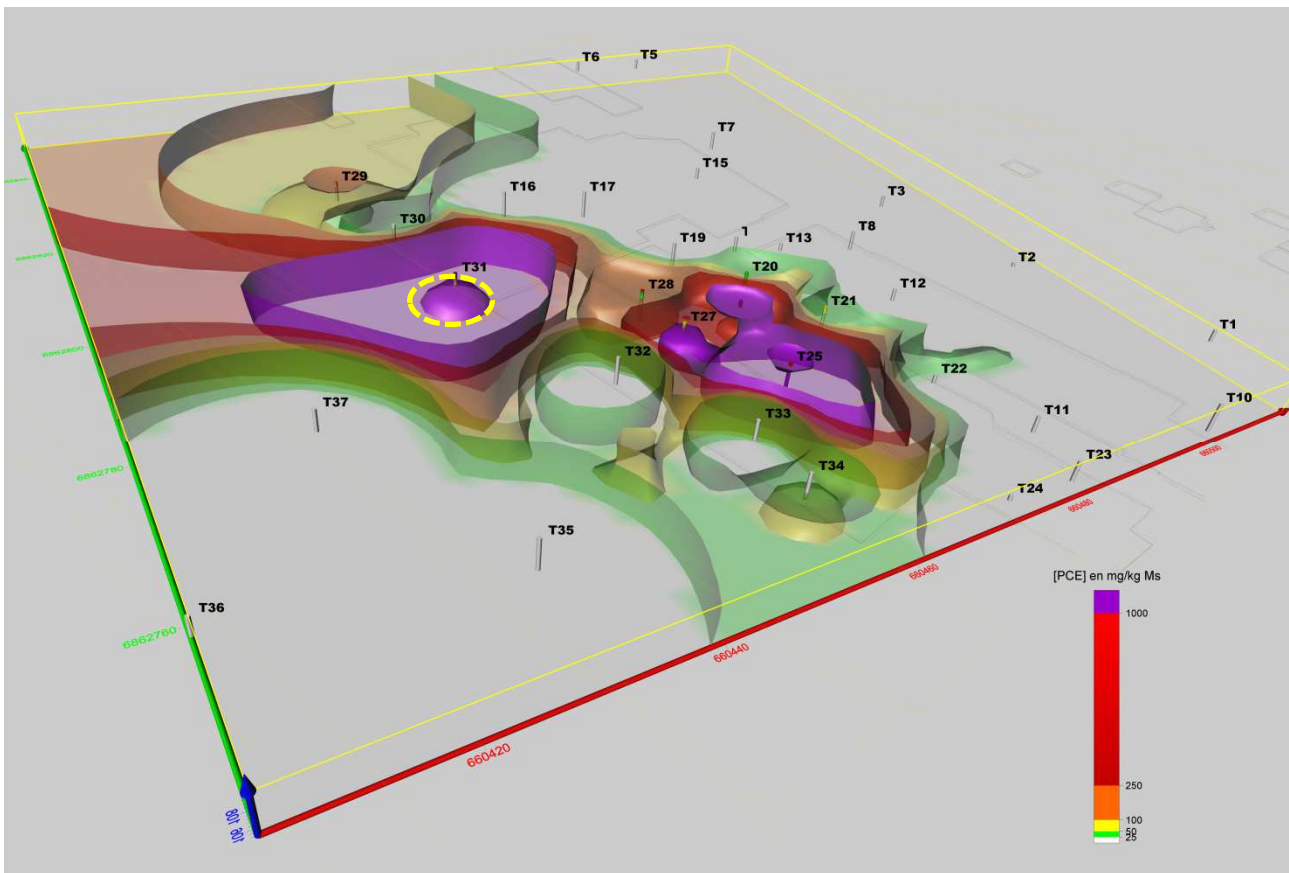
#### 6.2.1 Traitement de la zone source en zone non saturée autour de T31

L'échantillon prélevé à 1 m de profondeur au droit du sondage T31 présente des teneurs anormales en hydrocarbures et PCB au regard des données disponibles sur reste du site :

- Hydrocarbures = 52 000 mg/kg, majoritairement des fractions lourdes ;
- PCB = 12 mg/kg ;
- PCE = 8 800 mg/kg.

L'extension de cette zone concernée par ces teneurs anormales est disponible en **Figure 6**, et est précisée sur la modélisation des teneurs anormales en PCE en **Figure 20**.





**Figure 20 : Localisation de la zone de pollution concentrée au droit du sondage T31**

Aucune anomalie organoleptique (odeur et PID) n'a cependant été notée sur le terrain lors de la foration du sondage T31. A de telles teneurs de composés non volatils (hydrocarbures et PCB) et volatils (COHV), la solution de traitement hors site paraît la seule adaptée. Néanmoins, cette zone fortement impactée par les hydrocarbures et les PCB n'est pas délimitée latéralement. **Nous considérons que son extension maximale est de 100 m<sup>2</sup> sur une épaisseur de 1,50 m** (dans l'horizon non saturé, à 3 m de profondeur, les teneurs en hydrocarbures et PCB sont très atténuées).

Les coûts de traitement hors site et les conditions d'acceptation par rapport aux teneurs en PCB et en hydrocarbures sont présentés dans le **Tableau 15**, hors TGAP et hors impact des travaux liés à la société du Grand Paris qui pourraient faire évoluer les prix des filières de stockage.

**Tableau 15 : Teneurs d'admission et coûts des traitements hors site pour les sols de la zone source autour de T31**

| Filière   | seuil PCB 7 cong | seuil HCT C10-C40 | cout transport-traitement (€ HT / tonne) |
|---|------------------|-------------------|--|
| ISDI  | 1                | 500               |  |
| ISDND   | 10               | 2000              | 50-80                                    |
| cimenterie  | 10               | 2000              | 50-80                                    |
| ISDD  | 50               | 10000             | 150-160                                  |
| désorption thermique  | 50               | 50000             | 120-160                                  |
| filière désorption export PCB   | 1500**           | 50000             | 230-300                                  |
| incinération PCB  | >1500            |                   | 700-750                                  |
| ** seuil réglementaire maximum autorisé, seuil technique en moyenne 350 mg/kg |                  |                   |  |

Du fait de la présence de composés volatils mesurée dans les gaz du sol, l'excavation devra être faite sous chapiteau avec captation et traitement de l'air vicié avant rejet à l'atmosphère et apport d'air frais afin de maîtriser l'exposition des travailleurs à la présence des composés volatils identifiés dans les milieux investigués. Cette contrainte affaiblit la cadence de l'excavation. La taille des chapiteaux est variable, classiquement de 400 m<sup>2</sup> à 1 000 m<sup>2</sup>. Chaque chapiteau est équipé d'une soufflante associée à un filtre à charbon actif pour capter et traiter les vapeurs de COV émises à l'excavation. A ce stade des études et pour la zone du sondage T31, nous avons considéré un chapiteau de 400 m<sup>2</sup>.

La masse volumique des sols est retenue à 1,8 t/m<sup>3</sup>. Aucun coefficient de foisonnement n'a été pris en compte dans les calculs pour le remblaiement.

Le déroulé prévisionnel des travaux est le suivant :

- phase de caractérisation complémentaire au moyen de sondages de sols et de prélèvements d'échantillons en vue d'analyses en laboratoire, dans le but :
  - de sécuriser l'emprise de la zone de pollution concentrée ;
  - d'obtenir le CAP<sup>3</sup> auprès des filières pressenties pour l'évacuation des terres ;
- mise en place de la tente et du système de ventilation ;
- destruction de la dalle et évacuation des gravats ;
- terrassement et évacuation hors site des terres vers une filière adaptée ;
- à l'issue des travaux, réception des travaux au moyen de prélèvements d'échantillons en bord et fond de fouille en vue d'analyses en laboratoire ;
- bilan de masse des polluants traités sur la base de la quantité de polluants évacués en filière et ceux filtrés sur charbon actif ;
- repli de la tente.

Le planning prévisionnel est le suivant :

- caractérisation complémentaire, obtention des CAP : 3 semaines ;
- mise en place de la tente, réalisation des travaux, réception des travaux, repli de la tente : 4 semaines.

<sup>3</sup> Certificat d'Acceptation Préalable

**Tableau 16 : Budget de traitement de la zone T31**

|   | Qté | unité | Prix U€HT | Prix €HT           |
|---|-----|-------|-----------|--------------------|
| Investigations avant travaux  | 1   | ft    | 5000      | 5 000,00 €         |
| Terrassement<br>Evacuation<br>Remblaiement                                | 150 | m3    | 200       | 30 000,00 €        |
| Gestion des odeurs :<br>AR chapiteau<br>Extraction d'air<br>Charbon actif | 1   | ft    | 30000     | 30 000,00 €        |
| <b>TOTAL HT</b>   |     |       |           | <b>65 000,00 €</b> |
| Incertitude   |     |       |           | 20%                |

## 6.2.2 Traitement par venting

### 6.2.2.1 Volumes à traiter

Les terres de la zone non saturée sur le secteur T31 étant gérées par ailleurs (cf. chapitre 6.1), il subsiste à traiter en zone non saturée 3 200 m<sup>3</sup> environ de sol en zone source (cf. **Tableau 17**).

**Tableau 17 : Volume de sol à traiter en zone non saturée, hors secteur de T31**

|                      | COHV + BTEX > seuils | BTEX > 200 mg/kg | COHV > 250 mg/kg | Total |
|----------------------|----------------------|------------------|------------------|-------|
| Volume de sols<br>m3 | 157                  | 1710             | 1330             | 3197  |

### 6.2.2.2 Dimensionnement du traitement

Les essais de traitabilité ont permis de pré-dimensionner le débit d'extraction à 25-40 m<sup>3</sup>/h par aiguille pour un rayon d'influence moyen de l'ordre de 3 m environ.

Pour le dimensionnement nous nous basons sur 25 m<sup>3</sup>/h pour disposer de vitesses de circulation d'air le moins turbulentes possibles.

Quoique les flux de polluants extraits aient été de l'ordre du kg / aiguille en COV pendant l'essai, pour assurer un taux de renouvellement d'air suffisant, le traitement est basé sur une durée prévisionnelle de traitement, y compris les phases de Stop and Go préalables à la réception du traitement, **de 18 mois**.

Une campagne de reconnaissance complémentaire peut être envisagée à l'état initial pour adapter le réseau de venting aux concentrations dans les sols et décider des secteurs où les aiguilles doivent être positionnées.

La localisation prévisionnelle des aiguilles de ce traitement est disponible en **Figure 21**.

### 6.2.2.3 Réalisation des ouvrages de traitement

Les ouvrages sont descendus à 1,50 m de profondeur (soit à 50 cm au-dessus de la nappe d'eaux souterraines). Les équipements des ouvrages de venting seront réalisés en diamètres 63/75 mm.

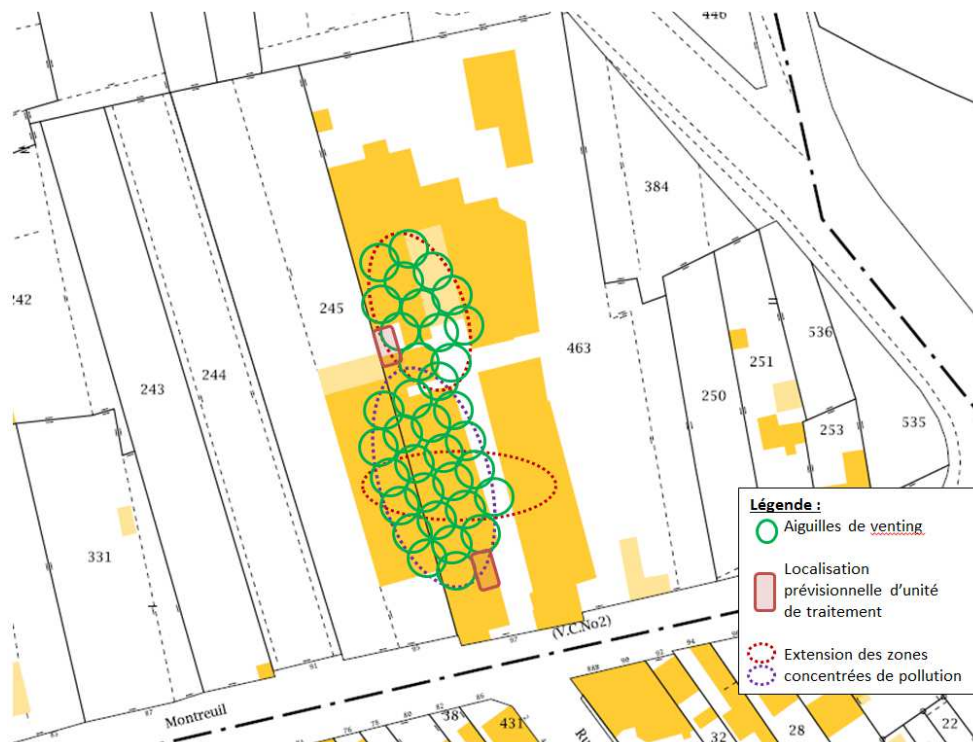
Les niveaux de crépines à installer dans les puits de venting seront adaptés en fonction des observations de terrain qui seront réalisées lors de la pose des ouvrages en respectant les prescriptions suivantes :

- à minima, 50 cm de tubage plein afin d'éviter tout court-circuit avec l'atmosphère ;
- 3 mètres de distance entre les puits d'aspiration et les infrastructures enterrées soit **35 puits** ;
- le nombre de puits et la profondeur de foration pourra être révisé en fonction des découvertes et des impacts relevés lors des forages pour garantir l'objectif affiché et la couverture de l'ensemble de la zone source ;
- la crépine et le massif filtrant des puits (massif de sable siliceux roulé calibré) seront installés de manière à intercepter la totalité de l'épaisseur de la couche géologique polluée en tenant compte des réseaux et des conditions énoncées ci-dessus ;
- un bouchon de bentonite sera coulé en tête du puits et chaque ouvrage sera cimenté en surface.

### 6.2.2.4 Installation de venting

Pour une extraction de 25 m<sup>3</sup>/h par puits, cela représente 1 unité de venting (875 m<sup>3</sup>/h). Sur la figure suivante, 2 unités de venting sont placées, afin d'illustrer 2 possibilités de localisation d'une installation de traitement.

L'intérêt de disposer de 2 installations de venting est de pouvoir séparer des flux de composition différente, par exemple chargés en BTEX ou en COHV dont le traitement en surface peut faire appel à des moyens différents.



**Figure 21 : Localisation prévisionnelle des aiguilles de venting**



### 6.2.2.5 Traitement des gaz en surface

Sur la base des masses à extraire de la ZNS et d'un coefficient d'adsorption de 25%, la quantité estimative de charbon actif à mettre en œuvre lors du traitement est de **44 tonnes**.

### 6.2.2.6 Coût estimatif du traitement par venting

Les coûts estimatifs de traitement sont présentés dans le **Tableau 18**.

Nous nous sommes basés sur une consommation de charbon actif suffisante pour adsorber l'intégralité du stock polluant calculé en ZNS (ce qui revient à prendre en compte un rendement de traitement de 100%).

En première approche, nous avons considéré que les gaz extraits seraient traités par adsorption sur charbon actif ; il est probable que des techniques alternatives de traitement des gaz soient in fine retenues, comme par exemple la condensation.

**Tableau 18 : Coût de venting pour la zone non saturée**

|                               | Qté | unités | Prix U€HT | Prix €HT            |
|-------------------------------|-----|--------|-----------|---------------------|
| Caractérisation avant travaux | 1   | ft     | 15000     | 15 000,00 €         |
| Ouvrages souterrains          | 35  | unités | 1000      | 35 000,00 €         |
| raccordement                  | 35  | unités | 400       | 14 000,00 €         |
| mise en œuvre et pilotage     | 18  | mois   | 2000      | 36 000,00 €         |
| unités de venting (location)  | 18  | mois   | 2500      | 45 000,00 €         |
| charbon actif                 | 44  | tonnes | 2500      | 110 000,00 €        |
| analyses d'air en laboratoire | 36  | unités | 150       | 5 400,00 €          |
| réception                     | 1   | ft     | 10000     | 10 000,00 €         |
| <b>TOTAL HT</b>               |     |        |           | <b>270 400,00 €</b> |
| incertitude                   |     |        |           | 20%                 |
| prix/m3                       |     |        |           | 84,50 €             |

### 6.2.3 Traitement des déblais des pieux et longrines et traitement de l'ensemble du site par excavation sur 50 cm de profondeur

Les pieux et longrines seront réalisés en zone de pollution résiduelle ou en zone d'impact sur la partie ouest du site EIF.

De même, il sera nécessaire de procéder à un décapage des sols de surface sur une épaisseur d'environ 50 cm pour permettre l'aménagement des terrains ; potentiellement ces terres seront situées en zone source ou zone d'impact.

#### 6.2.3.1 Eléments communs : planning des travaux

Le déroulé prévisionnel des travaux est comparable à celui mis en œuvre pour les travaux à réaliser au droit de la zone du sondage T31 (cf. chapitre 6.2.1). Pour rappel, il est le suivant :

- phase de caractérisation complémentaire au moyen de sondages de sols et de prélèvements d'échantillons en vue d'analyses en laboratoire, dans le but :
  - de sécuriser les estimations de volumes pour chaque filière envisagée. **En effet, les investigations réalisées jusqu'à maintenant sur les sols au droit du site ont principalement eu pour but de déterminer le niveau et l'étendue des impacts constatés, et non la détermination d'une filière d'évacuation hors site ;**
  - d'obtenir le CAP<sup>4</sup> auprès des filières pressenties pour l'évacuation des terres ;
- mise en place de la tente et du système de ventilation ;
- destruction de la dalle et évacuation des gravats ;
- terrassement et évacuation hors site des terres vers une filière adaptée ;
- à l'issue des travaux, réception des travaux au moyen de prélèvements d'échantillons en bord et fond de fouille en vue d'analyses en laboratoire ;
- bilan de masse des polluants traités sur la base de la quantité de polluants évacués en filière et ceux filtrés sur charbon actif ;
- repli de la tente.

#### 6.2.3.2 Evacuation des terres de pieux et longrines

Les solutions de traitement hors site adaptées au traitement des terres qui seront extraites pour la réalisation des pieux et des longrines bétons, ainsi que le détail des secteurs d'extraction, volumes et filières est fourni en **Annexe 2**. Cette estimation (calcul de cubature pieux et longrines) est établie sur la base du plan 17-M10, le principe d'implantation des pieux longrines PC et selon les volumes donnés par le cabinet SCOPING, à la date du 15/06/2018.

Le surcoût d'élimination des terres par rapport à une ISDI est calculé à 130 k€ H.T. (hypothèse haute).

Les volumes pris en compte pour l'élaboration de ce chiffrage sont présentés en **Figure 22**.

<sup>4</sup> Certificat d'Acceptation Préalable

Plan de conception des travaux de remise en état  
6. Eléments de dimensionnement des traitements pressentis

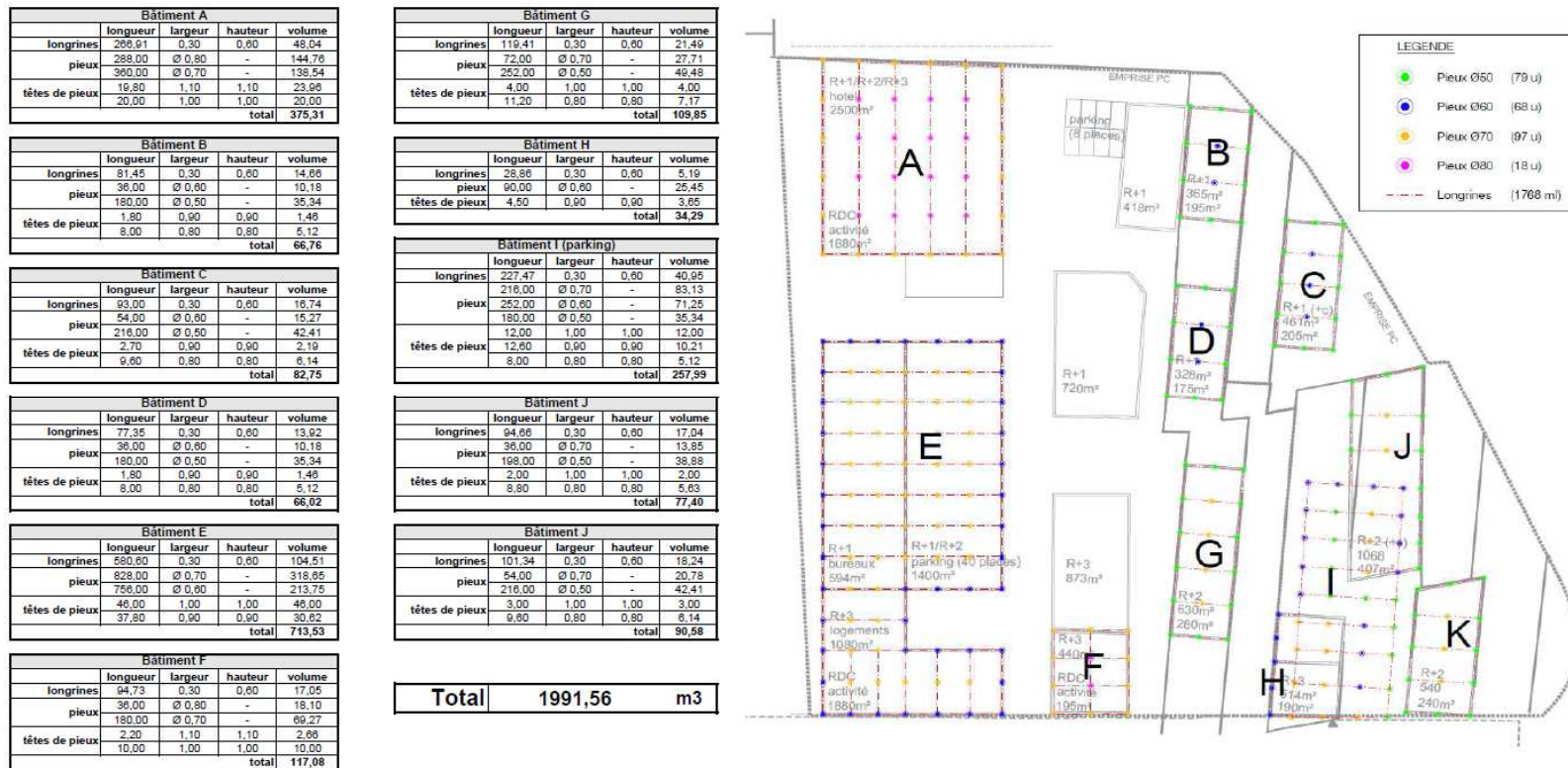


Figure 22 : Volumes de terres à évacuer hors site dans le cadre de la réalisation des longrines, pieux et têtes de pieux

### 6.2.3.3 Décapage des terres de surface

Au vu de la disparité de la qualité environnementale de ces terrains au droit de l'ensemble du site, un zonage des estimations de volumes et surcoûts a été réalisé en fonction des données analytiques disponibles et des hypothèses d'extrapolation réalisées. Ce zonage est présenté en **Figure 23**.

La première estimation concerne l'ensemble du site EIF, à l'exception :

- des bâtiments non détruits dans le cadre du projet, soit la brasserie et les bâtiments 4 et 5 ;
- des futurs logements ;
- du futur hôtel.

Cette zone concerne une surface de 5 000 m<sup>2</sup>. Par conséquent, un volume total de **2 500 m<sup>3</sup>** est pris en compte dans cette estimation (**Tableau 19**).

Au vu de la disparité des données concernant les filières d'acceptation envisageables pour ces terres, deux hypothèses (basse/optimiste et haute/pessimiste) ont été élaborées :

- Hypothèse basse/optimiste (**surcoût global d'environ 175 000 € H.T.**) :
  - pour les zones 5 et 7 : 100% des terres en ISDND ;
  - pour les autres zones (qui représentent 50% de la surface totale, donc 50% du volume total de terres à évacuer hors site) : 100% des terres en ISDI aménagée ;
- Hypothèse haute/pessimiste (**surcoût global d'environ 360 000 € H.T.**) :
  - pour les zones 5 et 7 : 75% des terres en ISDD, et 25% des terres en ISDND ;
  - pour les autres zones (qui représentent 50% de la surface totale, donc 50% du volume total de terres à évacuer hors site) : 100% des terres en ISDND.

La seconde estimation concerne les zones 1B (future sente végétalisée) et 6 (futur hôtel). Une particularité est à souligner pour les calculs des décapages au droit de cette zone : une épaisseur de 10 cm a été prise en compte au droit de la future sente végétalisée. Le détail du chiffrage est donné dans le **Tableau 20**.

Pour cette estimation également, deux hypothèses ont été réalisées :

- Hypothèse basse/optimiste (**surcoût global d'environ 32 000 € H.T.**) :
  - indices organoleptiques + résultats d'analyse compatible avec une ISDI aménagée : 75% de la surface à décapier ;
  - indices organoleptiques + résultats d'analyse compatible avec une ISDND : 25% de la surface à décapier ;
- Hypothèse haute/pessimiste (**surcoût global d'environ 62 000 € H.T.**) :
  - indices organoleptiques + résultats d'analyse compatible avec une ISDI aménagée : 25% de la surface à décapier ;
  - indices organoleptiques + résultats d'analyse compatible avec une ISDND : 75% de la surface à décapier.

Il est à noter que comme convenu avec Bouygues Immobilier UrbanEra, cette seconde estimation n'inclut pas l'emprise des futurs logements, **car il a été convenu qu'elle n'était pas incluse dans le présent plan de conception de travaux.**



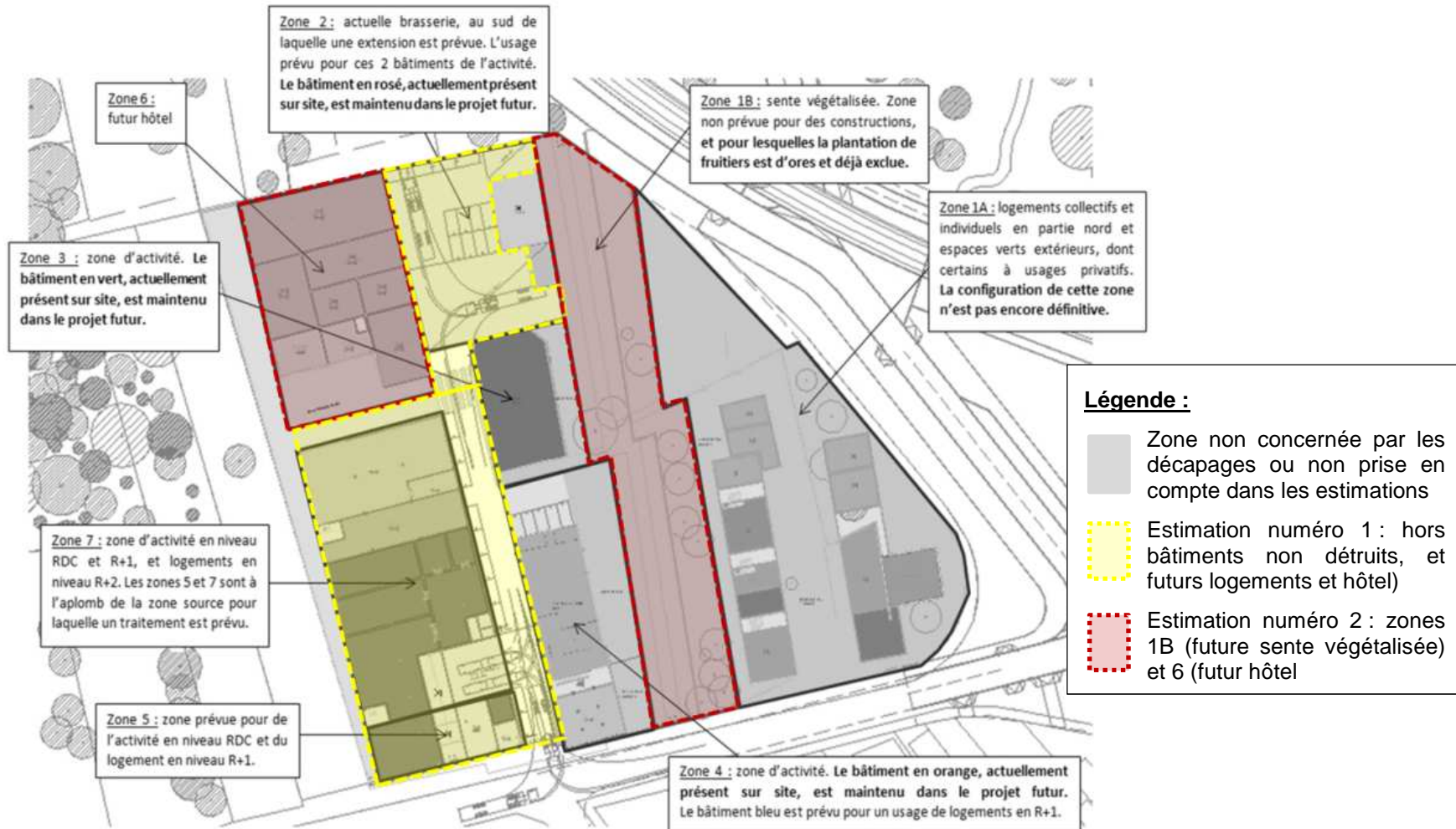


Figure 23 : Zonage des hypothèses d'estimation de volumes et surcoûts liés au décapage superficiel

**Tableau 19 : Calcul de cubatures et de coûts de gestion liés au décapage de terres de surface – Hors bâtiments non détruits, et futurs logements et hôtel**

| Surface décapage (m2) | Volume décapé (m3) | Hypothèse basse (HB)   | Hypothèse haute (HH)   | Volume ISDI (m3) |      | Volume ISDI aménagée - ISDI + (m3) |      | Volume ISDND (m3) |         | Volume ISDD (m3) |        | ISDI (€/m3) - 30  | ISDI+ (€/m3) - 55       |                         | ISDND (€/t) - 80        |                         | ISDD (€/t) : 150       |                        |       |
|-----------------------|--------------------|--|--|------------------|------|------------------------------------|------|-------------------|---------|------------------|--------|-------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|------------------------|------------------------|-------|
|                       |                    |  |  | HB               | HH   | HB                                 | HH   | HB                | HH      | HB               | HH     |                   | Surcout ISDI+ (€/m3) HB | Surcout ISDI+ (€/m3) HH | Surcout ISDND (€/m3) HB | Surcout ISDND (€/m3) HH | Surcout ISDD (€/m3) HB | Surcout ISDD (€/m3) HH |       |
|                       |                    |  |  |                  |      |                                    |      |                   |         |                  |        |                   |                         |                         |                         |                         |                        |                        | 25,00 |
| 5000                  | 2500               | - Indices organoleptique + résultats d'analyse compatible avec une ISDI aménagée : 50% de la surface décapée<br>- Zone source zones 5/7 : 100% d'évacuation en ISDND | - Indices organoleptique + résultats d'analyse compatible avec une ISDND : 50% surface décapée<br>- Zone source zone 5/7 : 50% surface décapée réfractaire au traitement --> évacuation en ISDD pour 75% des terres et 25 % en ISDND | 0,00             | 0,00 | 1250,00                            | 0,00 | 1250,00           | 1875,00 | 0,00             | 625,00 | 0                 | 31 250                  | 0                       | 142 500                 | 213 750                 | 0                      | 150 000                |       |
|                       |                    |  |  |                  |      |                                    |      |                   |         |                  |        | Surcout HB (€ HT) |                         | 173 750                 |                         | Cout HB (€ HT)          |                        | 316 250                |       |
|                       |                    |  |  |                  |      |                                    |      |                   |         |                  |        | Surcout HH (€ HT) |                         | 363 750                 |                         | Cout HH (€ HT)          |                        | 540 000                |       |

**Tableau 20 : Calcul de cubatures et de coûts de gestion liés au décapage de terres de surface – Zones 1 (futurs logements) et 6 (futur hôtel)**

| Zone concernée              | Profondeur de décapage (m) | Surface décapage (m²) | Volume décapé (m³) | Hypothèse basse (HB)  | Hypothèse haute (HH)  | Volume ISDI (m3) |      | Volume ISDI aménagée - ISDI + (m3) |        | Volume ISDND (m3) |        | Volume ISDD (m3)  |      | ISDI (€/m3) - 30 | ISDI+ (€/m3) - 55       |                         | ISDND (€/t) - 80        |                         | ISDD (€/t) : 150       |                        |
|-----------------------------|----------------------------|-----------------------|--------------------|---|---|------------------|------|------------------------------------|--------|-------------------|--------|-------------------|------|------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|------------------------|------------------------|
|                             |                            |                       |                    |   |   | HB               | HH   | HB                                 | HH     | HB                | HH     | HB                | HH   |                  | Surcout ISDI+ (€/m3) HB | Surcout ISDI+ (€/m3) HH | Surcout ISDND (€/m3) HB | Surcout ISDND (€/m3) HH | Surcout ISDD (€/m3) HB | Surcout ISDD (€/m3) HH |
|                             |                            |                       |                    |   |   |                  |      |                                    |        |                   |        |                   |      |                  |                         |                         |                         |                         |                        |                        |
| Zone 1B (sente végétalisée) | 10 cm                      | 1090                  | 109                | - Indices organoleptiques + résultats d'analyse compatible avec une ISDI aménagée : 75% de la surface décapée<br>- Indices organoleptique + résultats d'analyse compatible avec une ISDND : 25% surface décapée | - Indices organoleptiques + résultats d'analyse compatible avec une ISDI aménagée : 25% de la surface décapée<br>- Indices organoleptique + résultats d'analyse compatible avec une ISDND : 75% surface décapée | 0,00             | 0,00 | 81,75                              | 27,25  | 27,25             | 81,75  | 0,00              | 0,00 | 0                | 2 044                   | 681                     | 3 107                   | 9 320                   | 0                      | 0                      |
| Zone 6 (futur hôtel)        | 50 cm                      | 1128                  | 564                | - Indices organoleptiques + résultats d'analyse compatible avec une ISDI aménagée : 75% de la surface décapée<br>- Indices organoleptique + résultats d'analyse compatible avec une ISDND : 25% surface décapée | - Indices organoleptiques + résultats d'analyse compatible avec une ISDI aménagée : 25% de la surface décapée<br>- Indices organoleptique + résultats d'analyse compatible avec une ISDND : 75% surface décapée | 0,00             | 0,00 | 423,00                             | 141,00 | 141,00            | 423,00 | 0,00              | 0,00 | 0                | 10 575                  | 3 525                   | 16 074                  | 48 222                  | 0                      | 0                      |
|                             |                            |                       |                    |   |   |                  |      |                                    |        |                   |        | Surcout HB (€ HT) |      | 31 799           |                         | Cout HB (€ HT)          |                         | 51 989                  |                        |                        |
|                             |                            |                       |                    |   |   |                  |      |                                    |        |                   |        | Surcout HH (€ HT) |      | 61 748           |                         | Cout HH (€ HT)          |                         | 81 938                  |                        |                        |

## 6.2.4 Bilan du traitement de la zone non saturée

### 6.2.4.1 Délais et séquençage

Le **séquençage** est le suivant :

1. Démolition des superstructures ;
2. Venting et traitement zone T31 et décapage hors zone sous venting ;
3. Démolition infrastructures et décapage des zones à traiter par venting ;
4. Le décapage des terrains superficiels au droit des autres zones et le traitement de la zone T31 peuvent être faits en parallèle du traitement par venting.

**Le délai global de traitement est de 24 mois.** Il est décomposé ainsi :

1. Démolition préalable des superstructures : 2 mois ;
2. Décapage des terrains superficiels au droit des zones concernées par le traitement par venting : 3 mois.
3. Venting : 18 mois (délai incluant le décapage des terrains superficiels au droit des autres zones).

### 6.2.4.2 Budget global

| Postes  | Coût<br>€ H.T.    | MOE              | Coordination /<br>sécurité |
|---|-------------------|------------------|----------------------------|
| Traitement de la zone T31 - Evacuation hors site  | 65 000,00         | 7 800,00         | 1 950,00                   |
| Traitement par venting  | 270 000,00        | 32 400,00        | 8 100,00                   |
| Traitement des déblais des pieux/longrines  | 130 000,00        | 15 600,00        | 3 900,00                   |
| Décapage superficiel sur l'ensemble du site<br>(y compris zone logements) - hypothèse moyenne | 314 500,00        | 37 740,00        | 9 435,00                   |
| <b>TOTAL PREVISIONNEL</b>   | <b>779 500,00</b> | <b>93 540,00</b> | <b>23 385,00</b>           |
| Incertitude   | 20 %              |                  |                            |

## 6.3 Traitement de la zone saturée

### 6.3.1 Cas particulier de la zone du sondage T34 – Traitement par extraction multi-phase

#### 6.3.1.1 Zone concernée par la mise en œuvre de ce traitement

La zone à traiter par cette approche a une surface de 400 m<sup>2</sup> environ pour une profondeur de 4 m en moyenne soit 1 600 m<sup>3</sup>.

Elle est localisée sur en **Figure 24**.



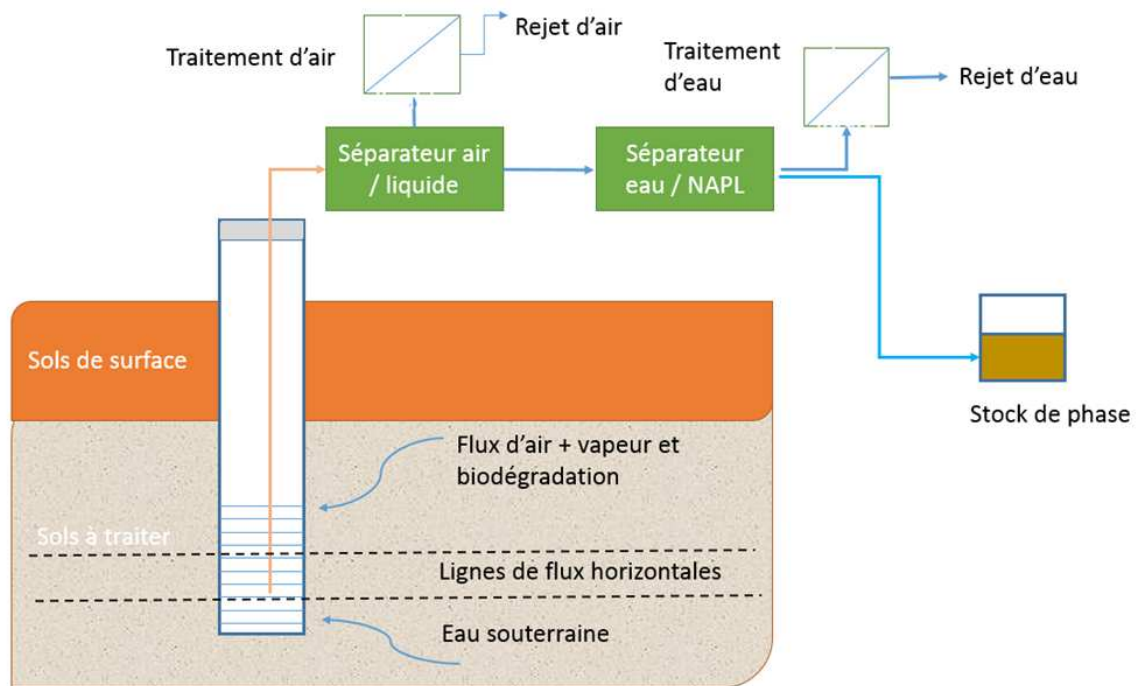
**Figure 24 : Localisation prévisionnelle des installations d'extraction multiphase**

#### 6.3.1.2 Dimensionnement du traitement

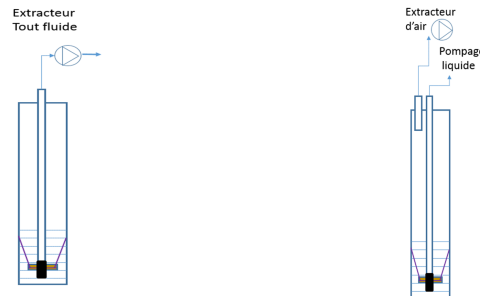
L'extraction multiphase, (cf. schéma suivant), est basée sur une technique de mise en dépression de la zone non saturée, de la zone de battement de nappe et la zone saturée (nappe). Elle a pour objectif de récupérer de la phase (NAPL) selon différentes configurations :

- Extraction de NAPL mobile ;
- Extraction d'eau chargée en polluants dissous ;
- Extraction de gaz chargé en vapeurs de polluants.





Elle peut être menée sur un réseau séparatif (air des sols et phase liquide récupérée séparément) ou unitaire, comme suit. Le choix définitif devra être fait à l'issue des compléments de reconnaissance.



L'organisation de l'opération s'établit comme suit :

- Reconnaissance avant travaux, circonscription de la zone à traiter, choix du meilleur dispositif d'EMP ;
- Traitement par EMP ;
- Réception des travaux.

D'après les essais réalisés, **un rayon d'influence de 8 m environ est évalué**, ce qui reviendrait à implanter 3 aiguilles d'EMP. Pour tenir compte des hétérogénéités lithologiques des effets de bords pour une petite surface, **nous nous basons sur 6 aiguilles**.

3 piézomètres seront mis en œuvre pour piloter le traitement.

Les ouvrages sont forés en 2" ou 3". Ils seront crépinés sur l'horizon 1-4m, à vérifier en fonction des résultats des reconnaissances pré-travaux.



### 6.3.1.3 Délai de traitement

Le délai de traitement de l'EMP est de 18 mois.

### 6.3.1.4 Coût estimatif du traitement par extraction multiphase

Le coût estimatif de cette zone par extraction multiphase est présenté dans le tableau ci-après :

**Tableau 21 : Coût de traitement de la zone T34 par extraction multiphase**

|   | Qté                   | unités  | Prix U€HT | Prix €HT            |
|---|-----------------------|---------|-----------|---------------------|
| Caractérisation avant travaux   | 1                     | ft      | 5000      | 5 000,00 €          |
| ouvrages souterrains  | 9                     | unités  | 1500      | 13 500,00 €         |
| raccordement fluides et électriques   | 1                     | forfait | 15000     | 15 000,00 €         |
| location installation de traitement d'EMP et des effluents en surface           | 18                    | mois    | 2500      | 45 000,00 €         |
| consommable charbon actif eau, base 3t  | inclus budget venting |         |           |                     |
| consommable charbon actif eau, base 3t  | 3                     | t       | 2500      | 7 500,00 €          |
| Suivi du traitement et pilotage analytique (unité supplémentaire si nécessaire) | 18                    | mois    | 1500      | 27 000,00 €         |
| Réception du traitement   | 1                     | ft      | 5000      | 5 000,00 €          |
| <b>coût de traitement</b>   |                       |         |           | <b>118 000,00 €</b> |
| Incertitude   |                       |         |           | 25%                 |

## 6.3.2 Traitement de la zone saturée – Traitement par réduction

### 6.3.2.1 Terrains concernés par ce traitement

Le volume de milieu souterrain saturé à traiter avoisine 4 000 m<sup>3</sup> (cf. **Tableau 22**).

**Tableau 22 : Volume de sol à traiter en zone saturée**

|                               | COHV + BTEX > seuils | BTEX > 200 mg/kg | COHV > 250 mg/kg | Total |
|-------------------------------|----------------------|------------------|------------------|-------|
| Volume de sols m <sup>3</sup> | 723                  | 1904             | 1358             | 3985  |

Ce volume prend en compte une couche à traiter située entre 2 m et 4-4,5 m de profondeur en fonction de la géométrie des marnes et des argiles vertes.

La localisation des zones à traiter est disponible en **Figure 7**.

La technique de traitement retenue pour traiter la pollution concentrée en zone saturée est la **réduction in-situ**.

Au vu des résultats des essais, la réduction sera appliquée par voie chimique ou par voie chimique et biologique simultanément. La présence de fer zérovalent est obligatoire.

Les pilotes de réduction chimique permettent d'envisager des abattements supérieurs à 90% pour les chloroéthènes et pour les BTEX.

Toutefois, si le mécanisme de dégradation pour les chloroéthènes est clairement identifié avec le fer zérovalent, il n'est pas expliqué pour les BTEX et plusieurs hypothèses peuvent être envisagées, biologiques ou chimiques.

Une bonne performance des pilotes avec le produit du commerce EHC® a également été constatée.

En termes de transposition à un traitement pleine échelle, le traitement par voie chimique est privilégié, le réactif étant moins coûteux et plus facile à injecter. Le dosage de FZV est à choisir à 2% masse de masse de sol. Pour le traitement des BTEX, il est possible qu'il faille également prévoir une injection de matière organique (cas du pilote A2).

### 6.3.2.2 Coût estimatif du traitement par réduction

Au vu des résultats des essais pilotes et du faible rayon d'injection mesuré, il est envisagé 2 campagnes d'injection selon les secteurs et les teneurs en COV.

**La durée de traitement envisagée peut être réduite à 12 mois**, les voies chimiques étant une voie de traitement rapide.

Le pilotage de ce traitement sera basé sur les résultats dans les eaux souterraines. La réception sera réalisée sur les sols et les eaux souterraines.

Les coûts de traitements estimés sont présentés dans le **Tableau 23** et prennent en compte 2 campagnes d'injection.

**Tableau 23 : Budget estimatif pour le traitement in situ de la zone saturée par réduction**

|  | Qté | unité                 | Prix U€HT   | Prix €HT            |
|--|-----|-----------------------|-------------|---------------------|
| Reconnaissance avant travaux                     | 1   | ft                    | 30 000,00 € | 30 000,00 €         |
| création de piézomètres                          | 5   | unités                | 2 000,00 €  | 10 000,00 €         |
| Fer zérovalent                                   | 144 | t                     | 1 250,00 €  | 180 000,00 €        |
| 2 campagnes d'injection (140 points d'injection) | 35  | jours                 | 6 000,00 €  | 210 000,00 €        |
| Suivi du traitement + pilotage zone COHV         | 120 | prélèvements/analyses | 300,00 €    | 36 000,00 €         |
| encadrement                                      | 12  | mois                  | 4 000,00 €  | 48 000,00 €         |
| <u>Réception</u>                                 | 1   | ft                    | 30 000,00 € | 30 000,00 €         |
| <u>Démantèlement piézomètres</u>                 | 5   | unités                | 1 500,00 €  | 7 500,00 €          |
| <b>TOTAL HT</b>                                  |     |                       |             | <b>551 500,00 €</b> |
| incertitudes                                     |     |                       |             | 20%                 |
| Prix/ m3   |     |                       |             | 138                 |

### 6.3.2.3 Traitement de la zone source en zone saturée autour de T25

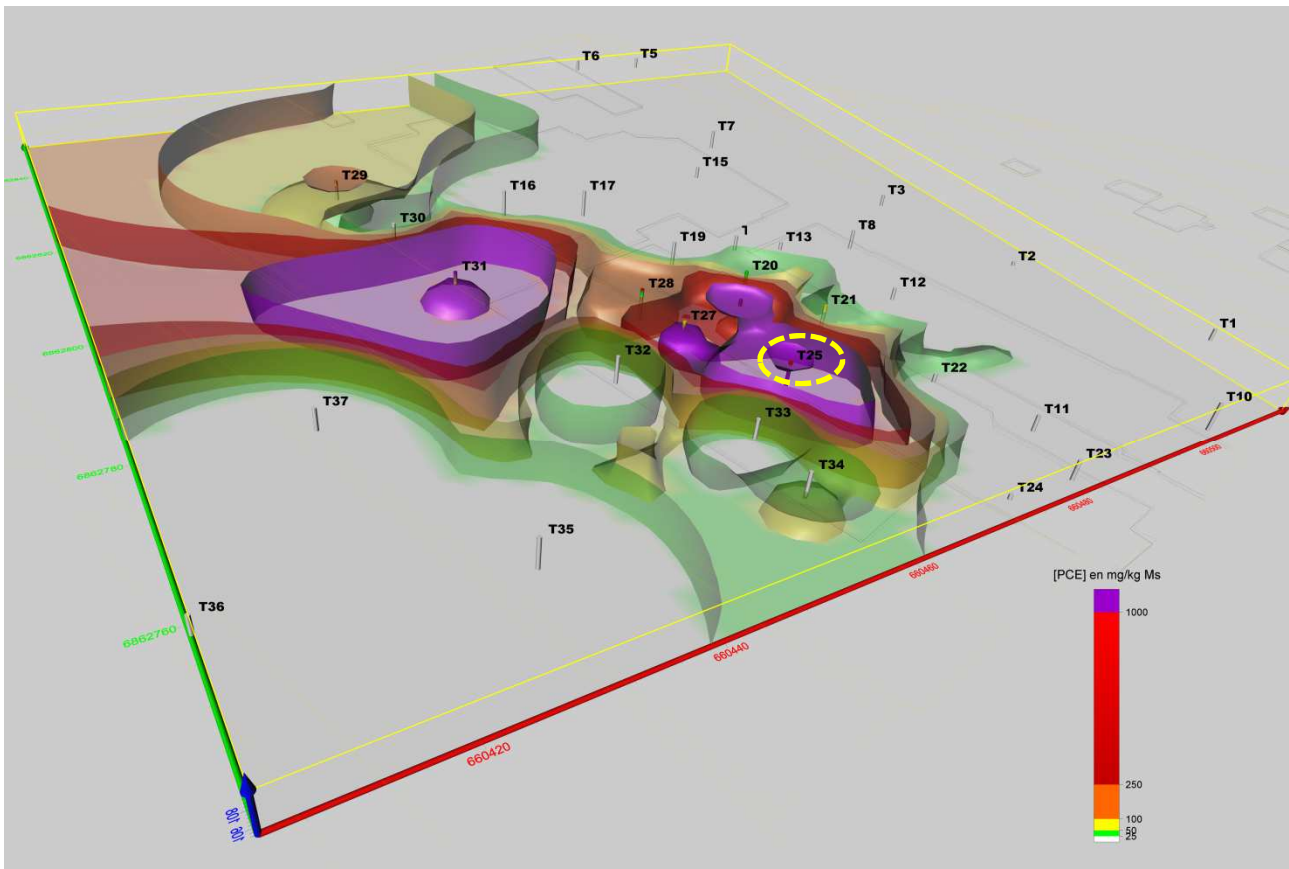
#### ► Principe

Le traitement de l'ensemble de la zone saturée est prévu par réduction in-situ.

Cependant, dans le cas d'une trop forte proportion d'argile dans les sols à traiter, ce qui est le cas du secteur à proximité du sondage T25, au droit duquel la présence de sols plus argileux que ceux identifiés au droit des sondages réalisés à proximité, **la mise en œuvre d'un traitement in-situ tel qu'envisagé au droit du site n'est pas efficace**<sup>5</sup>.

Ainsi, un volume d'environ 400 m<sup>3</sup> de sols (surface d'environ 100 m<sup>2</sup>, tranche 0-2 m en zone non saturée et tranche 2-4 m en zone saturée, incluant ainsi 200 m<sup>3</sup> en zone saturée sur les 3 985 m<sup>3</sup> à traiter) sera excavé. Les sols de la ZNS seront traités préalablement par venting ce qui permettra qu'ils soient remblayés en fouille. Les sols de la ZS seront excavés et éliminés en filière.

L'extension de cette zone concernée par des sols rétifs au traitement est disponible en **Figure 6**, et est précisée sur la modélisation des teneurs anormales en PCE en **Figure 25**.



**Figure 25 : Localisation de la zone de pollution concentrée au droit du sondage T25**

<sup>5</sup> Un traitement par soil mixing pourrait toutefois être envisagé

Le déroulé prévisionnel des travaux est comparable à celui mis en œuvre pour les travaux à réaliser au droit de la zone du sondage T31 (cf. chapitre 6.2.1). Pour rappel, il est le suivant :

- phase de caractérisation complémentaire au moyen de sondages de sols et de prélèvements d'échantillons en vue d'analyses en laboratoire, dans le but :
  - de sécuriser l'emprise de la zone de pollution concentrée ;
  - d'obtenir le CAP<sup>6</sup> auprès des filières pressenties pour l'évacuation des terres ;
- mise en place de la tente et du système de ventilation ;
- destruction de la dalle et évacuation des gravats ;
- terrassement et évacuation hors site des terres vers une filière adaptée ;
- à l'issue des travaux, réception des travaux au moyen de prélèvements d'échantillons en bord et fond de fouille en vue d'analyses en laboratoire ;
- bilan de masse des polluants traités sur la base de la quantité de polluants évacués en filière et ceux filtrés sur charbon actif ;
- repli de la tente.

### ► Délais

Après venting, la durée de l'opération ne dépassera pas 2 mois de traitement y compris démolition du dallage.

### ► Budget

|   | Qté | unité | Prix U€HT | Prix €HT       |
|---|-----|-------|-----------|----------------|
| Investigations avant travaux  | 1   | ft    | 5000      | 5 000          |
| Excavations/ remblaiement/réception                                       | 400 | m3    | 50        | 20 000         |
| Gestion des odeurs :<br>AR chapiteau<br>Extraction d'air<br>Charbon actif | 1   | ft    | 30000     | 30 000         |
| Elimination hors site   | 720 | ft    | 160       | 115 200        |
| <b>TOTAL HT</b>   |     |       |           | <b>170 200</b> |
| Incertitudes  |     |       |           | 20%            |

<sup>6</sup> Certificat d'Acceptation Préalable

### 6.3.3 Bilan du traitement de la zone saturée

#### 6.3.3.1 Délai

L'ensemble des opérations peuvent être menées simultanément. Le délai est par conséquent est **de 2 ans**, limité par l'EMP.

#### 6.3.3.2 Budget

L'ensemble des opérations peuvent être menées simultanément. Le délai est par conséquent est de 2 années, limité par l'EMP.

| Détail   | Coût<br>€ H.T.    | MOE               | Coordination /<br>sécurité |
|--|-------------------|-------------------|----------------------------|
| Traitement de la zone T34 - EMP                  | 118 000,00        | 14 160,00         | 3 540,00                   |
| Traitement par réduction                         | 551 500,00        | 66 180,00         | 16 545,00                  |
| Traitement de la zone T25 - Evacuation hors site | 170 200,00        | 20 424,00         | 5 106,00                   |
| <b>TOTAL PREVISIONNEL</b>                        | <b>839 700,00</b> | <b>100 764,00</b> | <b>25 191,00</b>           |
| Incertitude                                      | 20 %              |                   |                            |



## 6.4 Dispositions constructives à mettre en place

Pour les futures zones d'activités et de logements au moins (zones 2, 3, 4, 5 et 7), des mesures constructives sont à ce stade prises en compte afin d'assurer la compatibilité sanitaire de l'état environnemental du site avec les usages futurs prévus dans le projet.

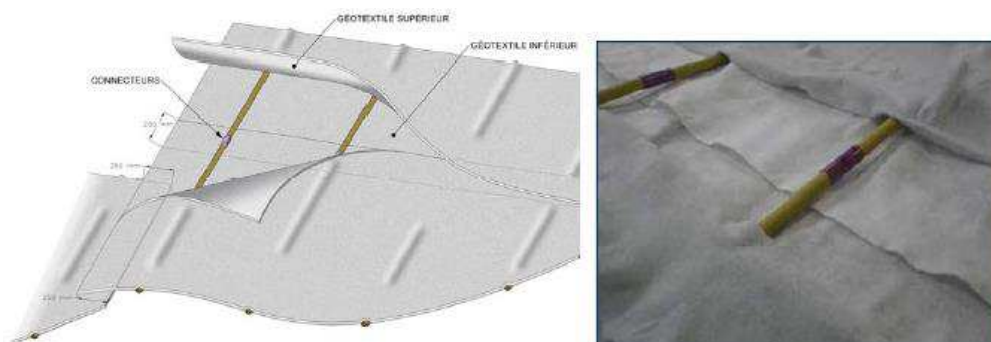
Parmi les solutions correctives envisageables, il est proposé ici la solution de **drainage de gaz sous bâtiment ou du vide-sanitaire sous bâtiment** (selon les zones).

### 6.4.1 Drainage de gaz sous bâtiment

#### 6.4.1.1 Principe

Le système se compose d'un réseau de mini drain enchâssé dans une nappe filtrante elle-même recouverte d'une géo-membrane étanche en matériaux inerte chimiquement (polypropylène ou équivalent) protégé par un géotextile anti-poinçonnement (type SOMETUBE gaz® ou équivalent) (**Figure 26**). Le complexe se présente sous forme de lés qui se posent sur la couche de forme en sous-face du dallage, les lés sont soudés entre eux.

Les mini-drains sont ensuite reliés à un collecteur, les polluants gazeux collectés sont évacués en toiture. En fonction des pertes de charges et de la perméabilité des terrains, il est ou non nécessaire de mettre en place une ventilation mécanique pour assurer l'extraction. De même en fonction des concentrations en polluants dans les gaz collectés, une filtration sur charbon actif peut être nécessaire avant rejet.



**Figure 26 : Exemple de système de draine de gaz (source guide de la conception pour la protection des bâtiments contre les gaz souterrains, Groupe Alphard, décembre 2016)**

Ce système de drainage des gaz sous membrane étanche a comme avantages de :

- ne pas remettre en question la construction du bâtiment sur dallage ;
- de ne pas nécessiter d'excavations autres que celles prévues dans le projet pour la mise en place des plateformes et pour le traitement des zones de pollution concentrée.

### 6.4.1.2 Coûts estimatifs

A ce stade, les estimations des coûts fournis ci-après sont donc des fourchettes de prix issues de notre retour d'expérience.

Ces prix sont en effet particulièrement variables en fonction des contraintes de mise en œuvre spécifiques à chaque site et à chaque projet de construction et des impacts sur les délais de réalisation des structures de Gros Œuvre qu'il est difficile d'appréhender à ce stade.

Le **drainage des gaz sous bâtiment couplé à un dispositif d'étanchéité sous dallage**, ne nécessitant pas de modifier les modes de fondations prévus pour le bâtiment, aucun surcoût pour la mise en place du dallage n'a été pris en compte. Il reste encore difficile de déterminer le nombre et la nature des points singuliers à traiter dans le cadre de la mise en place du système d'étanchéité. Des prix unitaires relevés sur des devis récents d'entreprise de travaux pour le traitement de points singuliers lors de la mise en place de membrane d'étanchéité sont fournis à titre informatif :

- traitement de poteau/pieux : 100 à 185 € H.T. / unité ;
- traitement des canalisations traversantes : 85 à 100 € H.T. / unité ;
- traitement singularité linéaire (mur, longrine) : 40 à 60 € H.T. / ml.

Le budget associé à cette mesure constructive pour les zones 5 et 7 est présenté dans le **Tableau 24**.

Une incertitude de 15% sur un cout de construction par rapport à des bâtiments qui ne sont à ce jour qu'en phase esquisse ou APS est un chiffre tout à fait normal. Pour réduire cette marge d'incertitude, des études de conception détaillées des bâtiments sont nécessaires.

**Tableau 24 : Budget de traitement pour les dispositions constructives pour les futurs logements et locaux d'activité au sud du site**

|  | PU      | Qt                          | Prix (€ H.T.)  |
|--|---------|-----------------------------|----------------|
| Dispositif drainant  | 35 €/m2 | 2 450                       | 85 750         |
| Traitement des points singuliers                                       | 130 €/u | 88                          | 11 440         |
| Traitement de réseaux traversant                                       | 90€/u   | 50                          | 4 500          |
| Traitement des singularités linéaires                                  | 45 €/ml | 650                         | 29 250         |
| coûts de mise en place du système de ventilation en toiture            | ft      | 1                           | 65 000         |
| Surveillance semestrielle pendant 4 ans à raison de 2 campagnes par an | an      | 4                           | 15 000         |
|  |         | <b>Total € H.T.</b>         | 210 940        |
|  |         | <b>Total arrondi à</b>      | <b>210 000</b> |
|  |         | <b>Incertitudes</b>         | 15%            |
|  |         | <b>Total € H.T. Maximum</b> | <b>241 500</b> |

## 6.4.2 Vide-sanitaire sous bâtiment

### 6.4.2.1 Zones concernées

Sur la base des calculs de risques sanitaires réalisés dans le cadre du plan de gestion, BURGEAP a considéré la mise en place d'un dispositif constructif s'opposant au transfert des polluants vers l'air intérieur équivalent à un vide sanitaire ventilé classique au droit des zones 2 et 3.

Un exemple de ce type de dispositif a été transmis à BURGEAP lors de la réalisation du plan de gestion en 2018 par le bureau d'études ACI. Ce document est disponible en **Annexe 3**.

### 6.4.2.2 Coût estimatif

BURGEAP n'étant pas spécialiste de ce domaine, le chiffrage estimatif de ces dispositifs a été transmis par BOUYGUES IMMOBILIER UrbanEra via le bureau d'études ACI.

Sur la base des hypothèses suivantes (validées par Burgeap) :

- création d'une dalle au-dessus de la dalle existante ;
- mise en œuvre des couches de sables et gravillons entre les deux dalles sans système drainant supplémentaire ;

Le chiffrage de ces dispositions constructives a été estimé à **340 k€ H.T.**

## 6.5 Surveillance environnementale pendant le chantier

### 6.5.1 Principe

Cette surveillance intègre :

- la surveillance des eaux souterraines. Elle a pour but de vérifier l'absence de modification des flux aval hydraulique du traitement ;
- la surveillance de l'air ambiant. Elle a pour but de vérifier l'absence d'impact sanitaire sur les voisins et les artisans du site.

### 6.5.2 Surveillance de qualité des eaux souterraines

Elle concernera à minima 3 piézomètres en aval hydraulique ouest et 2 en aval hydraulique sud. Elle permettra d'acquérir une chronique des concentrations en BTEX et COHV dans les flux aval et également d'alerter en cas d'augmentation des concentrations notamment en sous-produits de traitement indésirables (benzène, cis-DCE, CV).

En cas d'anomalie constatée, des dispositifs de confinement hydraulique qui seront prévus au cahier des charges de travaux pourront être mis en œuvre aux frais de l'entreprise de travaux.

Elle sera réalisée à pas mensuel pendant les travaux de traitement de la zone saturée (y compris par excavation) et durera 1 an après la fin du traitement (la vitesse de déplacement des eaux souterraines au droit du site est de quelques dizaines de mètres par an ; il faut donc considérer ce délai pour s'assurer de l'influence du traitement en aval proche (entre 10 m et 30 m maximum).

**Le coût estimatif de ce dispositif de surveillance est de 30 k€.**

### 6.5.3 Surveillance de qualité de l'air

Elle sera assurée par des capteurs passifs de type Radiello. A minima, 1 capteur sera installé par établissement artisanal en fonctionnement (5 prévus) + 3 capteurs pour les riverains essentiellement au sud du site. Une fréquence mensuelle sera prévue pendant les travaux uniquement. Au moins 2 points d'état « 0 » seront faits avant travaux.

Des calculs de risques sanitaires seront réalisés sur la base des résultats analytiques collectés pour vérifier la compatibilité sanitaire de l'état environnemental de ce milieu avec les usages prévus dans le projet futur.

En cas de dépassement des seuils de référence, les travaux seront arrêtés immédiatement jusqu'à ce que l'entreprise trouve une solution de mise en conformité.

**Le coût estimatif de ce dispositif de surveillance est de 40 k€.**

## 6.6 Repli du chantier et réception post traitement

### 6.6.1 Principe

A l'issue du chantier, les installations seront repliées et les équipements de traitement démantelés. Les ouvrages seront rebouchés à l'exception des piézomètres et piézairs qui seront utilisés pour la surveillance air et eau.

La surveillance sera réalisée sur l'air ambiant et sur les eaux souterraines. Elle sera quadriennale à minima avec 2 campagnes par an. En lien avec les aménagements sur site et hors site, une surveillance sur une période de 4 années est prévue.

A ce stade, le dimensionnement de la surveillance est le suivant :

- air ambiant : 8 points de mesure (1point par équipement / aménagement projeté) ;
- eaux souterraines : 10 piézomètres (3 en zone source résiduelle et 7 dans le flux, y compris aval éloigné).

### 6.6.2 Budget

Le budget dédié est estimé à 20 k€ par an, soit pour 4 années de surveillance, **un total de 80 k€.**





## 7. Aspect sanitaire et aménagements constructifs

Au vu des concentrations relevées lors des diagnostics réalisés au droit du site, et les performances théoriques des techniques de réhabilitation envisagés, la mise en œuvre des travaux de réhabilitation ne permettra pas d'assurer la comptabilité sanitaire de l'état environnemental résiduel du site avec les usages futurs prévus dans le projet.

### 7.1 Données d'entrée retenues spécifiques à chaque zone

En plus des mesures générales d'aménagement, sont précisées ci-dessous les spécificités liées à chaque zone en termes de principes de mesures constructives retenues (présentées au chapitre 6.4) et de teneurs résiduelles en polluants prises en compte.

Rappelons qu'un travail complémentaire en concertation avec les équipes en charge du projet de construction/réhabilitation doit être mené afin d'optimiser les mesures constructives à mettre en œuvre.

#### 7.1.1 Zone 1 – Construction de logements de plain-pied – HORS CHAMP DU PRESENT PCT

Hypothèse constructive et concentrations retenues :

- en zone non saturée, concentration maximale dans les sols mesurées au-delà de 0,5 m de profondeur au droit de l'emprise de la zone 1 ; les sols pollués sont considérés être localisés à 10 cm sous la dalle ;
- en zone saturée, concentration maximale mesurée dans la nappe au droit de Pz1 et PzC ;
- aucune mesure constructive particulière.

#### 7.1.2 Zone 2 – Conservation du bâtiment existant avec extension, Activité en RdC

Hypothèse constructive et concentrations retenues :

- en zone non saturée, concentration maximale mesurée dans les sols au droit de l'emprise de la zone 2 ; les sols pollués sont considérés être localisés à 10 cm sous la dalle ;
- en zone saturée, concentration maximale mesurée dans la nappe au droit de Pz8 et Pz10 ;
- mise en place d'un dispositif constructif s'opposant au transfert des polluants vers l'air intérieur équivalent à un vide sanitaire ventilé classique. Un exemple de dispositif est disponible en **Annexe 3**.

#### 7.1.3 Zone 3 – Conservation du bâtiment existant avec extension, Activité en RdC

- en zone non saturée, concentration maximale mesurée dans les sols dans les sols au droit de l'emprise de la zone 3 ; les sols pollués sont considérés être localisés à 10 cm sous la dalle ;
- en zone saturée, concentration maximale mesurée dans la nappe au droit de Pz2 ;
- mise en place d'un dispositif constructif s'opposant au transfert des polluants vers l'air intérieur équivalent à un vide sanitaire ventilé classique. Un exemple de dispositif est disponible en **Annexe 3**.

#### 7.1.4 Zone 4 – Conservation partielle du bâtiment existant avec extension, activité en RdC et logements en R+1 (partiellement)

- en zone non saturée, concentration maximale mesurée dans les sols dans les sols au droit de l'emprise de la zone 4 ; les sols pollués sont considérés localisés à 10 cm sous la dalle ;
- en zone saturée, concentration maximale mesurée dans la nappe au droit de Pz1 et Pz9 ;
- mise en place d'un dispositif constructif s'opposant au transfert des polluants vers l'air intérieur équivalent à un vide sanitaire ventilé à étanchéité renforcée.

#### 7.1.5 Zone 5 – Construction de locaux de plain-pied, Activité en RdC

- en zone non saturée, l'abattement attendu d'au moins 50 % des teneurs dans les sols n'est à ce stade pas directement pris en compte : nous avons considéré dans le calcul les concentrations maximales en polluants mesurées, mais celles-ci ont été positionnées à 1 m de profondeur par rapport au dallage en se basant sur les données d'analyses et de sondages ;
- en zone saturée, concentration maximale mesurée dans la nappe au droit de Pz3 et PZ5 ;
- mise en place d'un dispositif constructif s'opposant au transfert des polluants vers l'air intérieur équivalent à un système de drainage des gaz sous bâtiment avec géomembrane d'étanchéité en sous face du dallage ; les mesures constructives à mettre en œuvre pourraient être allégées après prise en compte du facteur d'abattement.

#### 7.1.6 Zone 6 – Construction d'un hôtel de plain-pied

- en zone non saturée, après décapage de 0,5m des sols superficiels concentrations moyennes mesurées dans les sols au droit de l'emprise de la zone 6 car les impacts les plus forts sont ponctuels ;
- en zone saturée, concentration maximale mesurée dans la nappe au droit de Pz2, Pz6 et Pz7 ;
- mise en place d'un dispositif constructif s'opposant au transfert des polluants vers l'air intérieur équivalent à un vide sanitaire ventilé à étanchéité renforcée.

#### 7.1.7 Zone 7 – Construction de locaux de plein pied, Activité en RdC

- en zone non saturée, concentration résiduelle en polluants correspondant à un abattement des teneurs dans les sols de 50% après traitement (les concentrations correspondantes aux sondages T31 et T25=Pz4 ont été écartées car considérées comme excavées ou traitées par ailleurs) ; rappelons que ce facteur d'abattement est volontairement conservatoire ;
- en zone saturée, concentration maximale mesurée dans la nappe au droit de Pz5 ;
- mise en place d'un dispositif constructif s'opposant au transfert des polluants vers l'air intérieur équivalent à un système de drainage des gaz sous bâtiment avec géomembrane d'étanchéité en sous face du dallage.

## 7.2 Bilan des calculs de risque sanitaires

Les calculs réalisés pour chaque zone permettant d'obtenir une compatibilité sanitaire état des milieux / usages sont présentés dans le **Tableau 27** en tenant compte des dispositions constructives ou d'un abattement lié au traitement.

Tableau 27 : Synthèse des scénarii étudiés

| Zone   | Milieu considéré pour les calculs                 | Hypothèses constructives                                      | Disposition constructive considérée                         | Prise en compte des travaux de réhabilitation                       | Résultats des calculs                   | Somme des QD / ERI | Commentaires  | Compatibilité avec l'usage        | Robustesse des résultats          | Recommandations   | Zone   |      |
|--------|---|---|---|---|---|--------------------|---|-----------------------------------|-----------------------------------|---|--------|------|
| Zone 1 | Sol   | Logement de plain-pied  | décapage des sols sur 50 cm                                 | non   | QD sol adulte = 0,36                    | QD adulte          | Nouveau bâtiment : après décapage de 50 cm des sols existants, la compatibilité sanitaire est assurée en prenant les données sol + nappe. L'étude de sensibilité réalisée sur les gaz du sol confirme ce résultat | OUI                               | 1 seule campagne GDS              | Investigations complémentaires GDS pour confirmer les résultats   | Zone 1 |      |
|        |   |   |   |   | QD sol enfant = 0,36                    | QD adulte          |   |                                   |                                   |   |        | 0,39 |
|        | Nappe   |   |   |   | ERI sol adulte = $4,7 \cdot 10^{-06}$   | QD enfant          | 0,39  |                                   |                                   |   |        |      |
|        |   |   |   |   | ERI sol enfant = $7,1 \cdot 10^{-07}$   | ERI adulte         | 5,7E-06   |                                   |                                   |   |        |      |
| Zone 2 | Sol   | Bâtiment sur vide sanitaire                                   | oui : vide sanitaire  | non   | QD sol adulte = 0,02                    | QD adulte          | Bâtiment existant conservé : La compatibilité sanitaire est assurée par la présence du vide sanitaire.  | Oui avec disposition constructive | absence de données GDS            | Investigations complémentaires GDS ou air sous dalle confirmer les résultats voire pour s'affranchir de dispositions constructives  | Zone 2 |      |
|        |   |   |   |   | ERI sol adulte = $4,1 \cdot 10^{-07}$   | QD adulte          |   |                                   |                                   |   |        | 0,03 |
|        | Nappe   |   |   |   | QD nappe adulte = 0,01                  | ERI adulte         | 2,1E-06   |                                   |                                   |   |        |      |
|        |   |   |   |   | ERI nappe adulte = $1,7 \cdot 10^{-06}$ | ERI adulte         | 2,1E-06   |                                   |                                   |   |        |      |
| Zone 3 | Sol   | Bâtiment sur vide sanitaire                                   | oui : vide sanitaire  | non   | QD sol adulte = 0,23                    | QD adulte          | Bâtiment existant conservé : La compatibilité sanitaire est assurée par la présence du vide sanitaire.  | Oui avec disposition constructive | 1 seule campagne GDS              | Investigations complémentaires GDS pour confirmer les résultats voire pour s'affranchir de dispositions constructives   | Zone 3 |      |
|        |   |   |   |   | ERI sol adulte = $8,6 \cdot 10^{-06}$   | QD adulte          |   |                                   |                                   |   |        | 0,25 |
|        | Nappe   |   |   |   | QD nappe adulte = 0,02                  | ERI adulte         | 9,8E-06   |                                   |                                   |   |        |      |
|        |   |   |   |   | ERI nappe adulte = $1,2 \cdot 10^{-06}$ | ERI adulte         | 9,8E-06   |                                   |                                   |   |        |      |
| Zone 4 | Sol   | Bâtiment sur vide sanitaire                                   | oui : vide sanitaire  | non   | QD sol adulte = 0,15                    | QD adulte          | Bâtiment existant conservé : La compatibilité sanitaire est assurée par la présence du vide sanitaire.  | Oui avec disposition constructive | absence de données GDS            | Investigations complémentaires GDS ou air sous dalle pour confirmer la compatibilité sanitaire, éventuellement s'affranchir de dispositions constructives et/ou jouer sur les modalités de ces dispositions | Zone 4 |      |
|        |   |   |   |   | ERI sol adulte = $2,4 \cdot 10^{-06}$   | QD adulte          |   |                                   |                                   |   |        | 0,15 |
|        | Nappe   |   |   |   | QD nappe adulte = $9,99 \cdot 10^{-06}$ | ERI adulte         | 2,4E-06   |                                   |                                   |   |        |      |
|        |   |   |   |   | ERI nappe adulte = $9,1 \cdot 10^{-10}$ | ERI adulte         | 2,4E-06   |                                   |                                   |   |        |      |
| Zone 5 | Sol   | Bâtiment de plain-pied + drainage sous bâtiment               | oui : drainage sous bâtiment avec géomembrane sous la dalle | non   | QD sol adulte résident = 0,25           | QD adulte          | Nouveau bâtiment Installation au droit d'une zone source : disposition constructive obligatoire.  | Oui avec disposition constructive | Oui                               | Travail sur les dispositions constructives pour les adapter au mieux en prenant en compte les résultats des tests de traitabilité sur l'effet du traitement   | Zone 5 |      |
|        |   |   |   |   | QD sol adulte travailleur = 0,09        | QD travailleur     |   |                                   |                                   |   |        | 0,11 |
|        |   |   |   |   | QD sol enfant = 0,28                    | QD enfant          |   |                                   |                                   |   |        | 0,35 |
|        | ERI sol adulte résident = $2,2 \cdot 10^{-07}$    |   |   |   | ERI adulte                              | 4,52E-06           |   |                                   |                                   |   |        |      |
|        | ERI sol adulte travailleur = $8,2 \cdot 10^{-08}$ |   |   |   | ERI travailleur                         | 1,18E-06           |   |                                   |                                   |   |        |      |
|        | ERI sol enfant = $3,8 \cdot 10^{-08}$             |   |   |   | ERI enfant                              | 6,88E-07           |   |                                   |                                   |   |        |      |
| Nappe  | QD nappe adulte résident = 0,07                   | ERI adulte  | 4,52E-06  |   |   |                    |   |                                   |                                   |   |        |      |
|        | QD nappe adulte travailleur = 0,02                | ERI travailleur   | 1,18E-06  |   |   |                    |   |                                   |                                   |   |        |      |
|        | QD nappe enfant = 0,07                            | ERI enfant  | 6,88E-07  |   |   |                    |   |                                   |                                   |   |        |      |
| Zone 6 | Sol   | Hôtel sur vide sanitaire                                      | décapage des sols sur 50 cm                                 | concentrations moyennes considérées sur la zone                     | QD sol adulte résident = 0,24           | QD adulte          | Nouveau bâtiment : La compatibilité sanitaire est assurée après décapage des sols sur 50 cm, prise en compte des concentrations sol moyennes ou centile 90 et mise en place d'un vide sanitaire.                  | Oui avec disposition constructive | 1 seule campagne GDS              | Investigations complémentaires GDS pour confirmer les résultats du scénario 1 et adapter au mieux les modalités des mesures constructives   | Zone 6 |      |
|        |   |   |   |   | QD sol adulte travailleur = 0,12        | QD travailleur     |   |                                   |                                   |   |        | 0,13 |
|        |   |   |   |   | QD sol enfant = 0,31                    | QD enfant          |   |                                   |                                   |   |        | 0,33 |
|        | ERI sol adulte résident = $4,4 \cdot 10^{-06}$    |   |   |   | ERI adulte                              | 5,9E-06            |   |                                   |                                   |   |        |      |
|        | ERI sol adulte travailleur = $2,2 \cdot 10^{-06}$ |   |   |   | ERI travailleur                         | 2,6E-06            |   |                                   |                                   |   |        |      |
|        | ERI sol enfant = $8,4 \cdot 10^{-07}$             |   |   |   | ERI enfant                              | 1,08E-06           |   |                                   |                                   |   |        |      |
| Nappe  | QD nappe adulte résident = 0,02                   | ERI adulte  | 5,9E-06   |   |   |                    |   |                                   |                                   |   |        |      |
|        | QD nappe adulte travailleur = 0,01                | ERI travailleur   | 2,6E-06   |   |   |                    |   |                                   |                                   |   |        |      |
|        | QD nappe enfant = 0,02                            | ERI enfant  | 1,08E-06  |   |   |                    |   |                                   |                                   |   |        |      |
| Zone 7 | Sol   | Bâtiment de plain-pied + drainage sous bâtiment + 50 % CC max | oui : drainage sous bâtiment avec géomembrane sous la dalle | Oui : abattement des concentrations sols de 50% suite au traitement | QD sol adulte = 0,12                    | QD adulte          | Nouveau bâtiment Installation au droit d'une zone source : disposition constructive obligatoire. L'effet du traitement permet d'obtenir la compatibilité sanitaire  | Oui avec disposition constructive | Oui avec disposition constructive | Travail sur les dispositions constructives pour les adapter au mieux en prenant en compte les résultats des tests de traitabilité sur l'effet du traitement   | Zone 7 |      |
|        |   |   |   |   | ERI sol adulte = $8,3 \cdot 10^{-06}$   | QD adulte          |   |                                   |                                   |   |        | 0,14 |
|        | Nappe   |   |   |   | QD nappe adulte = 0,02                  | ERI adulte         | 9,4E-06   |                                   |                                   |   |        |      |
|        |   |   |   |   | ERI nappe adulte = $1,1 \cdot 10^{-06}$ | ERI adulte         | 9,4E-06   |                                   |                                   |   |        |      |

## 8. Synthèse

Le site de l'ancienne usine EIF est localisé dans le quartier des « Murs à Pêches » dans le haut Montreuil (93) ; cette emprise foncière est incluse dans l'assiette foncière de l'un des sites de l'appel à projet « Réinventons la Métropole du Grand Paris ».

Le terrain de l'appel à projet, d'une superficie d'environ 2 ha, est occupée en partie par des maisons individuelles, une zone en friche, en partie centrale l'ancienne usine EIF, et à l'ouest la partie concernée par un appel à projet d'agriculture urbaine (dite « zone AAP »). Le terrain objet du présent plan de conception de travaux couvre uniquement l'ancienne usine EIF

BOUYGUES IMMOBILIER UrbanEra, lauréat de l'appel à projet, a étudié, en concertation avec l'EPFIF, les modalités de réaménagement de l'emprise EIF et des parcelles situées à l'est de ce terrain, en particulier le traitement des zones source et des zones de pollution concentrée situées au droit du terrain EIF.

Dans ce cadre, BOUYGUES IMMOBILIER UrbanEra a confié à BURGEAP la réalisation d'un plan de gestion, objet du rapport référencé RSSIF08117-04 en date du 21/12/2018. Ce plan de gestion s'est notamment appuyé sur la réalisation d'un essai de traitabilité, objet du rapport référencé RESICE08481-01 en date du 12/12/2018.

A partir de ces précédentes études, BOUYGUES IMMOBILIER UrbanEra a confié à BURGEAP la réalisation du plan de conception des travaux (PCT) de remise en état du terrain EIF, objet du présent rapport.

Les deux principales zones à traiter renferment l'une principalement des COHV et l'autre des BTEX ; ces zones sont en partie disjointes.

A l'issue du plan de gestion, les seuils de traitement retenus sont :

- 200 mg/kg pour les BTEX ;
- 250 mg/kg pour les COHV.

**Le stock de polluants estimés dans les zones de pollution concentrée ainsi déterminée représente 9,74 tonnes pour 11,16 tonnes totalisées pour les BTEX, soit 87,2 % et 14,1 tonnes pour 15,4 tonnes totalisées pour les COHV, soit 92 %.**

Les techniques sélectionnées doivent donc être aptes à traiter les COHV et les BTEX. Au stade du plan de gestion, les techniques retenues étaient :

- la réduction chimique et biologique pour la zone saturée ;
- le venting pour la zone non saturée ;
- l'extraction multiphase pour la zone saturée ;
- le traitement par excavation et évacuation des terres impactées hors site.

BOUYGUES IMMOBILIER UrbanEra a missionné BURGEAP pour la réalisation d'essais pilote pour l'ensemble des techniques de traitement in situ envisageables. En effet, l'évacuation hors site ne demande aucun essai préalable à sa mise en œuvre, seul un maillage suffisamment dense de sondages en préalable est un gage pour la fiabilité des estimations de volume à évacuer vers les différentes filières hors site.



Pour le traitement de la zone non saturée, les techniques suivantes ont été dimensionnées :

- traitement de la zone source en zone non saturée autour de T31 ;
- traitement par venting ;
- traitement des déblais des pieux et longrines et traitement de l'ensemble du site par excavation sur 50 cm de profondeur (10 cm de profondeur au droit de la sente végétalisée).

Pour le traitement de la zone non saturée, les techniques suivantes ont été dimensionnées :

- cas particulier de la zone du sondage T34 – Traitement par extraction multi-phase ;
- traitement par réduction
- traitement de la zone source en zone saturée autour de T25 par excavation et élimination hors site.

Les éléments suivants ont également été dimensionnés et chiffrés :

- dispositions constructives spécifiques :
  - drainage de gaz sous bâtiment ;
  - vide-sanitaire sous bâtiment (dimensionnement et chiffrage établis par le bureau d'études ACI) ;
- surveillance environnementale pendant le chantier (eaux souterraines et air) ;
- repli du chantier et réception post traitement.

