

Diagnostic de la qualité environnementale des sols et gaz du sol Evaluation quantitative des risques sanitaires (EQRS)

**3675 Quai de la Gironde
76600 Le Havre**

**Affaire 20250602
Transports LELOUP**

N° & version	Date	Rédacteur	Chef de projet	Vérificateur
20250630 RF	30 juin 2025	J. BAUGÉ	N. JOULIA	N. GARNIER-PINEL



Sommaire

Sommaire	1
Liste des Figures	2
Liste des Tableaux	2
Glossaire	3
1. Contexte général de la mission	4
2. Contexte réglementaire et normatif	5
3. Localisation du site de l'étude	6
4. Résumé des études précédentes	7
4.1. Résumé des contextes historique et environnemental	7
4.2. Synthèse des investigations précédentes	8
5. Intervention HUB-Environnement (Juin 2025)	11
5.1. Mesures préalables avant le démarrage des investigations	11
5.2. Méthodologie d'investigations	11
5.3. Programme des investigations	12
6. Interprétation des résultats d'analyses	16
6.1. Résultats laboratoire des gaz du sol	16
6.2. Résultats d'analyses dans les sols	20
6.3. Résultats d'analyses des composés organiques sur brut	23
6.4. Schéma conceptuel	26
7. Description de l'étude de risque	27
7.1. Méthodologie de l'EQRS	27
7.2. Evaluation de l'exposition	27
7.3. Evaluation de la relation dose-réponse	31
7.4. Choix des modèles	34
8. Résultats de l'EQRS	34
8.1. Principe de calcul	34
8.2. Résultats des calculs	35
9. Conclusions et préconisations	36
9.1. Conclusions	36
9.2. Préconisations	38
ANNEXES	40
Annexe 1 : Fiche de prélèvement des gaz du sol	41
Annexe 2 : Fiche de prélèvement des sols	42
Annexe 3 : Bordereaux d'analyse laboratoire gaz du sol	49
Annexe 4 : Bordereaux d'analyse laboratoire des sols	50
Annexe 5 : Méthodologie EQRS	58
Annexe 6 : Présentation du logiciel Modul'ERS	64
Annexe 7 : Données des calculs	66
Annexe 8 : Evaluation des incertitudes	87

Liste des Figures

Figure 1 : Localisation de la zone d'étude sur fond de carte IGN (délimitation rouge, géoportail.gouv.fr)	6
Figure 2 : Photographie aérienne du site (délimitation rouge, géoportail.gouv.fr).....	6
Figure 3 : Plan de la zone d'étude sur fond de carte cadastrale (délimitation rouge, géoportail.gouv.fr).....	7
Figure 4 : Cartographie des zones sources mises en évidence par les études précédentes	9
Figure 5 : Localisation des sondages sols de HUB-Environnement (Juin, 2025)	13
Figure 6 : Localisation du gaz du sol (Juin, 2025)	15
Figure 7 : Carte des anomalies en COV entre 2019 et 2025.....	17
Figure 8 : Distribution des COV (ppmV) entre les campagnes 2019 & 2025	18
Figure 9 : Carte des anomalies en métaux lourds pour la couche 0-1 m (t/n)	21
Figure 10: Carte des anomalies en métaux lourds pour la couche 1-2 m (t/n)	22
Figure 11 : Carte des anomalies en HCT C ₁₀ -C ₄₀ pour la couche 0-1 m (t/n).....	24
Figure 12 : Carte des anomalies en HCT C ₁₀ -C ₄₀ pour la couche 1-2 m (t/n).....	25
Figure 13 : Schéma conceptuel d'exposition – en l'état actuel	26
Figure 15 : Carte de synthèse des résultats – couche 0-1 m (tn)	37

Liste des Tableaux

Tableau 1 : Synthèse des investigations précédentes.....	8
Tableau 2 : Programme des investigations du 13 juin 2025	12
Tableau 3 : Justification de l'implantation des sondages de juin 2025	13
Tableau 4 : Caractéristiques des sondages réalisés	14
Tableau 5 : Caractéristiques du prélèvement de gaz du sol	16
Tableau 6 : Résultats d'analyses des COV sur site (ppmV)	16
Tableau 8: Résultats des composés organiques dans les gaz du sols (µg/m ³).....	19
Tableau 9 : Résultats des analyses de métaux dans les sols (mg/kg MS)	20
Tableau 10 : Résultats des analyses de composés organiques dans les sols (mg/kg MS)	23
Tableau 11 : Caractérisation des voies d'exposition potentielles.....	28
Tableau 12 : Paramètres d'exposition retenus pour l'étude	29
Tableau 13 : Sélection des substances	30
Tableau 14 : Données toxicologiques.....	31
Tableau 15 : VTR – scénario inhalation intérieure	33
Tableau 16 : Résultats des calculs de risques inhalation	35

Glossaire

ARR : Analyse des risques résiduels
ARS : Agence Régionale de Santé
ASPITET : Apports d'une Stratification Pédologique pour l'Interprétation des Teneurs en Eléments Traces
BASIAS : Base de données des anciens sites industriels et activités de services
BASOL : Base de données des Sites pollués ou potentiellement pollués
BSS : Base de données du Sous-Sol
CASIAS : Carte des Anciens Sites Industriels et Activités de Services
DREAL : Direction Régionale de l'Environnement, l'Aménagement et du Logement
DJE : Dose Journalière d'Exposition
EQRS : Evaluation Quantitative des Risques Sanitaires
ERI : Excès de Risque Individuel.
ERU : Excès de Risque Unitaire
HCSP : Haut Conseil de la Santé Publique
ICPE : Installation Classée pour la Protection de l'Environnement
IEM : Interprétation de l'Etat des Milieux
ISD : Installation de Stockage des Déchets
ISDI : Installation de Stockage des Déchets Inertes
ISDND : Installation de Stockage des Déchets Non Dangereux
ISDD : Installation de Stockage des Déchets Dangereux
OEHHA : Agence américaine : Office of Environmental Health Hazard Assessment
OMS : Organisation Mondiale de la Santé.
PID : Photolonisation Detector (détecteur à photoionisation)
PEHD : Polyéthylène Haute Densité
PG : Plan de Gestion
QD : Quotient de Danger
RIVM : Agence sanitaire hollandaise : en Milieu
RMQS : Réseaux de mesures de la qualité des sols
SIS : Secteurs d'Information sur les Sols
SIGES : Système d'Information pour la Gestion des Eaux Souterraines
US EPA : United States Environmental Protection Agency
VGAI : Valeur Guide de gestion de l'Air Ambiant
VLEP : Valeurs Limites d'Exposition Professionnelle
VTR : Valeur Toxicologique de Référence.

▪ **Composés**

ETM : Eléments Traces Métalliques (métaux lourds) - substances strictement non volatiles à l'exception du mercure
As : Arsenic
Cd : Cadmium
Cr : Chrome
Cu : Cuivre
Hg : Mercure
Ni : Nickel
Pb : Plomb
Zn : Zinc
BTEX : Benzène, Toluène, Ethylbenzène, Xylènes - solvants aromatiques, volatils et biodégradables
CAV : Composés Aromatiques Volatils
COV : Composés Organiques Volatils
COHV : Composés Organohalogénés Volatils - solvants principalement chlorés, volatils et non biodégradables
HAP : Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques - goudrons avec différentes substances (16 substances différentes) plus ou moins cancérigènes et plus ou moins volatils et biodégradables
HCT : Hydrocarbures Totaux - constitués d'atomes de carbone et d'hydrogène, désigne les hydrocarbures dits « pétroliers » constitués d'une chaîne carbonée linéaire (aliphatiques) ou cyclique (aromatiques)
PCB : Polychlorobiphényles - composés liposolubles et très peu biodégradables (persistants dans l'environnement)

1. Contexte général de la mission

- **Objectif et résumé de la demande :** Dans le cadre du départ d'une société locatrice au droit d'une zone appartenant au port du Havre, la société transports LELOUP a missionné HUB-Environnement pour réaliser des investigations des gaz du sol et des sols et une Evaluation Quantitative des Risques sanitaires (EQRS) afin de confirmer la compatibilité avec l'usage futur (usage industriel). Cette étude constitue un état des lieux avant le départ de la société locatrice.
- **Donneur d'ordre :**

Transports LELOUP
3675 Quai de Gironde
76600 Le Havre
- **Localisation étude :** Le site d'étude se situe au 3675 Quai de la Gironde, 76600 Le Havre – Surface d'environ 15 200 m² – Une partie des parcelles cadastrales n°0193 et 0020 de la section NL.
- **Documents à disposition :**
 - 20191212_RF_LE LOUP_LE HAVRE (76)
- **Visite du site :** visite préalable non réalisée vu l'urgence et vu les données transmises jugées suffisantes.
- **Usages du site :**
 - **Activités anciennes :** Port du Havre – usage industriel ;
 - **Activités actuelles :** Activité de transport de matières dangereuses ;
 - **Activités à venir :** Continuité d'usage industriel ;
- **Risques identifiés :**

Lors des investigations, les observations suivantes ont été mis en évidence :

 - Atelier mécanique et cuve aérienne de fuel, aire de stockage des citernes..., aire de lavage, cuve huiles usagées ;
 - Le diagnostic de CD Environnement a mis en évidence des impacts en HCT (jusqu'à 940 mg/kg MS). Les mesures réalisées au PID varient de 0,4 ppmV à >50 ppmV ;
 - CAV / BTEX dont les principaux composés détectés sont le toluène et les xylènes totaux (respectivement de 61 µg/m³ et 2933 µg/m³) ;
 - Hydrocarbures C₅-C₁₆ jusqu'à 3533 µg/m³, sous la fraction aromatique C₈-C₉ ;
 - Nickel (Ni) supérieur au seuil d'acceptation de l'Annexe I pour Pz1 et Pz2 (respectivement 34 µg/l >10 µg/l et 1400 µg/l >10 µg/l) ;
 - Plomb supérieur au seuil d'acceptation de l'Annexe I pour Pz1 (34 µg/l >10µg/l).
- **Prestations réalisées :**

Afin de répondre aux objectifs de la demande, la présente mission comporte les prestations suivantes :

 - Campagne de détection des COV dans les gaz du sol par PID sur site (méthodologie interne) ;
 - Prélèvements, mesures, observations et/ou analyses des sols (A200) ;
 - Prélèvements, mesures, observations et/ou analyses des gaz du sol (A230) ;
 - Interprétation des résultats et investigations (A270) ;
 - EQRS, évaluation quantitative des risques sanitaires, avec modélisation des voies de transfert pour un usage unique (A320).
- **Résumé non technique :** Afin d'éviter tout risque de mauvaise interprétation concernant nos résultats, le chapitre « Conclusions et préconisations » a été rédigé dans un esprit de synthèse et tient lieu de résumé non technique.

- **Résumé technique** : Afin d'éviter tout risque de mauvaise interprétation concernant nos résultats, nous recommandons de parcourir la totalité du rapport comprenant des illustrations fondamentales (cf. schéma conceptuel, cartes de synthèse des zones d'impacts). Des commentaires de synthèse sont disponibles à la fin de chaque chapitre (cf. encadrés bleus) pour une lecture plus rapide. Ce sont ces encadrés bleus qui tiennent lieu de résumé technique.

2. Contexte réglementaire et normatif

La démarche suivie pour le diagnostic est basée sur :

- Méthodologie de ministère de l'Environnement applicable aux sites et sols pollués en date du 08 février 2007 révisée par la circulaire du 19 Avril 2017 ;
- Norme AFNOR NF X 31-620 « Qualité du sol – Prestations de service relatives aux sites et sols pollués » de décembre 2021 ;
- Norme NF ISO 18400-202 d'avril 2019 « Qualité du sol - Échantillonnage - Partie 202 : investigations préliminaires - Qualité du sol - Échantillonnage - Partie 202 : Diagnostics préliminaires » ;
- Norme NF ISO 18400-203 « Qualité du sol – Échantillonnage - Partie 203 : investigations des sites potentiellement contaminés » ;
- Les préconisations imposées par l'arrêté préfectoral 2021-45 du 24 février 2021 ;
- Norme AFNOR NF X50-110 de mai 2003 sur les « prescriptions générales de compétence pour une expertise » ;

Concernant les gaz du sol :

- Norme NF ISO 18400-203 « Qualité du sol – Échantillonnage - Partie 203 : investigations des sites potentiellement contaminés » ;
- Norme NF ISO 18400-204 « Qualité du sol – Échantillonnage – Partie 204 : lignes directrices l'échantillonnage des gaz du sol » (07/2017) ;
- Le guide INERIS du 21/11/2016 « Guide pratique pour la caractérisation des gaz du sol et de l'air intérieur en lien avec une pollution des sols et/ou des eaux souterraines » ;

3. Localisation du site de l'étude

Le site d'étude est localisé au 3675 Quai de la Gironde sur la commune du Havre, dans le département de Seine-Maritime (76). Le site comprend une partie des parcelles cadastrales n° 0193 et 0020 de la section NL pour une surface d'environ 15 200 m² dont 2 040 m² de bâti. Le site présente une altitude moyenne de 5,0 m NGF.



Figure 1 : Localisation de la zone d'étude sur fond de carte IGN (délimitation rouge, géoportail.gouv.fr)

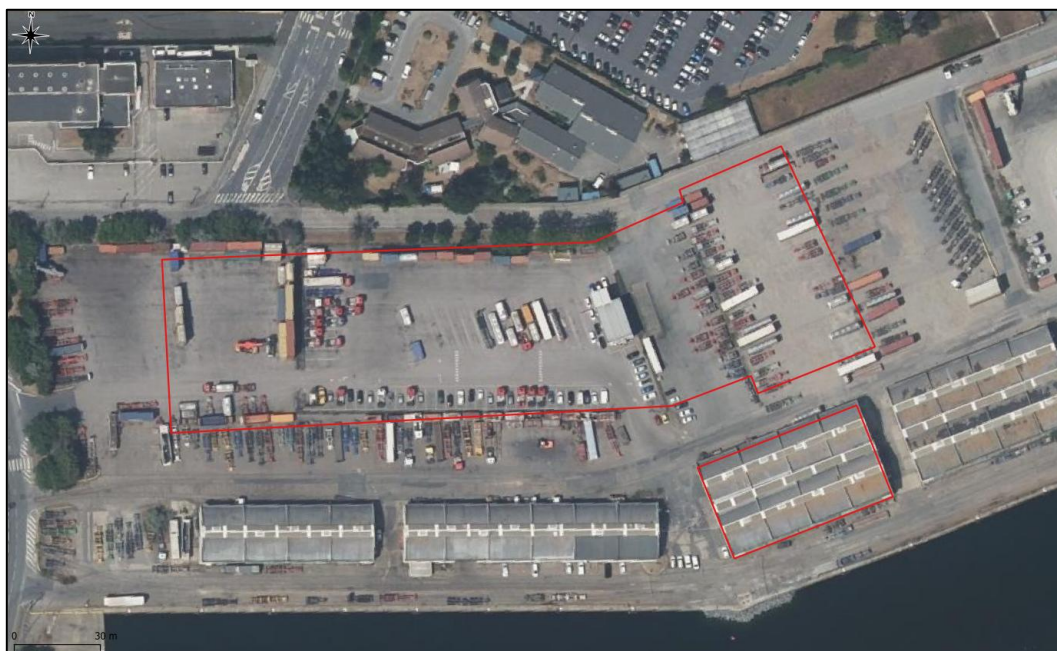


Figure 2 : Photographie aérienne du site (délimitation rouge, géoportail.gouv.fr)

Le périmètre exact de l'étude est présenté ci-dessous.

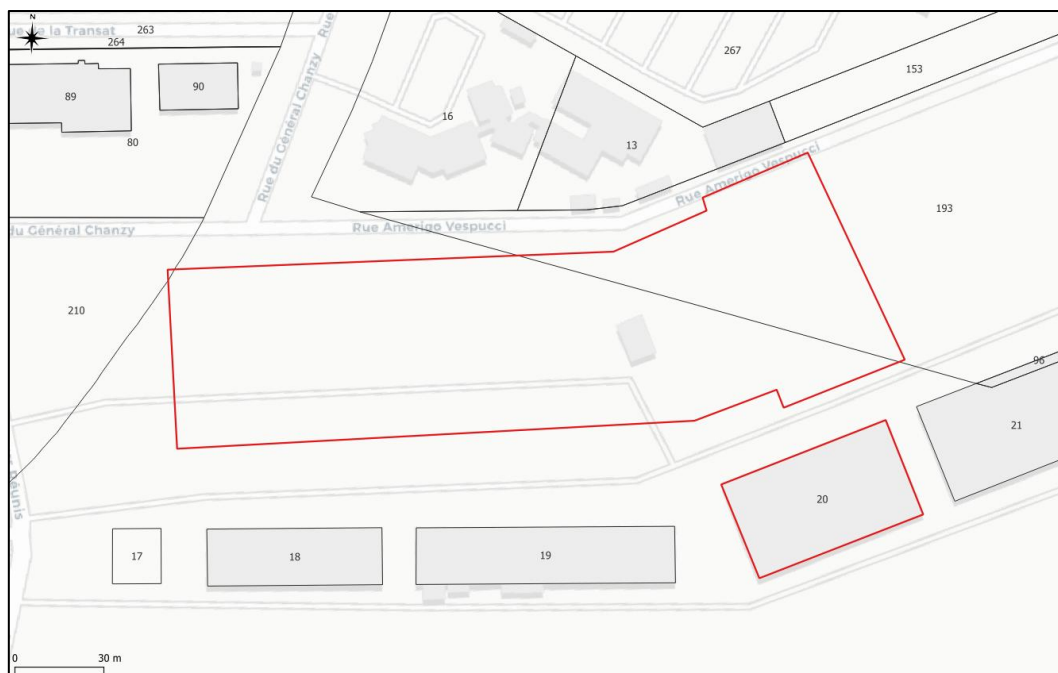


Figure 3 : Plan de la zone d'étude sur fond de carte cadastrale (délimitation rouge, geoportail.gouv.fr)

4. Résumé des études précédentes

4.1. Résumé des contextes historique et environnemental

Les contextes historique et environnemental ont été décrits par CD-Environnement dans un rapport réalisé le 22 novembre 2019.