En synthèse, le récapitulatif du budget global est présenté dans le tableau suivant :

| Postes   | Détail  | Coût<br>€ H.T.      | MOE               | Coordination /<br>sécurité |
|--|---|---------------------|-------------------|----------------------------|
| Traitement de la zone<br>non saturée             | Traitement de la zone T31 - Evacuation hors site  | 65 000,00           | 7 800,00          | 1 950,00                   |
|  | Traitement par venting  | 270 000,00          | 32 400,00         | 8 100,00                   |
|  | Traitement des déblais des pieux/longrines  | 130 000,00          | 15 600,00         | 3 900,00                   |
|  | Décapage superficiel sur l'ensemble du site<br>(y compris zone logements) - hypothèse moyenne | 314 500,00          | 37 740,00         | 9 435,00                   |
| Traitement de la zone<br>saturée                 | Traitement de la zone T34 - EMP   | 118 000,00          | 17 040,00         | 3 540,00                   |
|  | Traitement par réduction  | 551 500,00          | 66 180,00         | 16 545,00                  |
|  | Traitement de la zone T25 - Evacuation hors site  | 170 200,00          | 20 424,00         | 5 106,00                   |
| Dispositions constructives                       | Drainage des gaz sous bâtiment  | 210 000,00          | 17 400,00         | 6 300,00                   |
|  | Vide-sanitaire sous bâtiment (chiffrage ACI)  | 340 000,00          | -                 | -                          |
| Surveillance des milieux<br>durant le traitement | Qualité des eaux souterraines   | 30 000,00           | -                 | -                          |
|  | Qualité de l'air  | 40 000,00           | -                 | -                          |
| Surveillance post-<br>traitement                 | Budget estimatif de 20 k€ H.T. durant 4 ans   | 80 000,00           | -                 | -                          |
| <b>TOTAL PREVISIONNEL</b>                        |   | <b>2 319 200,00</b> | <b>214 584,00</b> | <b>54 876,00</b>           |
| Incertitude                                      |   | 20 %                |                   |                            |



# ANNEXES

# **Annexe 1.**

## **Rapport d'essai de traitabilité des techniques de traitement testées par BURGEAP au droit du site (rapport RESICE08481-01 du 06/12/2018)**

Cette annexe contient 168 pages

# BOUYGUES IMMOBILIER 92 URBANERA

Reconversion de l'usine EIF  
Rue Pierre de Montreuil à MONTREUIL (93)

## Compte rendu d'essais de traitabilité

Rapport

Réf : CESIIF180888 / RESIIF08481-01

JV / AR / ABU

06/12/2018




## BOUYGUES IMMOBILIER URBANERA

### Reconversion de l'usine EIF Rue Pierre de Montreuil à MONTREUIL (93)

#### Compte rendu d'essais de traitabilité

Pour cette étude, le chef du projet est Anne Kevine ROBIN assisté de Mathieu OUGIER

| Objet de l'indice | Date       | Indice | Rédaction    |           | Vérification |   | Validation/Supervision |           |
|-------------------|------------|--------|--------------|-----------|--------------|---|------------------------|-----------|
|                   |            |        | Nom          | Signature | Nom          | Signature   | Nom                    | Signature |
| Rapport           | 06/12/2018 | 01     | J.VILLEMAGNE |           | A. ROGER     |  | A;BARITEAU             |           |
|                   |            |        |              |           |              |   |                        |           |
|                   |            |        |              |           |              |   |                        |           |
|                   |            |        |              |           |              |   |                        |           |

|                                  |  |
|----------------------------------|--|
| Numéro de contrat / de rapport : | Réf : CESIIF180888 / RESIIF08481-01                                    |
| Numéro d'affaire :               | A14457   |
| Domaine technique :              | SP13   |
| Mots clé du thésaurus            | ESSAI DE TRAITABILITE<br>REDUCTION<br>VENTING<br>EXTRACTION MULTIPHASE |

Agence Ile-de-France – site de Paris - 27, rue de Vanves – 92772 Boulogne Billancourt Cedex  
Tél : 01.46.10.25.70 • Fax : 01.46.10.25.64 - [agence.de.paris@burgeap.fr](mailto:agence.de.paris@burgeap.fr)



## SOMMAIRE

|           |  |           |
|-----------|--|-----------|
| <b>1.</b> | <b>Introduction .....</b>                                      | <b>5</b>  |
| 1.1       | Objet de l'étude.....  | 5         |
| 1.2       | Méthodologie générale et réglementation en vigueur.....        | 6         |
| <b>2.</b> | <b>Techniques testées pour les essais.....</b>                 | <b>7</b>  |
| 2.1       | Objectifs du traitement et techniques testées .....            | 7         |
| 2.1.1     | Matrice à traiter .....  | 7         |
| 2.1.2     | Seuils de traitement et volume de sols à traiter.....          | 7         |
| 2.2       | Sélection des techniques .....                                 | 8         |
| <b>3.</b> | <b>Essais Réalisés .....</b>                                   | <b>8</b>  |
| 3.1       | Planning d'exécution .....                                     | 8         |
| 3.2       | QHSE .....   | 9         |
| <b>4.</b> | <b>Implantation des ouvrages pour les essais in situ .....</b> | <b>9</b>  |
| <b>5.</b> | <b>Essai de venting.....</b>                                   | <b>11</b> |
| 5.1       | Principe d'un traitement par venting.....                      | 11        |
| 5.2       | Objectifs des essais de venting.....                           | 12        |
| 5.3       | Mise en œuvre des essais de venting in situ .....              | 12        |
| 5.3.1     | Moyens mis en œuvre.....                                       | 12        |
| 5.3.2     | Préparation.....   | 13        |
| 5.3.3     | Installation des ouvrages de venting .....                     | 13        |
| 5.4       | Réalisation des essais .....                                   | 16        |
| 5.4.1     | Essais par paliers.....  | 16        |
| 5.4.2     | Essai longue durée en zone Nord .....                          | 20        |
| 5.4.3     | Analyse des gaz extraits .....                                 | 22        |
| 5.4.4     | Flux de polluants et délai de traitement.....                  | 23        |
| <b>6.</b> | <b>Essai de réduction .....</b>                                | <b>24</b> |
| 6.1       | Objectifs de l'essai .....                                     | 24        |
| 6.2       | Essai d'injection .....  | 25        |
| 6.2.1     | Matériels et produits.....                                     | 25        |
| 6.2.2     | Mise en œuvre .....  | 25        |
| 6.2.3     | Résultats .....  | 25        |
| 6.3       | Essai de réduction en laboratoire.....                         | 27        |
| 6.3.1     | Principe de traitement .....                                   | 27        |
| 6.3.2     | Réalisation des pilotes .....                                  | 27        |
| 6.4       | Résultats .....  | 28        |
| 6.4.1     | Réduction des BTEX.....  | 28        |
| 6.4.2     | Réduction des chloroéthènes.....                               | 30        |
| 6.4.3     | Conclusion des essais de réduction en laboratoire .....        | 32        |
| <b>7.</b> | <b>Essai d'extraction multiphasique .....</b>                  | <b>32</b> |
| 7.1       | Principe de traitement.....                                    | 32        |
| 7.2       | Objectifs .....  | 32        |
| 7.3       | Mise en œuvre des essais d'extraction multiphase .....         | 33        |
| 7.3.1     | Moyens mis en œuvre.....                                       | 33        |
| 7.3.2     | Réalisation d'ouvrages d'essais et de pilotage.....            | 34        |
| 7.4       | Réalisation des essais .....                                   | 34        |
| 7.4.1     | Méthodologie appliquée .....                                   | 34        |
| 7.4.2     | Essais au droit de l'ouvrage PZEMP1 .....                      | 35        |
| 7.4.3     | Essais au droit de l'ouvrage PZ4ESV .....                      | 39        |
| <b>8.</b> | <b>Conclusions des essais de traitement.....</b>               | <b>43</b> |

## FIGURES

|   |    |
|---|----|
| Figure 1 : Localisation de la zone de l'étude et emprise de l'ancien site industriel.....                                 | 5  |
| Figure 2 : Implantation des ouvrages de traitement.....   | 10 |
| Figure 3 : Skid de venting.....   | 13 |
| Figure 4 : localisation des ouvrages de venting, zone source COHV et BTEX.....  | 14 |
| Figure 5 : localisation des ouvrages de venting, zone source COHV.....  | 15 |
| Figure 6 : Fiche synthétique de l'essai d'injection.....  | 26 |
| Figure 7 : Dégradation des chloroéthènes par voie biologique.....   | 27 |
| Figure 8 : Illustration de la performance de la réduction in situ pour les BTEX (extrait rapport ENOVEO en annexe 5)..... | 29 |
| Figure 9 : Illustration de la performance de la réduction in situ pour les chloroéthènes (extrait rapport ENOVEO).....    | 31 |
| Figure 10 : Skid d'extraction multiphases.....  | 33 |
| Figure 11 : Essais d'EMP réalisés au droit de l'ouvrage PZEMP1.....   | 36 |
| Figure 12 : Essais d'EMP réalisés au droit de l'ouvrage PZ4ESV.....   | 40 |

## TABLEAUX

|  |    |
|--|----|
| Tableau 1 : Missions réalisées.....  | 6  |
| Tableau 2 : Synthèse du bilan massique.....  | 7  |
| Tableau 3 : Planning d'exécution des essais in situ.....   | 8  |
| Tableau 4 : codes AFNOR associés aux techniques de ventilation mécanique in situ.....                        | 12 |
| Tableau 5 : Résultats des analyses des sols de la zone non saturée au niveau des zones d'essais.....         | 15 |
| Tableau 6 : Résultats des essais de venting longue durée en zone Nord.....                                   | 21 |
| Tableau 7 : Résultats des analyses des gaz extrait en zone centrale.....                                     | 22 |
| Tableau 8 : Flux extraits en g/h.....  | 23 |
| Tableau 9 : Mission réalisée.....  | 24 |
| Tableau 10 : Résultats des essais de réduction chimique des chloroéthènes.....                               | 30 |
| Tableau 11 : Résultats des essais de réduction biologique des chloroéthènes.....                             | 30 |
| Tableau 12 : Résultats des essais de réduction chimique et biologique des chloroéthènes.....                 | 30 |
| Tableau 13 : Résultats d'analyses d'eau en fin d'essai au droit de l'ouvrage PZEMP1.....                     | 37 |
| Tableau 14 : Résultats d'analyses d'air en fin d'essai au droit de l'ouvrage PZEMP1.....                     | 38 |
| Tableau 15 : Résultats d'analyses d'air en début d'essai et en fin d'essai au droit de l'ouvrage PZ4ESV..... | 41 |

## ANNEXES

|  |
|--|
| Annexe 1. Coupes des nouveaux ouvrages                         |
| Annexe 2. Monitoring du venting                                |
| Annexe 3. Bordereaux des analyses d'air lors du venting        |
| Annexe 4. Bordereaux des analyses d'eaux lors du pilote ENOVEO |
| Annexe 5. Rapport d'ENOVEO                                     |
| Annexe 6. Bordereaux des analyses d'eau lors de l'EMP          |
| Annexe 7. Bordereaux des analyses d'air lors de l'EMP          |

## 1. Introduction

### 1.1 Objet de l'étude

Le site de l'ancienne usine EIF et ses abords est localisé dans le quartier des « Murs à Pêches » dans le haut Montreuil (93) ; cette emprise foncière est un des sites de l'appel à projet « Réinventons la Métropole du Grand Paris ».

L'emprise à réaménager, d'une superficie d'environ 2 ha, est occupée en partie est par des maisons individuelles, une zone en friche, en partie centrale un ancien site industriel, l'usine EIF et à l'ouest la partie « site classé » (**Figure 1**).



**Figure 1 : Localisation de la zone de l'étude et emprise de l'ancien site industriel**

L'objet de cette note est présenté les essais de traitement des zones sources localisées dans l'emprise de l'ancien site industrielle. La délimitation de ces zones source et leur caractéristique sont décrites dans le plan de gestion référence RESIIF08117-03 du 21/11/2018.



## 2. Techniques testées pour les essais

### 2.1 Objectifs du traitement et techniques testées

#### 2.1.1 Matrice à traiter

Les sols du site à traiter sont répartis en deux zones source principales renfermant l'une principalement des COHV et l'autre des BTEX qui sont les principaux polluants identifiés au droit du site.

La succession lithologique au droit du site est la suivante :

- remblais d'épaisseur et d'origines diverses selon les zones (en moyenne, 1,50 m) ;
- calcaires de Brie, constitués à la base par des marnes blanchâtres et au sommet par des calcaires avec la présence éparsée de blocs de meulières ; l'épaisseur moyenne de cette formation est d'environ 3 m ;
- marnes vertes, dont l'épaisseur est estimée à 5 m environ (cet horizon n'a pas été entièrement recoupé lors des investigations réalisées au droit du site).

La limite calcaire de Brie/ marne verte n'est pas franche et on observe au droit de certains sondages des « surépaisseurs » de marnes ou au contraire leur quasi absence.

Les formations de Brie contiennent une nappe perchée sur les argiles vertes. Un essai de pompage a été réalisé par SUEZ pour le compte de l'EPFIF en mars 2018. Les essais ont été réalisés sur les ouvrages PZ13 et PZ14. Il a été mis en évidence un aquifère de faible perméabilité comprise entre  $5 \cdot 10^{-6}$  et  $5 \cdot 10^{-7}$ . Dans le même des mesures granulométriques ont été réalisées sur un échantillon de calcaire de Brie : sa porosité totale est de 35,1%. La granulométrie est la suivante : Argile 48,7%, Silt 24,1% et Sable : 27,2% .

#### 2.1.2 Seuils de traitement et volume de sols à traiter

A l'issue du plan de gestion, les seuils de traitement retenus sont :

- 200 mg/kg pour les BTEX ;
- 250 mg/kg pour les COHV.

Le volume de sols à traiter a été évalué à environ **7 400 m<sup>3</sup>** pour l'ensemble des zones sources (Tableau 2).

**Tableau 2 : Synthèse du bilan massique**

|                     | Profondeur | COHV 250 + BTEX 200 |                  | BTEX >200 - COHV <250 |           | BTEX < 200 - COHV >250 |           | Total ZNS | total ZS  |
|---------------------|------------|---------------------|------------------|-----------------------|-----------|------------------------|-----------|-----------|-----------|
|                     |            | Surface commune m2  | Volume commun m3 | Surface m2            | Volume m3 | Surface m2             | Volume m3 | Volume m3 | Volume m3 |
| REMBLAIS            | 0-0,5      | 54                  | 27               | 888                   | 444       | 912                    | 456       | 3 394     |           |
|                     | 0,5-1      | 60                  | 30               | 792                   | 396       | 744                    | 372       |           |           |
|                     | 1-1,5      | 73                  | 37               | 857                   | 429       | 729                    | 365       |           |           |
|                     | 1,5-2      | 125                 | 63               | 881                   | 441       | 673                    | 337       |           |           |
| MARNES              | 2-2,5      | 232                 | 116              | 932                   | 466       | 554                    | 277       |           | 2 574     |
|                     | 2,5-3      | 250                 | 125              | 968                   | 484       | 512                    | 256       |           |           |
|                     | 3-3,5      | 260                 | 130              | 960                   | 480       | 480                    | 240       |           |           |
| ARGILES +- MARNEUSE | 3,5-4      | 266                 | 133              | 948                   | 474       | 456                    | 228       |           | 1 410     |
|                     | 4-4,5      | 273                 | 137              |                       |           | 447                    | 224       |           |           |
|                     | 4-4,8      | 272                 | 82               |                       |           | 445                    | 133       |           |           |
|                     | Total      |                     | 878              |                       | 3 613     |                        | 2 887     | 3 394     | 3 984     |



## 2.2 Sélection des techniques

Les techniques sélectionnées doivent être aptes à traiter les COHV et les BTEX. Au stade du plan de gestion, les techniques retenues étaient :

- le venting pour la zone non saturée ;
- l'extraction multiphase pour la zone saturée ;
- la réduction chimique et biologique pour la zone saturée ;
- le traitement par évacuation des terres impactées hors site.

## 3. Essais Réalisés

### 3.1 Planning d'exécution

Les essais de réduction en laboratoire, prestation B111, ont été confiés au laboratoire spécialisé ENOVEO.

Les essais in situ, prestation B112, ont été mis en œuvre par BURGEAP. La réalisation des essais s'est faite selon le programme suivant (Tableau3).

**Tableau 3 : Planning d'exécution des essais in situ**

| Date       | Opération  | Détails                      |                                       | Intervenants               |
|------------|--|------------------------------|---------------------------------------|----------------------------|
| 09-févr-18 | prélèvements de sols vers T25  | prélèvements de sols         | T25                                   | BURGEAP/ATME               |
| 28-mars-18 | prélèvements d'eaux en PZ4 pour les essais chez ENOVEO                     | prélèvement d'eau 20l        | PZ4                                   | BURGEAP                    |
| 02-mai-18  | mise en place des nouveaux ouvrages de venting et d'extraction multiphases | 3 piézaires en zone Centrale | PZV1, PZV2, PZV3, à proximité de PZG1 | BURGEAP/AGRI ENVIRONNEMENT |
|            |  | 1 puits d'EMP                | PZ4e                                  |                            |
|            |  | 2 piézomètres de contrôle    | PZ4EMP1 et PZ4                        |                            |
| 03-mai-18  | essais d'injection   |                              |                                       | BURGEAP/AGRI ENVIRONNEMENT |
| 04-mai-18  | fin des essais et repli  |                              |                                       |                            |
| 25-mai-18  | Réalisation d'ouvrages complémentaires                                     | 3 piézaires en zone Nord     | PZV4, PZV5, PZV6                      | BURGEAP /ATME              |
|            |  | 1 puits d'EMP en secteur Sud | PZ3e                                  |                            |
| 28-mai-18  | essai de venting sur la zone centrale                                      |                              |                                       | BURGEAP                    |
| 29-mai-18  | essai de venting sur la zone Nord  |                              |                                       |                            |
| 30-mai-18  | Essai d'EMP en zone Sud  |                              |                                       |                            |
| 31-mai-18  | Essai d'EMP en zone Centrale   |                              |                                       |                            |
| 01-juin-18 | Fin des essais et rangement  |                              |                                       |                            |
| 04-juin-18 | Repli  |                              |                                       |                            |

### 3.2 QHSE

Un PAQ a été émis préalablement aux essais. Un plan de prévention a été rédigé et transmis aux organismes de référence. Les DICT ont été faites par BURGEAP. Concernant les déchets et les rejets :

- les cuttings de forage ont été conditionnés en big bags et stockés à l'intérieur du bâtiment EIF : 2 big bags de 2 tonnes environ ;
- les eaux de nappe pompées ont été rejetées au réseau eaux usées après traitement sur charbon actif : cf. chapitre 6.4.2.3.

## 4. Implantation des ouvrages pour les essais in situ

Les ouvrages utilisés pour les essais sont présentés sur la figure 2. Les ouvrages suivants, existants, ont été réutilisés :

- PZG1 ;
- PZ4 ;
- PZ3.

Afin de pouvoir réaliser les essais de traitabilité présentés ci-après, il a été nécessaire de réaliser neuf ouvrages supplémentaires présentés dans la figure 2.

Les ouvrages ont été réalisés en deux phases, la première en semaine 18 par AGRI ENVIRONNEMENT (PZV1, PZV2, PZV3, PZ4ESV et PZ4C), la seconde par ATME en semaine 21 (PZV4, PZV5, PZV6 et PZEMP1).

Ils ont été forés à la tarière creuse/tarière pleine jusqu'à des profondeurs de 6 m pour les piézomètres eau et 1 m pour les piézomètres gaz. Leurs caractéristiques techniques sont les suivantes :

- Tube PVC ou PEHD pour les piézomètres eau en diamètre intérieur 80 mm ;
- Tube PVC ou PEHD pour les piézomètres gaz en diamètre intérieur 50 et 25 mm.

Pour les piézomètres gaz, au-dessus du niveau crépiné, l'espace annulaire est comblé par de la bentonite sur 30 cm et au-dessus par 20 cm de ciment.

Les coupes des ouvrages sont disponibles en **Annexe 1**.

- Pour la zone au droit de l'ouvrage PZ3, l'aquifère est plutôt marneux. Pour la zone au droit de l'ouvrage PZ4, l'aquifère est plus argileux. Au droit de ce dernier ouvrage, 1 piézomètre de contrôle et 1 piézomètre d'extraction ont été mis en place tandis qu'au niveau de l'ouvrage PZ3, un ouvrage d'extraction a été installé.

Les ouvrages PZG1, PZV3 et PZV2 sont situés respectivement à 1,5, 3 et 5 m de distance du puits d'extraction PZV1 lors de l'essai de venting réalisé au droit de cet ouvrage.

De la même manière les ouvrages PZV5 et PZV6 sont situés respectivement à 1,5 et 3 m de distance du puits d'extraction PZV4.

Concernant les essais d'extraction multiphase, ils ont été réalisés au droit des piézomètres PZ3 et PZ4. Des contrôles de niveau d'eau ont été fait au droit des ouvrages PZEMP1, PZ4ESV et PZ4C.

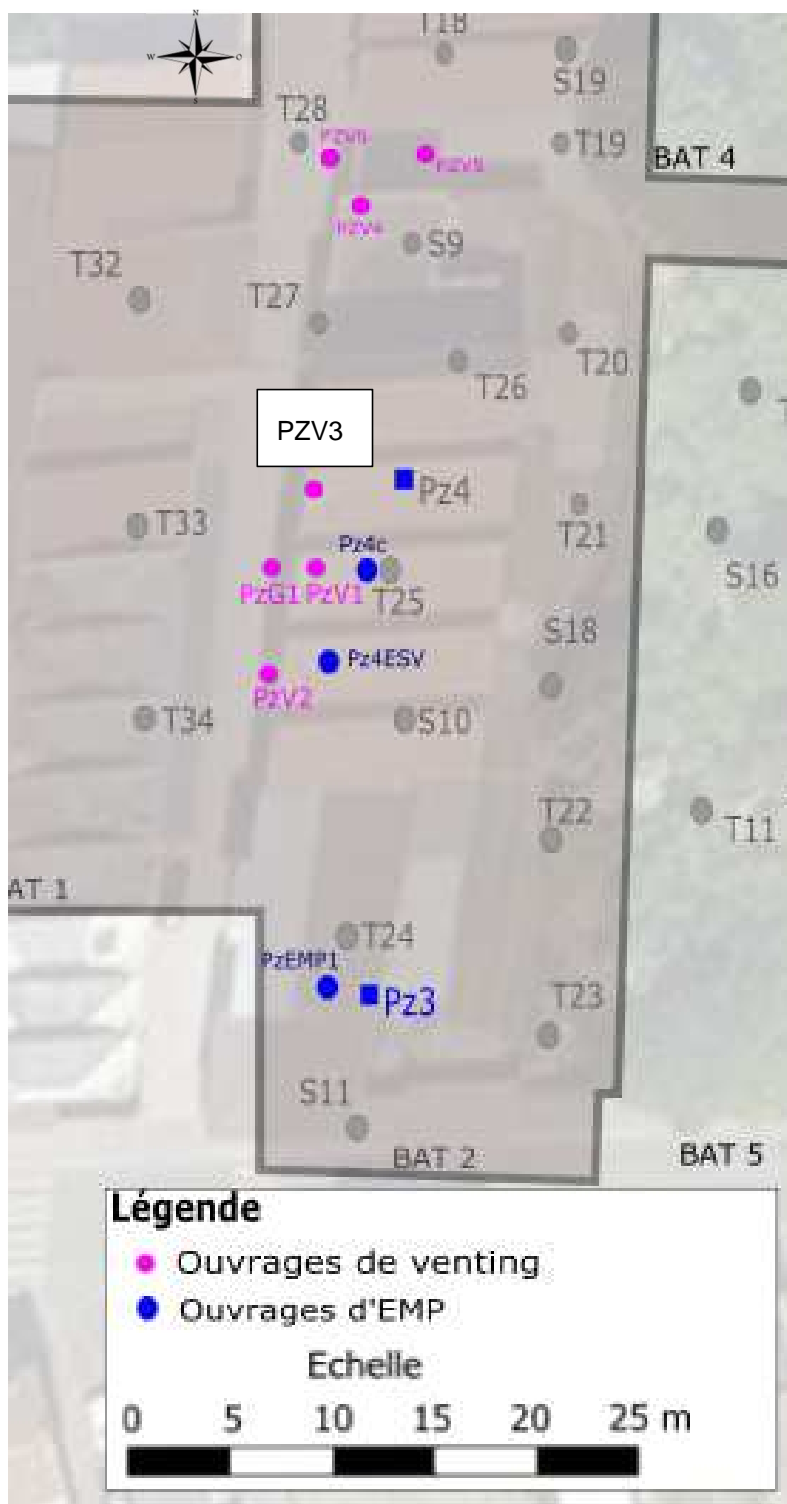


Figure 2 : Implantation des ouvrages de traitement

## 5. Essai de venting

Le «venting» est un procédé in-situ permettant d'extraire les composés organiques volatils de la zone insaturée (phase pure, adsorbée, gazeuse et dissoute dans l'eau interstitielle). Cette technique consiste à mettre en dépression la zone insaturée et à induire des circulations d'air centrées sur et en direction de chaque puits d'extraction souvent appelé « aiguille ». Le traitement par venting ne concerne que les zones non saturées.

Le renouvellement de l'air dans les pores du sol a pour conséquence de modifier les équilibres chimiques entre les différentes phases présentes. Ainsi, au cours de son passage à travers la zone contaminée, l'air se « charge » en polluant volatils et déplace l'équilibre de volatilisation des composés sorbés sur les grains de sols. Ces gaz sont récupérés dans les points d'extraction et traités en surface

L'objectif est de mesurer la faisabilité d'un traitement par venting et d'acquérir les données de terrain permettant d'appréhender la réponse du milieu à la mise en dépression du sol. Les essais sont réalisés au niveau de la source de pollution dans la zone non saturée dans l'horizon de remblais limono sableux à limono argileux entre 0 et 2m.

### 5.1 Principe d'un traitement par venting

Le venting consiste à une mise en dépression du sol pour désorber les polluants volatils et les extraire par aspiration. L'air vicié extrait est traité avant rejet à l'atmosphère. Les polluants extraits sont soit adsorbés sur charbon actif, soit détruits par oxydation catalytique ou sur biofiltre ; au stade des essais in situ, les polluants sont adsorbés sur charbon.

Le venting est une technique favorable dans les cas suivants :

*Pression de vapeur :*

- ce paramètre est le plus important pour évaluer l'efficacité d'un venting. La pression de vapeur d'un polluant représente sa capacité à se volatiliser ;
- les composés ayant une pression de vapeur supérieure 0,13 kPa (10 mmHg) sont facilement traitables par venting. C'est le cas pour tous les composés d'intérêt sur le site EIF ;
- par exemple pour le PCE, la pression de vapeur est comprise entre 1.9 kPa (20°C) - 2.462 KPa (25°C), **ce qui confirme la capacité du traitement à extraire ce produit**
- par exemple pour le benzène, la pression de vapeur est comprise entre 10 kPa (20°C) – 12,6 KPa (25°C), **ce qui confirme la capacité du traitement à extraire ce produit.**

*Constante de Henry :*

- cette constante décrit la tendance d'un constituant dissous à se répartir entre la phase gazeuse et la phase dissoute et donc de déterminer si un polluant dissous dans l'eau du sol pourra se volatiliser lors de la mise en oeuvre du venting ;
- les polluants ayant une constante de Henry supérieure à 0,01 sont généralement facilement extractibles par venting ;
- dans le cas du PCE, la constante de Henry est de 0,754 (à 25°C), **ce qui permet d'affirmer que le composé est facilement extractible par cette technique ;**
- dans le cas du benzène, la constante de Henry est de 0,229 (à 25°C), **ce qui permet d'affirmer que le composé est facilement extractible par cette technique.** Les autres BTEX ont également une constante de Henry supérieure à 0,01.

Le bioventing est associé au venting dans la mesure où la circulation d'air induite par le venting, ou augmentée par une injection d'air complémentaire, permet pour certains polluants une dégradation biologique dont le produit de dégradation est le dioxyde de carbone.

Ces traitements sont couramment mis en œuvre dans le cas de COV. Les codes AFNOR associés à cette technique sont les suivants :

**Tableau 4 : codes AFNOR associés aux techniques de ventilation mécanique in situ**

| Code         | Prestation |
|--------------|------------|
| <b>C311a</b> | Venting    |
| <b>C315b</b> | Bioventing |

## 5.2 Objectifs des essais de venting

Les essais ont pour objectifs :

- la détermination de leur faisabilité ;
- l'évaluation de la réponse du milieu :
  - dépression acceptable ;
  - débit d'air par pointe ;
  - flux de polluants à l'état initial ;
- le rayon d'influence pour déterminer le nombre d'ouvrages de venting à mettre en œuvre ;
- l'évaluation du flux à traiter.

## 5.3 Mise en œuvre des essais de venting in situ

### 5.3.1 Moyens mis en œuvre

Le skid de venting est composé :

- d'un support métallique ;
- d'un séparateur de condensats PEHD, fonctionnant pour un débit d'air entre 10 et 800 m<sup>3</sup>/h avec sécurité niveau haut ;
- d'un extracteur d'air: turbine à canal latéral avec soupape de sécurité, débit max. 150 m<sup>3</sup>/h et dépression max. -200 mbar ;
- d'un filtre à charbon actif air de 160 l pour un débit d'air entre 10 et 150 m<sup>3</sup>/h.



**Figure 3 : Skid de venting**



Les équipements de mesures ont été :

- PID ppm 10,6 eV,
- Pompe d'échantillonnage d'air à soufflet, clapet ou péristaltique. La pompe à clapet permet le pompage de l'air dans le réseau en dépression, l'échantillonnage étant réalisé par la pompe Gilair,
- Nourrice pour raccorder plusieurs ouvrages de contrôles simultanément ;
- Pompe d'échantillonnage d'air Gilair plus – débit 1 à 5000 ml/min, précision de la mesure à débit constant : 5%- alimentation batterie IP54,
- Débitmètre GO-Cal,
- Micromanomètre 0-200 mbar,
- Anémomètre sonde vitesse air chaud 0-40 m/s,
- Détecteur CH<sub>4</sub> / H<sub>2</sub>S résolution 10 ppm.
- Détecteur CO<sub>2</sub> – O<sub>2</sub> de type analyseur biogaz.

L'alimentation a été faite depuis l'atelier du menuisier voisin. Un coffret électrique a été acheté par BURGEAP. La puissance installée a été de 3 KW en monophasée, protection 16A.

### 5.3.2 Préparation

Les étapes successives de l'opération sont :

- mise en place des ouvrages : Prestataire = AGRI ENVIRONNEMENT ;
- mise à disposition des équipements et livraison = PLM Equipements.

### 5.3.3 Installation des ouvrages de venting

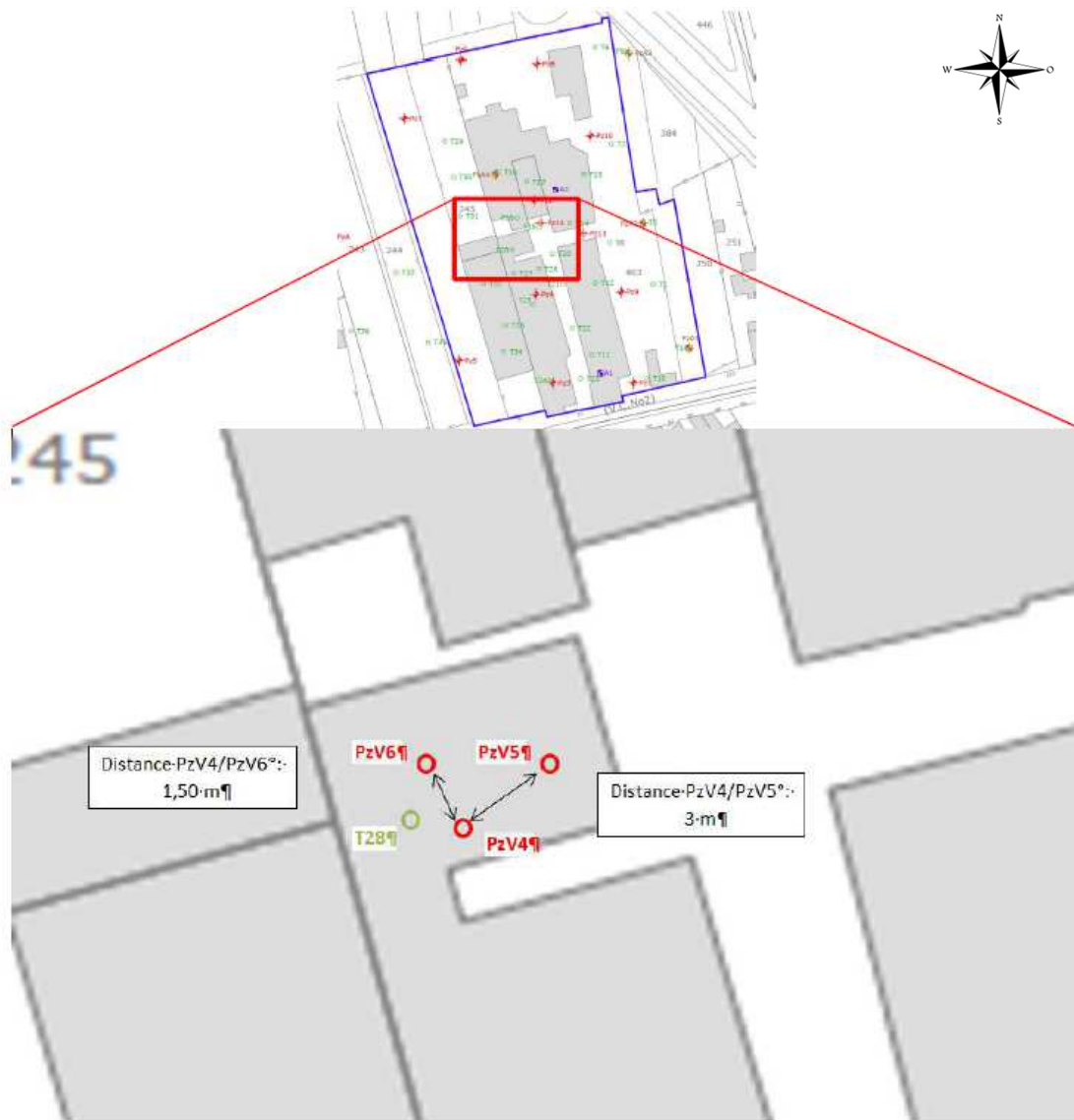
#### 5.3.3.1 Localisation des ouvrages

Les essais de venting ont été réalisés sur deux zones différentes (Figures 3 et 4):

- 1 zone au centre du bâtiment 2 EIF, zone source COHV et BTEX,
- 1 zone au nord du bâtiment 2 EIF, zone source COHV.



**Figure 5 : localisation des ouvrages de venting, zone source COHV**



Le tableau 5 présente les résultats des analyses de sols au niveau des zones d'essais ; ces données sont détaillées dans le plan de gestion.

**Tableau 5 : Résultats des analyses des sols de la zone non saturée au niveau des zones d'essais**

|         |       | T25             |        | T28              |       |
|---------|-------|-----------------|--------|------------------|-------|
|         |       | 0,8m            | 1,8m   | 0,8m             | 1,2m  |
|         |       | limons argileux | marnes | remblai grossier | limon |
| PCE     | mg/kg | 500             | 1400   | 310              | 47    |
| TCE     |       | 26              | 150    | 1,6              | 0,49  |
| cis-DCE |       | 24              | 64     | 1,2              | 1,2   |
| BTEX    |       | 1,03            | 75     | <LQ              | <LQ   |

*T25 se situe au centre du bâtiment : 1<sup>ère</sup> zone d'essai et T28 au nord, 2<sup>ème</sup> zone d'essai.*

Au droit de la zone centrale (T25), les sols non saturés sont fortement impactés par des BTEX et des COHV. Les terrains au droit de ce sondage sont constitués de remblais jusqu'à 1 m de profondeur de type limons argileux puis de marnes des calcaires entre 1 et 2 m ; des argiles grises-vertes sont recoupés ensuite jusqu'à 5 m de profondeur.

Au droit de la zone Nord (T28), les sols non saturés sont contaminés par des COHV uniquement. Au droit de ce sondage, les sols non saturés sont composés de remblais limoneux remaniés avec des déchets de démolition urbains (briques notamment) et d'un niveau marneux fin. Néanmoins, dans cette zone, les terrains sont hétérogènes, ils renferment notamment plus ou moins de débris de démolition.

### 5.3.3.2 Equipements des piézairs

Les forages ont été réalisés en diamètre 140 mm. Les piézairs sont équipés de tubes PVC ou PEHD de diamètre 2", crépinés 0,5 mm. L'espace annulaire a été comblé par un massif filtrant de granulométrie 1-2mm en face du niveau crépiné. La hauteur crépinée est de 50 cm entre 0,5m et 1m. Au-dessus du niveau crépiné, l'espace annulaire est comblé par de la bentonite sur 30cm et au-dessus par 20 cm de ciment.

Les coupes des ouvrages sont données en **Annexe 1**.

## 5.4 Réalisation des essais

Au total, 4 essais ont été réalisés :

- au droit de la zone centrale, 2 essais par paliers débit / dépression ont été réalisés sur 2 ouvrages différents (PZV1 et PZV2) ;
- au droit de la zone Nord, zone impactée par les COHV, sondage T28, 1 essai par palier a été réalisé ainsi qu'un essai longue durée à une dépression fixe.

### 5.4.1 Essais par paliers

#### 5.4.1.1 Méthodologie appliquée

Les essais ont été réalisés le 28/05/2018 sur une durée de 1h30.

Les essais par paliers ont été réalisés sur une dizaine de paliers  $\Delta P/Q$  sur une durée moyenne 10 minutes environ par palier jusqu'à stabilisation.

Pendant les essais ont été mesurés :

- $\Delta P$  et gaz saturant ( $CH_4/O_2/CO$ ,  $H_2S$ ) dans chacun des ouvrages de monitoring ;
- Suivi PID,  $V_{gaz}$  et  $T^\circ C$  : mesures à pas réguliers en entrée et ponctuellement en sortie du charbon actif.

Par ailleurs, pour l'essai longue durée dans la zone nord et un essai par palier sur la zone centrale, un détecteur  $CO_2$  a été utilisé pour permettre de quantifier la production de  $CO_2$  associée à la biodégradation des BTEX.

### 5.4.1.2 Résultats des essais par paliers

#### ► Pour les essais en zone Centrale

1. le débit critique n'est pas atteint : les courbes débit / dépression sont globalement linéaires ;
2. l'absence de dépression mesurable sur les ouvrages de contrôle probablement en lien avec un milieu un peu plus grossier et hétérogène qu'un limon, d'où un débit critique non atteint. Les divers sondages réalisés dans la ZNS montrent que la lithologie du premier mètre est très variable sur le site ;
3. l'absence d'H<sub>2</sub>S, de CO et des traces de méthane ;
4. la saturation du détecteur PID pendant la durée de l'essai à l'extraction ;
5. l'influence du venting se fait ressentir à 3m avec une diminution des mesures PID, donc des teneurs de COV, et des variations du taux d'oxygène. A 5m, l'essai par paliers ne permet pas de mesurer une influence.

#### ► Pour la zone Nord

1. la courbe débit / dépression est globalement linéaire. Entre 150 mbar et 200 mbar apparaît une inflexion qui pourrait indiquer le débit critique au-delà duquel la performance du venting est affectée ;
2. l'absence de dépression mesurable sur les ouvrages de contrôles, sauf ponctuellement, 0,1 mbar de dépression à 1,5m peut être liée à un milieu un peu plus grossier et hétérogène qu'un limon et/ou à une durée d'essai non suffisante ;
3. l'absence d'H<sub>2</sub>S, de CO et des traces de méthane ;
4. la saturation du détecteur PID pendant la durée de l'essai à l'extraction ;
5. l'influence du venting se fait ressentir à 1,50 m et à 3 m avec une augmentation des concentrations en PID et une baisse du taux d'oxygène (à 1,50 m uniquement).

Les résultats des essais sont illustrés page suivante. Les tableaux de monitoring détaillés sont fournis en **Annexe 2**.

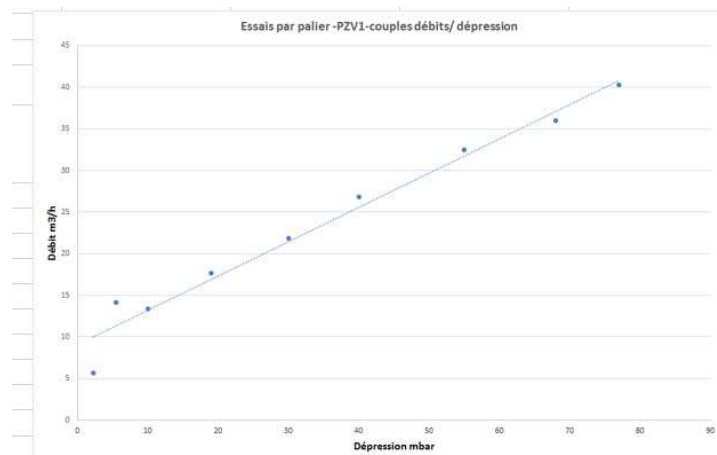
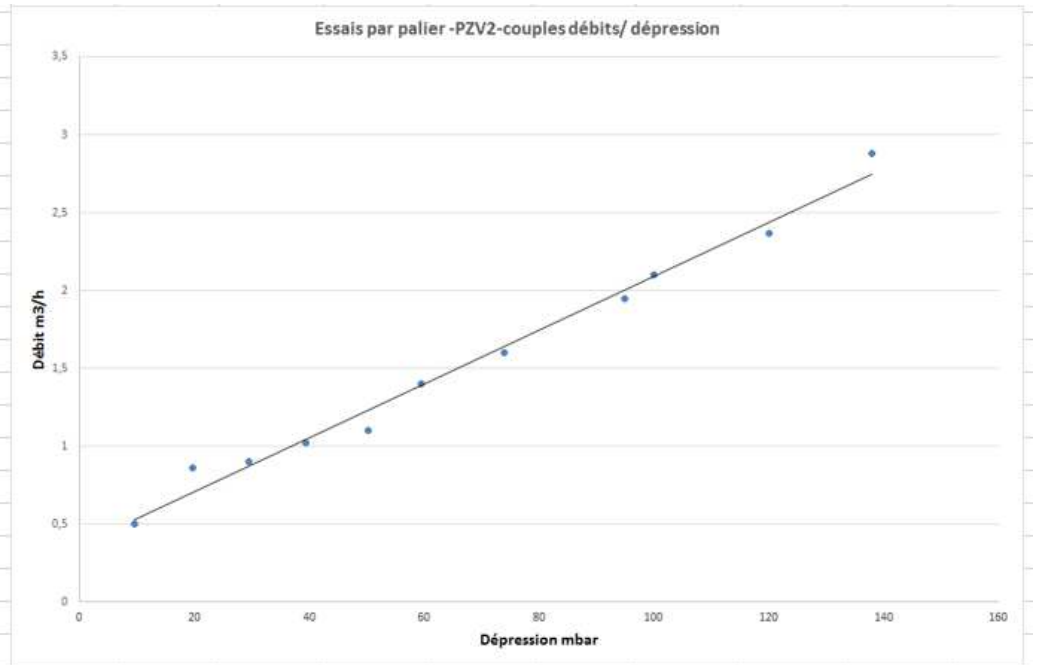
### 5.4.1.3 Conclusion des essais par paliers

Il ressort des essais par paliers :

- l'absence de dépression mesurée sur les ouvrages de contrôles, simultanément à des débits d'extraction et des dépressions à l'extraction élevées, qui semblent indiquer un milieu plutôt grossier ou hétérogène avec une forte circulation d'air ce qui est cohérent avec le caractère hétérogène et perméable des remblais ;
- un rayon d'influence du venting qui est choisi en première approche à 3 m, distance à laquelle les concentrations (mesures PID) et taux d'oxygène sont modifiés lors du venting ;
- pour l'essai longue durée, en zone nord le débit est choisi à 25 m<sup>3</sup>/h (correspondant au débit critique).



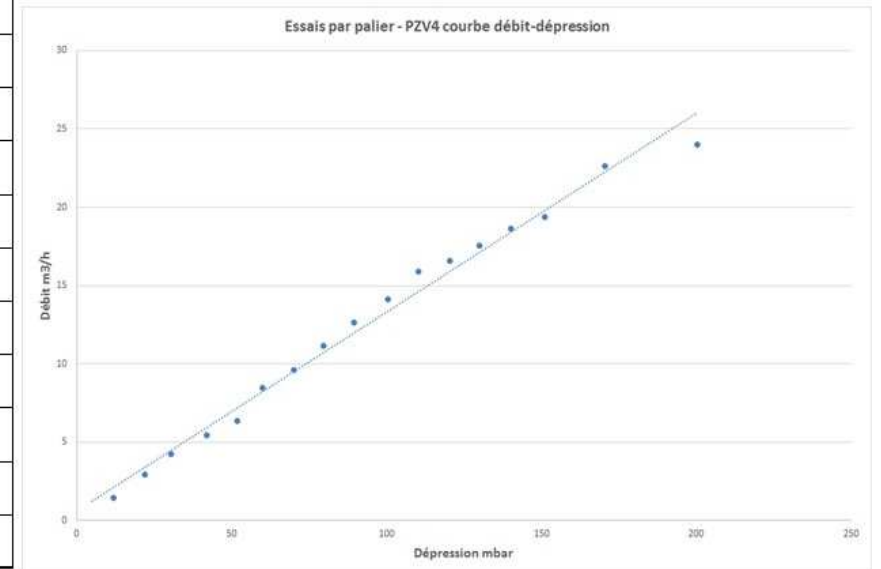
► Essai par paliers en zone centrale du bâtiment 2



| PUITS D'EXTRACTION |                                   | SKID DE VENTING      |         |       |                                   | PUITS DE CONTRÔLE    |         |       |                                   |                      |       |                                   |                      |       |
|--------------------|-----------------------------------|----------------------|---------|-------|-----------------------------------|----------------------|---------|-------|-----------------------------------|----------------------|-------|-----------------------------------|----------------------|-------|
|                    |                                   | Points de mesure     |         |       |                                   | Piézair 1,5m = PZG1  |         |       | PZv3 3m                           |                      |       | PZv2 5m                           |                      |       |
| Temps (min)        | Pression en tête d'ouvrage (mbar) | PZV1                 |         |       | Pression en tête d'ouvrage (mbar) | Piézair 1,5m = PZG1  |         |       | Pression en tête d'ouvrage (mbar) | PZv3 3m              |       | Pression en tête d'ouvrage (mbar) | PZv2 5m              |       |
|                    |                                   | Mesure PID (Isobut.) | CO2 ppm | O2 %  |                                   | Mesure PID (Isobut.) | CO2 ppm | O2 %  |                                   | Mesure PID (Isobut.) | O2 %  |                                   | Mesure PID (Isobut.) | O2 %  |
| 0                  | 0                                 | 750                  | 7100    |       | 0                                 | 380                  | 6700    | 20,50 | 0,00                              | >1000                | 20,50 |                                   |                      |       |
| 10                 | 2,2                               | >1000                |         |       |                                   |                      |         |       |                                   | >1000                |       |                                   |                      |       |
| 20                 | 5,5                               | >1000                |         | 20,20 | 0,00                              | 370                  |         | 20,50 |                                   | >1000                |       | 0,00                              | >1000                |       |
| 30                 | 10                                | >1000                |         |       |                                   |                      |         |       | 0,00                              | 625                  | 20,50 |                                   |                      |       |
| 40                 | 19                                | >1000                |         |       |                                   |                      |         |       |                                   | 625                  | 19,90 |                                   | >1000                | 19,70 |
| 50                 | 30                                | >1000                |         |       |                                   |                      |         |       |                                   | 664,00               | 20,20 | 0,00                              | >1000                | 19,40 |
| 60                 | 40                                | >1000                |         |       | 0,00                              | 270                  | 2700    | 19,60 | 0,00                              | 710                  |       |                                   | >1000                | 19,60 |
| 70                 | 55                                | >1000                | 1400    | 20,40 | 0,00                              | 130                  |         |       | -0,10                             | >1000                | 20,00 |                                   | >1000                | 19,70 |
| 80                 | 68                                | >1000                |         |       | 0,00                              | 98                   |         | 19,60 |                                   | 966,00               | 18,20 | 0,00                              | >1000                | 19,60 |
| 94                 | 77                                | >1000                | 1400    | 20,40 |                                   |                      | 2500    | 19,60 | 0,00                              | 892,00               | 19,50 | 0,00                              | >1000                | 19,60 |

► Essai par paliers en zone nord du bâtiment 2

| PUITS D'EXTRACTION |                                      |             |          | SKID DE VENTING  |                           | PUITS DE CONTRÔLE |                                   |                           |      |       |                                   |                           |       |
|--------------------|--------------------------------------|-------------|----------|------------------|---------------------------|-------------------|-----------------------------------|---------------------------|------|-------|-----------------------------------|---------------------------|-------|
| Diamètre (mm)      |                                      |             |          | Points de mesure |                           | PZV6              |                                   |                           | PZV5 |       |                                   |                           |       |
| PZV4               |                                      |             |          |                  |                           |                   |                                   |                           |      |       |                                   |                           |       |
| Temps (min)        | Pression en tête d'ouvrage (en mbar) | Vitesse m/s | Q m3/h   | T°C air extrait  | Mesure PID ppmV (Isobut.) | O2 %              | Pression en tête d'ouvrage (mbar) | Mesure PID ppmV (Isobut.) | CO   | O2 %  | Pression en tête d'ouvrage (mbar) | Mesure PID ppmV (Isobut.) | O2 %  |
| 0                  |                                      |             |          |                  | 972                       | 20,9              |                                   | 503                       | 0    | 20,9  |                                   | 115                       | 20,9  |
| 10                 | 5                                    | 0,08        |          | 21               | 140                       | 20,90             | 0                                 | 660,00                    | 1,00 | 20,40 | -0,1                              | 60                        | 20,9  |
| 20                 | 11,8                                 | 0,2         | 1,413    | 20,4             | 194                       | 20,90             | 0                                 | 880,00                    | 3,00 | 19,80 | -0,1                              | 341                       | 21    |
| 30                 | 22                                   | 0,41        | 2,89665  |                  | 284                       | 20,90             | 0                                 | >1000                     | 3    | 19,40 | 0                                 | 400                       | 20,9  |
| 40                 | 30,4                                 | 0,6         | 4,239    |                  | 420                       | 20,20             | 0                                 | >1000                     | 4    | 19,10 | 0                                 | 453                       | 20,9  |
| 50                 | 41,9                                 | 0,77        | 5,44005  | 19,6             | >1000                     | 20,00             | 0                                 | >1000                     | 4    | 18,80 | 0                                 | 503                       | 20,9  |
| 60                 | 51,7                                 | 0,9         | 6,3585   |                  | >1000                     | 20,10             | 0                                 | >1000                     | 3    | 19    | 0                                 | 463                       | 20,9  |
| 70                 | 60                                   | 1,2         | 8,478    | 19,6             | >1000                     | 19,90             |                                   | >1000                     | 2,00 | 19,00 | 0                                 | 466                       | 20,9  |
| 80                 | 70                                   | 1,36        | 9,6084   | 19,7             | >1000                     | 19,80             | 0,00                              | >1000                     | 2,00 | 19,30 | 0                                 | 450                       | 20,8  |
| 90                 | 79,7                                 | 1,58        | 11,1627  |                  | >1000                     | 19,80             | 0,00                              | >1000                     | 2,00 | 19,10 | 0                                 | 431                       | 20,9  |
| 100                | 89,5                                 | 1,79        | 12,64635 |                  | >1000                     | 19,80             | 0,00                              | >1000                     | 2,00 | 19,10 | -0,1                              | 449,00                    | 20,9  |
| 110                | 100,4                                | 2           | 14,13    |                  | >1000                     | 19,70             | 0,00                              | >1000                     | 1,00 | 19,20 | 0,00                              | 446,00                    | 20,9  |
| 120                | 110,3                                | 2,25        | 15,89625 |                  | >1000                     | 19,90             | 0,00                              |                           | 1,00 | 19,30 | 0,00                              | 442,00                    | 20,90 |
| 130                | 120,5                                | 2,35        | 16,60275 |                  | >1000                     | 19,80             | 0,00                              | -1000                     | 1,00 | 19,50 | 0,00                              | 453,00                    | 20,90 |
| 140                | 130                                  | 2,48        | 17,5212  |                  | >1000                     | 20,00             | 0,00                              | -1000                     | 1,00 | 19,50 | 0,00                              | 508,00                    | 20,90 |
| 150                | 140,1                                | 2,64        | 18,6516  |                  | >1000                     | 20,10             | 0,00                              | >1000                     | 1,00 | 19,60 | 0,00                              | 425,00                    | 20,90 |
| 160                | 151                                  | 2,74        | 19,3581  | 19,50            | >1000                     | 20,10             | 0,00                              | >1000                     | 0,00 | 19,70 | 0,00                              | 441,00                    | 20,90 |
| 170                | 170,6                                | 3,2         | 22,608   | 19,50            | >1000                     | 20,10             | 0,00                              | >1000                     | 0,00 | 19,70 | 0,00                              | 424,00                    | 20,90 |
| 180                | 200,2                                | 3,4         | 24,021   | 19,60            | >1000                     | 20,10             | 0,00                              | >1000                     | 0,00 | 19,80 | 0,00                              | 432,00                    | 20,90 |



## 5.4.2 Essai longue durée en zone Nord

### 5.4.2.1 Méthodologie appliquée

L'essai a été réalisé le 29/05/2018 sur une durée de 2h00, l'extraction étant réalisée sur l'ouvrage PZV4 à un débit de 25 m<sup>3</sup>/h. Les mesures réalisées lors de l'essai longue durée sont (Tableau 6) :

- les mesures PID (COV),
- les mesures de CO<sub>2</sub> et O<sub>2</sub> ;
- les mesures de H<sub>2</sub>S, hygrométrie, CH<sub>4</sub> ponctuellement.

### 5.4.2.2 Résultats

Il ressort de l'essai :

- le maintien d'un couple débit / dépression d'environ 24 m<sup>3</sup>/h /110 mbar ;
- la saturation du PID sur le puits d'extraction et des valeurs en CO<sub>2</sub> élevées qui tendent à diminuer lors de l'essai, de 9800 à 5 800 ppm en fin d'essai; le taux de CO<sub>2</sub> de l'air extérieur a été mesuré à 300 ppm. Cette mesure pourrait témoigner d'un mécanisme actif de dégradation biologique d'hydrocarbures / BTEX en zone non saturée, mais les BTEX n'ont pas été quantifiés en T28. Il est toutefois possible que ce soit lié à la présence à proximité d'une anomalie locale en BTEX/hydrocarbures non identifiée ;
- une dépression sur les ouvrages de monitoring qui ne dépasse pas 0,1 mbar ;
- à 1,5 m du puits d'extraction, les mesures PID (concentration COV) augmentent jusqu'à saturation de l'appareil de mesure peu après le démarrage tandis qu'à 3 m les mesures PID sont variables sans tendance nette. Concernant les mesures O<sub>2</sub> / CO<sub>2</sub>, à 1,50 m on note la quasi absence de CO<sub>2</sub> avec une augmentation toutefois en fin d'essai, et également une légère augmentation du taux d'O<sub>2</sub> au-delà de 20%. Inversement, à 3 m le taux de CO<sub>2</sub> et le taux d'O<sub>2</sub> sont stables à environ 600 ppm et 20,9% ;
- l'hygrométrie des gaz extraits est mesurée à 80% pour une hygrométrie extérieure à 70%.

**Tableau 6 : Résultats des essais de venting longue durée en zone Nord**

| PUITS D'EXTRACTION |                                      |             |                     | SKID DE VENTING  |                           |                   |                 |                  | PUITS DE CONTRÔLE                    |                           |                 |                  |                                      |                           |                 |                  |
|--------------------|--------------------------------------|-------------|---------------------|------------------|---------------------------|-------------------|-----------------|------------------|--------------------------------------|---------------------------|-----------------|------------------|--------------------------------------|---------------------------|-----------------|------------------|
| Diamètre (mm)      |                                      | 50          |                     | Points de mesure |                           |                   |                 |                  | PZV6                                 |                           |                 |                  | PZV5                                 |                           |                 |                  |
| PZV4               |                                      |             |                     |                  |                           |                   |                 |                  |                                      |                           |                 |                  |                                      |                           |                 |                  |
| Temps (min)        | Pression en tête d'ouvrage (en mbar) | Vitesse m/s | Q m <sup>3</sup> /h | T°C air extrait  | Mesure PID ppmV (Isobut.) | %H <sub>2</sub> O | CO <sub>2</sub> | O <sub>2</sub> % | Pression en tête d'ouvrage (en mbar) | Mesure PID ppmV (Isobut.) | CO <sub>2</sub> | O <sub>2</sub> % | Pression en tête d'ouvrage (en mbar) | Mesure PID ppmV (Isobut.) | CO <sub>2</sub> | O <sub>2</sub> % |
| 14h26              |                                      |             |                     |                  | >1000                     |                   | 9800            | 19,9             |                                      | 880                       | 400             | 20,1             |                                      | 280                       | 700             | 20,9             |
| 14h28              | 109,5                                | 2,63        | 19                  | 20               | >1000                     |                   | 7900,00         | 20,00            |                                      |                           |                 |                  |                                      |                           |                 |                  |
| 14h35              |                                      |             | 0                   |                  |                           |                   |                 |                  | 0,00                                 | >1000                     | 100,00          | 20,10            | 0                                    | 423                       | 600             | 20,9             |
| 14h45              | 102                                  | 3,4         | 24                  | 20,0             | >1000                     |                   | 7500            | 20,10            | 0,00                                 | >1000                     | 100             | 20,10            |                                      |                           | 600             | 20,9             |
| 15h00              | 103                                  | 3,5         | 25                  |                  | >1000                     |                   | 7000            | 20,20            | 0,00                                 | >1000                     | 100             | 20,20            | 0                                    | 346                       | 600             | 20,9             |
| 15h20              | 104                                  | 3,3         | 23                  |                  | >1000                     |                   | 6800            | 20,20            | 0,00                                 | >1000                     | 100             | 20,20            | 0                                    | 247                       | 600             | 20,9             |
| 15h40              | 108                                  | 3,45        | 24                  |                  | >1000                     |                   | 6400            | 20,20            | 0,10                                 | >1000                     | 0               | 20               | 0                                    | 410                       | 600             | 20,9             |
| 16h00              | 112                                  | 3,4         | 24                  |                  | >1000                     | 80                | 6300            | 20,30            | 0,10                                 | >1000                     | 0,00            | 20,40            | 0                                    | 179                       | 500             | 20,9             |
| 16h20              | 109                                  | 3,4         | 24                  |                  | >1000                     |                   | 6100            | 20,40            | 0,10                                 | >1000                     | 0,00            | 20,50            | 0                                    | 383                       | 900             | 20,9             |
| 16h40              | 109                                  | 3,1         | 22                  |                  | >1000                     |                   | 6100            | 20,40            | 0,10                                 | >1000                     | 100,00          | 20,90            | 0,1                                  | 363                       | 600             | 20,9             |
| 17h00              |                                      |             | 0                   |                  | >1000                     |                   | 5900            | 20,40            | 0,10                                 | >1000                     | 100,00          | 20,90            | 0,00                                 | 323,00                    | 600,00          | 20,9             |
| 17h20              |                                      |             | 0                   |                  | >1000                     |                   | 5800            | 20,40            | 0,10                                 | >1000                     | 200,00          | 20,90            | 0,00                                 | 293,00                    | 500,00          | 20,9             |



### 5.4.3 Analyse des gaz extraits

#### 5.4.3.1 Echantillons prélevés et modes de prélèvements

Trois échantillons de gaz ont été prélevés :

- 1 échantillon en entrée de traitement sur la zone centrale pendant l'essai par paliers ;
- 1 échantillon en entrée de traitement au début de l'essai longue durée et 1 échantillon en entrée de traitement à la fin de l'essai longue durée en zone Nord.

Les prélèvements ont été faits par l'intermédiaire d'une pompe Gilair sur une durée de 30 secondes à 5 minutes sur support charbon actif : zone de mesure et zone de contrôle. Dans tous les cas, les teneurs dans la zone de contrôle sont inférieures aux limites de quantification, ce qui permet de valider les résultats de la zone de mesure. Les échantillons ont été analysés par le laboratoire AGROLAB agréé par le COFRAC ou équivalent. Les bordereaux d'analyses sont fournis en Annexe 3.

#### 5.4.3.2 Résultats d'analyses

Les résultats des analyses des gaz extraits sont présentés dans le tableau 7.

**Tableau 7 : Résultats des analyses des gaz extrait en zone centrale**

|   |                   | Concentrations calculées              |                                |                                  |
|---|-------------------|---------------------------------------|--------------------------------|----------------------------------|
|   |                   | Campagne de prélèvement du 30/05/2018 |                                |                                  |
|   |                   | Venting par paliers - PZV1            | Venting longue durée - T0 PZV4 | Venting longue durée - TF - PZV4 |
| Volume pompé                                  | m <sup>3</sup>    | 0,00015                               | 0,00015                        | 0,0006                           |
| <b>Hydrocarbures par TPH</b>                  |                   |                                       |                                |                                  |
| Aliphatic nC>5-nC6                            | µg/m <sup>3</sup> | <53333,3                              | <53333,3                       | <13333,3                         |
| Aliphatic nC>6-nC8                            | µg/m <sup>3</sup> | 93333,3                               | <53333,3                       | 14500,0                          |
| Aliphatic nC>8-nC10 (3)                       | µg/m <sup>3</sup> | 173333,3                              | <53333,3                       | 31666,7                          |
| Aliphatic nC>10-nC12 (3)                      | µg/m <sup>3</sup> | <53333,3                              | <53333,3                       | 16666,7                          |
| Aromatic nC>6-nC7 benzène                     | µg/m <sup>3</sup> | 4666,7                                | <1333,3                        | 783,3                            |
| Aromatic nC>7-nC8 toluène                     | µg/m <sup>3</sup> | 16666,7                               | <2666,7                        | <666,7                           |
| Aromatic nC>8-nC10                            | µg/m <sup>3</sup> | 260000,0                              | <53333,3                       | 14166,7                          |
| Aromatic nC>10-nC12                           | µg/m <sup>3</sup> | <53333,3                              | <53333,3                       | <13333,3                         |
| Somme des TPH                                 | µg/m <sup>3</sup> | 548000,0                              | <324000                        | 77783,3                          |
| <b>BTEX</b>                                   |                   |                                       |                                |                                  |
| Benzène (2)                                   | µg/m <sup>3</sup> | 4666,7                                | <1333,3                        | 783,3                            |
| Toluène                                       | µg/m <sup>3</sup> | 16666,7                               | <2666,7                        | <666,7                           |
| Ethylbenzène                                  | µg/m <sup>3</sup> | 13333,3                               | <2666,7                        | <666,7                           |
| m+p - Xylène                                  | µg/m <sup>3</sup> | 172000,0                              | 10000,0                        | 4833,3                           |
| o - Xylène                                    | µg/m <sup>3</sup> | 37333,3                               | <2666,7                        | 1333,3                           |
| <b>Autres HAM</b>                             |                   |                                       |                                |                                  |
| Naphtalène                                    | µg/m <sup>3</sup> | <2666,7                               | <2666,7                        | <666,7                           |
| <b>COHV</b>                                   |                   |                                       |                                |                                  |
| Tétrachloroéthylène (PCE) (2)                 | µg/m <sup>3</sup> | 800000,0                              | 1000000,0                      | 1400000,0                        |
| Trichloroéthylène (TCE)                       | µg/m <sup>3</sup> | 164000,0                              | 163333,3                       | 216666,7                         |
| cis-1,2-dichloroéthylène                      | µg/m <sup>3</sup> | 1866666,7                             | 328000,0                       | 350000,0                         |
| trans-1d2-dichloroéthylène                    | µg/m <sup>3</sup> | 24666,7                               | <2666,7                        | 5000,0                           |
| 1,1-dichloroéthylène                          | µg/m <sup>3</sup> | <2666,7                               | <1333,3                        | <666,7                           |
| Chlorure de Vinyle                            | µg/m <sup>3</sup> | 4200,0                                | <1333,3                        | 1533,3                           |
| 1,1,2-trichloroéthane                         | µg/m <sup>3</sup> | <5333,3                               | <2666,7                        | <1333,3                          |
| 1,1,1-trichloroéthane                         | µg/m <sup>3</sup> | <5333,3                               | <2666,7                        | <1333,3                          |
| 1,2-dichloroéthane                            | µg/m <sup>3</sup> | <5333,3                               | <2666,7                        | <1333,3                          |
| 1,1-dichloroéthane                            | µg/m <sup>3</sup> | <5333,3                               | <2666,7                        | <1333,3                          |
| Tétrachlorométhane (tétrachlorure de carbone) | µg/m <sup>3</sup> | <5333,3                               | <2666,7                        | <1333,3                          |
| Trichlorométhane (chloroforme)                | µg/m <sup>3</sup> | <5333,3                               | <2666,7                        | <1333,3                          |
| Dichlorométhane                               | µg/m <sup>3</sup> | <6666,7                               | <6666,7                        | <1666,7                          |



### 5.4.3.3 Zone centrale

La somme des BTEX est mesurée à 244 mg/m<sup>3</sup> avec une forte prédominance des xylènes. Le PCE est mesuré à 800 mg/m<sup>3</sup>, le TCE à 164 mg/m<sup>3</sup> et le cis-DCE à 1 867 mg/m<sup>3</sup>. Les autres COHV sont présents en moindres concentrations.

Ces résultats sont cohérents avec ceux retrouvés en octobre 2013 au niveau de PZG1, en comme PZG1, des hydrocarbures sont présents dans les gaz des sols, ce sont bien majoritairement des aromatiques.

### 5.4.3.4 Zone Nord

La somme des BTEX est mesurée à 10 mg/m<sup>3</sup> (xylènes) uniquement au démarrage de l'essai et à 6,2 mg/m<sup>3</sup> en fin d'essai.

Pour les COHV :

- le PCE est mesuré à 10 000 mg/m<sup>3</sup>, en début d'essai et en fin d'essai à 14 000 mg/m<sup>3</sup>,
- le TCE est mesuré à 163 mg/m<sup>3</sup>, en début d'essai et en fin d'essai à 216 mg/m<sup>3</sup>,
- le cis-DCE est mesuré à 328 mg/m<sup>3</sup>, en début d'essai et en fin d'essai à 350 mg/m<sup>3</sup>.

Des hydrocarbures sont présents dans les gaz des sols, ce sont majoritairement des aliphatiques.

Les concentrations en COV sont relativement stables, elles sont néanmoins en légère baisse en BTEX et augmentent plutôt en COHV.

## 5.4.4 Flux de polluants et délai de traitement

Sur la base des débits d'extraction de 25 m<sup>3</sup>/h, des résultats d'analyses d'air en laboratoire et des mesures de CO<sub>2</sub> pour l'échantillon prélevé en PZV1, les flux de polluants sont calculés (Tableau 8).

**Tableau 8 : Flux extraits en g/h**

|              | Flux  |               |             |
|--------------|-------|---------------|-------------|
|              | g/h   |               |             |
|              | PZV1  | PZV4(initial) | PZV4(final) |
| PCE          | 20,00 | 250,00        | 350,00      |
| TCE          | 4,10  | 4,08          | 5,42        |
| cis-DCE      | 46,67 | 8,20          | 8,75        |
| BTEX         | 6,10  | 0,25          | 0,17        |
| BTEX(éq.CO2) | 5,40  | -             | -           |

Ce qu'il faut retenir de ces résultats :

- les niveaux de concentrations sont élevés. Pour PZV4 ils augmentent légèrement entre le début et la fin des essais, avec un total COV de l'ordre de 300 g/heure ;
- une concentration en BTEX dégradé en CO<sub>2</sub> est calculée à 5,4 g/h, pour évaluer la part potentielle du bioventing par rapport au venting.

D'une manière générale, les flux polluants fournissent une tendance et permettent le dimensionnement du système de traitement des gaz. Ils ne doivent pas être utilisés pour dimensionner une durée de traitement.

Toutefois, au vu des flux polluants au stade initial, le venting apparaît une technique adaptée au site en particulier pour les COHV.

Nota : pour l'essai réalisé en PZV4, le taux de CO<sub>2</sub> n'a pas été pris en compte dans le calcul en raison de la différence de concentration entre l'air extrait et la mesure dans les piézaires voisins. Les résultats en CO<sub>2</sub> indiquent cependant une forte activité de biodégradation présente dans le milieu souterrain dont il faudra prendre en compte pour l'optimisation du traitement.

## 6. Essai de réduction

### 6.1 Objectifs de l'essai

Cet essai s'applique aux traitements correspondant aux codes AFNOR (Tableau 9).

**Tableau 9 : Mission réalisée**

| Code         | Prestation                  |
|--------------|-----------------------------|
| <b>C313c</b> | Réduction chimique in situ  |
| <b>C323b</b> | Réduction chimique sur site |
| <b>C315a</b> | Biodégradation dynamisée    |

La réduction est soit chimique soit biologique. Les deux processus peuvent coexister, être consécutifs l'un de l'autre ou être inhibiteurs l'un par rapport à l'autre. Les réducteurs couramment utilisés sont :

- Fer zérovalent (FZV) ou autre métal à degré de valence 0 ;
- mélange de fer zérovalent et de matière organique ;
- matière organique : réduction biologique.

L'objectif de l'essai en laboratoire est de déterminer :

- si le réducteur choisi peut décomposer les polluants d'intérêt et leurs produits de dégradation le cas échéant ;
- si la réduction chimique ou la réduction biologique est le processus majoritaire ;
- la quantité estimée de réducteur nécessaire ;
- la formation d'éventuels sous-produits et leur durée de vie.

Les essais ont été réalisés en laboratoire et un essai d'injection sur site a également été réalisé.

## 6.2 Essai d'injection

### 6.2.1 Matériels et produits

L'injection a été sous-traitée à la société AGRI ENVIRONNEMENT, équipé d'une sondeuse GEOPROBE avec une pompe DP800. Le produit injecté est du fer zérovalent de marque PEROXYCHEM.

Le fer a été mélangé sur site pour un dosage d'environ 10 g/l.

### 6.2.2 Mise en œuvre

Initialement, l'opération prévoyait une injection à proximité de 2 piézomètres PZ3 et PZ4 pour ensuite suivre les évolutions du milieu pendant quelques semaines.

Des difficultés de passage d'une deuxième dalle à 1,70 m de profondeur nous ont poussé à nous déplacer au droit d'un troisième point au Nord du Bâtiment EIF. Les points d'injection sont :

- essai 1 : Nord du bâtiment 2 : injection avec succès de 360 L de réducteur ;
- essai 2 : zone centrale : injection avortée après avoir injecté 20l de produit : en lien avec un milieu trop argileux ;
- essai 3 : refus de sondages en 4 points, en raison de la présence d'une dalle à 1,7 m de profondeur.

Les essais ont été réalisés le 31 mai et le 1<sup>er</sup> juin 2018.

### 6.2.3 Résultats

La fiche d'essais présentée en page suivante récapitule les principales informations relatives aux essais réalisés.

3 carottages de contrôles ont été réalisés à proximité du point d'injection en zone Nord, respectivement à 0,50 m, 1 m, et 1,50 m du point d'injection. Dans l'horizon saturé entre 2 m et 4,50 m, les carottes montrent les éléments suivants :

- à 0,50 m et 1 m, l'horizon des marnes a été transformé en boue calcaire ;
- à 1,50 m, l'horizon est une marne humide semblable aux marnes prélevées lors des opérations de diagnostic.

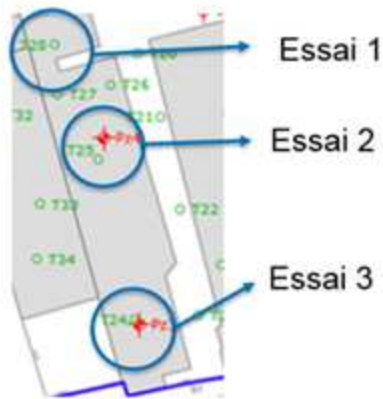
Le produit injecté s'est donc propagé, aux conditions d'essais mises en œuvre, jusqu'à une distance comprise entre 1m et 1m50 du point d'injection.

Aucun piézomètre n'est présent à proximité de cette zone, en conséquence le produit n'a pu être suivi dans les eaux souterraines.

Les principaux enseignements sont :

- confirmation de l'impossibilité d'injecter dans les argiles vertes ;
- l'injectabilité dans les marnes : l'injection provoque une déstructuration des marnes avec apparition d'un horizon boueux jusqu'à une distance de 1 m (a minima) du point d'injection.

Figure 6 : Fiche synthétique de l'essai d'injection



Injection de Fer zérovalent 10g/l avec pompe DP800 sous pression 45bars,



| Essai 1      | volume injecté(l)   | temps d'injection( minutes) | Profondeur |
|--------------|---------------------|-----------------------------|------------|
| station 1    | 60                  | 5                           | 4m50       |
| station 2    | 60                  | 5                           | 4m50       |
| station 3    | 60                  | 5                           | 3m50       |
| station 4    | 60                  | 5                           | 3m50       |
| station 5    | 60                  | 5                           | 3m50       |
| station 6    | 60                  | 5                           | 2m50       |
| Station 7    | refoulement produit | 10                          | 2m50       |
| <b>TOTAL</b> | 360                 |                             |            |

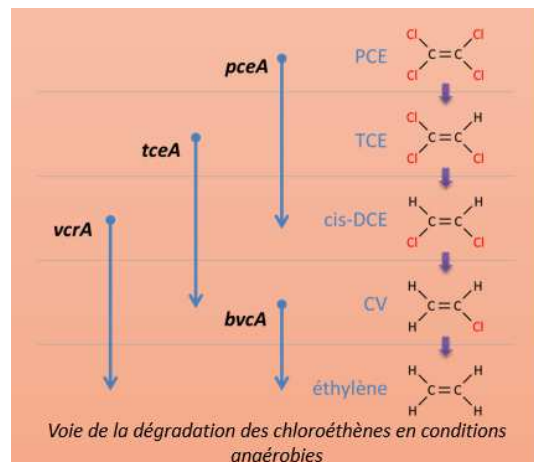
| Essai 2      | volume injecté(l)   | temps d'injection(mi nutes) | Profondeur |
|--------------|---------------------|-----------------------------|------------|
| station 1    | 20                  | 15                          | 4m50       |
| station 2    | refoulement produit | 10                          | 3m50       |
| station 2    | refoulement produit | 10                          | 2m50       |
| <b>TOTAL</b> | 20                  |                             |            |

## 6.3 Essai de réduction en laboratoire

### 6.3.1 Principe de traitement

Pour la dégradation biologique des chloroéthènes, les processus sont reportés dans le synoptique suivant, avec les biomarqueurs *pceA*, *tceA*, *vcrA*, *bvcA* associés aux bactéries anaérobies déhalorespirantes, dont seules les espèces déhalococcoides sont connues pour dégrader toute la chaîne.

Figure 7 : Dégradation des chloroéthènes par voie biologique



La dégradation chimique des chloroéthènes suit des processus variés tels que l'hydrogénolyse, dont les chloro-acétylènes sont intermédiaires de dégradation, ou l' $\alpha$  ou  $\beta$  élimination pour lesquels l'éthylène et l'éthane sont les molécules filles.

### 6.3.2 Réalisation des pilotes

Les essais ont été confiés au laboratoire ENOVEO spécialisé dans ce domaine. L'objectif des essais est de tester la performance des processus de réduction biologique et de réduction chimique des COHV.

6 pilotes ont été constitués, par un mélange de sols et d'eaux souterraines (10% / 90%) prélevés par BURGEAP en T25, sol marneux entre 2,5 et 3,5 m de profondeur et pour les eaux prélevées en PZ4, soit le secteur le plus impacté du site pour la zone saturée.

Les différents pilotes réalisés sont les suivants :

- 1 pilote, dénommé « témoin » a été mis en traitement sans additif ;
- 2 pilotes dénommés A1 et A2 ont été additionnés de fer zérovalent pour constituer des pilotes de réduction chimique. Ont été additionnés 0,3% massique de fer zérovalent à T0, puis 2% à T60 jours (T3). Le pilote A2 a ensuite fait l'objet d'un ajout de source de carbone, 0,3% du mélange ajouté au pilote B2 après 60 jours d'essai (cf. ci-après) ;
- 2 pilotes dénommés B1 et B2 ont été additionnés de carbone organique pour constituer des pilotes de réduction biologique. Ont été additionnés 0,3 % massique de carbone organique à T0. Pour B1 le carbone organique est constitué à part égale de lactate et de mélasse, assez solubles et rapidement disponibles pour la fermentation. Pour B2, il s'agit à parts égales de lactate, mélasse et huile de soja, l'huile de soja étant peu soluble et plus lentement fermentescible. ;
- le pilote C a été additionné d'un produit du commerce, de marque EHC® et distribué par REGENESIS, mêlant fer zérovalent et carbone organique en vue d'une action combinée de réduction chimique et biologique. L'apport a été de 2% massique.



Les pilotes ont démarré début avril 2018. Le pilote C avec un retard de 15 jours du fait de l'indisponibilité du produit au démarrage.

Les différentes matrices ont été analysées à T<sub>0</sub>, avant ajout des réactifs.

Les pas de temps de contrôle T<sub>1</sub> à T<sub>4</sub> ont été répartis sur une durée de 3 mois environ. Un dernier pas de temps, T<sub>5</sub>, a été réalisé en août 2018.

Les bordereaux d'analyses sont fournis en **Annexe 4**, et le rapport d'ENOVEO est fourni en **Annexe 5**.

## 6.4 Résultats

### 6.4.1 Réduction des BTEX

Les résultats par pilote sont illustrés page suivante, ils indiquent :

- le pilote témoin ne montre aucun abattement ;
- les concentrations en BTEX sont abattues significativement dans trois conditions : A1, A2 de réductions chimiques et C de réduction chimique et biologique : plus de 90% d'abattement ;
- les pilotes de réduction biologique seuls montrent des résultats non probants pour l'abattement des BTEX.

En synthèse, ces essais montrent qu'il est possible d'atteindre une efficacité de plus de 90% pour la réduction des BTEX, mais le processus de dégradation n'a pas été identifié (chimique via des acides de Lewis ou biologique, des biomarqueurs de dégradation ayant été analysés en quantité significative).

Cette voie de traitement par ajout de fer zérovalent est par conséquent à privilégier mais devra être associée à des essais complémentaires pour rechercher les mécanismes de dégradation afin d'optimiser le traitement.

Figure 8 : Illustration de la performance de la réduction in situ pour les BTEX (extrait rapport ENOVEO en annexe 5)



## 6.4.2 Réduction des chloroéthènes

Les résultats par pilote sont illustrés page suivante. Les résultats sont présentés dans les tableaux suivants.

**Tableau 10 : Résultats des essais de réduction chimique des chloroéthènes**

| Paramètres                 | Unités  | Pilote A1 |       |       |       |       |      | Pilote A2 |       |       |       |       |      |
|----------------------------|---------|-----------|-------|-------|-------|-------|------|-----------|-------|-------|-------|-------|------|
|                            |         | A1T0      | A1T1  | A1T2  | A1T3  | A1T4  | A1T5 | A2T0      | A2T1  | A2T2  | A2T3  | A2T4  | A2T5 |
| Trichloroéthylène          | µmole/l | 102       | 51    | 32    | 25    | 1     | -    | 102       | 65    | 9     | 11    | 0     | 0    |
| Tetrachloroéthylène        | mmole/l | 305       | 323   | 335   | 93    | 3     | 0,04 | 305       | 345   | 102   | 325   | 30    | 0    |
| cis 1,2-Dichloroéthylène   | µmole/l | 3 569     | 4 353 | 4 363 | 4 177 | 2 156 | 40   | 3 569     | 4 703 | 2 950 | 4 105 | 2 032 | 12   |
| Trans-1,2-dichloroéthylène | µmole/l | 13        | 10    | 6     | 4     | 1     | -    | 13        | 12    | 4     | 4     | -     | -    |
| Chlorure de vinyle         | µmole/l | 51        | 56    | 56    | 43    | 4     | 4    | 51        | 58    | 32    | 42    | 24    | 1    |
| Ethane                     | µmole/l | -         | -     | 14    | -     | 8     |      | -         | -     | 5     | -     | 60    |      |
| Ethylene                   | µmole/l | -         | -     | 75    | -     | 43    |      | -         | -     | 30    | -     | 200   |      |
| Methane                    | µmole/l |           |       | 8     |       | 3     |      |           |       | 2     |       | 29    |      |

L'abattement mesuré dépasse 90%. Aux résultats intermédiaires, les concentrations en éthylène sont élevées, témoignant de l'efficacité du processus.