4.1.1. Résumé du contexte historique

Le site n'est pas recensé dans la base de données BASIAS, BASOL, ICPE et SIS. En revanche, celui-ci est soumis au même titre que toute la commune du Havre à un PPRT Installations industrielles. La zone est classée PPRT pour des aléas pouvant induire des effets thermiques, de surpressions et toxiques.

D'un point de vue historique, le site est probablement exploité depuis la fin du 19^{ème} siècle. Par ailleurs, des photographies aériennes de 1919 montrent déjà une exploitation intense du site comme port industriel. Le site a aussi subi de grands dommages au cours de la Seconde Guerre mondiale, dû probablement aux bombardements. Encore à l'heure actuelle, la zone étudiée est intensément exploitée comme port industriel, de nombreux sites BASIAS, BASOL et ICPE sont recensés dans un rayon de 500m autour du site.

➔ ***Vu l'historique du site, celui-ci est très probablement impacté par les anciennes activités et événements historiques (guerres notamment). Les impacts sur la qualité environnementale du site peuvent être potentiellement importants.***

4.1.2. Résumé du contexte environnemental

- Contexte géologique

Le site repose sur la couche géologique « *Alluvions modernes* », noté : Fz.

Les alluvions des vallées sont constituées par des limons de crue, pouvant renfermer des lentilles tourbeuses (vallée de la Touques). Ces vases sableuses recouvrent des graviers et galets roulés accumulés au Würm. Les galets, formés essentiellement de silex roulés, sont emballés dans une matrice calcaire très chargée en glauconie remaniée. Ces alluvions grossières renferment une nappe aquifère saumâtre dans la basse vallée de la Touques.

Au vu de l'exploitation du site et de ses environs il n'est pas non plus exclu que cette couche de limon soit recouverte en premier d'une couche de remblais (X/Fz). Pour l'exposition aux retraits gonflement des argiles, l'aléa est faible.

- Contexte hydrogéologique :

Masses d'eau souterraines présentent sous le site sur 3 niveaux, nommés :

- Niveau 1 – « Alluvions de la Seine moyenne et aval » ;
- Niveau 2 – « Craie altérée de l'estuaire de la Seine » ;
- Niveau 3 – « Albien-néocomien captif ».

Aucun captage AEP dans un rayon de 1000 m autour du site.

Lors des investigations de HUB-Environnement en 2019, le niveau des eaux était mesuré à 1,5 m de profondeur.

Entité hydrogéologique (BDLISA BRGM, entité affleurante par état) : 924AA01 ; Alluvions actuelles à anciennes de la Seine moyenne et aval ; Entité hydrogéologique à nappe libre ; Unité aquifère ; Alluvial ; Poreux.

- Contexte hydrologique :

Le bassin Vétillard est présent en abord immédiat, limite de propriété Sud (récolement Géoportail). Milieu portuaire.

- ➔ ***Cette situation géologique rend le milieu souterrain plutôt vulnérable à une pollution de surface du fait de la présence possible de lentilles tourbeuses. De plus, les particules de limon étant de diamètre intermédiaire, cela contribue aussi à rendre les sols vulnérables à une pollution de surface.***
- ➔ ***Les eaux souterraines sont considérées comme vulnérable au vu de la profondeur des eaux (1,5 m de profondeur).***
- ➔ ***Les eaux de surface sont vulnérables à un potentiel impact du site au vu de la proximité immédiate du bassin avec la zone d'étude.***

4.2. Synthèse des investigations précédentes

La synthèse des investigations précédente est présentée dans le tableau suivant.

Tableau 1 : Synthèse des investigations précédentes

Etude	Investigations
Diagnostic environnemental de pollution des sols – CD Environnement (Novembre 2019)	<u>Contexte</u> : Diagnostic environnemental des sols et des gaz du sol. <u>Investigations</u> : Réalisation d'une campagne de 20 mesures de COV dans les gaz du sol au PID portatif, et de 5 sondages sol au carottier portatif (jusqu'à 1,60 m de profondeur). <u>Résultats dans les gaz du sol</u> : - 2 zones COV > 50 ppmV au droit de l'atelier mécanique et du parking poids-lourds, stockage de containers ; - Des zones COV > 15 ppmV au droit du parking poids-lourds et stockages containers. <u>Résultats dans les sols</u> : - Une anomalie modérée en nickel au droit de S1 ; - HCT C₁₀-C₄₀ > seuil ISDI au droit de S1 (940 mg/kg MS) et S3 (740 mg/kg MS) ; - Présence de HAP, BTEX et PCB dans les sols.

**Diagnostic
complémentaire de la
qualité
environnementale des
sols –
HUB-Environnement
(Décembre 2019)**

Contexte : Diagnostic environnemental des sols afin de déterminer les extensions latérales et verticales des zones sources mises en évidence.

Investigations : Réalisation d'une campagne de 8 mesures de COV dans les gaz du sol au PID portatif, de 4 sondages sol au carottier portatif et de 2 piézomètres.

Résultats dans les gaz du sol :

- 2 zones COV > 50 ppmV au droit de l'atelier mécanique et du parking poids-lourds, stockage de containers ;
- 3 zones COV >15 ppmV au droit de la zone d'entrepôt de containers et au Nord et Sud de la parcelle n°154 NL.
- La présence de CAV/BTEX notamment en xylènes (2 133 µg/m³) et toluène (61 µg/m³) ;
- La présence d'hydrocarbure C₅-C₁₆ aromatiques jusqu'à 3 533 µg/m³.

Résultats dans les sols :

- Des anomalies fortes en plomb au droit de C1.1 (92 mg/kg MS) et en nickel au droit de C2.1 (270 mg/kg MS) situés au droit du parking poids-lourds ;
- Des anomalies modérées en cuivre et zinc au droit de C2.1 ;
- Des traces de HCT et HAP sur la quasi-totalité des sondages exceptés C3.

Résultats dans les eaux souterraines :

- Dépassement du seuil d'acceptation de l'annexe I en nickel sur l'ensemble des piézomètres (jusqu'à 1 400 g/l) et en plomb au droit de Pz1 (34 µg/l) ;
- Aucun dépassement des seuils qualités de l'arrêté du 11/01/2017 des composés organiques sur l'ensemble des piézomètres.

La carte de synthèse des études précédentes présente l'état des lieux du site en 2019.

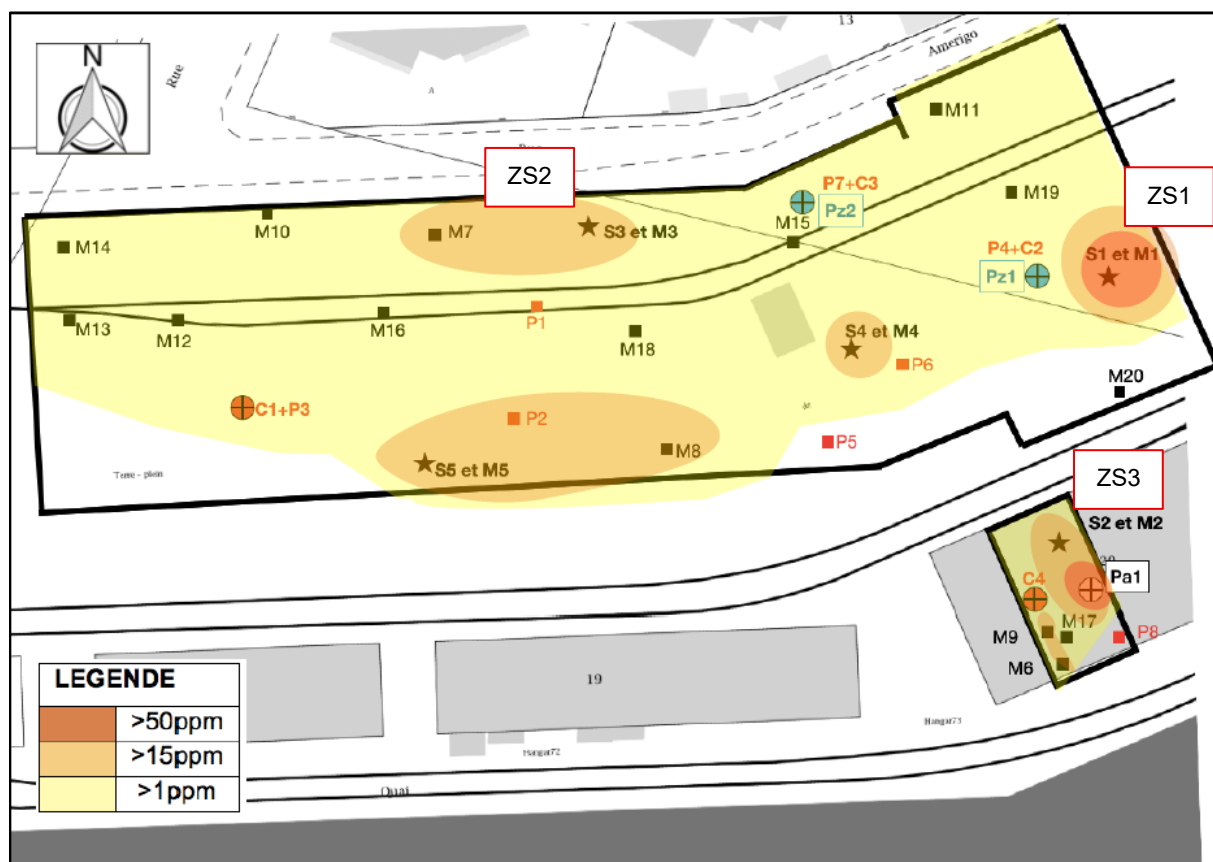


Figure 4 : Cartographie des zones sources mises en évidence par les études précédentes

Désignation	Caractéristiques pollution	Profondeur de la source	Surface de la source
ZS1	HCT C ₁₀ -C ₄₀ : 940mg/kg MS COV : 75,5 ppmV Plomb et Nickel (nappe d'eau)	0-1 m	170 m ²
ZS2	HCT C ₁₀ -C ₄₀ : 740mg/kg MS COV : 28 ppmV	0-1 m	150 m ²
ZS3	COV : >50ppmV Toluène : 61,3 µg/m ³ Xylènes totaux : 2933 µg/m ³	0-1 m	150 m ²

➔ **Suite aux investigations précédentes, 3 zones concentrées sont mises en évidence :**

- **ZS1 : à l'Est du parking avec HCT > seuil ISDI, COV >50 ppmV, métaux lourds (Pb et Ni)**
- **ZS2 : au Nord du parking avec HCT >seuil ISDI, COV >10 ppmV**
- **ZS3 : au droit du bâtiment d'atelier avec COV >50 ppmV et CAV (toluène et xylènes totaux) dans les gaz du sol**

5. Intervention HUB-Environnement (Juin 2025)

5.1. Mesures préalables avant le démarrage des investigations

Les démarches entreprises avant le démarrage des investigations sont les suivantes :

- La collecte des plans des réseaux disponibles et l'autorisation d'intervenir sur site ;
- La réalisation conjointe de la Déclaration de projet de Travaux (DT) et de la Déclaration d'Intention de Commencement de Travaux (DICT) ;
- L'évaluation des risques professionnels.

5.2. Méthodologie d'investigations

5.2.1. Méthodologie des prélèvements des sols

Chaque sondage fait l'objet d'une coupe lithologique, d'un relevé des observations organoleptiques (odeur, couleur et aspect) des matériaux rencontrés, et de prélèvements de sol caractéristiques. Les coupes lithologiques des sondages sont présentées dans les fiches de prélèvements en **Annexe 3**.

De plus, des mesures des gaz photoionisables sont réalisées au moyen d'un PID (photo ionisation detector) au cours de la réalisation des sondages. Cet appareil permet la détection et la quantification de COV totaux (composés organiques volatils) avec une sensibilité de 0,1 ppm.

Les prélèvements sont effectués selon les bases des normes NF ISO 18400-104 et 107 qui présentent les préconisations d'échantillonnage des sols pollués en vigueur. Au niveau de chaque sondage, les prélèvements de sol sont réalisés de manière systématique, soit un échantillon par horizon lithologique homogène ou soit un échantillon prélevé tous les mètres.

Les prélèvements de sols sont conditionnés dans du flaconnage à usage unique adapté aux analyses prévues (compatibilité chimique), fermés de manière hermétique. Ils sont conservés dans des conditions adéquates de température (4°C) et de luminosité. Chaque flacon est identifié par un numéro d'affaire HUB-Environnement, un code identifiant le site, le nom de l'échantillon et la date de prélèvement.

Le transfert des échantillons est effectué dans un délai maximum de 24h après leur prélèvement vers le laboratoire AGROLAB possédant une accréditation du COFRAC. Les dates d'envoi des échantillons sont précisées dans les fiches de prélèvements en Annexe 1. Les échantillons sont expédiés par transporteur express ou par la navette dédiée du laboratoire et sont réceptionnés par le laboratoire le lendemain de l'intervention.

Le mode de gestion des cuttings consiste à réemployer sur chaque sondage effectué les matériaux extraits dans leur ordre inverse de sortie, en privilégiant de remettre en place les sols dits « impactés »

5.2.2. Méthodologies d'investigation des gaz du sol

Nous rappelons qu'une analyse détaillée de l'air du sol permet de préciser les composés volatils pouvant engendrer un risque sanitaire pour les futurs usagers.

➤ Technique de « sub-slab » – air sous dalle

Les prélèvements d'air sous dalle permettent de caractériser les gaz du sol au droit d'un bâtiment. Le revêtement de surface (dalle) est percé au moyen d'un perforateur jusqu'à une profondeur de 10 à 20 cm minimum sous la dalle. Un flexible en PEHD est mis en place dans le trou ainsi créé (sans entrer en contact avec les sols afin de ne pas obturer la prise d'air de la pompe avec des particules de sols). L'espace annulaire est ensuite obturé avec de la bentonite sous forme de pâte. Le flexible est finalement relié au dispositif de prélèvement.

Si des voies de transfert préférentielles (fissures, passages de réseaux, etc.) sont identifiées près du prélèvement d'air sous dalle, celles-ci seront colmatées (avec de la bentonite) avant le début de l'échantillonnage.

A la fin du prélèvement, le trou réalisé est rebouché avec du ciment afin de réassurer l'étanchéité de la dalle.

➤ Préparation des ouvrages

Un test d'étanchéité est réalisé préalablement à la mesure afin de garantir que ce sont les gaz du sol qui sont prélevés. Les gaz du sol sont pompés à travers l'ouvrage et analysés à l'explosimètre pour la mesure de O₂ et CO₂, si les teneurs sont comparables à celles de l'air ambiant (O₂ ≈ 21% et CO₂ ≈ 400 ppmv pour l'air extérieur), une entrée d'air dans l'ouvrage est probable et l'étanchéité doit être refaite.

Une purge est également réalisée afin d'évacuer l'air stagnant dans la colonne de l'ouvrage réalisé, cette purge est réalisée jusqu'à stabilisation des COVs mesurés en continu au PID ou de l'O₂ et du CO₂ à l'explosimètre.

➤ Protocole de prélèvement (cf. fiche de prélèvement en **Annexe 2**)

Le prélèvement a été réalisé par pompage des gaz avec liaison du flexible inerte à la pompe et piégeage sur des supports absorbants sélectifs adaptés aux composés recherchés. Les conditions de prélèvement (débits des pompes et temps de prélèvement) sont définies préalablement avec le laboratoire d'analyse de façon à obtenir une sensibilité analytique de l'ordre du µg/m³.

Les paramètres utilisés pour le prélèvement d'air sont les suivants :

- Débit de pompage : 0,5 l/min
- Temps de prélèvement : 30 minutes par échantillon
- Supports de prélèvement : charbon actif

Le débit de pompage est vérifié au début et à la fin du prélèvement, avec l'ensemble du matériel installé (afin de prendre en compte l'ensemble des pertes de charge et des potentielles variations). Les mesures de débit réalisées sont reportées sur les fiches de terrain fournies en annexe. Ces opérations de contrôle des débits sur site ont été réalisées à l'aide d'un débitmètre systématiquement placé entre le support de prélèvement et la pompe afin d'éviter une éventuelle contamination croisée liée au débitmètre.

Les supports de prélèvement sélectionnés pour analyses sont conditionnés dans des flacons adaptés aux analyses prévues (compatibilité chimique) puis immédiatement stockés en glacière réfrigérées à 4°C pour être transportés au laboratoire d'analyses.

➤ Constitution des blancs de terrain

Le blanc de terrain a été constitué de la manière suivante :

- Ouverture des tubes au moment de l'ouverture des premiers tubes de prélèvement ;
- Fermeture des tubes pendant la phase pompage ;
- Réouverture des tubes lors de la désinstallation des tubes de prélèvement puis fermeture définitive.

Ce protocole a été réalisé afin de maximiser l'absorption de composés « parasites », le blanc de terrain a été finalement fermé et conditionné dans la glacière comme l'ensemble des tubes de prélèvements pour pouvoir conclure sur une éventuelle interférence des conditions de terrain sur les supports.

5.3. Programme des investigations

Le programme initial des investigations du 13 juin 2025 est résumé dans le tableau suivant.

Tableau 2 : Programme des investigations du 13 juin 2025

Ouvrages	Méthode de sondage	Nombre d'ouvrages	Profondeur	Analyses
Sondages sol	Carottage	7	0-3 m t/n	9 analyses COHV, BTEX, HCT, HAP, PCB & ETM et mesures PID pour profil selon la profondeur
Micro-sondages	Perforateur	6	0-0,5 m t/n	COV globaux au PID en ppmV
Sub-Slab	Pompe Gil-air	1	0-0,5 m t/n	2 analyses TPH, BTEX, COHV, BTEX et naphtalène + 1 blanc

5.3.1. Investigations des sols

La campagne de sondages sol a été réalisée le 13 juin 2025 à l'aide d'un carottier portatif. L'implantation des sondages est présentée sur la carte suivante.