**Tableau 11 : Résultats des essais de réduction biologique des chloroéthènes**

| Paramètres                 | Unités  | Pilote B1 |       |       |       |       |      | Pilote B2 |       |       |       |      |       |
|----------------------------|---------|-----------|-------|-------|-------|-------|------|-----------|-------|-------|-------|------|-------|
|                            |         | B1T0      | B1T1  | B1T2  | B1T3  | B1T4  | B1T5 | B2T0      | B2T1  | B2T2  | B2T3  | B2T4 | B2T5  |
| Trichloroéthylène          | µmole/l | 66        | 61    | 76    | 65    | 82    |      | 66        | 29    | 76    | 42    | 7    | 25    |
| Tetrachloroéthylène        | mmole/l | 315       | 323   | 802   | 388   | 461   |      | 315       | 244   | 802   | 92    | 110  | 48    |
| cis 1,2-Dichloroéthylène   | µmole/l | 3 239     | 4 425 | 4 177 | 4 198 | 4 332 |      | 3 239     | 3 445 | 4 177 | 3 290 | 728  | 3 559 |
| Trans-1,2-dichloroéthylène | µmole/l | 9         | 9     | 11    | 9     | 7     |      | 9         | 8     | 11    | 8     | 1    | 6     |
| Chlorure de vinyle         | µmole/l | 58        | 31    | 74    | 27    | 24    |      | 58        | 52    | 74    | 43    | 4    | 34    |
| Ethane                     | µmole/l | -         | -     | 0     | -     | -     |      | -         | -     | -     | -     |      |       |
| Ethylene                   | µmole/l | -         | -     | 1     | -     | -     |      | -         | -     | -     | -     |      |       |
| Methane                    | µmole/l |           |       | 6     |       |       |      |           |       |       |       |      |       |

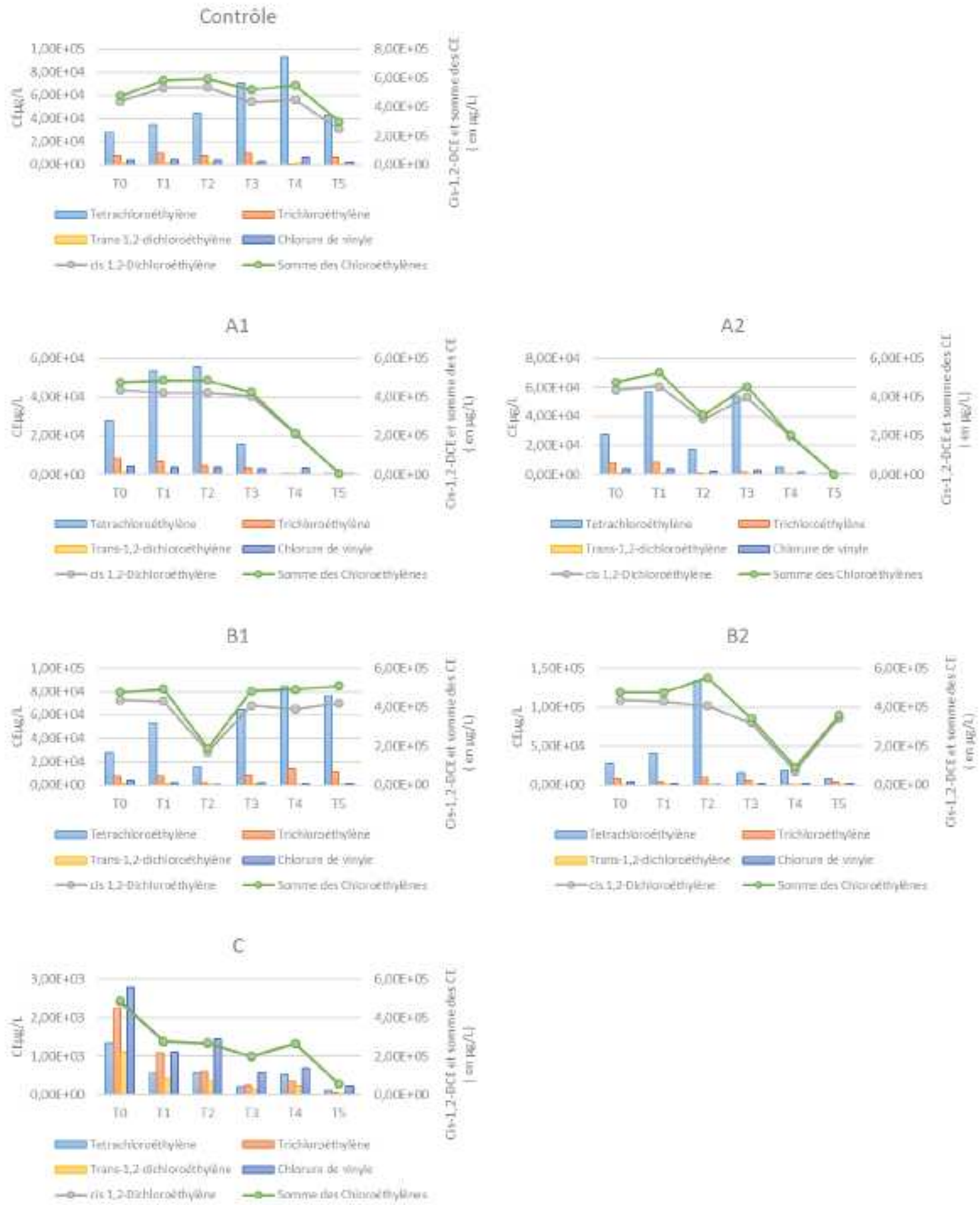
La biodégradation biologique permet la dégradation du PCE, mais la cinétique du processus est lente et en fin d'essai la concentration en cis-DCE n'a pas significativement évolué.

**Tableau 12 : Résultats des essais de réduction chimique et biologique des chloroéthènes**

| Paramètres                 | Unités  | Pilote C |       |       |       |       |     |
|----------------------------|---------|----------|-------|-------|-------|-------|-----|
|                            |         | CT0      | CT1   | CT2   | CT3   | CT4   | CT5 |
| Trichloroéthylène          | µmole/l | 17       | 8     | 5     | 2     | 3     | 0   |
| Tetrachloroéthylène        | mmole/l | 8        | 3     | 3     | 1     | 3     | 1   |
| cis 1,2-Dichloroéthylène   | µmole/l | 4 941    | 2 826 | 2 733 | 2 042 | 2 723 | 563 |
| Trans-1,2-dichloroéthylène | µmole/l | 11       | 4     | 4     | 2     | 0     |     |
| Chlorure de vinyle         | µmole/l | 44       | 18    | 23    | 9     | 4     |     |
| Ethane                     | µmole/l | 0        | -     | 1     | -     | -     |     |
| Ethylene                   | µmole/l | 1        | -     | 1     | -     | -     |     |
| Methane                    | µmole/l | 13       |       | 31    |       | -     |     |

La biodégradation mixte chimique et biologique assurée par l'ajout d'un produit du commerce EHC® permet la dégradation des chloroéthènes à près de 90% d'efficacité.

Figure 9 : Illustration de la performance de la réduction in situ pour les chloroéthènes (extrait rapport ENOVO)



### 6.4.3 Conclusion des essais de réduction en laboratoire

Les pilotes de réduction chimique permettent d'envisager des abattements supérieurs à 90% pour les chloroéthènes et pour les BTEX.

Toutefois, si le mécanisme de dégradation pour les chloroéthènes est clairement identifié par le fer zérovalent, il n'est pas expliqué pour les BTEX et plusieurs hypothèses peuvent être envisagées, biologiques ou chimiques.

Une bonne performance des pilotes avec le produit du commerce EHC® est également constatée.

En termes de transposition à un traitement pleine échelle, le traitement par voie chimique sera privilégié, le réactif étant moins coûteux et plus facile à injecter. Le dosage de FZV est à choisir à 2% masse de masse de sol. Pour le traitement des BTEX, il est possible qu'il faille également prévoir une injection de matière organique (cas du pilote A2).

## 7. Essai d'extraction multiphasique

### 7.1 Principe de traitement

L'extraction multiphasique EMP est utilisée pour extraire à l'aide d'un vide renforcé (jusqu'à 800 m bars) :

- les gaz des sols ;
- l'eau libre du sol ;
- la phase organique.

En l'absence de phase libre, on parle d'extraction double phase air / eau. Dans les sols de faible perméabilité, l'extraction multiphasique peut permettre d'extraire plus d'eau qu'un pompage traditionnel.

Cet essai s'applique au traitement correspondant au code AFNOR C311b.

### 7.2 Objectifs

L'essai a pour objectifs :

- la détermination de la faisabilité de l'EMP ;
- l'évaluation de la réponse du milieu :
  - dépression acceptable pour la zone de battement de nappe et pour la zone saturée ;
  - débit d'air et d'eau par ouvrage ;
  - flux de polluants à l'état initial dans chaque phase ;
- le rayon d'influence pour déterminer le nombre d'ouvrages d'EMP à mettre en place le cas échéant ;
- l'évaluation de la cinétique de traitement.



## 7.3 Mise en œuvre des essais d'extraction multiphase

### 7.3.1 Moyens mis en œuvre

Le skid d'extraction multiphases est composé :

- 1 structure métallique avec 1 cuve à vide ;
- 2 pompes à palettes sèches 25 m<sup>3</sup>/h ;
- 1 pompe de reprise des eaux 6 - 16 m<sup>3</sup>/h (10 m<sup>3</sup>/h à 27 m HMT) ;
- 1 armoire électrique ;
- 1 filtre à charbon actif « eau » acier, dimensions : Ø 950 mm x H 2500 mm. Plancher filtrant avec crépines, Capacité en charbon actif : 1000 litres, Charbon actif en grains (0,6 - 2,36 mm) ;
- 1 filtre à charbon actif « air » acier Ø 500 mm x H 1730 mm, Fond plat / Dôme plat, volume de charbon : 200 l, Charge de charbon actif air pour FA 200, Charbon actif pellets de 4 mm.

**Figure 10 : Skid d'extraction multiphases**



Les équipements de mesure sont :

- PID ppm avec une lampe 10,6 eV ;
- Pompe d'échantillonnage d'air à soufflet, clapet ou péristaltique. La pompe à clapet permet le pompage de l'air dans le réseau en dépression, l'échantillonnage étant réalisé par la pompe Gilair ;
- Nourrice pour raccorder plusieurs ouvrages de contrôles simultanément ;
- Pompe d'échantillonnage d'air Gilair plus – débit 1 à 5000 ml/min, précision de la mesure à débit constant : 5%- alimentation batterie IP54 ;
- Débitmètre GO-Cal ;
- Anémomètre sonde vitesse air chaud 0-40 m/s ;
- Détecteur CH<sub>4</sub> / H<sub>2</sub>S résolution 10 ppm ;
- Détecteur CO<sub>2</sub> – O<sub>2</sub> de type analyseur biogaz.

L'alimentation électrique a été assurée par l'atelier du menuisier voisin. Un coffret électrique a été acheté par BURGEAP. La puissance installée a été de 3 KW en monophasée, protection 32A.

### 7.3.2 Réalisation d'ouvrages d'essais et de pilotage

Les étapes successives de l'opération sont :

- mise en place des ouvrages par les sociétés AGRI ENVIRONNEMENT (ouvrages proches de PZ4 : PZ4ESV et PZ4c) et ATME (ouvrage proche de PZ3 : PZEMP1) ;
- mise à disposition des équipements et livraison par PLM Equipements ;
- réalisation de l'essai sous la conduite de BURGEAP.

Suite aux difficultés rencontrées lors de l'essai d'injection, il a été décidé de pratiquer l'essai d'EMP sur deux zones au lieu d'une seule.

Au droit de la zone à proximité de l'ouvrage PZ3, l'aquifère est plutôt marneux. Au droit de la zone à proximité de l'ouvrage PZ4, l'aquifère est plus argileux.

Au droit de l'ouvrage PZ4, un piézomètre de contrôle et un piézomètre d'extraction ont été mis en place tandis qu'au niveau de PZ3, un ouvrage d'extraction a été installé. L'implantation des ouvrages est fournie en **Figure 2** (chapitre 4).

Les piézomètres réalisés dans le cadre de cet essai sont implantés à 6 m de profondeur. Ils ont été forés à la tarière en diamètre 275 mm et équipés en tubes PEHD de diamètre 3". Ils ont été crépinés de 1 à 5 m de profondeur (crépine 1mm), avec un massif filtrant de granulométrie [1,2mm-2mm].

## 7.4 Réalisation des essais

### 7.4.1 Méthodologie appliquée

Les essais ont été réalisés les 30 et 31/05/2018. Un premier essai a été mené en faisant varier le niveau du tube d'aspiration entre le toit de l'aquifère (3 m environ) et le fond de l'ouvrage (vers 5,5 m de profondeur).

Un deuxième essai a été réalisé en maintenant la canne d'aspiration à un niveau fixe vers 4,5 m de profondeur.

Pendant les essais ont été mesurés :

- $\Delta P$  et gaz saturant (CH<sub>4</sub>/O<sub>2</sub>/CO/CO<sub>2</sub>/ H<sub>2</sub>S) dans chacun des ouvrages de monitoring.
- Photoioniseur (COV), Vgaz et T°C : mesures à pas réguliers en entrée et ponctuellement en sortie du charbon actif.

Pour l'essai réalisé au droit de la zone à proximité de l'ouvrage PZ4, un suivi des niveaux d'eau a été réalisé pendant l'essai par des sondes de pression « Diver. ». Une mesure par sonde piézométrique a également été réalisée.

Enfin, les prélèvements suivants ont été réalisés :

- un prélèvement d'air à la fin de l'essai ;
- un prélèvement d'eau dans l'ouvrage avant le démarrage de l'essai.

## 7.4.2 Essais au droit de l'ouvrage PZEMP1

### 7.4.2.1 Synthèse des données d'essais

Les principaux résultats sont les suivants :

- l'eau de nappe est aspirée à une dépression d'environ 750 mbar ; une arrivée d'eau en continu a ensuite lieu (phénomène de slurping) ;
- le débit d'eau pompée d'environ 140 l/h ;
- le couple débit/dépression n'est pas totalement stabilisé à la fin de l'essai ; il avoisine 500 mbar/4,3 m<sup>3</sup>/h.
- l'influence de l'EMP est enregistrée dans l'ouvrage de contrôle situé à une distance de 3 m par rapport à l'ouvrage d'extraction ; en fin d'essai, le rabattement semble se stabiliser au droit de cet ouvrage (rabattement mesurée compris entre 0,2 et 0,3 m). En appliquant la formule de Sichardt<sup>2</sup> pour une nappe libre au rabattement mesuré dans l'ouvrage de contrôle voisin et en prenant en considération une perméabilité de 10<sup>-6</sup> m/s, le rayon d'influence est de l'ordre de 6 à 8 m ;
- des traces d'H<sub>2</sub>S et de méthane sont mesurées ; les teneurs en H<sub>2</sub>S dépassent la valeur limite d'exposition, des moyens de surveillance seront donc à mettre en œuvre dans le cas d'un traitement par EMP ;
- dans les gaz des sols, les concentrations en COV mesurées au PID ainsi qu'en CO<sub>2</sub> diminuent tout au long de l'essai.

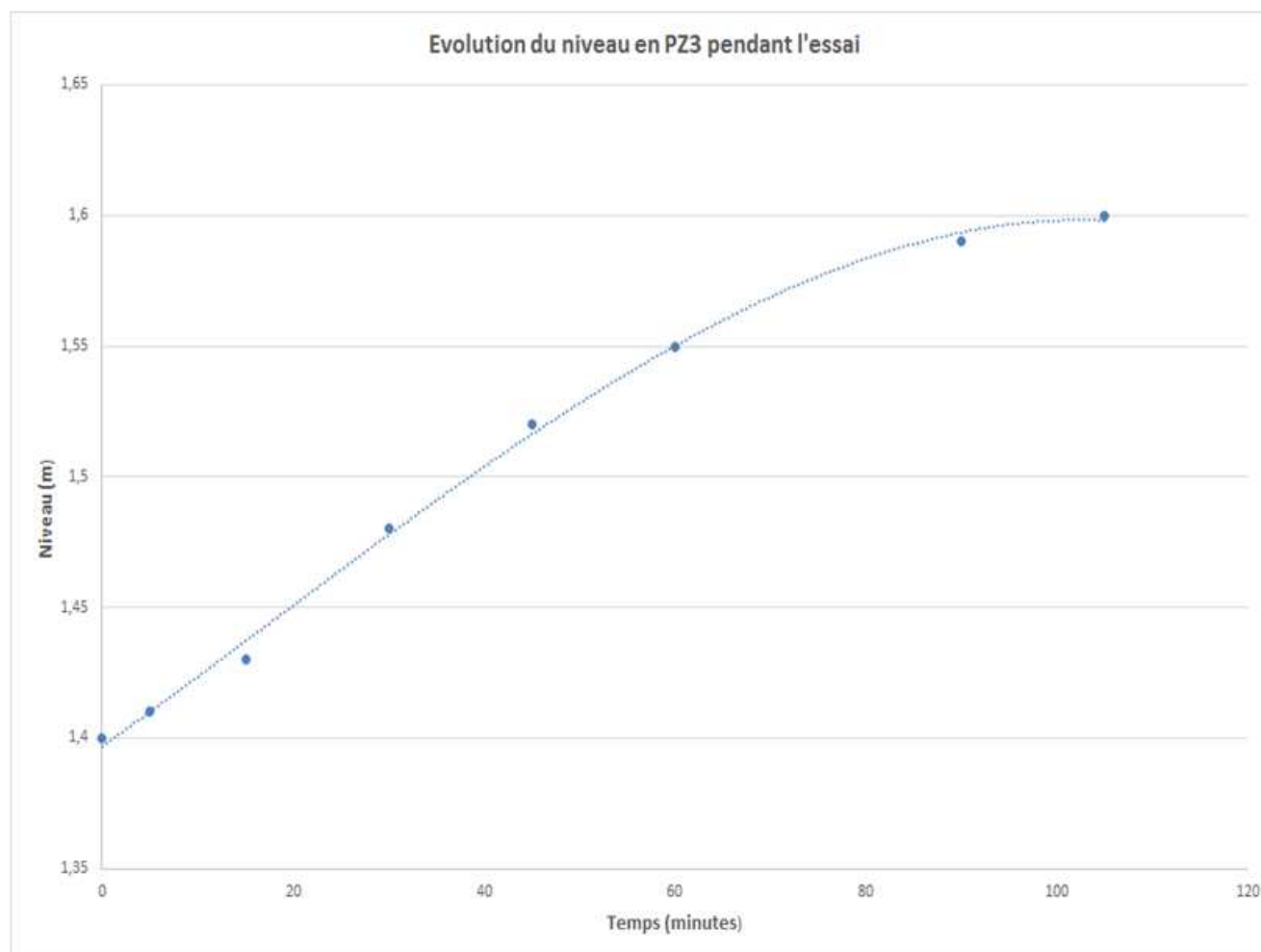
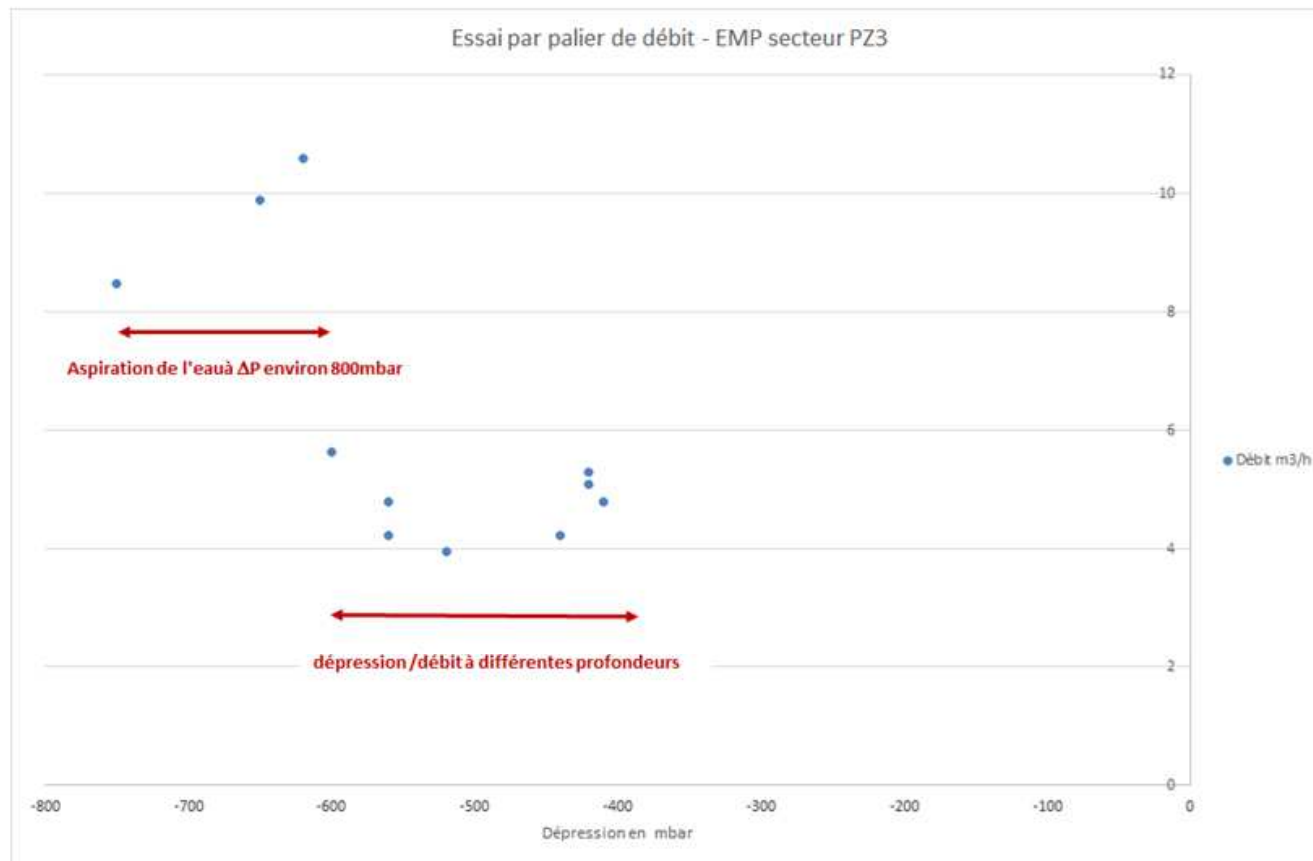
Les données d'essais sont présentées page suivante.

2

$$R = 3000(H - h)\sqrt{K}$$

Figure 11 : Essais d'EMP réalisés au droit de l'ouvrage PZEMP1

| Horaire | Evénement                   | Hauteur | Temp. Air (°C) | Pression<br>mbar | Débit<br>m <sup>3</sup> /h | Vitesse<br>m/s | PID   | O2<br>% | CO2<br>ppm | H2S<br>ppm | CH4<br>ppm | Vidange<br>d'eau | Niveau (m)  |      |       |       |  |  |
|---------|-----------------------------|---------|----------------|------------------|----------------------------|----------------|-------|---------|------------|------------|------------|------------------|-------------|------|-------|-------|--|--|
|         |                             |         |                |                  |                            |                |       |         |            |            |            |                  | PZ3         | PZ3e | PZ4p1 | PZ4p2 |  |  |
|         |                             |         |                |                  |                            |                |       |         |            |            |            |                  | sommet tube |      |       |       |  |  |
| 10h00   |                             | 3m      | 20             | -75.0            | 8.48                       | 1.2            | >1000 | 20.9    | 1500       | 8          |            |                  | 1.24        | 1.99 | 1.33  | 1.32  |  |  |
|         |                             |         |                | -65.0            | 9.99                       | 1.4            | 757   | 20.9    | 1300       | 11         |            |                  |             |      |       |       |  |  |
| 10h10   |                             | 3m50    | 29             | -62.0            | 10.60                      | 1.5            | >1000 | 20.9    | 1300       | 27         | 44         |                  | 1.32        |      |       |       |  |  |
| 10h20   |                             | 4m      | 32.8           | -60.0            | 8.65                       | 0.8            | >1000 | 20.9    | 1500       | 18         | 58         |                  | 1.38        |      |       |       |  |  |
| 10h30   |                             | 4m50    | 32.3           | -66.0            | 4.80                       | 0.68           | >1000 | 20.9    | 1800       | 22.7       | 85         |                  | 1.4         |      |       |       |  |  |
| 10h40   |                             | 5m      | 34.1           | -66.0            | 4.24                       | 0.6            | >1000 | 20.9    | 2200       | 9.7        | 68         |                  | 1.42        |      |       |       |  |  |
| 10h50   |                             | max 5.5 | 37.5           | -62.0            | 3.96                       | 0.56           | 850   | 20.9    | 1600       | 7          | 71         |                  | 1.45        |      | 1.33  | 1.32  |  |  |
| 11h00   |                             | 5m      | 38.3           | -44.0            | 4.239                      | 0.6            | 353   | 20.9    | 900        |            | 52         |                  |             |      |       |       |  |  |
| 11h10   |                             | 4m      | 41             | -42.0            | 5.29875                    | 0.75           | 149   | 20.9    | 900        | 3          | 31         |                  | 1.51        |      |       |       |  |  |
| 11h20   |                             | 3m      | 41             | -42.0            | 8.0868                     | 0.72           | 87    | 20.9    | 800        | 2.7        | 14         |                  |             |      |       |       |  |  |
|         |                             | 2m      | 40             | -41.0            | 4.8042                     | 0.68           | 87    | 20.9    | 800        | 1.9        | 19         |                  | 1.54        |      |       |       |  |  |
| 11h59   |                             | 5,5     |                |                  |                            |                |       |         |            |            |            |                  |             |      | 1.33  | 1.32  |  |  |
| ARRET   |                             |         |                |                  |                            |                |       |         |            |            |            |                  |             |      |       |       |  |  |
| 14h15   |                             | 5.5m    | 24.3           | -58.0            | 10.60                      | 1.5            | >1000 | 20.9    | 1700       | 2.7        | 70         |                  | 0           | 1.4  |       |       |  |  |
| 14.22   | vidange auto pompe eau      |         |                |                  |                            |                |       |         |            |            |            | 200l             | -0.01       | 1.41 |       |       |  |  |
| 14h30   |                             | 4m50    | 33.2           | -62.0            | 5.65                       | 0.8            | 866   | 20.9    | 900        | 3.9        | 28.5       |                  | -0.03       | 1.43 |       |       |  |  |
| 14h45   |                             | 4m50    | 38.8           | -60.0            | 4.45                       | 0.63           | 840   | 20.9    | 800        | 3.7        |            |                  | -0.08       | 1.48 |       |       |  |  |
| 15h00   |                             | 4m50    | 40.6           | -60.0            | 4.24                       | 0.6            | 812   | 20.9    | 700        | 3.4        |            |                  | -0.12       | 1.52 |       |       |  |  |
| 15h15   |                             | 4m50    | 41             | -49.0            | 4.24                       | 0.6            | 805   | 20.9    | 700        | 3.9        | 17.5       |                  | -0.15       | 1.55 |       |       |  |  |
| 15h45   | Prélèvement d'air 5 minutes |         | 41.9           | -48.0            | 4.38                       | 0.62           | 960   | 20.9    | 700        | 2.2        | 18         |                  | -0.19       | 1.59 |       |       |  |  |
| 15h50   | vidange auto pompe eau      |         |                |                  |                            |                |       |         |            |            |            | 200l             |             | 1.6  |       |       |  |  |
| 16h00   |                             | 5m      | 44.7           | -48.0            | 5.86                       | 0.83           | 522   | 20.9    | 700        | 2.2        | 16.4       |                  | -0.2        |      |       |       |  |  |
|         |                             | 1.504l  |                |                  |                            |                |       |         |            |            |            | 50 l             |             |      |       |       |  |  |



### 7.4.2.2 Flux polluants extraits pour l'essai au droit de l'ouvrage PZEMP1

Le tableau 13 présente les résultats des analyses des eaux prélevées pendant l'essai au droit de l'ouvrage PZEMP1 et à la sortie du charbon actif eau. Les bordereaux d'analyses sont fournis en **Annexe 6**.

**Tableau 13 : Résultats d'analyses d'eau en fin d'essai au droit de l'ouvrage PZEMP1**

|  | Campagne de prélèvement du 31/05/2018 |                          |                            |
|--|---------------------------------------|--------------------------|----------------------------|
|  | Pz3E - Entrée<br>filtre CA            | flux polluant<br>extrait | Pz3E - Sortie<br>filtre CA |
| <b>BTEX</b>                                      | <b>µg/l</b>                           | <b>g/h</b>               | <b>µg/l</b>                |
| Benzène  | <200                                  |                          | <0,2                       |
| Toluène  | <500                                  |                          | <0,5                       |
| Ethylbenzène                                     | <500                                  |                          | <0,5                       |
| m,p-Xylène                                       | 1 000                                 | 0,14                     | <0,2                       |
| o-Xylène   | <500                                  |                          | <0,50                      |
| Somme xylènes                                    | 1 000                                 |                          | <LQ                        |
| Somme des BTEX                                   | 1 000                                 |                          | <LQ                        |
| <b>COHV</b>                                      | <b>-</b>                              | <b>-</b>                 | <b>-</b>                   |
| Tétrachloroéthylène (PCE)                        | 37 000                                | 5,18                     | 3,4                        |
| Trichloroéthylène (TCE)                          | 5 300                                 | 0,74                     | <0,5                       |
| Somme TCE + PCE                                  | 42 300                                | 5,92                     | 3,4                        |
| cis-1,2-dichloroéthylène                         | 8 100                                 | 1,13                     | <0,50                      |
| trans-1,2-dichloroéthylène                       | <500                                  |                          | <0,50                      |
| Somme cis + trans-1,2-DCE                        | 8 100                                 | 1,13                     | <0,1                       |
| 1,1-dichloroéthylène                             | <100                                  |                          | <0,1                       |
| Chlorure de Vinyle                               | 430                                   | 0,06                     | <0,2                       |
| 1,1,2 trichloroéthane                            | <500                                  |                          | <0,5                       |
| 1,1,1 trichloroéthane                            | <500                                  |                          | <0,5                       |
| 1,2 dichloroéthane                               | <500                                  |                          | <0,5                       |
| 1,1 dichloroéthane                               | <500                                  |                          | <0,5                       |
| Tétrachlorométhane<br>(tétrachlorure de carbone) | <100                                  |                          | <0,1                       |
| Trichlorométhane (chloroforme)                   | <500                                  |                          | <0,5                       |
| Dichlorométhane                                  | <500                                  |                          | <0,5                       |
| Somme des COHV                                   | 50 830                                |                          | 3,4                        |



Les résultats des analyses d'air des échantillons prélevés pendant l'essai au niveau de l'ouvrage PZEMP1 sont rassemblés dans le tableau 14. Les bordereaux d'analyses sont fournis en **Annexe 7**.

**Tableau 14 : Résultats d'analyses d'air en fin d'essai au droit de l'ouvrage PZEMP1**

|                               | Campagne de prélèvement du 30/05/2018 |              |                               |
|-------------------------------|---------------------------------------|--------------|-------------------------------|
|                               | EMP - Pz3 - Tf<br>(5min) - ZM         | Flux extrait | EMP - Pz3 - Tf<br>(5min) - ZC |
|                               | mg/m <sup>3</sup>                     | g/h          | mg/m <sup>3</sup>             |
| Volume pompé (m3)             | 0,0015                                |              | 0,0015                        |
|                               | mg/m <sup>3</sup>                     | g/h          | mg/m <sup>3</sup>             |
| <b>Hydrocarbures par TPH</b>  |                                       |              |                               |
| Aliphatic nC>5-nC6            | 2,6                                   | 0,01         | -                             |
| Aliphatic nC>6-nC8            | 16,0                                  | 0,07         | 4,1                           |
| Aliphatic nC>8-nC10 (4)       | 16,0                                  | 0,07         | -                             |
| Aliphatic nC>10-nC12 (4)      | 20,0                                  | 0,09         | 6,2                           |
| Aromatic nC>6-nC7 benzène     | 5,0                                   | 0,02         | -                             |
| Aromatic nC>7-nC8 toluène     | 7,3                                   | 0,03         | -                             |
| Aromatic nC>8-nC10            | 28,0                                  | 0,13         | -                             |
| Aromatic nC>10-nC12           | <5                                    |              | -                             |
| Somme des TPH                 | 94,9                                  | <b>0,43</b>  | 10,3                          |
| <b>BTEX</b>                   |                                       |              |                               |
| Benzene (2)                   | 5,0                                   | 0,02         | -                             |
| Toluene                       | 7,4                                   | 0,03         | -                             |
| Ethylbenzene                  | 1,7                                   | 0,01         | -                             |
| m+p - Xylene                  | 14,9                                  | 0,07         | -                             |
| o - Xylene                    | 3,2                                   | 0,01         | -                             |
| Somme des BTEX                |                                       | <b>0,15</b>  |                               |
| <b>Autres HAM</b>             |                                       |              |                               |
| Naphtalène                    | <0,27                                 | -            | -                             |
| <b>COHV</b>                   |                                       |              |                               |
| Tétrachloroéthylène (PCE) (3) | 1133,3                                | 5,1          | -                             |
| Trichloroéthylène (TCE)       | 113,3                                 | 0,5          | -                             |
| cis-1,2-dichloroéthylène      | 73,3                                  | 0,3          | -                             |
| trans-1d2-dichloroéthylène    | <0,5                                  | -            | -                             |
| 1,1-dichloroéthylène          | 0,6                                   | 0,0          | -                             |
| Chlorure de Vinyle            | 7,3                                   | 0,0          | -                             |
| Somme des COHV                |                                       | <b>6,0</b>   |                               |

Le flux polluant extrait via la phase aqueuse avoisine 7,11 g/h en COHV et 0,14 g/h en BTEX, soit au total environ 200 g/jour pour une canne d'extraction.

Le flux polluant extrait via la phase gazeuse avoisine 6,58 g/h en somme des composés volatils.

Il est toutefois à noter que ce flux est en constante baisse pendant la durée de l'essai. Après traitement, soit en sortie du filtre à charbon actif eau, seules des traces de PCE sont retrouvées.

### 7.4.3 Essais au droit de l'ouvrage PZ4ESV

#### 7.4.3.1 Synthèse des données d'essais

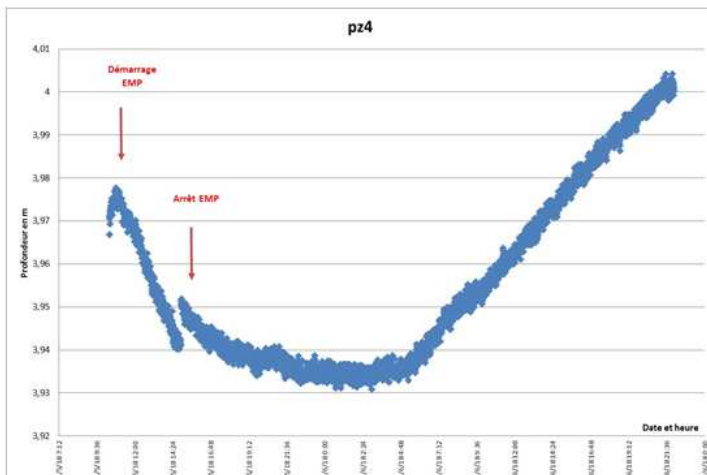
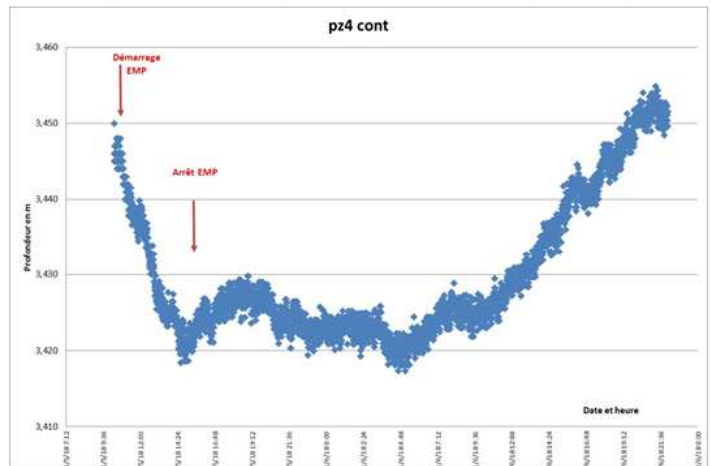
Les principaux résultats sont :

- l'eau de nappe est aspirée à une dépression d'environ 750 mbar ; une arrivée d'eau en continu a ensuite lieu (phénomène de slurping) ;
- le débit d'eau pompée est d'environ 100 l/h ;
- la température de l'air extrait augmente régulièrement ; l'essai a été arrêté alors que cette température atteignait 60°C, température excédant la plage de mesure de l'anémomètre ; la mesure de la vitesse est par conséquent faussée ;
- la dépression est en constante baisse pendant l'essai. Le couple débit /dépression mesuré n'est par conséquent pas stabilisé ; la valeur la plus fiable est celle mesurée au démarrage 180 mbar / 80 m<sup>3</sup>/h ;
- l'influence de l'EMP est enregistrée dans les ouvrages de contrôle situés respectivement à une distance de 4 m (rabattement mesuré compris entre 4 et 5 cm) et 8 m (rabattement mesuré compris entre 2 et 3 cm) ; le rayon d'influence est par conséquent supérieur à 8 m. Néanmoins, le retour à l'équilibre est très lent après l'essai (supérieur à 24h), le rayon d'influence doit donc se situer nettement au-delà de 8 m ;
- les teneurs en H<sub>2</sub>S et CH<sub>4</sub> restent à l'état de traces ;
- dans les gaz des sols, les concentrations en CO<sub>2</sub> diminuent tout au long de l'essai ; au démarrage de l'essai, le PID était saturé cependant il est tombé en panne pendant l'essai, on ne sait donc comment ont évolué les teneurs en COV.

Les données d'essais sont présentées page suivante.

Figure 12 : Essais d'EMP réalisés au droit de l'ouvrage PZ4ESV

| Evènement  | Profondeur<br>m             | Temp. air<br>°C | Pression<br>mbar | Vitesse<br>m/s | Débit<br>m3/h | PID    | O2<br>% | CO2<br>ppm | H2S<br>ppm | CH4<br>ppm | Niveau (m) |                  |      |
|--|-----------------------------|-----------------|------------------|----------------|---------------|--------|---------|------------|------------|------------|------------|------------------|------|
|  |                             |                 |                  |                |               |        |         |            |            |            | PZ4ESV     | PZ4<br>somm tube | PZ4c |
| Arrage l'eau monte à 750 mbar de dépression environ) |                             |                 |                  |                |               |        |         |            |            |            |            |                  |      |
| 11h00  | 3m                          | 23,3            | -180             | 2,8            | 79,98         | > 1000 | 20,9    | 1300       |            | 6          |            | 1,23             | 1,3  |
| 11h45  | 4m                          | 37,5            | -150             | 3,0            | 84,78         | > 1000 | 20,9    | 1100       | 0,8        | 5,3        |            |                  |      |
|  | 5m                          | 41              | -200             | 2,6            | 73,48         | -      | -       | 1100       |            |            |            |                  |      |
| 12h15  | max 5,2<br>fond 5,97        | 44              | -200             | 2,6            | 73,48         | -      | -       | 1200       |            |            |            |                  |      |
| redémarrage  |                             |                 |                  |                |               |        |         |            |            |            |            |                  |      |
| 13h40  | EMP PZ4 T0                  | max 5,2         | 27               | -210           | 3,0           | 84,78  |         | 1000       |            |            |            |                  |      |
| Arrage l'eau monte à 750 mbar de dépression environ) |                             |                 |                  |                |               |        |         |            |            |            |            |                  |      |
| 13h45  | prélèvement d'air 1 minute) |                 |                  |                | 3,1           | 87,61  |         | 1000       |            |            |            |                  |      |
| 13h50  | 0,307L                      |                 |                  |                | 3,2           | 90,43  |         | 900        |            |            |            |                  |      |
| 13h55  |                             |                 |                  |                | 3,2           | 90,43  |         | 900        |            |            |            |                  |      |
| 14h00  |                             |                 |                  |                | 3,5           | 98,91  |         | 800        |            |            |            |                  |      |
| 14h05  |                             |                 |                  |                | 3,6           | 101,74 |         | 800        |            |            |            |                  |      |
| 14h10  |                             |                 |                  |                | 3,7           | 104,56 |         | 700        |            |            |            |                  |      |
| 14h15  |                             |                 |                  |                | 3,7           | 104,56 |         | 700        |            |            |            |                  |      |
| 14h20  |                             |                 |                  |                | 3,9           | 110,21 |         | 700        |            | 2,5ppm     |            | 1,27             | 1,34 |
| 14h30  | vidange auto                |                 |                  |                |               |        |         |            |            |            |            |                  |      |
| prélèvement d'air                                    |                             | 1 minute        | 0,308l           |                |               |        |         |            |            |            |            |                  |      |



### 7.4.3.2 Flux polluants extraits pour l'essai au droit de l'ouvrage PZ4ESV

Les résultats des analyses des échantillons d'air prélevés pendant l'essai en PZ4ESV et le flux de polluants calculés correspondants sont fournis dans le tableau 15. Les bordereaux d'analyses sont fournis en **Annexe 7**.

**Tableau 15 : Résultats d'analyses d'air en début d'essai et en fin d'essai au droit de l'ouvrage PZ4ESV**

|                               | Campagne de prélèvement du 31/5/2018 |              |                    |              |
|-------------------------------|--------------------------------------|--------------|--------------------|--------------|
|                               | concentration à t0                   | Flux à t0    | concentration à tf | Flux à tf    |
|                               | mg/m3                                | g/h          | mg/m3              | g/h          |
| Volume pompé                  | 0,0003                               |              | 0,0003             |              |
| Hydrocarbures par TPH         |                                      |              |                    |              |
| Aliphatic nC>5-nC6            | -                                    |              |                    |              |
| Aliphatic nC>6-nC8            | 43,3                                 | 3,5          | 25,7               | 2,1          |
| Aliphatic nC>8-nC10 (4)       | 16,3                                 | 1,3          | 16,0               | 1,3          |
| Aliphatic nC>10-nC12 (4)      | -                                    |              |                    |              |
| Aromatic nC>6-nC7 benzène     | 126,7                                | 10,1         | 53,3               | 4,3          |
| Aromatic nC>7-nC8 toluène     | 123,3                                | 9,9          | 63,3               | 5,1          |
| Aromatic nC>8-nC10            | 116,7                                | 9,3          | 80,0               | 6,4          |
| Aromatic nC>10-nC12           | -                                    |              |                    |              |
| <b>Somme des TPH</b>          | <b>426,3</b>                         | <b>34,1</b>  | <b>238,3</b>       | <b>19,1</b>  |
| BTEX                          |                                      |              |                    |              |
| Benzene (2)                   | 126,0                                | 10,1         | 52,7               | 4,2          |
| Toluene                       | 122,0                                | 9,8          | 63,0               | 5,0          |
| Ethylbenzene                  | 10,7                                 | 0,9          | 7,3                | 0,6          |
| m+p - Xylene                  | 83,3                                 | 6,7          | 56,0               | 4,5          |
| o - Xylene                    | 23,0                                 | 1,8          | 15,7               | 1,3          |
| <b>Somme des BTEX</b>         |                                      | <b>29,2</b>  |                    | <b>15,6</b>  |
| Naphtalène                    |                                      |              |                    |              |
| COHV                          |                                      |              |                    |              |
| Tétrachloroéthylène (PCE) (3) | 1500,0                               | 120,0        | 1133,3             | 90,7         |
| Trichloroéthylène (TCE)       | 800,0                                | 64,0         | 400,0              | 32,0         |
| cis-1,2-dichloroéthylène      | 566,7                                | 45,3         | 197,3              | 15,8         |
| trans-1d2-dichloroéthylène    | 4,3                                  | 0,3          | 1,7                | 0,1          |
| 1,1-dichloroéthylène          | 2,1                                  | 0,2          | 0,8                | 0,1          |
| Chlorure de Vinyle            | 1,1                                  | 0,1          | -                  |              |
| <b>Somme des COHV</b>         |                                      | <b>229,9</b> |                    | <b>138,6</b> |

Le flux des polluants extraits via la phase gazeuse avoisine 138 g/h en COHV et 16 g/h en BTEX. Les concentrations sont en nette baisse entre le flux initial et le flux en fin d'essai.

### 7.4.3.3 Conclusion de l'essai d'EMP

Les deux essais réalisés sur deux secteurs montrent des comportements du milieu très différents.

- les rayons d'influence évalués pour l'eau souterraine sont :
  - entre 6 et 8 m lorsque la lithologie marneuse prédomine (PZEMP1, zone sud);
  - au-delà de 8 m en zone centrale où l'aquifère est plus argileux (PZ4ESV zone centrale).
- les débits extraits sont de l'ordre de 100 à 150 l/h ;
- pour l'essai réalisé en zone sud (au droit de l'ouvrage PZEMP1), les flux d'air extraits sont importants, mais la dépression n'est pas stabilisée pendant l'essai (en baisse constante) et l'échauffement de l'air extrait fausse la mesure de vitesse ;
- pour l'essai réalisé en zone centrale (au droit de l'ouvrage PZ4ESV), les débits extraits sont moindres (4-5 m<sup>3</sup>/h) ;
- en zone Sud, le flux polluant extrait via la phase aqueuse estimé avoisine 7,11 g/h pour les COHV et 0,14 g/h pour les BTEX, soit au total environ 200 g/jour de COV pour une canne d'extraction ;
- le flux polluant extrait en phase gazeuse est en constante baisse pendant la durée de l'essai.

En synthèse, **l'EMP est fonctionnelle**. Aucune phase n'a été récupérée pendant l'essai, ce qui indique l'absence de phase d'une manière générale en zone source, ou en faible proportion<sup>3</sup>.

Les flux de COV extraits pour l'essai en zone Sud avoisinent 6,58 g/h dans l'air et 7,3 g/h dans les eaux.

Le rayon d'influence d'un ouvrage d'extraction au minimum sera de 6 à 8 m ou plus, avec un débit qui n'excèdera pas 100 à 150 l/h par pointe.

Au vu des problèmes d'échauffement d'air, il sera préférable en cas de traitement par extraction multiphasées de fonctionner avec un réseau air/eau séparatif.

<sup>3</sup> Ce constat est cohérent avec les calculs réalisés avec le logiciel OREOS®, qui établit l'absence de phase ou sa présence à faible proportion en zone source à l'exception du secteur du sondage T34.



## 8. Conclusions des essais de traitement

Les essais réalisés ont permis d'identifier des voies de traitement adaptées, soit :

### Pour la zone non saturée :

- le venting, pour les chloroéthènes et pour les BTEX. Les flux extraits sont significatifs ;
- le bioventing pour les BTEX : il est probable que les BTEX pourront être dégradés par bioventing, au vu des teneurs élevées en CO<sub>2</sub> m. Toutefois, ce processus n'a pas été démontré, le CO<sub>2</sub> pouvant provenir de la dégradation aérobie d'autres molécules comme les hydrocarbures aliphatiques

Le rayon d'action du venting / bioventing est évalué à environ 3 m. Une attention particulière devra être portée aux variations de lithologie pour traiter l'ensemble des lithologies de la zone non saturée.

### Pour la zone saturée :

- la réduction chimique pour les chloroéthènes ;
- la réduction chimique ou biologique pour les BTEX.

Les taux d'abattement mesurés atteignent au moins 90%. Le processus d'abattement des BTEX n'a toutefois pas été caractérisé, pouvant être d'origine chimique ou biologique. Pour une meilleure maîtrise du traitement, il sera nécessaire de comprendre ce processus au préalable.

Le rayon d'action de l'injection dans les marnes est évalué entre 1 et 1,50 m.

L'extraction multiphase, quoi que fonctionnelle, apparait peu prometteuse. Elle devra être réservée aux secteurs où de la phase libre mobile est présente puisqu'elle permet la récupération simultanée des phases gazeuses et aqueuses polluées et de la phase organique (cas du secteur du sondage T34 uniquement).



## **Annexe 1. Coupes des nouveaux ouvrages**

|   |  |  |  |   |  |
|---|--|--|--|---|--|
| <b>Nom d'ouvrage :</b> PzV3<br>Intervenant BURGEAP : GUG<br>Date : 25/05/2018 Heure : 9h30<br>Conditions météorologiques : Ensoleillé |  | <b>Sous-traitant (société / intervenant) :</b> ATME<br><br>Technique de forage : Tarière mécanique<br>Profondeur atteinte (m/sol) : 6<br>Diamètre de foration (mm) : 88  |  | <b>Nature équipement :</b><br><input type="checkbox"/> PVC <input checked="" type="checkbox"/> PEHD<br><input type="checkbox"/> Autre : ...<br>Diamètre équipement (mm) : 52/60<br>Profondeur du piézomètre (m/repère) : 5,8<br>Prof. Haut de la crépine (m/rep) : 5,8<br>Prof. Base de la crépine (m/rep) : 5,8<br>Fente et largeur de crépine (mm) : 2<br>Diamètre (gamme) des graviers du massif filtrant (mm) : |  |
| <b>Localisation</b><br>Système de projection :<br>X : Y :<br>Nature du repère :<br>Zrepère (m. NGF) :<br>Nature du sol en surface :   |  | Nature équipement en tête d'ouvrage :<br><input type="checkbox"/> Capot hors sol <input checked="" type="checkbox"/> Bouche à clé<br><input type="checkbox"/> Autre, préciser : ...<br>Hauteur du repère (m/sol) : 0 |  | <b>Développement / Nettoyage du piézomètre</b><br>Méthode de développement : Pompage<br>Niveau d'eau avant nettoyage (m/rep.) =<br>Niveau d'eau après nettoyage (m/rep.) =  |  |
|   |  | Méthode de nettoyage :<br>Durée de Nettoyage :<br>Débit de Nettoyage :   |  | Etat du fond après nettoyage :  |  |

| COUPE GEOLOGIQUE |   | POLLUTION                             |                    |                   | COUPE EQUIPEMENT |                       |
|------------------|---|---------------------------------------|--------------------|-------------------|------------------|-----------------------|
| Prof (m)         | Description                                   | Observations (aspect, couleur, odeur) | Mesures de terrain | Ech. de sols (n°) | Prof (m)         | Préciser l'équipement |
| 0                | granulométrique, lithologique et venues d'eau |                                       | ...                |                   |                  |                       |
|                  | Béton   |                                       |                    |                   |                  |                       |
| 1                | Limons argileux                               | Couleur brun foncé                    |                    |                   |                  |                       |
| 2                | Marnes  | Couleur brun clair<br>Forte odeur     |                    |                   |                  |                       |
| 3                |   |                                       |                    |                   |                  |                       |
| 4                | Argiles                                       | Couleur vert/bleu<br>Forte odeur      |                    |                   |                  |                       |
| 5                |   |                                       |                    |                   |                  |                       |
| 6                |   |                                       |                    |                   |                  |                       |
| 7                |   |                                       |                    |                   |                  |                       |
| 8                |   |                                       |                    |                   |                  |                       |
| 9                |   |                                       |                    |                   |                  |                       |
| 10               |   |                                       |                    |                   |                  |                       |

|  |  |  |  |  |  |
|--|--|--|--|--|--|
| <b>Légende (coupe technique) :</b><br><input type="checkbox"/> Tube crépiné<br><input type="checkbox"/> Tube plein<br><input type="checkbox"/> Bouchon de fond |  | <input checked="" type="checkbox"/> Cimentation<br><input type="checkbox"/> Bentonite - ciment<br><input type="checkbox"/> Bentonite<br><input type="checkbox"/> Massif filtrant |  | <b>Remarques :</b><br>Volume de massif filtrant utilisé :<br>Volume de coulis bentonite utilisé :<br>Si mesure de terrain ou diagraphies, préciser les paramètres et méthodes<br>Si éch. de sol, mode de confection et flaconnage :<br>... |  |
|--|--|--|--|--|--|

|   |   |   |
|---|---|---|
| <b>Nom d'ouvrage :</b> PzV4<br><b>Foreur :</b> ATME<br><b>Intervenant BURGEAP :</b> GUG<br><b>Date :</b> 25/05/2018 <b>Heure :</b> 11h00<br><b>Conditions météorologiques :</b> | <b>Technique de forage :</b> Tarrière mécanique<br><b>Nature du recouvrement de surface :</b> Béton<br><b>Nature équipement en tête d'ouvrage :</b><br><b>Nature du repère :</b> Sol<br><b>Hauteur du repère par rapport au sol :</b> | <b>Profondeur de foration (m/sol) :</b> 1<br><b>Prof. Haut de la crépine (m/rep) :</b> 0,3<br><b>Prof. Base de la crépine (m/rep) :</b> 1<br><b>Diamètre de foration (mm) :</b> 52/60<br><b>Diamètre équipement (mm) :</b> 25 |
| <b>Localisation</b><br><b>Système de projection :</b><br><b>X :</b><br><b>Y :</b><br><b>Zrep (m. NGF) :</b>   | <b>Vérification de l'étanchéité</b><br><b>CO2 stabilisé (%) :</b> <b>CO2 air (%) :</b><br><b>O2 stabilisé (%) :</b> <b>O2 air (%) :</b><br><b>Temps de stabilisation (min) :</b><br><b>Débit de l'essai (l/min) :</b>                 | <b>Nature équipement :</b> PEHD<br><b>Fente et largeur de crépine (mm) :</b> 2  |

| COUPE GEOLOGIQUE |   | POLLUTION                             |                    |                   | COUPE EQUIPEMENT |                       |     |                     |
|------------------|---|---------------------------------------|--------------------|-------------------|------------------|-----------------------|-----|---------------------|
| Prof (m)         | Description                                   | Observations (aspect, couleur, odeur) | Mesures de terrain | Ech. de sols (n°) | Prof (m)         | Préciser l'équipement |     |                     |
| 0                | granulométrique, lithologique et venues d'eau |                                       | ...                |                   |                  | 0                     | ### | Cimentation de tête |
|                  | Béton   |                                       |                    |                   |                  |                       | ### | Bentonite           |
|                  | Limons argileux                               |                                       |                    |                   |                  |                       | ### | Massif filtrant     |
| 1                |   |                                       |                    |                   |                  | 1                     |     |                     |
| 2                |   |                                       |                    |                   |                  |                       |     |                     |
| 3                |   |                                       |                    |                   |                  |                       |     |                     |

**Légende (coupe technique) :**

|  |                   |
|--|-------------------|
|  | Cimentation       |
|  | Tube crépiné      |
|  | Bentonite -ciment |
|  | Tube plein        |
|  | Bentonite         |
|  | Bouchon de fond   |
|  | Massif filtrant   |

**Remarques :**  
 Volume de massif filtrant utilisé :  
 Volume de coulis bentonite utilisé :  
 Si éch. de sol, mode de confection et flaconnage :  
 ...



|   |  |   |
|---|--|---|
| <b>Nom d'ouvrage :</b> PzV5<br><b>Foreur :</b> ATME<br><b>Intervenant BURGEAP :</b> GUG<br><b>Date :</b> 25/05/2018 <b>Heure :</b> 11h00<br><b>Conditions météorologiques :</b> | <b>Technique de forage :</b> Tarière mécanique<br><b>Nature du recouvrement de surface :</b> Béton<br><b>Nature équipement en tête d'ouvrage :</b><br><b>Nature du repère :</b> Sol<br><b>Hauteur du repère par rapport au sol :</b> | <b>Profondeur de foration (m/sol) :</b> 1<br><b>Prof. Haut de la crépine (m/rep) :</b> 0,3<br><b>Prof. Base de la crépine (m/rep) :</b> 1<br><b>Diamètre de foration (mm) :</b> 52/60<br><b>Diamètre équipement (mm) :</b> 25 |
| <b>Localisation</b><br><b>Système de projection :</b><br><b>X :</b><br><b>Y :</b><br><b>Zrep (m. NGF) :</b>   | <b>Vérification de l'étanchéité</b><br><b>CO2 stabilisé (%) :</b> <b>CO2 air (%) :</b><br><b>O2 stabilisé (%) :</b> <b>O2 air (%) :</b><br><b>Temps de stabilisation (min) :</b><br><b>Débit de l'essai (l/min) :</b>                | <b>Nature équipement :</b> PEHD<br><b>Fente et largeur de crépine (mm) :</b> 2  |

| COUPE GEOLOGIQUE |   | POLLUTION                |                    |              | COUPE EQUIPEMENT |                       |                     |
|------------------|---|--------------------------|--------------------|--------------|------------------|-----------------------|---------------------|
| Prof (m)         | Description                                   | Observations             | Mesures de terrain | Ech. de sols | Prof (m)         | Préciser l'équipement |                     |
|                  | granulométrique, lithologique et venues d'eau | (aspect, couleur, odeur) | ...                | (n°)         |                  |                       |                     |
| 0                | Béton   |                          |                    |              | 0                | ###                   | Cimentation de tête |
|                  |   |                          |                    |              |                  | ###                   | Bentonite           |
|                  | Limons argileux                               | Couleur brun foncé       |                    |              |                  | ###                   | Massif filtrant     |
| 1                |   |                          |                    |              | 1                |                       |                     |
| 2                |   |                          |                    |              |                  |                       |                     |
| 3                |   |                          |                    |              |                  |                       |                     |

|   |  |
|---|--|
| <b>Légende (coupe technique) :</b><br>Tube crépiné<br>Tube plein<br>Bouchon de fond<br>Cimentation<br>Bentonite -ciment<br>Bentonite<br>Massif filtrant | <b>Remarques :</b><br>Volume de massif filtrant utilisé :<br>Volume de coulis bentonite utilisé :<br>Si éch. de sol, mode de confection et flaconnage :<br>... |
|---|--|

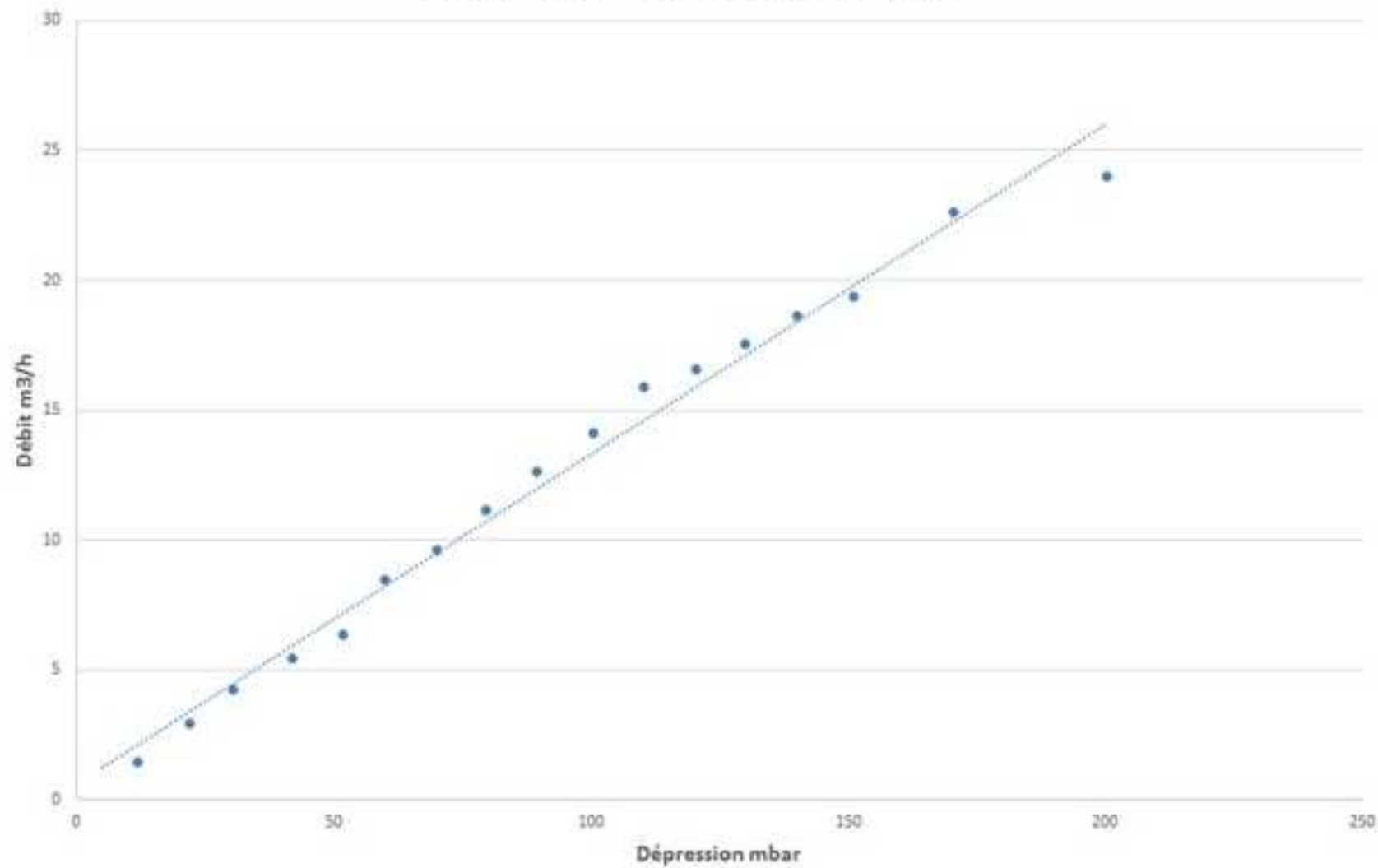
|   |  |  |
|---|--|--|
| <b>Nom d'ouvrage :</b> PzV6<br><b>Foreur :</b> ATME<br><b>Intervenant BURGEAP :</b> GUG<br><b>Date :</b> 25/05/2018 <b>Heure :</b> 14h00<br><b>Conditions météorologiques :</b> | <b>Technique de forage :</b> Tarière mécanique<br><b>Nature du recouvrement de surface :</b> Béton<br><b>Nature équipement en tête d'ouvrage :</b><br><b>Nature du repère :</b> Sol<br><b>Hauteur du repère par rapport au sol :</b> | <b>Profondeur de foration (m/sol) :</b> 1<br><b>Prof. Haut de la crépine (m/rep) :</b> 0,3<br><b>Prof. Base de la crépine (m/rep) :</b> 1<br><b>Diamètre de foration (mm) :</b> 52<br><b>Diamètre équipement (mm) :</b> 25 |
| <b>Localisation</b><br><b>Système de projection :</b><br><b>X :</b><br><b>Y :</b><br><b>Zrep (m. NGF) :</b>   | <b>Vérification de l'étanchéité</b><br><b>CO2 stabilisé (%) :</b> <b>CO2 air (%) :</b><br><b>O2 stabilisé (%) :</b> <b>O2 air (%) :</b><br><b>Temps de stabilisation (min) :</b><br><b>Débit de l'essai (l/min) :</b>                | <b>Nature équipement :</b> PEHD<br><b>Fente et largeur de crépine (mm) :</b> 2   |

| COUPE GEOLOGIQUE |   | POLLUTION                |                    |              | COUPE EQUIPEMENT |                       |                     |
|------------------|---|--------------------------|--------------------|--------------|------------------|-----------------------|---------------------|
| Prof (m)         | Description                                   | Observations             | Mesures de terrain | Ech. de sols | Prof (m)         | Préciser l'équipement |                     |
|                  | granulométrique, lithologique et venues d'eau | (aspect, couleur, odeur) | ...                | (n°)         |                  |                       |                     |
| 0                | Béton   |                          |                    |              | 0                | ###                   | Cimentation de tête |
|                  |   |                          |                    |              |                  | ###                   | Bentonite           |
|                  | Limons argileux                               | Couleur brun foncé       |                    |              |                  | ###                   | Massif filtrant     |
| 1                |   |                          |                    |              | 1                |                       |                     |
| 2                |   |                          |                    |              |                  |                       |                     |
| 3                |   |                          |                    |              |                  |                       |                     |

|   |  |
|---|--|
| <b>Légende (coupe technique) :</b><br>Tube crépiné<br>Tube plein<br>Bouchon de fond<br>Cimentation<br>Bentonite -ciment<br>Bentonite<br>Massif filtrant | <b>Remarques :</b><br>Volume de massif filtrant utilisé :<br>Volume de coulis bentonite utilisé :<br>Si éch. de sol, mode de confection et flaconnage :<br>... |
|---|--|

## **Annexe 2. Monitoring du venting**

Essais par palier - PZV4 courbe débit-dépression

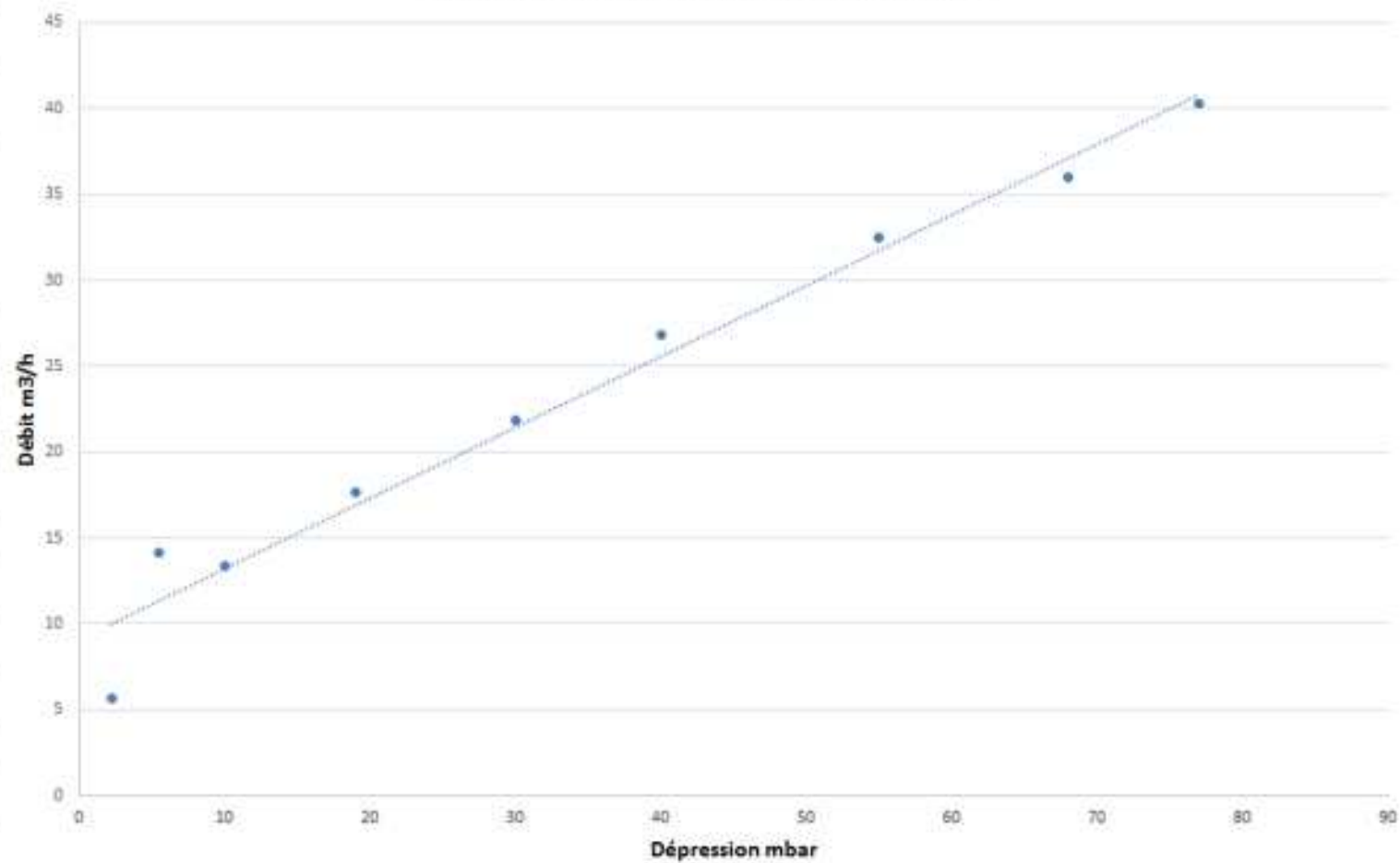


| PUITS D'EXTRACTION |                                      |             |          | SKID DE VENTING  |                           | PUITS DE CONTRÔLE |                                   |                           |      |       |                                   |                           |       |
|--------------------|--------------------------------------|-------------|----------|------------------|---------------------------|-------------------|-----------------------------------|---------------------------|------|-------|-----------------------------------|---------------------------|-------|
| Diamètre (mm)      |                                      | 50          |          | Points de mesure |                           | PZV6              |                                   |                           |      | PZV5  |                                   |                           |       |
| PZV4               |                                      |             |          |                  |                           |                   |                                   |                           |      |       |                                   |                           |       |
| Temps (min)        | Pression en tête d'ouvrage (en mbar) | Vitesse m/s | Q m3/h   | T°C air extrait  | Mesure PID ppmV (Isobut.) | O2 %              | Pression en tête d'ouvrage (mbar) | Mesure PID ppmV (Isobut.) | CO   | O2 %  | Pression en tête d'ouvrage (mbar) | Mesure PID ppmV (Isobut.) | O2 %  |
| 0                  |                                      |             |          |                  | 972                       | 20,9              |                                   | 503                       | 0    | 20,9  |                                   | 115                       | 20,9  |
| 10                 | 5                                    | 0,08        |          | 21               | 140                       | 20,90             | 0                                 | 660,00                    | 1,00 | 20,40 | -0,1                              | 60                        | 20,9  |
| 20                 | 11,8                                 | 0,2         | 1,413    | 20,4             | 194                       | 20,90             | 0                                 | 880,00                    | 3,00 | 19,80 | -0,1                              | 341                       | 21    |
| 30                 | 22                                   | 0,41        | 2,89665  |                  | 284                       | 20,90             | 0                                 | >1000                     | 3    | 19,40 | 0                                 | 400                       | 20,9  |
| 40                 | 30,4                                 | 0,6         | 4,239    |                  | 420                       | 20,20             | 0                                 | >1000                     | 4    | 19,10 | 0                                 | 453                       | 20,9  |
| 50                 | 41,9                                 | 0,77        | 5,44005  | 19,6             | >1000                     | 20,00             | 0                                 | >1000                     | 4    | 18,80 | 0                                 | 503                       | 20,9  |
| 60                 | 51,7                                 | 0,9         | 6,3585   |                  | >1000                     | 20,10             | 0                                 | >1000                     | 3    | 19    | 0                                 | 463                       | 20,9  |
| 70                 | 60                                   | 1,2         | 8,478    | 19,6             | >1000                     | 19,90             |                                   | >1000                     | 2,00 | 19,00 | 0                                 | 466                       | 20,9  |
| 80                 | 70                                   | 1,36        | 9,6084   | 19,7             | >1000                     | 19,80             | 0,00                              | >1000                     | 2,00 | 19,30 | 0                                 | 450                       | 20,8  |
| 90                 | 79,7                                 | 1,58        | 11,1627  |                  | >1000                     | 19,80             | 0,00                              | >1000                     | 2,00 | 19,10 | 0                                 | 431                       | 20,9  |
| 100                | 89,5                                 | 1,79        | 12,64635 |                  | >1000                     | 19,80             | 0,00                              | >1000                     | 2,00 | 19,10 | -0,1                              | 449,00                    | 20,9  |
| 110                | 100,4                                | 2           | 14,13    |                  | >1000                     | 19,70             | 0,00                              | >1000                     | 1,00 | 19,20 | 0,00                              | 446,00                    | 20,9  |
| 120                | 110,3                                | 2,25        | 15,89625 |                  | >1000                     | 19,90             | 0,00                              |                           | 1,00 | 19,30 | 0,00                              | 442,00                    | 20,90 |
| 130                | 120,5                                | 2,35        | 16,60275 |                  | >1000                     | 19,80             | 0,00                              | -1000                     | 1,00 | 19,50 | 0,00                              | 453,00                    | 20,90 |
| 140                | 130                                  | 2,48        | 17,5212  |                  | >1000                     | 20,00             | 0,00                              | -1000                     | 1,00 | 19,50 | 0,00                              | 508,00                    | 20,90 |
| 150                | 140,1                                | 2,64        | 18,6516  |                  | >1000                     | 20,10             | 0,00                              | >1000                     | 1,00 | 19,60 | 0,00                              | 425,00                    | 20,90 |
| 160                | 151                                  | 2,74        | 19,3581  | 19,50            | >1000                     | 20,10             | 0,00                              | >1000                     | 0,00 | 19,70 | 0,00                              | 441,00                    | 20,90 |
| 170                | 170,6                                | 3,2         | 22,608   | 19,50            | >1000                     | 20,10             | 0,00                              | >1000                     | 0,00 | 19,70 | 0,00                              | 424,00                    | 20,90 |
| 180                | 200,2                                | 3,4         | 24,021   | 19,60            | >1000                     | 20,10             | 0,00                              | >1000                     | 0,00 | 19,80 | 0,00                              | 432,00                    | 20,90 |

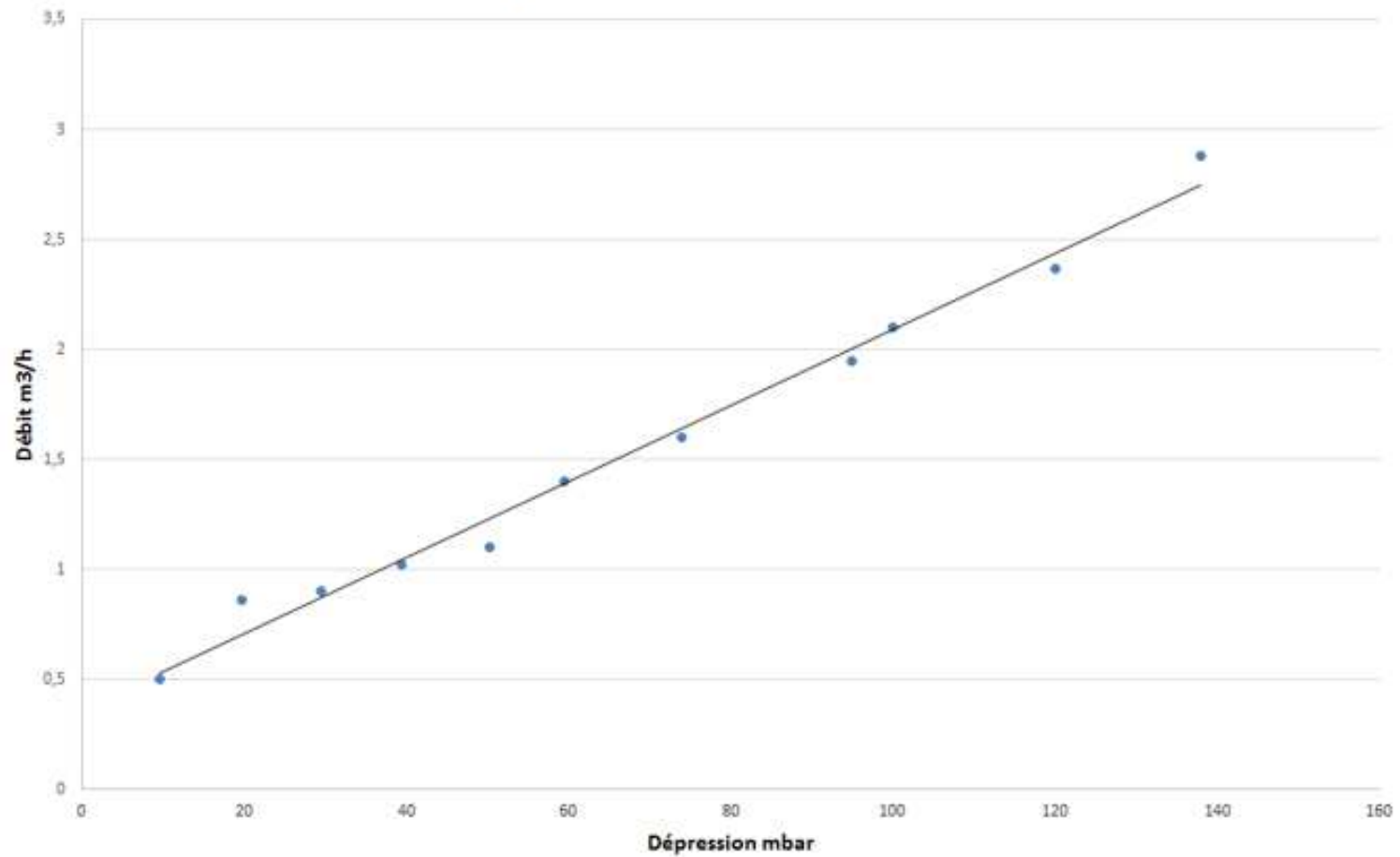


| PUITS D'EXTRACTION |                                   | SKID DE VENTING           |         |       | PUITS DE CONTRÔLE                 |                           |         |       |                                   |                           |       |                                   |                           |       |  |
|--------------------|-----------------------------------|---------------------------|---------|-------|-----------------------------------|---------------------------|---------|-------|-----------------------------------|---------------------------|-------|-----------------------------------|---------------------------|-------|--|
|                    |                                   | Points de mesure          |         |       | Piézair 1,5m = PZG1               |                           |         |       | PZv3 3m                           |                           |       | PZv2 5m                           |                           |       |  |
| PZV1               |                                   |                           |         |       |                                   |                           |         |       |                                   |                           |       |                                   |                           |       |  |
| Temps( min)        | Pression en tête d'ouvrage (mbar) | Mesure PID ppmV (Isobut.) | CO2 ppm | O2 %  | Pression en tête d'ouvrage (mbar) | Mesure PID ppmV (Isobut.) | CO2 ppm | O2 %  | Pression en tête d'ouvrage (mbar) | Mesure PID ppmV (Isobut.) | O2 %  | Pression en tête d'ouvrage (mbar) | Mesure PID ppmV (Isobut.) | O2 %  |  |
| 0                  | 0                                 | 750                       | 7100    |       | 0                                 | 380                       | 6700    | 20,50 | 0,00                              | >1000                     | 20,50 |                                   |                           |       |  |
| 10                 | 2,2                               | >1000                     |         |       |                                   |                           |         |       |                                   | >1000                     |       |                                   |                           |       |  |
| 20                 | 5,5                               | >1000                     |         | 20,20 | 0,00                              | 370                       |         | 20,50 |                                   | >1000                     |       | 0,00                              | > 1000                    |       |  |
| 30                 | 10                                | >1000                     |         |       |                                   |                           |         |       | 0,00                              | 625                       | 20,50 |                                   |                           |       |  |
| 40                 | 19                                | >1000                     |         |       |                                   |                           |         |       |                                   | 625                       | 19,90 |                                   | >1000                     | 19,70 |  |
| 50                 | 30                                | >1000                     |         |       |                                   |                           |         |       |                                   | 664,00                    | 20,20 | 0,00                              | >1000                     | 19,40 |  |
| 60                 | 40                                | >1000                     |         |       | 0,00                              | 270                       | 2700    | 19,60 | 0,00                              | 710                       |       |                                   | >1000                     | 19,60 |  |
| 70                 | 55                                | >1000                     | 1400    | 20,40 | 0,00                              | 130                       |         |       | -0,10                             | >1000                     | 20,00 |                                   | >1000                     | 19,70 |  |
| 80                 | 68                                | >1000                     |         |       | 0,00                              | 98                        |         | 19,60 |                                   | 966,00                    | 18,20 | 0,00                              | >1000                     | 19,60 |  |
| 94                 | 77                                | >1000                     | 1400    | 20,40 |                                   |                           | 2500    | 19,60 | 0,00                              | 892,00                    | 19,50 | 0,00                              | >1000                     | 19,60 |  |

Essais par palier -PZV1-couples débits/ dépression



Essais par palier -PZV2-couples débits/ dépression



## **Annexe 3.**

# **Bordereaux des analyses d'air lors du venting**

# AL-West B.V.

Dortmundstraat 16B, 7418 BH Deventer, the Netherlands  
Postbus 693, 7400 AR Deventer  
Tel. +31(0)570 788110, Fax +31(0)570 788108  
e-Mail: info@al-west.nl, www.al-west.nl



# AGROLAB GROUP

Your labs. Your service.

Date 05.06.2018  
N° Client 35004100

## RAPPORT D'ANALYSES 771631 - 557828

|   | Unité   | Résultat            | Limit d. Quant. | Incert. Résultat % | Méthode         |
|---|---------|---------------------|-----------------|--------------------|-----------------|
| * Hydrocarbures aromatiques >C10-C12 (tube) | µg/tube | <4,0 <sup>pg)</sup> | 4               |                    | Méthode interne |
| * Hydrocarbures aromatiques >C12-C16 (tube) | µg/tube | <4,0 <sup>pg)</sup> | 4               |                    | Méthode interne |

pg) La limite de détection a été augmentée car la quantité de charbon actif contenue dans le tube était supérieure à 100mg+50mg.

Explication: dans la colonne de résultats "<" signifie inférieur à la limite de quantification; n.d. signifie non déterminé.

L'incertitude étendue et combinée donnée dans le rapport ci-dessus est généralement calculée selon les prescriptions du "Guide de l'expression des incertitudes de mesure" (GUM, JCGM 100: 2008), spécifié dans le Rapport Nordtest TR 537. Le facteur d'élargissement  $k = 2$  correspond au niveau de confiance de 95% (intervalle de confiance). Les incertitudes rapportées sont valables pour différentes matrices et différentes concentrations. Certains échantillons très spécifiques peuvent néanmoins occasionner une incertitude de mesure différente de celle donnée ci-dessus.

Les détails concernant l'incertitude de mesure seront fournis sur demande.

Début des analyses: 31.05.2018

Fin des analyses: 05.06.2018

Les résultats d'analyses ne concernent que ces échantillons soumis à essai. La qualité du résultat rendu est contrôlée et validée, mais la pertinence en est difficilement vérifiable car le laboratoire n'a pas connaissance du contexte du site, de l'historique de l'échantillon.

AL-West B.V. Melle Mylène Magnenet, Tel. +33/380680156

Les paramètres indiqués dans ce document sont accrédités selon ISO/IEC 17025 :2005. Seuls les paramètres non accrédités sont signalés par le symbole « \* ».

# AL-West B.V.

Dortmundstraat 16B, 7418 BH Deventer, the Netherlands  
Postbus 693, 7400 AR Deventer  
Tel. +31(0)570 788110, Fax +31(0)570 788108  
e-Mail: info@al-west.nl, www.al-west.nl



# AGROLAB GROUP

Your labs. Your service.