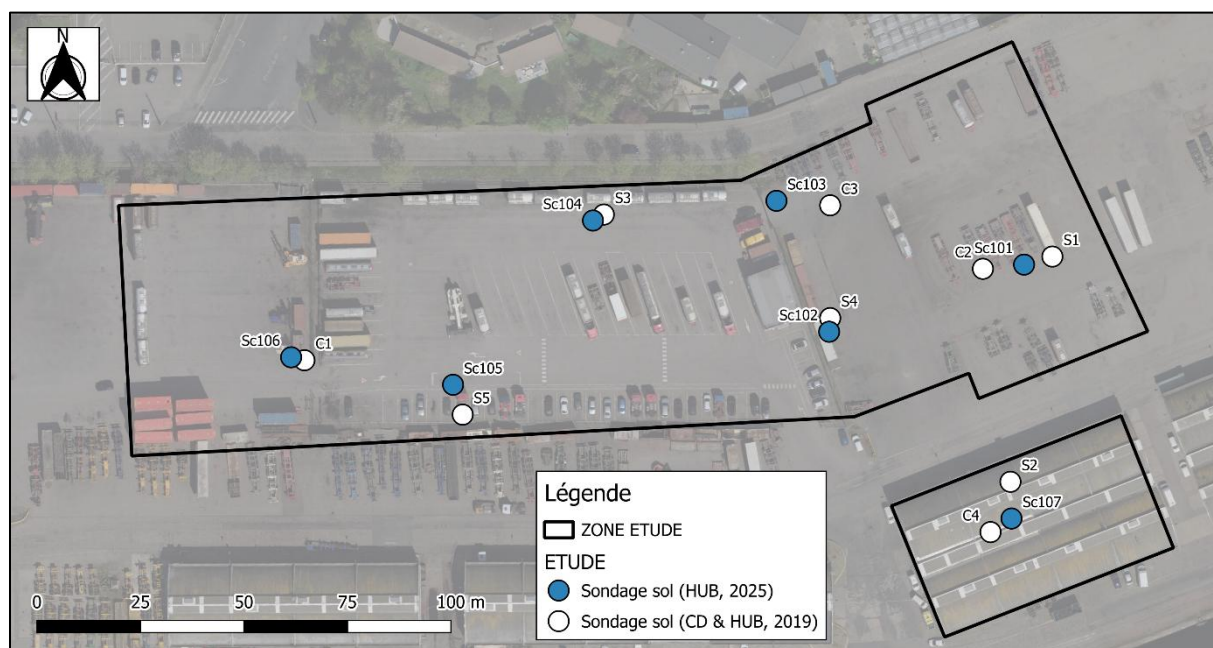


Figure 5 : Localisation des sondages sols de HUB-Environnement (Juin, 2025)

Le tableau ci-dessous résume la justification des emplacements des sondages sols.

Tableau 3 : Justification de l'implantation des sondages de juin 2025

Sondage	Coordonnées du point de sondage			Justification /Activités sensibles (identifiées dans le contexte historique)
	X	Y	Z (mNGF)	
Sc101	492924,15	6935310,60	4,8	Etat des lieux des sols après investigations réalisées en 2019 par CD Environnement et HUB-Environnement
Sc102	492877,04	6935294,39	5,4	
Sc103	492864,31	6935326,00	5,3	
Sc104	492819,97	6935321,24	5,3	
Sc105	492786,15	6935281,59	5,7	
Sc106	492747,02	6935288,23	5,6	
Sc107	492921,11	6935249,31	4,9	

Les caractéristiques des sondages et des prélèvements de sols sont données dans le tableau ci-dessous.

Tableau 4 : Caractéristiques des sondages réalisés

Sondages	Profondeur	Lithologie	Critères organoleptiques	Eau	PID	Echantillon
Sc101	0 – 0,25 m	Remblais sableux graveleux	RAS	Sec	3,2 ppmV	Sc101.1
	0,25 – 0,5 m	Brique et dalle				
	0,5 – 0,7 m	Limons sableux noirs				
	0,7 – 1 m	Limono-sableux marron-vert				
	1 – 1,2 m					
	1,2 – 2 m	Sable limoneux gris-bleu		Humide à 1,5 m	0 ppmV	Sc101.2

Sondages	Profondeur	Lithologie	Critères organoleptiques	Eau	PID	Echantillon
Sc102	0 – 0,05 m	Enrobée	/	/	/	/
	0,05 – 0,5 m	Remblais sableux graveleux	RAS	Sec	0,2 ppmV	Sc102.1
	0,5 – 0,7 m	Dalle et remblais				
	0,7 – 1 m	Limons sableux noirs				

Sondages	Profondeur	Lithologie	Critères organoleptiques	Eau	PID	Echantillon
Sc103	0 – 0,05 m	Enrobée	/	/	/	/
	0,05 – 0,8 m	Remblais sableux graveleux, cailloux	RAS	Sec	2,7 ppmV	Sc103.1
	0,8 – 1 m	Remblais sableux marron foncé				
	Refus					

Sondages	Profondeur	Lithologie	Critères organoleptiques	Eau	PID	Echantillon
Sc104	0 – 0,1 m	Enrobée	Légère odeur HCT	/	/	/
	0,1 – 0,7 m	Remblais sableux et cailloux	RAS	Sec	5,8 ppmV	Sc104.1
	0,7 – 1 m	Limono-sableux marron				

Sondages	Profondeur	Lithologie	Critères organoleptiques	Eau	PID	Echantillon
Sc105	0 – 0,05 m	Enrobée	/	/	/	/
	0,05 – 0,3 m	Grave	RAS	Sec		Sc105.1
	Refus					

Sondages	Profondeur	Lithologie	Critères organoleptiques	Eau	PID	Echantillon
Sc106	0 – 0,05 m	Enrobée	/	/	/	/
	0,05 – 0,4 m	Remblais sableux, cailloux	RAS	Sec	4,2 ppmV	Sc106.1
	0,4 – 0,8 m	Alluvions sablo-limoneux gris	Traces noires			
	Refus					

Sondages	Profondeur	Lithologie	Critères organoleptiques	Eau	PID	Echantillon
Sc107	0 – 0,1 m	Dalle	/	/	/	/
	0,1 – 0,4 m	Remblais sableux gris-marron	RAS	Sec	2,3 ppmV	Sc107.1
	0,4 – 1 m	Sablo-limoneux grisâtre				
	1 – 2 m		Odeur eaux usées	Légèrement humide	/	Sc107.2
	2 – 3 m			Humide à noyé		Sc107.3

Légende

COV > 1 ppm	COV > 10 ppm	COV > 50 ppm
Echantillon envoyé en laboratoire		

5.3.2. Investigations des gaz du sol

Au cours des investigations, un prélèvement de gaz du sol pour analyse laboratoire a été réalisé. L'emplacement de ce prélèvement de gaz du sol est indiqué sur la carte ci-dessous.

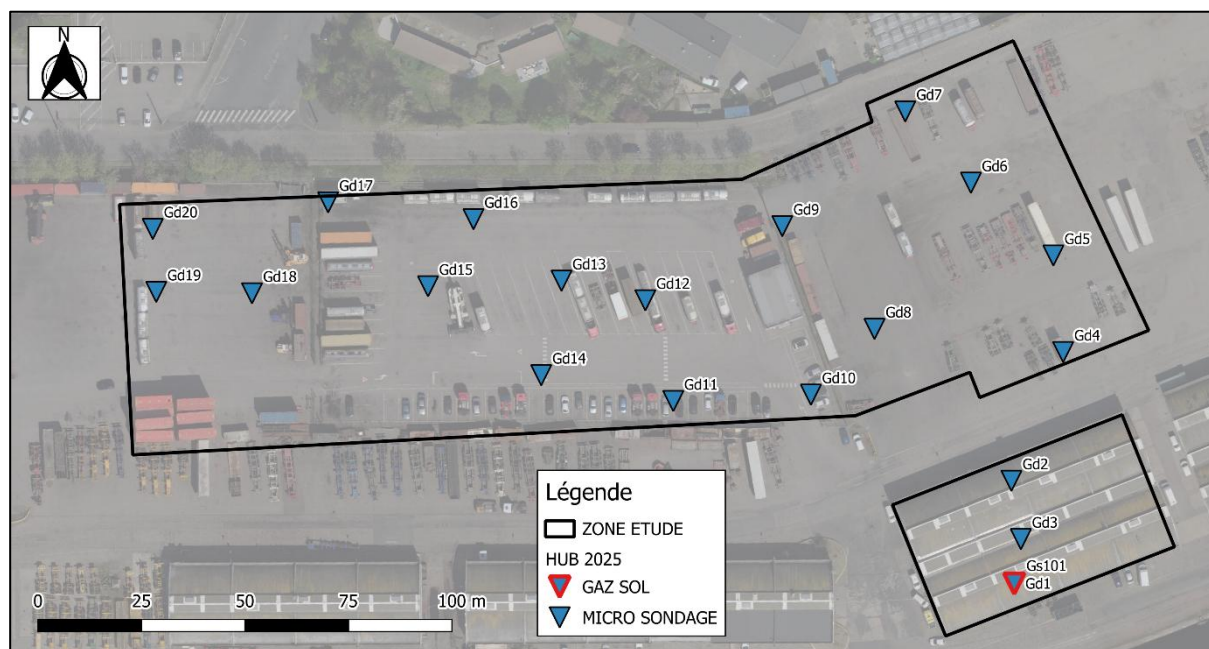


Figure 6 : Localisation du gaz du sol (Juin, 2025)

Au cours des investigations, 1 prélèvements de gaz du sol ont été effectué au niveau du point **Gd1** en vue d'une analyse en laboratoire ; une valeur PID > 200 ppm y a été mesurée. Un blanc de terrain a été réalisé. Les caractéristiques de ce prélèvement sont présentées dans le tableau suivant.

Tableau 5 : Caractéristiques du prélèvement de gaz du sol

Échantillon	Support	Début de prélèvement	Fin de prélèvement	Débit de prélèvement	Volume prélevé
Gs101	Charbon Actif	13h52	14h22	0,5 l/min	15,127 l

6. Interprétation des résultats d'analyses

6.1. Résultats laboratoire des gaz du sol

6.1.1. Résultats d'analyses des COV sur site

Les résultats de la campagne de mesures de COV sont présentés dans le tableau suivant.

Tableau 6 : Résultats d'analyses des COV sur site (ppmV)

Point	Gd1	Gd2	Gd3	Gd4	Gd5	Gd6	Gd7	Gd8	Gd9	Gd10
COV	396,7	4,8	0,4	21,7	14,2	0	23,3	25,0	1,8	17,2

Point	Gd11	Gd12	Gd13	Gd14	Gd15	Gd16	Gd17	Gd18	Gd19	Gd20
COV	10,9	7,6	6,4	12,6	4,8	11,8	109,0	9,7	6,0	18,5

Légende

COV > 1 ppm	COV > 10 ppm	COV > 50 ppm	> 100 ppmV
-------------	--------------	--------------	------------

➤ Commentaires :

- COV supérieurs à 100 ppmV au droit de Gd1 (bâtiment) et Gd17 (parking) ;
- COV supérieurs à 10 ppmV sur plus de 40% des mesures réalisées (jusqu'à 25,0 ppmV) ;
- COV supérieures à 1 ppmV sur 7 des 20 mesures réalisées (jusqu'à 9,7 ppmV).

6.1.2. Carte et graphique de répartition des COV

La carte de répartition des teneurs en COV mises en évidence lors des campagnes de mesures au PID est présentée sur la figure suivante.

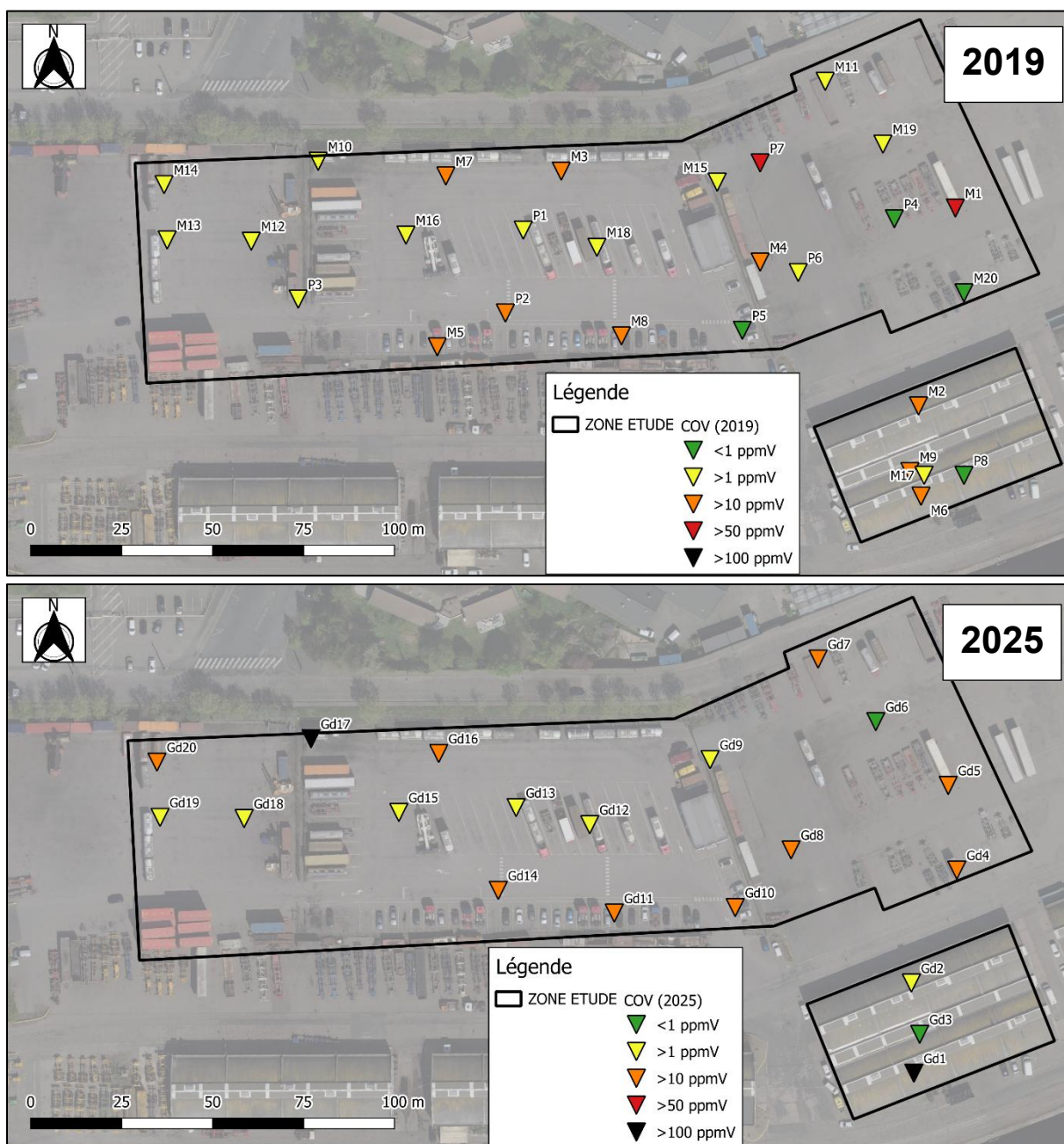


Figure 7 : Carte des anomalies en COV entre 2019 et 2025

➤ Commentaires :

Les cartographies mettent en évidence :

- Des impacts ponctuels en COV > 100 ppmV au droit du bâtiment et du parking (non identifiées en 2019) ;
- Une partie Sud du parking et stockage containers présente des anomalies en COV > 10 ppmV en 2025.

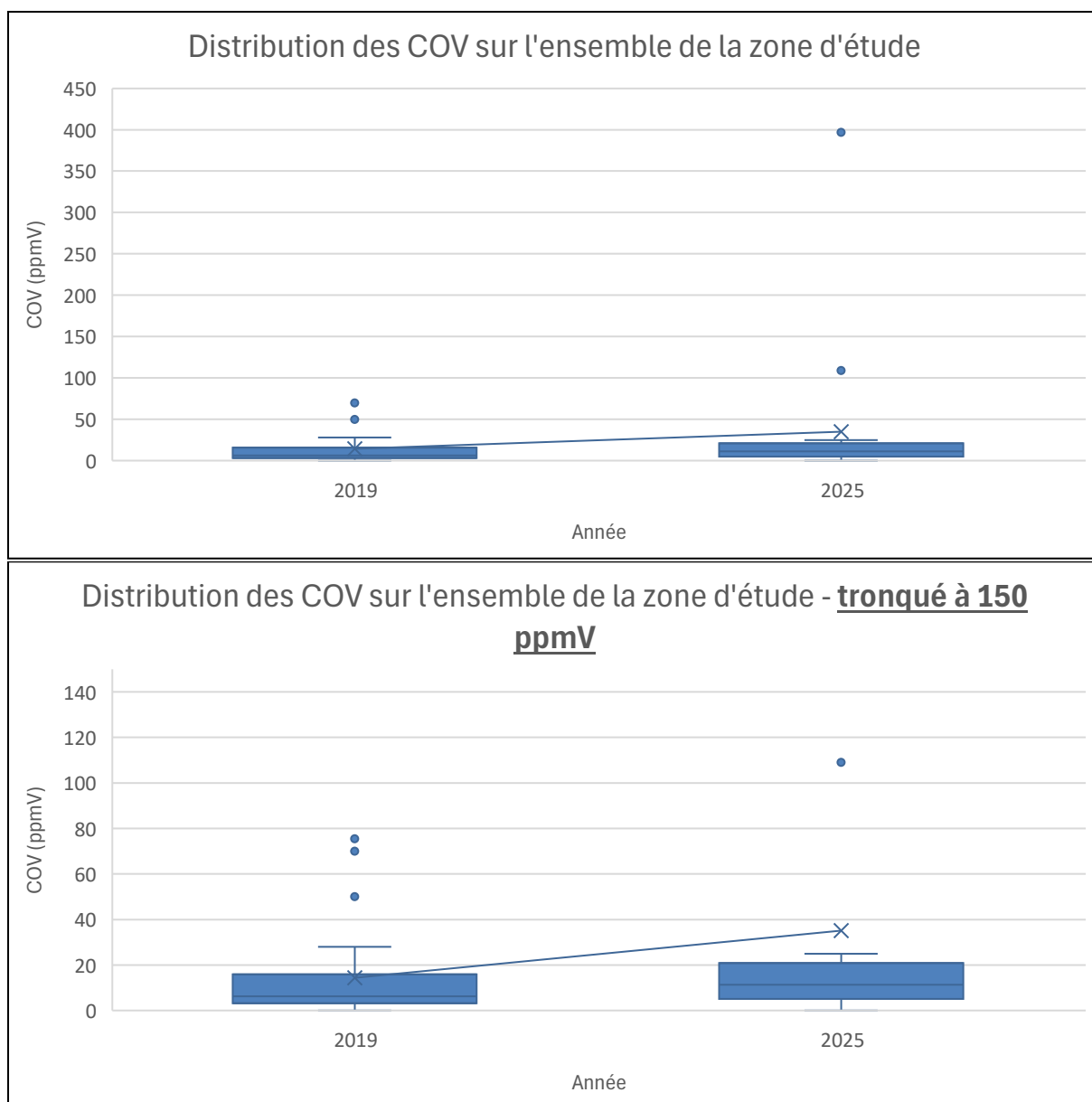


Figure 8 : Distribution des COV (ppmV) entre les campagnes 2019 & 2025

➤ **Commentaires :**

Le graphique met en évidence :

- des concentrations en COV plus importantes et une plus grande hétérogénéité des valeurs en 2025 que 2019 ;
- En 2025, des valeurs ponctuelles avec des concentrations supérieures à celles mises en évidence en 2019 (COV > 100 ppmV).