BURGEAP (PARIS 92)  
Monsieur Mathieu OUGIER  
27 RUE DE VANVES  
92772 BOULOGNE BILLANCOURT  
FRANCE

Date 05.06.2018

N° Client 35004100

## RAPPORT D'ANALYSES 771631 - 557828

N° Cde 771631 2018/05/30 - B18/2674 - MO/CACH - Prélèvements venting  
N° échant. 557828 Air  
Date de validation 31.05.2018  
Prélèvement 29.05.2018  
Prélèvement par: Client  
Spécification des échantillons Venting longue durée - TF - 5 min - ZC

| Unité | Résultat | Limit d. Quant. | Incert. Résultat % | Méthode |
|-------|----------|-----------------|--------------------|---------|
|-------|----------|-----------------|--------------------|---------|

### Composés aromatiques

|                           |         |                      |     |  |                 |
|---------------------------|---------|----------------------|-----|--|-----------------|
| Naphtalène (tube)         | µg/tube | <0,20 <sup>pgl</sup> | 0,2 |  | Méthode interne |
| Benzène (tube)            | µg/tube | <0,10 <sup>pgl</sup> | 0,1 |  | Méthode interne |
| Toluène (tube)            | µg/tube | <0,20 <sup>pgl</sup> | 0,2 |  | Méthode interne |
| Ethylbenzène (tube)       | µg/tube | <0,20 <sup>pgl</sup> | 0,2 |  | Méthode interne |
| <i>m,p</i> -Xylène (tube) | µg/tube | <0,20 <sup>pgl</sup> | 0,2 |  | Méthode interne |
| <i>o</i> -Xylène (tube)   | µg/tube | <0,20 <sup>pgl</sup> | 0,2 |  | Méthode interne |
| Somme Xylènes (tube)      | µg/tube | n.d.                 |     |  | Méthode interne |

### COHV

|  |         |                      |     |  |                 |
|--|---------|----------------------|-----|--|-----------------|
| 1,1-Dichloroéthène (tube)                    | µg/tube | <0,20 <sup>pgl</sup> | 0,2 |  | Méthode interne |
| Chlorure de Vinyle (tube)                    | µg/tube | <0,20 <sup>pgl</sup> | 0,2 |  | Méthode interne |
| Somme cis/trans-1,2-Dichloroéthylènes (tube) | µg/tube | n.d.                 |     |  | Méthode interne |
| Dichlorométhane (tube)                       | µg/tube | <0,50 <sup>pgl</sup> | 0,5 |  | Méthode interne |
| <i>Trans</i> -1,2-Dichloroéthylène (tube) *  | µg/tube | <0,40 <sup>pgl</sup> | 0,4 |  | Méthode interne |
| 1,1-Dichloroéthane (tube)                    | µg/tube | <0,40 <sup>pgl</sup> | 0,4 |  | Méthode interne |
| <i>cis</i> -1,2-Dichloroéthène (tube)        | µg/tube | <0,40 <sup>pgl</sup> | 0,4 |  | Méthode interne |
| Trichlorométhane (tube)                      | µg/tube | <0,40 <sup>pgl</sup> | 0,4 |  | Méthode interne |
| 1,2-Dichloroéthane (tube)                    | µg/tube | <0,40 <sup>pgl</sup> | 0,4 |  | Méthode interne |
| 1,1,1-Trichloroéthane (tube)                 | µg/tube | <0,40 <sup>pgl</sup> | 0,4 |  | Méthode interne |
| Tétrachlorométhane (tube)                    | µg/tube | <0,40 <sup>pgl</sup> | 0,4 |  | Méthode interne |
| Trichloroéthylène (tube)                     | µg/tube | <0,10 <sup>pgl</sup> | 0,1 |  | Méthode interne |
| 1,1,2-Trichloroéthane (tube)                 | µg/tube | <0,40 <sup>pgl</sup> | 0,4 |  | Méthode interne |
| Tétrachloroéthylène (tube)                   | µg/tube | <0,40 <sup>pgl</sup> | 0,4 |  | Méthode interne |

### TPH

|  |         |                      |     |  |                 |
|--|---------|----------------------|-----|--|-----------------|
| Somme Hydrocarbures aliphatiques (tube) *    | µg/tube | n.d.                 |     |  | Méthode interne |
| Somme Hydrocarbures aromatiques (tube) *     | µg/tube | n.d.                 |     |  | Méthode interne |
| Hydrocarbures aliphatiques >C5-C6 (tube) *   | µg/tube | <4,0 <sup>pgl</sup>  | 4   |  | Méthode interne |
| Hydrocarbures aliphatiques >C6-C8 (tube) *   | µg/tube | <4,0 <sup>pgl</sup>  | 4   |  | Méthode interne |
| Hydrocarbures aliphatiques >C8-C10 (tube) *  | µg/tube | <4,0 <sup>pgl</sup>  | 4   |  | Méthode interne |
| Hydrocarbures aliphatiques >C10-C12 (tube) * | µg/tube | <4,0 <sup>pgl</sup>  | 4   |  | Méthode interne |
| Hydrocarbures aliphatiques >C12-C16 (tube) * | µg/tube | <4,0 <sup>pgl</sup>  | 4   |  | Méthode interne |
| Hydrocarbures aromatiques >C6-C7 (tube) *    | µg/tube | <0,10 <sup>pgl</sup> | 0,1 |  | Méthode interne |
| Hydrocarbures aromatiques >C7-C8 (tube) *    | µg/tube | <0,20 <sup>pgl</sup> | 0,2 |  | Méthode interne |
| Hydrocarbures aromatiques >C8-C10 (tube) *   | µg/tube | <4,0 <sup>pgl</sup>  | 4   |  | Méthode interne |

Les paramètres indiqués dans ce document sont accrédités selon ISO/IEC 17025 :2005. Seuls les paramètres non accrédités sont signalés par le symbole « \* ».

Kamer van Koophandel Directeur  
Nr. 08110898 ppa. Marc van Gelder  
VAT/BTW-ID-Nr.: Dr. Paul Wimmer  
NL 811132559 B01



# AL-West B.V.

Dortmundstraat 16B, 7418 BH Deventer, the Netherlands  
Postbus 693, 7400 AR Deventer  
Tel. +31(0)570 788110, Fax +31(0)570 788108  
e-Mail: info@al-west.nl, www.al-west.nl



# AGROLAB GROUP

Your labs. Your service.

Date 05.06.2018

N° Client 35004100

## RAPPORT D'ANALYSES 771631 - 557827

|   | Unité   | Résultat            | Limit d. Quant. | Incert. Résultat % | Méthode         |
|---|---------|---------------------|-----------------|--------------------|-----------------|
| * Hydrocarbures aromatiques >C10-C12 (tube) | µg/tube | <8,0 <sup>pg)</sup> | 8               |                    | Méthode interne |
| * Hydrocarbures aromatiques >C12-C16 (tube) | µg/tube | <8,0 <sup>pg)</sup> | 8               |                    | Méthode interne |

x) Les résultats ne tiennent pas compte des teneurs en dessous des seuils de quantification.

pg) La limite de détection a été augmentée car la quantité de charbon actif contenue dans le tube était supérieure à 100mg+50mg.

Explication: dans la colonne de résultats "<" signifie inférieur à la limite de quantification; n.d. signifie non déterminé.

L'incertitude étendue et combinée donnée dans le rapport ci-dessus est généralement calculée selon les prescriptions du "Guide de l'expression des incertitudes de mesure" (GUM, JCGM 100: 2008), spécifié dans le Rapport Nordtest TR 537. Le facteur d'élargissement  $k = 2$  correspond au niveau de confiance de 95% (intervalle de confiance). Les incertitudes rapportées sont valables pour différentes matrices et différentes concentrations. Certains échantillons très spécifiques peuvent néanmoins occasionner une incertitude de mesure différente de celle donnée ci-dessus.

Les détails concernant l'incertitude de mesure seront fournis sur demande.

Début des analyses: 31.05.2018

Fin des analyses: 05.06.2018

Les résultats d'analyses ne concernent que ces échantillons soumis à essai. La qualité du résultat rendu est contrôlée et validée, mais la pertinence en est difficilement vérifiable car le laboratoire n'a pas connaissance du contexte du site, de l'historique de l'échantillon.

AL-West B.V. Melle Mylène Magnenet, Tel. +33/380680156

Les paramètres indiqués dans ce document sont accrédités selon ISO/IEC 17025 :2005. Seuls les paramètres non accrédités sont signalés par le symbole « \* ».

# AL-West B.V.

Dortmundstraat 16B, 7418 BH Deventer, the Netherlands  
Postbus 693, 7400 AR Deventer  
Tel. +31(0)570 788110, Fax +31(0)570 788108  
e-Mail: info@al-west.nl, www.al-west.nl



# AGROLAB GROUP

Your labs. Your service.

BURGEAP (PARIS 92)  
Monsieur Mathieu OUGIER  
27 RUE DE VANVES  
92772 BOULOGNE BILLANCOURT  
FRANCE

Date 05.06.2018

N° Client 35004100

## RAPPORT D'ANALYSES 771631 - 557827

N° Cde 771631 2018/05/30 - B18/2674 - MO/CACH - Prélèvements venting  
N° échant. 557827 Air  
Date de validation 31.05.2018  
Prélèvement 29.05.2018  
Prélèvement par: Client  
Spécification des échantillons Venting longue durée - TF - 5 min - ZM

| Unité | Résultat | Limit d. Quant. | Incert. Résultat % | Méthode |
|-------|----------|-----------------|--------------------|---------|
|-------|----------|-----------------|--------------------|---------|

### Composés aromatiques

|                           |         |                      |      |        |                 |
|---------------------------|---------|----------------------|------|--------|-----------------|
| Naphtalène (tube)         | µg/tube | <0,40 <sup>pgl</sup> | 0,4  |        | Méthode interne |
| Benzène (tube)            | µg/tube | 0,47                 | 0,05 | +/- 13 | Méthode interne |
| Toluène (tube)            | µg/tube | <0,40 <sup>pgl</sup> | 0,4  |        | Méthode interne |
| Ethylbenzène (tube)       | µg/tube | <0,40 <sup>pgl</sup> | 0,4  |        | Méthode interne |
| <i>m,p</i> -Xylène (tube) | µg/tube | 2,9                  | 0,1  | +/- 28 | Méthode interne |
| <i>o</i> -Xylène (tube)   | µg/tube | 0,80                 | 0,1  | +/- 25 | Méthode interne |
| Somme Xylènes (tube)      | µg/tube | 3,7                  |      |        | Méthode interne |

### COHV

|  |         |                      |      |        |                 |
|--|---------|----------------------|------|--------|-----------------|
| 1,1-Dichloroéthène (tube)                    | µg/tube | <0,40 <sup>pgl</sup> | 0,4  |        | Méthode interne |
| Chlorure de Vinyle (tube)                    | µg/tube | 0,92                 | 0,1  | +/- 30 | Méthode interne |
| Somme cis/trans-1,2-Dichloroéthylènes (tube) | µg/tube | 210                  |      | +/- 11 | Méthode interne |
| Dichlorométhane (tube)                       | µg/tube | <1,0 <sup>pgl</sup>  | 1    |        | Méthode interne |
| <i>Trans</i> -1,2-Dichloroéthylène (tube) *  | µg/tube | 3,0                  | 0,2  | +/- 10 | Méthode interne |
| 1,1-Dichloroéthane (tube)                    | µg/tube | <0,80 <sup>pgl</sup> | 0,8  |        | Méthode interne |
| <i>cis</i> -1,2-Dichloroéthène (tube)        | µg/tube | 210                  | 0,2  | +/- 10 | Méthode interne |
| Trichlorométhane (tube)                      | µg/tube | <0,80 <sup>pgl</sup> | 0,8  |        | Méthode interne |
| 1,2-Dichloroéthane (tube)                    | µg/tube | <0,80 <sup>pgl</sup> | 0,8  |        | Méthode interne |
| 1,1,1-Trichloroéthane (tube)                 | µg/tube | <0,80 <sup>pgl</sup> | 0,8  |        | Méthode interne |
| Tétrachlorométhane (tube)                    | µg/tube | <0,80 <sup>pgl</sup> | 0,8  |        | Méthode interne |
| Trichloroéthylène (tube)                     | µg/tube | 130                  | 0,05 | +/- 10 | Méthode interne |
| 1,1,2-Trichloroéthane (tube)                 | µg/tube | <0,80 <sup>pgl</sup> | 0,8  |        | Méthode interne |
| Tétrachloroéthylène (tube)                   | µg/tube | 8400                 | 0,2  | +/- 38 | Méthode interne |

### TPH

|  |         |                      |      |        |                 |
|--|---------|----------------------|------|--------|-----------------|
| Somme Hydrocarbures aliphatiques (tube) *    | µg/tube | 47 <sup>x)</sup>     |      | +/- 30 | Méthode interne |
| Somme Hydrocarbures aromatiques (tube) *     | µg/tube | 9,0 <sup>x)</sup>    |      | +/- 30 | Méthode interne |
| Hydrocarbures aliphatiques >C5-C6 (tube) *   | µg/tube | <8,0 <sup>pgl</sup>  | 8    |        | Méthode interne |
| Hydrocarbures aliphatiques >C6-C8 (tube) *   | µg/tube | 8,7                  | 2    | +/- 30 | Méthode interne |
| Hydrocarbures aliphatiques >C8-C10 (tube) *  | µg/tube | 19                   | 2    | +/- 30 | Méthode interne |
| Hydrocarbures aliphatiques >C10-C12 (tube) * | µg/tube | 10                   | 2    | +/- 30 | Méthode interne |
| Hydrocarbures aliphatiques >C12-C16 (tube) * | µg/tube | 9,3                  | 2    | +/- 30 | Méthode interne |
| Hydrocarbures aromatiques >C6-C7 (tube) *    | µg/tube | 0,47                 | 0,05 | +/- 30 | Méthode interne |
| Hydrocarbures aromatiques >C7-C8 (tube) *    | µg/tube | <0,40 <sup>pgl</sup> | 0,4  |        | Méthode interne |
| Hydrocarbures aromatiques >C8-C10 (tube) *   | µg/tube | 8,5                  | 2    | +/- 30 | Méthode interne |

Les paramètres indiqués dans ce document sont accrédités selon ISO/IEC 17025 :2005. Seuls les paramètres non accrédités sont signalés par le symbole « \* ».

Kamer van Koophandel Directeur  
Nr. 08110898 ppa. Marc van Gelder  
VAT/BTW-ID-Nr.: Dr. Paul Wimmer  
NL 811132559 B01

# AL-West B.V.

Dortmundstraat 16B, 7418 BH Deventer, the Netherlands  
Postbus 693, 7400 AR Deventer  
Tel. +31(0)570 788110, Fax +31(0)570 788108  
e-Mail: info@al-west.nl, www.al-west.nl

Date 05.06.2018

N° Client 35004100

## RAPPORT D'ANALYSES 771631 - 557826

|   | Unité   | Résultat            | Limit d. Quant. | Incert. Résultat % | Méthode         |
|---|---------|---------------------|-----------------|--------------------|-----------------|
| * Hydrocarbures aromatiques >C10-C12 (tube) | µg/tube | <4,0 <sup>pg)</sup> | 4               |                    | Méthode interne |
| * Hydrocarbures aromatiques >C12-C16 (tube) | µg/tube | <4,0 <sup>pg)</sup> | 4               |                    | Méthode interne |

pg) La limite de détection a été augmentée car la quantité de charbon actif contenue dans le tube était supérieure à 100mg+50mg.

Explication: dans la colonne de résultats "<" signifie inférieur à la limite de quantification; n.d. signifie non déterminé.

L'incertitude étendue et combinée donnée dans le rapport ci-dessus est généralement calculée selon les prescriptions du "Guide de l'expression des incertitudes de mesure" (GUM, JCGM 100: 2008), spécifié dans le Rapport Nordtest TR 537. Le facteur d'élargissement  $k = 2$  correspond au niveau de confiance de 95% (intervalle de confiance). Les incertitudes rapportées sont valables pour différentes matrices et différentes concentrations. Certains échantillons très spécifiques peuvent néanmoins occasionner une incertitude de mesure différente de celle donnée ci-dessus.

Les détails concernant l'incertitude de mesure seront fournis sur demande.

Début des analyses: 31.05.2018

Fin des analyses: 05.06.2018

Les résultats d'analyses ne concernent que ces échantillons soumis à essai. La qualité du résultat rendu est contrôlée et validée, mais la pertinence en est difficilement vérifiable car le laboratoire n'a pas connaissance du contexte du site, de l'historique de l'échantillon.



AL-West B.V. Melle Mylène Magnenet, Tel. +33/380680156

Les paramètres indiqués dans ce document sont accrédités selon ISO/IEC 17025 :2005. Seuls les paramètres non accrédités sont signalés par le symbole « \* ».

# AL-West B.V.

Dortmundstraat 16B, 7418 BH Deventer, the Netherlands  
Postbus 693, 7400 AR Deventer  
Tel. +31(0)570 788110, Fax +31(0)570 788108  
e-Mail: info@al-west.nl, www.al-west.nl



# AGROLAB GROUP

Your labs. Your service.

BURGEAP (PARIS 92)  
Monsieur Mathieu OUGIER  
27 RUE DE VANVES  
92772 BOULOGNE BILLANCOURT  
FRANCE

Date 05.06.2018

N° Client 35004100

## RAPPORT D'ANALYSES 771631 - 557826

N° Cde 771631 2018/05/30 - B18/2674 - MO/CACH - Prélèvements venting  
N° échant. 557826 Air  
Date de validation 31.05.2018  
Prélèvement 29.05.2018  
Prélèvement par: Client  
Spécification des échantillons Venting longue durée - T0 - 30 sec - ZC

| Unité | Résultat | Limit d. Quant. | Incert. Résultat % | Méthode |
|-------|----------|-----------------|--------------------|---------|
|-------|----------|-----------------|--------------------|---------|

### Composés aromatiques

|                           |         |                      |     |  |                 |
|---------------------------|---------|----------------------|-----|--|-----------------|
| Naphtalène (tube)         | µg/tube | <0,20 <sup>pgl</sup> | 0,2 |  | Méthode interne |
| Benzène (tube)            | µg/tube | <0,10 <sup>pgl</sup> | 0,1 |  | Méthode interne |
| Toluène (tube)            | µg/tube | <0,20 <sup>pgl</sup> | 0,2 |  | Méthode interne |
| Ethylbenzène (tube)       | µg/tube | <0,20 <sup>pgl</sup> | 0,2 |  | Méthode interne |
| <i>m,p</i> -Xylène (tube) | µg/tube | <0,20 <sup>pgl</sup> | 0,2 |  | Méthode interne |
| <i>o</i> -Xylène (tube)   | µg/tube | <0,20 <sup>pgl</sup> | 0,2 |  | Méthode interne |
| Somme Xylènes (tube)      | µg/tube | n.d.                 |     |  | Méthode interne |

### COHV

|  |         |                      |     |  |                 |
|--|---------|----------------------|-----|--|-----------------|
| 1,1-Dichloroéthène (tube)                    | µg/tube | <0,20 <sup>pgl</sup> | 0,2 |  | Méthode interne |
| Chlorure de Vinyle (tube)                    | µg/tube | <0,20 <sup>pgl</sup> | 0,2 |  | Méthode interne |
| Somme cis/trans-1,2-Dichloroéthylènes (tube) | µg/tube | n.d.                 |     |  | Méthode interne |
| Dichlorométhane (tube)                       | µg/tube | <0,50 <sup>pgl</sup> | 0,5 |  | Méthode interne |
| <i>Trans</i> -1,2-Dichloroéthylène (tube) *  | µg/tube | <0,40 <sup>pgl</sup> | 0,4 |  | Méthode interne |
| 1,1-Dichloroéthane (tube)                    | µg/tube | <0,40 <sup>pgl</sup> | 0,4 |  | Méthode interne |
| <i>cis</i> -1,2-Dichloroéthène (tube)        | µg/tube | <0,40 <sup>pgl</sup> | 0,4 |  | Méthode interne |
| Trichlorométhane (tube)                      | µg/tube | <0,40 <sup>pgl</sup> | 0,4 |  | Méthode interne |
| 1,2-Dichloroéthane (tube)                    | µg/tube | <0,40 <sup>pgl</sup> | 0,4 |  | Méthode interne |
| 1,1,1-Trichloroéthane (tube)                 | µg/tube | <0,40 <sup>pgl</sup> | 0,4 |  | Méthode interne |
| Tétrachlorométhane (tube)                    | µg/tube | <0,40 <sup>pgl</sup> | 0,4 |  | Méthode interne |
| Trichloroéthylène (tube)                     | µg/tube | <0,10 <sup>pgl</sup> | 0,1 |  | Méthode interne |
| 1,1,2-Trichloroéthane (tube)                 | µg/tube | <0,40 <sup>pgl</sup> | 0,4 |  | Méthode interne |
| Tétrachloroéthylène (tube)                   | µg/tube | <0,40 <sup>pgl</sup> | 0,4 |  | Méthode interne |

### TPH

|  |         |                      |     |  |                 |
|--|---------|----------------------|-----|--|-----------------|
| Somme Hydrocarbures aliphatiques (tube) *    | µg/tube | n.d.                 |     |  | Méthode interne |
| Somme Hydrocarbures aromatiques (tube) *     | µg/tube | n.d.                 |     |  | Méthode interne |
| Hydrocarbures aliphatiques >C5-C6 (tube) *   | µg/tube | <4,0 <sup>pgl</sup>  | 4   |  | Méthode interne |
| Hydrocarbures aliphatiques >C6-C8 (tube) *   | µg/tube | <4,0 <sup>pgl</sup>  | 4   |  | Méthode interne |
| Hydrocarbures aliphatiques >C8-C10 (tube) *  | µg/tube | <4,0 <sup>pgl</sup>  | 4   |  | Méthode interne |
| Hydrocarbures aliphatiques >C10-C12 (tube) * | µg/tube | <4,0 <sup>pgl</sup>  | 4   |  | Méthode interne |
| Hydrocarbures aliphatiques >C12-C16 (tube) * | µg/tube | <4,0 <sup>pgl</sup>  | 4   |  | Méthode interne |
| Hydrocarbures aromatiques >C6-C7 (tube) *    | µg/tube | <0,10 <sup>pgl</sup> | 0,1 |  | Méthode interne |
| Hydrocarbures aromatiques >C7-C8 (tube) *    | µg/tube | <0,20 <sup>pgl</sup> | 0,2 |  | Méthode interne |
| Hydrocarbures aromatiques >C8-C10 (tube) *   | µg/tube | <4,0 <sup>pgl</sup>  | 4   |  | Méthode interne |

Les paramètres indiqués dans ce document sont accrédités selon ISO/IEC 17025 :2005. Seuls les paramètres non accrédités sont signalés par le symbole « \* ».

Kamer van Koophandel Directeur  
Nr. 08110898 ppa. Marc van Gelder  
VAT/BTW-ID-Nr.: Dr. Paul Wimmer  
NL 811132559 B01

# AL-West B.V.

Dortmundstraat 16B, 7418 BH Deventer, the Netherlands  
Postbus 693, 7400 AR Deventer  
Tel. +31(0)570 788110, Fax +31(0)570 788108  
e-Mail: info@al-west.nl, www.al-west.nl

Date 05.06.2018

N° Client 35004100

## RAPPORT D'ANALYSES 771631 - 557825

|   | Unité   | Résultat            | Limit d. Quant. | Incert. Résultat % | Méthode         |
|---|---------|---------------------|-----------------|--------------------|-----------------|
| * Hydrocarbures aromatiques >C10-C12 (tube) | µg/tube | <8,0 <sup>pg)</sup> | 8               |                    | Méthode interne |
| * Hydrocarbures aromatiques >C12-C16 (tube) | µg/tube | <8,0 <sup>pg)</sup> | 8               |                    | Méthode interne |

x) Les résultats ne tiennent pas compte des teneurs en dessous des seuils de quantification.

pg) La limite de détection a été augmentée car la quantité de charbon actif contenue dans le tube était supérieure à 100mg+50mg.

Explication: dans la colonne de résultats "<" signifie inférieur à la limite de quantification; n.d. signifie non déterminé.

L'incertitude étendue et combinée donnée dans le rapport ci-dessus est généralement calculée selon les prescriptions du "Guide de l'expression des incertitudes de mesure" (GUM, JCGM 100: 2008), spécifié dans le Rapport Nordtest TR 537. Le facteur d'élargissement  $k = 2$  correspond au niveau de confiance de 95% (intervalle de confiance). Les incertitudes rapportées sont valables pour différentes matrices et différentes concentrations. Certains échantillons très spécifiques peuvent néanmoins occasionner une incertitude de mesure différente de celle donnée ci-dessus.

Les détails concernant l'incertitude de mesure seront fournis sur demande.

Début des analyses: 31.05.2018

Fin des analyses: 05.06.2018

Les résultats d'analyses ne concernent que ces échantillons soumis à essai. La qualité du résultat rendu est contrôlée et validée, mais la pertinence en est difficilement vérifiable car le laboratoire n'a pas connaissance du contexte du site, de l'historique de l'échantillon.



AL-West B.V. Melle Mylène Magnenet, Tel. +33/380680156

Les paramètres indiqués dans ce document sont accrédités selon ISO/IEC 17025 :2005. Seuls les paramètres non accrédités sont signalés par le symbole « \* ».

# AL-West B.V.

Dortmundstraat 16B, 7418 BH Deventer, the Netherlands  
Postbus 693, 7400 AR Deventer  
Tel. +31(0)570 788110, Fax +31(0)570 788108  
e-Mail: info@al-west.nl, www.al-west.nl



# AGROLAB GROUP

Your labs. Your service.

BURGEAP (PARIS 92)  
Monsieur Mathieu OUGIER  
27 RUE DE VANVES  
92772 BOULOGNE BILLANCOURT  
FRANCE

Date 05.06.2018

N° Client 35004100

## RAPPORT D'ANALYSES 771631 - 557825

N° Cde 771631 2018/05/30 - B18/2674 - MO/CACH - Prélèvements venting  
N° échant. 557825 Air  
Date de validation 31.05.2018  
Prélèvement 29.05.2018  
Prélèvement par: Client  
Spécification des échantillons Venting longue durée - T0 - 30 sec - ZM

| Unité | Résultat | Limit d. Quant. | Incert. Résultat % | Méthode |
|-------|----------|-----------------|--------------------|---------|
|-------|----------|-----------------|--------------------|---------|

### Composés aromatiques

|                             |         |                         |     |        |  |                 |
|-----------------------------|---------|-------------------------|-----|--------|--|-----------------|
| Naphtalène (tube)           | µg/tube | <0,40 <sup>pgl</sup>    | 0,4 |        |  | Méthode interne |
| Benzène (tube)              | µg/tube | <0,20 <sup>pgl</sup>    | 0,2 |        |  | Méthode interne |
| Toluène (tube)              | µg/tube | <0,40 <sup>pgl</sup>    | 0,4 |        |  | Méthode interne |
| Ethylbenzène (tube)         | µg/tube | <0,40 <sup>pgl</sup>    | 0,4 |        |  | Méthode interne |
| <i>m,p</i> -Xylène (tube)   | µg/tube | 1,5                     | 0,1 | +/- 28 |  | Méthode interne |
| <i>o</i> -Xylène (tube)     | µg/tube | <0,40 <sup>pgl</sup>    | 0,4 |        |  | Méthode interne |
| <b>Somme Xylènes (tube)</b> | µg/tube | <b>1,5<sup>xj</sup></b> |     |        |  | Méthode interne |

### COHV

|   |         |                        |      |        |  |                 |
|---|---------|------------------------|------|--------|--|-----------------|
| 1,1-Dichloroéthène (tube)                           | µg/tube | <0,40 <sup>pgl</sup>   | 0,4  |        |  | Méthode interne |
| Chlorure de Vinyle (tube)                           | µg/tube | <0,40 <sup>pgl</sup>   | 0,4  |        |  | Méthode interne |
| <b>Somme cis/trans-1,2-Dichloroéthylènes (tube)</b> | µg/tube | <b>49<sup>xj</sup></b> |      | +/- 11 |  | Méthode interne |
| Dichlorométhane (tube)                              | µg/tube | <1,0 <sup>pgl</sup>    | 1    |        |  | Méthode interne |
| <i>Trans</i> -1,2-Dichloroéthylène (tube) *         | µg/tube | <0,80 <sup>pgl</sup>   | 0,8  |        |  | Méthode interne |
| 1,1-Dichloroéthane (tube)                           | µg/tube | <0,80 <sup>pgl</sup>   | 0,8  |        |  | Méthode interne |
| <i>cis</i> -1,2-Dichloroéthène (tube)               | µg/tube | 49,2                   | 0,2  | +/- 10 |  | Méthode interne |
| Trichlorométhane (tube)                             | µg/tube | <0,80 <sup>pgl</sup>   | 0,8  |        |  | Méthode interne |
| 1,2-Dichloroéthane (tube)                           | µg/tube | <0,80 <sup>pgl</sup>   | 0,8  |        |  | Méthode interne |
| 1,1,1-Trichloroéthane (tube)                        | µg/tube | <0,80 <sup>pgl</sup>   | 0,8  |        |  | Méthode interne |
| Tétrachlorométhane (tube)                           | µg/tube | <0,80 <sup>pgl</sup>   | 0,8  |        |  | Méthode interne |
| Trichloroéthylène (tube)                            | µg/tube | 24,5                   | 0,05 | +/- 10 |  | Méthode interne |
| 1,1,2-Trichloroéthane (tube)                        | µg/tube | <0,80 <sup>pgl</sup>   | 0,8  |        |  | Méthode interne |
| Tétrachloroéthylène (tube)                          | µg/tube | 1500                   | 0,2  | +/- 38 |  | Méthode interne |

### TPH

|  |         |                      |     |  |  |                 |
|--|---------|----------------------|-----|--|--|-----------------|
| <b>Somme Hydrocarbures aliphatiques (tube) *</b>       | µg/tube | <b>n.d.</b>          |     |  |  | Méthode interne |
| <b>Somme Hydrocarbures aromatiques (tube) *</b>        | µg/tube | <b>n.d.</b>          |     |  |  | Méthode interne |
| <i>Hydrocarbures aliphatiques &gt;C5-C6 (tube) *</i>   | µg/tube | <8,0 <sup>pgl</sup>  | 8   |  |  | Méthode interne |
| <i>Hydrocarbures aliphatiques &gt;C6-C8 (tube) *</i>   | µg/tube | <8,0 <sup>pgl</sup>  | 8   |  |  | Méthode interne |
| <i>Hydrocarbures aliphatiques &gt;C8-C10 (tube) *</i>  | µg/tube | <8,0 <sup>pgl</sup>  | 8   |  |  | Méthode interne |
| <i>Hydrocarbures aliphatiques &gt;C10-C12 (tube) *</i> | µg/tube | <8,0 <sup>pgl</sup>  | 8   |  |  | Méthode interne |
| <i>Hydrocarbures aliphatiques &gt;C12-C16 (tube) *</i> | µg/tube | <8,0 <sup>pgl</sup>  | 8   |  |  | Méthode interne |
| <i>Hydrocarbures aromatiques &gt;C6-C7 (tube) *</i>    | µg/tube | <0,20 <sup>pgl</sup> | 0,2 |  |  | Méthode interne |
| <i>Hydrocarbures aromatiques &gt;C7-C8 (tube) *</i>    | µg/tube | <0,40 <sup>pgl</sup> | 0,4 |  |  | Méthode interne |
| <i>Hydrocarbures aromatiques &gt;C8-C10 (tube) *</i>   | µg/tube | <8,0 <sup>pgl</sup>  | 8   |  |  | Méthode interne |

Les paramètres indiqués dans ce document sont accrédités selon ISO/IEC 17025 :2005. Seuls les paramètres non accrédités sont signalés par le symbole « \* ».

Kamer van Koophandel Directeur  
Nr. 08110898 ppa. Marc van Gelder  
VAT/BTW-ID-Nr.: Dr. Paul Wimmer  
NL 811132559 B01

page 1 de 2





# AL-West B.V.

Dortmundstraat 16B, 7418 BH Deventer, the Netherlands  
Postbus 693, 7400 AR Deventer  
Tel. +31(0)570 788110, Fax +31(0)570 788108  
e-Mail: info@al-west.nl, www.al-west.nl



# AGROLAB GROUP

Your labs. Your service.

Date 05.06.2018  
N° Client 35004100

## RAPPORT D'ANALYSES 771631 - 557824

|   | Unité   | Résultat            | Limit d. Quant. | Incert. Résultat % | Méthode         |
|---|---------|---------------------|-----------------|--------------------|-----------------|
| * Hydrocarbures aromatiques >C10-C12 (tube) | µg/tube | <4,0 <sup>pg)</sup> | 4               |                    | Méthode interne |
| * Hydrocarbures aromatiques >C12-C16 (tube) | µg/tube | <4,0 <sup>pg)</sup> | 4               |                    | Méthode interne |

pg) La limite de détection a été augmentée car la quantité de charbon actif contenue dans le tube était supérieure à 100mg+50mg.

Explication: dans la colonne de résultats "<" signifie inférieur à la limite de quantification; n.d. signifie non déterminé.

L'incertitude étendue et combinée donnée dans le rapport ci-dessus est généralement calculée selon les prescriptions du "Guide de l'expression des incertitudes de mesure" (GUM, JCGM 100: 2008), spécifié dans le Rapport Nordtest TR 537. Le facteur d'élargissement  $k = 2$  correspond au niveau de confiance de 95% (intervalle de confiance). Les incertitudes rapportées sont valables pour différentes matrices et différentes concentrations. Certains échantillons très spécifiques peuvent néanmoins occasionner une incertitude de mesure différente de celle donnée ci-dessus.

Les détails concernant l'incertitude de mesure seront fournis sur demande.

Début des analyses: 31.05.2018

Fin des analyses: 05.06.2018

Les résultats d'analyses ne concernent que ces échantillons soumis à essai. La qualité du résultat rendu est contrôlée et validée, mais la pertinence en est difficilement vérifiable car le laboratoire n'a pas connaissance du contexte du site, de l'historique de l'échantillon.

AL-West B.V. Melle Mylène Magnenet, Tel. +33/380680156

Les paramètres indiqués dans ce document sont accrédités selon ISO/IEC 17025 :2005. Seuls les paramètres non accrédités sont signalés par le symbole « \* ».

# AL-West B.V.

Dortmundstraat 16B, 7418 BH Deventer, the Netherlands  
Postbus 693, 7400 AR Deventer  
Tel. +31(0)570 788110, Fax +31(0)570 788108  
e-Mail: info@al-west.nl, www.al-west.nl



# AGROLAB GROUP

Your labs. Your service.

BURGEAP (PARIS 92)  
Monsieur Mathieu OUGIER  
27 RUE DE VANVES  
92772 BOULOGNE BILLANCOURT  
FRANCE

Date 05.06.2018

N° Client 35004100

## RAPPORT D'ANALYSES 771631 - 557824

N° Cde 771631 2018/05/30 - B18/2674 - MO/CACH - Prélèvements venting  
N° échant. 557824 Air  
Date de validation 31.05.2018  
Prélèvement 29.05.2018  
Prélèvement par: Client  
Spécification des échantillons Venting par paliers - T0 - ZC

| Unité | Résultat | Limit d. Quant. | Incert. Résultat % | Méthode |
|-------|----------|-----------------|--------------------|---------|
|-------|----------|-----------------|--------------------|---------|

### Composés aromatiques

|                             |         |                      |     |  |                 |
|-----------------------------|---------|----------------------|-----|--|-----------------|
| Naphtalène (tube)           | µg/tube | <0,20 <sup>pgl</sup> | 0,2 |  | Méthode interne |
| Benzène (tube)              | µg/tube | <0,10 <sup>pgl</sup> | 0,1 |  | Méthode interne |
| Toluène (tube)              | µg/tube | <0,20 <sup>pgl</sup> | 0,2 |  | Méthode interne |
| Ethylbenzène (tube)         | µg/tube | <0,20 <sup>pgl</sup> | 0,2 |  | Méthode interne |
| <i>m,p</i> -Xylène (tube)   | µg/tube | <0,20 <sup>pgl</sup> | 0,2 |  | Méthode interne |
| <i>o</i> -Xylène (tube)     | µg/tube | <0,20 <sup>pgl</sup> | 0,2 |  | Méthode interne |
| <b>Somme Xylènes (tube)</b> | µg/tube | <b>n.d.</b>          |     |  | Méthode interne |

### COHV

|   |         |                      |     |  |                 |
|---|---------|----------------------|-----|--|-----------------|
| 1,1-Dichloroéthène (tube)                           | µg/tube | <0,20 <sup>pgl</sup> | 0,2 |  | Méthode interne |
| Chlorure de Vinyle (tube)                           | µg/tube | <0,20 <sup>pgl</sup> | 0,2 |  | Méthode interne |
| <b>Somme cis/trans-1,2-Dichloroéthylènes (tube)</b> | µg/tube | <b>n.d.</b>          |     |  | Méthode interne |
| Dichlorométhane (tube)                              | µg/tube | <0,50 <sup>pgl</sup> | 0,5 |  | Méthode interne |
| <i>Trans</i> -1,2-Dichloroéthylène (tube) *         | µg/tube | <0,40 <sup>pgl</sup> | 0,4 |  | Méthode interne |
| 1,1-Dichloroéthane (tube)                           | µg/tube | <0,40 <sup>pgl</sup> | 0,4 |  | Méthode interne |
| <i>cis</i> -1,2-Dichloroéthène (tube)               | µg/tube | <0,40 <sup>pgl</sup> | 0,4 |  | Méthode interne |
| Trichlorométhane (tube)                             | µg/tube | <0,40 <sup>pgl</sup> | 0,4 |  | Méthode interne |
| 1,2-Dichloroéthane (tube)                           | µg/tube | <0,40 <sup>pgl</sup> | 0,4 |  | Méthode interne |
| 1,1,1-Trichloroéthane (tube)                        | µg/tube | <0,40 <sup>pgl</sup> | 0,4 |  | Méthode interne |
| Tétrachlorométhane (tube)                           | µg/tube | <0,40 <sup>pgl</sup> | 0,4 |  | Méthode interne |
| Trichloroéthylène (tube)                            | µg/tube | <0,10 <sup>pgl</sup> | 0,1 |  | Méthode interne |
| 1,1,2-Trichloroéthane (tube)                        | µg/tube | <0,40 <sup>pgl</sup> | 0,4 |  | Méthode interne |
| Tétrachloroéthylène (tube)                          | µg/tube | <0,40 <sup>pgl</sup> | 0,4 |  | Méthode interne |

### TPH

|  |         |                      |     |  |                 |
|--|---------|----------------------|-----|--|-----------------|
| <b>Somme Hydrocarbures aliphatiques (tube) *</b>       | µg/tube | <b>n.d.</b>          |     |  | Méthode interne |
| <b>Somme Hydrocarbures aromatiques (tube) *</b>        | µg/tube | <b>n.d.</b>          |     |  | Méthode interne |
| <i>Hydrocarbures aliphatiques &gt;C5-C6 (tube) *</i>   | µg/tube | <4,0 <sup>pgl</sup>  | 4   |  | Méthode interne |
| <i>Hydrocarbures aliphatiques &gt;C6-C8 (tube) *</i>   | µg/tube | <4,0 <sup>pgl</sup>  | 4   |  | Méthode interne |
| <i>Hydrocarbures aliphatiques &gt;C8-C10 (tube) *</i>  | µg/tube | <4,0 <sup>pgl</sup>  | 4   |  | Méthode interne |
| <i>Hydrocarbures aliphatiques &gt;C10-C12 (tube) *</i> | µg/tube | <4,0 <sup>pgl</sup>  | 4   |  | Méthode interne |
| <i>Hydrocarbures aliphatiques &gt;C12-C16 (tube) *</i> | µg/tube | <4,0 <sup>pgl</sup>  | 4   |  | Méthode interne |
| <i>Hydrocarbures aromatiques &gt;C6-C7 (tube) *</i>    | µg/tube | <0,10 <sup>pgl</sup> | 0,1 |  | Méthode interne |
| <i>Hydrocarbures aromatiques &gt;C7-C8 (tube) *</i>    | µg/tube | <0,20 <sup>pgl</sup> | 0,2 |  | Méthode interne |
| <i>Hydrocarbures aromatiques &gt;C8-C10 (tube) *</i>   | µg/tube | <4,0 <sup>pgl</sup>  | 4   |  | Méthode interne |

Les paramètres indiqués dans ce document sont accrédités selon ISO/IEC 17025 :2005. Seuls les paramètres non accrédités sont signalés par le symbole « \* ».

Kamer van Koophandel Directeur  
Nr. 08110898 ppa. Marc van Gelder  
VAT/BTW-ID-Nr.: Dr. Paul Wimmer  
NL 811132559 B01

# AL-West B.V.

Dortmundstraat 16B, 7418 BH Deventer, the Netherlands  
Postbus 693, 7400 AR Deventer  
Tel. +31(0)570 788110, Fax +31(0)570 788108  
e-Mail: info@al-west.nl, www.al-west.nl

Date 05.06.2018

N° Client 35004100

## RAPPORT D'ANALYSES 771631 - 557823

|   | Unité   | Résultat            | Limit d. Quant. | Incert. Résultat % | Méthode         |
|---|---------|---------------------|-----------------|--------------------|-----------------|
| * Hydrocarbures aromatiques >C10-C12 (tube) | µg/tube | <8,0 <sup>pg)</sup> | 8               |                    | Méthode interne |
| * Hydrocarbures aromatiques >C12-C16 (tube) | µg/tube | <8,0 <sup>pg)</sup> | 8               |                    | Méthode interne |

x) Les résultats ne tiennent pas compte des teneurs en dessous des seuils de quantification.

pg) La limite de détection a été augmentée car la quantité de charbon actif contenue dans le tube était supérieure à 100mg+50mg.

Explication: dans la colonne de résultats "<" signifie inférieur à la limite de quantification; n.d. signifie non déterminé.

L'incertitude étendue et combinée donnée dans le rapport ci-dessus est généralement calculée selon les prescriptions du "Guide de l'expression des incertitudes de mesure" (GUM, JCGM 100: 2008), spécifié dans le Rapport Nordtest TR 537. Le facteur d'élargissement  $k = 2$  correspond au niveau de confiance de 95% (intervalle de confiance). Les incertitudes rapportées sont valables pour différentes matrices et différentes concentrations. Certains échantillons très spécifiques peuvent néanmoins occasionner une incertitude de mesure différente de celle donnée ci-dessus.

Les détails concernant l'incertitude de mesure seront fournis sur demande.

Début des analyses: 31.05.2018

Fin des analyses: 05.06.2018

Les résultats d'analyses ne concernent que ces échantillons soumis à essai. La qualité du résultat rendu est contrôlée et validée, mais la pertinence en est difficilement vérifiable car le laboratoire n'a pas connaissance du contexte du site, de l'historique de l'échantillon.



AL-West B.V. Melle Mylène Magnenet, Tel. +33/380680156

Les paramètres indiqués dans ce document sont accrédités selon ISO/IEC 17025 :2005. Seuls les paramètres non accrédités sont signalés par le symbole « \* ».

# AL-West B.V.

Dortmundstraat 16B, 7418 BH Deventer, the Netherlands  
Postbus 693, 7400 AR Deventer  
Tel. +31(0)570 788110, Fax +31(0)570 788108  
e-Mail: info@al-west.nl, www.al-west.nl



# AGROLAB GROUP

Your labs. Your service.

BURGEAP (PARIS 92)  
Monsieur Mathieu OUGIER  
27 RUE DE VANVES  
92772 BOULOGNE BILLANCOURT  
FRANCE

Date 05.06.2018

N° Client 35004100

## RAPPORT D'ANALYSES 771631 - 557823

N° Cde 771631 2018/05/30 - B18/2674 - MO/CACH - Prélèvements venting  
N° échant. 557823 Air  
Date de validation 31.05.2018  
Prélèvement 29.05.2018  
Prélèvement par: Client  
Spécification des échantillons Venting par paliers - T0 - ZM

| Unité | Résultat | Limit d. Quant. | Incert. Résultat % | Méthode |
|-------|----------|-----------------|--------------------|---------|
|-------|----------|-----------------|--------------------|---------|

### Composés aromatiques

|                             |         |                      |      |        |  |                 |
|-----------------------------|---------|----------------------|------|--------|--|-----------------|
| Naphtalène (tube)           | µg/tube | <0,40 <sup>pgl</sup> | 0,4  |        |  | Méthode interne |
| Benzène (tube)              | µg/tube | 0,70                 | 0,05 | +/- 13 |  | Méthode interne |
| Toluène (tube)              | µg/tube | 2,5                  | 0,1  | +/- 20 |  | Méthode interne |
| Ethylbenzène (tube)         | µg/tube | 2,0                  | 0,1  | +/- 24 |  | Méthode interne |
| <i>m,p</i> -Xylène (tube)   | µg/tube | 25,8                 | 0,1  | +/- 28 |  | Méthode interne |
| <i>o</i> -Xylène (tube)     | µg/tube | 5,6                  | 0,1  | +/- 25 |  | Méthode interne |
| <b>Somme Xylènes (tube)</b> | µg/tube | <b>31</b>            |      |        |  | Méthode interne |

### COHV

|   |         |                      |      |        |  |                 |
|---|---------|----------------------|------|--------|--|-----------------|
| 1,1-Dichloroéthène (tube)                           | µg/tube | <0,40 <sup>pgl</sup> | 0,4  |        |  | Méthode interne |
| Chlorure de Vinyle (tube)                           | µg/tube | 0,63                 | 0,1  | +/- 30 |  | Méthode interne |
| <b>Somme cis/trans-1,2-Dichloroéthylènes (tube)</b> | µg/tube | <b>280</b>           |      | +/- 11 |  | Méthode interne |
| Dichlorométhane (tube)                              | µg/tube | <1,0 <sup>pgl</sup>  | 1    |        |  | Méthode interne |
| <i>Trans</i> -1,2-Dichloroéthylène (tube) *         | µg/tube | 3,7                  | 0,2  | +/- 10 |  | Méthode interne |
| 1,1-Dichloroéthane (tube)                           | µg/tube | <0,80 <sup>pgl</sup> | 0,8  |        |  | Méthode interne |
| <i>cis</i> -1,2-Dichloroéthène (tube)               | µg/tube | 280                  | 0,2  | +/- 10 |  | Méthode interne |
| Trichlorométhane (tube)                             | µg/tube | <0,80 <sup>pgl</sup> | 0,8  |        |  | Méthode interne |
| 1,2-Dichloroéthane (tube)                           | µg/tube | <0,80 <sup>pgl</sup> | 0,8  |        |  | Méthode interne |
| 1,1,1-Trichloroéthane (tube)                        | µg/tube | <0,80 <sup>pgl</sup> | 0,8  |        |  | Méthode interne |
| Tétrachlorométhane (tube)                           | µg/tube | <0,80 <sup>pgl</sup> | 0,8  |        |  | Méthode interne |
| Trichloroéthylène (tube)                            | µg/tube | 24,6                 | 0,05 | +/- 10 |  | Méthode interne |
| 1,1,2-Trichloroéthane (tube)                        | µg/tube | <0,80 <sup>pgl</sup> | 0,8  |        |  | Méthode interne |
| Tétrachloroéthylène (tube)                          | µg/tube | 120                  | 0,2  | +/- 38 |  | Méthode interne |

### TPH

|  |         |                        |      |        |  |                 |
|--|---------|------------------------|------|--------|--|-----------------|
| <b>Somme Hydrocarbures aliphatiques (tube) *</b>       | µg/tube | <b>40<sup>x)</sup></b> |      | +/- 30 |  | Méthode interne |
| <b>Somme Hydrocarbures aromatiques (tube) *</b>        | µg/tube | <b>42<sup>x)</sup></b> |      | +/- 30 |  | Méthode interne |
| <i>Hydrocarbures aliphatiques &gt;C5-C6 (tube) *</i>   | µg/tube | <8,0 <sup>pgl</sup>    | 8    |        |  | Méthode interne |
| <i>Hydrocarbures aliphatiques &gt;C6-C8 (tube) *</i>   | µg/tube | 14                     | 2    | +/- 30 |  | Méthode interne |
| <i>Hydrocarbures aliphatiques &gt;C8-C10 (tube) *</i>  | µg/tube | 26                     | 2    | +/- 30 |  | Méthode interne |
| <i>Hydrocarbures aliphatiques &gt;C10-C12 (tube) *</i> | µg/tube | <8,0 <sup>pgl</sup>    | 8    |        |  | Méthode interne |
| <i>Hydrocarbures aliphatiques &gt;C12-C16 (tube) *</i> | µg/tube | <8,0 <sup>pgl</sup>    | 8    |        |  | Méthode interne |
| <i>Hydrocarbures aromatiques &gt;C6-C7 (tube) *</i>    | µg/tube | 0,70                   | 0,05 | +/- 30 |  | Méthode interne |
| <i>Hydrocarbures aromatiques &gt;C7-C8 (tube) *</i>    | µg/tube | 2,5                    | 0,1  | +/- 30 |  | Méthode interne |
| <i>Hydrocarbures aromatiques &gt;C8-C10 (tube) *</i>   | µg/tube | 39                     | 2    | +/- 30 |  | Méthode interne |

Les paramètres indiqués dans ce document sont accrédités selon ISO/IEC 17025 :2005. Seuls les paramètres non accrédités sont signalés par le symbole « \* ».

Kamer van Koophandel Directeur  
Nr. 08110898 ppa. Marc van Gelder  
VAT/BTW-ID-Nr.: Dr. Paul Wimmer  
NL 811132559 B01

page 1 de 2



## **Annexe 4.**

# **Bordereaux des analyses d'eaux lors du pilote ENOVEO**





|    |       | Bouteille suivi physico |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            | Pilote      |            |            |            |            |
|----|-------|-------------------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|-------------|------------|------------|------------|------------|
| B2 | Point | T0                      |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            | T1 - pilote | T2-pilote  | T3-Pilote  | T4 pilote  | T5 pilote  |
|    | Date  | 06/04/2018              | 07/04/2018 | 09/04/2018 | 13/04/2018 | 16/04/2018 | 19/04/2018 | 24/04/2018 | 07/05/2018 | 16/05/2018 | 01/06/2018 | 05/06/2018 | 02/07/2018 | 27/08/2018 | 16/04/2018  | 07/05/2018 | 05/06/2018 | 02/07/2018 | 27/08/2018 |
|    | Jours | 0                       | 1          | 3          | 7          | 10         | 13         | 18         | 31         | 40         | 56         | 60         | 87         | 143        | 10          | 31         | 60         | 87         | 143        |
|    | O2    |                         | 0,76       | 0,6        | 0,5        | 0,71       | 0,65       | 0,9        | 0,73       | 0,92       |            | 0,54       | 0,36       | 0,27       | 0,93        | 0,63       | 0,61       | 0,29       | 0,27       |
|    | redox |                         | 7          | -370       | -472       | -481       | -474       | -279       | -304       | -118       | -110       | -120       | -354       | -390       | -449        | -346       | -267       | -461       | -390       |
|    | pH    |                         | 6,71       | 6,7        | 6,3        | 6,27       | 6,28       | 6,12       | 6,21       | 6,3        | 6,35       | 6,37       | 6,38       | 6,35       | 5,92        | 5,99       | 5,92       | 6,29       | 6,35       |
| C1 | Point | T0                      |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            | T1 pilote   | T2-Pilote  | T3-Pilote  | T4 pilote  | T5 pilote  |
|    | Date  | 16/04/2018              | 18/04/2018 | 19/04/2018 | 24/04/2018 | 07/05/2018 | 01/06/2018 | 14/06/2018 | 02/07/2018 | 27/08/2018 |            |            |            |            | 26/04/2018  | 16/05/2018 | 05/06/2018 | 02/07/2018 | 27/08/2018 |
|    | Jours | 0                       | 2          | 3          | 8          | 21         | 46         | 59         | 77         | 133        |            |            |            |            | 10          | 30         | 50         | 77         | 133        |
|    | O2    |                         | 0,58       | 0,46       | 0,55       | 0,69       |            | 0,56       | 0,5        | 0,27       |            |            |            |            | 0,47        | 0,64       | 0,5        | 0,46       | 0,29       |
|    | redox |                         | -395       | -348       | -334       | -290       | -99        | -156       | -126       | -328       |            |            |            |            | -226        | -152       | -126       | -175       | 6          |
|    | pH    |                         | 6,59       | 6,19       | 5,71       | 5,75       | 6          | 5,95       | 5,94       | 6,26       |            |            |            |            | 5,56        | 5,89       | 5,94       | 5,87       | 5,68       |

|      |       | Bouteille suivi physico |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            | Pilote      |            |            |            |            |
|------|-------|-------------------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|-------------|------------|------------|------------|------------|
| Cont | Point |                         |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            | T1 - pilote | T2-pilote  | T3-Pilote  | T4 pilote  | T5 pilote  |
|      | Date  | 06/04/2018              | 07/04/2018 | 09/04/2018 | 13/04/2018 | 16/04/2018 | 19/04/2018 | 24/04/2018 | 07/05/2018 | 16/05/2018 | 01/06/2018 | 05/06/2018 | 02/07/2018 | 27/08/2018 | 16/04/2018  | 07/05/2018 | 05/06/2018 | 02/07/2018 | 27/08/2018 |
|      | Jours | 0                       | 1          | 3          | 7          | 10         | 13         | 18         | 31         | 40         | 56         | 60         | 87         | 143        | 10          | 31         | 60         | 87         | 143        |
|      | O2    |                         | 0,93       | 0,9        | 0,7        | 0,85       | 0,58       | 0,77       | 0,74       | 2,36       |            | 1,49       | 1,46       | 0,86       | 1,05        | 1,4        | 1,85       | 0,48       | 0,76       |
|      | redox |                         | 198        | 100        | 105        | 70         | 82         | 125        | 155        | 54         | 130        | 53         | 82         | 33         | 242         | -192       | 181        | 88         | 196        |
|      | pH    |                         | 6,65       | 6,6        | 6,7        | 6,7        | 6,72       | 6,63       | 6,67       | 6,22       | 6,65       | 6,68       | 6,56       | 6,62       | 6,49        | 6,59       | 6,53       | 6,63       | 6,39       |
| A1   | Point | T0                      |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            | T1 - pilote | T2-pilote  | T3-Pilote  | T4 pilote  | T5 pilote  |
|      | Date  | 06/04/2018              | 07/04/2018 | 09/04/2018 | 13/04/2018 | 16/04/2018 | 19/04/2018 | 24/04/2018 | 07/05/2018 | 16/05/2018 | 01/06/2018 | 05/06/2018 | 02/07/2018 | 27/08/2018 | 16/04/2018  | 07/05/2018 | 05/06/2018 | 02/07/2018 | 27/08/2018 |
|      | Jours | 0                       | 1          | 3          | 7          | 10         | 13         | 18         | 31         | 40         | 56         | 60         | 87         | 143        | 10          | 31         | 60         | 87         | 143        |
|      | O2    |                         | 0,63       | 0,6        | 0,6        | 2,02       | 0,76       | 0,65       | 0,43       | 1,4        |            | 0,43       | 0,36       | 0,31       | 0,5         | 0,54       | 0,39       | 0,46       | 0,39       |
|      | redox |                         | -300       | -480       | -440       | -451       | -456       | -305       | -334       | -221       | -340       | -433       | -630       | -375       | -501        | -367       | -357       | -423       | -374       |
|      | pH    |                         | 6,8        | 6,9        | 7          | 6,93       | 7,03       | 6,79       | 6,85       | 6,43       | 7,14       | 7          | 6,92       | 8,92       | 6,74        | 6,89       | 7,23       | 6,4        | 9,13       |
| A2   | Point | T0                      |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            | T1 - pilote | T2-pilote  | T3-Pilote  | T4 pilote  | T5 pilote  |
|      | Date  | 06/04/2018              | 07/04/2018 | 09/04/2018 | 13/04/2018 | 16/04/2018 | 19/04/2018 | 24/04/2018 | 07/05/2018 | 16/05/2018 | 01/06/2018 | 05/06/2018 | 02/07/2018 | 27/08/2018 | 16/04/2018  | 07/05/2018 | 05/06/2018 | 02/07/2018 | 27/08/2018 |
|      | Jours | 0                       | 1          | 3          | 7          | 10         | 13         | 18         | 31         | 40         | 56         | 60         | 87         | 143        | 10          | 31         | 60         | 87         | 143        |
|      | O2    |                         | 1,45       | 0,8        | 0,5        | 0,88       | 0,47       | 0,4        | 0,44       | 1,6        |            | 0,9        | 0,34       | 0,25       | 0,55        | 0,55       | 0,55       | 0,38       | 0,36       |
|      | redox |                         | -228       | -480       | -460       | -444       | -453       | -297       | -334       | -265       | -353       | -400       | -604       | -446       | -440        | -370       | -358       | -443       | -418       |
|      | pH    |                         | 6,72       | 6,9        | 7          | 6,99       | 7          | 6,8        | 6,64       | 6,55       | 6,8        | 7,16       | 6,98       | 9,08       | 6,73        | 7,01       | 6,97       | 6,67       | 8,1        |
| B1   | Point | T0                      |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            | T1 - pilote | T2-pilote  | T3-Pilote  | T4 pilote  | T5 pilote  |
|      | Date  | 06/04/2018              | 07/04/2018 | 09/04/2018 | 13/04/2018 | 16/04/2018 | 19/04/2018 | 24/04/2018 | 07/05/2018 | 16/05/2018 | 01/06/2018 | 05/06/2018 | 02/07/2018 | 27/08/2018 | 16/04/2018  | 07/05/2018 | 05/06/2018 | 02/07/2018 | 27/08/2018 |
|      | Jours | 0                       | 1          | 3          | 7          | 10         | 13         | 18         | 31         | 40         | 56         | 60         | 87         | 143        | 10          | 31         | 60         | 87         | 143        |
|      | O2    |                         | 1,23       | 0,7        | 0,4        | 0,66       | 0,51       | 0,81       | 0,51       | 0,62       |            | 0,56       | 0,5        | 0,3        | 1,35        | 5,75       | 0,61       | 0,63       | 0,3        |
|      | redox |                         | -34        | -100       | -460       | -508       | -456       | -277       | -320       | -238       | -88        | -32        | -301       | -320       | -371        | -59        | -310       | -400       | -320       |
|      | pH    |                         | 6,69       | 6,7        | 6,6        | 6,3        | 6,35       | 6,28       | 6,2        | 6,23       | 6,2        | 6,24       | 6,24       | 7,86       | 6,7         | 6,6        | 5,93       | 6,05       | 7,86       |

### 5.3 Résultats du suivi psychoclimique

|            | 2019         |              | pceA         |              | tceA         |              | bvca         |              | vcrA         |              | KR           |              | 808          |              | 816          |              | 821          |              |
|------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
|            | ADN          | ARN          | ADN          | ARN          | ADN          | ARN          | ADN          | ARN          | ADN          | ARN          | ADN          | ARN          | ADN          | ARN          | ADN          | ARN          | ADN          | ARN          |
| Eau T0     | 8,50E+1<br>0 | 1,37E+1<br>2 | 8,39E+0<br>6 | 1,50E+0<br>6 | n.d.         | 8,23E+0<br>7 | 6,14E+0<br>7 | 2,99E+0<br>5 | 1,28E+0<br>7 | 5,08E+0<br>6 | 5,91E+0<br>7 | 1,24E+0<br>8 | <L.Q.        | <L.Q.        | 7,67E+0<br>5 | 1,73E+0<br>7 | 2,92E+0<br>9 | 2,80E+0<br>6 |
| Cont T2    | 3,88E+1<br>0 | 1,96E+1<br>1 | 3,91E+0<br>8 | 8,65E+0<br>5 | 5,83E+0<br>7 | n.d.         | 1,16E+0<br>8 | 2,19E+0<br>5 | 5,94E+0<br>8 | 8,79E+0<br>5 | 2,26E+0<br>6 | n.d.         | <L.Q.        | <L.Q.        | 3,20E+0<br>8 | 1,12E+0<br>7 | 2,84E+0<br>9 | 7,47E+0<br>5 |
| A1 T2      | 9,87E+0<br>9 | 1,76E+1<br>1 | 9,39E+0<br>7 | 2,29E+0<br>5 | 1,10E+0<br>7 | n.d.         | 4,03E+0<br>7 | 1,57E+0<br>5 | 1,89E+0<br>8 | 4,59E+0<br>5 | 8,78E+0<br>5 | n.d.         | <L.Q.        | <L.Q.        | 1,56E+0<br>7 | 1,62E+0<br>7 | 7,02E+0<br>8 | 2,14E+0<br>5 |
| A2-T2      | 6,24E+0<br>6 | 1,28E+0<br>9 | n.d.         | n.d.         | n.d.         | n.d.         | 4,68E+0<br>4 | 8,21E+0<br>4 | n.d.         | n.d.         | n.d.         | n.d.         | <L.Q.        | <L.Q.        | 2,25E+0<br>8 | 7,53E+0<br>6 | 7,50E+0<br>5 | 1,01E+0<br>4 |
| B1-T2      | 3,64E+1<br>0 | 8,07E+1<br>1 | 7,99E+0<br>7 | 2,29E+0<br>5 | 1,12E+0<br>7 | n.d.         | 2,96E+0<br>7 | 1,53E+0<br>5 | 1,19E+0<br>8 | 6,20E+0<br>4 | 1,03E+0<br>5 | n.d.         | <L.Q.        | <L.Q.        | 4,67E+0<br>5 | 5,81E+0<br>6 | 1,15E+0<br>9 | 3,22E+0<br>5 |
| B2-T2      | 7,74E+1<br>1 | 7,74E+1<br>1 | 9,64E+0<br>7 | 1,76E+0<br>5 | 9,13E+0<br>6 | n.d.         | 2,49E+0<br>7 | 6,47E+0<br>4 | 1,16E+0<br>8 | 3,55E+0<br>5 | 7,50E+0<br>5 | n.d.         | <L.Q.        | <L.Q.        | 2,94E+0<br>8 | 8,44E+0<br>7 | 2,42E+0<br>8 | 1,19E+0<br>5 |
| C-T2       | 7,74E+1<br>1 | 7,74E+1<br>1 | 3,18E+0<br>6 | 1,37E+0<br>4 | 5,91E+0<br>5 | n.d.         | n.d.         | 7,78E+0<br>4 | 4,94E+0<br>7 | n.d.         | n.d.         | n.d.         | <L.Q.        | <L.Q.        | 4,78E+0<br>7 | 8,37E+0<br>6 | 1,44E+0<br>7 | 2,53E+0<br>4 |
| Cont-T4    | 7,91E+0<br>9 | 5,48E+1<br>1 | 2,30E+0<br>5 | 7,31E+0<br>4 | 4,84E+0<br>4 | 2,24E+0<br>4 | 1,71E+0<br>5 | n.d.         | n.d.         | n.d.         | 6,28E+0<br>6 | 1,62E+0<br>6 | <L.Q.        | <L.Q.        | 3,99E+0<br>6 | 8,68E+0<br>7 | 1,85E+0<br>8 | 2,79E+0<br>5 |
| A1-T4      | 4,86E+0<br>7 | 6,03E+0<br>7 | n.d.         | 8,42E+0<br>4 | n.d.         | n.d.         | 2,09E+0<br>4 | n.d.         | n.d.         | n.d.         | n.d.         | n.d.         | <L.Q.        | <L.Q.        | 5,92E+0<br>5 | n.d.         | 2,21E+0<br>6 | 1,49E+0<br>5 |
| A2-T4      | 2,57E+1<br>0 | 8,43E+1<br>1 | 1,62E+0<br>5 | 1,98E+0<br>4 | 4,64E+0<br>4 | 1,86E+0<br>6 | 1,62E+0<br>5 | n.d.         | 3,39E+0<br>5 | n.d.         | 1,56E+0<br>6 | 4,36E+0<br>5 | <L.Q.        | <L.Q.        | 8,22E+0<br>6 | n.d.         | 1,22E+0<br>8 | 2,27E+0<br>5 |
| B1-T4      | 2,86E+1<br>0 | 8,51E+1<br>1 | 2,31E+0<br>5 | 1,31E+0<br>5 | 1,46E+0<br>5 | 2,44E+0<br>5 | 8,49E+0<br>5 | <L.Q.        | 8,65E+0<br>5 | 4,97E+0<br>4 | 2,20E+0<br>7 | 2,76E+0<br>6 | <L.Q.        | <L.Q.        | 8,03E+0<br>6 | n.d.         | 1,12E+0<br>8 | 6,36E+0<br>5 |
| B2-T4      | 1,80E+1<br>0 | 7,98E+1<br>1 | 3,09E+0<br>5 | 6,33E+0<br>4 | 5,32E+0<br>4 | 2,69E+0<br>4 | 6,40E+0<br>5 | 3,65E+0<br>4 | 5,02E+0<br>5 | n.d.         | 8,30E+0<br>6 | <L.Q.        | <L.Q.        | <L.Q.        | 1,14E+0<br>7 | n.d.         | 8,18E+0<br>7 | 4,25E+0<br>5 |
| C-T4       | 1,36E+1<br>0 | 4,32E+1<br>2 | 5,52E+0<br>4 | 2,76E+0<br>5 | 5,58E+0<br>4 | 1,15E+0<br>5 | 6,77E+0<br>5 | 3,66E+0<br>4 | 1,03E+0<br>5 | n.d.         | 6,09E+0<br>5 | <L.Q.        | <L.Q.        | <L.Q.        | 3,72E+0<br>6 | n.d.         | 1,26E+0<br>7 | 3,40E+0<br>5 |
| Control-T5 | 1,43E+1<br>0 | 3,94E+1<br>1 | 1,38E+0<br>5 | <L.Q.        | <L.Q.        | <L.Q.        | 1,10E+0<br>5 | <L.Q.        | 1,50E+0<br>5 | <L.Q.        | 4,44E+0<br>6 | 2,39E+0<br>5 | 3,90E+0<br>6 | 5,42E+0<br>4 | 6,41E+0<br>7 | 5,54E+0<br>4 | 4,03E+0<br>8 | 9,48E+0<br>4 |
| A1-T5      | 9,99E+0<br>7 | 6,54E+0<br>8 | <L.Q.        | <L.Q.        | n.d.         | <L.Q.        | <L.Q.        | n.d.         | <L.Q.        | <L.Q.        | 4,79E+0<br>4 | <L.Q.        | 7,34E+0<br>4 | 1,31E+0<br>4 | 6,98E+0<br>5 | 5,45E+0<br>3 | 7,31E+0<br>6 | 6,93E+0<br>3 |
| A2-T5      | 1,51E+1<br>0 | 2,66E+1<br>1 | n.d.         | <L.Q.        | <L.Q.        | n.d.         | 1,40E+0<br>4 | <L.Q.        | 4,06E+0<br>4 | <L.Q.        | 6,90E+0<br>4 | n.d.         | 5,08E+0<br>5 | 1,40E+0<br>4 | 3,74E+0<br>7 | 6,97E+0<br>4 | 3,15E+0<br>7 | 1,20E+0<br>5 |
| B1-T5      | 1,13E+1<br>0 | 5,61E+1<br>1 | 8,09E+0<br>3 | <L.Q.        | <L.Q.        | <L.Q.        | 4,10E+0<br>4 | <L.Q.        | 9,74E+0<br>4 | 1,29E+0<br>4 | 5,10E+0<br>6 | 1,65E+0<br>5 | 6,13E+0<br>7 | 2,01E+0<br>4 | 1,62E+0<br>8 | 4,81E+0<br>4 | 6,58E+0<br>7 | 8,82E+0<br>4 |
| B2-T5      | 3,30E+1<br>0 | 5,03E+1<br>1 | 1,20E+0<br>4 | <L.Q.        | <L.Q.        | <L.Q.        | 1,84E+0<br>5 | <L.Q.        | 2,38E+0<br>4 | <L.Q.        | 3,90E+0<br>5 | 1,47E+0<br>5 | 7,04E+0<br>5 | 1,87E+0<br>4 | 1,54E+0<br>7 | 5,08E+0<br>5 | 2,61E+0<br>7 | 4,57E+0<br>4 |
| C-T5       | 3,26E+1<br>1 | 2,21E+1<br>3 | <L.Q.        | 4,10E+0<br>4 | 6,93E+0<br>3 | 1,17E+0<br>5 | 7,29E+0<br>6 | <L.Q.        | 3,15E+0<br>4 | <L.Q.        | 1,79E+0<br>4 | <L.Q.        | 9,75E+0<br>5 | 1,06E+0<br>5 | 1,09E+0<br>8 | 7,85E+0<br>6 | 6,65E+0<br>7 | 5,69E+0<br>5 |

n.d. : non détecté ; <L.Q. : inférieur à la LQ

## 5.2 Résultats du suivi biologique

|                                 |            | C      |        |        |          |        |       |
|---------------------------------|------------|--------|--------|--------|----------|--------|-------|
|                                 |            | T0     | T1     | T2     | T3       | T4     | T5    |
| <b>Autres paramètres</b>        |            |        |        |        |          |        |       |
| Nitrates                        | mg NO3/l   | <1.00  |        | <1.77  |          | <13.3  | <3.54 |
| Azote nitrique                  | mg N-NO3/l | <0.20  |        | <0.40  |          | <3.00  | <0.80 |
| Ammonium                        |            |        |        |        |          | 0,38   |       |
| Azote kjehldahl                 |            |        |        |        |          | 141    |       |
| Chlorures                       | mg/l       | 1110   |        | 1200   |          | 1070   | 1110  |
| Sulfates                        | mg/l       | 207    |        | 178    |          | 203    | 211   |
| Carbone organique dissous (COD) | mg C/l     | 14     | 2400   | 1900   | 28 (COT) | 9500   | 2700  |
| Fer (Fe)                        | mg/l       | 12,2   | 906    | 916    | 1400     | 713    | 493   |
| Manganèse (Mn)                  | µg/l       | 4370   |        | 7970   | 10100    | 7080   | 2680  |
| <b>Aromatique</b>               |            |        |        |        |          |        |       |
| Benzène                         | µg/l       | 3790   | 2410   | 1640   | 1430     | 1470   | 540   |
| Toluène                         | µg/l       | 3160   | 1680   | 1070   | 1120     | 1040   | 417   |
| Ethylbenzène                    | µg/l       | 325    | 110    | 105    | 44,8     | 123    | 44,3  |
| o-Xylène                        | µg/l       | 2270   | 810    | 685    | 373      | 719    | 343   |
| Xylène (méta-, para-)           | µg/l       | 2160   | 631    | 572    | 233      | 633    | 234   |
| <b>Chloré</b>                   |            |        |        |        |          |        |       |
| Dichlorométhane                 | µg/l       | <5.00  | <5.00  | 5,8    | <5.00    | <5.00  | <5.00 |
| 1,2-dichloroéthane              | µg/l       | 7,3    | 8,3    | <1.00  | <2.00    | <1.00  | 2,2   |
| 1,1,2-Trichloroéthane           | µg/l       | 25,6   | 18,3   | 10,8   | <1.00    | <5.00  | <5.00 |
| 1,1-Dichloroéthène              | µg/l       | 87,7   | 40,9   | 26,4   | 5        | 19,9   | 4,9   |
| Tetrachloroéthène               | µg/l       | 1350   | 569    | 575    | 210      | 515    | 108   |
| Trichloroéthène                 | µg/l       | 2220   | 1090   | 595    | 246      | 345    | 42,1  |
| cis 1,2-Dichloroéthène          | µg/l       | 479000 | 274000 | 265000 | 198000   | 264000 | 54600 |
| Trans-1,2-dichloroéthène        | µg/l       | 1100   | 425    | 348    | 150      | 220    | 27,7  |
| Chlorure de vinyle              | µg/l       | 2780   | 1100   | 1450   | 587      | 675    | 222   |
| Somme des COHV                  |            | 486450 | 277184 | 267968 |          |        |       |
|                                 |            |        |        |        |          |        |       |
| Ethane                          | µg/l       | 6      |        | 15     |          | 49     |       |
| Ethylene                        | µg/l       | 16     |        | 35     |          | 180    |       |
| Methane                         | µg/l       | 13     |        | 31     |          | 92     |       |



|                                 |            | B2     |        |        |        |       |        |
|---------------------------------|------------|--------|--------|--------|--------|-------|--------|
|                                 |            | T0     | T1     | T2     | T3     | T4    | T5     |
| <b>Autres paramètres</b>        |            |        |        |        |        |       |        |
| Nitrates                        | mg NO3/l   | <1.00  |        | <1.00  |        | <1.00 | <1.00  |
| Azote nitrique                  | mg N-NO3/l | <0.20  |        | <0.20  |        | <0.20 | <0.20  |
| Ammonium                        |            |        |        |        |        | 0,22  |        |
| Azote kjehldahl                 |            |        |        |        |        | 4,6   |        |
| Chlorures                       | mg/l       | 1080   |        | 1120   |        | 1140  | 1080   |
| Sulfates                        | mg/l       | 231    |        | 233    |        | 64,7  | 767    |
| Carbone organique dissous (COD) | mg C/l     | 16     | 470    | 390    | 370    | 460   | 500    |
| Fer (Fe)                        | mg/l       | 1,7    | 2,42   | 2,69   | 2,65   | 0,54  | 19,7   |
| Manganèse (Mn)                  | µg/l       | 4030   |        | 3160   | 5140   | 3030  | 1700   |
| <b>Aromatique</b>               |            |        |        |        |        |       |        |
| Benzène                         | µg/l       | 3680   | 1730   | 2400   | 1720   | 311   | 1890   |
| Toluène                         | µg/l       | 4540   | 2220   | 7520   | 2610   | 551   | 2610   |
| Ethylbenzène                    | µg/l       | 1550   | 410    | 4690   | 459    | 279   | 627    |
| o-Xylène                        | µg/l       | 3970   | 1120   | 15800  | 1430   | 806   | 2130   |
| Xylène (méta-, para-)           | µg/l       | 7480   | 2570   | 37000  | 3490   | 1880  | 4840   |
| <b>Chloré</b>                   |            |        |        |        |        |       |        |
| Dichlorométhane                 | µg/l       | <5.00  | <5.00  | 5,2    | <5.00  | <5.00 | <5.00  |
| 1,2-dichloroéthane              | µg/l       | <1.00  | 6,3    | 8,6    | 5,2    | <1.00 | 4,5    |
| 1,1,2-Trichloroéthane           | µg/l       | <5.00  | <5.00  | 20,8   | 27,8   | <5.00 | 12,1   |
| 1,1-Dichloroéthène              | µg/l       | 98,2   | 199    | 170    | 234    | 10,4  | 278    |
| Tetrachloroéthène               | µg/l       | 27700  | 40400  | 133000 | 15200  | 18300 | 7950   |
| Trichloroéthène                 | µg/l       | 7820   | 3850   | 10000  | 5520   | 884   | 3320   |
| cis 1,2-Dichloroéthène          | µg/l       | 436000 | 429000 | 405000 | 319000 | 70600 | 345000 |
| Trans-1,2-dichloroéthène        | µg/l       | 1120   | 753    | 1090   | 772    | 79,6  | 537    |
| Chlorure de vinyle              | µg/l       | 3950   | 3260   | 4650   | 2670   | 260   | 2150   |
| Somme des COHV                  |            | 476590 | 48263  | 553740 | 343162 |       |        |
|                                 |            |        |        |        |        |       |        |
| Ethane                          | µg/l       | 5      |        | 3      |        | <2    |        |
| Ethylene                        | µg/l       | 24     |        | 33     |        | <2    |        |
| Methane                         | µg/l       | 14     |        | 6      |        | <2    |        |

|                                 |            | B1     |        |        |        |        |        |
|---------------------------------|------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
|                                 |            | T0     | T1     | T2     | T3     | T4     | T5     |
| <b>Autres paramètres</b>        |            |        |        |        |        |        |        |
| Nitrates                        | mg NO3/l   | <1.00  |        | <1.00  |        | <1.00  | <1.00  |
| Azote nitrique                  | mg N-NO3/l | <0.20  |        | <0.20  |        | <0.20  | <0.20  |
| Ammonium                        |            |        |        |        |        | 0,08   |        |
| Azote kjehldahl                 |            |        |        |        |        | 3,1    |        |
| Chlorures                       | mg/l       | 1080   |        | 1050   |        | 1060   | 1090   |
| Sulfates                        | mg/l       | 231    |        | 233    |        | 226    | 828    |
| Carbone organique dissous (COD) | mg C/l     | 16     | 680    | 680    | 510    | 580    | 720    |
| Fer (Fe)                        | mg/l       | 1,7    | 0,68   | 1,57   | 1,94   | 2,47   | 30,8   |
| Manganèse (Mn)                  | µg/l       | 4030   |        | 3980   | 3870   | 3820   | 1700   |
| <b>Aromatique</b>               |            |        |        |        |        |        |        |
| Benzène                         | µg/l       | 3680   | 3040   | 1090   | 3140   | 4860   | 3660   |
| Toluène                         | µg/l       | 4540   | 3450   | 1060   | 3710   | 5420   | 4360   |
| Ethylbenzène                    | µg/l       | 1550   | 1410   | 416    | 1200   | 1440   | 1740   |
| o-Xylène                        | µg/l       | 3970   | 4030   | 1310   | 4330   | 3690   | 5880   |
| Xylène (méta-, para-)           | µg/l       | 7480   | 10200  | 2640   | 10600  | 11100  | 9910   |
| <b>Chloré</b>                   |            |        |        |        |        |        |        |
| Dichlorométhane                 | µg/l       | <5.00  | 6      | 8,2    | <5.00  | <5.00  | <5.00  |
| 1,2-dichloroéthane              | µg/l       | <1.00  | <1.00  | 3,3    | 5,3    | <1.00  | 6,3    |
| 1,1,2-Trichloroéthane           | µg/l       | <5.00  | <5.00  | 12,5   | 24,3   | <5.00  | 24,5   |
| 1,1-Dichloroéthène              | µg/l       | 98,2   | 106    | 36,9   | 92,7   | 90,3   | 121    |
| Tetrachloroéthène               | µg/l       | 27700  | 53600  | 15400  | 64300  | 84600  | 76500  |
| Trichloroéthène                 | µg/l       | 7820   | 8070   | 1680   | 8560   | 13600  | 10800  |
| cis 1,2-Dichloroéthène          | µg/l       | 436000 | 429000 | 170000 | 407000 | 390000 | 420000 |
| Trans-1,2-dichloroéthène        | µg/l       | 1120   | 891    | 275    | 887    | 745    | 675    |
| Chlorure de vinyle              | µg/l       | 3950   | 1950   | 641    | 1710   | 1350   | 1520   |
| Somme des COHV                  |            | 476590 | 493511 | 187996 | 482457 |        |        |
|                                 |            |        |        |        |        |        |        |
| Ethane                          | µg/l       | 5      |        | <2.0   |        | 2      |        |
| Ethylene                        | µg/l       | 24     |        | 2      |        | 25     |        |
| Methane                         | µg/l       | 14     |        | <2.0   |        | 3      |        |

|                                 |            | A2     |        |        |        |        |       |
|---------------------------------|------------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|
|                                 |            | T0     | T1     | T2     | T3     | T4     | T5    |
| <b>Autres paramètres</b>        |            |        |        |        |        |        |       |
| Nitrates                        | mg NO3/l   | <1.00  |        | <1.00  |        | <1.00  | <1.00 |
| Azote nitrique                  | mg N-NO3/l | <0.20  |        | <0.20  |        | <0.20  | <0.20 |
| Ammonium                        |            |        |        |        |        | 0,57   |       |
| Azote kjehldahl                 |            |        |        |        |        | 1,5    |       |
| Chlorures                       | mg/l       | 1080   |        | 1100   |        | 1280   | 1320  |
| Sulfates                        | mg/l       | 231    |        | 236    |        | 223    | 670   |
| Carbone organique dissous (COD) | mg C/l     | 16     | 18     | 19     | 19     | 21     | 760   |
| Fer (Fe)                        | mg/l       | 1,7    | 50,9   | 64,5   | 74,4   | 54,1   | 84,5  |
| Manganèse (Mn)                  | µg/l       | 4030   |        | 1720   | 2550   | 1500   | 721   |
| <b>Aromatique</b>               |            |        |        |        |        |        |       |
| Benzène                         | µg/l       | 3680   | 4500   | 1880   | 3080   | 2780   | 142   |
| Toluène                         | µg/l       | 4540   | 5650   | 2130   | 4270   | 3580   | 62,5  |
| Ethylbenzène                    | µg/l       | 1550   | 1910   | 745    | 1420   | 909    | 9,7   |
| o-Xylène                        | µg/l       | 3970   | 5390   | 2480   | 4460   | 3030   | 114   |
| Xylène (méta-, para-)           | µg/l       | 7480   | 12100  | 5300   | 10900  | 7050   | 96,1  |
| <b>Chloré</b>                   |            |        |        |        |        |        |       |
| Dichlorométhane                 | µg/l       | <5.00  | <5.00  | <5.00  | 8,2    | <5.00  | <5.00 |
| 1,2-dichloroéthane              | µg/l       | <1.00  | 5,5    | 4,4    | 3,7    | <1.00  | 1,8   |
| 1,1,2-Trichloroéthane           | µg/l       | <5.00  | 21,2   | 16,2   | 21,7   | <5.00  | <5.00 |
| 1,1-Dichloroéthène              | µg/l       | 98,2   | 128    | 83,9   | 98,3   | 8,5    | <2.00 |
| Tetrachloroéthène               | µg/l       | 27700  | 57200  | 16900  | 53900  | 4920   | 13,4  |
| Trichloroéthène                 | µg/l       | 7820   | 8600   | 1170   | 1410   | 62,1   | 1,8   |
| cis 1,2-Dichloroéthène          | µg/l       | 436000 | 456000 | 286000 | 398000 | 197000 | 1150  |
| Trans-1,2-dichloroéthène        | µg/l       | 1120   | 1130   | 422    | 384    | 41     | <2.00 |
| Chlorure de vinyle              | µg/l       | 3950   | 3630   | 1980   | 2600   | 1530   | 78,9  |
| Somme des COHV                  |            | 476590 | 526560 | 306472 | 456294 |        |       |
|                                 |            |        |        |        |        |        |       |
| Ethane                          | µg/l       | 5      |        | 150    |        | 1800   |       |
| Ethylene                        | µg/l       | 24     |        | 830    |        | 5600   |       |
| Methane                         | µg/l       | 14     |        | 2      |        | 29     |       |

|                                 |            | T0     | T1     | T2     | T3     | T4     | T5    |
|---------------------------------|------------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|
| <b>Autres paramètres</b>        |            |        |        |        |        |        |       |
| Nitrates                        | mg NO3/l   | <1.00  |        | <1.00  |        | <1.00  | <1.00 |
| Azote nitrique                  | mg N-NO3/l | <0.20  |        | <0.20  |        | <0.20  | <0.20 |
| Ammonium                        |            |        |        |        |        | <0.05  |       |
| Azote kjehldahl                 |            |        |        |        |        | 3      |       |
| Chlorures                       | mg/l       | 1080   |        | 1100   |        | 1240   | 1220  |
| Sulfates                        | mg/l       | 231    |        | 275    |        | 210    | 195   |
| Carbone organique dissous (COD) | mg C/l     | 16     | 19     | 18     | 22     | 570    | 17    |
| Fer (Fe)                        | mg/l       | 1,7    | 36,3   | 65     | 80,8   | 239    | 11,6  |
| Manganèse (Mn)                  | µg/l       | 4030   |        | 2170   | 2280   | 1510   | 142   |
| <b>Aromatique</b>               |            |        |        |        |        |        |       |
| Benzène                         | µg/l       | 3680   | 3340   | 3270   | 2890   | 2780   | 1070  |
| Toluène                         | µg/l       | 4540   | 4640   | 4610   | 4140   | 3200   | 828   |
| Ethylbenzène                    | µg/l       | 1550   | 1710   | 1660   | 1190   | 909    | 201   |
| o-Xylène                        | µg/l       | 3970   | 4880   | 5200   | 3650   | 2230   | 870   |
| Xylène (méta-, para-)           | µg/l       | 7480   | 11400  | 11600  | 7860   | 5200   | 958   |
| <b>Chloré</b>                   |            |        |        |        |        |        |       |
| Dichlorométhane                 | µg/l       | <5.00  | <5.00  | <5.00  | 7,6    | 9      | <5.00 |
| 1,2-dichloroéthane              | µg/l       | <1.00  | 4,8    | 4,8    | 6,1    | 5,8    | 3,7   |
| 1,1,2-Trichloroéthane           | µg/l       | <5.00  | 19,4   | 19,7   | 21,6   | 6,9    | <5.00 |
| 1,1-Dichloroéthène              | µg/l       | 98,2   | 119    | 138    | 116    | 13,4   | <2.00 |
| Tetrachloroéthène               | µg/l       | 27700  | 53600  | 55500  | 15500  | 486    | 6,9   |
| Trichloroéthène                 | µg/l       | 7820   | 6680   | 4230   | 3220   | 105    | <1.00 |
| cis 1,2-Dichloroéthène          | µg/l       | 436000 | 422000 | 423000 | 405000 | 209000 | 3910  |
| Trans-1,2-dichloroéthène        | µg/l       | 1120   | 959    | 566    | 376    | 51,1   | <2.00 |
| Chlorure de vinyle              | µg/l       | 3950   | 3470   | 3520   | 2700   | 3030   | 277   |
| Somme des COHV                  |            | 476590 | 486709 | 486816 | 426796 |        |       |
|                                 |            |        |        |        |        |        |       |
| Ethane                          | µg/l       | 5      |        | 430    |        | 250    |       |
| Ethylene                        | µg/l       | 24     |        | 2100   |        | 1200   |       |
| Methane                         | µg/l       | 14     |        | 8      |        | 3      |       |

## 5 Annexe

### 5.1 Résultats du suivi chimique

|                                 |            | Contrôle |        |        |        |        |        |
|---------------------------------|------------|----------|--------|--------|--------|--------|--------|
|                                 |            | T0       | T1     | T2     | T3     | T4     | T5     |
| <b>Autres paramètres</b>        |            |          |        |        |        |        |        |
| Nitrates                        | mg NO3/l   | <1.00    |        | <1.00  |        | <1.00  | <1.00  |
| Azote nitrique                  | mg N-NO3/l | <0.20    |        | <0.20  |        | <0.20  | <0.20  |
| Ammonium                        |            |          |        |        |        | 0,83   |        |
| Azote kjehldahl                 |            |          |        |        |        | 2,1    |        |
| Chlorures                       | mg/l       | 1080     |        | 1060   |        | 1030   | 1080   |
| Sulfates                        | mg/l       | 231      |        | 254    |        | 247    | 235    |
| Carbone organique dissous (COD) | mg C/l     | 16       | 16     | 19     | 17     | 18     | 17     |
| Fer (Fe)                        | mg/l       | 1,7      | 0,56   | 0,86   | 0,38   | 1,19   | 0,6    |
| Manganèse (Mn)                  | µg/l       | 4030     |        | 2730   | 2930   | 3020   | 2570   |
| <b>Aromatique</b>               |            |          |        |        |        |        |        |
| Benzène                         | µg/l       | 3680     | 4530   | 2850   | 3170   | 4050   | 3090   |
| Toluène                         | µg/l       | 4540     | 5230   | 3460   | 4110   | 5050   | 3760   |
| Ethylbenzène                    | µg/l       | 1550     | 1370   | 1060   | 1190   | 1310   | 935    |
| o-Xylène                        | µg/l       | 3970     | 4540   | 3390   | 4530   | 3790   | 4630   |
| Xylène (méta-, para-)           | µg/l       | 7480     | 7100   | 6880   | 9370   | 9340   | 6720   |
| <b>Chloré</b>                   |            |          |        |        |        |        |        |
| Dichlorométhane                 | µg/l       | <5.00    | <5.00  | <5.00  | <5.00  | <5.00  | <5.00  |
| 1,2-dichloroéthane              | µg/l       | <1.00    | 5,3    | 6,9    | 5,3    | <1.00  | 4,5    |
| 1,1,2-Trichloroéthane           | µg/l       | <5.00    | 21     | 27,1   | 24,7   | <5.00  | <5.00  |
| 1,1-Dichloroéthène              | µg/l       | 98,2     | 141    | 132    | 130    | 102    | 75,4   |
| Tetrachloroéthène               | µg/l       | 27700    | 34700  | 44100  | 70600  | 93300  | 43100  |
| Trichloroéthène                 | µg/l       | 7820     | 9670   | 8060   | 9720   | 105    | 6560   |
| cis 1,2-Dichloroéthène          | µg/l       | 436000   | 533000 | 536000 | 434000 | 449000 | 247000 |
| Trans-1,2-dichloroéthène        | µg/l       | 1120     | 1290   | 1070   | 1060   | 800    | 488    |
| Chlorure de vinyle              | µg/l       | 3950     | 4150   | 3670   | 2690   | 6660   | 2070   |
| Somme des COHV                  |            | 476590   | 582810 | 592900 | 518070 |        |        |
| <b>Gaz dissous</b>              |            |          |        |        |        |        |        |
| Ethane                          | µg/l       | 5        |        | 2      |        | 2      |        |
| Ethylene                        | µg/l       | 24       |        | 17     |        | 23     |        |
| Methane                         | µg/l       | 14       |        | 5      |        | 8      |        |

## 4 Conclusion

---

Ginger-Burgeap a chargé ENOVEO de réaliser un test afin d'évaluer l'efficacité d'un traitement par réduction chimique (FZV), par bioremédiation (ajout d'une source de carbone) et par une technique combinée (FZV + source de carbone ou EHCr), d'une nappe contaminée par des éthènes chlorés et BTEX.

Les résultats des analyses de biologie moléculaire montrent que les potentiels de bioremédiation pour la dégradation des chloroéthènes et pour la dégradation des BTEX en condition anaérobie sont présents. Pourtant, les résultats expérimentaux de cette étude montrent que la dégradation des chloroéthènes semble principalement conditionnée par la présence de FZV, indépendamment de la présence d'une source de carbone, à une concentration comprise entre 16 et 19g/L de FZV.

Les pilotes A1 et A2 présentent un abattement de 99% des concentrations en chloroéthènes après avoir effectué le deuxième amendement en FZV peu avant le T3. Les deux conditions diffèrent par l'ajout d'une source de carbone dans la condition A2 après la réalisation du T3. La présence de la source de carbone a favorisé la formation importante d'éthène dans ce pilote. Cette différence pourrait être due à une priorisation de l'hydrogénolyse dans le cas du pilote A2.

Le pilote C amendé avec l'EHCr présente également un abattement conséquent de 88% de la somme des chloroéthènes. L'efficacité de l'abattement reste globalement inférieure à celui obtenu avec le FZV seul, malgré des concentrations initiales inférieures.

En termes de cinétique de réaction, il est difficile de conclure en raison de l'amendement en deux fois du FZV dans les pilotes A1 et A2. En effet le premier amendement réalisé (calcul de l'amendement basé sur les résultats des analyses chimiques à T0) n'a pas eu d'effet mesurable à l'exception de la chute du potentiel d'oxydoréduction et d'un effet délétère sur les populations en présence (Figure 18). Le deuxième amendement, conséquent puisqu'il représente 5 fois la masse initiale et ayant permis d'atteindre une concentration théorique similaire à celle du pilote C, a eu immédiatement des effets sur les concentrations en chloroéthènes et sur les BTEX. Une concentration cible comprise entre 16 et 19 g/L de fer devrait donc permettre d'obtenir les mêmes effets que dans les conditions A1 et A2.

La concentration finale en FZV semble critique probablement en raison des fortes concentrations en polluant. Ainsi la concentration en FZV devrait être d'environ 16 g/L. Ceci représente un rapport stœchiométrique de 1,6mg de FZV par  $\mu$ mole de chlore dans les molécules chlorés cibles.

L'utilisation d'une source de carbone ne permet pas d'améliorer les cinétiques. Néanmoins, dans une application *in situ*, cet amendement pourrait permettre de maintenir et de stimuler des activités métaboliques déjà en place comme le montre les résultats de biologie moléculaire à T0. Les effets toxiques relevés sur la flore bactérienne totale sont généralement très localisés et la présence d'une source de carbone adéquate pourrait maintenir une activité de microbienne dans un panache de traitement.



Pour tous les pilotes, les concentrations en ADN et ARN du biomarqueur EP808 confirment son absence d'implication dans la baisse des concentrations en BTEX. Pourtant le biomarqueur EP821 indique qu'une activité de dégradation du benzoylCoA a bien lieu. Ce dernier est spécifique de la dégradation du benzoylCoA qui est le métabolite commun à l'ensemble processus connus de dégradation anaérobie des composés aromatiques. La densité et l'activité de EP821 sont des indicateurs qu'une activité de dégradation de molécules aromatiques est bien effective mais les résultats de chimie sur B1 et B2 montrent que cette activité n'est pas responsable de la baisse observée en A1 et A2.

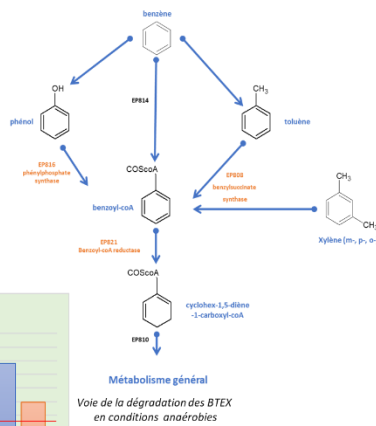
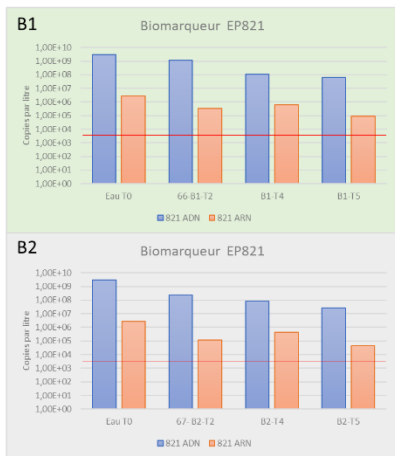
En parallèle des phénomènes étudiés par le biais des analyses de biologie moléculaire, une autre hypothèse expliquant l'évolution des concentrations en BTEX pourrait être émise. En effet, dans certains cas, les molécules aromatiques pourraient être utilisés comme donneur d'électron pour la réduction des solvants chlorés. Toutefois, dans le cadre de cette étude, il est peu probable qu'un tel processus puisse affecter simultanément toutes les molécules aromatiques.

La présence et l'activité du biomarqueur EP821 qui est impliqué dans la biodégradation d'un métabolite central des mécanismes de biodégradation anaérobie des BTEX, laisse penser qu'une origine microbienne puisse être à l'origine des abattements en BTEX observés dans les pilotes A1, A2 et C. En effet, le FZV n'ayant pas de réactivité chimique connue avec les molécules aromatiques, l'ajout de cet élément dans le milieu peut avoir généré un environnement favorable à l'activation de voie de biodégradation alternatives.

Par ailleurs, même si le FZV ne réagit pas directement avec les composés aromatiques, il est pertinent de garder à l'esprit que les acides de Lewis sont des catalyseurs de certaines réactions chimiques des composés aromatiques. Ainsi, la transformation dans les pilotes, du Fer Zéro Valent en Chlorure de Fer II ou Chlorure de Fer III peut impliquer des réactions chimiques et donc une dégradation des BTEX.

#### Conclusion sur la dégradation des BTEX :

- Les conditions Contrôle, B1 et B2 ne montrent pas d'évolution significative des concentrations quel que soit le BTEX.
- Les BTEX sont abattus significativement dans trois conditions : A1, A2 et C.
- La baisse des BTEX est significative après le deuxième amendement dans les conditions A1 et A2.
- L'ajout du FZV a donc permis la baisse des concentrations des BTEX.
- Les différents BTEX sont affectés par le même processus.
- Les processus de dégradation biologiques connus ne permettent pas d'expliquer la baisse des concentrations en BTEX.
- Les BTEX n'interagissent pas directement avec les FZV, d'autres processus sont donc en cause (acide de Lewis).



- Limite de quantification

Figure 28: Suivi des biomarqueurs de la dégradation anaérobie des BTEX dans les pilotes B1 et B2.

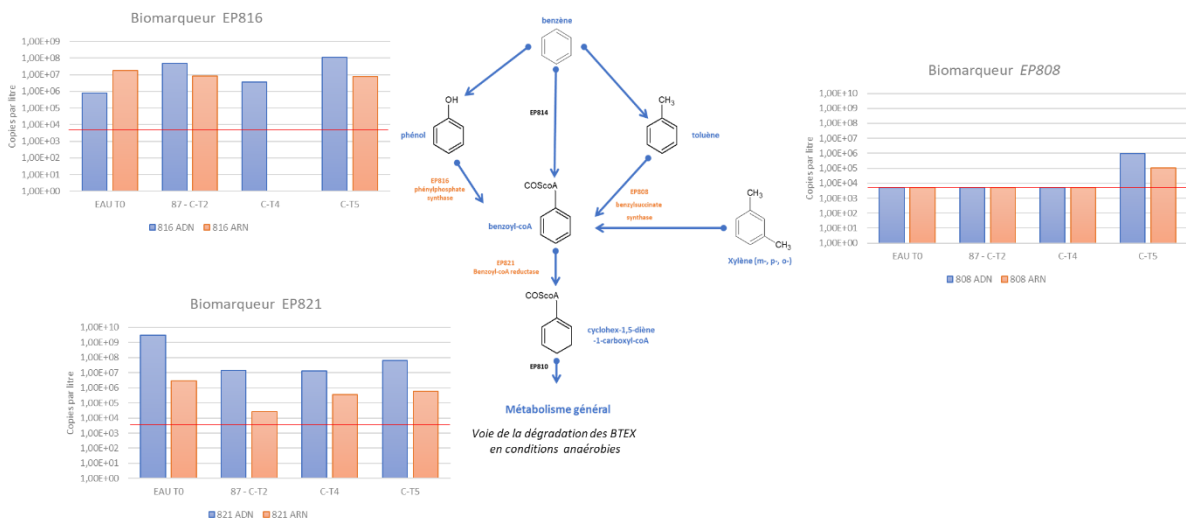
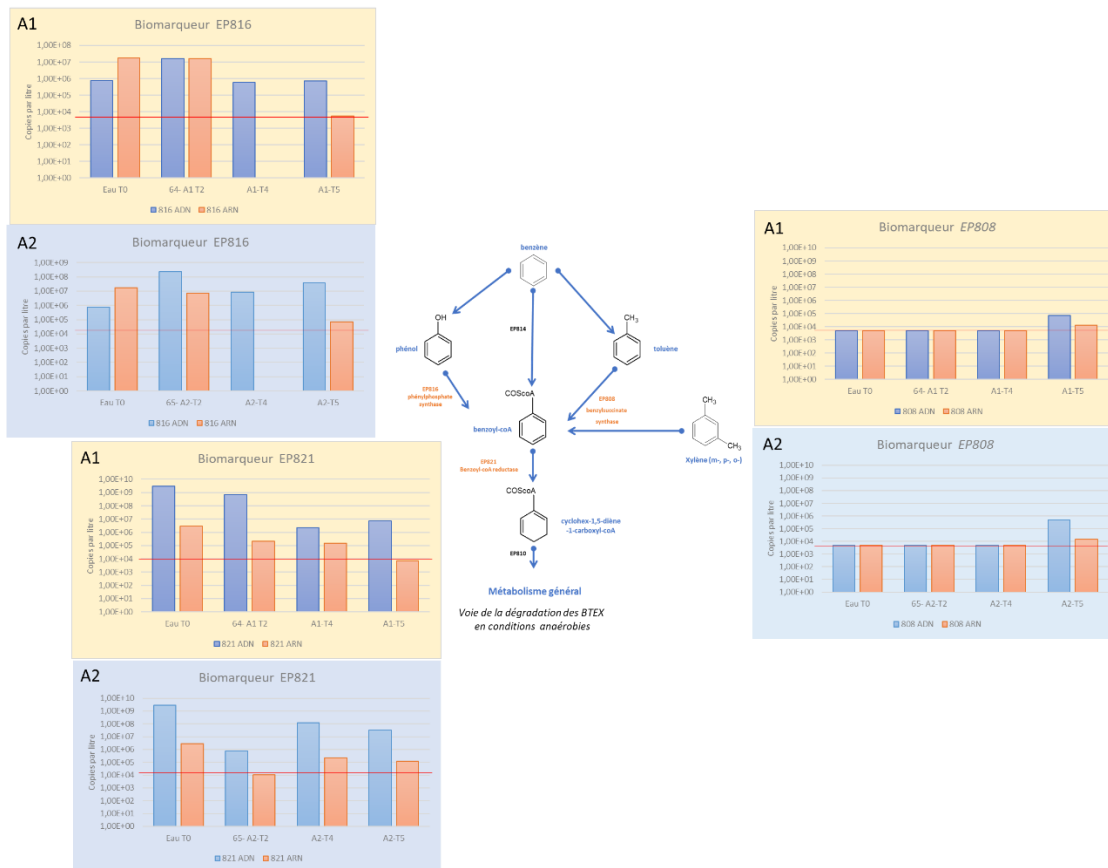


Figure 29: Suivi des biomarqueurs de la dégradation anaérobie des BTEX dans le pilote C.



- Limite de quantification

Figure 27: Suivi des biomarqueurs de la dégradation anaérobie des BTEX dans le pilote A1 et A2.

Une forte baisse pour tous les BTEX est observée pour les conditions A1 et A2 après le point T3 qui correspond au deuxième amendement en FZV.

Chimiquement, les BTEX ne sont pas connus pour réagir avec le FZV, cependant des processus biologiques peuvent s'activer et conduire à la dégradation biologique de ces molécules en présence de fer.

Dans tous les pilotes, le suivi des biomarqueurs de la dégradation des BTEX montrent la présence et l'activité de gènes spécifiques de la dégradation du benzène en condition anaérobie (Figure 26, Figure 27, Figure 28, Figure 29) sans qu'il n'y ait de différences notables entre les conditions.

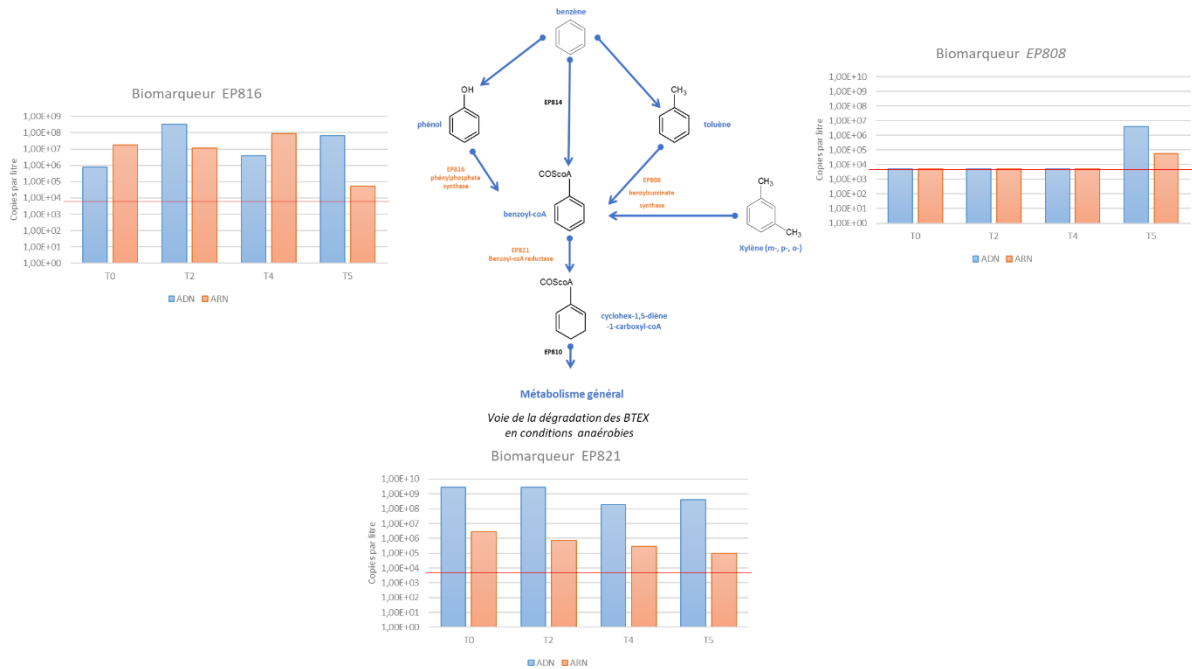


Figure 26: Suivi des biomarqueurs de la dégradation anaérobie des BTEX dans le pilote Contrôle.

Le Contrôle et les deux conditions B1 et B2 ne montrent pas d'évolution significative des BTEX, tandis que A1 et A2, d'une part, et C, d'autre part, présentent un abattement des concentrations avec des cinétiques différentes.

La Figure 25 présentent l'évolution des concentrations molaires de chaque composé ainsi que la médiane des concentrations. Cette figure met en évidence une évolution importante des BTEX dans les conditions A1, A2 et C.

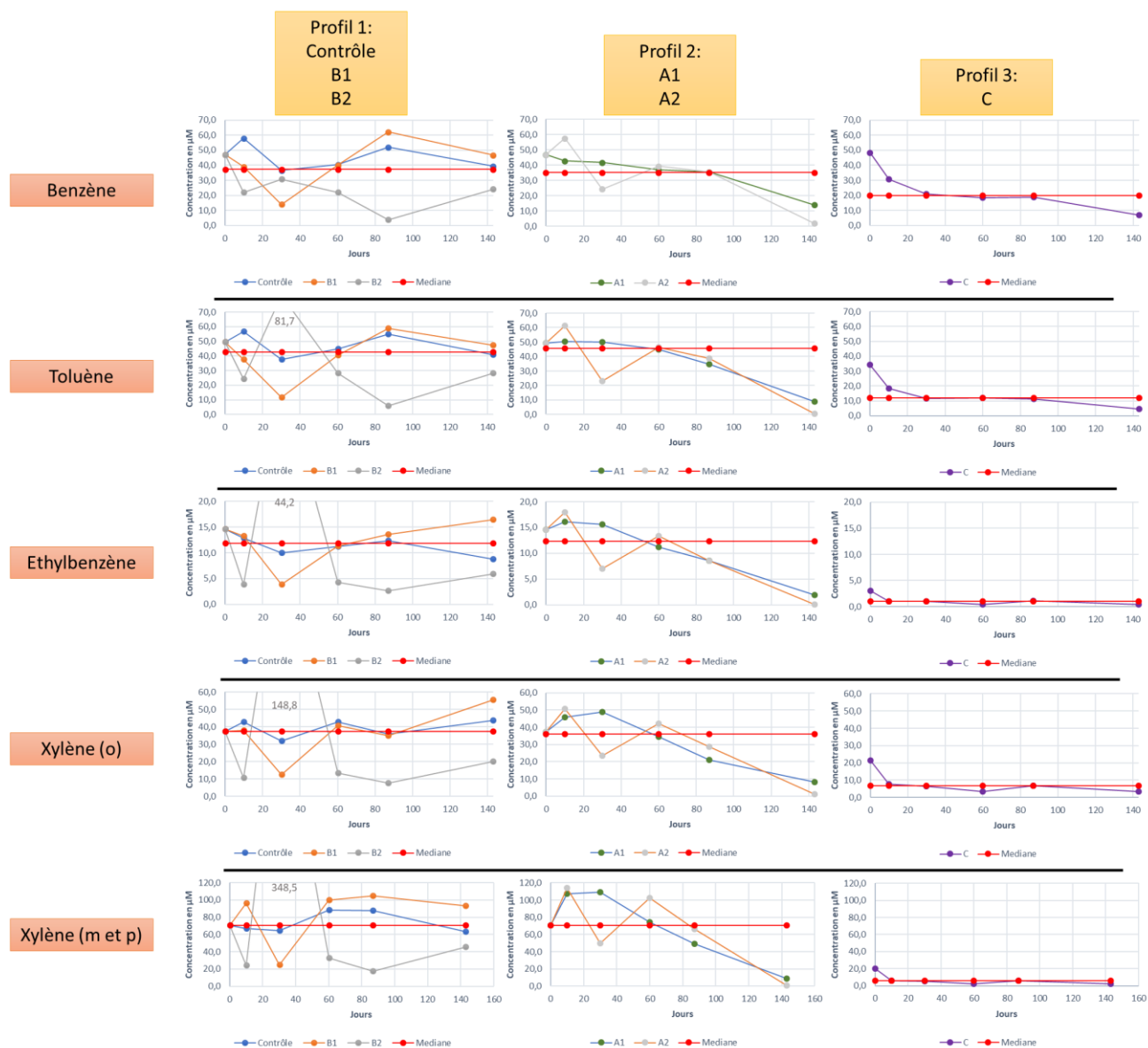


Figure 25: Évolution des concentrations molaires ( $\mu\text{M}$ ) de chacun des BTEX par profil. La médiane de l'ensemble des valeurs est représentée en rouge.

La condition B2 présente une évolution légèrement différente de celle du Contrôle et du pilote B1. Il est possible que l'huile de soja (présent dans la source de carbone) présente dans le pilote B2 (et non en B1) soit responsable de la baisse en BTEX observés par solubilisation. La consommation/fermentation de l'huile au cours du temps a pu conduire à la libération de composés amenant ainsi les concentrations vers le niveau des autres pilotes Contrôle et B1 en fin d'expérimentation (T5).

### 3.2.2 Évolution des composés aromatiques volatils (BTEX)

La dégradation des BTEX est également un enjeu sur ce site. La Figure 24 présente les évolutions en concentrations massiques des différents BTEX durant la réalisation du pilote. Les pilotes B1 et B2 présentent chacun un point de mesure considéré comme non significatif en T2. Le pilote C présente des concentrations en BTEX inférieures aux autres pilotes en début d'expérimentation.



Figure 24: Évolution des concentrations massiques des BTEX.



Le suivi des gènes de dégradation dans cette condition montre également une décroissance de la densité et de l'activité des gènes au cours de l'étude.

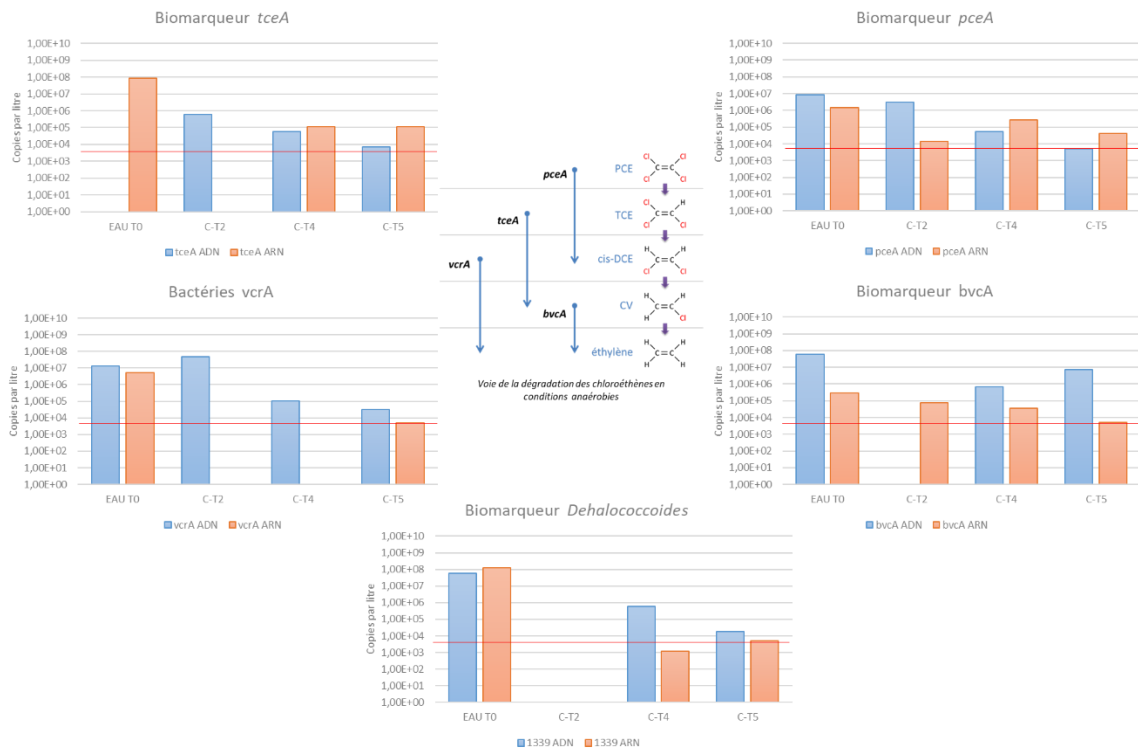


Figure 23: Évolution des biomarqueurs de la dégradation des CE dans la condition C.

### Conclusion sur la dégradation des chloroéthènes :

- La dégradation significative des CE est observée dans les pilotes amendés avec du FZV.
- Une concentration minimale en FZV pourrait être un paramètre critique pour observer cette dégradation. Cette concentration minimale se situe entre 3,4g/L (premier amendement) et 19g/L (somme des deux amendements) sachant que la dégradation efficace n'a démarré qu'à partir de l'amendement supplémentaire de 16 g/L.
- L'amendement en source de carbone effectué en A2 après le T3 n'a pas apporté d'effet mesurable positif ou négatif important sur la dégradation de CE mais a conduit à une production supplémentaire d'éthène.
- Les amendements de FZV sont plus efficaces (cinétiques et abattement) que l'EHCr (abattement sur la somme des CE : 99% par le FZV, 89 % par l'EHCr).
- Les amendements en source de carbone ne permettent pas de promouvoir une biodégradation durable des CE sur la durée du pilote (Vrai pour B1 et B2 mais également pour C) comme le montre le suivi des biomarqueurs de la dégradation.

Figure 21: Évolution des biomarqueurs de la dégradation des CE dans la condition B2.

### 3.2.1.4 Série C :

Le lancement du pilote C a été retardé en raison du délai d'approvisionnement de la formulation EHCr.

Dans cette condition un abattement immédiat des concentrations en CE est relevé. Bien que cet abattement soit significatif, les concentrations en éthène mesurées aux différents points sont plus faibles que celles observées dans les pilotes A1 et A2.

Ces informations démontrent que les abattements observés dans la série A et dans le pilote C ne se déroulent pas exactement suivant les mêmes mécanismes. Cette différence pourrait être imputable à la forme du FZV (micrométrique pour A1 et A2, granulométrie inconnue pour C) ou encore à des conditions différentes liés à la formulation commerciale dans le cas du pilote C : par exemple, l'ORP des pilotes A1 et A2 (moyennes respectives de -404 et -405 mV) diffèrent de celui mesuré pour le pilote C (moyenne = -134 mV).

La Figure 22 présente l'évolution des concentrations molaires dans le pilote C.

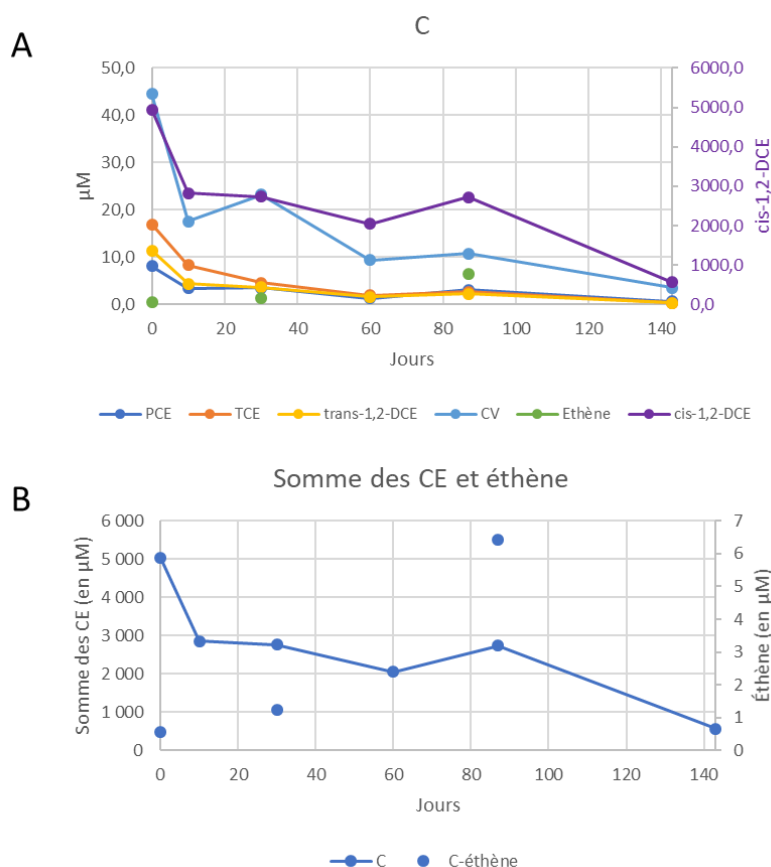


Figure 22: Évolution des CE et de l'éthène (A) et de la somme des CE (B) dans le pilote C.

Bien qu'en B2 il ne peut pas être exclue une activité biologique de dégradation, les variations analytiques chimiques et les résultats d'analyses ne soutiennent pas cette hypothèse.

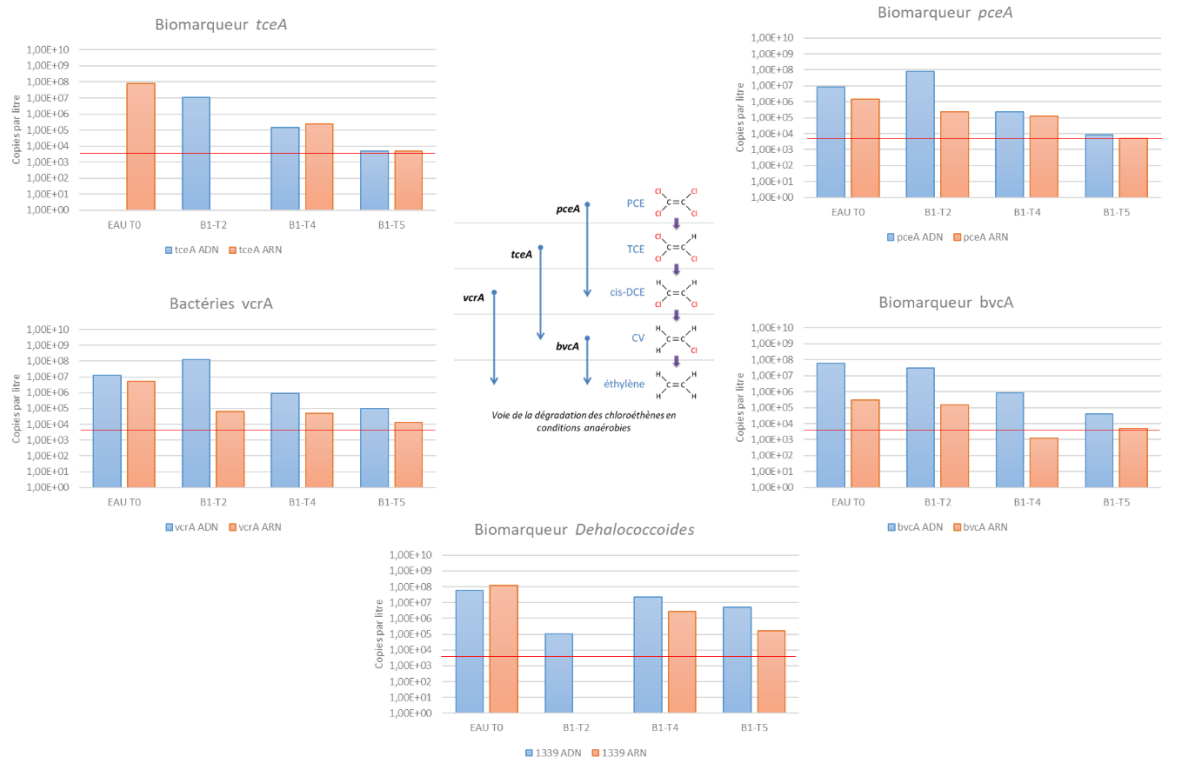
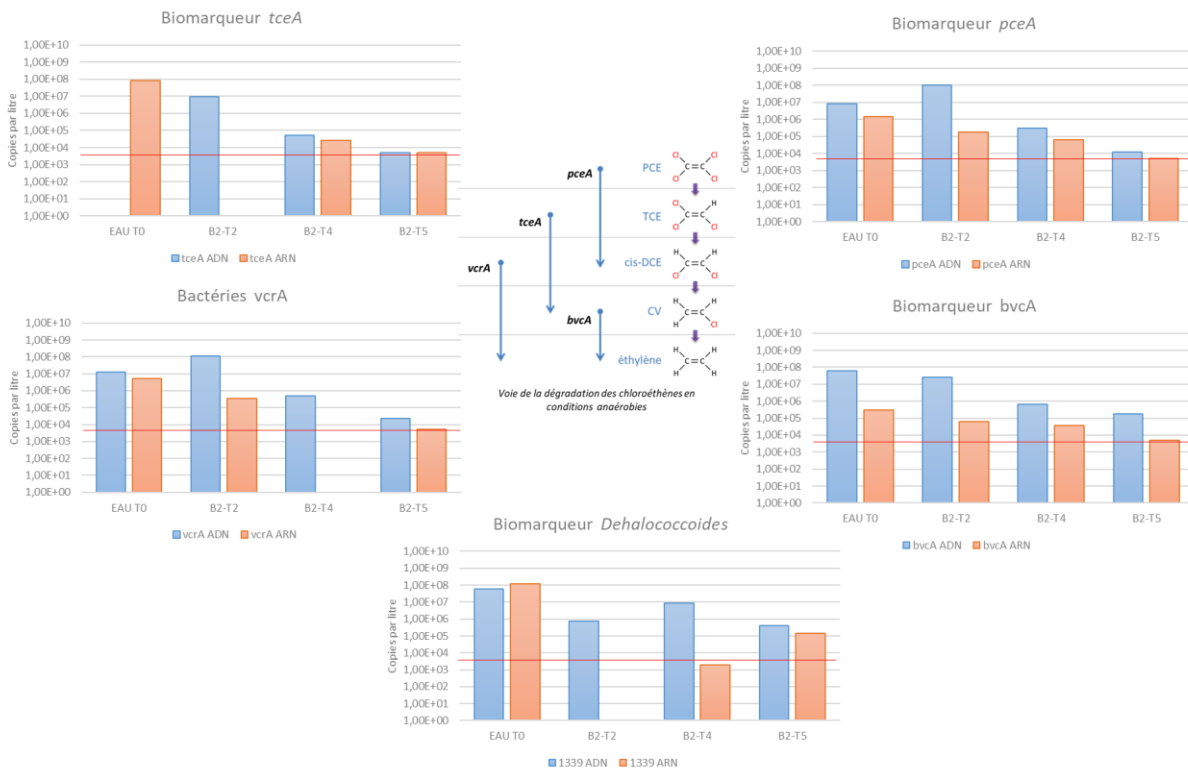


Figure 20: Évolution des biomarqueurs de la dégradation des CE dans la condition B1.



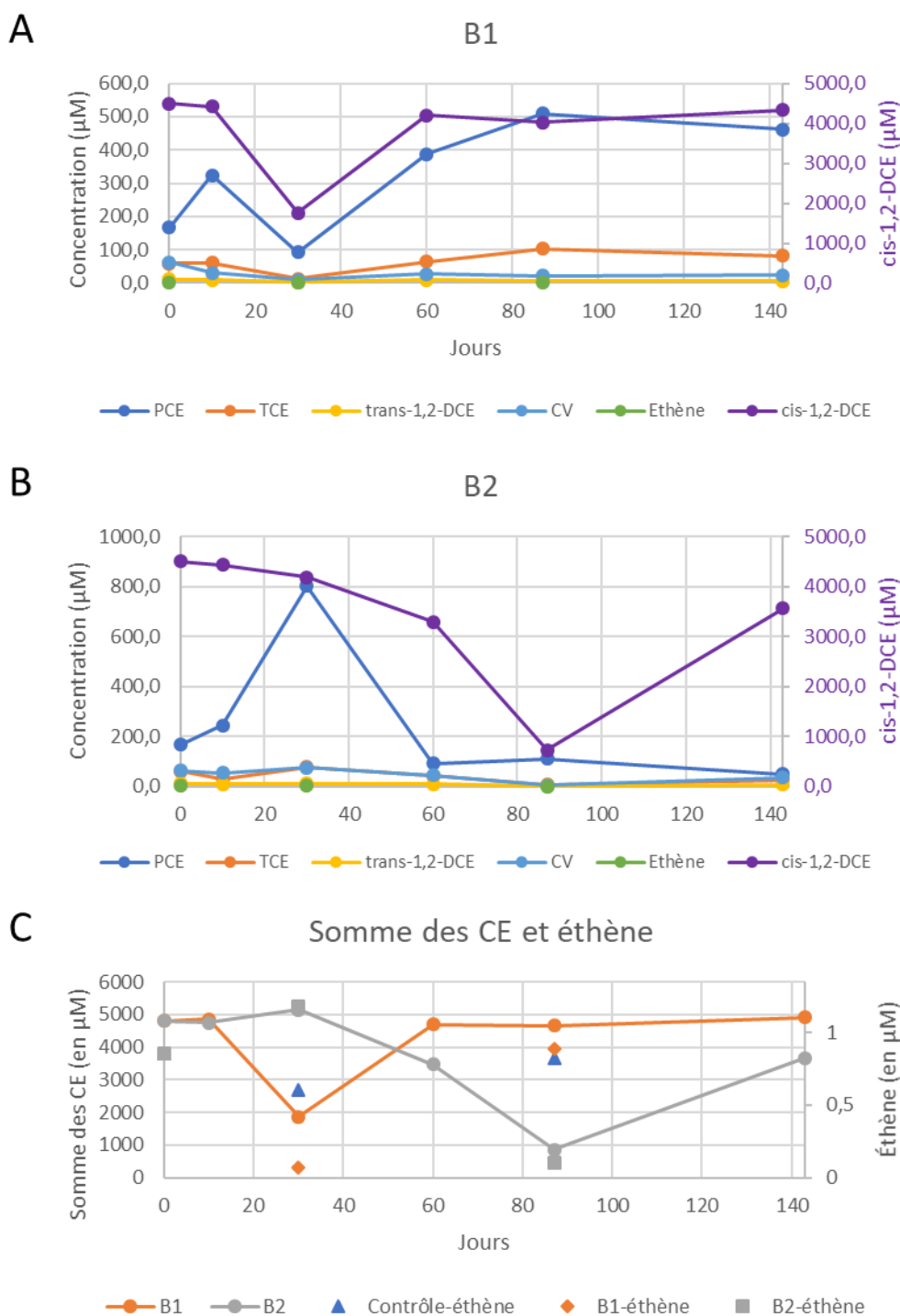


Figure 19: Évolution des concentrations en CE et éthène dans les pilotes B1 et B2 (A et B) et de la somme des CE (C).

Le suivi de l'activité biologique au sein de ces pilotes indique que les gènes de la dégradation sont présents. Toutefois, la densité et l'activité décroissent au cours du temps tandis que les concentrations en CE restent stable. Il semble donc qu'un, ou plusieurs, facteurs limitent l'activité de dégradation malgré des conditions propices pour ce type de mécanisme (ORP et nutriments).

La figure 18 présente les résultats d'analyses de l'ADN et l'ARN de la flore microbienne totale. Globalement, la présence du FZV peut avoir un effet néfaste pour les communautés bactériennes après le deuxième amendement dans le cas de A1 et dès le premier amendement dans le cas de A2. Toutefois dans le cas de A2, après l'ajout de la source de carbone une résilience des communautés semble prendre forme. Cet amendement réalisé lors du T3 pourrait avoir levé un effet délétère du FZV sur les populations bactériennes.

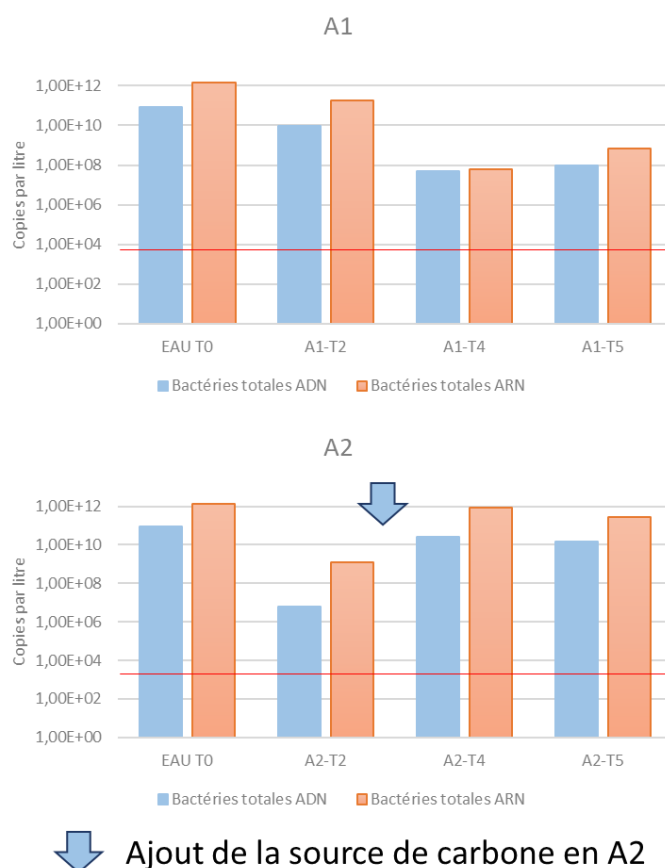


Figure 18: Suivi des bactéries totales dans les conditions A1 et A2.

Enfin, même s'il n'y a pas de différence notable dans l'évolution des concentrations de CE entre les deux pilotes, les concentrations en éthène relevées entre les deux pilotes diffèrent fortement (Voir Figure 14-C).

Ainsi, il semblerait que les conditions générées en A2 favorisent la formation d'éthène.

### 3.2.1.3 Série B :

Les deux conditions de la série B ont été amendées à T0 avec deux sources de carbone distinctes. Les résultats de suivi chimique ne montrent pas d'évolution significative de la chimie. De même, le suivi biologique ne diffère pas de résultats obtenus pour les autres conditions de pilotes.

La Figure 19 présente le suivi chimique des pilotes B1 et B2. Malgré des variations, probablement lié aux mesures, il semble que dans les deux conditions il n'y ait pas de dégradation des CE.

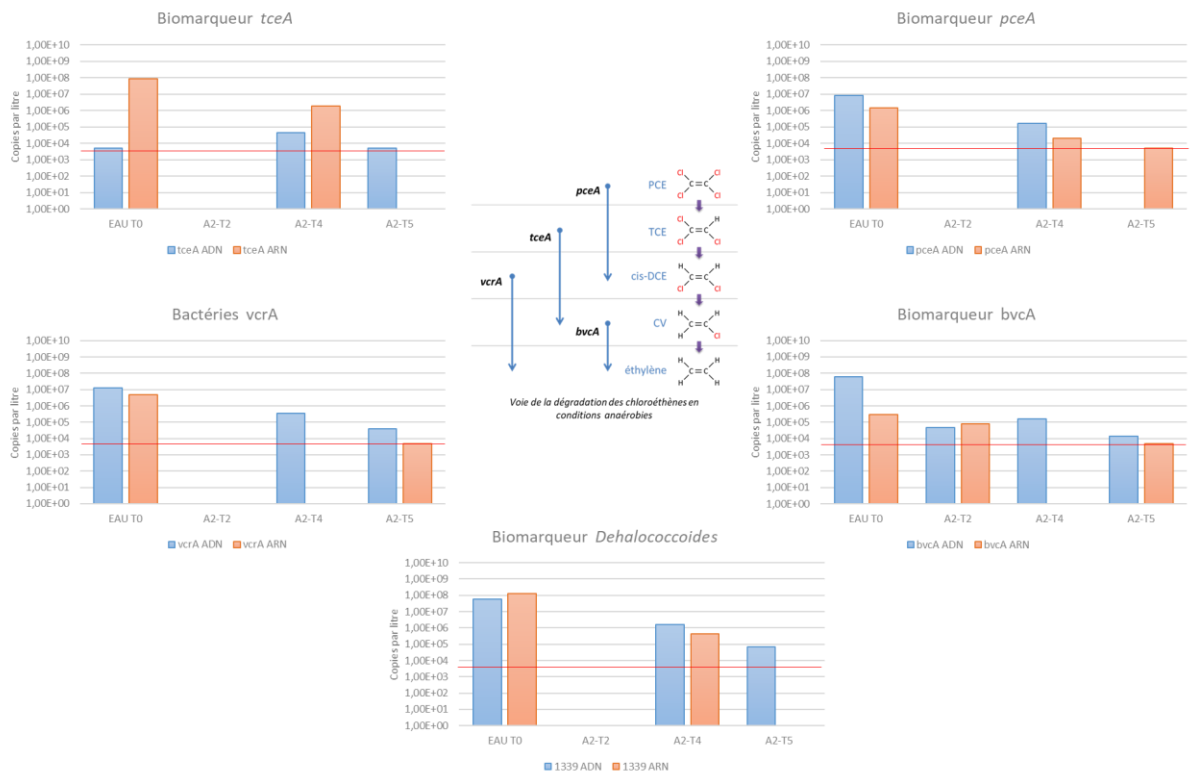


Figure 16: Évolution des biomarqueurs de la dégradation des CE dans la condition A1.

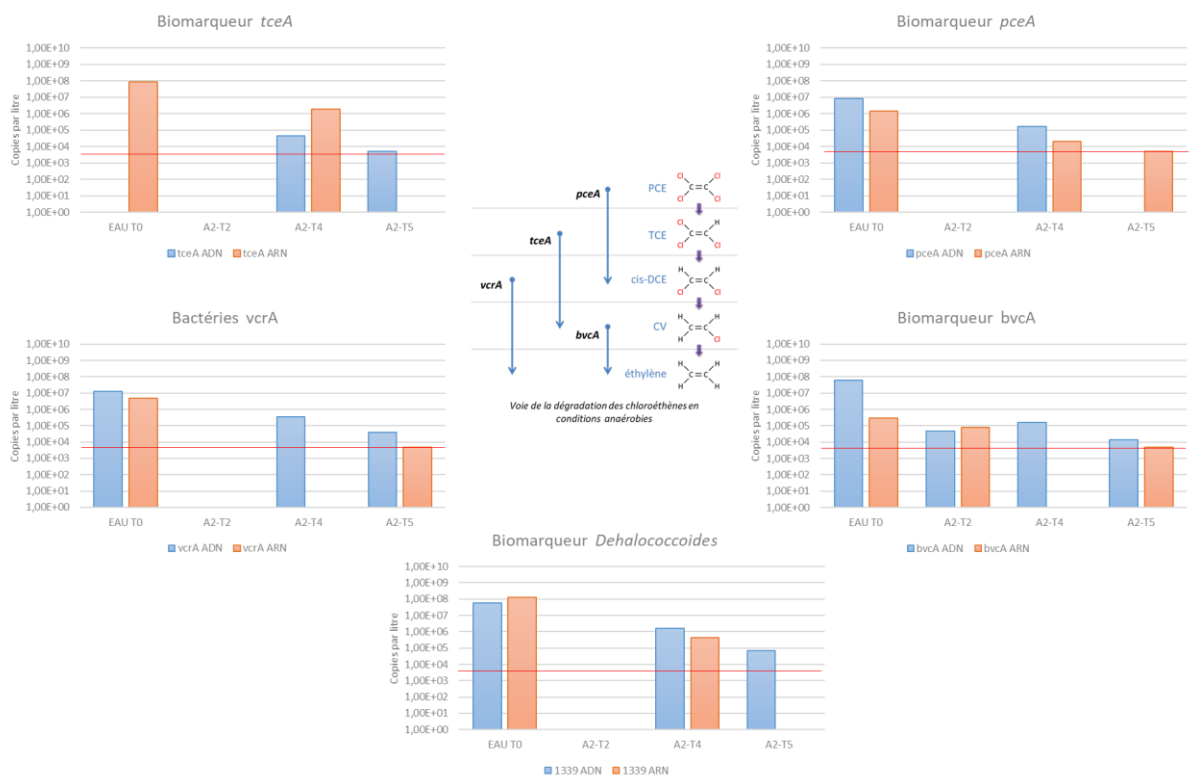


Figure 17: Évolution des biomarqueurs de la dégradation des CE dans la condition A2.



D'une manière générale, les productions d'éthène dans ces conditions sont très élevées. La Figure 15 rappelle le mécanisme de réduction chimique des CE par le FZV. Cette figure rappelle que l'éthène peut être produit à partir de l'acétylène et du chlorure de vinyle.

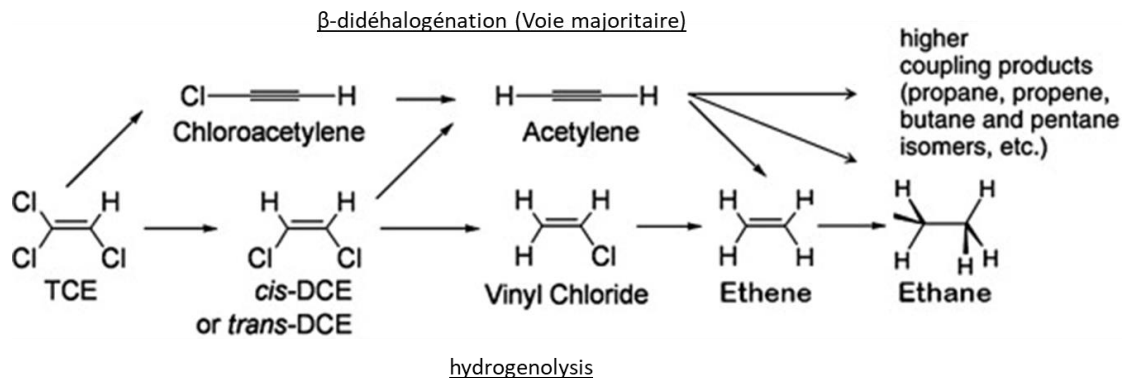


Figure 15: Voie de dégradation possible par réduction chimique des CE par le FZV. La voie majoritaire est la  $\beta$ -didéhalogénéation.

Les conditions A1 et A2 ont été amendés deux fois en FZV lors du T0 (3,4g/L, concentration calculée sur la base des analyses chimiques à T0) et peu avant le T3 (amendement supplémentaire de 16 g /L). La concentration en FZV a été ajustée à 5 fois la concentration théorique qui a conduit à un abattement important.

Plusieurs hypothèses peuvent être proposées pour expliquer la différence de production d'éthène entre A1 et A2.

- L'hydrogénolyse est favorisée dans la condition A2 éventuellement en raison de l'amendement en source de carbone,
- Une part de l'éthène produit pourrait être lié à une activation des bactéries en réponse à la biostimulation par la source de carbone ce qui mène à la formation de CV et d'éthène,
- Enfin le FZV réagit avec une fraction de la source de carbone amenant à une production d'éthène supplémentaire (cette hypothèse pourrait être affirmée ou infirmée en établissant une condition axénique avec ajout de SC et de FZV).

Le suivi des gènes de dégradation des CE montrent la présence de la voie de biodégradation tout au long du pilote pour les deux conditions A1 (Figure 16) et A2 (Figure 17). Néanmoins les densités (ADN) et activités (ARN) décroissent rapidement ce qui réduit l'importance de la participation des mécanismes microbiens dans la diminution des concentrations.

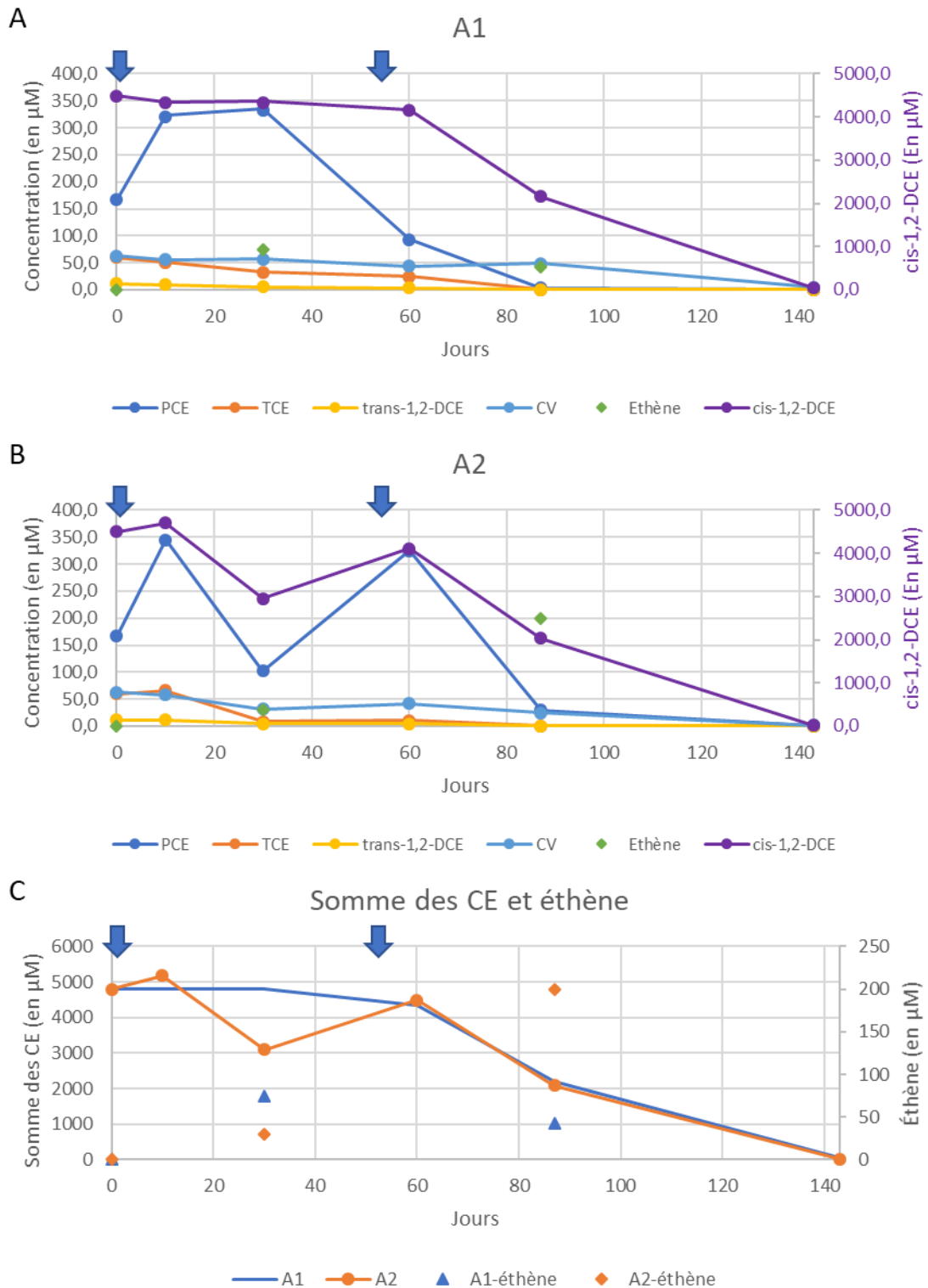


Figure 14: Évolution des concentrations molaires de chaque CE et éthène en A1 et A2 (A et B) et de la somme des CE (C). Les flèches bleues indiquent les amendements en FZV

Les deux conditions A1 et A2 présentent, aux variations de mesures près, des évolutions identiques, à l'exception de la production d'éthène qui est plus importante dans la condition A2.

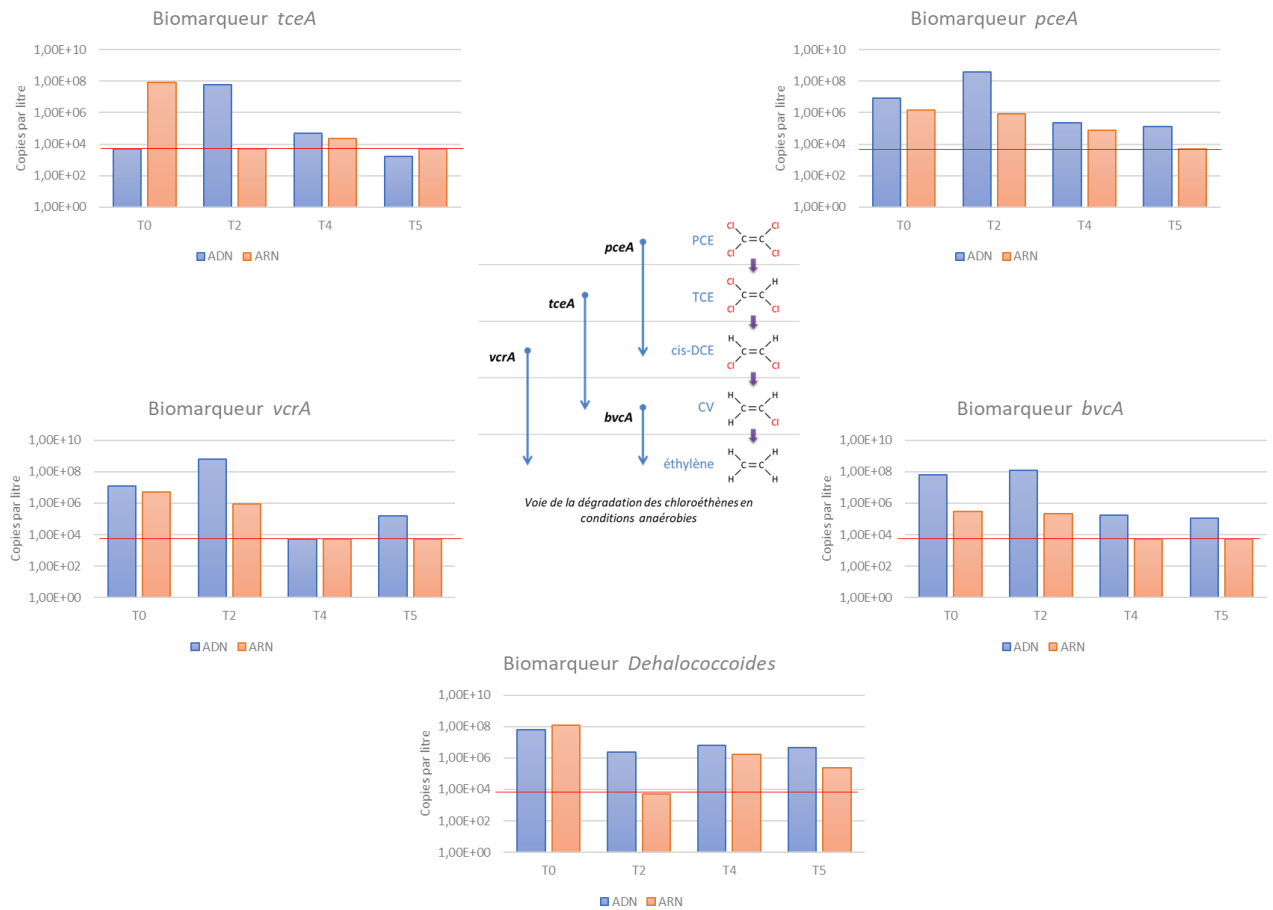


Figure 13: Évolution de la densité et de l'activité des biomarqueurs de la biodégradation anaérobie des CE (LQ indiquée en rouge).

### 3.2.1.2 Série A:

Rappel :

A1 = Amendement en FZV à T0 et avant le T3

A2 = Amendement en FZV à T0 et avant le T3 ; ajout à T3 d'une source de carbone.

Pour les conditions A1 et A2, une évolution lente a lieu durant les premiers pas de temps (T0 à T3). Après le point T3 un abattement significatif des concentrations est observé.

### 3.2.1.1 Contrôle :

La Figure 12 présente les concentrations molaires au cours du temps. Le Contrôle présente une légère baisse de la somme des CE d'environ 40% (T0 vs T5).

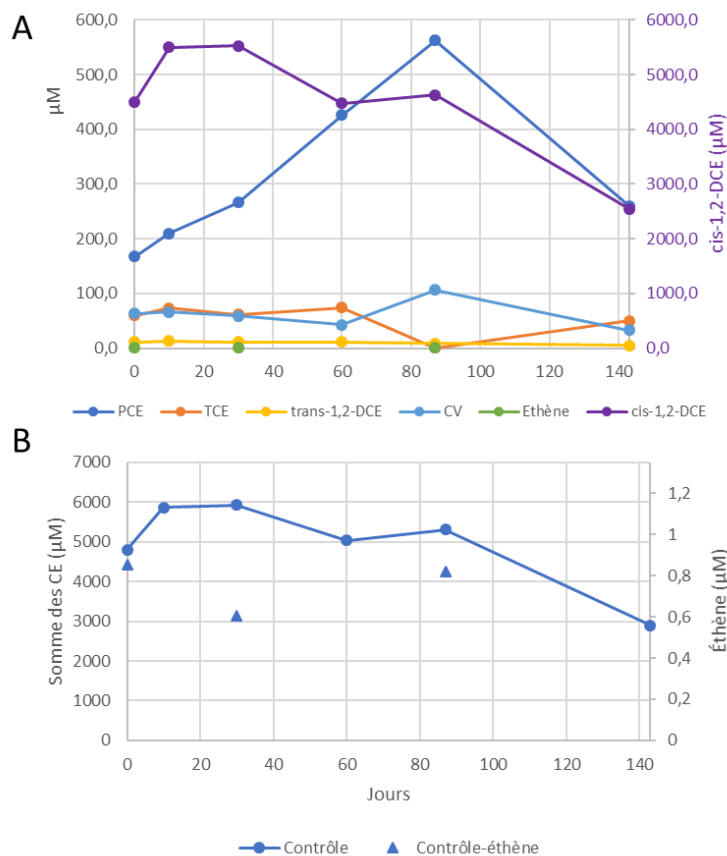


Figure 12: Évolution des concentrations molaires de chaque CE et éthène (A) ; et de la somme des CE et de l'éthène (B) dans le Contrôle.

De légères productions de chlorure de vinyle et d'éthène sont mesurées. Ces deux molécules sont des indicateurs d'une activité biologique de dégradation des CE. Le suivi des gènes impliqués dans la dégradation des CE abonde dans ce sens puisque la voie de dégradation est complète avec notamment la cascade *pceA*, *tceA* et *vcrA* présente en densité importante en début de pilote avec toutefois des activités réduites (Figure 13). La densité (concentration en ADN) et l'activité (ARN) de ces biomarqueurs, diminue au cours du temps.



relativement bas en début de d'essai, augmente légèrement afin de stabiliser vers une valeur moyenne de -300 mV.

L'évolution de l'ORP sur le pilote C est similaire aux autres conditions, mais après un mois l'ORP se stabilise légèrement en-dessous de -100 mV. Cette valeur d'ORP est compatible avec la réduction biologique des solvants les plus fortement chlorés (PCE et TCE).

### **3.2 Suivi analytique chimique et biologique**

Dans le cadre de cette étude, la stratégie de traitement vise la dégradation des chloroéthènes et des BTEX.

#### **3.2.1 Évolution des chloroéthènes (CE)**

Les chloroéthènes ont été mesurés lors des 6 points de suivis de T0 à T5 (Figure 11). La molécule largement majoritaire est le cis-1,2-DCE pour tous les pilotes. Il est à noter que plusieurs points de chimie semblent aberrants. Pour ces points, l'analyse du cis-1,2-DCE semble être la principale source d'erreurs, ceci pourrait provenir des fortes concentrations.

La condition C présente des concentrations massiques en COHV inférieures aux autres pilotes.



### 3.1.3 Évolution du potentiel d'oxydoréduction (ORP)

La Figure 10 présente le suivi de l'ORP. Ce paramètre est important dans la mise en œuvre des mécanismes puisqu'il détermine la « faisabilité » biologique/enzymatique des processus de bioréduction chimique.

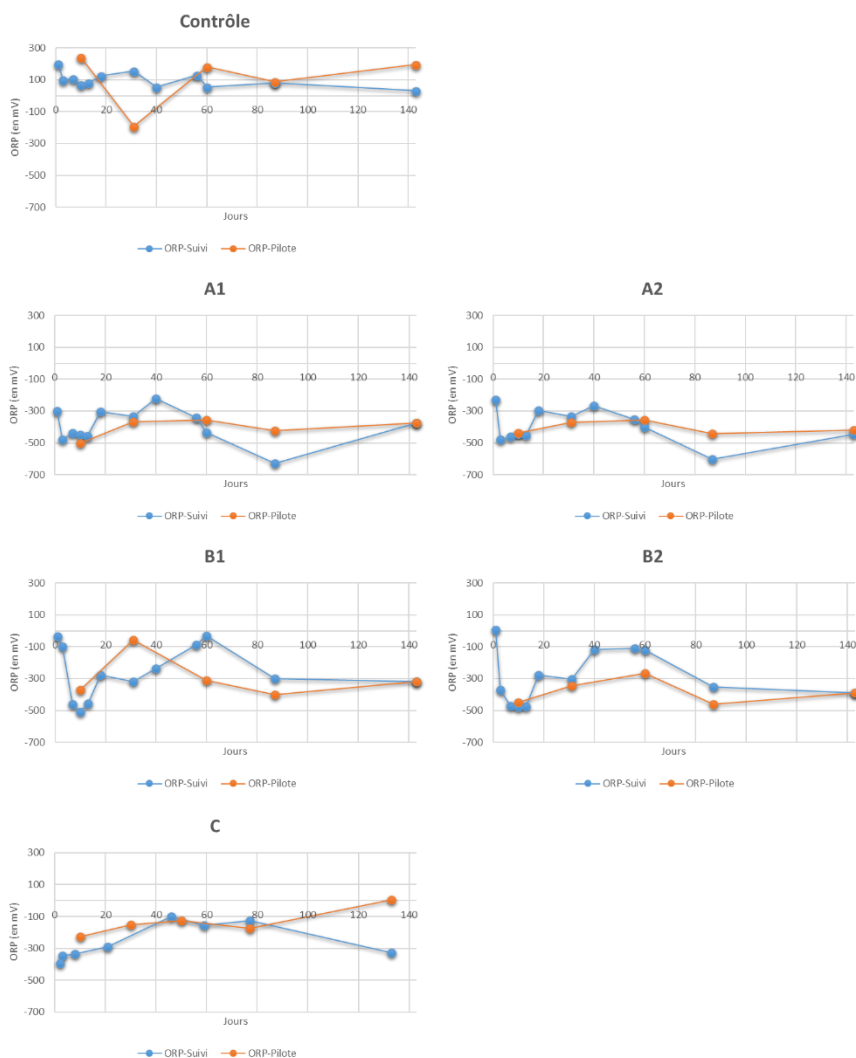


Figure 10: Évolution du potentiel d'oxydoréduction.

En bleu est représenté le suivi réalisé sur les bouteilles dédiés et en orange le suivi réalisé sur les mésocosmes sacrifiés lors des prélèvements.

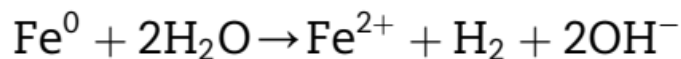
Le Contrôle est resté stable tout au long de l'expérimentation, il ne semble pas y avoir eu de modification significative des accepteurs d'électrons présents. Le Contrôle reste dans une gamme d'ORP compatible avec la respiration des nitrates, mais incompatible avec la respiration des éthylènes chlorés.

En raison des différents amendements, les autres pilotes présentent des conditions fortement réductrices susceptibles de permettre la respiration microbienne des éthènes chlorés. Dans le cas des pilotes A (A1 et A2) l'ORP, initialement négatif, augmente progressivement jusqu'au deuxième amendement en FZV qui provoque une nouvelle chute. L'ORP reste bas et stable par la suite.

Bien que les sources de carbone soient de compositions différentes, les pilotes de la série B (B1 et B2) se comportent de manière similaire. Le potentiel d'oxydoréduction

Les variations de pH observées au niveau des pilotes A1 et A2 sont directement induites par la réaction chimique de corrosion du Fer au contact de l'eau.

Les ions OH<sup>-</sup> produits provoquent une augmentation du pH. Généralement, en condition naturelle, cette évolution est souvent tamponnée par le sol de la zone saturée.



Dans le cas des tests en batch, la quantité de sol relativement faible peut limiter ce pouvoir tampon.

Pour la condition C, l'ajout de la formulation commerciale ne génère aucune évolution du pH.

### 3.1.2 Evolution de l'oxygène dissous :

La Figure 9 présente le suivi de l'oxygène dissous. Ces mesures montrent, pour tous les pilotes, une concentration en oxygène dissous faible voire nulle. Cette observation est corrélée aux mesures du potentiel d'oxydoréduction (ORP) qui indiquent des potentiels bas, voire négatif.

La valeur mesurée dans le pilote B1 au point T1 ne semble pas significative et probablement liée à un artéfact.

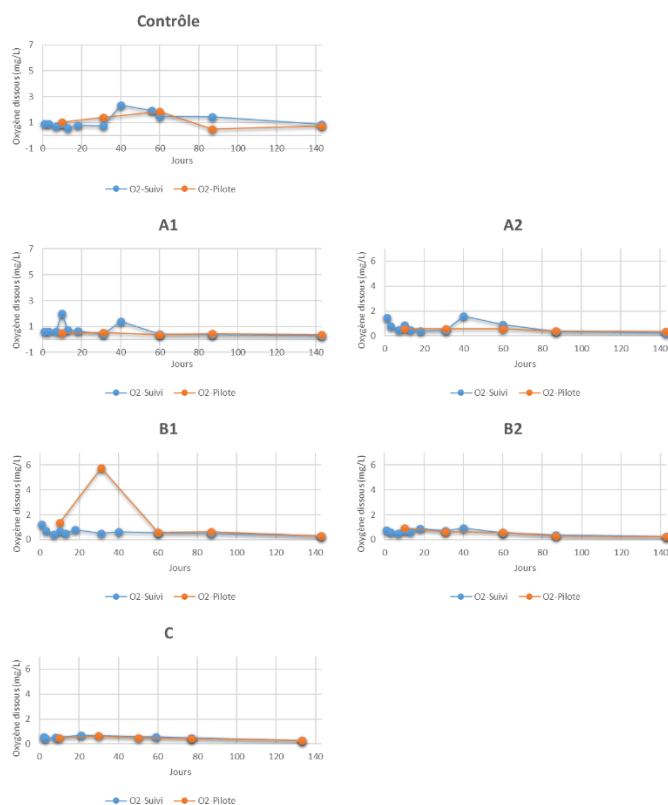


Figure 9: Évolution de l'oxygène dissous.

En bleu est représenté le suivi réalisé sur les bouteilles dédiés et en orange le suivi réalisé sur les mésocosmes sacrifiés lors des prélèvements.

### 3 Résultats

#### 3.1 Suivi physicochimique

##### 3.1.1 Evolution du pH durant l'essai

La Figure 8 présente le suivi du pH au cours du temps.

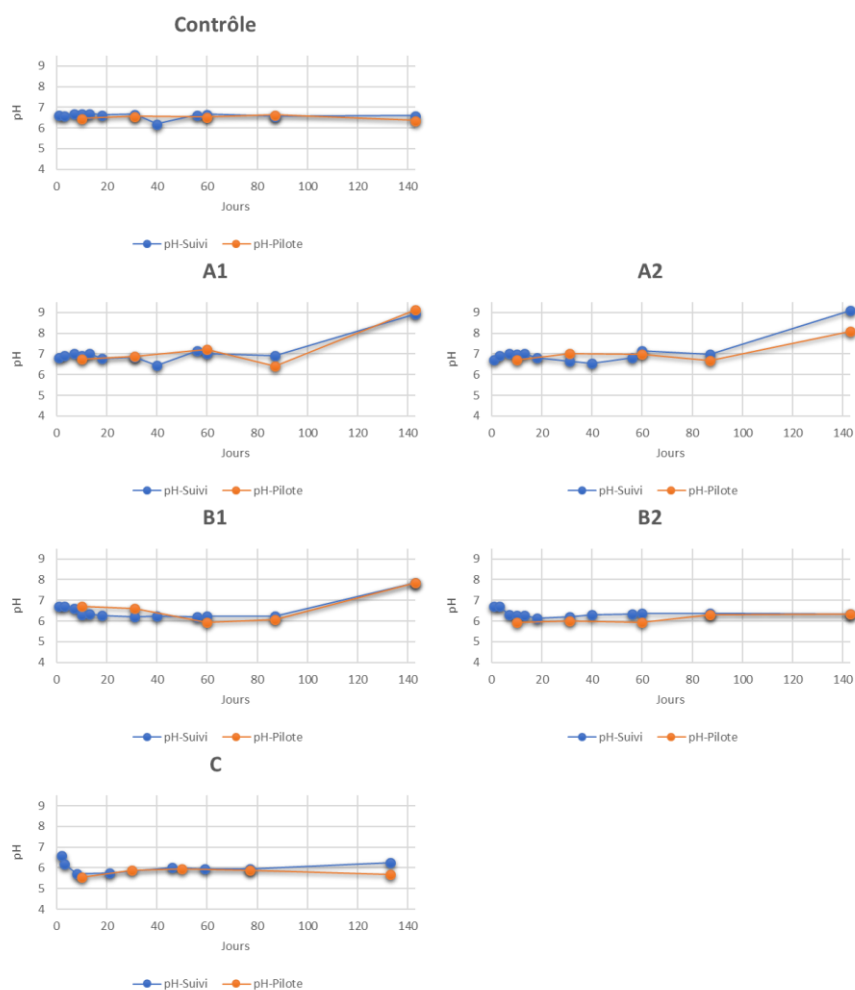


Figure 8: Évolution du pH au cours du temps.

En bleu est représenté le suivi réalisé sur les bouteilles dédiés et en orange le suivi réalisé sur les mésocosmes sacrifiés lors des prélèvements.

Les conditions A1 et A2 dans lesquelles du FZV a été ajouté montrent une augmentation en fin de pilote de plus de deux unités de pH. La condition B1, dans laquelle une source de carbone (Lactate + mélasse) a été ajoutée, présente également une augmentation d'une unité de pH.

Les pilotes Contrôle, B2 et C ne présentent pas d'évolution significative du pH.

## 2.5 Réalisation des Analyses chimiques

Durant le déroulement des pilotes, deux programmes (réduit ou complet) d'analyses chimiques sont déterminés en fonction du point de prélèvement (tableau 5).

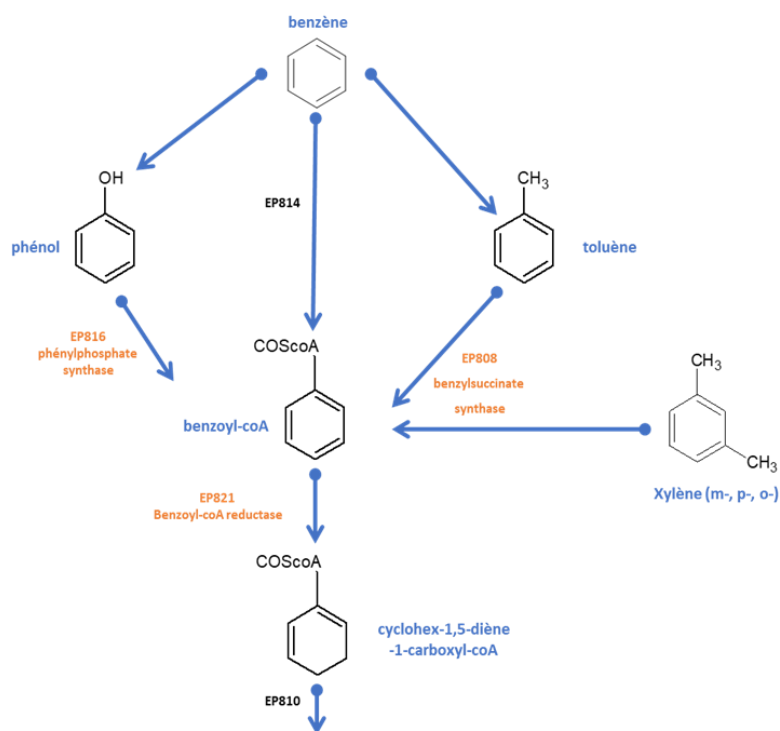
Tableau 5: Programme analytique chimique

| Programme chimique |                  |
|--------------------|------------------|
| Complet            | Réduit           |
| COHV               | COHV             |
| BTEX               | BTEX             |
| Fe Total           | Fer total        |
| Fe <sup>2+</sup>   | Fe <sup>2+</sup> |
| Manganèse dissous  |                  |
| COT                | COT              |
| Nitrates           |                  |
| Sulfates           |                  |
| Sulfures           |                  |
| Éthane             |                  |
| Éthène             |                  |
| Méthane            |                  |

## 2.6 Réalisation des mesures physicochimiques

Le suivi physicochimique porte sur l'oxygène dissous, le pH et le potentiel d'oxydoréduction (ORP).

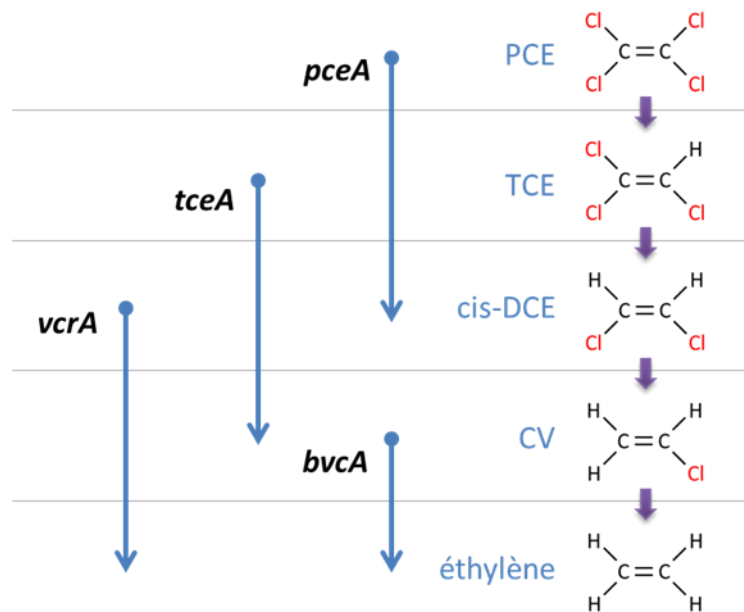
Un suivi fréquent est réalisé sur des bouteilles dédiées. Ce suivi est complété par les mesures réalisées sur les mésocosmes du pilote lors des sacrifices liés au point de prélèvement.



**Métabolisme général**

*Voie de la dégradation des BTEX  
en conditions anaérobies*

Figure 7: Voie de la dégradation des BTEX en conditions anaérobies.



Voie de la dégradation des chloroéthènes en conditions anaérobies

Figure 6 : Gènes impliqués dans la biodégradation anaérobie des éthylènes chlorés (PCE=perchloroéthylène, TCE=trichloroéthylène, cis-DCE=cis-dichloroéthylène, VC=chlorure de vinyle).

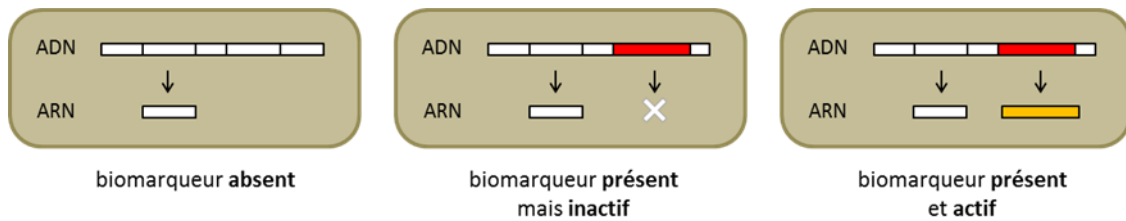
À partir des prélèvements réalisés lors de l'essai, ENOVEO a recherché 5 biomarqueurs impliqués dans la biodégradation anaérobie des éthylènes chlorés :

- ***pceA*** : réduction du PCE en cis-DCE (TCE comme intermédiaire).
- ***tceA*** : réduction du TCE en VC (cis-DCE comme intermédiaire).
- ***vcrA*** : réduction du cis-DCE en éthylène (VC comme intermédiaire).
- ***bvcA*** : réduction du VC en éthylène.
- **EP1339 : 16S Dehalococcoides** : genre bactérien regroupant différentes espèces bactériennes connues pour leur implication dans le mécanisme de déchloration réductive des molécules organiques halogénées.