➔ **Les concentrations en COV sont en moyenne plus importantes et moins homogènes en 2025 par rapport aux investigations de 2019.**

➔ **Des concentrations ponctuellement supérieures à 50 ppmV, voire 100 ppmV sont mesurées sur les deux campagnes.**

6.1.3. Résultats laboratoire des gaz du sol

Les résultats d'analyse des échantillons de gaz du sol envoyé au laboratoire AGROLAB sont disponibles ci-après. Les bordereaux d'analyses sont disponibles en **Annexe 3**. Les résultats d'analyses présentés dans le tableau et sur le bordereau sont en concentration absolue (quantité totale de composé présente dans le volume d'air pompé).

Tableau 7: Résultats des composés organiques dans les gaz du sols ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

Analyses	Gs101-CM	Gs101-CC	Blanc-CM	Blanc-CC
COMPOSES AROMATIQUES VOLATILS				
Naphtalène	< LD	< LD	< LD	< LD
Benzène	13,88	< LD	< LD	< LD
Toluène	403,3	< LD	< LD	< LD
Ethylbenzène	363,6	< LD	< LD	< LD
m, p-Xylène	2604,6	< LD	< LD	< LD
o-Xylène	1646,1	< LD	< LD	< LD
Somme Xylènes	4231	< LD	< LD	< LD
Somme des CAV	5031	< LD	< LD	< LD
COMPOSES ORGANO-HALOGENES VOLATILS				
Somme des COHV	< LD	< LD	< LD	< LD
1,1-Dichloroéthène	< LD	< LD	< LD	< LD
Chlorure de Vinyle	< LD	< LD	< LD	< LD
Dichlorométhane	< LD	< LD	< LD	< LD
Trans-1,2-Dichloroéthylène	< LD	< LD	< LD	< LD
1,1-Dichloroéthane	< LD	< LD	< LD	< LD
cis-1,2-Dichloroéthylène	< LD	< LD	< LD	< LD
Trichlorométhane	< LD	< LD	< LD	< LD
1,2-Dichloroéthane	< LD	< LD	< LD	< LD
1,1,1-Trichloroéthane	< LD	< LD	< LD	< LD
Tétrachlorométhane	< LD	< LD	< LD	< LD
Trichloroéthylène	< LD	< LD	< LD	< LD
1,1,2-Trichloroéthane	< LD	< LD	< LD	< LD
Tétrachloroéthylène	< LD	< LD	< LD	< LD
HYDROCARBURES VOLATILS				
Somme HC aromatiques	39 664	< LD	< LD	< LD
HC aromatiques >C ₆ -C ₇	13,88	< LD	< LD	< LD
HC aromatiques >C ₇ -C ₈	403,3	< LD	< LD	< LD
HC aromatiques >C ₈ -C ₁₀	26 443	< LD	< LD	< LD
HC aromatiques >C ₁₀ -C ₁₂	9 255	< LD	< LD	< LD
HC aromatiques >C ₁₂ -C ₁₆	3371	< LD	< LD	< LD
Somme HC aliphatiques	152 046	< LD	< LD	< LD
HC aliphatiques >C ₅ -C ₆	< LD	< LD	< LD	< LD
HC aliphatiques >C ₆ -C ₈	5 487	< LD	< LD	< LD
HC aliphatiques >C ₈ -C ₁₀	92 550	< LD	< LD	< LD
HC aliphatiques >C ₁₀ -C ₁₂	44 292	< LD	< LD	< LD
HC aliphatiques >C ₁₂ -C ₁₆	9 255	< LD	< LD	< LD

Légende :

< LD : Valeur inférieure à la limite de détection du laboratoire

➤ **Commentaires :** Les résultats d'analyse laboratoire des gaz du sol mettent en évidence :

- La présence de composés aromatiques volatils jusqu'à 5 031 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (principalement sous la forme de xylènes totaux) ;
- La présence d'hydrocarbure aromatique jusqu'à 39 664 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, (principalement sous la forme C₈-C₁₀) ;
- La présence d'hydrocarbure aliphatique jusqu'à 152 046 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, (principalement sous la forme C₈-C₁₀ & C₁₀-C₁₂)

6.2. Résultats d'analyses dans les sols

6.2.1. Résultats d'analyses en laboratoire des métaux lourds sur brut

Les résultats d'analyses sur les métaux lourds obtenus sont présentés dans le tableau ci-dessous. Les bordereaux d'analyse sont disponibles en **Annexe 4**. Pour assurer l'interprétation des résultats, en l'absence de référence réglementaire, les teneurs en métaux lourds ont été comparées aux valeurs moyennes en « anomalies modérées » du fond géochimique issues du programme INRA-ASPITET de 1993 ; ce programme avait pour objectif de définir le bruit de fond géochimique national.

Tableau 8 : Résultats des analyses de métaux dans les sols (mg/kg MS)

Métaux Lourds	Référence INRA	Sc101.1	Sc101.2	Sc102.1	Sc103.1	Sc104.1
		0-1 m	1-2 m	0-1 m	0-1 m	0-1 m
Arsenic (As)	30-60	5,1	4,5	6,7	3,9	6,0
Cadmium (Cd)	0,7-2	< LD	< LD	0,1	0,2	0,2
Chrome (Cr)	90-150	18	12	17	11	18
Cuivre (Cu)	20-62	23	1,1	36	11	35
Mercure (Hg)	0,15-2,3	0,10	< LD	0,72	< LD	0,09
Nickel (Ni)	60-130	13	5,6	20	12	16
Plomb (Pb)	60-90	42	5,1	130	32	39
Zinc (Zn)	100-250	41	17	98	68	91

Métaux Lourds	Référence INRA	Sc105.1	Sc106.1	Sc107.1	Sc107.2
		0-1 m	0-1 m	0-1 m	1-2 m
Arsenic (As)	30-60	1,6	1,8	4,7	4,0
Cadmium (Cd)	0,7-2	0,1	< LD	0,1	< LD
Chrome (Cr)	90-150	50	12	15	14
Cuivre (Cu)	20-62	13	5,1	22	1,2
Mercure (Hg)	0,15-2,3	< LD	< LD	2,03	< LD
Nickel (Ni)	60-130	10	6,9	21	6,6
Plomb (Pb)	60-90	12	17	45	9,0
Zinc (Zn)	100-250	23	25	63	20

Légende :

Sol ordinaire
Anomalie modérée
Anomalie forte
< LD : Valeur inférieure à la limite de détection du laboratoire

➤ Commentaires :

Les résultats d'analyse laboratoire des métaux lourds sur brut mettent en évidence :

- Une anomalie forte ponctuelle en plomb au droit de Sc102 – couche 0-1 m/tn ;
- Des anomalies modérées en cuivre au droit de 4 sondages sol – couche 0-1 m/tn ;
- Des anomalies modérées en mercure (jusqu'à 2,03 mg/kg MS) au droit de Sc102 et Sc107 – couche 0-1 m/tn ;
- Les autres échantillons sont conformes au fond géochimique national du référentiel INRA ASPITET.

6.2.2. Cartes de répartition des métaux lourds dans les sols

Les cartes de répartition des anomalies en métaux lourds sur brut ont été réalisées pour les tranches de 0-1 m et 1-2 m/t/n, en prenant en compte la totalité des analyses et en attribuant à chaque sondage la concentration maximale mise en évidence sur la profondeur.

Les seuils pris comme référence sont les valeurs moyennes en « anomalies modérées » du fond géochimique issues du programme INRA-ASPITET.

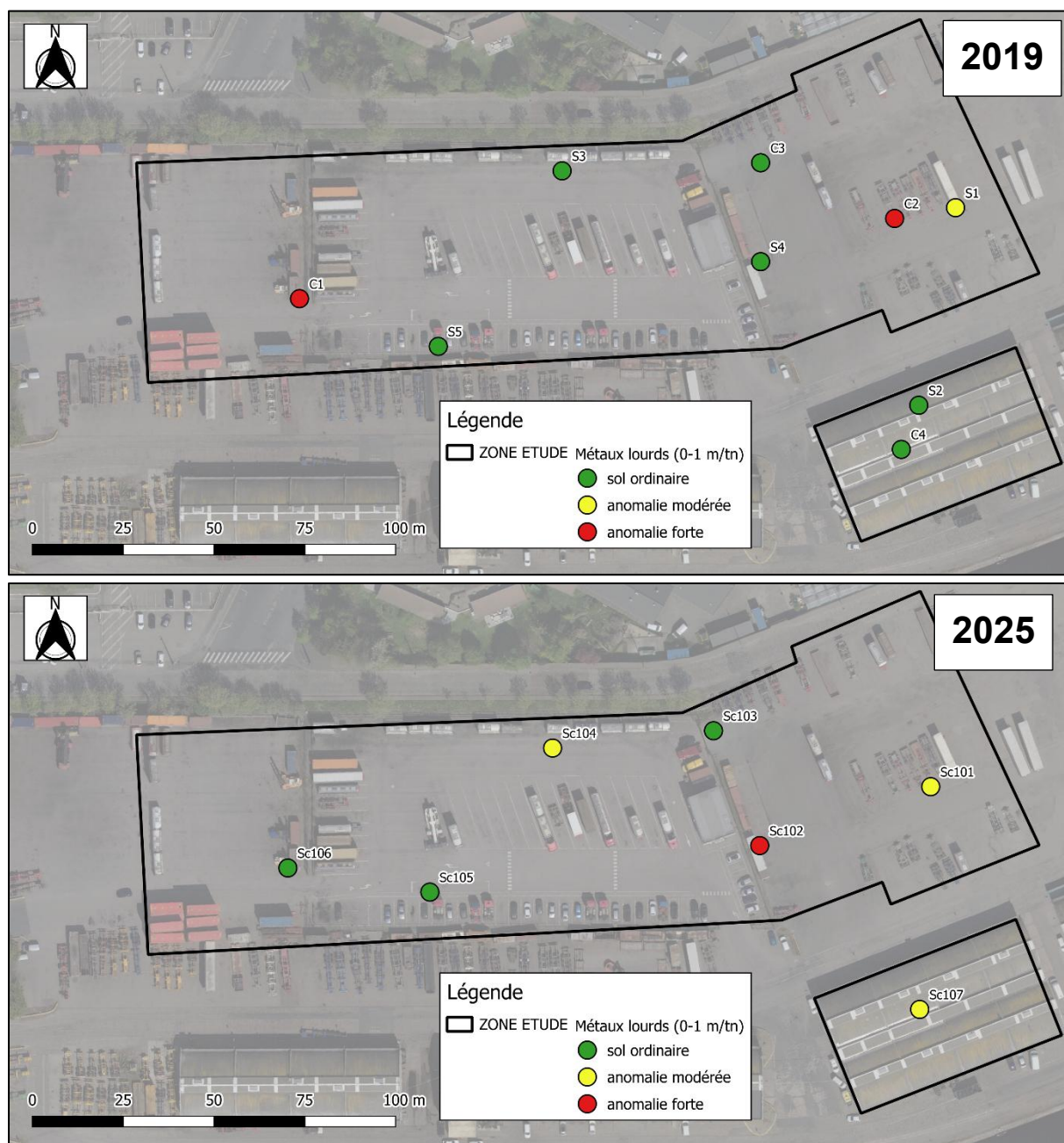


Figure 9 : Carte des anomalies en métaux lourds pour la couche 0-1 m (t/n)

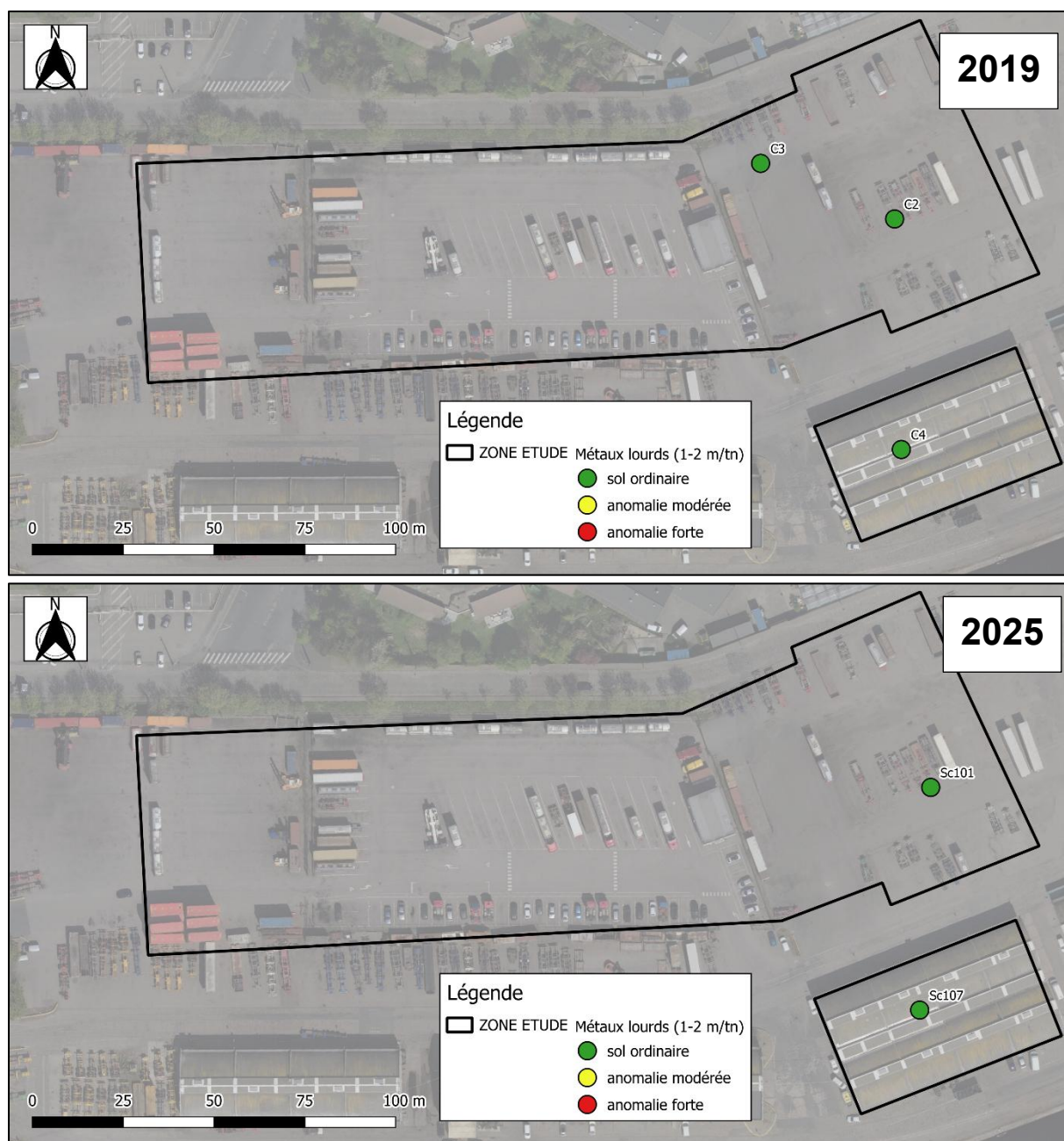


Figure 10: Carte des anomalies en métaux lourds pour la couche 1-2 m (t/n)

- ➔ **Entre 2019 et 2025, des anomalies modérées et une anomalie forte sont mises en évidence en surface.**
- ➔ **En profondeur, aucune anomalie en métaux lourds n'est mise en évidence.**

6.3. Résultats d'analyses des composés organiques sur brut

Les résultats des analyses de composés organiques dans les sols sont présentés dans le tableau ci-après. Les bordereaux d'analyse sont disponibles en **Annexe 4**.

Pour l'interprétation des valeurs nous avons pris comme valeurs de référence les seuils d'acceptation des terres en ISDI de l'annexe II de l'arrêté ministériel du 12 décembre 2014 relatif aux conditions d'admission des déchets inertes et les valeurs seuils de niveau 1 du guide de valorisation hors site des terres excavées du BRGM.