#### 2.4.3 Biomarqueurs de la dégradation anaérobie des BTEX

La dégradation en conditions anaérobies des BTEX a été démontrée. Dans ces conditions, les accepteurs finaux d'électrons peuvent être les nitrates, les sulfates, le fer... Les détails des voies de dégradation des différents BTEX (benzène, toluène, éthylbenzène et o-, m et p-xylènes) ont été mis en évidence et toutes ces voies ont un intermédiaire commun le benzoyl-coA. Ce dernier est lui-même réduit et converti en acétyl-coA et en dioxyde de carbone. Dans le cadre de cette étude, trois biomarqueurs ont été recherchés : EP816, EP808 et EP821 (Figure 7).





**Figure 5** : Illustrations des situations possibles lors de la recherche de biomarqueurs.

L'amplification et la quantification des biomarqueurs sont réalisées avec un Rotorgene series 6000 (Corbett Life Science). Chaque réaction, réalisée en triplicat, s'accompagne d'un contrôle négatif (absence de matrice), d'un minimum de cinq contrôles positifs constituant une gamme étalon permettant de quantifier les ADN et ARN cibles, d'un contrôle par dénaturation des produits d'amplification en fin de réaction afin de vérifier la spécificité des fragments d'ADN amplifiés. Le seuil de détection de cette technologie est théoriquement de 1 copie par réaction, mais est généralement considéré comme reproductible lorsque qu'un minimum de 10 copies par réaction est présent. Dans le cas de cette étude, la limite de quantification est fixée à 5 000 copies / l d'eau.

#### 2.4.2 Biomarqueurs de la dégradation anaérobie des éthylènes chlorés

La recherche et la quantification des biomarqueurs de dégradation des éthylènes chlorés en conditions anaérobies ont été réalisées à partir des ADN (présence) et des ARN (activité) extraits. Pour l'ensemble des échantillons, 5 biomarqueurs fonctionnels de la réduction des éthylènes chlorés en conditions anaérobies et 1 biomarqueur taxinomique (genre bactérien *Dehalococcoides*) ont été recherchés (Figure 6). Les gènes fonctionnels anaérobies ont été caractérisés dans plusieurs genres bactériens capables d'effectuer la réduction des éthylènes chlorés (ex : *Dehalobacter*, *Geobacter*,...). Toutefois *Dehalococcoides*, genre bactérien communément associé à la réduction des composés halogénés, est le seul capable d'effectuer la réduction complète du PCE jusqu'à l'éthylène. Ce genre bactérien a donc également été recherché en quantifiant son gène *rrs*.

contrôle qualité des acides nucléiques (concentration, qualité, pureté, contaminants) est ensuite effectué avant de réaliser les étapes de criblage et de quantification par PCR quantitative.

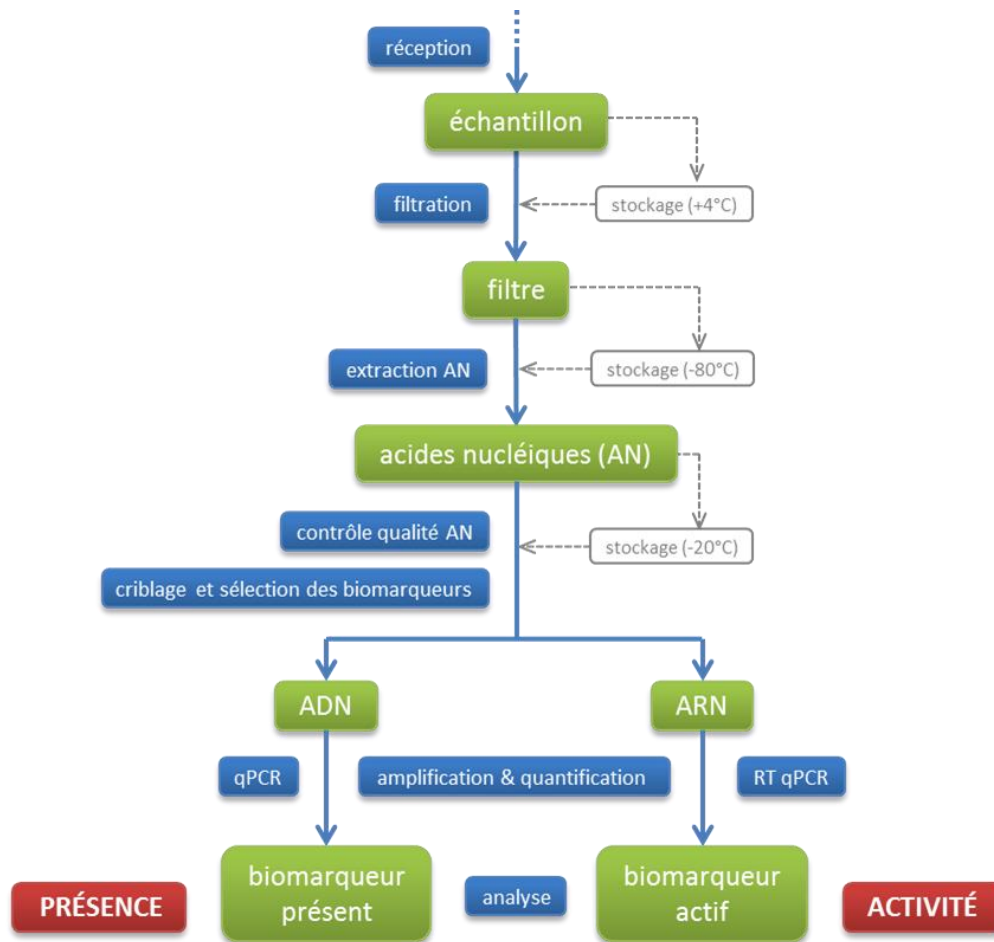


Figure 4 : Etapes de traitement des échantillons.

#### 2.4.1 Quantification des biomarqueurs par PCR quantitative

La recherche des biomarqueurs est réalisée par des approches de biologie moléculaire basées sur l'amplification par PCR (réaction en chaîne par polymérisation). La qPCR est utilisée pour quantifier des séquences cibles d'ADN et permet de dire si un biomarqueur donné est présent. La RT-qPCR est utilisée pour quantifier des séquences cibles d'ARN et permet de dire si un biomarqueur est actif. Lors de la recherche de biomarqueurs, 3 situations peuvent se présenter : (1) le biomarqueur est absent, (2) le biomarqueur est présent mais n'est pas actif (présent seulement dans l'ADN extrait) et (3) le biomarqueur est présent et actif (présent dans l'ADN et dans l'ARN extraits) :

Tableau 2: Plan de prélèvement et programme analytique réalisé pour les pilotes Contrôle, A1, A2 B1 et B2. C= chimie, BM =biologie

| Condition Cont, A et B | Point de prélèvement | Date       | Jours | Analyses | Programme analytique |
|------------------------|----------------------|------------|-------|----------|----------------------|
|                        | T0                   | 06/04/2018 | 0     | C/BM     | Complet              |
|                        | T1                   | 16/04/2018 | 10    | C        | Réduit               |
|                        | T2                   | 06/05/2018 | 30    | C/BM     | Complet              |
|                        | T3                   | 05/06/2018 | 60    | C        | Réduit               |
|                        | T4                   | 02/07/2018 | 87    | C/BM     | Complet              |
|                        | T5                   | 27/08/2018 | 143   | C        | Réduit               |

Tableau 3: Plan de prélèvement et programme analytique réalisé pour le pilote C. C= chimie, BM =biologie

| Condition C | Point de prélèvement | Date       | Jours | Analyses | Programme analytique |
|-------------|----------------------|------------|-------|----------|----------------------|
|             | T0                   | 16/04/2018 | 0     | C/BM     | Complet              |
|             | T1                   | 26/04/2018 | 10    | C        | Réduit               |
|             | T2                   | 16/05/2018 | 30    | C/BM     | Complet              |
|             | T3                   | 15/06/2018 | 60    | C        | Réduit               |
|             | T4                   | 02/07/2018 | 77    | C/BM     | Complet              |
|             | T5                   | 27/08/2018 | 133   | C        | Réduit               |

## 2.3 Amendements

Les amendements sont décrits dans le Tableau 4.

Tableau 4: Amendements réalisés dans les conditions respectives au cours de l'étude.

|       | 0 jours          |      |      |                     |      |      |            |      |      | 56 jours    |      |      | 69 jours   |      |      | 95 jours         |      |      |             |      |      |               |      |      |  |
|-------|------------------|------|------|---------------------|------|------|------------|------|------|-------------|------|------|------------|------|------|------------------|------|------|-------------|------|------|---------------|------|------|--|
|       | SC = L+M (en ml) |      |      | SC = L+M+HS (en ml) |      |      | FZV (en g) |      |      | EHCr (en g) |      |      | FZV (en g) |      |      | SC = L+M (en ml) |      |      | DAP (en mg) |      |      | FeSO4 (en mg) |      |      |  |
|       | 0,3L             | 1,5L | 2,5L | 0,3L                | 1,5L | 2,5L | 0,3L       | 1,5L | 2,5L | 0,3L        | 1,5L | 2,5L | 0,3L       | 1,5L | 2,5L | 0,3L             | 1,5L | 2,5L | 0,3L        | 1,5L | 2,5L | 0,3L          | 1,5L | 2,5L |  |
| Cont. |                  |      |      |                     |      |      |            |      |      |             |      |      |            |      |      |                  |      |      |             |      |      |               |      |      |  |
| A1    |                  |      |      |                     |      |      | 1          | 5    | 8,5  |             |      |      | 6          | 20   | 30   |                  |      |      | 390         | 1950 |      | 360           |      |      |  |
| A2    |                  |      |      |                     |      |      | 1          | 5    | 8,5  |             |      |      | 6          | 20   | 30   | 1,5              | 5    | 8,5  | 390         | 1950 |      | 360           | 1800 |      |  |
| B1    | 0,9              | 4,5  | 7,5  | 0,9                 | 4,5  | 7,5  |            |      |      |             |      |      |            |      |      |                  |      |      | 390         | 1950 |      | 360           | 1800 |      |  |
| B2    | 0,9              | 4,5  | 7,5  | 0,9                 | 4,5  | 7,5  |            |      |      |             |      |      |            |      |      |                  |      |      | 390         | 1950 |      | 450           | 2250 |      |  |
| C     |                  |      |      |                     |      |      |            |      |      | 6           | 30   | 50   |            |      |      |                  |      |      | 390         | 1950 |      |               |      |      |  |

L : lactate de sodium ; M : Mélasse ; HS : Huile de soja

Le FZV utilisé dans l'étude est micrométrique (Mesh < 325).

Les sources de carbone ont été préparés à partir de lactate de sodium (source industrielle), mélasse (commerce) et huile de soja (source industriel).

L'EHCr a été fourni par la société Peroxychem.

## 2.4 Réalisation des analyses biologiques

Après avoir réalisé le prélèvement pour les analyses chimiques, les échantillons subissent différentes étapes de préparation (Figure 4) afin d'extraire les acides nucléiques nécessaires à la quantification des différents biomarqueurs de dégradation recherchés. Un

Tableau 2 et **Erreur ! Source du renvoi introuvable.** présentent les plans de prélèvements chimiques et biologiques.

Des mesures physicochimiques ont été réalisées sur des mésocosmes supplémentaires dédiés exclusivement à ce suivi. L'intérêt de cette approche préserve les conditions expérimentales des pilotes en cours. Également, lors du prélèvement par sacrifice pour analyses chimiques et /ou microbiologiques, ces mêmes mesures sont réalisées sur la condition concernée.

Enfin des amendements supplémentaires ont été réalisés tout au long du pilote (Voir § 2.2 et 2.3).

## 2.2 Calendrier de l'étude

La Figure 3 présente le chronogramme de l'étude. Plusieurs amendements complémentaires ont été réalisés tout au long de l'étude.

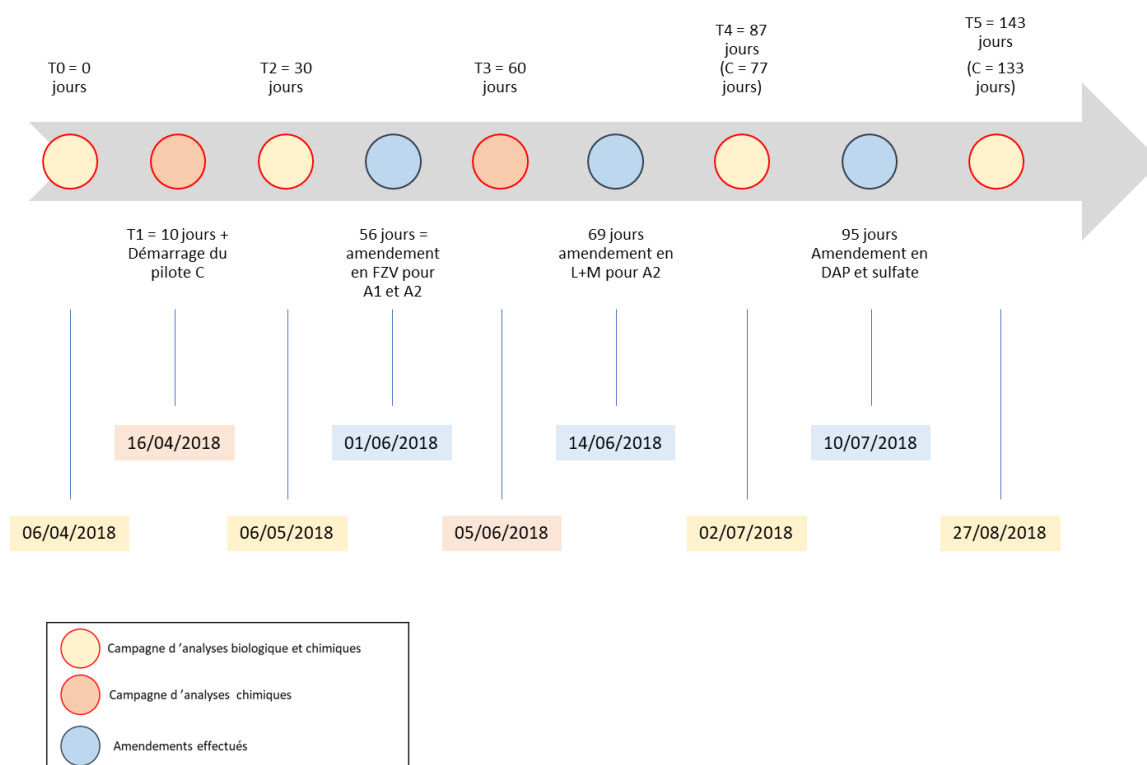


Figure 3: Chronogramme de l'étude

Les



*Microcosmes mis en place  
Conditions Cont, A1, A2, B1 et B2*

Figure 2: Pilotes mis en place le 06/04/2018.



## 2 Méthodologie

---

### 2.1 Mise en place des pilotes

Plusieurs pilotes ont été mis en place afin d'évaluer l'efficacité de différents traitements :

- **Pilote Contrôle** : Pilote dans lequel l'eau de nappe est mise en contact avec du sol sans autres modifications.
  
- La série **pilote A** évalue la réduction chimique par un amendement en fer zéro valent (FZV). Cette série est scindée en deux conditions :
  - o La **condition A1** dans laquelle seul du **FZV** est ajouté; et
  - o La **condition A2** dans laquelle une première étape de dégradation chimique est induite par le **FZV** , avant ajout d'une **source de carbone** permettant la biostimulation des communautés microbiennes impliquées dans la dégradation des éthylènes chlorés.
  
- La série **pilote B** évalue l'impact d'un amendement en source de carbone sur les processus de réduction biologique. Cette série pilote est scindée en deux conditions :
  - o La **condition B1** dans laquelle la source de carbone, émulsionnée dans de l'eau, est composée de lactate de sodium additionné de mélasse (ratio **eau/Lactate/mélasse** : 1/1/1).
  - o La **condition B2** dans laquelle la source de carbone, émulsionnée dans de l'eau, est composée de lactate de sodium additionnée de mélasse et d'huile de soja (ratio **eau/lactate/mélasse/huile** : 1/1/1/1).
  
- La série **pilote C** évalue l'effet de la formulation **commerciale EHCr (Peroxychem)**.

Les pilotes sont réalisés dans des mésocosmes de différents volumes. Afin de pouvoir réaliser les analyses chimiques, des bouteilles Schott de 1,5l sont utilisées. Pour la réalisation des analyses chimiques et biologiques ces bouteilles Schott seront de 2,5l. Chaque bouteille est préparée à partir d'eau de nappe et de sol prélevé par carottage proche de la zone à traiter.

Les différentes conditions ont été mise en place de manière concomitante à l'exception de la série pilote C dont le lancement a été différé en raison de l'attente de la formulation commerciale (lancement retardé de 10 jours).

Les différentes pilotes ont été incubés à l'abri de la lumière et à température ambiante.

Le suivi de l'évolution des pilotes a été réalisé par le biais d'analyses biologiques (ENOVEO), analyses chimiques (sous-traitées par GINGER-BURGEAP) et par des mesures physicochimiques (ENOVEO).

Lors du point de prélèvement, pour chaque analyses biologiques et chimiques, les mésocosmes sont sacrifiés (En l'occurrence 5 points de suivis).

## 1 Introduction

### 1.1 Contexte de l'étude

Ginger-Burgeap a chargé ENOVEO d'évaluer la faisabilité de traitement d'une nappe phréatique située au droit d'un site industriel à Montreuil (93). Sur ce site, la zone saturée présente une pollution importante en Composés Organohalogénés Volatils (COHV) et composés aromatiques volatiles : Benzène, Toluène, Ethyl-Benzène et Xylènes (BTEX). D'après les informations sur les conditions physico-chimiques fournies par GINGER BURGEAP, les conditions semblent être réductrices. Dans ce contexte, deux stratégies de traitement par réduction chimiques et biologiques ont été évaluées.

### 1.2 Echantillons

Les échantillons ont été reçus en plusieurs étapes avec d'une part des carottes de sol réceptionnées le 23/02/2018 et des échantillons d'eau de nappe reçus le 23/03/2018.

Tableau 1 : Liste des échantillons réceptionnés.

| Référence                     | Date de Réception | matrice | Quantité   |
|-------------------------------|-------------------|---------|------------|
| Carottes de 1m (0 à 6m) - T25 | 24/02/2018        | Sol     | 6 carottes |
| 4 bidons de 20L               | 23/03/2018        | Eau     | 4 x 20L    |



Figure 1: Photo de la carotte T25 1 à 2 m et d'un échantillon d'eaux de nappe.

## Table des matières

---

|       |   |    |
|-------|---|----|
| 1     | Introduction.....   | 3  |
| 1.1   | Contexte de l'étude.....  | 3  |
| 1.2   | Echantillons.....   | 3  |
| 2     | Méthodologie.....   | 4  |
| 2.1   | Mise en place des pilotes.....                                      | 4  |
| 2.2   | Calendrier de l'étude.....  | 6  |
| 2.3   | Amendements.....  | 8  |
| 2.4   | Réalisation des analyses biologiques.....                           | 8  |
| 2.4.1 | Quantification des biomarqueurs par PCR quantitative.....           | 9  |
| 2.4.2 | Biomarqueurs de la dégradation anaérobie des éthylènes chlorés..... | 10 |
| 2.4.3 | Biomarqueurs de la dégradation anaérobie des BTEX.....              | 11 |
| 2.5   | Réalisation des Analyses chimiques.....                             | 13 |
| 2.6   | Réalisation des mesures physicochimiques.....                       | 13 |
| 3     | Résultats.....  | 14 |
| 3.1   | Suivi physicochimique.....  | 14 |
| 3.1.1 | Evolution du pH durant l'essai.....                                 | 14 |
| 3.1.2 | Evolution de l'oxygène dissous :.....                               | 15 |
| 3.1.3 | Évolution du potentiel d'oxydoréduction (ORP).....                  | 16 |
| 3.2   | Suivi analytique chimique et biologique.....                        | 17 |
| 3.2.1 | Évolution des chloroéthènes (CE).....                               | 17 |
| 3.2.2 | Évolution des composés aromatiques volatils (BTEX).....             | 29 |
| 4     | Conclusion.....   | 35 |
| 5     | Annexe.....   | 36 |
| 5.1   | Résultats du suivi chimique.....                                    | 36 |
| 5.2   | Résultats du suivi biologique.....                                  | 42 |
| 5.3   | Résultats du suivi physicochimique.....                             | 44 |

**Ginger-Burgeap**  
M. Jacques Villemagne  
27, rue de Vanves  
92772 Boulogne Billancourt

Lyon, le 25 Octobre 2018

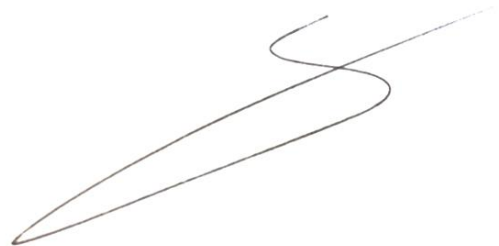
## **Pilote en Réalisation d'un pilote de traitement d'une nappe phréatique impactée par des solvants chlorés et des BTEX**

*N° de Rapport :*  
ENOVERAP016-1802v1  
*Référence Projet :*  
Murs à pêches

*Responsable de l'étude :*      *Validation :*



Malandain Cédric  
tél : 06.18.00.67.59  
c.malandain@enoveo.com



Olivier Sibourg

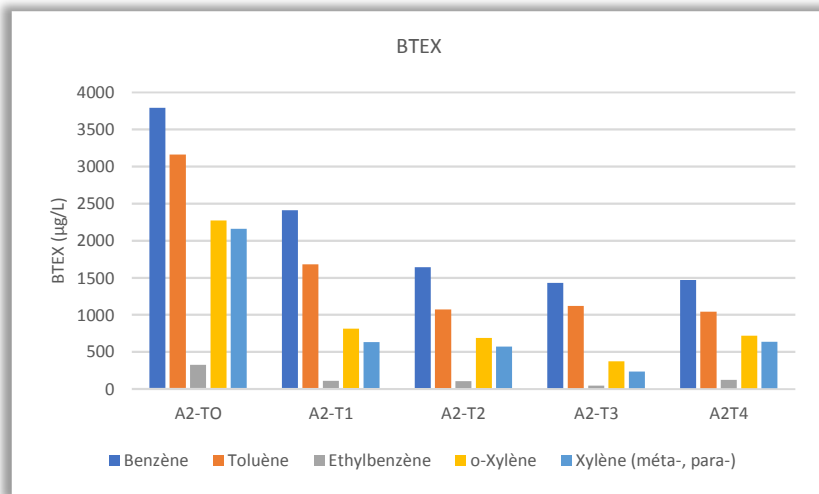
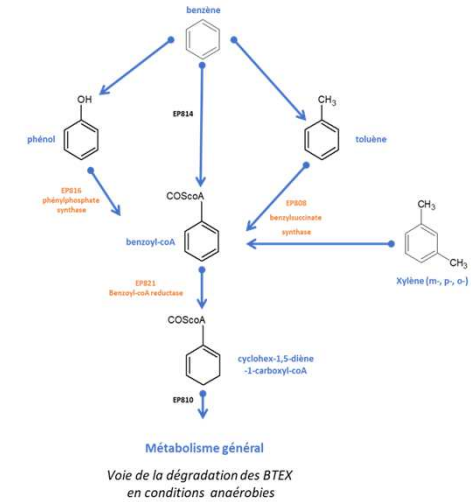
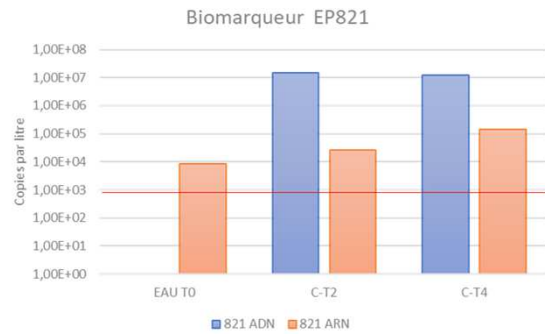
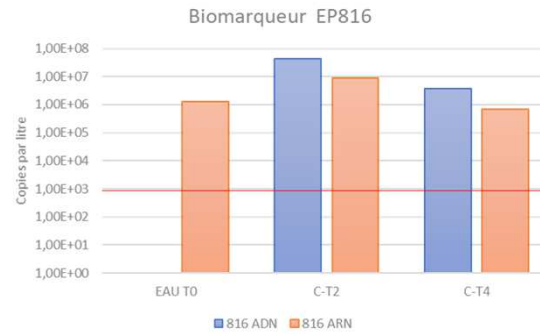
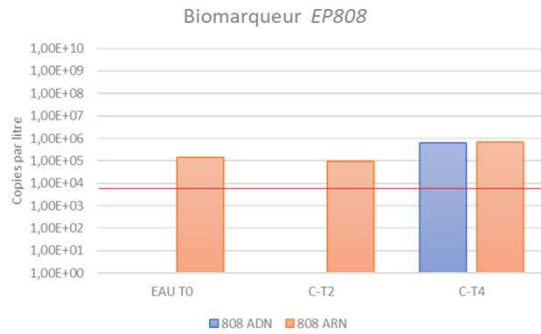
*Référence devis :*  
ENO1802-022v2

ENOVEO  
7, place Antonin Poncet  
69002 Lyon, France  
www.enoveo.com  
tél : +33 (0)4.26.22.16.50  
SARL au capital de 40 000 €  
RCS Lyon : 504 048 851 00027 - 7211 Z  
N° TVA FR 82504048851



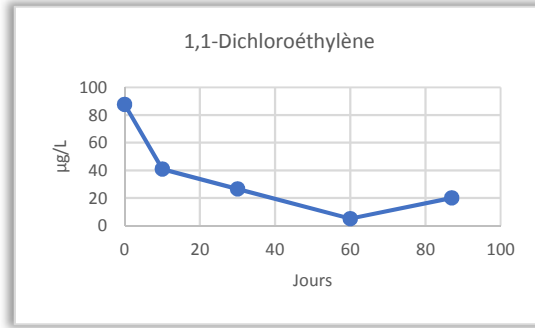
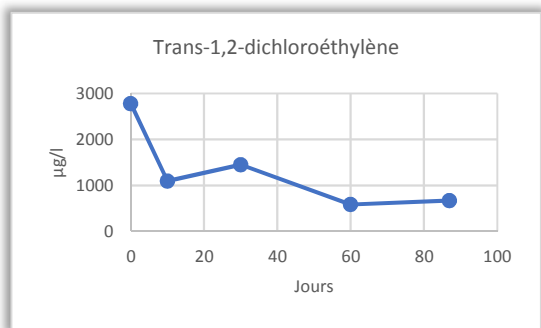
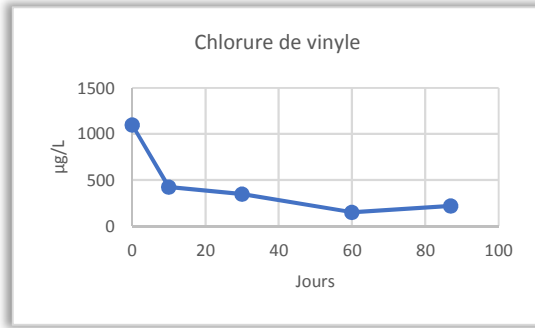
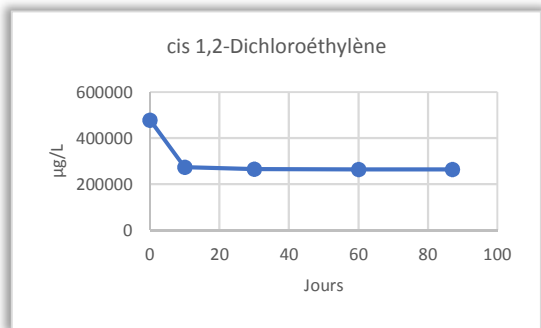
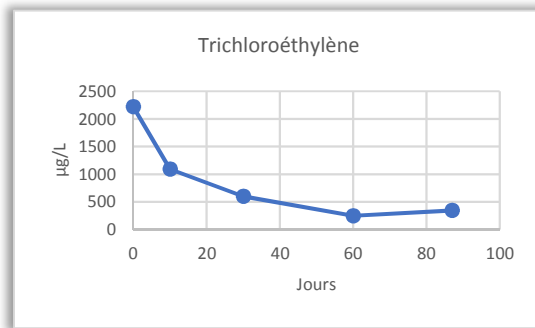
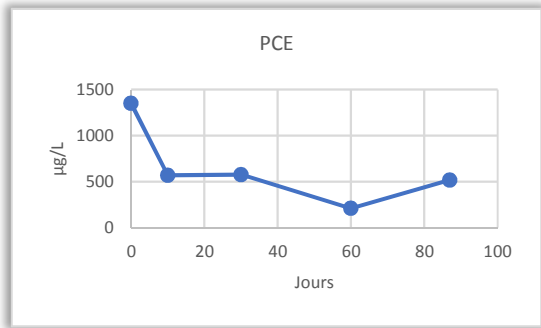
## **Annexe 5. Rapport d'ENOVEO**

# Suivi de la dégradation des BTEX: C

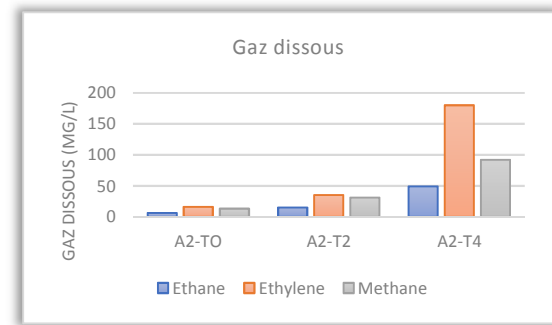


- Les COHV présente un abattement important après le T0 puis se stabilisent.
- Les biomarqueurs EP816 et 821 indiquent une augmentation de densité et d'activité à T2 puis se maintiennent au T4.



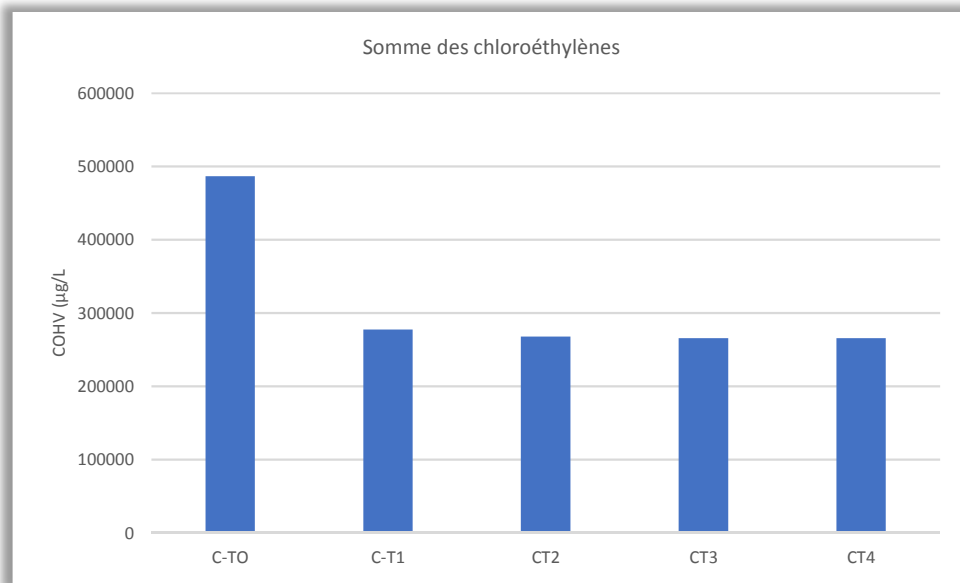
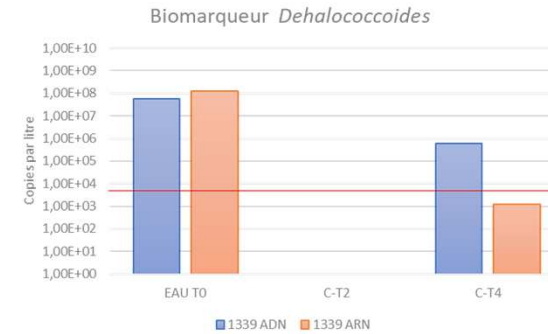
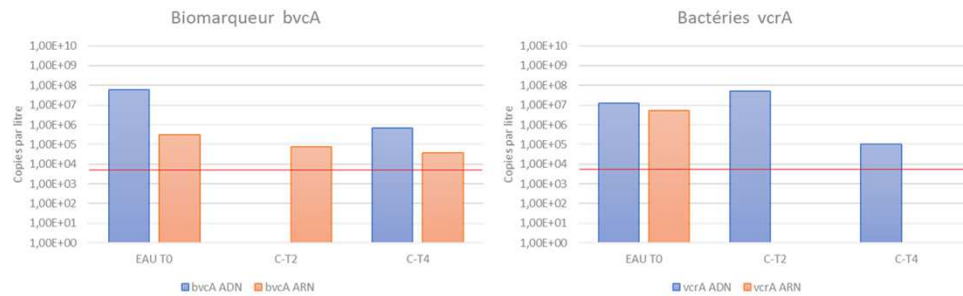
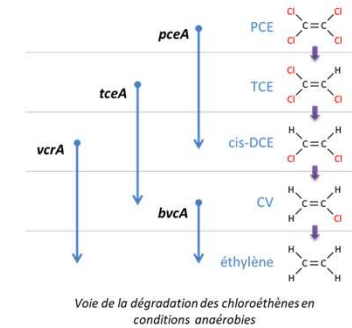
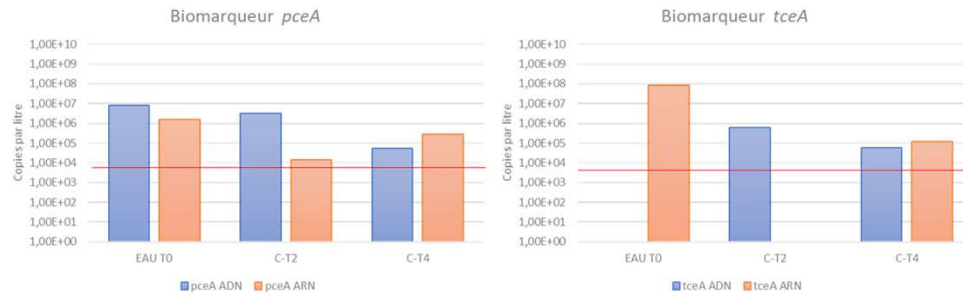


- Les concentrations sont fortement abattues entre le T0 et le T1.
- Les cis-12-DCE ne montrent plus d'évolution significatives après le T1.
- Les abattements observés semblent du majoritairement à la dégradation abiotique induite par le FZV.
- Les gaz dissous mesurés augmentent entre les différents points.





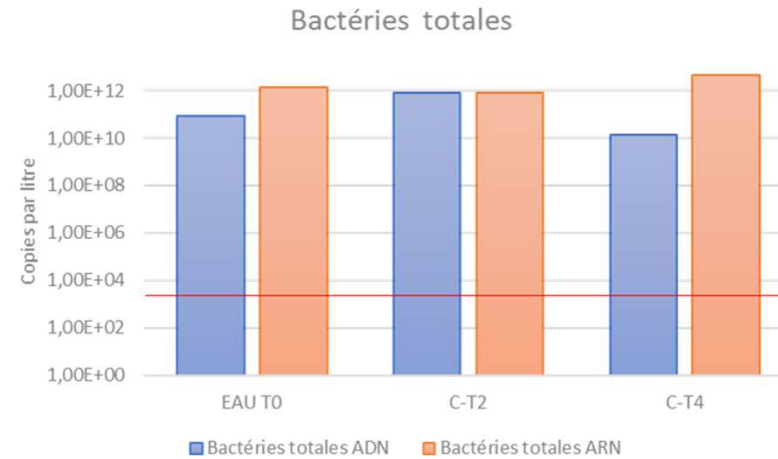
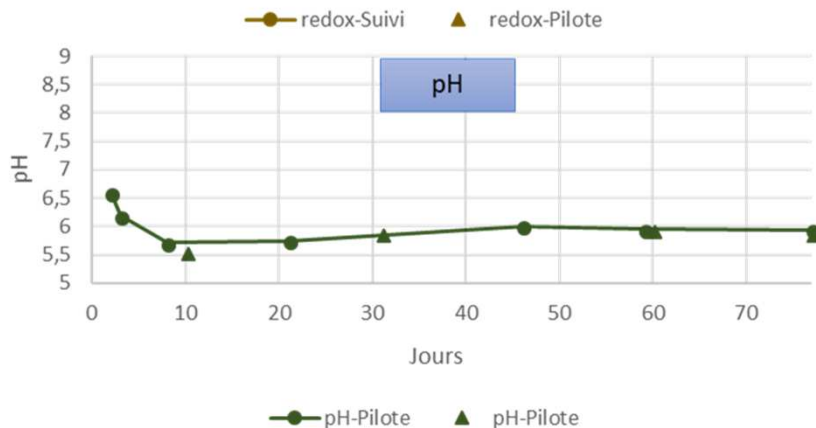
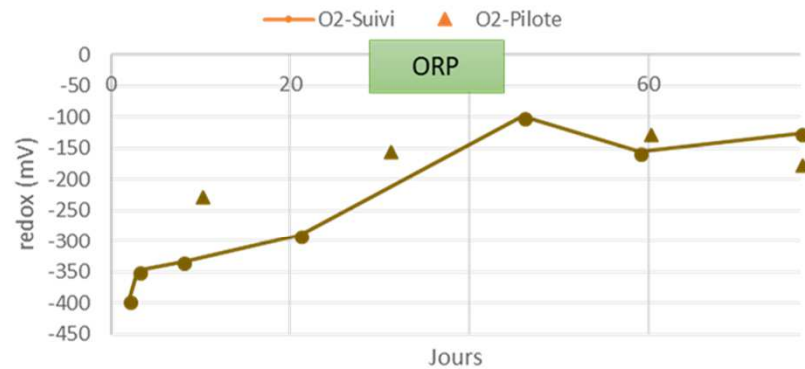
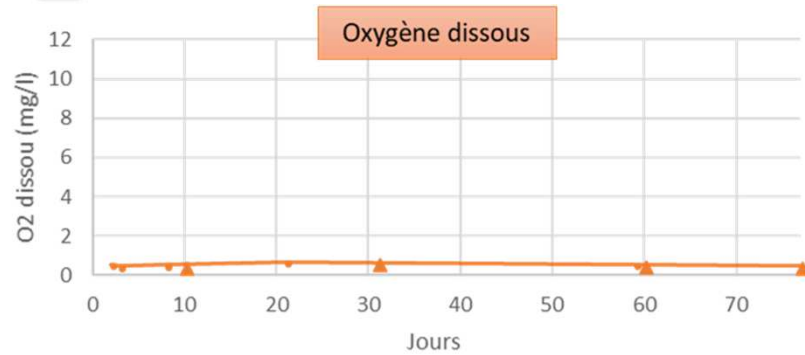
# Suivi de la dégradation des COHV: C



- Les COHV présente un abattement important après le T0 (plusieurs données du cis-12-DCE) manquantes remplacées par moyenne) puis une stabilisation dans le temps est observée.
- Les biomarqueurs diminuent au cours du temps.

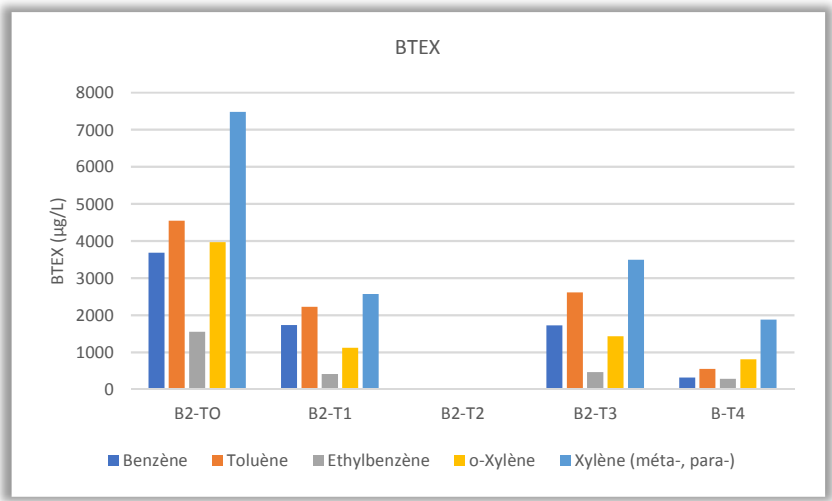
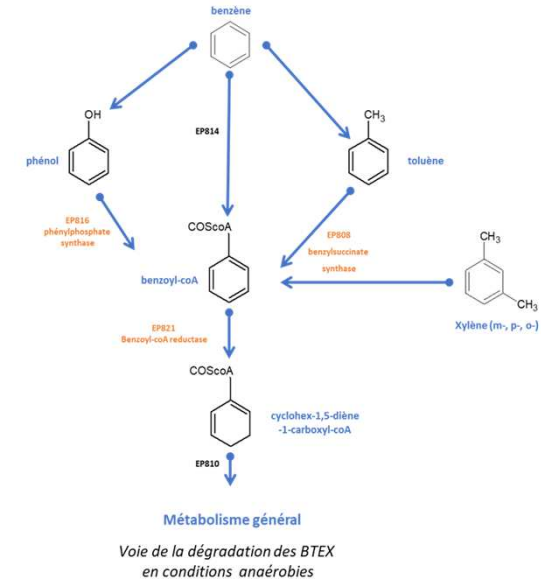
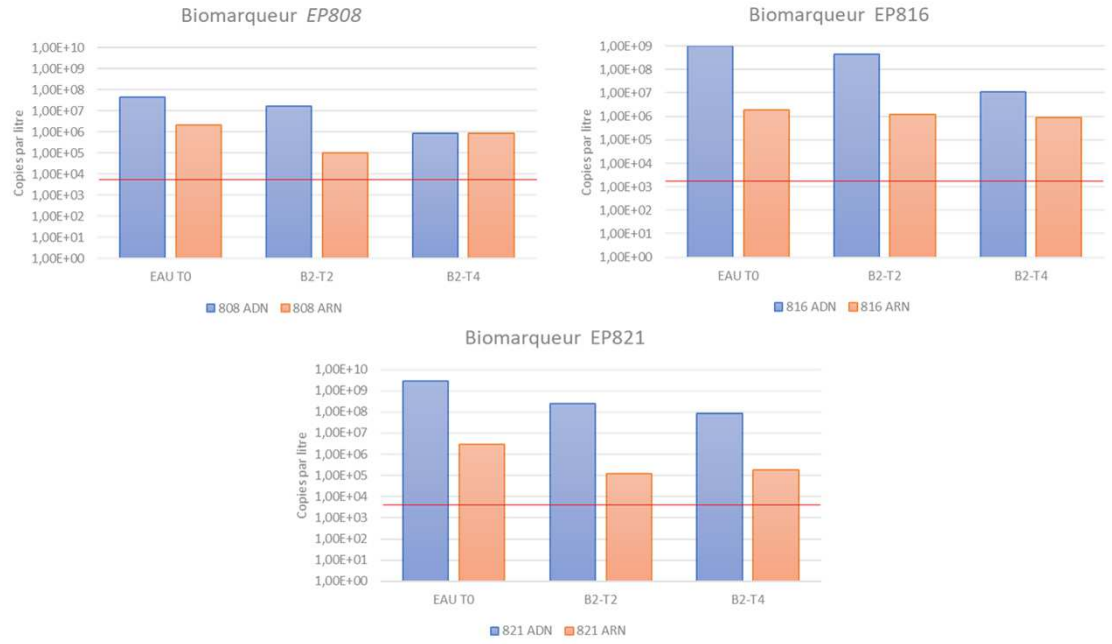


## Suivi physicochimique et biologique (Bact. Tot.): Série C

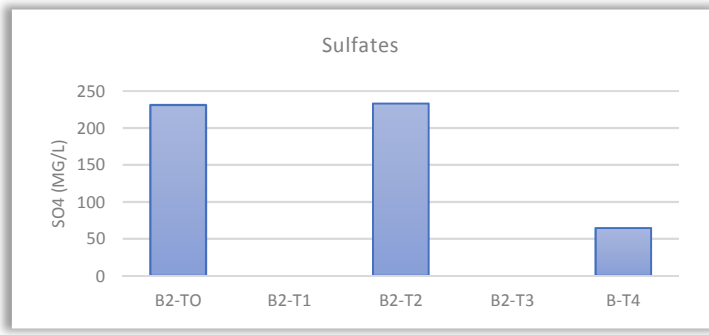


- Des conditions fortement réductrices se sont installées dès le début du pilote puis l'ORP augmente progressivement pour se stabiliser.
- Le pH est diminué de 1 point.
- La densité et l'activité bactérienne restent importantes et constantes au cours du temps.

# Suivi biologique (dégradation): Séries B2



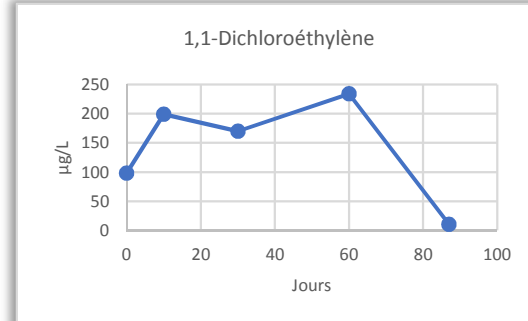
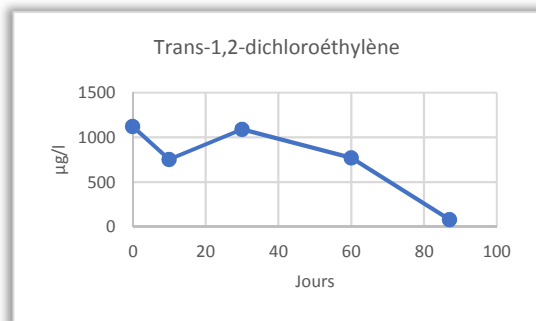
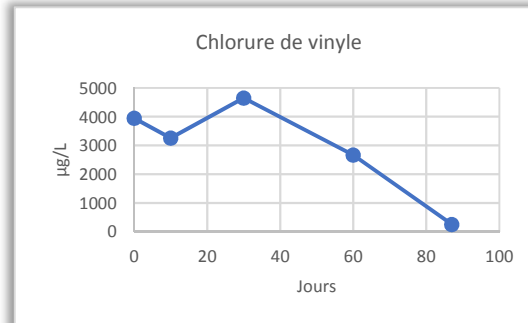
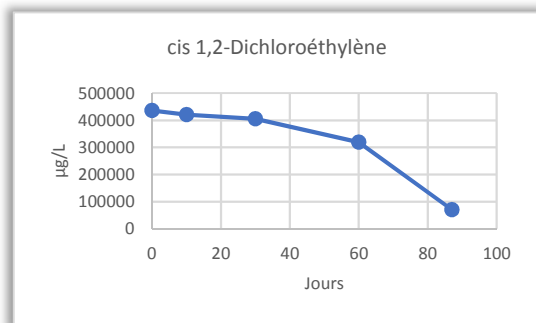
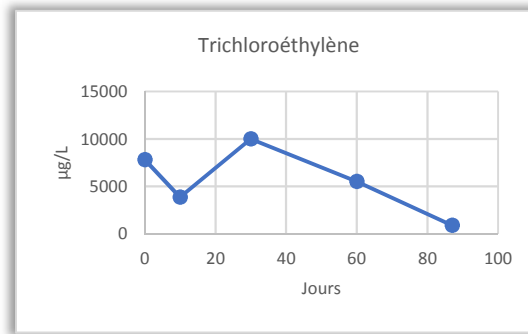
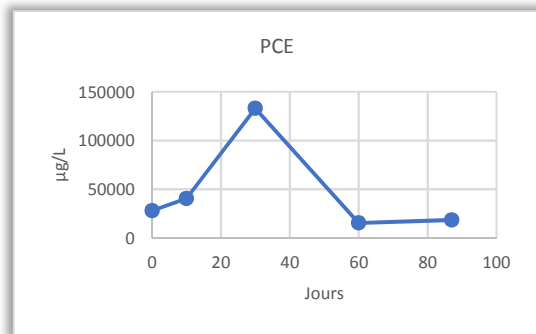
Le point T2 n'a pas été pris en compte.



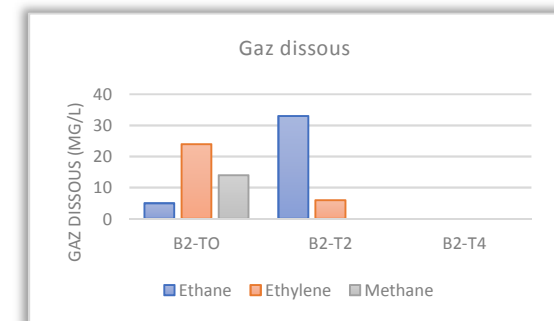
- Une baisse importante des BTEX est observée.
- La dégradation anaérobie des BTEX est connue pour être souvent couplés à la respiration des sulfates. Le pilote B2 est le seul montrant une consommation significative des sulfates.



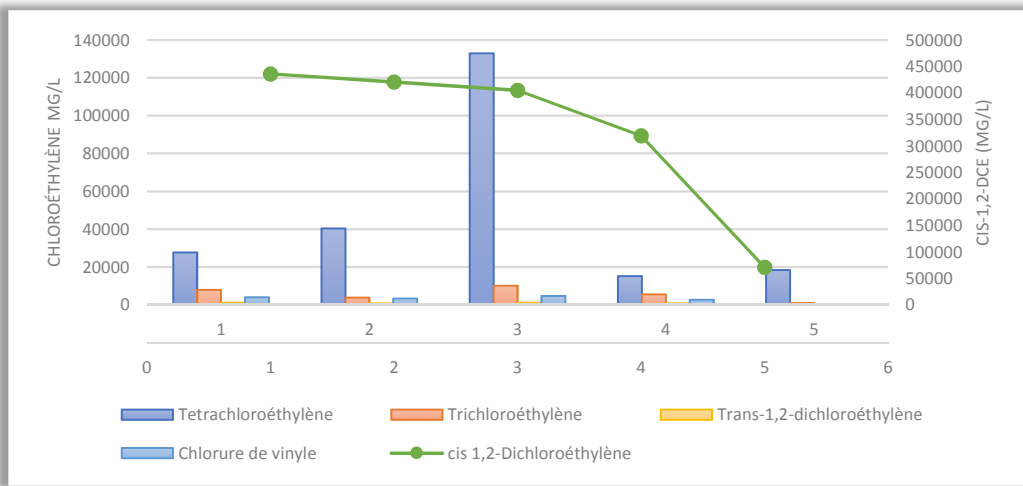
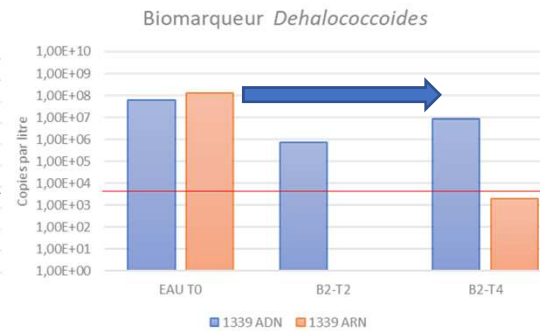
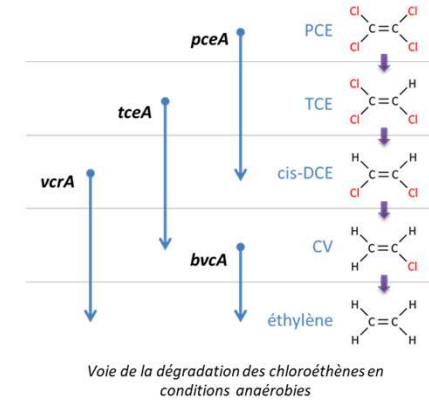
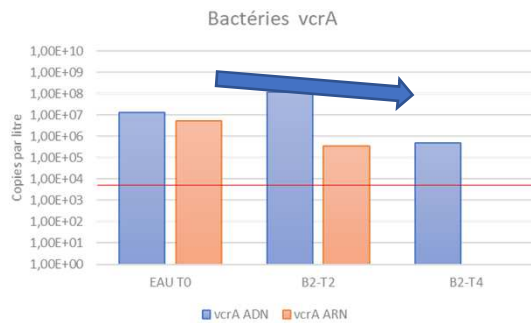
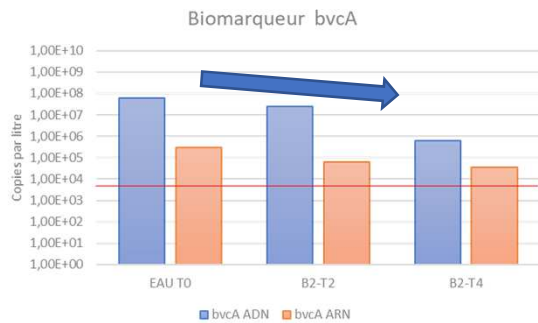
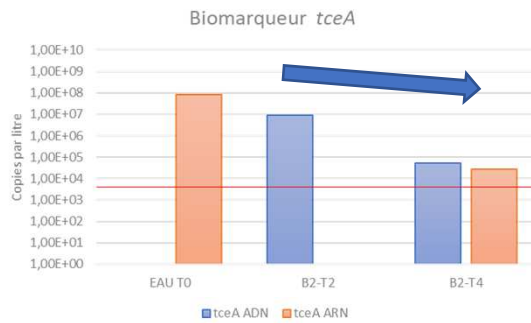
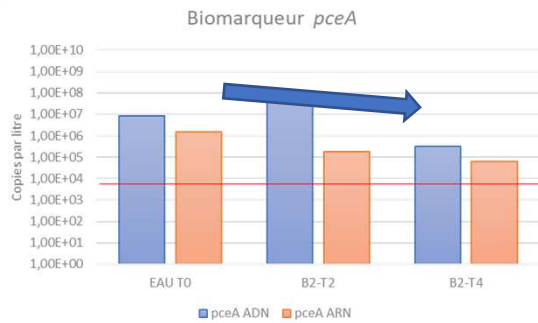
## Evolution des concentrations en chloroéthylènes: pilote B2



- Les concentrations en chloréthylène décroissent.
- Le PCE ne semblent pas affecté.
- Le TCE, le cis-12-DCE et le CV sont dégradés à partir du T2.
- Le CV ne s'accumule pas.
- Les gaz dissous sont présents lors du T0 et du T2 puis ne sont plus mesurés lors du T4.



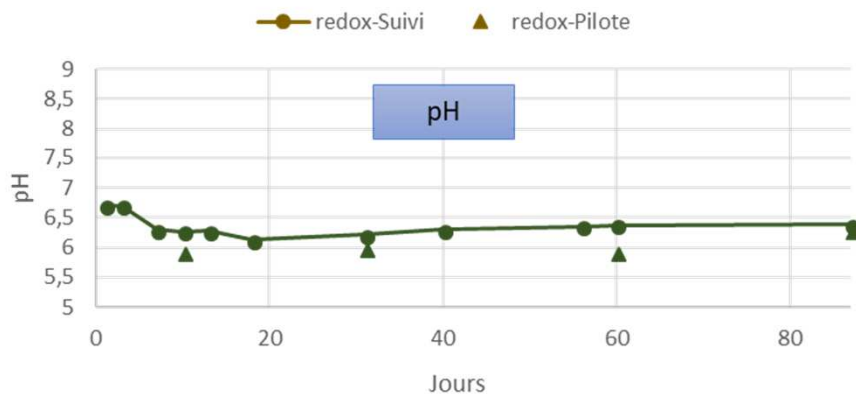
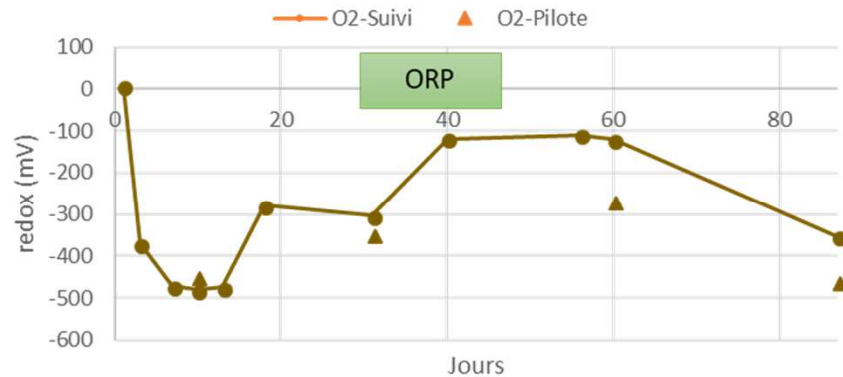
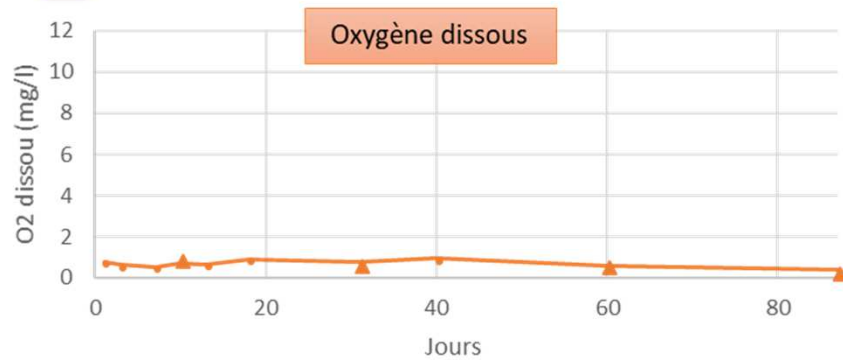
# Suivi de la dégradation des COHV: B2



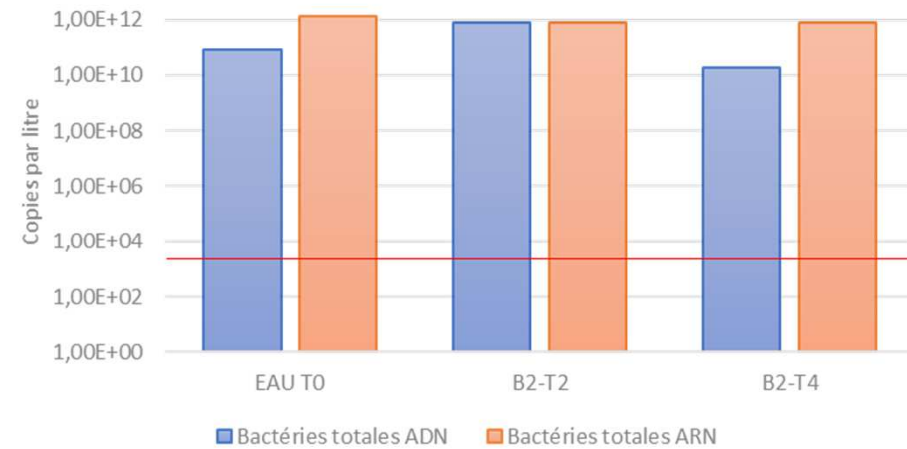
- Les biomarqueurs de la dégradation des COHV décroissent lors du T4.
- Les concentrations en COHV décroissent. Des mesures aberrantes (T2) ont été relevées.



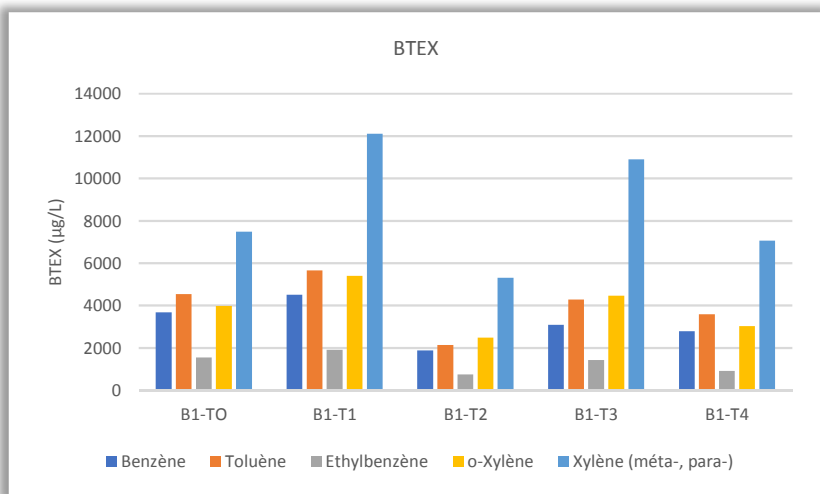
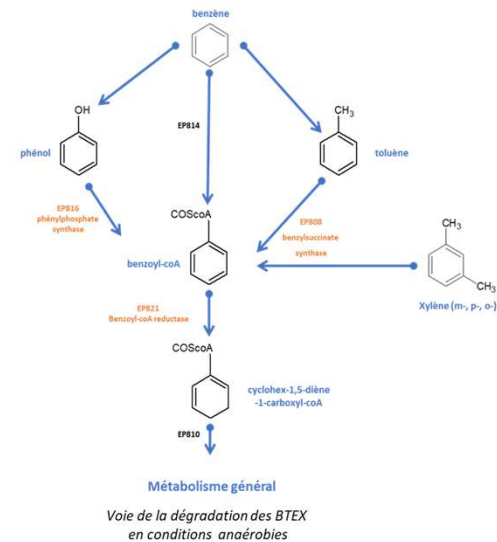
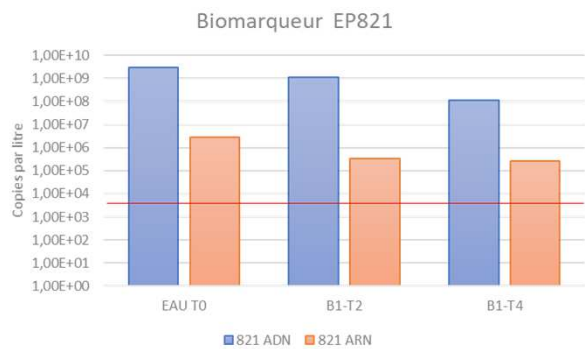
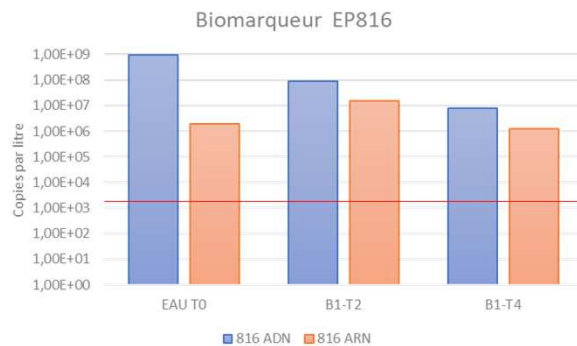
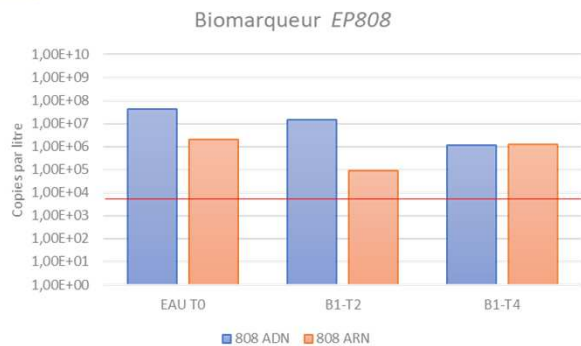
## Suivi physicochimique et biologique (Bact. Tot.): B2



### Bactéries totales



- Des conditions fortement réductrices se sont installées progressivement en début de pilote puis l'ORP augmente. Une deuxième phase plus réductrice semble être présente (à confirmer). Production de molécules ayant un effet sur le redox (ex: fumarate)?
- La densité et l'activité bactérienne restent importantes et constantes au cours du temps.

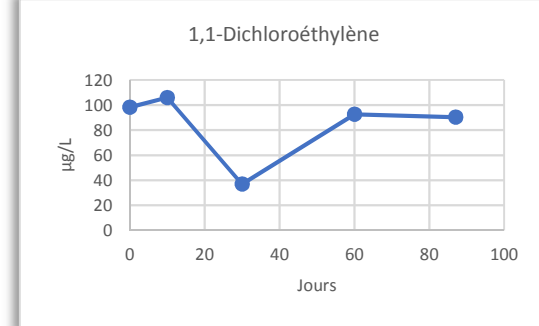
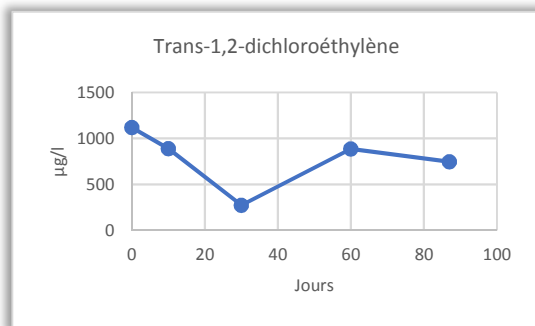
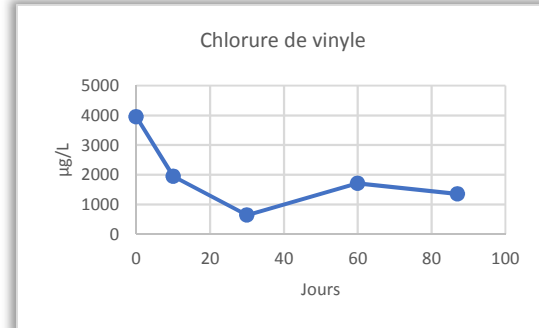
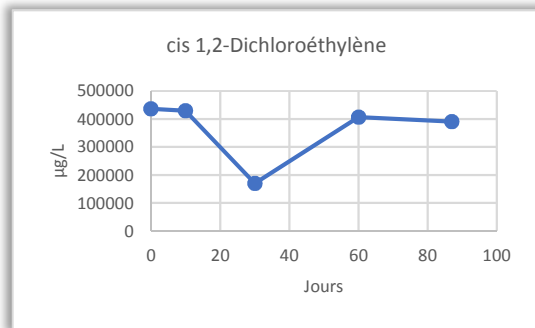
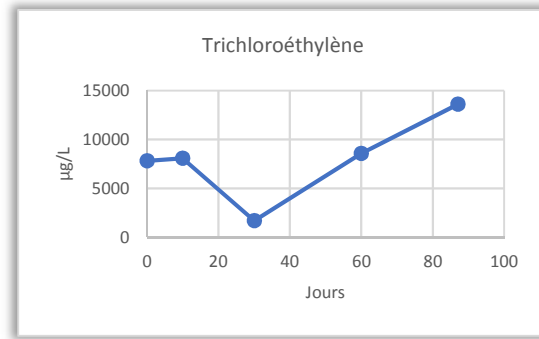
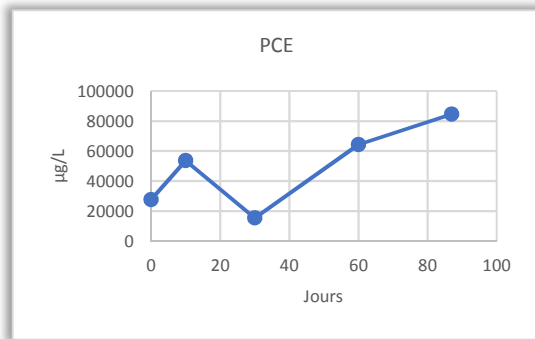


- Les concentrations en BTEX n'évoluent pas.
- Les biomarqueurs, bien que présents, décroissent au cours du temps.



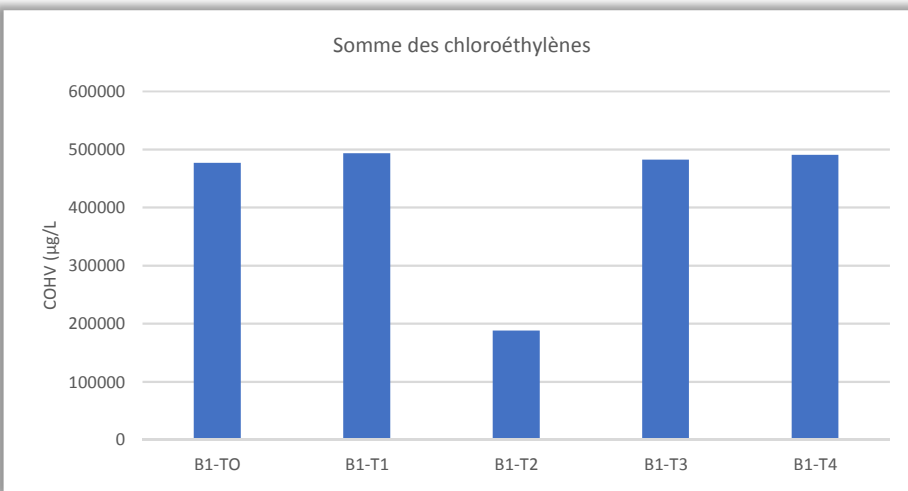
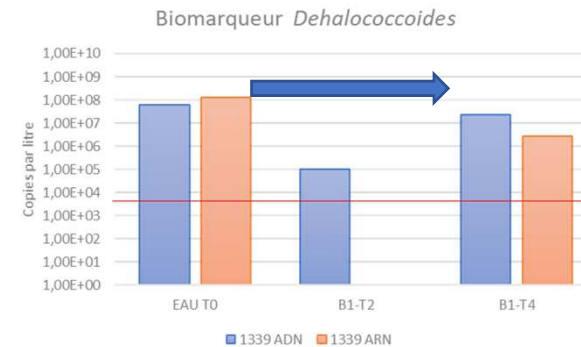
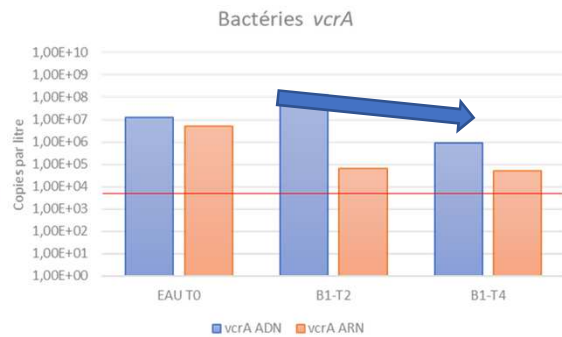
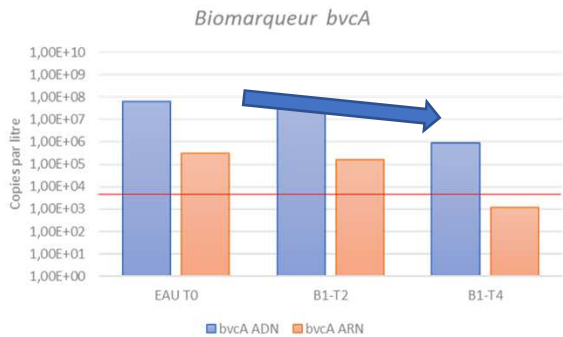
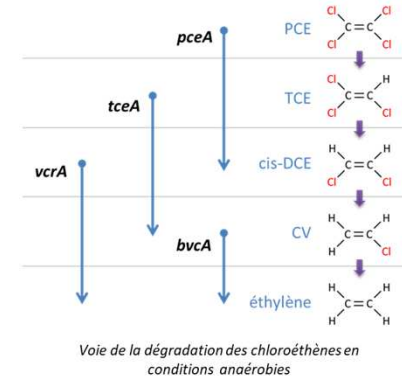
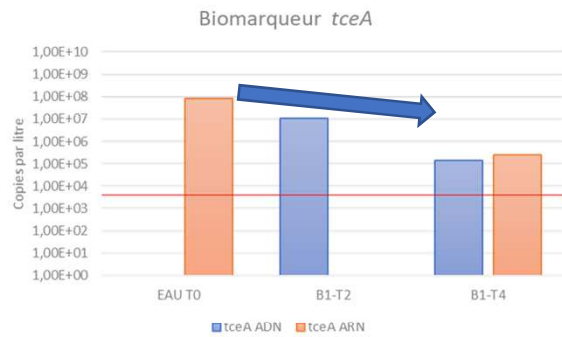
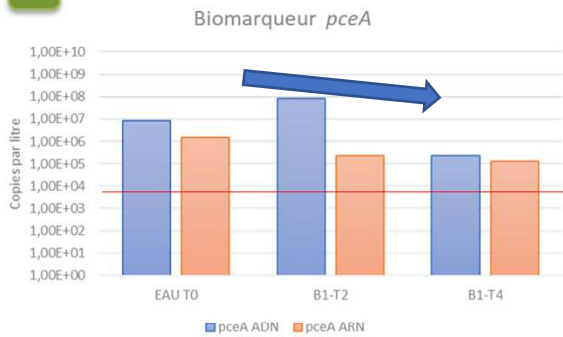


## Evolution des concentrations en chloroéthylènes: pilote B1



- Il n'y a pas de dégradation significatives des chloroéthylènes dans ce pilote.
- Le PCE et le TCE augmente sensiblement de manière atypique.
- Le cis-12-DCE reste stable.
- Le CV décroît entre T0 et T2 puis se stabilise.

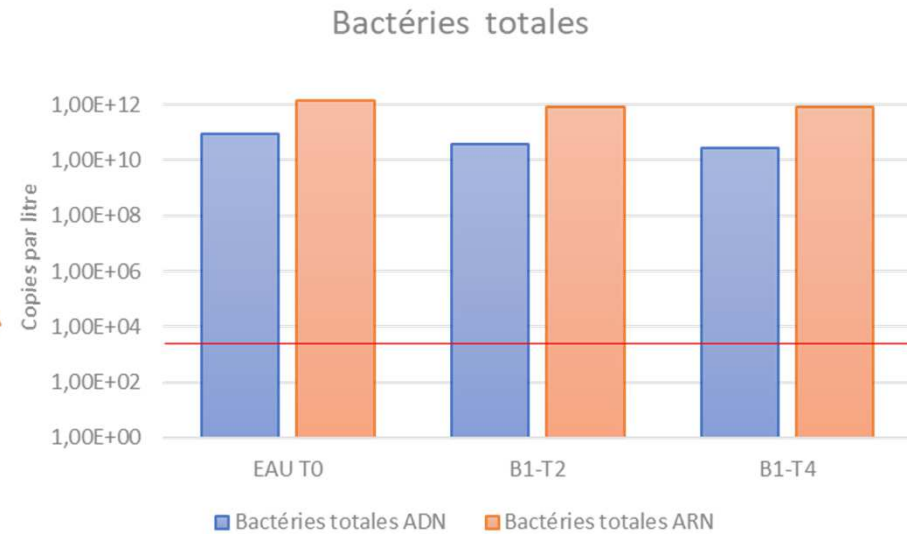
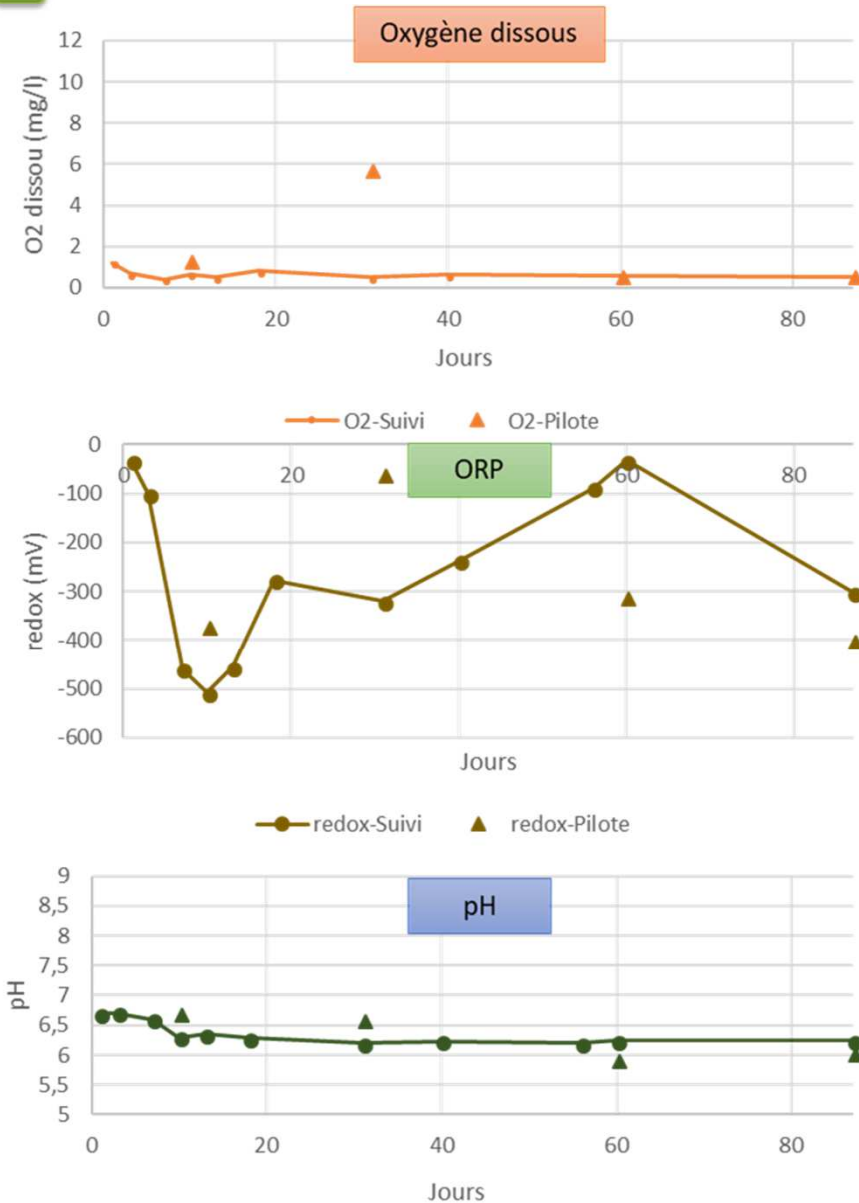
# Suivi de la dégradation des COHV: B1



- Les biomarqueurs de la dégradation des COHV décroissent entre le T2 et le T4. *Dehalococcoides* se maintient ou s'est rétabli.
- Les concentrations en COHV n'évoluent pas au cours du temps.

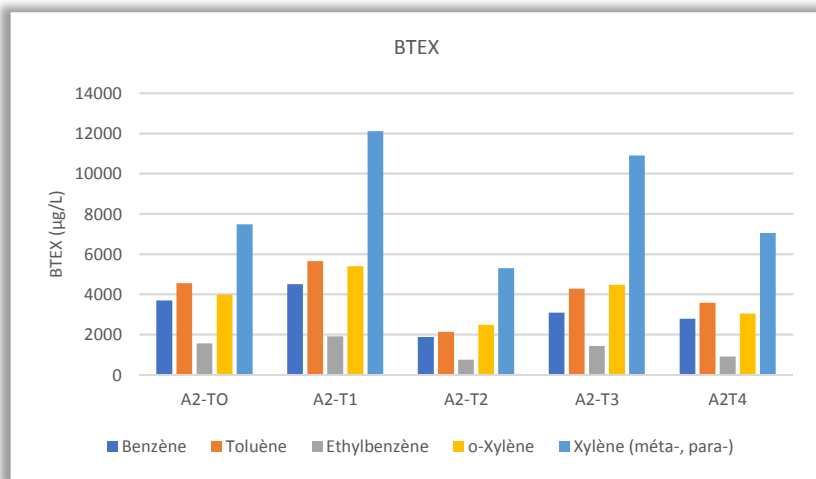
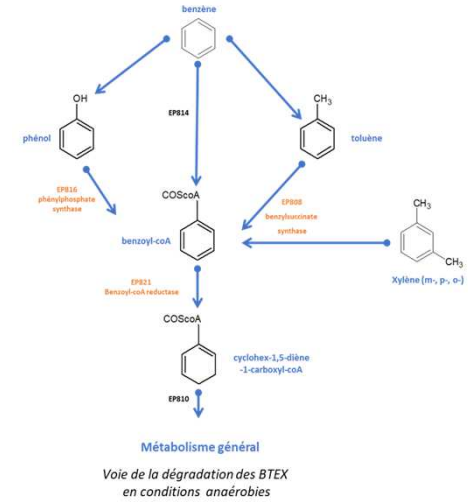
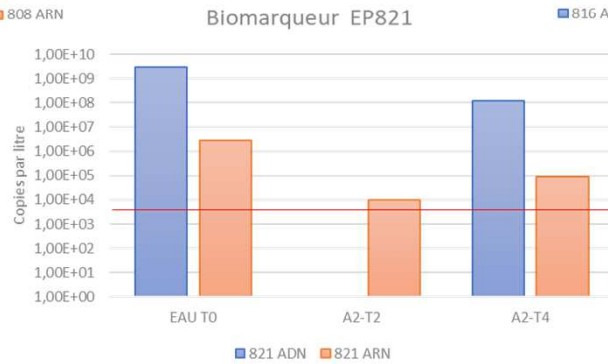
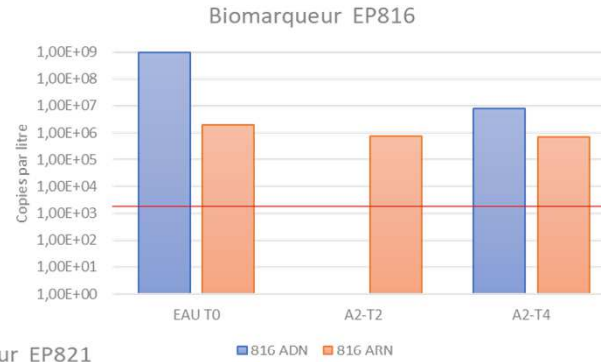
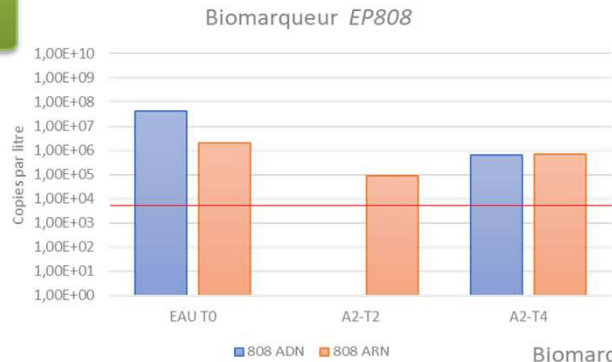


## Suivi physicochimique et biologique (Bact. Tot.): Série B1



- Des conditions fortement réductrices se sont installées progressivement et sont stables au cours du temps.
- La densité et l'activité bactérienne restent importantes et constantes au cours du temps.

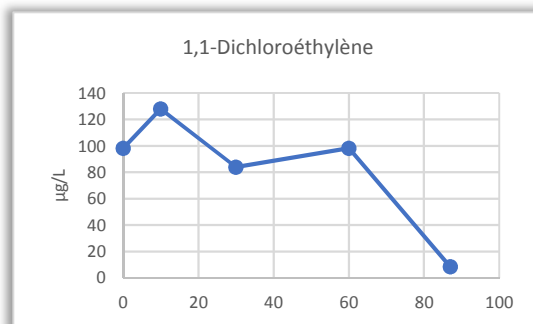
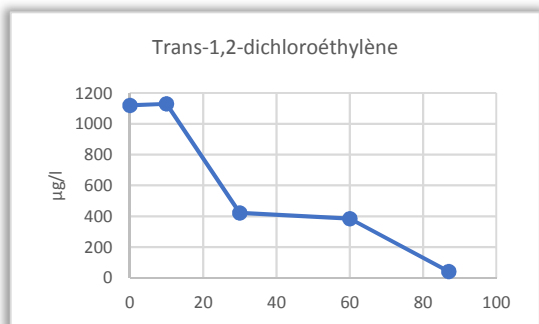
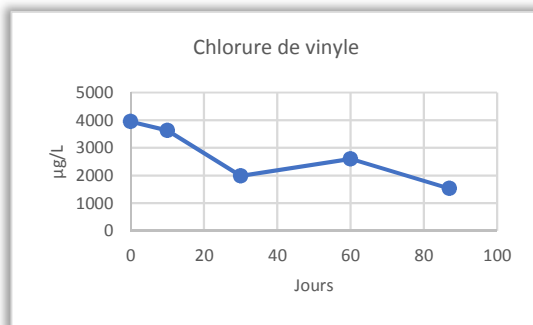
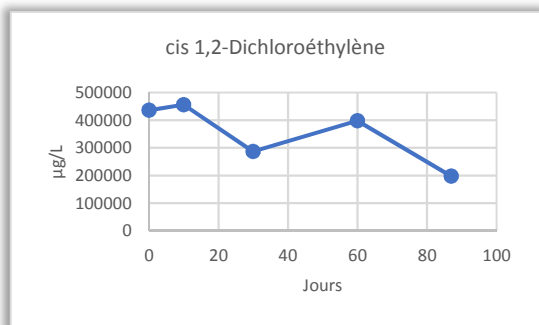
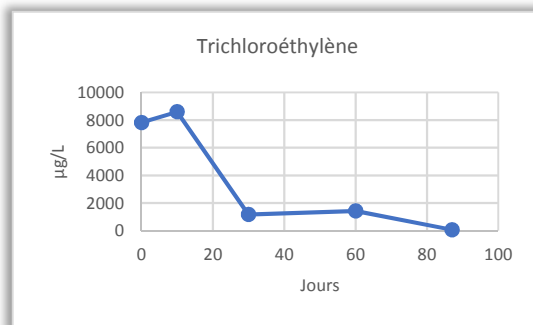
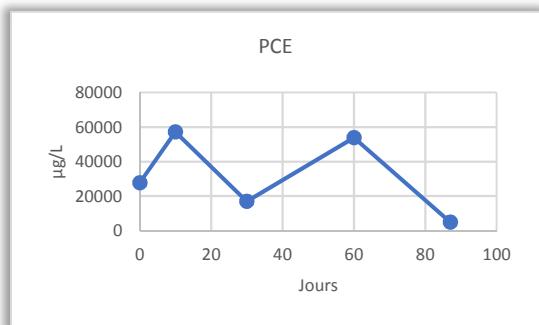
# Suivi de la dégradation des BTEX : A2



- Les biomarqueurs de la dégradation des BTEX sont présents et se maintiennent au cours du temps.
- Il n'y a pas d'évolution des BTEX observés.

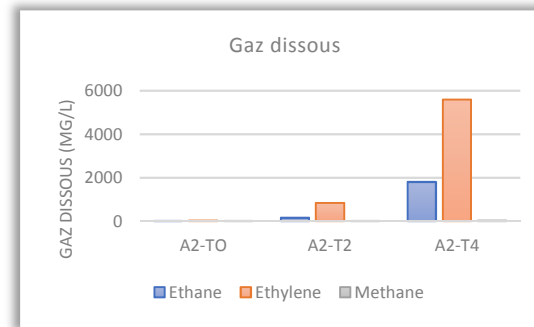
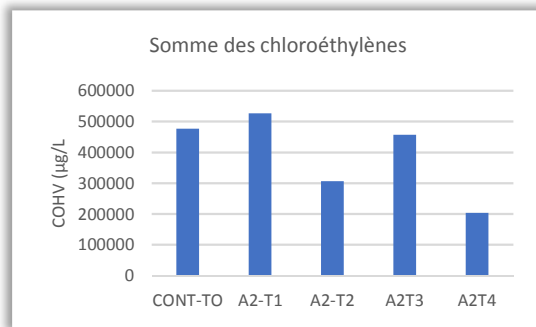
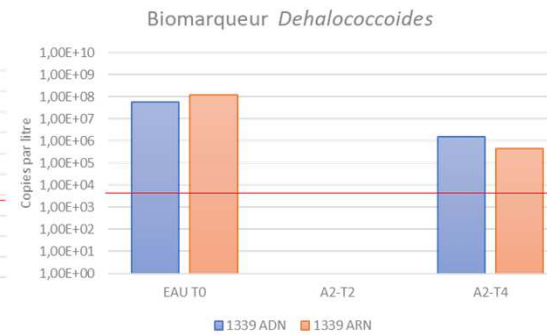
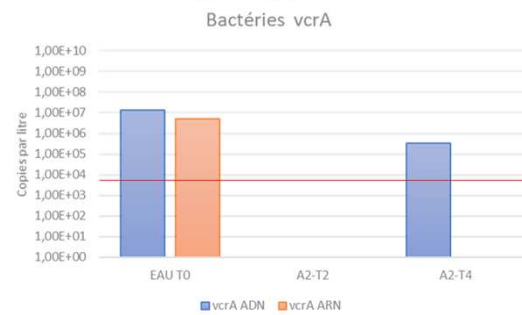
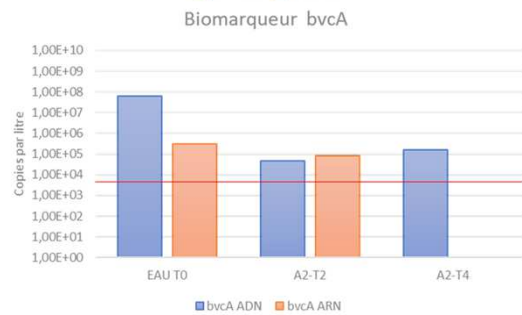
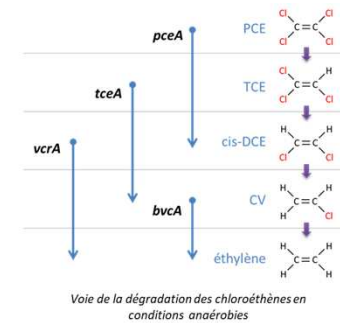
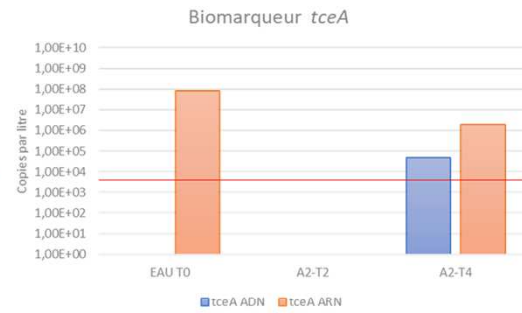
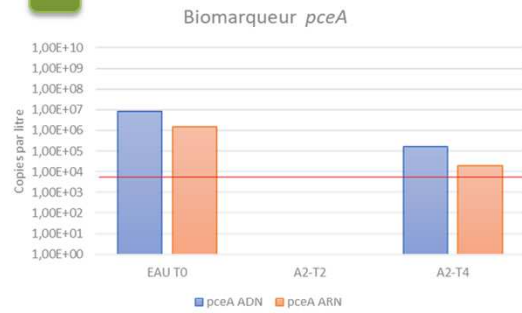


## Evolution des concentrations en chloroéthylènes: pilote A2



- Tous les chloroéthylènes présentent une baisse de leurs concentrations.

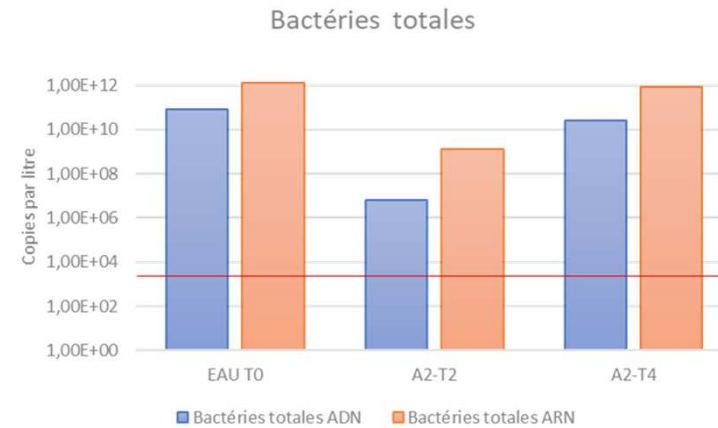
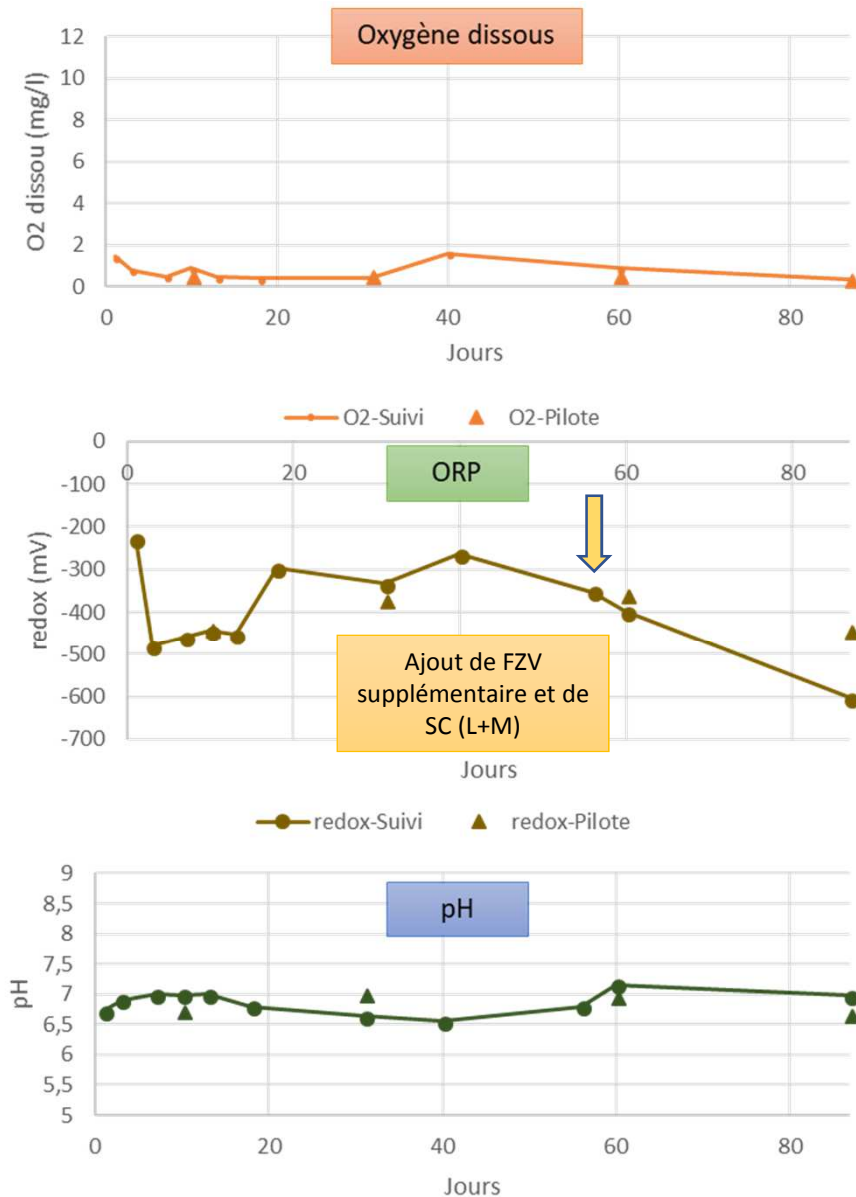
# Suivi de la dégradation des COHV: pilote A2



- Les biomarqueurs de la dégradation des COHV décroissent fortement.
- Les concentrations en COHV montrent une baisse significative lors du T4.
- La production importante d'éthylène et d'éthane est indicative d'une réduction par processus abiotique.



## Suivi physicochimique et biologique (Bact. Tot.): Série A2

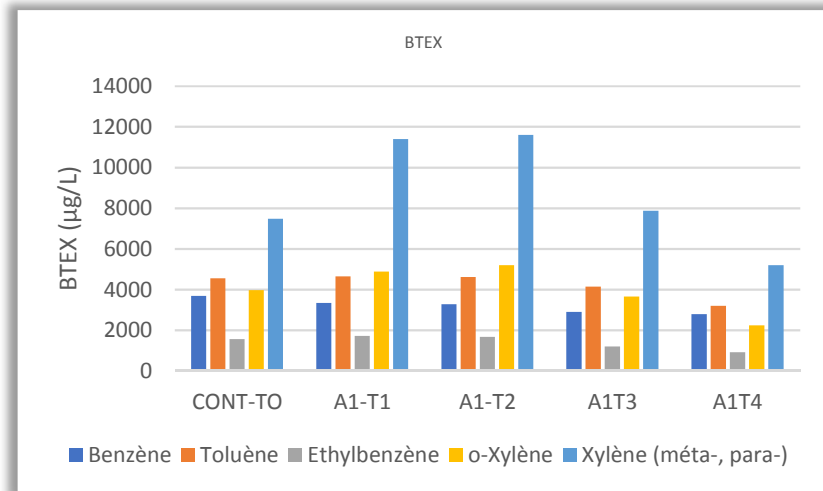
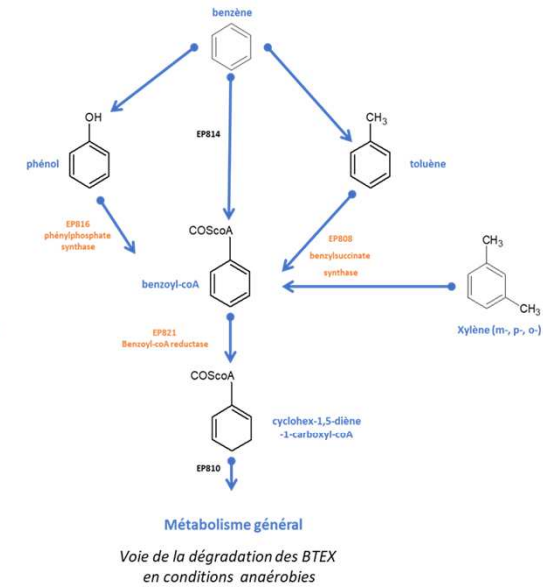
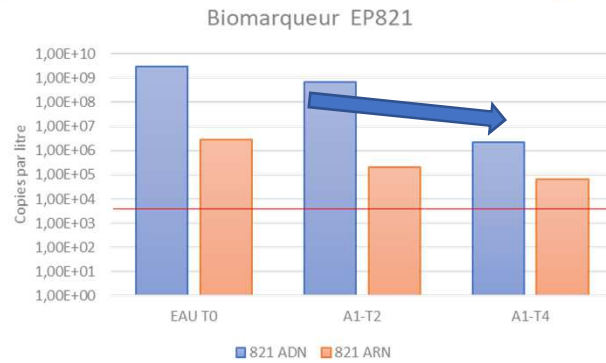
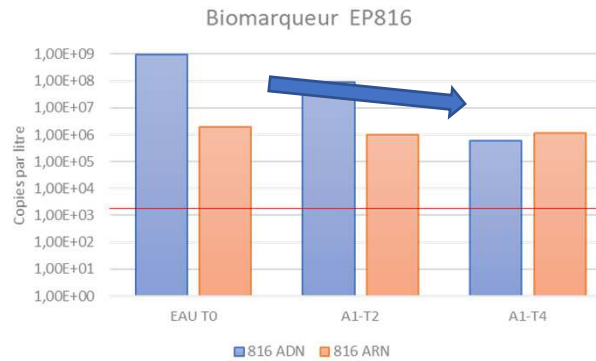
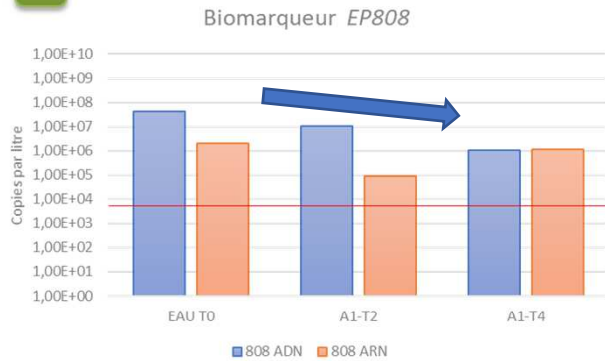


- Des conditions fortement réductrices sont établis dès l'ajout de FZV. Une augmentation de l'ORP est observée. Le deuxième amendement en FZV combiné avec l'ajout de SC ramène des conditions fortement réductrices.
- Les bactéries totales ont décréut entre le T0 et le T2, l'ajout de la SC a eu un effet dynamisant sur ces communautés lors du T4.





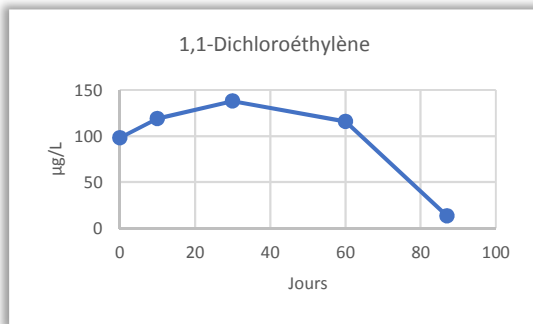
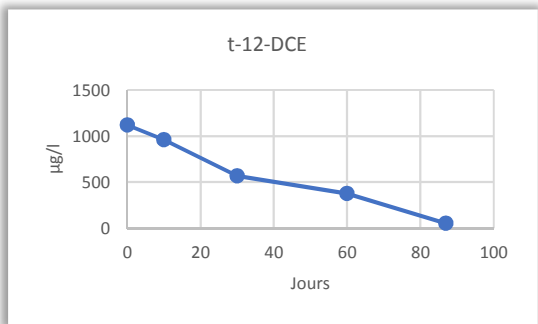
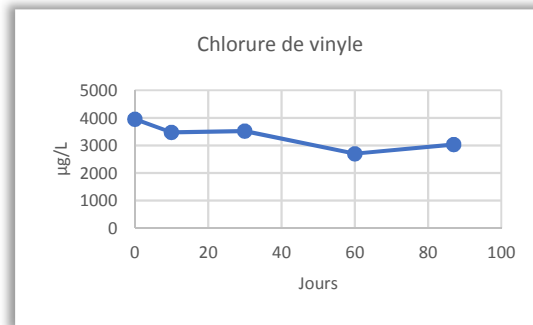
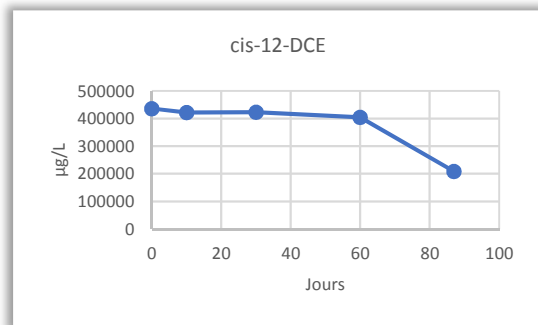
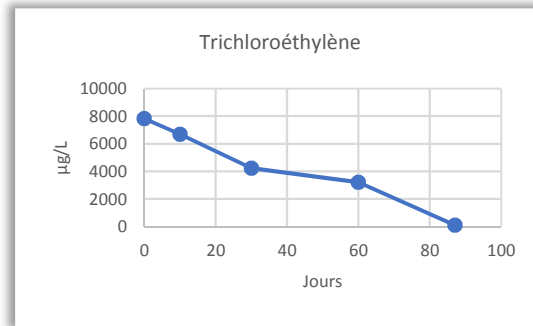
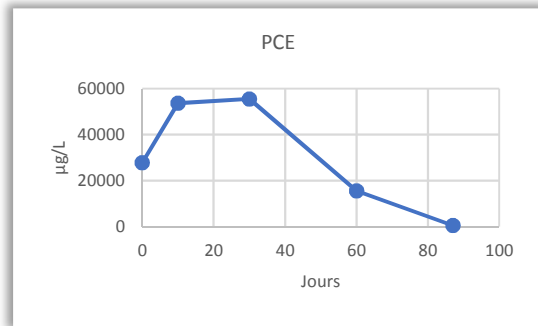
# Suivi de la dégradation des BTEX : A1



- Les biomarqueurs sont présents mais voit leur desntité diminué au cours du temps.
- Les concentration en BTEX décroissent à partir du T3. Les xylènes (m- et p-) sont particulièrement affectés.



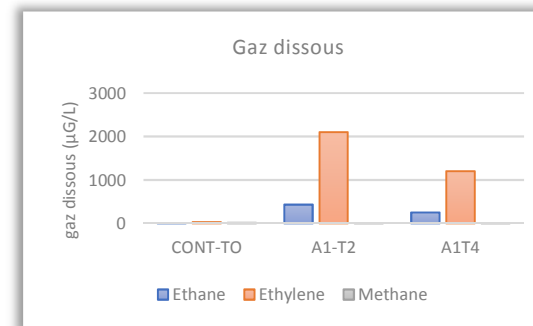
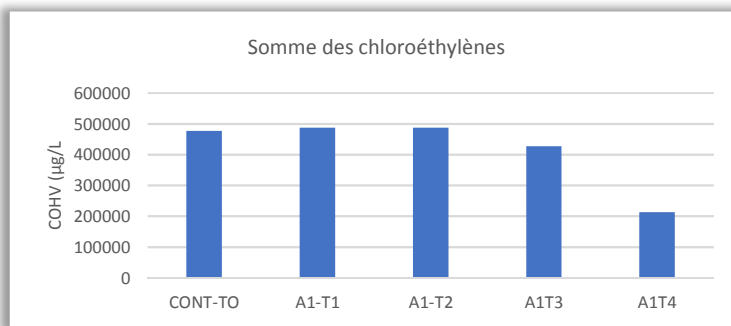
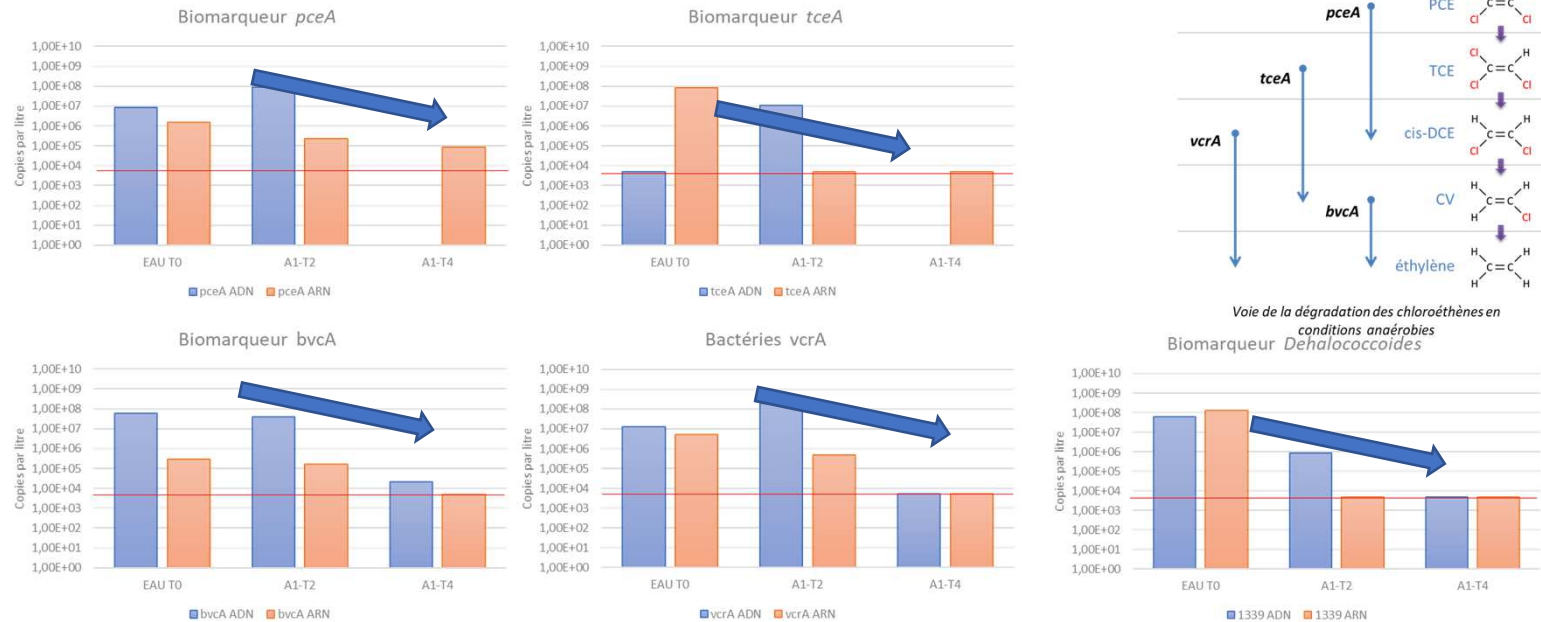
## Evolution des concentrations en chloroéthylènes: pilote A1



- Le PCE, TCE et cis-DCE sont dégradés.
- Dans le cas du PCE et du cis-DCE la décroissance est visible après le deuxième amendement en FZV.
- Les concentrations en CV ne sont pas significativement changés, ou la transformation du cis-12-DCE compense la baisse éventuelle.

- Les deux autres chloroéthylènes présentent des similarités de comportement avec les TCE et le cis-12-DCE.

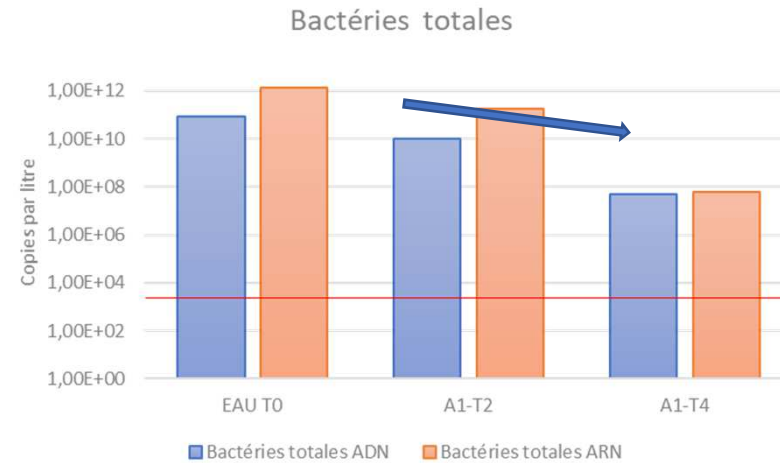
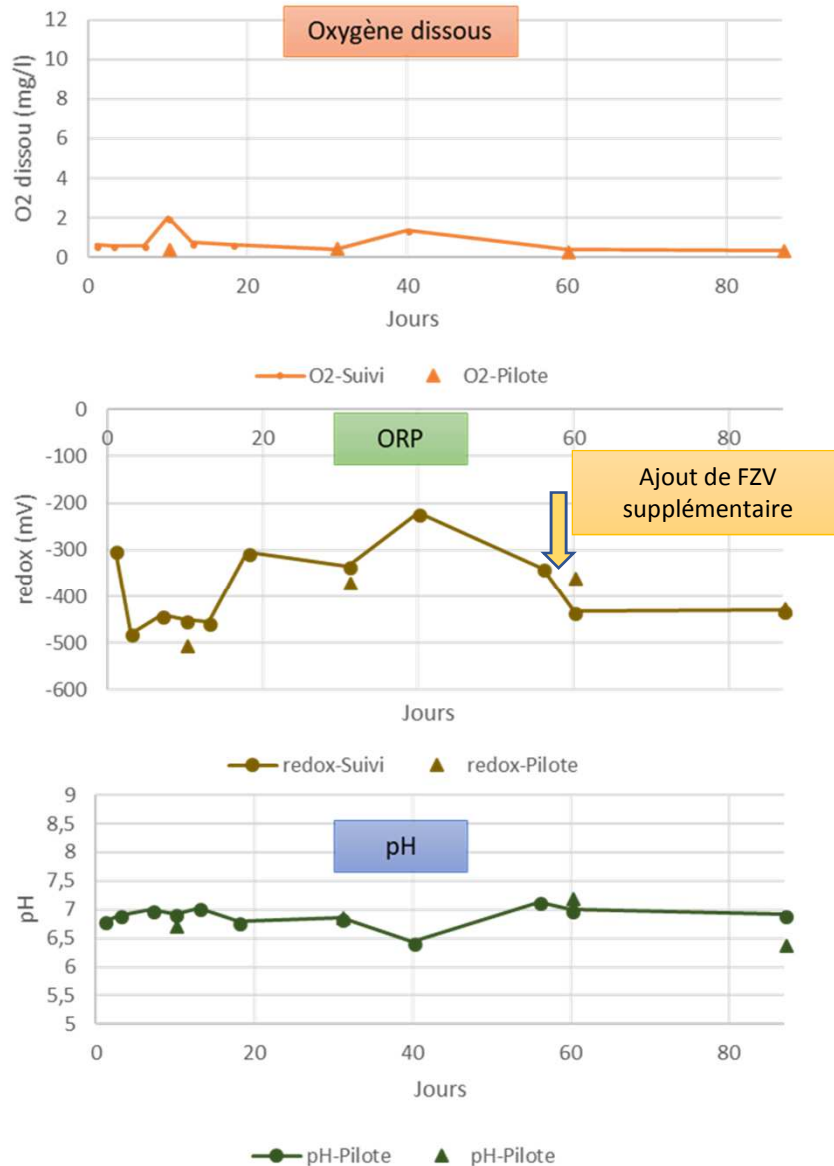
# Suivi de la dégradation des COHV: pilote A1



- Les biomarqueurs diminuent fortement au cours du temps.
- La somme des chloroéthylènes indique une baisse importante des concentrations lors du T4.
- Les gaz dissous indique une forte production d'éthylène et d'éthane ce qui est associé avec la réduction par fer zéro-valent des chloroéthylènes.



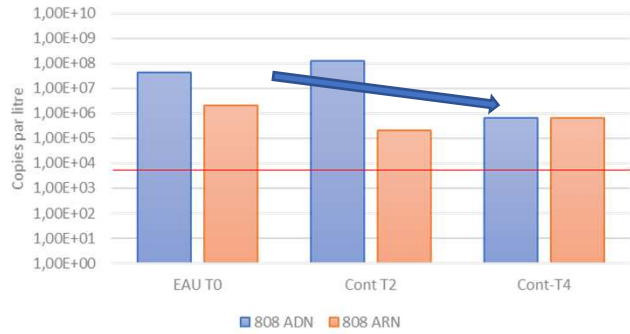
## Suivi physicochimique et biologique (Bact. Tot.): Série A1



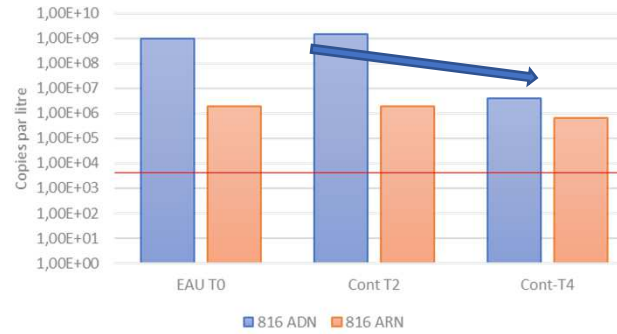
- Des conditions fortement réductrices sont établies dès l'ajout de FZV. Une augmentation de l'ORP est observée. Le deuxième amendement en FZV rétablit les conditions fortement réductrices.
- Le pH est stable au cours du temps.
- La densité bactérienne diminue fortement au cours du temps.

# Suivi de la dégradation des BTEX: Contrôle

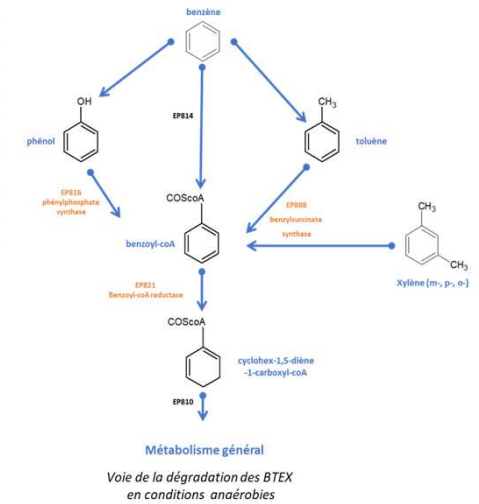
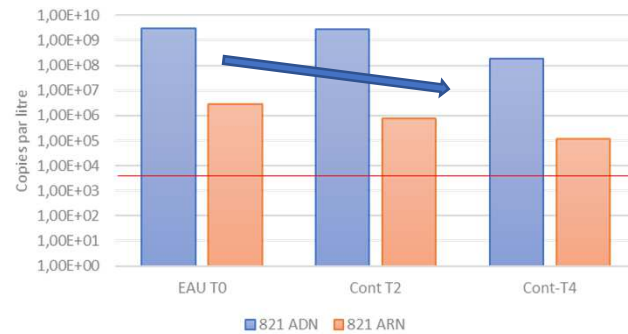
Biomarqueur EP808



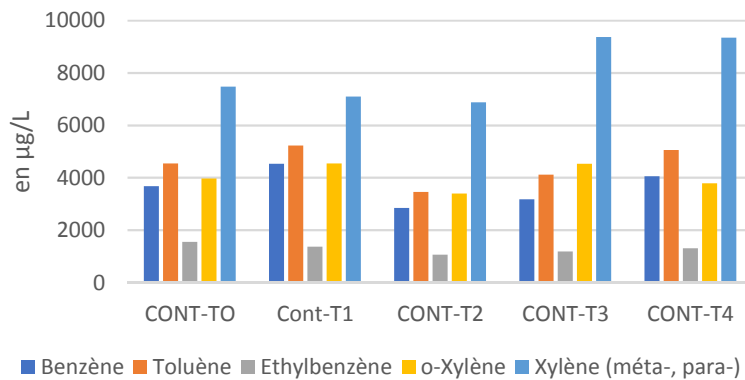
Biomarqueur EP816



Biomarqueur EP821



BTEX



- Les gènes de la dégradation des BTEX décroissent en densité au cours du temps.
- Les concentrations en BTEX n'évoluent pas au cours du temps.



## Diapositive 11

---

**JV1**

solubilisation active du PCE.

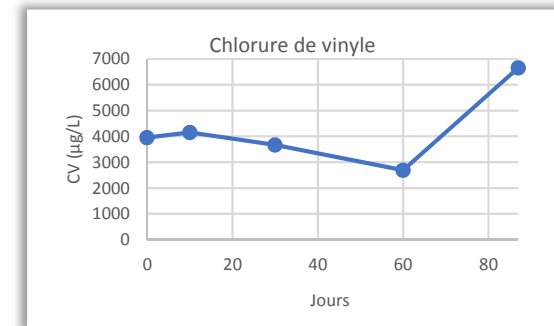
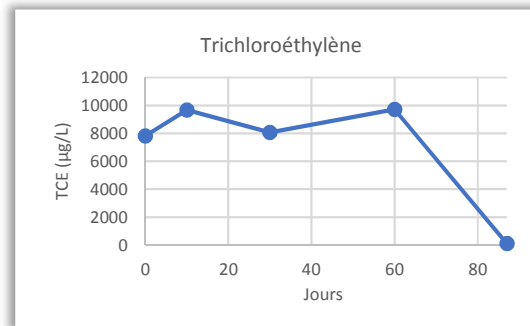
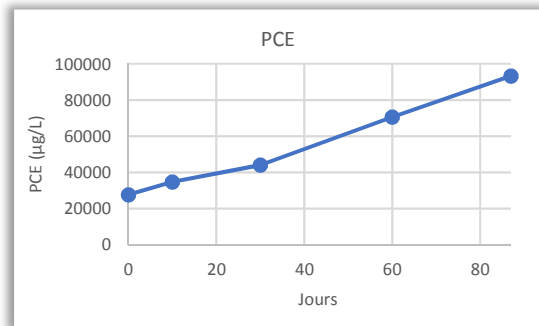
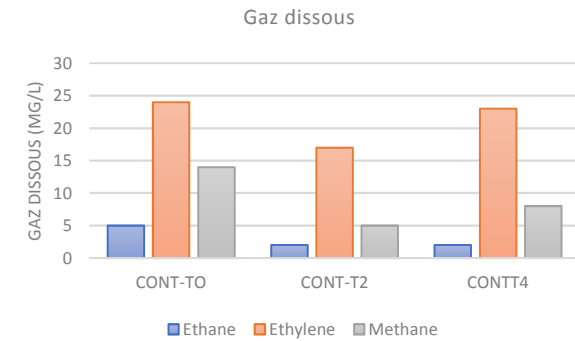
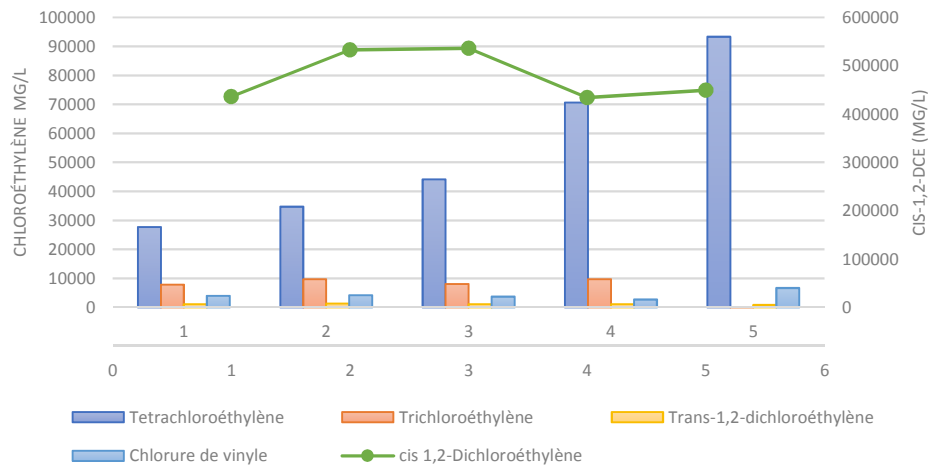
Jacques VILLEMAGNE; 24/07/2018

**JV2**

Le PCE représente plus de 90% des polluants adsorbés

Jacques VILLEMAGNE; 24/07/2018

# Evolution des concentrations en chloroéthylènes



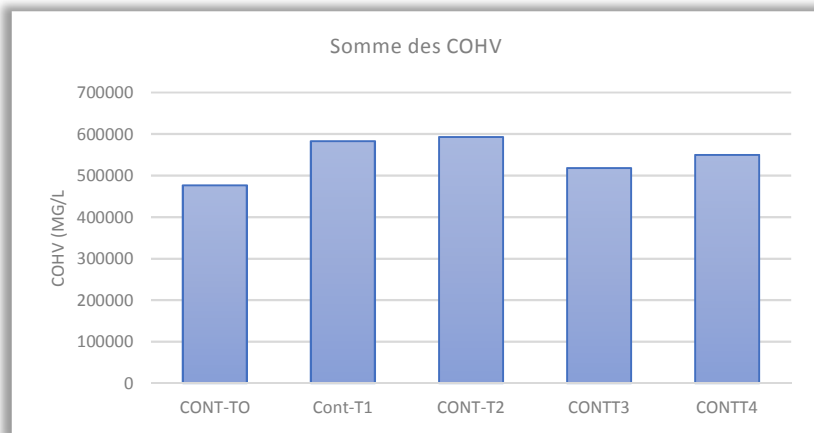
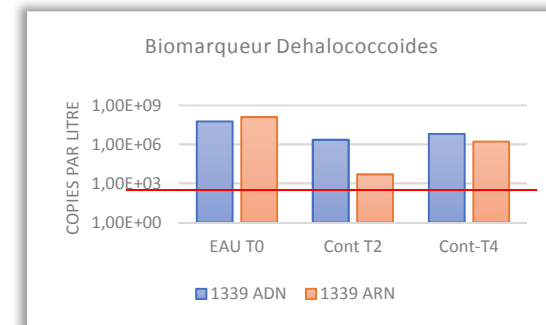
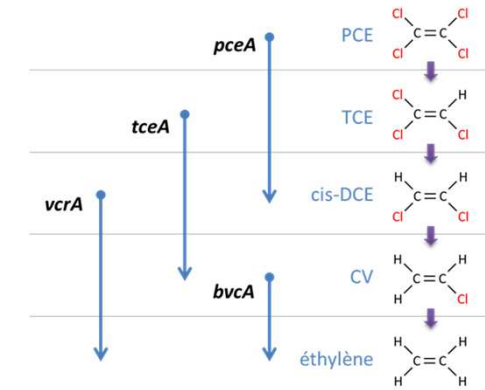
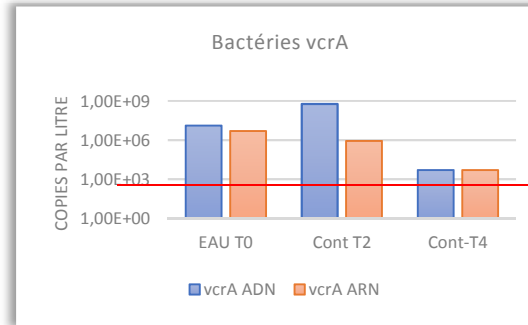
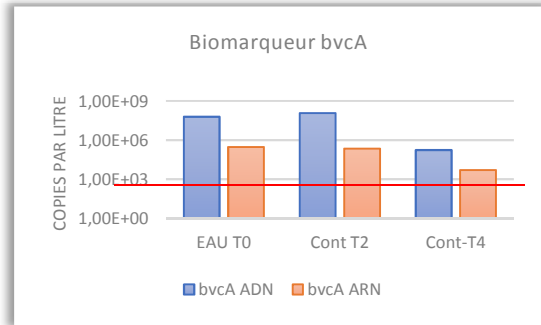
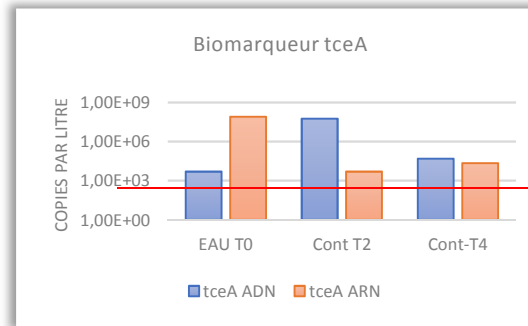
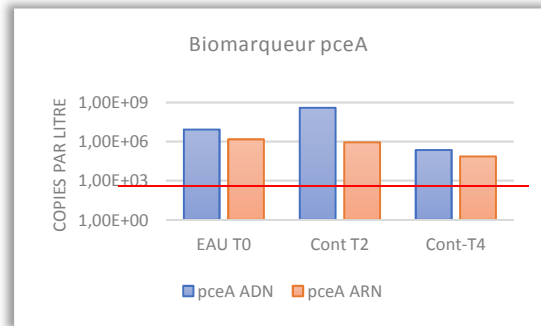
- Le cis-12\_DCE apparait stable au cours de l'expérimentation.
- **Le PCE présente une évolution atypique des concentrations**
- Le TCE diminue.
- Le CV augmente.
- Les gaz dissous sont stables au cours de l'expérimentation.

JV1  
JV2





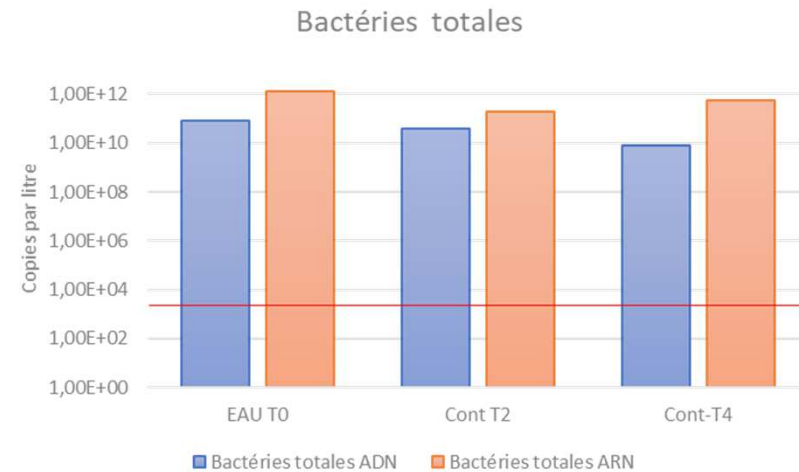
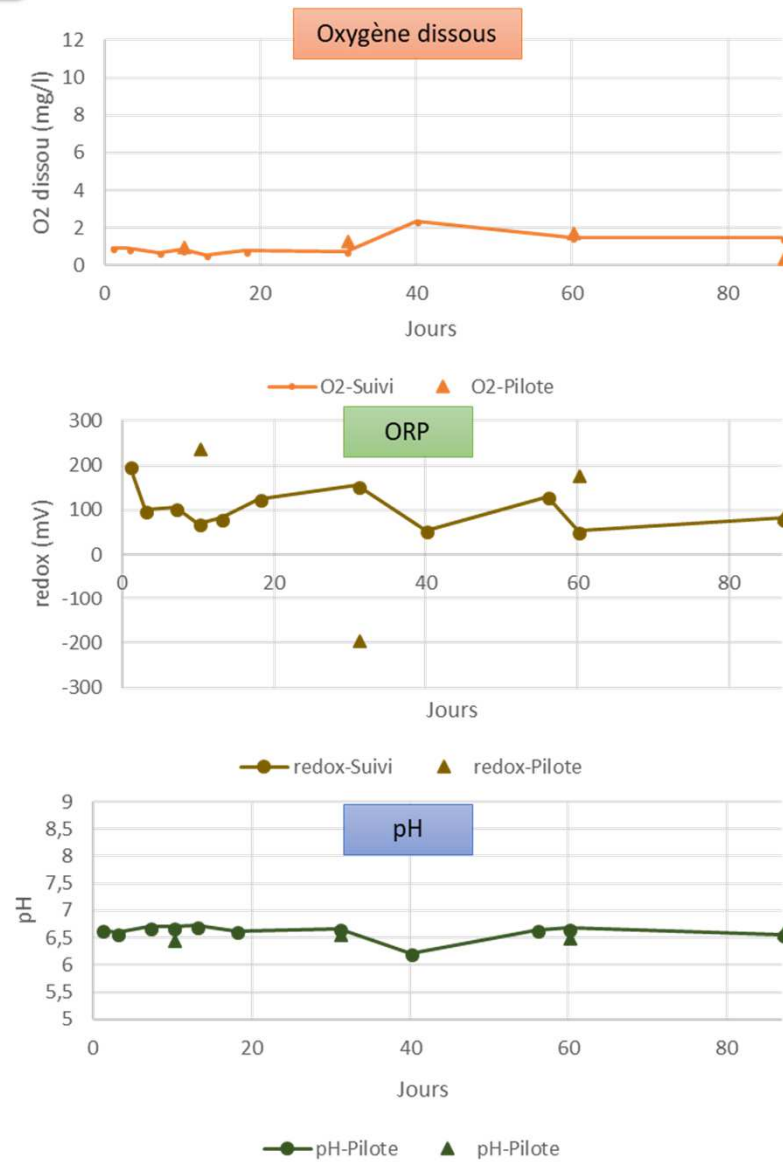
# Suivi de la dégradation des COHV: Contrôle



- Les gènes de la dégradation des COHV sont présents mais décroissent au cours du temps.
- La somme des chloroéthylènes apparaît stable.

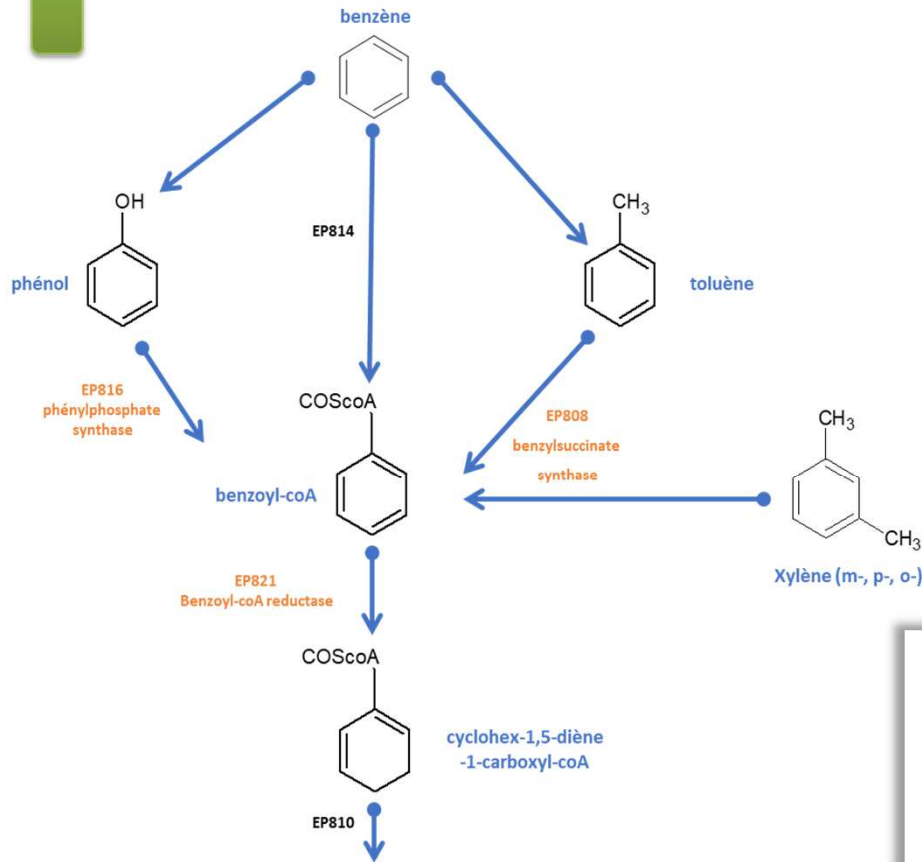


## Suivi physicochimique et biologique (Bact. Tot.): Série Contrôle



- Les paramètres physicochimiques indiquent une anaérobiose dès le démarrage du pilote. Ces paramètres physicochimiques évoluent peu au cours du temps.
- La densité et l'activité bactérienne totale sont stable au cours du temps.

# Suivi par biologie moléculaire : Dégradation des BTEX



## Métabolisme général

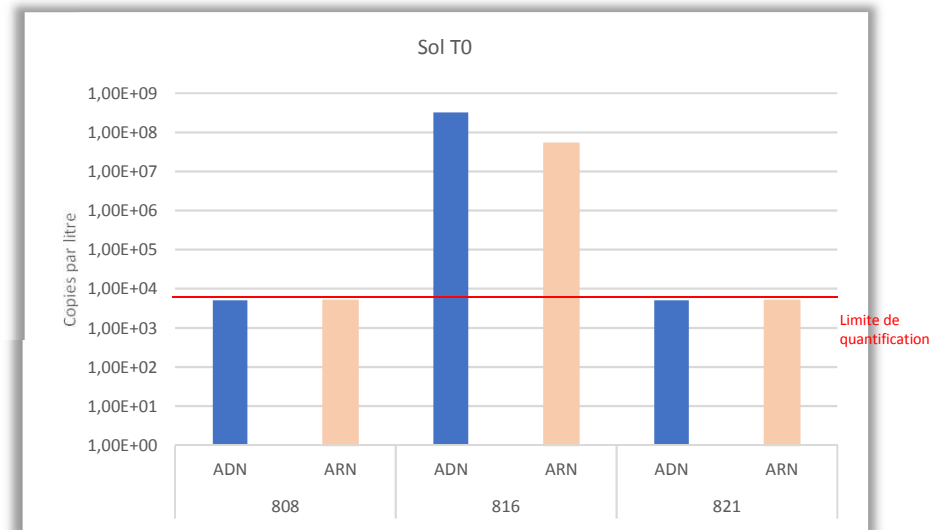
Voie de la dégradation des BTEX en conditions anaérobies

Les 3 biomarqueurs sont présents.  
Seul le biomarqueurs EP816 est présents en forte densité.

Les 3 biomarqueurs sont sélectionnés après la réalisation d'un crible de 10 gènes.  
Ces gènes sont sélectionnés en se basant sur une appréciation semi-quantitative et sur l'intérêt du biomarqueur dans la voie de dégradation.

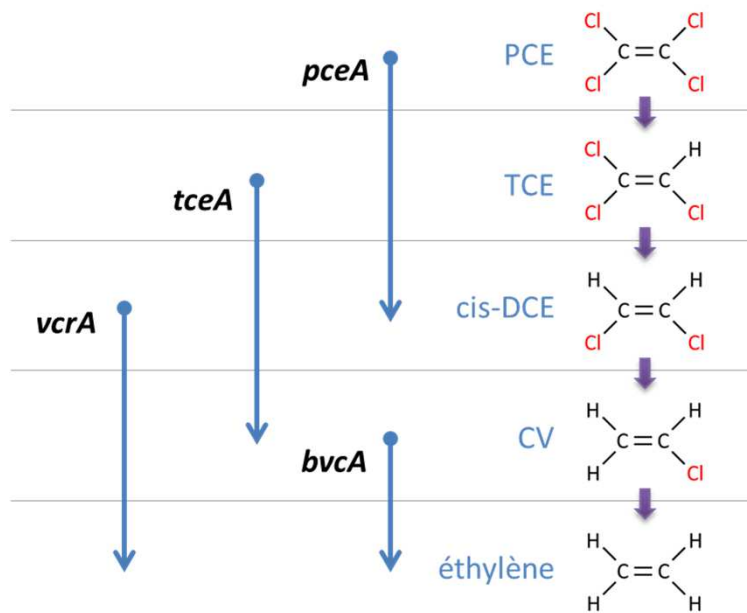
Dans cette étude les biomarqueurs sélectionnés sont:

- EP808
- EP816
- EP821

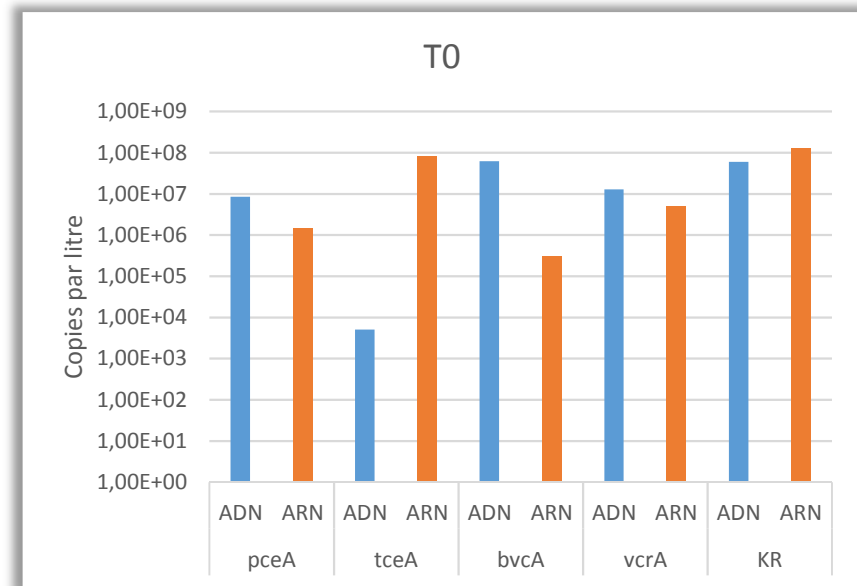


## Suivi par biologie moléculaire : Dégradation des solvants chlorés

- 4 gènes/biomarqueurs sont suivis pour caractériser la voie.
- Le genre *Dehalococcoides* est impliqué dans les deux dernières étapes. Il est donc également suivi (Biomarqueur KR).



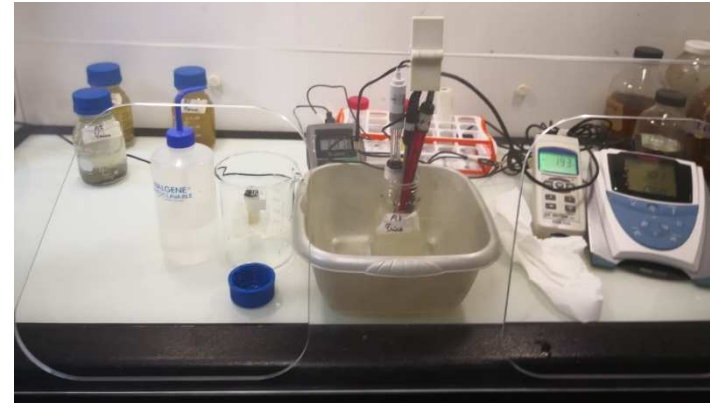
Voie de la dégradation des chloroéthènes en conditions anaérobies



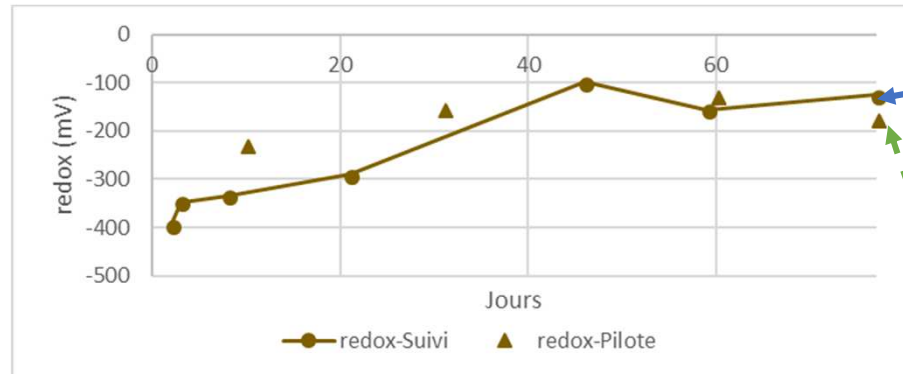
La voie de dégradation est complète et active sur le site.

## Suivi physicochimique: mise en place

En parallèle de chaque série, des microcosmes de 300 ml ont été préparés afin d'effectuer un suivi physicochimique.



Dispositif de mesure du pH, de l'oxygène dissous et du potentiel redox



Suivi physicochimique effectué sur les bouteilles de 300 ml

Mesure effectuée sur les microcosmes pilote lors des points de suivi

Exemple: Suivi du redox pour une condition

## Mise en place des pilotes



*Microcosmes mis en place  
Conditions Cont, A1, A2 B1 et B2*

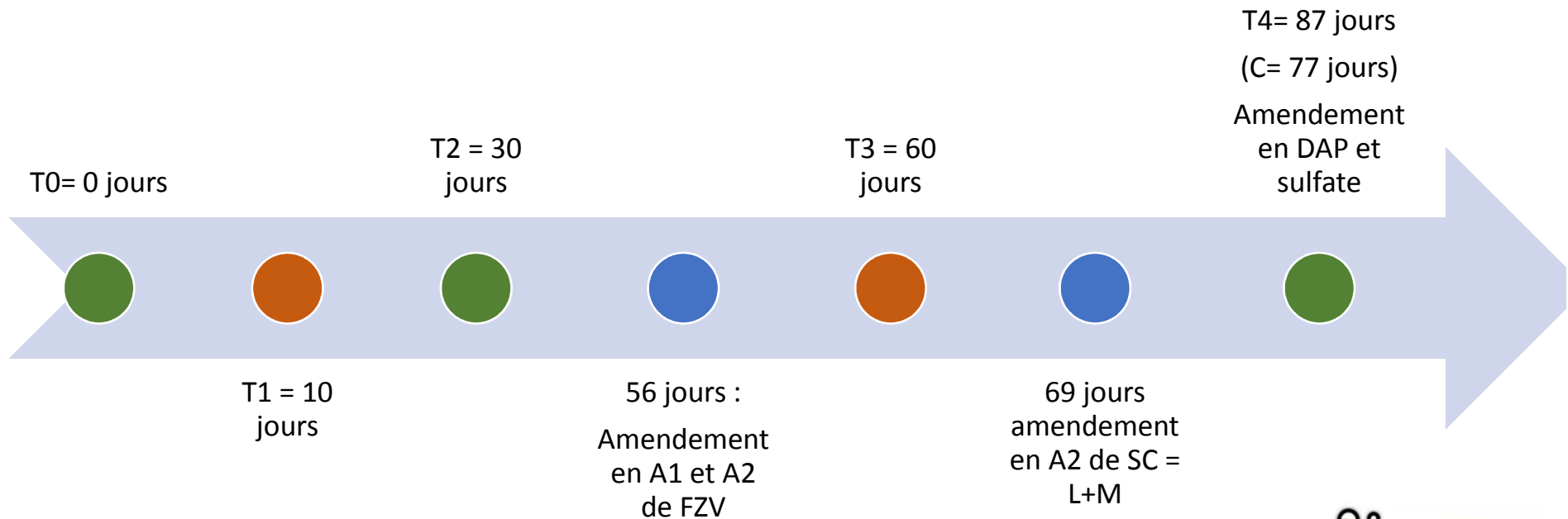


*Incubation à l'abri de la lumière,  
à température ambiante (~ 20°C)*



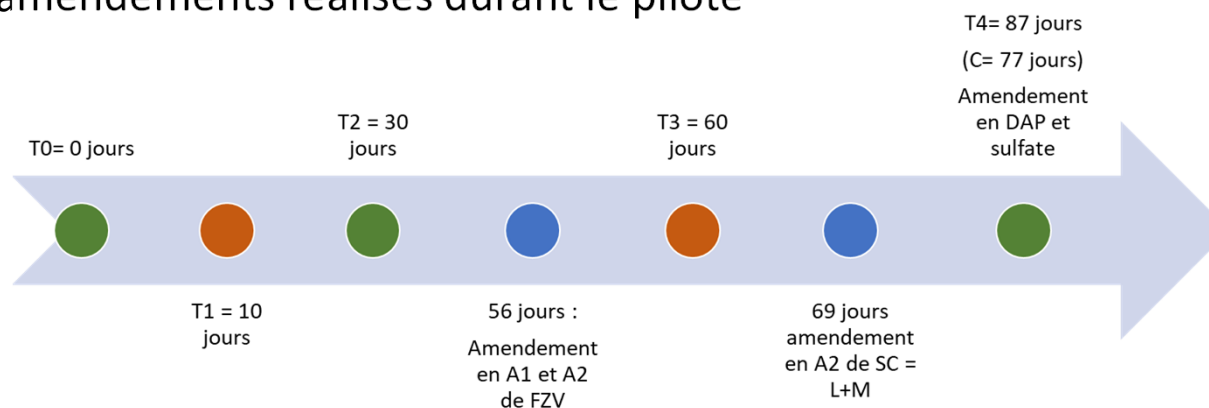
| Conditions<br>Cont, A et B | Point de prélèvement | Date       | Jours | Analyses | Programme analytique |
|----------------------------|----------------------|------------|-------|----------|----------------------|
|                            | T0                   | 06/04/2018 | 0     | C/BM     | Complet              |
|                            | T1                   | 16/04/2018 | 10    | C        | réduit               |
|                            | T2                   | 06/05/2018 | 30    | C/BM     | Complet              |
|                            | T3                   | 05/06/2018 | 60    | C        | réduit               |
|                            | T4                   | 02/07/2018 | 87    | C/BM     | Complet              |
|                            | T5                   | 04/08/2018 | 120   | C        | réduit               |

| Condition<br>C | Point de prélèvement | Date       | Jours | Analyses | Programme analytique |
|----------------|----------------------|------------|-------|----------|----------------------|
|                | T0                   | 16/04/2018 | 0     | C/BM     | Complet              |
|                | T1                   | 26/04/2018 | 10    | C        | réduit               |
|                | T2                   | 16/05/2018 | 30    | C/BM     | Complet              |
|                | T3                   | 15/06/2018 | 60    | C        | réduit               |
|                | T4                   | 02/07/2018 | 77    | C/BM     | Complet              |
|                | T5                   | 14/08/2018 | 120   | C        | réduit               |





# Détails des amendements réalisés durant le pilote



## Concentrations cibles :

|  | 0 jours           |   |   | 56 jours |   |   | 69 jours |   |   | 95 jours (C: 85 jours) |   |   |              |   |   |
|--|-------------------|---|---|----------|---|---|----------|---|---|------------------------|---|---|--------------|---|---|
|  | SC (L+M ou L+M+H) |   |   | FZV      |   |   | EHC      |   |   | DAP (mg/L)             |   |   | FeSO4 (mg/L) |   |   |
| Contrôle                               | #                 | # | # | #        | # | # | #        | # | # | #                      | # | # | #            | # | # |
| Condition A1: FZV                      | #                 | # | # | 0,0035   | # | # | 0,02     | # | # | #                      | # | # | 500          | # | # |
| Condition A2: FZV + SC: L+M (69 jours) | #                 | # | # | 0,0035   | # | # | 0,02     | # | # | 0,003                  | # | # | 500          | # | # |
| Condition B1: SC: L+M                  | 0,003             | # | # | #        | # | # | #        | # | # | #                      | # | # | 500          | # | # |
| Condition B2: SC+L+M+H                 | 0,003             | # | # | #        | # | # | #        | # | # | #                      | # | # | 500          | # | # |
| Condition C: EHC                       | #                 | # | # | #        | # | # | 0,02     | # | # | #                      | # | # | 500          | # | # |

## Amendements réels:

|  | 0 jours          |      |      |                     |      |      |            |      |      | 56 jours   |      |      | 69 jours   |      |      | 95 jours         |      |      |            |      |      |              |      |      |
|--|------------------|------|------|---------------------|------|------|------------|------|------|------------|------|------|------------|------|------|------------------|------|------|------------|------|------|--------------|------|------|
|  | SC = L+M (en ml) |      |      | SC = L+M+HS (en ml) |      |      | FZV (en g) |      |      | EHC (en g) |      |      | FZV (en g) |      |      | SC = L+M (en ml) |      |      | DAP (en g) |      |      | FeSO4 (en g) |      |      |
|  | 0,3L             | 1,5L | 2,5L | 0,3L                | 1,5L | 2,5L | 0,3L       | 1,5L | 2,5L | 0,3L       | 1,5L | 2,5L | 0,3L       | 1,5L | 2,5L | 0,3L             | 1,5L | 2,5L | 0,3L       | 1,5L | 2,5L | 0,3L         | 1,5L | 2,5L |
| Contrôle                               | #                | #    | #    | #                   | #    | #    | #          | #    | #    | #          | #    | #    | #          | #    | #    | #                | #    | #    | #          | #    | #    | #            | #    | #    |
| Condition A1: FZV                      | #                | #    | #    | #                   | #    | #    | 1          | 5    | 8,5  | #          | #    | #    | 6          | 20   | 30   | #                | #    | #    | 390        | 1950 | #    | 360          | #    | #    |
| Condition A2: FZV + SC: L+M (69 jours) | #                | #    | #    | #                   | #    | #    | 1          | 5    | 8,5  | #          | #    | #    | 6          | 20   | 30   | 1,5              | 5    | 8,5  | 390        | 1950 | #    | 360          | 1800 | #    |
| Condition B1: SC: L+M                  | 0,9              | 4,5  | 7,5  | 0,9                 | 4,5  | 7,5  | #          | #    | #    | #          | #    | #    | #          | #    | #    | #                | #    | #    | 390        | 1950 | #    | 360          | 1800 | #    |
| Condition B2: SC+L+M+H                 | 0,9              | 4,5  | 7,5  | 0,9                 | 4,5  | 7,5  | #          | #    | #    | #          | #    | #    | #          | #    | #    | #                | #    | #    | 390        | 1950 | #    | 450          | 2250 | #    |
| Condition C: EHC                       | #                | #    | #    | #                   | #    | #    | #          | #    | #    | 6          | 30   | 50   | #          | #    | #    | #                | #    | #    | 390        | 1950 | #    | #            | #    | #    |



## Principes généraux et calendriers des pilote

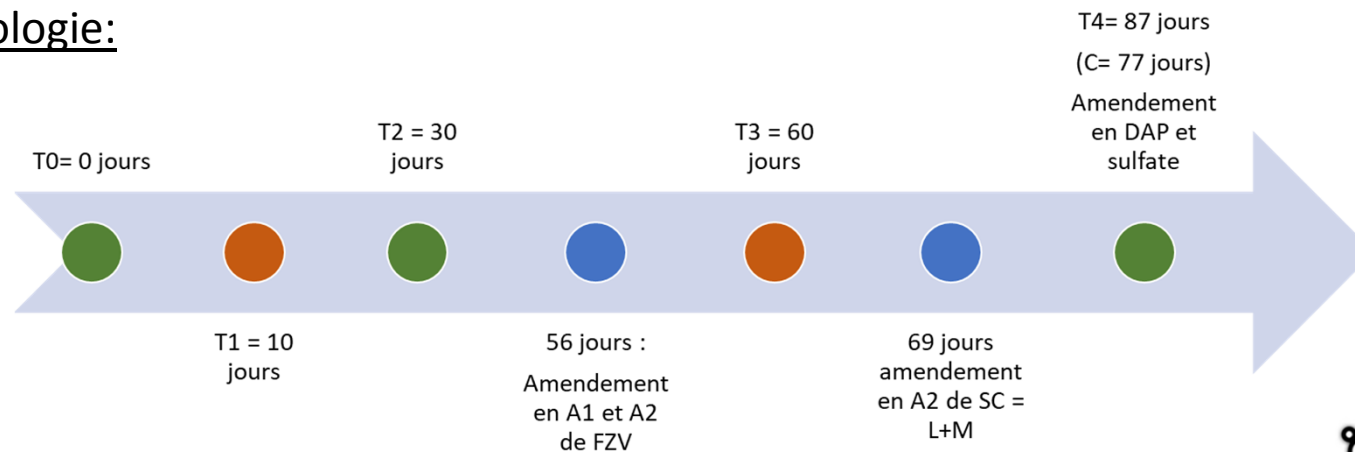
### Contexte:

Dans le cadre d'une étude de faisabilité d'un traitement d'une nappe phréatique impactée par des solvants chlorés et BTEX, ENOVEO est consulté pour la réalisation d'un pilote laboratoire visant à évaluer un traitement par réduction chimique et biodégradation anaérobie.

### 6 conditions test:

- **Contrôle**
- **Condition A1:** FZV (Fer zéro-valent)
- **Condition A2:** FZV + (suivant les résultats de B1 et B2) ajout de la source de carbone (LM) après T3
- **Condition B1:** Source de carbone : lactate + mélasse (LM)
- **Condition B2:** Source de carbone lactate + mélasse + huile de soja (LMS)
- **Condition C:** Amendement d'une formulation commerciale => EHC (en décalé en raison de la fourniture de l'EHC)

### Chronologie:



N° Projet | **ENOVERAP016-1802**  
Devis | ENO1802-022v2  
Contact | *Cédric Malandain*  
06.18.00.67.59 | c.malandain@enoveo.com

**GINGER-BURGEAP** | Jacques Villemagne  
27, rue de Vanves  
92772 Boulogne Billancourt  
j.villemagne@groupeginger.com



## Pilotes de dégradation des solvants chlorés par réduction chimique et biodégradation anaérobie



**ENOVEO**

7 place Antonin Poncet  
Lyon, France

[www.enoveo.com](http://www.enoveo.com)

## **Annexe 6. Bordereaux des analyses d'eau lors de l'EMP**

## AL-West B.V.

Dortmundstraat 16B, 7418 BH Deventer, the Netherlands  
Postbus 693, 7400 AR Deventer  
Tel. +31(0)570 788110, Fax +31(0)570 788108  
e-Mail: info@al-west.nl, www.al-west.nl

Date 07.06.2018  
N° Client 35004100

### RAPPORT D'ANALYSES 772210 - 561376



AL-West B.V. Melle Mylène Magnenet, Tel. +33/380680156

Les paramètres indiqués dans ce document sont accrédités selon ISO/IEC 17025 :2005. Seuls les paramètres non accrédités sont signalés par le symbole « \* ».

# AL-West B.V.

Dortmundstraat 16B, 7418 BH Deventer, the Netherlands  
Postbus 693, 7400 AR Deventer  
Tel. +31(0)570 788110, Fax +31(0)570 788108  
e-Mail: info@al-west.nl, www.al-west.nl

BURGEAP (PARIS 92)  
Monsieur Mathieu OUGIER  
27 RUE DE VANVES  
92772 BOULOGNE BILLANCOURT  
FRANCE

Date 07.06.2018

N° Client 35004100

## RAPPORT D'ANALYSES 772210 - 561376

N° Cde **772210 BC18-2725 / CESISO180888 / Mur à pêches / AKR-MO**  
N° échant. **561376 Eau**  
Date de validation **04.06.2018**  
Prélèvement **30.05.2018**  
Prélèvement par: **Client**  
Spécification des échantillons **Pz3E - Sortie filtre CA**

Unité Résultat Méthode

### Composés aromatiques

|                      | Unité | Résultat    | Méthode                   |
|----------------------|-------|-------------|---------------------------|
| Benzène              | µg/l  | <0,2        | Conforme à EN-ISO 11423-1 |
| Toluène              | µg/l  | <0,5        | Conforme à EN-ISO 11423-1 |
| Ethylbenzène         | µg/l  | <0,5        | Conforme à EN-ISO 11423-1 |
| <i>m,p</i> -Xylène   | µg/l  | <0,2        | Conforme à EN-ISO 11423-1 |
| <i>o</i> -Xylène     | µg/l  | <0,50       | Conforme à EN-ISO 11423-1 |
| <b>Somme Xylènes</b> | µg/l  | <b>n.d.</b> | Conforme à EN-ISO 11423-1 |

### COHV

|  | Unité | Résultat    | Méthode  |
|--|-------|-------------|--|
| Dichlorométhane                              | µg/l  | <0,5        | Conforme à EN-ISO 10301  |
| Tétrachlorométhane                           | µg/l  | <0,1        | Conforme à EN-ISO 10301  |
| Trichlorométhane                             | µg/l  | <0,5        | Conforme à EN-ISO 10301  |
| 1,1-Dichloroéthane                           | µg/l  | <0,5        | Conforme à EN-ISO 10301  |
| 1,2-Dichloroéthane                           | µg/l  | <0,5        | Conforme à EN-ISO 10301  |
| 1,1,1-Trichloroéthane                        | µg/l  | <0,5        | Conforme à EN-ISO 10301  |
| 1,1,2-Trichloroéthane                        | µg/l  | <0,5        | Conforme à EN-ISO 10301  |
| 1,1-Dichloroéthylène                         | µg/l  | <0,1        | Conforme à EN-ISO 10301  |
| Chlorure de Vinyle                           | µg/l  | <0,2        | Méthode interne (mesurage conforme à EN-ISO 10304 et conforme à ISO 11423-1) |
| <i>cis</i> -1,2-Dichloroéthène               | µg/l  | <0,50       | Conforme à EN-ISO 10301  |
| <i>Trans</i> -1,2-Dichloroéthylène           | µg/l  | <0,50       | Conforme à EN-ISO 10301  |
| <b>Somme cis/trans-1,2-Dichloroéthylènes</b> | µg/l  | <b>n.d.</b> | Conforme à EN-ISO 10301  |
| Trichloroéthylène                            | µg/l  | <0,5        | Conforme à EN-ISO 10301  |
| Tétrachloroéthylène                          | µg/l  | 3,4         | Conforme à EN-ISO 10301  |

Explication: dans la colonne de résultats "<" signifie inférieur à la limite de quantification; n.d. signifie non déterminé.  
Les détails concernant l'incertitude de mesure seront fournis sur demande.

Début des analyses: 04.06.2018

Fin des analyses: 07.06.2018

Les résultats d'analyses ne concernent que ces échantillons soumis à essai. La qualité du résultat rendu est contrôlée et validée, mais la pertinence en est difficilement vérifiable car le laboratoire n'a pas connaissance du contexte du site, de l'historique de l'échantillon.

Les paramètres indiqués dans ce document sont accrédités selon ISO/IEC 17025 :2005. Seuls les paramètres non accrédités sont signalés par le symbole « \* ».

## AL-West B.V.

Dortmundstraat 16B, 7418 BH Deventer, the Netherlands  
Postbus 693, 7400 AR Deventer  
Tel. +31(0)570 788110, Fax +31(0)570 788108  
e-Mail: info@al-west.nl, www.al-west.nl

Date 07.06.2018  
N° Client 35004100

### RAPPORT D'ANALYSES 772210 - 561375



AL-West B.V. Melle Mylène Magnenet, Tel. +33/380680156

Les paramètres indiqués dans ce document sont accrédités selon ISO/IEC 17025 :2005. Seuls les paramètres non accrédités sont signalés par le symbole « \* ».

Kamer van Koophandel    Directeur  
Nr. 08110898            ppa. Marc van Gelder  
VAT/BTW-ID-Nr.:        Dr. Paul Wimmer  
NL 811132559 B01



# AL-West B.V.

Dortmundstraat 16B, 7418 BH Deventer, the Netherlands  
Postbus 693, 7400 AR Deventer  
Tel. +31(0)570 788110, Fax +31(0)570 788108  
e-Mail: info@al-west.nl, www.al-west.nl

BURGEAP (PARIS 92)  
Monsieur Mathieu OUGIER  
27 RUE DE VANVES  
92772 BOULOGNE BILLANCOURT  
FRANCE

Date 07.06.2018

N° Client 35004100

## RAPPORT D'ANALYSES 772210 - 561375

N° Cde **772210 BC18-2725 / CESISO180888 / Mur à pêches / AKR-MO**  
N° échant. **561375 Eau**  
Date de validation **04.06.2018**  
Prélèvement **30.05.2018**  
Prélèvement par: **Client**  
Spécification des échantillons **Pz3E - Entrée filtre CA**

Unité Résultat Méthode

### Composés aromatiques

|                      | Unité | Résultat                 | Méthode                   |
|----------------------|-------|--------------------------|---------------------------|
| Benzène              | µg/l  | <200 <sup>hb)</sup>      | Conforme à EN-ISO 11423-1 |
| Toluène              | µg/l  | <500 <sup>hb)</sup>      | Conforme à EN-ISO 11423-1 |
| Ethylbenzène         | µg/l  | <500 <sup>hb)</sup>      | Conforme à EN-ISO 11423-1 |
| <i>m,p</i> -Xylène   | µg/l  | 1000                     | Conforme à EN-ISO 11423-1 |
| <i>o</i> -Xylène     | µg/l  | <500 <sup>hb)</sup>      | Conforme à EN-ISO 11423-1 |
| <b>Somme Xylènes</b> | µg/l  | <b>1000<sup>x)</sup></b> | Conforme à EN-ISO 11423-1 |

### COHV

|  | Unité | Résultat                 | Méthode  |
|--|-------|--------------------------|--|
| Dichlorométhane                              | µg/l  | <500 <sup>hb)</sup>      | Conforme à EN-ISO 10301  |
| Tétrachlorométhane                           | µg/l  | <100 <sup>hb)</sup>      | Conforme à EN-ISO 10301  |
| Trichlorométhane                             | µg/l  | <500 <sup>hb)</sup>      | Conforme à EN-ISO 10301  |
| 1,1-Dichloroéthane                           | µg/l  | <500 <sup>hb)</sup>      | Conforme à EN-ISO 10301  |
| 1,2-Dichloroéthane                           | µg/l  | <500 <sup>hb)</sup>      | Conforme à EN-ISO 10301  |
| 1,1,1-Trichloroéthane                        | µg/l  | <500 <sup>hb)</sup>      | Conforme à EN-ISO 10301  |
| 1,1,2-Trichloroéthane                        | µg/l  | <500 <sup>hb)</sup>      | Conforme à EN-ISO 10301  |
| 1,1-Dichloroéthylène                         | µg/l  | <100 <sup>hb)</sup>      | Conforme à EN-ISO 10301  |
| Chlorure de Vinyle                           | µg/l  | 430                      | Méthode interne (mesurage conforme à EN-ISO 10304 et conforme à ISO 11423-1) |
| <i>cis</i> -1,2-Dichloroéthène               | µg/l  | 8100                     | Conforme à EN-ISO 10301  |
| <i>Trans</i> -1,2-Dichloroéthylène           | µg/l  | <500 <sup>hb)</sup>      | Conforme à EN-ISO 10301  |
| <b>Somme cis/trans-1,2-Dichloroéthylènes</b> | µg/l  | <b>8100<sup>x)</sup></b> | Conforme à EN-ISO 10301  |
| Trichloroéthylène                            | µg/l  | 5300                     | Conforme à EN-ISO 10301  |
| Tétrachloroéthylène                          | µg/l  | 37000                    | Conforme à EN-ISO 10301  |

x) Les résultats ne tiennent pas compte des teneurs en dessous des seuils de quantification.

hb) Les limites de détection/quantification ont été augmentées à cause de fortes teneurs en composés individuels, n' autorisant pas de mesures sans dilution.

Explication: dans la colonne de résultats "<" signifie inférieur à la limite de quantification; n.d. signifie non déterminé.

Les détails concernant l'incertitude de mesure seront fournis sur demande.

Début des analyses: 04.06.2018

Fin des analyses: 07.06.2018

Les résultats d'analyses ne concernent que ces échantillons soumis à essai. La qualité du résultat rendu est contrôlée et validée, mais la pertinence en est difficilement vérifiable car le laboratoire n'a pas connaissance du contexte du site, de l'historique de l'échantillon.

Les paramètres indiqués dans ce document sont accrédités selon ISO/IEC 17025 :2005. Seuls les paramètres non accrédités sont signalés par le symbole « \* ».

## **Annexe 7.**

# **Bordereaux des analyses d'air lors de l'EMP**

# AL-West B.V.

Dortmundstraat 16B, 7418 BH Deventer, the Netherlands  
Postbus 693, 7400 AR Deventer  
Tel. +31(0)570 788110, Fax +31(0)570 788108  
e-Mail: info@al-west.nl, www.al-west.nl

Date 12.06.2018  
N° Client 35004100

## RAPPORT D'ANALYSES 773655 - 569513

|   | Unité   | Résultat | Limit d. Quant. | Incert. Résultat % | Méthode         |
|---|---------|----------|-----------------|--------------------|-----------------|
| * Hydrocarbures aromatiques >C10-C12 (tube) | µg/tube | <2,0     | 2               |                    | Méthode interne |
| * Hydrocarbures aromatiques >C12-C16 (tube) | µg/tube | <2,0     | 2               |                    | Méthode interne |

Explication: dans la colonne de résultats "<" signifie inférieur à la limite de quantification; n.d. signifie non déterminé.