Tableau 9 : Résultats des analyses de composés organiques dans les sols (mg/kg MS)

Composés	Seuil BRGM	Seuil ISDI	Sc101.1	Sc101.2	Sc102.1	Sc103.1	Sc104.1
			0-1 m	1-2 m	0-1 m	0-1 m	0-1 m
HCT C ₁₀ -C ₄₀	50	500	< LD	< LD	30,9	180	63,5
HAP	10	50	0,09	< LD	2,48	1,28	3,56
Naphtalène	0,1	-	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD
PCB	0,2	1	< LD	< LD	< LD	0,016	< LD
BTEX	-	6	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD
COHV	-	2 *	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD

Composés	Seuil BRGM	Seuil ISDI	Sc105.1	Sc106.1	Sc107.1	Sc107.2
			0-1 m	0-1 m	0-1 m	1-2 m
HCT C ₁₀ -C ₄₀	50	500	53,2	170	3100	< LD
HAP	10	50	< LD	0,316	5,22	< LD
Naphtalène	0,1	-	< LD	< LD	< LD	< LD
PCB	0,2	1	< LD	0,012	< LD	< LD
BTEX	-	6	< LD	< LD	< LD	< LD
COHV	-	2 *	< LD	< LD	< LD	< LD

* Seuil généralement admis dans les arrêtés préfectoraux de certains centres

Légende :

Valeur supérieure au seuil BRGM
Valeur supérieure au seuil ISDI
< LD : Valeur inférieure à la limite de détection du laboratoire

➤ Commentaires :

Les résultats d'analyse laboratoire des composés organiques sur brut mettent en évidence :

- Un dépassement du seuil ISDI en HCT C₁₀-C₄₀ au droit de l'échantillon Sc107 – couche 0-1 m/tn ;
- Des dépassements du seuil BRGM en HCT C₁₀-C₄₀ au droit 4 sondages sol – couche 0-1 m/tn ;
- Des traces de HAP et PCB – couche 0-1 m/tn.

6.3.1. Cartes et graphique de répartition en HCT C₁₀-C₄₀ dans les sols

Les cartes de répartition des hydrocarbures totaux ont été réalisées pour les tranches de 0-1 m et 1-2 m, en prenant en compte la totalité des analyses et en attribuant à chaque sondage la concentration maximale mise en évidence sur la profondeur représentée.

Les valeurs prises comme référence sont :

- Le seuil BRGM : 50 mg/kg MS ;
- Le seuil ISDI : 500 mg/kg MS ;
- Le seuil ISDND : 2000 mg/kg MS.

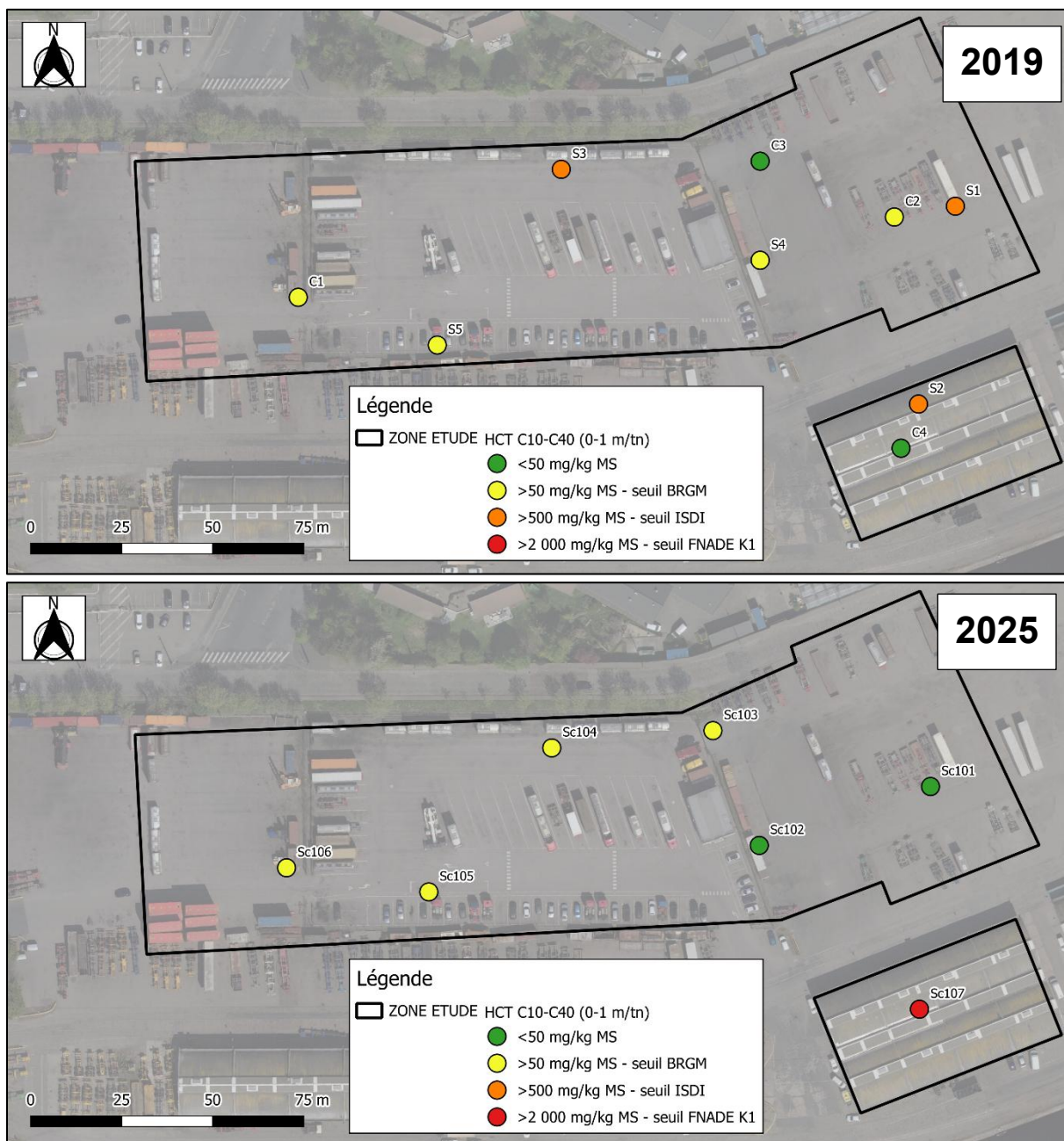


Figure 11 : Carte des anomalies en HCT C₁₀-C₄₀ pour la couche 0-1 m (t/n)

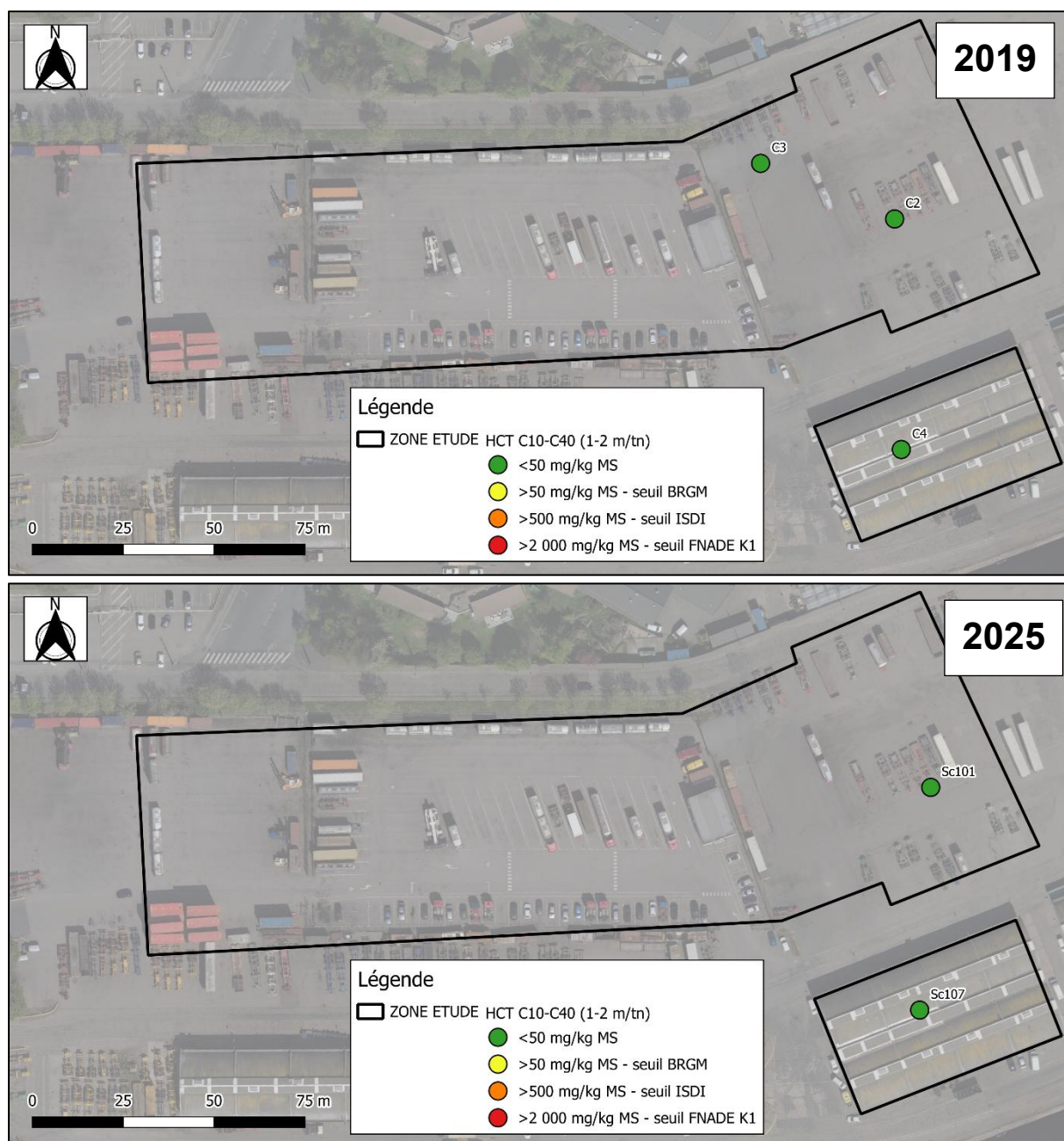


Figure 12 : Carte des anomalies en HCT C₁₀-C₄₀ pour la couche 1-2 m (t/n)

➤ **Commentaires :**

Les cartographies mettent en évidence :

- Des impacts en hydrocarbures au droit du parking en 2019 et 2025 – couche 0-1 m/tn ;
- Un impact ponctuel > seuil ISDI au droit du bâtiment en 2025 – couche 0-1 m/tn ;
- Pas d'impact en hydrocarbures en profondeur.

- ➔ ***Un impact ponctuel est mis en évidence au droit de l'atelier (jusqu'à 3100 mg/kg MS) – non constaté en 2019.***
- ➔ ***Les concentrations en hydrocarbures sont globalement inférieures en 2025 qu'en 2019 à l'exception de l'atelier.***
- ➔ ***En profondeur, aucun impact en hydrocarbure n'est mis en évidence en 2019 et 2025.***

6.4. Schéma conceptuel

Le schéma conceptuel d'exposition du site en l'état actuel, est présenté sur la figure suivante.

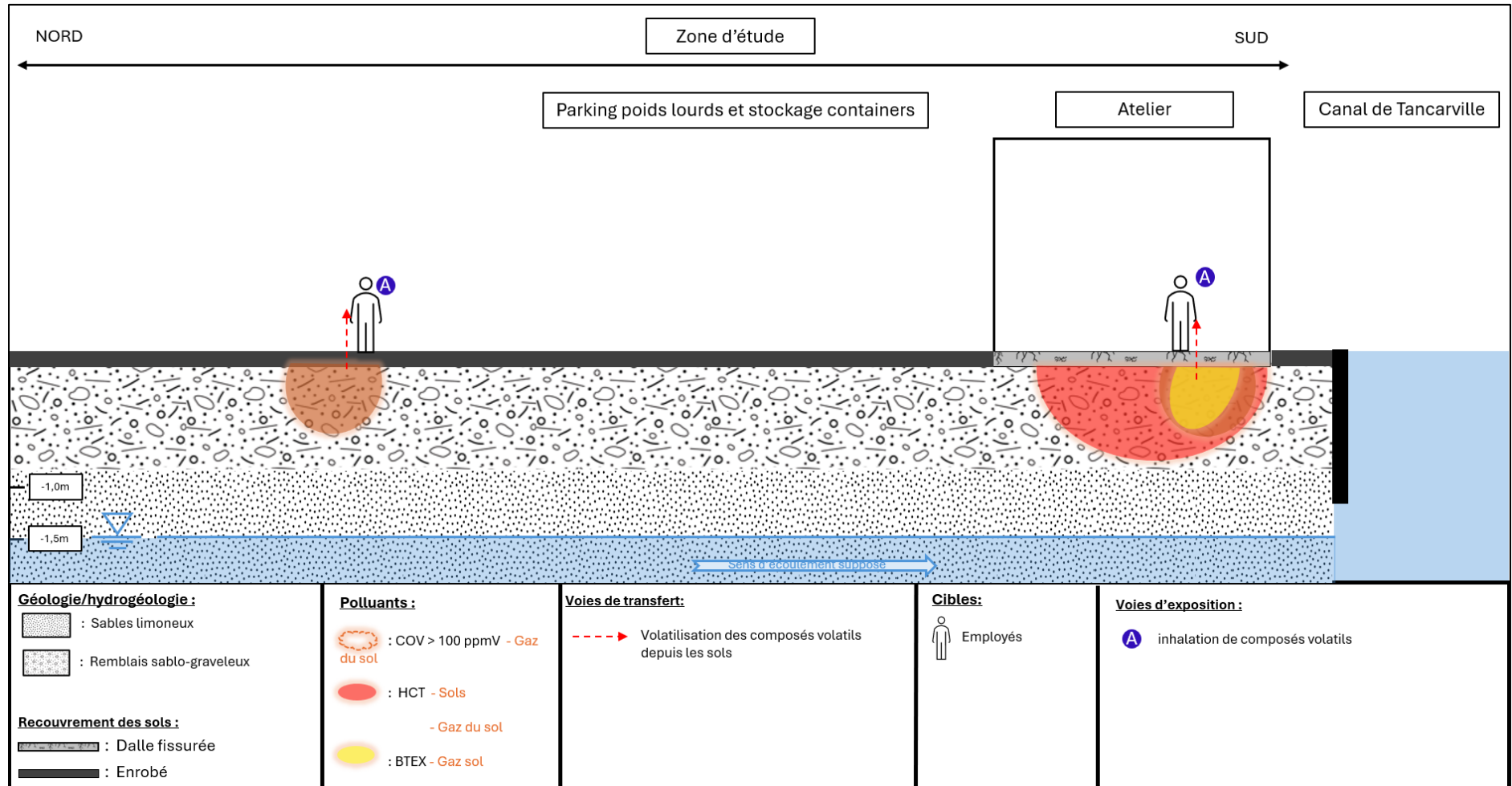


Figure 13 : Schéma conceptuel d'exposition – en l'état actuel

7. Description de l'étude de risque

7.1. Méthodologie de l'EQRS

Le risque est le résultat de l'existence concomitante de trois facteurs :

- **Une source** de pollution constituée d'une ou plusieurs substances toxiques ;
- **Un vecteur** de transport et de dispersion des polluants, c'est à dire un milieu par lequel transite le polluant (eau de surface, eau souterraine, sol, air) ;
- **Une cible**, le récepteur du polluant (ici l'homme, en tant qu'utilisateur du site).

Les objectifs spécifiques de l'étude de risque sont :

- De quantifier les risques associés aux substances non cancérogènes (Indice de Risque ou IR), et ceux associés aux substances cancérogènes (Excès de Risque Individuel ou ERI).
- De recommander, si nécessaire, des mesures compensatoires (dépollution, restrictions d'usage, mesures constructives, surveillance, etc.) qui pourront, le cas échéant, être intégrées au plan de gestion.

L'étude est élaborée selon les standards environnementaux de l'US EPA (United States Environmental Protection Agency) en vigueur à ce jour, tout en respectant la méthodologie décrite dans les outils de gestion des sites (potentiellement) pollués, rédigée par le ministère de l'Environnement, V0 - février 2007.

Les niveaux de risque acceptables sont ceux usuellement retenus au niveau international par les organismes en charge de la protection de la santé. Ils sont indiqués dans le guide « La démarche d'Analyse des Risques Résiduels » (Ministère de l'environnement, 2007). La méthodologie qui sera adoptée est décrite en **Annexe 5**.

7.2. Evaluation de l'exposition

7.2.1. Caractérisation du lieu d'exposition

L'usage futur prévu est une continuité d'usage (industriel).

7.2.2. Voies d'exposition retenues

Les voies d'exposition des cibles aux polluants sont de trois types : l'ingestion, l'inhalation et le contact cutané.

Elles sont détaillées dans le tableau suivant détaille chaque voie d'exposition potentielle et conclut sur l'intérêt de l'étudier dans la présente étude au vu du futur projet aménagement et des travaux prévus.

Les hypothèses suivantes sont à considérer :

- Aucun usage des eaux souterraines n'est envisagé et réseau AEP totalement étanche supprimant tout risque d'ingestion ;
- Aucune implantation de potager ou de verger.

Tableau 10 : Caractérisation des voies d'exposition potentielles

Milieu d'exposition		Voie d'exposition potentielle	Voie de transfert potentielle	Cible potentielle sur site	Sélection pour l'évaluation
Espaces intérieurs	Au droit des futurs bâtiments	Inhalation de substances volatiles sous forme gazeuse	Volatilisation dans l'air du sol depuis les sols et/ou la nappe phréatique et transfert vers l'air ambiant intérieur	Employés	OUI
		Ingestion d'eau contaminée / contact cutané	Transfert dans la canalisation enterrée d'alimentation en cas de parcours du réseau au travers d'une zone de sols souillés	Non concerné	NON
Espaces extérieurs	<u>Non revêtus</u> (L'ensemble du site présente une double-dalle ou de l'enrobé)	Ingestion directe de sol / poussières	Contact direct au niveau des zones découvertes ou mal isolées	Non concerné	NON
		Absorption cutanée de sol / poussières.	Contact direct au niveau des zones découvertes ou mal isolées	Non concerné	NON
		Ingestion d'aliments d'origine végétale ou animale produits sur le site	Du sol vers des aliments d'origine végétale ou animale produits sur le site	Non concerné	NON
		Inhalation de substances volatiles sous forme gazeuse	Volatilisation dans l'air du sol depuis les sols et/ou la nappe phréatique et transfert dans l'air ambiant	Non concerné	NON
	<u>Revêtus</u> (zone de stationnement aériens, Voie de circulation, ...)	Inhalation de substances volatiles sous forme gazeuse	Volatilisation dans l'air du sol depuis les sols et/ou la nappe phréatique et transfert dans l'air ambiant	Employés	NON – dilution aérienne
Eaux souterraines au droit du site		Inhalation des COV, ingestion d'eau contaminée / contact cutané / ingestion d'aliments contaminés par eau d'arrosage	Volatilisation de COV par migration dans la zone non saturée	Non concerné	NON

→ Aux vues de la localisation des impacts, les voies d'exposition les plus probables sont l'inhalation de composés volatils en intérieur (volatilisation des substances depuis les sols).

7.2.3. Cibles retenues

Compte tenu du scénario choisi, nous étudierons les cibles suivantes :

➤ Employés

Ces cibles sont les plus sensibles en termes d'exposition et donc de risques sanitaires.

Les paramètres généraux caractérisant l'exposition des différentes cibles ou récepteurs sont synthétisés dans le tableau ci-dessous :

Tableau 11 : Paramètres d'exposition retenus pour l'étude

Paramètres	Unités	Employés	Justification
Durée d'exposition	ans	42	Employés : Durée légale du travail en France
Fréquence d'exposition en intérieur	-	0,183	Jugement d'expert et durée légale du travail en France (employé à 35h intérieur sur son temps de travail)
Période sur laquelle est moyennée l'exposition pour les effets à seuil (Tm)	ans	42	US EPA (1997) & INERIS (2015) Durée légale du travail en France
Période sur laquelle est moyennée l'exposition pour les effets sans seuil (Tm)	ans	70	

Les périodes sur lesquelles l'exposition est moyennée (Tm) sont prises égales à :

- 70 ans (correspondant à la durée de vie considérée par l'ensemble des organismes nationaux et internationaux pour l'établissement de valeurs toxicologiques et l'évaluation des risques) pour les effets cancérogènes quelle que soit la cible considérée ;
- 42 ans (durée d'exposition pour les employés) pour les effets toxiques non cancérogènes.

7.2.4. Sélection des substances

Les substances retenues pour la modélisation des risques sanitaires sont les substances les plus volatiles détectés dans les sols et les gaz du sol. La concentration maximale sera retenue afin de modéliser le scénario majorant.

Les substances retenues pour le calcul des risques sanitaires sont résumées ci-dessous.

Tableau 12 : Sélection des substances

Milieux	Substances retenues		Concentrations (µg/m³)	Ouvrage concerné
Gaz des sols	Composés Aromatiques Volatils (CAV)	Benzène	13,88	Gs101 (HUB- Environnement, juin 2025)
		Toluène	403,3	
		Ethylbenzène	363,6	
		Xylènes	4 231	
	Hydrocarbures aromatique	HC aliphatiques >C ₆ -C ₈	5487	
		HC aliphatiques >C ₈ -C ₁₀	92550	
		HC aliphatiques >C ₁₀ -C ₁₂	44292	
		HC aliphatiques >C ₁₂ -C ₁₆	9255	
	Hydrocarbures aliphatiques	HC aromatiques >C ₆ -C ₇	13,88	
		HC aromatiques >C ₇ -C ₈	403,3	
		HC aromatiques >C ₈ -C ₁₀	26443	
		HC aromatiques >C ₁₀ -C ₁₂	9255	
		HC aromatiques >C ₁₂ -C ₁₆	3371	

7.3. Evaluation de la relation dose-réponse

7.3.1. Synthèse des données toxicologiques

Les effets indésirables que les substances sont capables de provoquer chez l'homme (identification du potentiel dangereux des substances) sont reportés dans le tableau suivant :

Tableau 13 : Données toxicologiques

Substances		Effets non cancérogènes	Effets cancérogènes			
			Classification			Types de cancer
Dénomination	N°CAS		US EPA	CIRC	UE	
Composés aromatiques volatils (CAV)						
Benzène	71-43-2	Thrombocytopénie et/ou leucopénie évoluant vers aplasie médullaire ou l'apparition d'un syndrome myéloprolifératif. Le benzène induit neurotoxicité, une congestion pulmonaire et hépatique. Le benzène est un irritant de la peau et induit des lésions oculaires sévères.	A	1	1A	Leucémies aiguës myéloblastiques et lymphoblastiques.
Toluène	108-88-3	Appareil respiratoire, système cardiovasculaire, système hématopoïétique/sang, système nerveux central, tractus gastro-intestinal, système immunitaire, effets foetotoxiques, foie.	-	3	-	-
Ethylbenzène	100-41-4	Irritantes pour les yeux, le nez et les muqueuses. Dépression du système nerveux central et des atteintes transitoires hépatiques et rénales. Effets hématologiques (augmentation du nombre de lymphocytes, diminution du taux d'hémoglobine dont l'attribution à l'éthylbenzène demande à être confirmée), neurocomportementaux (diminution des niveaux sanguins de neurotransmetteurs) et baisse de l'audition.	D	2B	-	-
Xylène (mélange d'isomères)	1330-20-7	Troubles respiratoires (irritation), gastro-intestinaux et neurologiques (perte de mémoire, vertiges, troubles de la conscience) et de tachycardie. Les xylènes sont irritants pour la peau et les yeux. Provoque des effets pulmonaires (irritation), cardiovasculaires (palpitations, douleurs thoraciques), neurologiques (baisse de capacité à la préhension, perte de mémoire, anxiété), rénaux (diminution de la clairance de la créatinine), hématologiques (augmentation de l'urée dans le sang) et oculaire (irritation).	D	3	-	-

Hydrocarbures volatils C ₅ -C ₁₆						
HC aliphatiques >C ₆ -C ₈	-	Neurotoxique	-	-	-	-
HC aliphatiques >C ₈ -C ₁₀	-	Hepatotoxique et neurotoxique	-	-	-	-
HC aliphatiques >C ₁₀ -C ₁₂	-	Hepatotoxique et neurotoxique	-	-	-	-
HC aliphatiques >C ₁₂ -C ₁₆	-	Maux de tête, vertiges, somnolence, asphyxie, irritation muqueuses pulmonaire et cutanée.	-	-	-	-
HC aromatiques >C ₈ -C ₁₀	-	Diminution du poids	-	-	-	-
HC aromatiques >C ₁₀ -C ₁₂	-	Diminution du poids	-	-	-	-
HC aromatiques >C ₁₂ -C ₁₆	-	Diminution du poids	-	-	-	-

7.3.2. Valeurs toxicologique retenues (VTR)

Cette étape permet d'estimer l'apparition d'un effet indésirable en fonction de la dose d'exposition. L'évaluation des risques sanitaires est établie grâce à une grandeur numérique appelée « valeur toxicologique de référence » (VTR).

On distingue les VTR à seuil de dose (pour les substances dont la sévérité augmente avec la dose absorbée) et les VTR sans seuil de dose (pour les substances pour lesquelles l'effet peut apparaître quelle que soit la dose reçue). Ces VTR sont également spécifiques à la voie d'exposition (voie respiratoire, orale ou cutanée).

Les VTR sont établies expérimentalement par des organismes de santé de notoriété internationale ou nationale. Les valeurs proposées peuvent donc diverger en fonction de l'organisme qui les établit ou encore en fonction des conditions expérimentales.

La note d'information n°DGS/EA1/DGPR/2014/307 du 31 octobre 2014 aide à la sélection des VTR proposées en recommandant de respecter la hiérarchisation suivante :

- En premier lieu, sélectionner les VTR construites par l'ANSES si elles existent ;
- En second lieu, si une expertise nationale a été menée, retenir les VTR issues de la sélection approfondie réalisée dans le cadre de l'expertise (sous réserve que l'expertise soit postérieure à la date de parution de la VTR la plus récente) ;
- Sinon, sélectionner la VTR la plus récente parmi les trois bases de données suivantes : l'US-EPA, l'ASTDR, ou l'OMS, sauf s'il est fait mention par l'organisme de référence que la VTR n'est pas basée sur l'effet survenant à la plus faible dose et jugé pertinent pour la population visée ;
- Enfin, si aucune VTR n'est retrouvée dans les quatre bases de données précédentes, choisir la plus récente proposée par Santé Canada, RIVM, l'OEHHA ou l'EFSA.

L'ensemble des Valeurs Toxicologiques de Référence (VTR) retenues dans le cadre de la présente étude est présenté dans le tableau ci-dessous.

Tableau 14 : VTR – scénario inhalation intérieure

Substances		Effets non Cancérigènes (mg/m ³)	Sources	Effets Cancérigènes (mg/m ³) ⁻¹	Sources
Dénomination	N°CAS	INHALATION		INHALATION	
Composés aromatiques volatils (CAV)					
Benzène	71-43-2	1,0E-05	ATSDR, 2007	2,60E-02	ANSES, 2014
Toluène	108-88-3	19	ANSES, 2017		
Ethylbenzène	100-41-4	1,5	ANSES, 2016	2,5E-3	OEHHA, 2007
Xylènes totaux	1330-20-7	0,220	ATSDR, 2007		
Hydrocarbures volatils C₅-C₁₆					
HC aliphatiques >C ₆ -C ₈	-	18,4	TPHCWG VOL 5, 1999		
HC aliphatiques >C ₈ -C ₁₀	-	1,0	TPHCWG VOL 5, 1999		
HC aliphatiques >C ₁₀ -C ₁₂	-	1,0	TPHCWG VOL 5, 1999		
HC aliphatiques >C ₁₂ -C ₁₆	-	1,0	TPHCWG VOL 5, 1999		
HC aromatiques >C ₈ -C ₁₀	-	0,2	TPHCWG VOL 5, 1999		
HC aromatiques >C ₁₀ -C ₁₂	-	0,2	TPHCWG VOL 5, 1999		
HC aromatiques >C ₁₂ -C ₁₆	-	0,2	TPHCWG VOL 5, 1999		

7.4. Choix des modèles

L'EQRS est réalisée à l'aide du logiciel MODUL'ERS conçu par l'INERIS. Ce logiciel, qui permet d'estimer les niveaux d'exposition des cibles étudiées et les niveaux de risque sanitaire associés, est basé sur l'ensemble des équations pour la modélisation des expositions liées à la contamination d'un sol ou aux émissions d'une installation industrielle fourni par l'INERIS et le guide de l'utilisateur Modul'ERS. Le logiciel Modul'ERS utilisé est présenté en **Annexe 6**.

Concernant l'évaluation des transferts de substances volatiles issues du sol, deux modèles mathématiques sont généralement utilisés :

- **JOHNSON & ETTINGER** permet de modéliser des transferts dans des bâtiments de plain-pied ou avec parkings souterrains. Les équations de JOHNSON & ETTINGER sont utilisées dans le modèle RISC HUMAN.
- **VOLASOIL** permet de modéliser des transferts dans des bâtiments, avec généralement un vide sanitaire. Toutefois, une partie des équations du modèle peut être utilisée pour modéliser des transferts depuis le rez-de-chaussée d'un bâtiment vers le 1er étage (transfert équivalent à celui du vide sanitaire vers le rez-de-chaussée).

Au regard du projet, c'est-à-dire un bâtiment avec sous-sol, **le modèle JOHNSON & ETTINGER a été retenu pour la modélisation**.

8. Résultats de l'EQRS

8.1. Principe de calcul

Le principe de calcul repose sur les formules suivantes :

8.1.1. Estimation du risque pour les effets avec seuils (non cancérigènes)

On définit un indice de risque (IR) par la formule suivante :

$$QD = CI/VTR$$

Avec :

QD : Quotient de Danger

CI : Concentration moyenne Inhalée théorique

VTR : Valeur Toxicologique de référence

La survenue d'un effet toxique est considérée comme fonction de la somme des indices de risques liés aux différentes voies d'administration du polluant et aux différentes substances à seuil d'effet :

- Si $QD < 1$ la survenue d'un effet toxique apparaît peu probable même pour une population sensible ;
- Si $QD > 1$ l'effet toxique peut vraisemblablement apparaître.

8.1.2. Estimation du risque pour les effets sans seuil

L'excès de risque individuel sera déterminé par la formule suivante :

$$ERI = CI * VTR$$

Avec :

ERI : Excès de Risque Individuel

CI : Concentration moyenne Inhalée théorique

VTR : Valeur Toxicologique de Référence

Dans le cas de présence de plusieurs substances sans seuil, la détermination d'un ERI total sera calculée en faisant :

- La somme des risques liés à chacune des substances cancérogènes ;
- La somme des risques liés aux différentes durées d'exposition (chronique, sub-chronique et aiguë).

Le niveau de risque toxicologique pour les substances sans seuil est considéré comme acceptable lorsque les valeurs d'excès de risque individuel (ERI) sont inférieures à 10^{-5} (circulaire du 10 décembre 1999).

Des incertitudes sont présentes tout au long du processus de calcul du risque et peuvent parfois être significatives. Elles seront évaluées dans notre étude.

8.2. Résultats des calculs

Les données des calculs sont disponibles en **Annexe 7**. Le calcul de risques donne les résultats suivants :

Tableau 15 : Résultats des calculs de risques inhalation

Scénario – Inhalation en intérieur			
Substances		Quotient de Danger (QD)	Excès de Risque Individuels (ERI)
		Employés	Employés
BTEX	Benzène	8,73E-4	1,36E-7
	Toluène	1,08E-5	
	Ethylbenzène	1,07E-4	2,42E-7
	Xylènes totaux	8,64E-3	
Somme Hydrocarbures aliphatiques	HC aliphatiques >C ₆ -C ₈	1,94E-4	
	HC aliphatiques >C ₈ -C ₁₀	6,01E-2	
	HC aliphatiques >C ₁₀ -C ₁₂	2,88E-2	
	HC aliphatiques >C ₁₂ -C ₁₆	6,01E-3	
Somme Hydrocarbures aromatique	HC aromatiques >C ₆ -C ₇	6,78E-4	
	HC aromatiques >C ₇ -C ₈		
	HC aromatiques >C ₈ -C ₁₀	8,58E-2	
	HC aromatiques >C ₁₀ -C ₁₂	3,01E-2	
	HC aromatiques >C ₁₂ -C ₁₆	1,09E-2	
TOTAL		0,232	3,78E-7

Légende :

QD < 1 et/ou ERI < 10^{-5}
QD > 1 et/ou ERI > 10^{-5}

➤ **Commentaires :**

Les risques sanitaires par inhalation de composés organiques volatils en intérieur sont acceptables pour les employés au droit de la zone d'étude.

9. Conclusions et préconisations

9.1. Conclusions

➤ Synthèse de la qualité environnementale :

Les investigations réalisées par HUB-Environnement en 2025 sur le site ont mis en évidence :

Dans les sols sur brut :

- Une anomalie forte ponctuelle en plomb au droit de Sc102 (extérieur) – couche 0-1 m/tn ;
- Des anomalies modérées en cuivre et mercure (jusqu'à 2,03 mg/kg MS) en intérieur et extérieur – couche 0-1 m/tn ;
- Les autres sondages et échantillons sont conformes au fond géochimique national du référentiel INRA ASPITET
- HCT C₁₀-C₄₀ supérieur au seuil ISDI au droit de l'ancien atelier (3100 mg/kg MS) non identifié en 2019 – couche 0-1 m/tn ;
- HCT C₁₀-C₄₀ supérieur au seuil BRGM au droit 4 sondages sur la partie Ouest et Nord du site – couche 0-1 m/tn ;
- Des traces de HAP et PCB sur plus de 50% des échantillons – couche 0-1 m/tn.

Dans les gaz du sol :

- Des impacts ponctuels en COV (>100 ppmV) au droit de l'ancien atelier (intérieur) et le parking – ces zones ponctuelles n'étaient pas identifiées en 2019 ;
- Une partie Sud du parking et stockage containers présente des anomalies en COV > 10 ppmV en 2025.
- La présence de composés volatils au niveau de l'ancien atelier :
 - o Principalement sous la forme de benzène (jusqu'à 13,9 µg/m³), de toluène (jusqu'à 403,3 µg/m³), d'éthylbenzène (jusqu'à 363,6 µg/m³) & de xylènes (jusqu'à 4230,8 µg/m³) ;
 - o La présence d'hydrocarbure aromatique jusqu'à 39 664,2 µg/m³, principalement sous la C₈-C₁₀ & C₁₀-C₁₂ ;
 - o La présence d'hydrocarbure aliphatique jusqu'à 152 046 µg/m³, principalement sous la C₈-C₁₀ & C₁₀-C₁₂.

La carte de synthèse des résultats est présentée ci-dessous.