L'incertitude étendue et combinée donnée dans le rapport ci-dessus est généralement calculée selon les prescriptions du "Guide de l'expression des incertitudes de mesure" (GUM, JCGM 100: 2008), spécifié dans le Rapport Nordtest TR 537. Le facteur d'élargissement  $k = 2$  correspond au niveau de confiance de 95% (intervalle de confiance). Les incertitudes rapportées sont valables pour différentes matrices et différentes concentrations. Certains échantillons très spécifiques peuvent néanmoins occasionner une incertitude de mesure différente de celle donnée ci-dessus.

Les détails concernant l'incertitude de mesure seront fournis sur demande.

Début des analyses: 07.06.2018

Fin des analyses: 12.06.2018

Les résultats d'analyses ne concernent que ces échantillons soumis à essai. La qualité du résultat rendu est contrôlée et validée, mais la pertinence en est difficilement vérifiable car le laboratoire n'a pas connaissance du contexte du site, de l'historique de l'échantillon.



AL-West B.V. Melle Mylène Magnenet, Tel. +33/380680156

Les paramètres indiqués dans ce document sont accrédités selon ISO/IEC 17025 :2005. Seuls les paramètres non accrédités sont signalés par le symbole « \* ».

# AL-West B.V.

Dortmundstraat 16B, 7418 BH Deventer, the Netherlands  
Postbus 693, 7400 AR Deventer  
Tel. +31(0)570 788110, Fax +31(0)570 788108  
e-Mail: info@al-west.nl, www.al-west.nl



# AGROLAB GROUP

Your labs. Your service.

BURGEAP (PARIS 92)  
Monsieur Mathieu OUGIER  
27 RUE DE VANVES  
92772 BOULOGNE BILLANCOURT  
FRANCE

Date 12.06.2018

N° Client 35004100

## RAPPORT D'ANALYSES 773655 - 569513

N° Cde 773655 2018/05/30 - B18-2802 - MO/CACH - Prélèvements venting 2  
N° échant. 569513 Air  
Date de validation 07.06.2018  
Prélèvement 31.05.2018  
Prélèvement par: Client  
Spécification des échantillons EMP - Pz4 - Tf (1min) - ZC

| Unité | Résultat | Limit d. Quant. | Incert. Résultat % | Méthode |
|-------|----------|-----------------|--------------------|---------|
|-------|----------|-----------------|--------------------|---------|

### Composés aromatiques

|                           |         |       |      |  |                 |
|---------------------------|---------|-------|------|--|-----------------|
| Naphtalène (tube)         | µg/tube | <0,10 | 0,1  |  | Méthode interne |
| Benzène (tube)            | µg/tube | <0,05 | 0,05 |  | Méthode interne |
| Toluène (tube)            | µg/tube | <0,10 | 0,1  |  | Méthode interne |
| Ethylbenzène (tube)       | µg/tube | <0,10 | 0,1  |  | Méthode interne |
| <i>m,p</i> -Xylène (tube) | µg/tube | <0,10 | 0,1  |  | Méthode interne |
| <i>o</i> -Xylène (tube)   | µg/tube | <0,10 | 0,1  |  | Méthode interne |
| Somme Xylènes (tube)      | µg/tube | n.d.  |      |  | Méthode interne |

### COHV

|  |         |       |      |  |                 |
|--|---------|-------|------|--|-----------------|
| 1,1-Dichloroéthène (tube)                    | µg/tube | <0,10 | 0,1  |  | Méthode interne |
| Chlorure de Vinyle (tube)                    | µg/tube | <0,10 | 0,1  |  | Méthode interne |
| Somme cis/trans-1,2-Dichloroéthylènes (tube) | µg/tube | n.d.  |      |  | Méthode interne |
| Dichlorométhane (tube)                       | µg/tube | <0,25 | 0,25 |  | Méthode interne |
| <i>Trans</i> -1,2-Dichloroéthylène (tube) *  | µg/tube | <0,20 | 0,2  |  | Méthode interne |
| 1,1-Dichloroéthane (tube)                    | µg/tube | <0,20 | 0,2  |  | Méthode interne |
| <i>cis</i> -1,2-Dichloroéthène (tube)        | µg/tube | <0,20 | 0,2  |  | Méthode interne |
| Trichlorométhane (tube)                      | µg/tube | <0,20 | 0,2  |  | Méthode interne |
| 1,2-Dichloroéthane (tube)                    | µg/tube | <0,20 | 0,2  |  | Méthode interne |
| 1,1,1-Trichloroéthane (tube)                 | µg/tube | <0,20 | 0,2  |  | Méthode interne |
| Tétrachlorométhane (tube)                    | µg/tube | <0,20 | 0,2  |  | Méthode interne |
| Trichloroéthylène (tube)                     | µg/tube | <0,05 | 0,05 |  | Méthode interne |
| 1,1,2-Trichloroéthane (tube)                 | µg/tube | <0,20 | 0,2  |  | Méthode interne |
| Tétrachloroéthylène (tube)                   | µg/tube | <0,20 | 0,2  |  | Méthode interne |

### TPH

|  |         |        |      |  |                 |
|--|---------|--------|------|--|-----------------|
| Somme Hydrocarbures aliphatiques (tube) *    | µg/tube | n.d.   |      |  | Méthode interne |
| Somme Hydrocarbures aromatiques (tube) *     | µg/tube | n.d.   |      |  | Méthode interne |
| Hydrocarbures aliphatiques >C5-C6 (tube) *   | µg/tube | <2,0   | 2    |  | Méthode interne |
| Hydrocarbures aliphatiques >C6-C8 (tube) *   | µg/tube | <2,0   | 2    |  | Méthode interne |
| Hydrocarbures aliphatiques >C8-C10 (tube) *  | µg/tube | <2,0   | 2    |  | Méthode interne |
| Hydrocarbures aliphatiques >C10-C12 (tube) * | µg/tube | <2,0   | 2    |  | Méthode interne |
| Hydrocarbures aliphatiques >C12-C16 (tube) * | µg/tube | <2,0   | 2    |  | Méthode interne |
| Hydrocarbures aromatiques >C6-C7 (tube) *    | µg/tube | <0,050 | 0,05 |  | Méthode interne |
| Hydrocarbures aromatiques >C7-C8 (tube) *    | µg/tube | <0,10  | 0,1  |  | Méthode interne |
| Hydrocarbures aromatiques >C8-C10 (tube) *   | µg/tube | <2,0   | 2    |  | Méthode interne |

Les paramètres indiqués dans ce document sont accrédités selon ISO/IEC 17025 :2005. Seuls les paramètres non accrédités sont signalés par le symbole « \* ».

Kamer van Koophandel Directeur  
Nr. 08110898 ppa. Marc van Gelder  
VAT/BTW-ID-Nr.: Dr. Paul Wimmer  
NL 811132559 B01

# AL-West B.V.

Dortmundstraat 16B, 7418 BH Deventer, the Netherlands  
Postbus 693, 7400 AR Deventer  
Tel. +31(0)570 788110, Fax +31(0)570 788108  
e-Mail: info@al-west.nl, www.al-west.nl



# AGROLAB GROUP

Your labs. Your service.

Date 12.06.2018  
N° Client 35004100

## RAPPORT D'ANALYSES 773655 - 569512

|   | Unité   | Résultat | Limit d. Quant. | Incert. Résultat % | Méthode         |
|---|---------|----------|-----------------|--------------------|-----------------|
| * Hydrocarbures aromatiques >C10-C12 (tube) | µg/tube | <2,0     | 2               |                    | Méthode interne |
| * Hydrocarbures aromatiques >C12-C16 (tube) | µg/tube | <2,0     | 2               |                    | Méthode interne |

x) Les résultats ne tiennent pas compte des teneurs en dessous des seuils de quantification.

Explication: dans la colonne de résultats "<" signifie inférieur à la limite de quantification; n.d. signifie non déterminé.

L'incertitude étendue et combinée donnée dans le rapport ci-dessus est généralement calculée selon les prescriptions du "Guide de l'expression des incertitudes de mesure" (GUM, JCGM 100: 2008), spécifié dans le Rapport Nordtest TR 537. Le facteur d'élargissement  $k = 2$  correspond au niveau de confiance de 95% (intervalle de confiance). Les incertitudes rapportées sont valables pour différentes matrices et différentes concentrations. Certains échantillons très spécifiques peuvent néanmoins occasionner une incertitude de mesure différente de celle donnée ci-dessus.

Les détails concernant l'incertitude de mesure seront fournis sur demande.

Début des analyses: 07.06.2018

Fin des analyses: 12.06.2018

Les résultats d'analyses ne concernent que ces échantillons soumis à essai. La qualité du résultat rendu est contrôlée et validée, mais la pertinence en est difficilement vérifiable car le laboratoire n'a pas connaissance du contexte du site, de l'historique de l'échantillon.

AL-West B.V. Melle Mylène Magnenet, Tel. +33/380680156

Les paramètres indiqués dans ce document sont accrédités selon ISO/IEC 17025 :2005. Seuls les paramètres non accrédités sont signalés par le symbole « \* ».

# AL-West B.V.

Dortmundstraat 16B, 7418 BH Deventer, the Netherlands  
Postbus 693, 7400 AR Deventer  
Tel. +31(0)570 788110, Fax +31(0)570 788108  
e-Mail: info@al-west.nl, www.al-west.nl



# AGROLAB GROUP

Your labs. Your service.

BURGEAP (PARIS 92)  
Monsieur Mathieu OUGIER  
27 RUE DE VANVES  
92772 BOULOGNE BILLANCOURT  
FRANCE

Date 12.06.2018

N° Client 35004100

## RAPPORT D'ANALYSES 773655 - 569512

N° Cde 773655 2018/05/30 - B18-2802 - MO/CACH - Prélèvements venting 2  
N° échant. 569512 Air  
Date de validation 07.06.2018  
Prélèvement 31.05.2018  
Prélèvement par: Client  
Spécification des échantillons EMP - Pz4 - Tf (1min) - ZM

| Unité | Résultat | Limit d. Quant. | Incert. Résultat % | Méthode |
|-------|----------|-----------------|--------------------|---------|
|-------|----------|-----------------|--------------------|---------|

### Composés aromatiques

|                           |         |       |      |        |                 |
|---------------------------|---------|-------|------|--------|-----------------|
| Naphtalène (tube)         | µg/tube | <0,10 | 0,1  |        | Méthode interne |
| Benzène (tube)            | µg/tube | 15,8  | 0,05 | +/- 13 | Méthode interne |
| Toluène (tube)            | µg/tube | 18,9  | 0,1  | +/- 20 | Méthode interne |
| Ethylbenzène (tube)       | µg/tube | 2,2   | 0,1  | +/- 24 | Méthode interne |
| <i>m,p</i> -Xylène (tube) | µg/tube | 16,8  | 0,1  | +/- 28 | Méthode interne |
| <i>o</i> -Xylène (tube)   | µg/tube | 4,7   | 0,1  | +/- 25 | Méthode interne |
| Somme Xylènes (tube)      | µg/tube | 22    |      |        | Méthode interne |

### COHV

|  |         |       |      |        |                 |
|--|---------|-------|------|--------|-----------------|
| 1,1-Dichloroéthène (tube)                    | µg/tube | 0,23  | 0,1  | +/- 11 | Méthode interne |
| Chlorure de Vinyle (tube)                    | µg/tube | <0,10 | 0,1  |        | Méthode interne |
| Somme cis/trans-1,2-Dichloroéthylènes (tube) | µg/tube | 60    |      | +/- 11 | Méthode interne |
| Dichlorométhane (tube)                       | µg/tube | <0,25 | 0,25 |        | Méthode interne |
| <i>Trans</i> -1,2-Dichloroéthylène (tube) *  | µg/tube | 0,50  | 0,2  | +/- 10 | Méthode interne |
| 1,1-Dichloroéthane (tube)                    | µg/tube | <0,20 | 0,2  |        | Méthode interne |
| <i>cis</i> -1,2-Dichloroéthène (tube)        | µg/tube | 59,2  | 0,2  | +/- 10 | Méthode interne |
| Trichlorométhane (tube)                      | µg/tube | <0,20 | 0,2  |        | Méthode interne |
| 1,2-Dichloroéthane (tube)                    | µg/tube | <0,20 | 0,2  |        | Méthode interne |
| 1,1,1-Trichloroéthane (tube)                 | µg/tube | <0,20 | 0,2  |        | Méthode interne |
| Tétrachlorométhane (tube)                    | µg/tube | <0,20 | 0,2  |        | Méthode interne |
| Trichloroéthylène (tube)                     | µg/tube | 120   | 0,05 | +/- 10 | Méthode interne |
| 1,1,2-Trichloroéthane (tube)                 | µg/tube | <0,20 | 0,2  |        | Méthode interne |
| Tétrachloroéthylène (tube)                   | µg/tube | 340   | 0,2  | +/- 38 | Méthode interne |

### TPH

|  |         |                  |      |        |                 |
|--|---------|------------------|------|--------|-----------------|
| Somme Hydrocarbures aliphatiques (tube) *    | µg/tube | 17 <sup>x)</sup> |      | +/- 30 | Méthode interne |
| Somme Hydrocarbures aromatiques (tube) *     | µg/tube | 59 <sup>x)</sup> |      | +/- 30 | Méthode interne |
| Hydrocarbures aliphatiques >C5-C6 (tube) *   | µg/tube | <2,0             | 2    |        | Méthode interne |
| Hydrocarbures aliphatiques >C6-C8 (tube) *   | µg/tube | 7,7              | 2    | +/- 30 | Méthode interne |
| Hydrocarbures aliphatiques >C8-C10 (tube) *  | µg/tube | 4,8              | 2    | +/- 30 | Méthode interne |
| Hydrocarbures aliphatiques >C10-C12 (tube) * | µg/tube | <2,0             | 2    |        | Méthode interne |
| Hydrocarbures aliphatiques >C12-C16 (tube) * | µg/tube | 4,3              | 2    | +/- 30 | Méthode interne |
| Hydrocarbures aromatiques >C6-C7 (tube) *    | µg/tube | 16               | 0,05 | +/- 30 | Méthode interne |
| Hydrocarbures aromatiques >C7-C8 (tube) *    | µg/tube | 19               | 0,1  | +/- 30 | Méthode interne |
| Hydrocarbures aromatiques >C8-C10 (tube) *   | µg/tube | 24               | 2    | +/- 30 | Méthode interne |

Les paramètres indiqués dans ce document sont accrédités selon ISO/IEC 17025 :2005. Seuls les paramètres non accrédités sont signalés par le symbole « \* ».

Kamer van Koophandel Directeur  
Nr. 08110898 ppa. Marc van Gelder  
VAT/BTW-ID-Nr.: Dr. Paul Wimmer  
NL 811132559 B01

# AL-West B.V.

Dortmundstraat 16B, 7418 BH Deventer, the Netherlands  
Postbus 693, 7400 AR Deventer  
Tel. +31(0)570 788110, Fax +31(0)570 788108  
e-Mail: info@al-west.nl, www.al-west.nl



# AGROLAB GROUP

Your labs. Your service.

Date 12.06.2018  
N° Client 35004100

## RAPPORT D'ANALYSES 773655 - 569511

|   | Unité   | Résultat | Limit d. Quant. | Incert. Résultat % | Méthode         |
|---|---------|----------|-----------------|--------------------|-----------------|
| * Hydrocarbures aromatiques >C10-C12 (tube) | µg/tube | <2,0     | 2               |                    | Méthode interne |
| * Hydrocarbures aromatiques >C12-C16 (tube) | µg/tube | <2,0     | 2               |                    | Méthode interne |

Explication: dans la colonne de résultats "<" signifie inférieur à la limite de quantification; n.d. signifie non déterminé.

L'incertitude étendue et combinée donnée dans le rapport ci-dessus est généralement calculée selon les prescriptions du "Guide de l'expression des incertitudes de mesure" (GUM, JCGM 100: 2008), spécifié dans le Rapport Nordtest TR 537. Le facteur d'élargissement  $k = 2$  correspond au niveau de confiance de 95% (intervalle de confiance). Les incertitudes rapportées sont valables pour différentes matrices et différentes concentrations. Certains échantillons très spécifiques peuvent néanmoins occasionner une incertitude de mesure différente de celle donnée ci-dessus.

Les détails concernant l'incertitude de mesure seront fournis sur demande.

Début des analyses: 07.06.2018

Fin des analyses: 12.06.2018

Les résultats d'analyses ne concernent que ces échantillons soumis à essai. La qualité du résultat rendu est contrôlée et validée, mais la pertinence en est difficilement vérifiable car le laboratoire n'a pas connaissance du contexte du site, de l'historique de l'échantillon.

AL-West B.V. Melle Mylène Magnenet, Tel. +33/380680156

Les paramètres indiqués dans ce document sont accrédités selon ISO/IEC 17025 :2005. Seuls les paramètres non accrédités sont signalés par le symbole « \* ».



# AL-West B.V.

Dortmundstraat 16B, 7418 BH Deventer, the Netherlands  
Postbus 693, 7400 AR Deventer  
Tel. +31(0)570 788110, Fax +31(0)570 788108  
e-Mail: info@al-west.nl, www.al-west.nl



# AGROLAB GROUP

Your labs. Your service.

BURGEAP (PARIS 92)  
Monsieur Mathieu OUGIER  
27 RUE DE VANVES  
92772 BOULOGNE BILLANCOURT  
FRANCE

Date 12.06.2018

N° Client 35004100

## RAPPORT D'ANALYSES 773655 - 569511

N° Cde **773655 2018/05/30 - B18-2802 - MO/CACH - Prélèvements venting 2**  
N° échant. **569511 Air**  
Date de validation **07.06.2018**  
Prélèvement **31.05.2018**  
Prélèvement par: **Client**  
Spécification des échantillons **EMP - Pz4 - T0 (1min) - ZC**

| Unité | Résultat | Limit d. Quant. | Incert. Résultat % | Méthode |
|-------|----------|-----------------|--------------------|---------|
|-------|----------|-----------------|--------------------|---------|

### Composés aromatiques

|                             |         |             |      |  |                 |
|-----------------------------|---------|-------------|------|--|-----------------|
| Naphtalène (tube)           | µg/tube | <0,10       | 0,1  |  | Méthode interne |
| Benzène (tube)              | µg/tube | <0,05       | 0,05 |  | Méthode interne |
| Toluène (tube)              | µg/tube | <0,10       | 0,1  |  | Méthode interne |
| Ethylbenzène (tube)         | µg/tube | <0,10       | 0,1  |  | Méthode interne |
| <i>m,p</i> -Xylène (tube)   | µg/tube | <0,10       | 0,1  |  | Méthode interne |
| <i>o</i> -Xylène (tube)     | µg/tube | <0,10       | 0,1  |  | Méthode interne |
| <b>Somme Xylènes (tube)</b> | µg/tube | <b>n.d.</b> |      |  | Méthode interne |

### COHV

|   |         |             |      |  |                 |
|---|---------|-------------|------|--|-----------------|
| 1,1-Dichloroéthène (tube)                           | µg/tube | <0,10       | 0,1  |  | Méthode interne |
| Chlorure de Vinyle (tube)                           | µg/tube | <0,10       | 0,1  |  | Méthode interne |
| <b>Somme cis/trans-1,2-Dichloroéthylènes (tube)</b> | µg/tube | <b>n.d.</b> |      |  | Méthode interne |
| Dichlorométhane (tube)                              | µg/tube | <0,25       | 0,25 |  | Méthode interne |
| <i>Trans</i> -1,2-Dichloroéthylène (tube) *         | µg/tube | <0,20       | 0,2  |  | Méthode interne |
| 1,1-Dichloroéthane (tube)                           | µg/tube | <0,20       | 0,2  |  | Méthode interne |
| <i>cis</i> -1,2-Dichloroéthène (tube)               | µg/tube | <0,20       | 0,2  |  | Méthode interne |
| Trichlorométhane (tube)                             | µg/tube | <0,20       | 0,2  |  | Méthode interne |
| 1,2-Dichloroéthane (tube)                           | µg/tube | <0,20       | 0,2  |  | Méthode interne |
| 1,1,1-Trichloroéthane (tube)                        | µg/tube | <0,20       | 0,2  |  | Méthode interne |
| Tétrachlorométhane (tube)                           | µg/tube | <0,20       | 0,2  |  | Méthode interne |
| Trichloroéthylène (tube)                            | µg/tube | <0,05       | 0,05 |  | Méthode interne |
| 1,1,2-Trichloroéthane (tube)                        | µg/tube | <0,20       | 0,2  |  | Méthode interne |
| Tétrachloroéthylène (tube)                          | µg/tube | <0,20       | 0,2  |  | Méthode interne |

### TPH

|  |         |             |      |  |                 |
|--|---------|-------------|------|--|-----------------|
| <b>Somme Hydrocarbures aliphatiques (tube) *</b>       | µg/tube | <b>n.d.</b> |      |  | Méthode interne |
| <b>Somme Hydrocarbures aromatiques (tube) *</b>        | µg/tube | <b>n.d.</b> |      |  | Méthode interne |
| <i>Hydrocarbures aliphatiques &gt;C5-C6 (tube) *</i>   | µg/tube | <2,0        | 2    |  | Méthode interne |
| <i>Hydrocarbures aliphatiques &gt;C6-C8 (tube) *</i>   | µg/tube | <2,0        | 2    |  | Méthode interne |
| <i>Hydrocarbures aliphatiques &gt;C8-C10 (tube) *</i>  | µg/tube | <2,0        | 2    |  | Méthode interne |
| <i>Hydrocarbures aliphatiques &gt;C10-C12 (tube) *</i> | µg/tube | <2,0        | 2    |  | Méthode interne |
| <i>Hydrocarbures aliphatiques &gt;C12-C16 (tube) *</i> | µg/tube | <2,0        | 2    |  | Méthode interne |
| <i>Hydrocarbures aromatiques &gt;C6-C7 (tube) *</i>    | µg/tube | <0,050      | 0,05 |  | Méthode interne |
| <i>Hydrocarbures aromatiques &gt;C7-C8 (tube) *</i>    | µg/tube | <0,10       | 0,1  |  | Méthode interne |
| <i>Hydrocarbures aromatiques &gt;C8-C10 (tube) *</i>   | µg/tube | <2,0        | 2    |  | Méthode interne |

Les paramètres indiqués dans ce document sont accrédités selon ISO/IEC 17025 :2005. Seuls les paramètres non accrédités sont signalés par le symbole « \* ».

Kamer van Koophandel Directeur  
Nr. 08110898 ppa. Marc van Gelder  
VAT/BTW-ID-Nr.: Dr. Paul Wimmer  
NL 811132559 B01

# AL-West B.V.

Dortmundstraat 16B, 7418 BH Deventer, the Netherlands  
Postbus 693, 7400 AR Deventer  
Tel. +31(0)570 788110, Fax +31(0)570 788108  
e-Mail: info@al-west.nl, www.al-west.nl

Date 12.06.2018  
N° Client 35004100

## RAPPORT D'ANALYSES 773655 - 569510

|   | Unité   | Résultat | Limit d. Quant. | Incert. Résultat % | Méthode         |
|---|---------|----------|-----------------|--------------------|-----------------|
| * Hydrocarbures aromatiques >C10-C12 (tube) | µg/tube | <2,0     | 2               |                    | Méthode interne |
| * Hydrocarbures aromatiques >C12-C16 (tube) | µg/tube | <2,0     | 2               |                    | Méthode interne |

x) Les résultats ne tiennent pas compte des teneurs en dessous des seuils de quantification.

Explication: dans la colonne de résultats "<" signifie inférieur à la limite de quantification; n.d. signifie non déterminé.

L'incertitude étendue et combinée donnée dans le rapport ci-dessus est généralement calculée selon les prescriptions du "Guide de l'expression des incertitudes de mesure" (GUM, JCGM 100: 2008), spécifié dans le Rapport Nordtest TR 537. Le facteur d'élargissement  $k = 2$  correspond au niveau de confiance de 95% (intervalle de confiance). Les incertitudes rapportées sont valables pour différentes matrices et différentes concentrations. Certains échantillons très spécifiques peuvent néanmoins occasionner une incertitude de mesure différente de celle donnée ci-dessus.

Les détails concernant l'incertitude de mesure seront fournis sur demande.

Début des analyses: 07.06.2018

Fin des analyses: 12.06.2018

Les résultats d'analyses ne concernent que ces échantillons soumis à essai. La qualité du résultat rendu est contrôlée et validée, mais la pertinence en est difficilement vérifiable car le laboratoire n'a pas connaissance du contexte du site, de l'historique de l'échantillon.



AL-West B.V. Melle Mylène Magnenet, Tel. +33/380680156

Les paramètres indiqués dans ce document sont accrédités selon ISO/IEC 17025 :2005. Seuls les paramètres non accrédités sont signalés par le symbole « \* ».

# AL-West B.V.

Dortmundstraat 16B, 7418 BH Deventer, the Netherlands  
Postbus 693, 7400 AR Deventer  
Tel. +31(0)570 788110, Fax +31(0)570 788108  
e-Mail: info@al-west.nl, www.al-west.nl



# AGROLAB GROUP

Your labs. Your service.

BURGEAP (PARIS 92)  
Monsieur Mathieu OUGIER  
27 RUE DE VANVES  
92772 BOULOGNE BILLANCOURT  
FRANCE

Date 12.06.2018

N° Client 35004100

## RAPPORT D'ANALYSES 773655 - 569510

N° Cde **773655 2018/05/30 - B18-2802 - MO/CACH - Prélèvements venting 2**  
N° échant. **569510 Air**  
Date de validation **07.06.2018**  
Prélèvement **31.05.2018**  
Prélèvement par: **Client**  
Spécification des échantillons **EMP - Pz4 - T0 (1min) - ZM**

| Unité | Résultat | Limit d. Quant. | Incert. Résultat % | Méthode |
|-------|----------|-----------------|--------------------|---------|
|-------|----------|-----------------|--------------------|---------|

### Composés aromatiques

|                             |         |           |      |        |                 |
|-----------------------------|---------|-----------|------|--------|-----------------|
| Naphtalène (tube)           | µg/tube | <0,10     | 0,1  |        | Méthode interne |
| Benzène (tube)              | µg/tube | 37,8      | 0,05 | +/- 13 | Méthode interne |
| Toluène (tube)              | µg/tube | 36,6      | 0,1  | +/- 20 | Méthode interne |
| Ethylbenzène (tube)         | µg/tube | 3,2       | 0,1  | +/- 24 | Méthode interne |
| <i>m,p</i> -Xylène (tube)   | µg/tube | 25,0      | 0,1  | +/- 28 | Méthode interne |
| <i>o</i> -Xylène (tube)     | µg/tube | 6,9       | 0,1  | +/- 25 | Méthode interne |
| <b>Somme Xylènes (tube)</b> | µg/tube | <b>32</b> |      |        | Méthode interne |

### COHV

|   |         |            |      |        |                 |
|---|---------|------------|------|--------|-----------------|
| 1,1-Dichloroéthène (tube)                           | µg/tube | 0,63       | 0,1  | +/- 11 | Méthode interne |
| Chlorure de Vinyle (tube)                           | µg/tube | 0,33       | 0,1  | +/- 30 | Méthode interne |
| <b>Somme cis/trans-1,2-Dichloroéthylènes (tube)</b> | µg/tube | <b>170</b> |      | +/- 11 | Méthode interne |
| Dichlorométhane (tube)                              | µg/tube | <0,25      | 0,25 |        | Méthode interne |
| <i>Trans</i> -1,2-Dichloroéthylène (tube) *         | µg/tube | 1,3        | 0,2  | +/- 10 | Méthode interne |
| 1,1-Dichloroéthane (tube)                           | µg/tube | <0,20      | 0,2  |        | Méthode interne |
| <i>cis</i> -1,2-Dichloroéthène (tube)               | µg/tube | 170        | 0,2  | +/- 10 | Méthode interne |
| Trichlorométhane (tube)                             | µg/tube | <0,20      | 0,2  |        | Méthode interne |
| 1,2-Dichloroéthane (tube)                           | µg/tube | <0,20      | 0,2  |        | Méthode interne |
| 1,1,1-Trichloroéthane (tube)                        | µg/tube | <0,20      | 0,2  |        | Méthode interne |
| Tétrachlorométhane (tube)                           | µg/tube | <0,20      | 0,2  |        | Méthode interne |
| Trichloroéthylène (tube)                            | µg/tube | 240        | 0,05 | +/- 10 | Méthode interne |
| 1,1,2-Trichloroéthane (tube)                        | µg/tube | <0,20      | 0,2  |        | Méthode interne |
| Tétrachloroéthylène (tube)                          | µg/tube | 450        | 0,2  | +/- 38 | Méthode interne |

### TPH

|  |         |                          |      |        |                 |
|--|---------|--------------------------|------|--------|-----------------|
| <b>Somme Hydrocarbures aliphatiques (tube) *</b>       | µg/tube | <b>21</b> <sup>x)</sup>  |      | +/- 30 | Méthode interne |
| <b>Somme Hydrocarbures aromatiques (tube) *</b>        | µg/tube | <b>110</b> <sup>x)</sup> |      | +/- 30 | Méthode interne |
| <i>Hydrocarbures aliphatiques &gt;C5-C6 (tube) *</i>   | µg/tube | <2,0                     | 2    |        | Méthode interne |
| <i>Hydrocarbures aliphatiques &gt;C6-C8 (tube) *</i>   | µg/tube | 13                       | 2    | +/- 30 | Méthode interne |
| <i>Hydrocarbures aliphatiques &gt;C8-C10 (tube) *</i>  | µg/tube | 4,9                      | 2    | +/- 30 | Méthode interne |
| <i>Hydrocarbures aliphatiques &gt;C10-C12 (tube) *</i> | µg/tube | <2,0                     | 2    |        | Méthode interne |
| <i>Hydrocarbures aliphatiques &gt;C12-C16 (tube) *</i> | µg/tube | 2,6                      | 2    | +/- 30 | Méthode interne |
| <i>Hydrocarbures aromatiques &gt;C6-C7 (tube) *</i>    | µg/tube | 38                       | 0,05 | +/- 30 | Méthode interne |
| <i>Hydrocarbures aromatiques &gt;C7-C8 (tube) *</i>    | µg/tube | 37                       | 0,1  | +/- 30 | Méthode interne |
| <i>Hydrocarbures aromatiques &gt;C8-C10 (tube) *</i>   | µg/tube | 35                       | 2    | +/- 30 | Méthode interne |

Les paramètres indiqués dans ce document sont accrédités selon ISO/IEC 17025 :2005. Seuls les paramètres non accrédités sont signalés par le symbole « \* ».

Kamer van Koophandel Directeur  
Nr. 08110898 ppa. Marc van Gelder  
VAT/BTW-ID-Nr.: Dr. Paul Wimmer  
NL 811132559 B01

page 1 de 2



# AL-West B.V.

Dortmundstraat 16B, 7418 BH Deventer, the Netherlands  
Postbus 693, 7400 AR Deventer  
Tel. +31(0)570 788110, Fax +31(0)570 788108  
e-Mail: info@al-west.nl, www.al-west.nl

Date 12.06.2018  
N° Client 35004100

## RAPPORT D'ANALYSES 773655 - 569509

|   | Unité   | Résultat            | Limit d. Quant. | Incert. Résultat % | Méthode         |
|---|---------|---------------------|-----------------|--------------------|-----------------|
| * Hydrocarbures aromatiques >C10-C12 (tube) | µg/tube | <4,0 <sup>pg)</sup> | 4               |                    | Méthode interne |
| * Hydrocarbures aromatiques >C12-C16 (tube) | µg/tube | <4,0 <sup>pg)</sup> | 4               |                    | Méthode interne |

x) Les résultats ne tiennent pas compte des teneurs en dessous des seuils de quantification.

pg) La limite de détection a été augmentée car la quantité de charbon actif contenue dans le tube était supérieure à 100mg+50mg.

Explication: dans la colonne de résultats "<" signifie inférieur à la limite de quantification; n.d. signifie non déterminé.

L'incertitude étendue et combinée donnée dans le rapport ci-dessus est généralement calculée selon les prescriptions du "Guide de l'expression des incertitudes de mesure" (GUM, JCGM 100: 2008), spécifié dans le Rapport Nordtest TR 537. Le facteur d'élargissement  $k = 2$  correspond au niveau de confiance de 95% (intervalle de confiance). Les incertitudes rapportées sont valables pour différentes matrices et différentes concentrations. Certains échantillons très spécifiques peuvent néanmoins occasionner une incertitude de mesure différente de celle donnée ci-dessus.

Les détails concernant l'incertitude de mesure seront fournis sur demande.

Début des analyses: 07.06.2018

Fin des analyses: 12.06.2018

Les résultats d'analyses ne concernent que ces échantillons soumis à essai. La qualité du résultat rendu est contrôlée et validée, mais la pertinence en est difficilement vérifiable car le laboratoire n'a pas connaissance du contexte du site, de l'historique de l'échantillon.



AL-West B.V. Melle Mylène Magnenet, Tel. +33/380680156

Les paramètres indiqués dans ce document sont accrédités selon ISO/IEC 17025 :2005. Seuls les paramètres non accrédités sont signalés par le symbole « \* ».

# AL-West B.V.

Dortmundstraat 16B, 7418 BH Deventer, the Netherlands  
Postbus 693, 7400 AR Deventer  
Tel. +31(0)570 788110, Fax +31(0)570 788108  
e-Mail: info@al-west.nl, www.al-west.nl



# AGROLAB GROUP

Your labs. Your service.

BURGEAP (PARIS 92)  
Monsieur Mathieu OUGIER  
27 RUE DE VANVES  
92772 BOULOGNE BILLANCOURT  
FRANCE

Date 12.06.2018

N° Client 35004100

## RAPPORT D'ANALYSES 773655 - 569509

N° Cde 773655 2018/05/30 - B18-2802 - MO/CACH - Prélèvements venting 2  
N° échant. 569509 Air  
Date de validation 07.06.2018  
Prélèvement 30.05.2018  
Prélèvement par: Client  
Spécification des échantillons EMP - Pz3 - Tf (5min) - ZC

| Unité | Résultat | Limit d. Quant. | Incert. Résultat % | Méthode |
|-------|----------|-----------------|--------------------|---------|
|-------|----------|-----------------|--------------------|---------|

### Composés aromatiques

|                           |         |                      |     |  |                 |
|---------------------------|---------|----------------------|-----|--|-----------------|
| Naphtalène (tube)         | µg/tube | <0,20 <sup>pgl</sup> | 0,2 |  | Méthode interne |
| Benzène (tube)            | µg/tube | <0,10 <sup>pgl</sup> | 0,1 |  | Méthode interne |
| Toluène (tube)            | µg/tube | <0,20 <sup>pgl</sup> | 0,2 |  | Méthode interne |
| Ethylbenzène (tube)       | µg/tube | <0,20 <sup>pgl</sup> | 0,2 |  | Méthode interne |
| <i>m,p</i> -Xylène (tube) | µg/tube | <0,20 <sup>pgl</sup> | 0,2 |  | Méthode interne |
| <i>o</i> -Xylène (tube)   | µg/tube | <0,20 <sup>pgl</sup> | 0,2 |  | Méthode interne |
| Somme Xylènes (tube)      | µg/tube | n.d.                 |     |  | Méthode interne |

### COHV

|  |         |                      |     |  |                 |
|--|---------|----------------------|-----|--|-----------------|
| 1,1-Dichloroéthène (tube)                    | µg/tube | <0,20 <sup>pgl</sup> | 0,2 |  | Méthode interne |
| Chlorure de Vinyle (tube)                    | µg/tube | <0,20 <sup>pgl</sup> | 0,2 |  | Méthode interne |
| Somme cis/trans-1,2-Dichloroéthylènes (tube) | µg/tube | n.d.                 |     |  | Méthode interne |
| Dichlorométhane (tube)                       | µg/tube | <0,50 <sup>pgl</sup> | 0,5 |  | Méthode interne |
| <i>Trans</i> -1,2-Dichloroéthylène (tube) *  | µg/tube | <0,40 <sup>pgl</sup> | 0,4 |  | Méthode interne |
| 1,1-Dichloroéthane (tube)                    | µg/tube | <0,40 <sup>pgl</sup> | 0,4 |  | Méthode interne |
| <i>cis</i> -1,2-Dichloroéthène (tube)        | µg/tube | <0,40 <sup>pgl</sup> | 0,4 |  | Méthode interne |
| Trichlorométhane (tube)                      | µg/tube | <0,40 <sup>pgl</sup> | 0,4 |  | Méthode interne |
| 1,2-Dichloroéthane (tube)                    | µg/tube | <0,40 <sup>pgl</sup> | 0,4 |  | Méthode interne |
| 1,1,1-Trichloroéthane (tube)                 | µg/tube | <0,40 <sup>pgl</sup> | 0,4 |  | Méthode interne |
| Tétrachlorométhane (tube)                    | µg/tube | <0,40 <sup>pgl</sup> | 0,4 |  | Méthode interne |
| Trichloroéthylène (tube)                     | µg/tube | <0,10 <sup>pgl</sup> | 0,1 |  | Méthode interne |
| 1,1,2-Trichloroéthane (tube)                 | µg/tube | <0,40 <sup>pgl</sup> | 0,4 |  | Méthode interne |
| Tétrachloroéthylène (tube)                   | µg/tube | <0,40 <sup>pgl</sup> | 0,4 |  | Méthode interne |

### TPH

|  |         |                      |     |        |                 |
|--|---------|----------------------|-----|--------|-----------------|
| Somme Hydrocarbures aliphatiques (tube) *    | µg/tube | 36 <sup>x)</sup>     |     | +/- 30 | Méthode interne |
| Somme Hydrocarbures aromatiques (tube) *     | µg/tube | n.d.                 |     |        | Méthode interne |
| Hydrocarbures aliphatiques >C5-C6 (tube) *   | µg/tube | <4,0 <sup>pgl</sup>  | 4   |        | Méthode interne |
| Hydrocarbures aliphatiques >C6-C8 (tube) *   | µg/tube | 6,2                  | 2   | +/- 30 | Méthode interne |
| Hydrocarbures aliphatiques >C8-C10 (tube) *  | µg/tube | <4,0 <sup>pgl</sup>  | 4   |        | Méthode interne |
| Hydrocarbures aliphatiques >C10-C12 (tube) * | µg/tube | 9,3                  | 2   | +/- 30 | Méthode interne |
| Hydrocarbures aliphatiques >C12-C16 (tube) * | µg/tube | 20                   | 2   | +/- 30 | Méthode interne |
| Hydrocarbures aromatiques >C6-C7 (tube) *    | µg/tube | <0,10 <sup>pgl</sup> | 0,1 |        | Méthode interne |
| Hydrocarbures aromatiques >C7-C8 (tube) *    | µg/tube | <0,20 <sup>pgl</sup> | 0,2 |        | Méthode interne |
| Hydrocarbures aromatiques >C8-C10 (tube) *   | µg/tube | <4,0 <sup>pgl</sup>  | 4   |        | Méthode interne |

Les paramètres indiqués dans ce document sont accrédités selon ISO/IEC 17025 :2005. Seuls les paramètres non accrédités sont signalés par le symbole « \* ».

Kamer van Koophandel Directeur  
Nr. 08110898 ppa. Marc van Gelder  
VAT/BTW-ID-Nr.: Dr. Paul Wimmer  
NL 811132559 B01

# AL-West B.V.

Dortmundstraat 16B, 7418 BH Deventer, the Netherlands  
Postbus 693, 7400 AR Deventer  
Tel. +31(0)570 788110, Fax +31(0)570 788108  
e-Mail: info@al-west.nl, www.al-west.nl

Date 12.06.2018

N° Client 35004100

## RAPPORT D'ANALYSES 773655 - 569508

|   | Unité   | Résultat            | Limit d. Quant. | Incert. Résultat % | Méthode         |
|---|---------|---------------------|-----------------|--------------------|-----------------|
| * Hydrocarbures aromatiques >C10-C12 (tube) | µg/tube | <8,0 <sup>pg)</sup> | 8               |                    | Méthode interne |
| * Hydrocarbures aromatiques >C12-C16 (tube) | µg/tube | <8,0 <sup>pg)</sup> | 8               |                    | Méthode interne |

x) Les résultats ne tiennent pas compte des teneurs en dessous des seuils de quantification.

pg) La limite de détection a été augmentée car la quantité de charbon actif contenue dans le tube était supérieure à 100mg+50mg.

Explication: dans la colonne de résultats "<" signifie inférieur à la limite de quantification; n.d. signifie non déterminé.

L'incertitude étendue et combinée donnée dans le rapport ci-dessus est généralement calculée selon les prescriptions du "Guide de l'expression des incertitudes de mesure" (GUM, JCGM 100: 2008), spécifié dans le Rapport Nordtest TR 537. Le facteur d'élargissement  $k = 2$  correspond au niveau de confiance de 95% (intervalle de confiance). Les incertitudes rapportées sont valables pour différentes matrices et différentes concentrations. Certains échantillons très spécifiques peuvent néanmoins occasionner une incertitude de mesure différente de celle donnée ci-dessus.

Les détails concernant l'incertitude de mesure seront fournis sur demande.

Début des analyses: 07.06.2018

Fin des analyses: 12.06.2018

Les résultats d'analyses ne concernent que ces échantillons soumis à essai. La qualité du résultat rendu est contrôlée et validée, mais la pertinence en est difficilement vérifiable car le laboratoire n'a pas connaissance du contexte du site, de l'historique de l'échantillon.



AL-West B.V. Melle Mylène Magnenet, Tel. +33/380680156

Les paramètres indiqués dans ce document sont accrédités selon ISO/IEC 17025 :2005. Seuls les paramètres non accrédités sont signalés par le symbole « \* ».



# AL-West B.V.

Dortmundstraat 16B, 7418 BH Deventer, the Netherlands  
Postbus 693, 7400 AR Deventer  
Tel. +31(0)570 788110, Fax +31(0)570 788108  
e-Mail: info@al-west.nl, www.al-west.nl



# AGROLAB GROUP

Your labs. Your service.

BURGEAP (PARIS 92)  
Monsieur Mathieu OUGIER  
27 RUE DE VANVES  
92772 BOULOGNE BILLANCOURT  
FRANCE

Date 12.06.2018

N° Client 35004100

## RAPPORT D'ANALYSES 773655 - 569508

N° Cde **773655 2018/05/30 - B18-2802 - MO/CACH - Prélèvements venting 2**  
N° échant. **569508 Air**  
Date de validation **07.06.2018**  
Prélèvement **30.05.2018**  
Prélèvement par: **Client**  
Spécification des échantillons **EMP - Pz3 - Tf (5min) - ZM**

| Unité | Résultat | Limit d. Quant. | Incert. Résultat % | Méthode |
|-------|----------|-----------------|--------------------|---------|
|-------|----------|-----------------|--------------------|---------|

### Composés aromatiques

|                             |         |                      |      |        |                 |
|-----------------------------|---------|----------------------|------|--------|-----------------|
| Naphtalène (tube)           | µg/tube | <0,40 <sup>pgl</sup> | 0,4  |        | Méthode interne |
| Benzène (tube)              | µg/tube | 7,5                  | 0,05 | +/- 13 | Méthode interne |
| Toluène (tube)              | µg/tube | 11,1                 | 0,1  | +/- 20 | Méthode interne |
| Ethylbenzène (tube)         | µg/tube | 2,6                  | 0,1  | +/- 24 | Méthode interne |
| <i>m,p</i> -Xylène (tube)   | µg/tube | 22,4                 | 0,1  | +/- 28 | Méthode interne |
| <i>o</i> -Xylène (tube)     | µg/tube | 4,8                  | 0,1  | +/- 25 | Méthode interne |
| <b>Somme Xylènes (tube)</b> | µg/tube | <b>27</b>            |      |        | Méthode interne |

### COHV

|   |         |                         |      |        |                 |
|---|---------|-------------------------|------|--------|-----------------|
| 1,1-Dichloroéthène (tube)                           | µg/tube | 0,89                    | 0,1  | +/- 11 | Méthode interne |
| Chlorure de Vinyle (tube)                           | µg/tube | 11,0                    | 0,1  | +/- 30 | Méthode interne |
| <b>Somme cis/trans-1,2-Dichloroéthylènes (tube)</b> | µg/tube | <b>110<sup>xj</sup></b> |      | +/- 11 | Méthode interne |
| Dichlorométhane (tube)                              | µg/tube | <1,0 <sup>pgl</sup>     | 1    |        | Méthode interne |
| <i>Trans</i> -1,2-Dichloroéthylène (tube) *         | µg/tube | <0,80 <sup>pgl</sup>    | 0,8  |        | Méthode interne |
| 1,1-Dichloroéthane (tube)                           | µg/tube | <0,80 <sup>pgl</sup>    | 0,8  |        | Méthode interne |
| <i>cis</i> -1,2-Dichloroéthène (tube)               | µg/tube | 110                     | 0,2  | +/- 10 | Méthode interne |
| Trichlorométhane (tube)                             | µg/tube | <0,80 <sup>pgl</sup>    | 0,8  |        | Méthode interne |
| 1,2-Dichloroéthane (tube)                           | µg/tube | <0,80 <sup>pgl</sup>    | 0,8  |        | Méthode interne |
| 1,1,1-Trichloroéthane (tube)                        | µg/tube | <0,80 <sup>pgl</sup>    | 0,8  |        | Méthode interne |
| Tétrachlorométhane (tube)                           | µg/tube | <0,80 <sup>pgl</sup>    | 0,8  |        | Méthode interne |
| Trichloroéthylène (tube)                            | µg/tube | 170                     | 0,05 | +/- 10 | Méthode interne |
| 1,1,2-Trichloroéthane (tube)                        | µg/tube | <0,80 <sup>pgl</sup>    | 0,8  |        | Méthode interne |
| Tétrachloroéthylène (tube)                          | µg/tube | 1700                    | 0,2  | +/- 38 | Méthode interne |

### TPH

|  |         |                        |      |        |                 |
|--|---------|------------------------|------|--------|-----------------|
| <b>Somme Hydrocarbures aliphatiques (tube) *</b>       | µg/tube | <b>130</b>             |      | +/- 30 | Méthode interne |
| <b>Somme Hydrocarbures aromatiques (tube) *</b>        | µg/tube | <b>61<sup>xj</sup></b> |      | +/- 30 | Méthode interne |
| <i>Hydrocarbures aliphatiques &gt;C5-C6 (tube) *</i>   | µg/tube | 3,9                    | 2    | +/- 30 | Méthode interne |
| <i>Hydrocarbures aliphatiques &gt;C6-C8 (tube) *</i>   | µg/tube | 24                     | 2    | +/- 30 | Méthode interne |
| <i>Hydrocarbures aliphatiques &gt;C8-C10 (tube) *</i>  | µg/tube | 24                     | 2    | +/- 30 | Méthode interne |
| <i>Hydrocarbures aliphatiques &gt;C10-C12 (tube) *</i> | µg/tube | 30                     | 2    | +/- 30 | Méthode interne |
| <i>Hydrocarbures aliphatiques &gt;C12-C16 (tube) *</i> | µg/tube | 47                     | 2    | +/- 30 | Méthode interne |
| <i>Hydrocarbures aromatiques &gt;C6-C7 (tube) *</i>    | µg/tube | 7,5                    | 0,05 | +/- 30 | Méthode interne |
| <i>Hydrocarbures aromatiques &gt;C7-C8 (tube) *</i>    | µg/tube | 11                     | 0,1  | +/- 30 | Méthode interne |
| <i>Hydrocarbures aromatiques &gt;C8-C10 (tube) *</i>   | µg/tube | 42                     | 2    | +/- 30 | Méthode interne |

Les paramètres indiqués dans ce document sont accrédités selon ISO/IEC 17025 :2005. Seuls les paramètres non accrédités sont signalés par le symbole « \* ».

Kamer van Koophandel Directeur  
Nr. 08110898 ppa. Marc van Gelder  
VAT/BTW-ID-Nr.: Dr. Paul Wimmer  
NL 811132559 B01



## **Annexe 2. Détail des surcoûts liés aux pieux et longrines (hypothèse haute)**

Cette annexe contient 2 pages

**HYPOTHÈSE HAUTE**

Calcul de cubature pieux et longrines

Estimation faites selon plan 17-M10 Principe implantation pieux longrines PC et selon les volumes données par Scoping, à la date du 15/06/18

**Hotel (bâtiment A)**

|                     |         | vol béton (m3) | Sondages                              | Impacts                | Volume sans impact (hypothèse BGP au 14/06/18) | Volume avec impact (hypothèse BGP au 14/06/18) | Prix Filières (prix approximatif sans consultation avec TGAP 2018 et sans impact SGP) et surcours sur la base ISDI 3€/m3 pour les terres et 120€/m3 pour les boues |              |                 |                             |                            |                                       |                                  |                 |                                 |            |                          |  |  |  |  |
|---------------------|---------|----------------|---------------------------------------|------------------------|--|--|--|--------------|-----------------|-----------------------------|----------------------------|---------------------------------------|----------------------------------|-----------------|---------------------------------|------------|--------------------------|--|--|--|--|
|                     |         |                |                                       |                        |  |  | Prix filière spécifique boues non polluées (€/m3)  | ISDI (€/m3)  | ISOND (€/t)     | Surcours ISOND terres (€/t) | Surcours ISOND boues (€/t) | Plateforme de tri et de transit (€/t) | Surcours Plateforme terres (€/t) | Biocentre (€/t) | Surcours Biocentre terres (€/t) | DT (€/t)   | Surcours DT terres (€/t) |  |  |  |  |
|                     |         |                |                                       |                        |  |  | 120  | 30           | 110             | 93,33                       | 43,33                      | 70                                    | 53,33                            | 90              | 73,33                           | 200        | 183,33                   |  |  |  |  |
| Longrine            |         | 48,04          | S1-S2-S7 (2013)<br>T16-T29-T30 (2018) | HC-BTEX-COHV           | 16,01  | 32,03  |  | 480,40       |                 |                             |                            |                                       |                                  |                 |                                 |            |                          |  |  |  |  |
| Pieux               | diam 80 | 144,76         | S1-S2-S7 (2013)<br>T16-T29-T30 (2018) | HC-BTEX-COHV + siccité | 36,19  | 108,57   |  | 4 342,80     | 21 496,86       |                             |                            | 8 468,46                              |                                  |                 |                                 |            |                          |  |  |  |  |
|                     | diam 70 | 138,54         | S1-S2-S7 (2013)<br>T16-T29-T30 (2018) | HC-BTEX-COHV + siccité | 34,64  | 103,91   |  | 4 156,20     | 20 573,19       |                             |                            | 8 104,59                              |                                  |                 |                                 |            |                          |  |  |  |  |
| Tête de pieux       |         | 43,96          | S1-S2-S7 (2013)<br>T16-T29-T30 (2018) | HC-BTEX-COHV + siccité | 10,99  | 32,97  |  | 1 318,80     | 6 528,06        |                             |                            | 2 571,66                              |                                  |                 |                                 |            |                          |  |  |  |  |
| <b>Total (€ HT)</b> |         |                |                                       |                        |  |  | <b>9 817,8</b>   | <b>480,4</b> | <b>48 598,1</b> | <b>0,0</b>                  | <b>19 144,7</b>            | <b>0,0</b>                            | <b>0,0</b>                       | <b>5 188,3</b>  | <b>4 227,5</b>                  | <b>0,0</b> | <b>0,0</b>               |  |  |  |  |

**Activité bâtiment E**

|                     |         | vol béton (m3) | Sondages   | Impacts   | Volume sans impact (hypothèse BGP au 14/06/18) | Volume avec impact (hypothèse BGP au 14/06/18) | Prix Filières (prix approximatif sans consultation avec TGAP 2018 et sans impact SGP) et surcours sur la base ISDI 3€/m3 pour les terres et 120€/m3 pour les boues |              |                  |                             |                            |                                       |                                  |                 |                                 |            |                          |  |  |  |  |
|---------------------|---------|----------------|--|---|--|--|--|--------------|------------------|-----------------------------|----------------------------|---------------------------------------|----------------------------------|-----------------|---------------------------------|------------|--------------------------|--|--|--|--|
|                     |         |                |  |   |  |  | Prix filière spécifique boues non polluées (€/m3)  | ISDI (€/m3)  | ISOND (€/t)      | Surcours ISOND terres (€/t) | Surcours ISOND boues (€/t) | Plateforme de tri et de transit (€/t) | Surcours Plateforme terres (€/t) | Biocentre (€/t) | Surcours Biocentre terres (€/t) | DT (€/t)   | Surcours DT terres (€/t) |  |  |  |  |
|                     |         |                |  |   |  |  | 120  | 30           | 110              | 93,33                       | 43,33                      | 70                                    | 53,33                            | 90              | 73,33                           | 200        | 183,33                   |  |  |  |  |
| Longrine            |         | 104,51         | S8-S9-S10-S11-S22 (2013)<br>T18-T28-T27-T25-T24-T31-T32-T33-T34 (2018) | Mx brut Remblais                                  | 20,90  | 83,61  |  | 627,06       | 4 138,60         | 3 511,54                    |                            |                                       |                                  |                 | 10 158,37                       | 8 277,19   |                          |  |  |  |  |
| Pieux               | diam 70 | 318,65         | S8-S9-S10-S11-S22 (2013)<br>T18-T28-T27-T25-T24-T31-T32-T33-T34 (2018) | Mx lessivable FS/5 COHV-PCB-HC-HAP-BTEX + siccité | 0,00   | 318,65   |  |              | 63 092,70        |                             |                            | 24 854,70                             |                                  |                 |                                 |            |                          |  |  |  |  |
|                     | diam 60 | 213,75         | S8-S9-S10-S11-S22 (2013)<br>T18-T28-T27-T25-T24-T31-T32-T33-T34 (2018) | Mx lessivable FS/5 COHV-PCB-HC-HAP-BTEX + siccité | 0,00   | 213,75   |  |              | 42 322,50        |                             |                            | 16 672,50                             |                                  |                 |                                 |            |                          |  |  |  |  |
| Tête de pieux       |         | 76,62          | S8-S9-S10-S11-S22 (2013)<br>T18-T28-T27-T25-T24-T31-T32-T33-T34 (2018) | Mx lessivable FS/5 COHV-PCB-HC-HAP-BTEX + siccité | 0,00   | 76,62  |  |              | 15 170,76        |                             |                            | 5 976,36                              |                                  |                 |                                 |            |                          |  |  |  |  |
| <b>Total (€ HT)</b> |         |                |  |   |  |  | <b>0,0</b>   | <b>627,1</b> | <b>124 724,6</b> | <b>3 511,5</b>              | <b>47 503,6</b>            | <b>0,0</b>                            | <b>0,0</b>                       | <b>10 158,4</b> | <b>8 277,2</b>                  | <b>0,0</b> | <b>0,0</b>               |  |  |  |  |

**Activité bâtiment F**

|                     |         | vol béton (m3) | Sondages                 | Impacts                      | Volume sans impact (hypothèse BGP au 14/06/18) | Volume avec impact (hypothèse BGP au 14/06/18) | Prix Filières (prix approximatif sans consultation avec TGAP 2018 et sans impact SGP) et surcours sur la base ISDI 3€/m3 pour les terres et 120€/m3 pour les boues |              |                 |                             |                            |                                       |                                  |                 |                                 |            |                          |  |  |  |
|---------------------|---------|----------------|--------------------------|------------------------------|--|--|--|--------------|-----------------|-----------------------------|----------------------------|---------------------------------------|----------------------------------|-----------------|---------------------------------|------------|--------------------------|--|--|--|
|                     |         |                |                          |                              |  |  | Prix filière spécifique boues non polluées (€/m3)  | ISDI (€/m3)  | ISOND (€/t)     | Surcours ISOND terres (€/t) | Surcours ISOND boues (€/t) | Plateforme de tri et de transit (€/t) | Surcours Plateforme terres (€/t) | Biocentre (€/t) | Surcours Biocentre terres (€/t) | DT (€/t)   | Surcours DT terres (€/t) |  |  |  |
|                     |         |                |                          |                              |  |  | 120  | 30           | 110             | 93,33                       | 43,33                      | 70                                    | 53,33                            | 90              | 73,33                           | 200        | 183,33                   |  |  |  |
| Longrine            |         | 17,05          | S12 (2013)<br>T11 (2018) | Mx brut - Remblais           | 11,37  | 5,68   |  | 341,00       |                 |                             |                            |                                       |                                  | 920,7           | 750,2                           |            |                          |  |  |  |
| Pieux               | diam 80 | 18,1           | S12 (2013)<br>T11 (2018) | Mx brut - Remblais + siccité | 4,53   | 13,58  |  | 543,00       | 2 687,85        |                             |                            | 1 058,85                              |                                  |                 |                                 |            |                          |  |  |  |
|                     | diam 70 | 69,27          | S12 (2013)<br>T11 (2018) | Mx brut - Remblais + siccité | 17,32  | 51,95  |  | 2 078,10     | 10 286,60       |                             |                            | 4 052,30                              |                                  |                 |                                 |            |                          |  |  |  |
| Tête de pieux       |         | 12,66          | S12 (2013)<br>T11 (2018) | Mx brut - Remblais + siccité | 3,17   | 9,50   |  | 379,80       | 1 880,01        |                             |                            | 740,61                                |                                  |                 |                                 |            |                          |  |  |  |
| <b>Total (€ HT)</b> |         |                |                          |                              |  |  | <b>3 000,9</b>   | <b>341,0</b> | <b>14 854,5</b> | <b>0,0</b>                  | <b>5 851,8</b>             | <b>0,0</b>                            | <b>0,0</b>                       | <b>920,7</b>    | <b>750,2</b>                    | <b>0,0</b> | <b>0,0</b>               |  |  |  |

**Résidence bâtiment B**

|                     |         | vol béton (m3) | Sondages  | Impacts                      | Volume sans impact (hypothèse BGP au 14/06/18) | Volume avec impact (hypothèse BGP au 14/06/18) | Prix Filières (prix approximatif sans consultation avec TGAP 2018 et sans impact SGP) et surcours sur la base ISDI 3€/m3 pour les terres et 120€/m3 pour les boues |              |                |                             |                            |                                       |                                  |                 |                                 |            |                          |  |  |  |
|---------------------|---------|----------------|-----------|------------------------------|--|--|--|--------------|----------------|-----------------------------|----------------------------|---------------------------------------|----------------------------------|-----------------|---------------------------------|------------|--------------------------|--|--|--|
|                     |         |                |           |                              |  |  | Prix filière spécifique boues non polluées (€/m3)  | ISDI (€/m3)  | ISOND (€/t)    | Surcours ISOND terres (€/t) | Surcours ISOND boues (€/t) | Plateforme de tri et de transit (€/t) | Surcours Plateforme terres (€/t) | Biocentre (€/t) | Surcours Biocentre terres (€/t) | DT (€/t)   | Surcours DT terres (€/t) |  |  |  |
|                     |         |                |           |                              |  |  | 120  | 30           | 110            | 93,33                       | 43,33                      | 70                                    | 53,33                            | 90              | 73,33                           | 200        | 183,33                   |  |  |  |
| Longrine            |         | 14,66          | T6 (2018) | Mx brut - Remblais           | 9,77   | 4,89   |  | 293,20       |                |                             |                            |                                       |                                  | 791,64          | 645,04                          |            |                          |  |  |  |
| Pieux               | diam 60 | 10,18          | T6 (2018) | Mx brut - Remblais + siccité | 2,55   | 7,64   |  | 305,40       | 1 511,73       |                             |                            | 595,53                                |                                  |                 |                                 |            |                          |  |  |  |
|                     | diam 50 | 35,34          | T6 (2018) | Mx brut - Remblais + siccité | 8,84   | 26,51  |  | 1 060,20     | 5 247,99       |                             |                            | 2 067,39                              |                                  |                 |                                 |            |                          |  |  |  |
| Tête de pieux       |         | 6,58           | T6 (2018) | Mx brut - Remblais + siccité | 1,65   | 4,94   |  | 197,40       | 977,13         |                             |                            | 384,93                                |                                  |                 |                                 |            |                          |  |  |  |
| <b>Total (€ HT)</b> |         |                |           |                              |  |  | <b>1 563,0</b>   | <b>293,2</b> | <b>7 736,9</b> | <b>0,0</b>                  | <b>3 047,9</b>             | <b>0,0</b>                            | <b>0,0</b>                       | <b>791,6</b>    | <b>645,0</b>                    | <b>0,0</b> | <b>0,0</b>               |  |  |  |

**Résidence bâtiment D**

|                     |         | vol béton (m3) | Sondages                | Impacts                      | Volume sans impact (hypothèse BGP au 14/06/18) | Volume avec impact (hypothèse BGP au 14/06/18) | Prix Filières (prix approximatif sans consultation avec TGAP 2018 et sans impact SGP) et surcours sur la base ISDI 3€/m3 pour les terres et 120€/m3 pour les boues |              |                |                             |                            |                                       |                                  |                 |                                 |            |                          |  |  |  |
|---------------------|---------|----------------|-------------------------|------------------------------|--|--|--|--------------|----------------|-----------------------------|----------------------------|---------------------------------------|----------------------------------|-----------------|---------------------------------|------------|--------------------------|--|--|--|
|                     |         |                |                         |                              |  |  | Prix filière spécifique boues non polluées (€/m3)  | ISDI (€/m3)  | ISOND (€/t)    | Surcours ISOND terres (€/t) | Surcours ISOND boues (€/t) | Plateforme de tri et de transit (€/t) | Surcours Plateforme terres (€/t) | Biocentre (€/t) | Surcours Biocentre terres (€/t) | DT (€/t)   | Surcours DT terres (€/t) |  |  |  |
|                     |         |                |                         |                              |  |  | 120  | 30           | 110            | 93,33                       | 43,33                      | 70                                    | 53,33                            | 90              | 73,33                           | 200        | 183,33                   |  |  |  |
| Longrine            |         | 13,92          | S24 (2013)<br>T2 (2018) | Mx brut - Remblais           | 9,28   | 4,64   |  | 278,40       |                |                             |                            |                                       |                                  | 751,68          | 612,48                          |            |                          |  |  |  |
| Pieux               | diam 60 | 10,18          | S24 (2013)<br>T2 (2018) | Mx brut - Remblais + siccité | 2,55   | 7,64   |  | 305,40       | 1 511,73       |                             |                            | 595,53                                |                                  |                 |                                 |            |                          |  |  |  |
|                     | diam 50 | 35,34          | S24 (2013)<br>T2 (2018) | Mx brut - Remblais + siccité | 8,84   | 26,51  |  | 1 060,20     | 5 247,99       |                             |                            | 2 067,39                              |                                  |                 |                                 |            |                          |  |  |  |
| Tête de pieux       |         | 6,58           | S24 (2013)<br>T2 (2018) | Mx brut - Remblais + siccité | 1,65   | 4,94   |  | 197,40       | 977,13         |                             |                            | 384,93                                |                                  |                 |                                 |            |                          |  |  |  |
| <b>Total (€ HT)</b> |         |                |                         |                              |  |  | <b>1 563,0</b>   | <b>278,4</b> | <b>7 736,9</b> | <b>0,0</b>                  | <b>3 047,9</b>             | <b>0,0</b>                            | <b>0,0</b>                       | <b>751,7</b>    | <b>612,5</b>                    | <b>0,0</b> | <b>0,0</b>               |  |  |  |

**Résidence bâtiment G**

|                     |         | vol béton (m3) | Sondages                    | Impacts                      | Volume sans impact (hypothèse BGP au 14/06/18) | Volume avec impact (hypothèse BGP au 14/06/18) | Prix Filières (prix approximatif sans consultation avec TGAP 2018 et sans impact SGP) et surcours sur la base ISDI 3€/m3 pour les terres et 120€/m3 pour les boues |              |                |                             |                            |                                       |                                  |                 |                                 |            |                          |  |  |  |
|---------------------|---------|----------------|-----------------------------|------------------------------|--|--|--|--------------|----------------|-----------------------------|----------------------------|---------------------------------------|----------------------------------|-----------------|---------------------------------|------------|--------------------------|--|--|--|
|                     |         |                |                             |                              |  |  | Prix filière spécifique boues non polluées (€/m3)  | ISDI (€/m3)  | ISOND (€/t)    | Surcours ISOND terres (€/t) | Surcours ISOND boues (€/t) | Plateforme de tri et de transit (€/t) | Surcours Plateforme terres (€/t) | Biocentre (€/t) | Surcours Biocentre terres (€/t) | DT (€/t)   | Surcours DT terres (€/t) |  |  |  |
|                     |         |                |                             |                              |  |  | 120  | 30           | 110            | 93,33                       | 43,33                      | 70                                    | 53,33                            | 90              | 73,33                           | 200        | 183,33                   |  |  |  |
| Longrine            |         | 13,92          | S23-S25 (2013)<br>T2 (2018) | Mx brut - Remblais           | 9,28   | 4,64   |  | 278,40       |                |                             |                            |                                       |                                  | 751,68          | 612,48                          |            |                          |  |  |  |
| Pieux               | diam 60 | 10,18          | S23-S25 (2013)<br>T2 (2018) | Mx brut - Remblais + siccité | 2,55   | 7,64   |  | 305,40       | 1 511,73       |                             |                            | 595,53                                |                                  |                 |                                 |            |                          |  |  |  |
|                     | diam 50 | 35,34          | S23-S25 (2013)<br>T2 (2018) | Mx brut - Remblais + siccité | 8,84   | 26,51  |  | 1 060,20     | 5 247,99       |                             |                            | 2 067,39                              |                                  |                 |                                 |            |                          |  |  |  |
| Tête de pieux       |         | 6,58           | S23-S25 (2013)<br>T2 (2018) | Mx brut - Remblais + siccité | 1,65   | 4,94   |  | 197,40       | 977,13         |                             |                            | 384,93                                |                                  |                 |                                 |            |                          |  |  |  |
| <b>Total (€ HT)</b> |         |                |                             |                              |  |  | <b>1 563,0</b>   | <b>278,4</b> | <b>7 736,9</b> | <b>0,0</b>                  | <b>3 047,9</b>             | <b>0,0</b>                            | <b>0,0</b>                       | <b>751,7</b>    | <b>612,5</b>                    | <b>0,0</b> | <b>0,0</b>               |  |  |  |

**Résidence bâtiment C**

|                     |         | vol béton (m3) | Sondages                    | Impacts                      | Volume sans impact (hypothèse BGP au 14/06/18) | Volume avec impact (hypothèse BGP au 14/06/18) | Prix Filières (prix approximatif sans consultation avec TGAP 2018 et sans impact SGP) et surcours sur la base ISDI 3€/m3 pour les terres et 120€/m3 pour les boues |              |                |                             |                            |                                       |                                  |                 |                                 |            |                          |  |  |  |
|---------------------|---------|----------------|-----------------------------|------------------------------|--|--|--|--------------|----------------|-----------------------------|----------------------------|---------------------------------------|----------------------------------|-----------------|---------------------------------|------------|--------------------------|--|--|--|
|                     |         |                |                             |                              |  |  | Prix filière spécifique boues non polluées (€/m3)  | ISDI (€/m3)  | ISOND (€/t)    | Surcours ISOND terres (€/t) | Surcours ISOND boues (€/t) | Plateforme de tri et de transit (€/t) | Surcours Plateforme terres (€/t) | Biocentre (€/t) | Surcours Biocentre terres (€/t) | DT (€/t)   | Surcours DT terres (€/t) |  |  |  |
|                     |         |                |                             |                              |  |  | 120  | 30           | 110            | 93,33                       | 43,33                      | 70                                    | 53,33                            | 90              | 73,33                           | 200        | 183,33                   |  |  |  |
| Longrine            |         | 16,74          | S23-S25 (2013)<br>T2 (2018) | Mx brut - Remblais           | 11,16  | 5,58   |  | 334,80       |                |                             |                            |                                       |                                  | 903,96          | 736,56                          |            |                          |  |  |  |
| Pieux               | diam 60 | 15,27          | S23-S25 (2013)<br>T2 (2018) | Mx brut - Remblais + siccité | 3,82   | 11,45  |  | 458,30       | 2 267,60       |                             |                            | 893,30                                |                                  |                 |                                 |            |                          |  |  |  |
|                     | diam 50 | 42,41          | S23-S25 (2013)<br>T2 (2018) | Mx brut - Remblais + siccité | 10,60  | 31,81  |  | 1 272,30     | 6 297,89       |                             |                            | 2 480,99                              |                                  |                 |                                 |            |                          |  |  |  |
| Tête de pieux       |         | 8,33           | S23-S25 (2013)<br>T2 (2018) | Mx brut - Remblais + siccité | 2,08   | 6,25   |  | 249,90       | 1 237,01       |                             |                            | 487,31                                |                                  |                 |                                 |            |                          |  |  |  |
| <b>Total (€ HT)</b> |         |                |                             |                              |  |  | <b>1 980,3</b>   | <b>334,8</b> | <b>9 802,5</b> | <b>0,0</b>                  | <b>3 861,6</b>             | <b>0,0</b>                            | <b>0,0</b>                       | <b>904,0</b>    | <b>736,6</b>                    | <b>0,0</b> | <b>0,0</b>               |  |  |  |

**Résidence bâtiment J**

|                     |                | Prix Filières (prix approximatif sans consultation avec TGAP 2018 et sans impact SGP) et surcout sur la base ISDI 38€/m3 pour les terres et 120€/m3 pour les boues |                                     |  |  |   |              |                |                            |                           |                                       |                                 |                 |                                |            |                         |
|---------------------|----------------|--|-------------------------------------|--|--|---|--------------|----------------|----------------------------|---------------------------|---------------------------------------|---------------------------------|-----------------|--------------------------------|------------|-------------------------|
|                     | vol béton (m3) | Sondages   | Impacts                             | Volume sans impact (hypothèse BGP au 14/06/18) | Volume avec impact (hypothèse BGP au 14/06/18) | Prix filière spécifique boues non polluées (€/m3) | ISDI (€/m3)  | ISOND (€/t)    | Surcout ISOND terres (€/t) | Surcout ISOND boues (€/t) | Plateforme de tri et de transit (€/t) | Surcout Plateforme terres (€/t) | Biocentre (€/t) | Surcout Biocentre terres (€/t) | DT (€/t)   | Surcout DT terres (€/t) |
|                     |                |  |                                     |  |  | 120   | 30           | 110            | 93,33                      | 43,33                     | 70                                    | 53,33                           | 90              | 73,33                          | 200        | 183,33                  |
| Longrine            | 17,04          | Pas de sondage S11-S12 (2016) à prox   | Mx brut - Remblais - FS/S           | 8,52   | 8,52   |   | 255,60       |                |                            |                           |                                       |                                 | 1 380,24        | 1 124,64                       |            |                         |
| Pieux               | diam 70        | Pas de sondage S11-S12 (2016) à prox   | Mx brut - Remblais - FS/S + siccité | 3,46   | 10,39  | 415,50  |              | 2 056,73       |                            | 810,23                    |                                       |                                 |                 |                                |            |                         |
|                     | diam 50        | Pas de sondage S11-S12 (2016) à prox   | Mx brut - Remblais - FS/S + siccité | 9,72   | 29,16  | 1 166,40  |              | 5 773,68       |                            | 2 274,48                  |                                       |                                 |                 |                                |            |                         |
| Tête de pieux       | 7,63           | Pas de sondage S11-S12 (2016) à prox   | Mx brut - Remblais - FS/S + siccité | 1,91   | 5,72   | 228,90  |              | 1 133,06       |                            | 446,36                    |                                       |                                 |                 |                                |            |                         |
| <b>Total (€ HT)</b> |                |  |                                     |  |  | <b>1 810,8</b>                                    | <b>255,6</b> | <b>8 963,5</b> | <b>0,0</b>                 | <b>3 531,1</b>            | <b>0,0</b>                            | <b>0,0</b>                      | <b>1 380,2</b>  | <b>1 124,6</b>                 | <b>0,0</b> | <b>0,0</b>              |

**Résidence bâtiment H**

|                     |                | Prix Filières (prix approximatif sans consultation avec TGAP 2018 et sans impact SGP) et surcout sur la base ISDI 38€/m3 pour les terres et 120€/m3 pour les boues |                                     |  |  |   |              |                |                            |                           |                                       |                                 |                 |                                |            |                         |
|---------------------|----------------|--|-------------------------------------|--|--|---|--------------|----------------|----------------------------|---------------------------|---------------------------------------|---------------------------------|-----------------|--------------------------------|------------|-------------------------|
|                     | vol béton (m3) | Sondages   | Impacts                             | Volume sans impact (hypothèse BGP au 14/06/18) | Volume avec impact (hypothèse BGP au 14/06/18) | Prix filière spécifique boues non polluées (€/m3) | ISDI (€/m3)  | ISOND (€/t)    | Surcout ISOND terres (€/t) | Surcout ISOND boues (€/t) | Plateforme de tri et de transit (€/t) | Surcout Plateforme terres (€/t) | Biocentre (€/t) | Surcout Biocentre terres (€/t) | DT (€/t)   | Surcout DT terres (€/t) |
|                     |                |  |                                     |  |  | 120   | 30           | 110            | 93,33                      | 43,33                     | 70                                    | 53,33                           | 90              | 73,33                          | 200        | 183,33                  |
| Longrine            | 17,04          | Pas de sondage T1 (2018) à prox  | Mx brut - Remblais - FS/S           | 11,36  | 5,68   |   | 340,80       |                |                            |                           |                                       |                                 | 920,16          | 749,76                         |            |                         |
| Pieux               | diam 70        | Pas de sondage T1 (2018) à prox  | Mx brut - Remblais - FS/S + siccité | 4,62   | 10,39  | 554,00  |              | 2 056,73       |                            | 810,23                    |                                       |                                 |                 |                                |            |                         |
|                     | diam 50        | Pas de sondage T1 (2018) à prox  | Mx brut - Remblais - FS/S + siccité | 12,96  | 29,16  | 1 555,20  |              | 5 773,68       |                            | 2 274,48                  |                                       |                                 |                 |                                |            |                         |
| Tête de pieux       | 7,63           | Pas de sondage T1 (2018) à prox  | Mx brut - Remblais - FS/S + siccité | 2,54   | 5,72   | 305,20  |              | 1 133,06       |                            | 446,36                    |                                       |                                 |                 |                                |            |                         |
| <b>Total (€ HT)</b> |                |  |                                     |  |  | <b>2 414,4</b>                                    | <b>340,8</b> | <b>8 963,5</b> | <b>0,0</b>                 | <b>3 531,1</b>            | <b>0,0</b>                            | <b>0,0</b>                      | <b>920,2</b>    | <b>749,8</b>                   | <b>0,0</b> | <b>0,0</b>              |

**Résidence bâtiment K**

|                     |                | Prix Filières (prix approximatif sans consultation avec TGAP 2018 et sans impact SGP) et surcout sur la base ISDI 38€/m3 pour les terres et 120€/m3 pour les boues |   |  |  |   |              |                |                            |                           |                                       |                                 |                 |                                |            |                         |
|---------------------|----------------|--|---|--|--|---|--------------|----------------|----------------------------|---------------------------|---------------------------------------|---------------------------------|-----------------|--------------------------------|------------|-------------------------|
|                     | vol béton (m3) | Sondages   | Impacts                                       | Volume sans impact (hypothèse BGP au 14/06/18) | Volume avec impact (hypothèse BGP au 14/06/18) | Prix filière spécifique boues non polluées (€/m3) | ISDI (€/m3)  | ISOND (€/t)    | Surcout ISOND terres (€/t) | Surcout ISOND boues (€/t) | Plateforme de tri et de transit (€/t) | Surcout Plateforme terres (€/t) | Biocentre (€/t) | Surcout Biocentre terres (€/t) | DT (€/t)   | Surcout DT terres (€/t) |
|                     |                |  |   |  |  | 120   | 30           | 110            | 93,33                      | 43,33                     | 70                                    | 53,33                           | 90              | 73,33                          | 200        | 183,33                  |
| Longrine            | 18,24          | Pas de sondage S12-S13 (2016) à prox   | Mx brut - Remblais - mx less - FS/S           | 9,12   | 9,12   |   | 273,60       |                |                            |                           |                                       |                                 | 1 477,44        | 1 203,84                       |            |                         |
| Pieux               | diam 70        | Pas de sondage S12-S13 (2016) à prox   | Mx brut - Remblais - mx less - FS/S + siccité | 5,20   | 15,59  | 623,40  |              | 3 085,83       |                            | 1 215,63                  |                                       |                                 |                 |                                |            |                         |
|                     | diam 50        | Pas de sondage S12-S13 (2016) à prox   | Mx brut - Remblais - mx less - FS/S + siccité | 10,60  | 31,81  | 1 272,30  |              | 6 297,89       |                            | 0,00                      |                                       |                                 |                 |                                |            |                         |
| Tête de pieux       | 9,14           | Pas de sondage S12-S13 (2016) à prox   | Mx brut - Remblais - mx less - FS/S + siccité | 2,29   | 6,86   | 274,20  |              | 198,00         |                            | 14 999,66                 |                                       |                                 |                 |                                |            |                         |
| <b>Total (€ HT)</b> |                |  |   |  |  | <b>2 169,9</b>                                    | <b>273,6</b> | <b>9 581,7</b> | <b>0,0</b>                 | <b>16 215,3</b>           | <b>0,0</b>                            | <b>0,0</b>                      | <b>1 477,4</b>  | <b>1 203,8</b>                 | <b>0,0</b> | <b>0,0</b>              |

|  |            |
|--|------------|
| Surcout global évacuation longrines et pieux |            |
| Hypothèse basse                              | 130 621,3€ |

## **Annexe 3.**

# **Exemple de mise en place de vide-sanitaire au droit d'un bâtiment existant (document ACI)**

Cette annexe contient 3 pages



# NOTE TECHNIQUE



**Travaux de réhabilitation et de déconstruction du site**

**95 - 99 rue Pierre de Montreuil**

**93100 MONTREUIL**

| Maître d'Ouvrage  | Assistant Technique   |
|---|---|
|  <p>Directeur technique<br/>3 boulevard Gallieni<br/>92445 ISSY-LES-MOULINEAUX</p> <p>Tél. 01 55 38 25 25<br/>Fax.<br/>Mail : <a href="mailto:ma.clement@bouygues-immobilier.com">ma.clement@bouygues-immobilier.com</a></p> |  <p><b>ACI SAS</b><br/>Agence Ile de France – Normandie<br/>Pôle Bâtiment &amp; Ingénierie<br/>5 bis rue du Bois<br/>60220 BOUTAVENT</p> <p>Tél. 03 64 19 80 30<br/>Fax. 09 72 59 18 26<br/>Mail : <a href="mailto:sebastien.fauchois@aci-bet.com">sebastien.fauchois@aci-bet.com</a></p> |

| Affaire N°          | Date       | Version | Rédacteur          |
|---------------------|------------|---------|--------------------|
| 2017-112-93-11-26/1 | 21/10/2018 | V1.1    | Sébastien FAUCHOIS |

## Objet de la note :

Dans le cadre des travaux de réhabilitation des bâtiments A2, B et G, nous avons précédemment réalisé une étude financière concernant les travaux liés à la pollution des sols dans les bâtiments concernés.

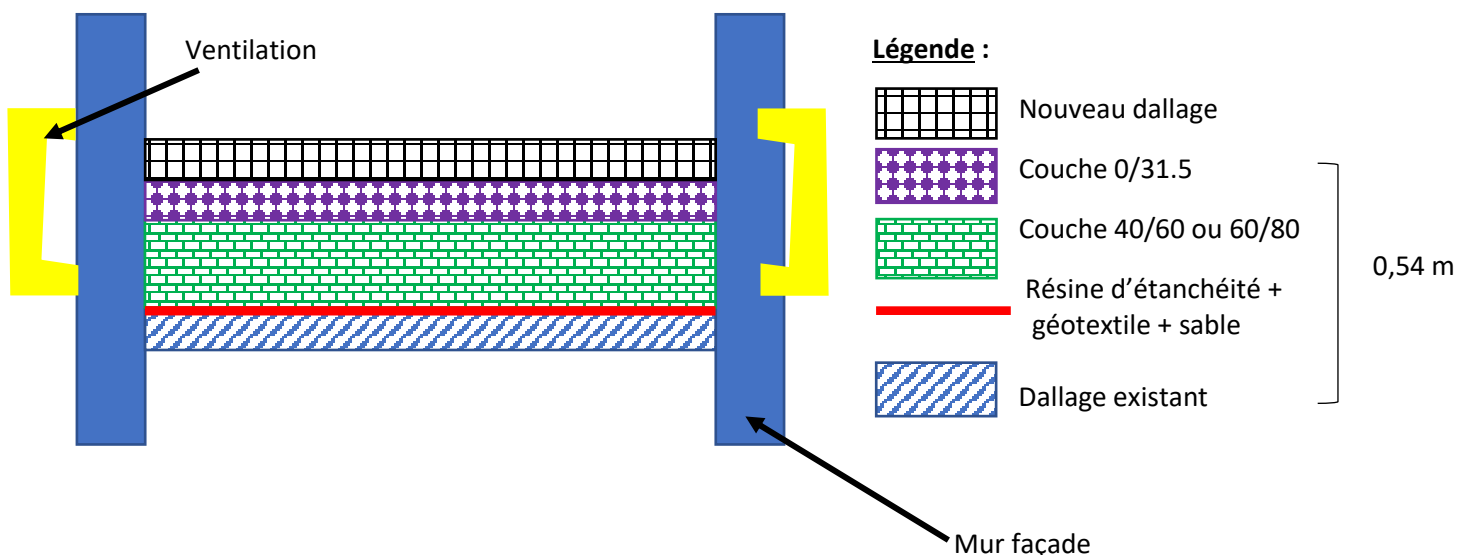
Cette 1<sup>ère</sup> étude fait état d'un coût de travaux très élevé qui, par conséquent, remet en question la faisabilité du projet.

Nous proposons une solution alternative à cette première estimation, sous réserve de validation des différents bureaux d'études et de contrôle. Cette nouvelle mesure serait de maintenir en place le dallage existant et de créer un nouveau dallage au-dessus de l'actuel dallage.

Le tout est de limiter les impacts et interférences sur les bâtiments existants (reprise de fondations, reprise des murs périphériques...), d'éviter de réaliser des micropieux pour porter la nouvelle dalle.

Nous proposons de maintenir le dallage existant en place, sur ce dallage, nous venons de mettre en œuvre une résine d'étanchéité dans le but de limiter les remontées gazeuses dues à la pollution en sous-sol. Après avoir appliqué la résine, nous venons mettre un géotextile, recouvert d'un lit de sable sur une épaisseur de 0,04 m puis une couche de 40/60 ou 60/80 (à définir) sur une épaisseur de 0,25 m maxi puis une couche de 0/31.5 sur une épaisseur de 0,05 m avant de couler le dallage d'une épaisseur de 0,20 m.

En façade, des ouvertures seront créées au niveau de la couche 40/60 ou 60/80 afin d'assurer une ventilation naturelle.



Les avantages seraient :

- Optimisation du coût financier ;
- Optimisation du délai de travaux ;
- De remplacer le dallage porté par un dallage sur « terre-plein » ;
- La limitation des impacts sur les ouvrages existants ;
- La réduction des évacuations des terres polluées.

Les inconvénients seraient :

- Niveau fini des bâtiments + ou – de 0,54 m par rapport au niveau actuel.