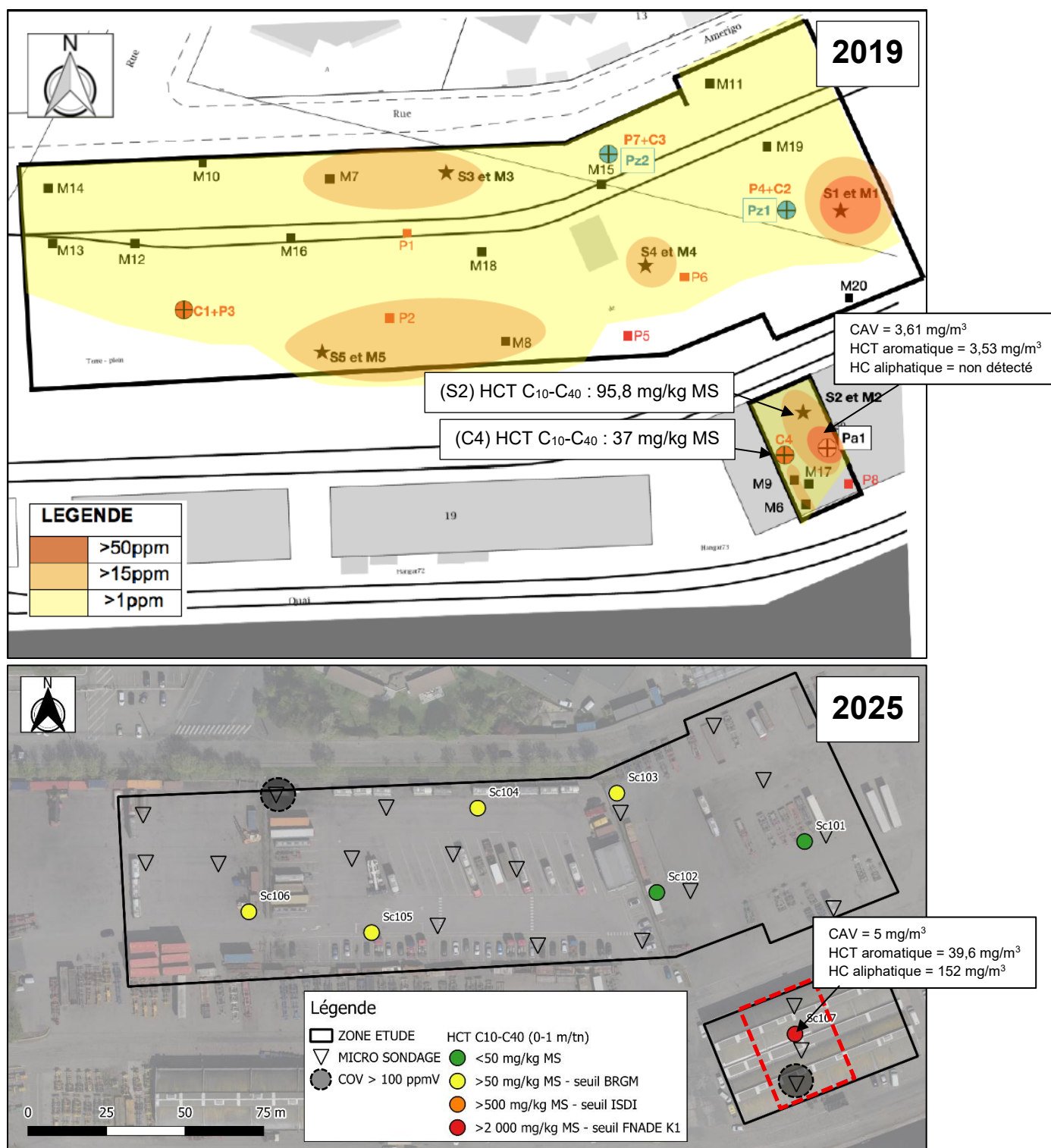


Figure 14 : Carte de synthèse des résultats – couche 0-1 m (tn)

- ➔ Les investigations de 2025 confirment une zone concentrée au droit du bâtiment avec la présence :
 - Hydrocarbure dans les sols jusqu'à 3100 mg/kg MS ;
 - COV > 100 ppmV dans les gaz du sol
 - CAV et HCT aromatiques/aliphatiques volatils dans les gaz du sol
- ➔ En 2025, une zone d'anomalie en COV est mise en évidence au Nord-Ouest du site au droit du parking.
- ➔ Les différences de résultats dans les matrices (sol et gaz du sol) entre 2019 et 2025 peuvent être liées à l'activité actuelle mais également à la disparité des sondages et l'hétérogénéité des remblais.

➤ **Zone source concentrée :**

Les résultats de 2025 confirment une zone concentrée au droit du bâtiment atelier (COV > 100 ppmV, hydrocarbure jusqu'à 3100 mg/kg MS dans les sols et CAV et hydrocarbures volatils dans les gaz du sol).

➤ **Evaluation des risques sanitaires :**

Les risques sanitaires par inhalation de composés organiques volatils en intérieur sont acceptables pour les futurs usagers (employés adultes) présents au droit du site.

➔ **La zone d'étude est compatible avec une continuité d'activité industrielle.**

9.2. Préconisations

Compte tenu des conclusions précédentes nous préconisons :

▪ **Dans le cadre de la continuité d'usage industrielle :**

Zone COV/HCT au droit du parking extérieurs : Les anomalies en COV/HCT au droit du parking peut être laissée en place et ne nécessitent pas de mesure de gestion particulière, tant qu'elle reste recouverte par un écran (enrobé actuel, dalle, apport de terres saines...).

Zone concentrée au droit du bâtiment atelier : Les résultats des investigations ont mis en évidence la présence de COV (> 100 ppmV) et d'hydrocarbures dans les sols et gaz des sols. Bien que les risques sanitaires soient acceptables pour une continuité d'usage industrielle (volet sanitaire), la prise en compte du volet environnemental est également justifiée. Nous recommandons ainsi :

- Le dimensionnement de la zone concentrée et d'autres sources éventuellement non identifiées au droit du bâtiment via la réalisation d'investigations des sols. Ces contrôles devront permettre d'établir un état des lieux exhaustif et précis de la qualité environnementale du milieu de ce secteur au passif industriel important ;
- La zone concentrée pourra par la suite faire l'objet d'un plan de gestion pour assurer la comptabilité environnementale du site en prévision d'éventuels travaux de dépollution.

▪ **Gestion des déblais lors en cas de terrassement :**

Les prescriptions relatives à la gestion des déblais non inertes doivent être mises en œuvre afin de garantir une prévention optimale des déchets lors de l'envoi des sols contaminés dans des installations de stockage ou des centres de traitement agréés. Des tests de lixiviation sur les sols doivent être effectués pour confirmer la voie d'élimination appropriée pour ces sols après excavation, compte tenu des teneurs en métaux et hydrocarbures identifiées.

Les travaux d'excavation doivent inclure l'information du personnel sur la nature des sols à excaver, et des mesures d'hygiène et de sécurité doivent être prises pour protéger la santé du personnel du chantier ; le contrôle de la qualité des sols excavés doit être effectué par un spécialiste des sites et sols contaminés.

▪ **Conservation de la mémoire :**

Il est préconisé de conserver la mémoire des impacts mis en évidence et la mémoire des opérations effectuées. Cette mémoire peut ici être assurée en conservant de façon pérenne toutes les informations concernant l'historique du site ainsi que la qualité des terres laissées en place. Le présent rapport devra être transmis à l'occasion de tout acte de changement de propriétaire, être intégré au document technique du bien immobilier (DDT) et être porté à la connaissance de tout responsable de travaux de terrassement ou travaux souterrains (sondages...).

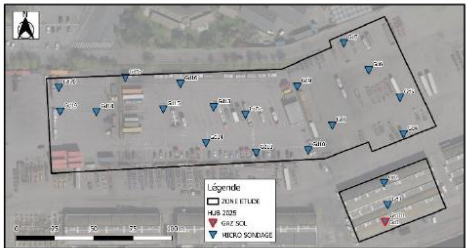
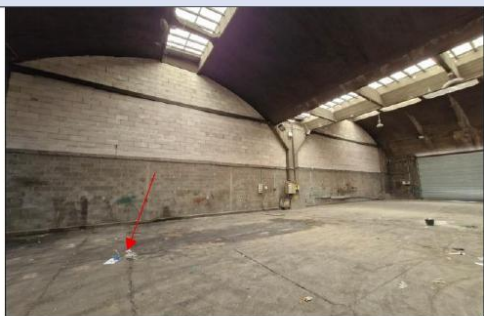
Avertissement

- ✓ *Le présent rapport et ses annexes constituent un ensemble indissociable. La mauvaise utilisation qui pourrait être faite d'une communication ou reproduction partielle sans l'accord écrit de HUB-Environnement ne saurait engager la responsabilité de celui-ci.*
- ✓ *Les conclusions du présent rapport sont limitées à l'analyse des seules informations qui ont pu être recueillies auprès de l'Administration ou du Client et de la reconnaissance ponctuelle des sols selon la démarche officielle à partir de l'identification de zones sources potentielles. Il faut avoir conscience que la précision de nos investigations est fonction de l'importance des moyens mis en œuvre et notamment du nombre de sondages et d'analyses réalisés. L'obtention de données précises passe par des investigations très approfondies et successives.*
- ✓ *La responsabilité de HUB-Environnement ne pourra être engagée si les informations qui lui ont été communiquées sont incomplètes ou erronées.*
- ✓ *HUB-Environnement ne saurait être rendu responsable des modifications apportées à son étude que dans la mesure où il aurait donné, par écrit, son accord sur lesdites modifications.*
- ✓ *HUB-Environnement ne peut être tenu responsable des décisions prises en application de ses préconisations ou des conséquences engendrées par le non-respect et ou l'interprétation erronée de ses recommandations.*

ANNEXES

Annexe 1 : Fiche de prélèvement des gaz du sol	41
Annexe 2 : Fiche de prélèvement des sols.....	42
Annexe 3 : Bordereaux d'analyse laboratoire gaz du sol	49
Annexe 4 : Bordereaux d'analyse laboratoire des sols.....	50
Annexe 5 : Méthodologie EQRS	58
Annexe 6 : Présentation du logiciel Modul'ERS	64
Annexe 7 : Données des calculs	66
Annexe 8 : Evaluation des incertitudes	87

Annexe 1 : Fiche de prélèvement des gaz du sol

Fiche prélèvement gaz du sol							
Référence dossier : DIAG EQRS Le Havre			Nom du prélèvement : Gs101				
Préleveur : JB			Adresse : 3675 Quai de la Gironde, Le Havre (76)				
Date : 13/06/2025			Longitude : 0.142842° Latitude : 49.482811° Altitude : 4.9 mNGF				
Description de l'ouvrage							
Type d'ouvrage : ☐ Piézair (permanent) ☐ Canne gaz (temporaire) ☒ Sub-slab (temporaire)			Profondeur de l'ouvrage (m) : -0,5 m/tn Type d'étanchéité : Dalle Description des sols : Remblais				
Conditions météorologiques							
Météo : soleil T°C ext : 25°C T°C int : 24°C			Pression (hPa) : 1018 hPa Taux d'humidité dans l'air (%) : 65% Vitesse et sens du vent : 10 km/h NO				
Description du prélèvement							
Type d'échantillonnage : ☒ Actif avec pompe ☐ Actif naturel ☐ Passif Blanc : ☒ Terrain ☐ Transport							
☒ Pompe Gilair ☒ Débitmètre GoCal ☒ Flexible PEHD		Nombre de supports : 1 Nature des supports : ☐ XAD-2 ☒ Charbon actif ☐ Carulite		☒ Vapor pin ☐ Canne gaz ☐ Vanne SDEC ☐ Prélèveur passif			
Plan de localisation			Photographie du prélèvement				
							
Purge de l'ouvrage							
Détail de la purge : purge réalisée jusqu'à stabilisation des mesures en COV, CH ₄ et CO							
Mesures semi-quantitatives des gaz du sol avant prélèvement							
Paramètres	PID (ppmV)	O ₂ (%)	H ₂ S (ppmV)	CH ₄ (%)	CO (ppmV)		
Valeur	394	/	/	/	/		
Contrôle de débit (l/min)							
Heure début	Heure de fin	Durée de prélèvement	Débit t ₀ (début)	Débit t ₁ (interméd.)	Débit t ₂ (fin)	Débit moyen retenu	Volume total prélevé
13H52	14H22	30 min	0,499	0,500	0,501	0,500	15,127 L
Conditionnement et transport							
Laboratoire de destination : WESSLING			Transporteur : UPS				
Type de conditionnement : Glacière réfrigérée			Date et heure de remise au transporteur : 13/06/2025 à 18h				
Substances recherchées							
☒ TPH C5-C16, BTEX, COHV, naphtalène ☐ Mercure volatil			☐ PCB ☐ HAP ☐ Autre :				

Annexe 2 : Fiche de prélèvement des sols

Hub environnement		Fiche de suivi de sondage et prélèvement de sol		Désignation du point	
				Sc101	
N° du projet : DIAG Le Havre Client : Transport LELOUP Site et commune : 3675 quai de la Gironde, Le Havre (76) Responsable projet : N. JOULIA Opérateur : J.BAUGE			Coordonnées: Latitude : 49,483448 Longitude : 0,142793 Altitude : 4,8 mNGF		
Date et heure : 13/06/2025 9h52		Météo: Soleil		T°: 25°C	
Outil de sondage : Carottier		Prestataire: KAD-Environnement			
Diamètre sondage: 10 cm		Profondeur atteinte : 2 m			
Rebouchage et refecton : ☒ Cuttings ☒ Béton		Enrobé		Autre:	
Gestion des cuttings : ☒ Remis en place ☐ Evacués		Stockés sur site		Big-bag Carothèque	
Remarques :					
Profondeur	Description lithologique	Eau	Organoleptiques	PID	Echantillons
0-0,25 m	Remblais sableux graveleux	Sec	RAS	3,2 ppmV	Sc101.1
0,25-0,5 m	briques et dalles				
0,5-0,7 m	Limons sableux noir				
0,7-1 m	Limono-sableux marron vert				
1-1,2 m		0 ppmV	Sc101.2		
1,2-2 m	Sablo-limoneux gris-bleu	Humide à 1,5 m			
Indices Eau : sec / + légèrement humide / ++ humide / +++ noyé					
Localisation du sondage			Photographie de la lithologie du sondage		
					
Gestion des échantillons					
Type de flaconnage (fourni par le labo)	Flacon en verre, 350 mL		Laboratoire:	AGROLAB	
			Expédié le :	13/06/2025	
			Conditionnement :	Glacières réfrigérées	

Hub environnement				Fiche de suivi de sondage et prélèvement de sol		Désignation du point Sc102	
N° du projet : DIAG Le Havre Client : Transport LELOUP Site et commune : 3675 quai de la Gironde, Le Havre (76) Responsable projet : N. JOULIA Opérateur : J.BAUGE				Coordonnées: Latitude : 49,483278 Longitude : 0,142167 Altitude : 5,4 mNGF			
Date et heure :		13/06/2025 10h22		Météo:		Soleil T°: 25°C	
Outil de sondage :		Carottier		Prestataire:		KAD-Environnement	
Diamètre sondage:		10 cm		Profondeur atteinte :		1 m	
Rebouchage et refecton :		X Cuttings Béton		X Enrobé		Autre:	
Gestion des cuttings :		X Remis en place Evacués		Stockés sur site		Big-bag Carothèque	
Remarques :							
Profondeur	Description lithologique	Eau	Organoleptiques	PID	Echantillons		
0-0,05 m	Enrobé	Sec	RAS	0,2 ppmV	Sc102.1		
0,05-0,5 m	Remblais sableux graveleux						
0,5-0,7 m	Dalle et remblais						
0,7-1 m	Limono-sableux noir						
Indices Eau : sec / + légèrement humide / ++ humide / +++ noyé							
Localisation du sondage				Photographie de la lithologie du sondage			
							
Gestion des échantillons							
Type de flaconnage (fourni par le labo)	Flacon en verre, 350 mL	Laboratoire:		AGROLAB			
		Expédié le :		13/06/2025			
		Conditionnement :		Glacières réfrigérées			

Hub environnement		Fiche de suivi de sondage et prélèvement de sol		Désignation du point	
				Sc103	
N° du projet : DIAG Le Havre Client : Transport LELOUP Site et commune : 3675 quai de la Gironde, Le Havre (76) Responsable projet : N. JOULIA Opérateur : J.BAUGE		Coordonnées: Latitude : 49,4835833 Longitude : 0,1419444 Altitude : 5,3 mNGF			
Date et heure : 13/06/2025 10h41		Météo: Soleil		T°: 25°C	
Outil de sondage : Carottier Diamètre sondage: 10 cm Rebouchage et refecton : ☒ Cuttings Béton ☒ Enrobé Gestion des cuttings : ☒ Remis en place Evacués Stockés sur site Big-bag Carothèque Remarques :		Prestataire: KAD-Environnement Profondeur atteinte : 1 m Autre:			
Profondeur	Description lithologique	Eau	Organoleptiques	PID	Echantillons
0-0,05 m	Enrobé	Sec	RAS	2,7 ppmV	Sc103.1
0,05-0,8 m	Remblais sableux graveleux, cailloux				
0,8-1 m	Remblais sableux marron foncé				
Refus					
Indices Eau : sec / + légèrement humide / ++ humide / +++ noyé					
Localisation du sondage			Photographie de la lithologie du sondage		
					
Gestion des échantillons					
Type de flaconnage (fourni par le labo)	Flacon en verre, 350 mL	Laboratoire:	AGROLAB		
		Expédié le :	13/06/2025		
		Conditionnement :	Glacières réfrigérées		

Hub environnement		Fiche de suivi de sondage et prélèvement de sol		Désignation du point	
				Sc104	
N° du projet : DIAG Le Havre Client : Transport LELOUP Site et commune : 3675 quai de la Gironde, Le Havre (76) Responsable projet : N. JOULIA Opérateur : J.BAUGE		Coordonnées: Latitude : 49,483509 Longitude : 0,141352 Altitude : 5,3 mNGF			
Date et heure : 13/06/2025 11h09		Météo: Soleil		T°: 25°C	
Outil de sondage : Carottier Diamètre sondage: 10 cm Rebouchage et refecton : ☒ Cuttings Béton ☒ Enrobé Autre: Gestion des cuttings : ☒ Remis en place Evacués Stockés sur site Big-bag Carothèque Remarques :		Prestataire: KAD-Environnement Profondeur atteinte : 1 m			
Profondeur	Description lithologique	Eau	Organoleptiques	PID	Echantillons
0-0,1 m	Enrobé	Sec	Légère odeur HCT	5,8 ppmV	Sc104.1
0,1-0,7 m	Remblais sableux marron, cailloux		RAS		
0,7-1 m	Limon sableux marron				
Indices Eau : sec / + légèrement humide / ++ humide / +++ noyé					
Localisation du sondage			Photographie de la lithologie du sondage		
					
Gestion des échantillons					
Type de flaconnage (fourni par le labo)	Flacon en verre, 350 mL	Laboratoire:	AGROLAB		
		Expédié le :	13/06/2025		
		Conditionnement :	Glacières réfrigérées		

Hub environnement				Fiche de suivi de sondage et prélèvement de sol		Désignation du point
						Sc105
N° du projet : DIAG Le Havre Client : Transport LELOUP Site et commune : 3675 quai de la Gironde, Le Havre (76) Responsable projet : N. JOULIA Opérateur : J.BAUGE				Coordonnées: Latitude : 49,4831633 Longitude : 0,1408924 Altitude : 5,7 mNGF		
Date et heure :		13/06/2025 11h34		Météo:		Soleil T°: 25°C
Outil de sondage :		Carottier		Prestataire:		KAD-Environnement
Diamètre sondage:		10 cm		Profondeur atteinte :		1 m
Rebouchage et refecton :		X Cuttings Béton		X Enrobé		Autre:
Gestion des cuttings :		X Remis en place Evacués		Stockés sur site		Big-bag Carothèque
Remarques :						
Profondeur	Description lithologique	Eau	Organoleptiques	PID	Echantillons	
0-0,05 m	Enrobé	Sec	RAS	/	Sc105.1	
0,05-0,3 m	Grave					
Refus						
Indices Eau : sec / + légèrement humide / ++ humide / +++ noyé						
Localisation du sondage			Photographie de la lithologie du sondage			
						
Gestion des échantillons						
Type de flaconnage (fourni par le labo)	Flacon en verre, 350 mL	Laboratoire:		AGROLAB		
		Expédié le :		13/06/2025		
		Conditionnement :		Glacières réfrigérées		

Hub environnement		Fiche de suivi de sondage et prélèvement de sol		Désignation du point	
				Sc106	
N° du projet : DIAG Le Havre Client : Transport LELOUP Site et commune : 3675 quai de la Gironde, Le Havre (76) Responsable projet : N. JOULIA Opérateur : J.BAUGE			Coordonnées: Latitude : 48,4831944 Longitude : 0,1404167 Altitude : 5,3 mNGF		
Date et heure : 13/06/2025 12h36		Météo: Soleil		T°: 25°C	
Outil de sondage : Carottier Diamètre sondage: 10 cm Rebouchage et refecton : ☒ Cuttings Béton ☒ Enrobé Autre: Gestion des cuttings : ☒ Remis en place Evacués Stockés sur site Big-bag Carothèque Remarques :		Prestataire: KAD-Environnement Profondeur atteinte : 1 m			
Profondeur	Description lithologique	Eau	Organoleptiques	PID	Echantillons
0-0,05 m	Enrobé	Sec	RAS	4,2 ppmV	Sc106.1
0,05-0,4 m	Remblais sableux marron, cailloux				
0,4-0,8 m	Alluvions sablo-limoneux gris, cailloux		Traces noires		
Indices Eau : sec / + légèrement humide / ++ humide / +++ noyé					
Localisation du sondage			Photographie de la lithologie du sondage		
					
Gestion des échantillons					
Type de flaconnage (fourni par le labo)	Flacon en verre, 350 mL	Laboratoire:	AGROLAB		
		Expédié le :	13/06/2025		
		Conditionnement :	Glacières réfrigérées		

Hub environnement		Fiche de suivi de sondage et prélèvement de sol		Désignation du point	
				Sc107	
N° du projet : DIAG Le Havre Client : Transport LELOUP Site et commune : 3675 quai de la Gironde, Le Havre (76) Responsable projet : N. JOULIA Opérateur : J.BAUGE		Coordonnées: Latitude : 49,482896 Longitude : 0,142782 Altitude : 5,3 mNGF			
Date et heure : 13/06/2025 13h00		Météo: Soleil		T°: 25°C	
Outil de sondage : Carottier Diamètre sondage: 10 cm Rebouchage et refecton : ☒ Cuttings ☒ Béton Gestion des cuttings : ☒ Remis en place ☐ Evacués		Prestataire: KAD-Environnement Profondeur atteinte : 3 m Enrobé Autre: Big-bag Carothèque			
Remarques :					
Profondeur	Description lithologique	Eau	Organoleptiques	PID	Echantillons
0-0,1 m	Dalle	Sec	RAS	2,3 ppmV	Sc107.1
0,1-0,4 m	Remblais sableux gris-marron				
0,4-1 m	Sablo-limoneux grisâtre				
1-2 m		Légèrement humide	Odeur eaux usées	/	Sc107.2
2-3 m		Humide à noyé	/	Sc107.3	
Indices Eau : sec / + légèrement humide / ++ humide / +++ noyé					
Localisation du sondage			Photographie de la lithologie du sondage		
					
Gestion des échantillons					
Type de flaconnage (fourni par le labo)	Flacon en verre, 350 mL	Laboratoire:		AGROLAB	
		Expédié le :		13/06/2025	
		Conditionnement :		Glacières réfrigérées	

Annexe 3 : Bordereaux d'analyse laboratoire gaz du sol

Annexe 4 : Bordereaux d'analyse laboratoire des sols

AL-West B.V.

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



HUB ENVIRONNEMENT (75)
35 Rue Belliard
75018 PARIS
FRANCE

N° de client: 35009491

RAPPORT D'ANALYSE 1571064 20250616-HAVRE-Soi

Date: 23.06.2025

Commande	1571064 Solide / Eluat
Client	35009491 HUB ENVIRONNEMENT (75)
Date de validation	17.06.2025
Prélèvement par	Client

Madame, Monsieur,

Nous avons le plaisir de vous adresser ci-joint le rapport définitif des analyses chimiques provenant du laboratoire pour votre dossier en référence.

Nous signalons que le certificat d'analyses ne pourra être reproduit que dans sa totalité. Les annexes éventuelles font partie du rapport.

Nous vous informons que seules les conditions générales de AL-West, déposées à la Chambre du Commerce et de l'Industrie de Deventer, sont en vigueur.

Au cas où vous souhaiteriez recevoir des renseignements complémentaires, nous vous prions de prendre contact avec le service après-vente.

En vous remerciant pour la confiance que vous nous témoignez, nous vous prions d'agréer, Madame, Monsieur l'expression de nos sincères salutations.

Ce rapport d'analyse avec le numéro de commande 1571064 et la version du rapport d'analyse 1 contient l'analyse ou les analyses 150720-150728.

Respectueusement,

AL-West B.V. (AGROLAB GROUP), M. Brice Theillère, Tél : 33380681937

Les paramètres réalisés par AL-West BV sont accrédités selon la norme EN ISO/IEC 17025:2017. Seuls les paramètres non accrédités et/ou externalisés sont marqués du symbole *).

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

page 1 de 8



AL-West B.V.

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



RAPPORT D'ANALYSE 1571064 20250616-HAVRE-SoI

Date: 23.06.2025

Information sur l'échantillon

Numéro d'échantillon	Date de prélèvement	Nom d'échantillon
150720	13.06.2025 00:00	Sc101.1
150721	13.06.2025 00:00	Sc101.2
150722	13.06.2025 00:00	Sc102.1
150723	13.06.2025 00:00	Sc103.1
150724	13.06.2025 00:00	Sc104.1

Prétraitement des échantillons

Paramètres	Unité	150720 Sc101.1	150721 Sc101.2	150722 Sc102.1	150723 Sc103.1	150724 Sc104.1
Broyeur à mâchoires		... ³⁾	... ³⁾	... ³⁾	++ ^{1),2)}	++ ^{1),2)}
Matière sèche	%	82,1 ¹⁾	80,2 ¹⁾	80,0 ¹⁾	91,3 ¹⁾	82,7 ¹⁾
Prétraitement de l'échantillon		++ ^{1),2)}	++ ^{1),2)}	++ ^{1),2)}	++ ^{1),2)}	++ ^{1),2)}

Prétraitement pour analyses des métaux

Paramètres	Unité	150720 Sc101.1	150721 Sc101.2	150722 Sc102.1	150723 Sc103.1	150724 Sc104.1
Minéralisation à l'eau régale		++ ^{1),2)}	++ ^{1),2)}	++ ^{1),2)}	++ ^{1),2)}	++ ^{1),2)}

Métaux

Paramètres	Unité	150720 Sc101.1	150721 Sc101.2	150722 Sc102.1	150723 Sc103.1	150724 Sc104.1
Arsenic (As)	mg/kg MS	5,1	4,5	6,7	3,9	6,0
Cadmium (Cd)	mg/kg MS	<0,1 ⁵⁾	<0,1 ⁵⁾	0,1	0,2	0,2
Chrome (Cr)	mg/kg MS	18	12	17	11	18
Cuivre (Cu)	mg/kg MS	23	1,1	36	11	35
Mercurie (Hg)	mg/kg MS	0,10	<0,05 ⁵⁾	0,72	<0,05 ⁵⁾	0,09
Nickel (Ni)	mg/kg MS	13	5,6	20	12	16
Plomb (Pb)	mg/kg MS	42	5,1	130	32	39
Zinc (Zn)	mg/kg MS	41	17	98	68	91

Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (ISO)

Paramètres	Unité	150720 Sc101.1	150721 Sc101.2	150722 Sc102.1	150723 Sc103.1	150724 Sc104.1
Naphtalène	mg/kg MS	<0,050 ⁵⁾	<0,050 ⁵⁾	<0,050 ⁵⁾	<0,050 ⁵⁾	<0,050 ⁵⁾
Acénaphthylène	mg/kg MS	<0,050 ⁵⁾	<0,050 ⁵⁾	<0,050 ⁵⁾	<0,050 ⁵⁾	<0,050 ⁵⁾
Acénaphthène	mg/kg MS	<0,050 ⁵⁾	<0,050 ⁵⁾	<0,050 ⁵⁾	<0,050 ⁵⁾	<0,050 ⁵⁾
Fluorène	mg/kg MS	<0,050 ⁵⁾	<0,050 ⁵⁾	<0,050 ⁵⁾	<0,050 ⁵⁾	<0,050 ⁵⁾
Phénanthrène	mg/kg MS	<0,050 ⁵⁾	<0,050 ⁵⁾	0,26	<0,050 ⁵⁾	0,23
Anthracène	mg/kg MS	<0,050 ⁵⁾	<0,050 ⁵⁾	<0,050 ⁵⁾	<0,050 ⁵⁾	0,067
Fluoranthène	mg/kg MS	0,090	<0,050 ⁵⁾	0,38	<0,050 ⁵⁾	0,53
Pyrène	mg/kg MS	<0,050 ⁵⁾	<0,050 ⁵⁾	0,29	0,060	0,42
Benzo(a)anthracène	mg/kg MS	<0,050 ⁵⁾	<0,050 ⁵⁾	0,20	<0,050 ⁵⁾	0,33
Chrysène	mg/kg MS	<0,050 ⁵⁾	<0,050 ⁵⁾	0,23	<0,050 ⁵⁾	0,31
Benzo(b)fluoranthène	mg/kg MS	<0,050 ⁵⁾	<0,050 ⁵⁾	0,26	0,20	0,37
Benzo(k)fluoranthène	mg/kg MS	<0,050 ⁵⁾	<0,050 ⁵⁾	0,11	0,064	0,16
Benzo(a)pyrène	mg/kg MS	<0,050 ⁵⁾	<0,050 ⁵⁾	0,25	0,30	0,45
Dibenzo(a,h)anthracène	mg/kg MS	<0,050 ⁵⁾	<0,050 ⁵⁾	<0,050 ⁵⁾	<0,050 ⁵⁾	<0,050 ⁵⁾
Benzo(g,h,i)peryène	mg/kg MS	<0,050 ⁵⁾	<0,050 ⁵⁾	0,25	0,33	0,33

Les paramètres réalisés par AL-West BV sont accrédités selon la norme EN ISO/IEC 17025:2017. Seuls les paramètres non accrédités et/ou externalisés sont marqués du symbole ^{*)}.

DOC-13-20011345-FR-P2

Kamer van Koophandel
Nr. 08110898
VAT/BTW-ID-Nr.:
NL 811132559 B01

Directeur
ppa. Marc van Gelder
Dr. Paul Wimmer

page 2 de 8



AL-West B.V.

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



RAPPORT D'ANALYSE 1571064 20250616-HAVRE-SoI

Date: 23.06.2025

Information sur l'échantillon

Numéro d'échantillon	Date de prélèvement	Nom d'échantillon
150720	13.06.2025 00:00	Sc101.1
150721	13.06.2025 00:00	Sc101.2
150722	13.06.2025 00:00	Sc102.1
150723	13.06.2025 00:00	Sc103.1
150724	13.06.2025 00:00	Sc104.1

Paramètres	Unité	150720 Sc101.1	150721 Sc101.2	150722 Sc102.1	150723 Sc103.1	150724 Sc104.1
Indéno(1,2,3-cd)pyrène	mg/kg MS	<0,050 ⁵⁾	<0,050 ⁵⁾	0,25	0,33	0,36
HAP (6 Borneff) - somme	mg/kg MS	0,0900 ⁴⁾	n.d. ⁵⁾	1,50	1,22 ⁴⁾	2,20
Somme HAP (VROM)	mg/kg MS	0,0900 ⁴⁾	n.d. ⁵⁾	1,93 ⁴⁾	1,02 ⁴⁾	2,77 ⁴⁾
HAP (EPA) - somme	mg/kg MS	0,0900 ⁴⁾	n.d. ⁵⁾	2,48 ⁴⁾	1,28 ⁴⁾	3,56 ⁴⁾

Composés aromatiques

Paramètres	Unité	150720 Sc101.1	150721 Sc101.2	150722 Sc102.1	150723 Sc103.1	150724 Sc104.1
Benzène	mg/kg MS	<0,05 ⁵⁾	<0,05 ⁵⁾	<0,05 ⁵⁾	<0,05 ⁵⁾	<0,05 ⁵⁾
Toluène	mg/kg MS	<0,05 ⁵⁾	<0,05 ⁵⁾	<0,05 ⁵⁾	<0,05 ⁵⁾	<0,05 ⁵⁾
Ethylbenzène	mg/kg MS	<0,05 ⁵⁾	<0,05 ⁵⁾	<0,05 ⁵⁾	<0,05 ⁵⁾	<0,05 ⁵⁾
m,p-Xylène	mg/kg MS	<0,10 ⁵⁾	<0,10 ⁵⁾	<0,10 ⁵⁾	<0,10 ⁵⁾	<0,10 ⁵⁾
o-Xylène	mg/kg MS	<0,050 ⁵⁾	<0,050 ⁵⁾	<0,050 ⁵⁾	<0,050 ⁵⁾	<0,050 ⁵⁾
Naphtalène	mg/kg MS	<0,10 ⁵⁾	<0,10 ⁵⁾	<0,10 ⁵⁾	<0,10 ⁵⁾	<0,10 ⁵⁾
Somme Xylènes	mg/kg MS	n.d. ⁵⁾	n.d. ⁵⁾	n.d. ⁵⁾	n.d. ⁵⁾	n.d. ⁵⁾

COHV

Paramètres	Unité	150720 Sc101.1	150721 Sc101.2	150722 Sc102.1	150723 Sc103.1	150724 Sc104.1
Chlorure de Vinyle	mg/kg MS	<0,02 ⁵⁾	<0,02 ⁵⁾	<0,02 ⁵⁾	<0,02 ⁵⁾	<0,02 ⁵⁾
Dichlorométhane	mg/kg MS	<0,05 ⁵⁾	<0,05 ⁵⁾	<0,05 ⁵⁾	<0,05 ⁵⁾	<0,05 ⁵⁾
Trichlorométhane	mg/kg MS	<0,05 ⁵⁾	<0,05 ⁵⁾	<0,05 ⁵⁾	<0,05 ⁵⁾	<0,05 ⁵⁾
Tétrachlorométhane	mg/kg MS	<0,05 ⁵⁾	<0,05 ⁵⁾	<0,05 ⁵⁾	<0,05 ⁵⁾	<0,05 ⁵⁾
Trichloroéthylène	mg/kg MS	<0,05 ⁵⁾	<0,05 ⁵⁾	<0,05 ⁵⁾	<0,05 ⁵⁾	<0,05 ⁵⁾
Tétrachloroéthylène	mg/kg MS	<0,05 ⁵⁾	<0,05 ⁵⁾	<0,05 ⁵⁾	<0,05 ⁵⁾	<0,05 ⁵⁾
1,1,1-Trichloroéthane	mg/kg MS	<0,05 ⁵⁾	<0,05 ⁵⁾	<0,05 ⁵⁾	<0,05 ⁵⁾	<0,05 ⁵⁾
1,1,2-Trichloroéthane	mg/kg MS	<0,05 ⁵⁾	<0,05 ⁵⁾	<0,05 ⁵⁾	<0,05 ⁵⁾	<0,05 ⁵⁾
1,1-Dichloroéthane	mg/kg MS	<0,10 ⁵⁾	<0,10 ⁵⁾	<0,10 ⁵⁾	<0,10 ⁵⁾	<0,10 ⁵⁾
1,2-Dichloroéthane	mg/kg MS	<0,05 ⁵⁾	<0,05 ⁵⁾	<0,05 ⁵⁾	<0,05 ⁵⁾	<0,05 ⁵⁾
1,1-Dichloroéthylène	mg/kg MS	<0,10 ⁵⁾	<0,10 ⁵⁾	<0,10 ⁵⁾	<0,10 ⁵⁾	<0,10 ⁵⁾
Trans-1,2-Dichloroéthylène	mg/kg MS	<0,0250 ⁵⁾	<0,0250 ⁵⁾	<0,0250 ⁵⁾	<0,0250 ⁵⁾	<0,0250 ⁵⁾
cis-1,2-Dichloroéthylène	mg/kg MS	<0,0250 ⁵⁾	<0,0250 ⁵⁾	<0,0250 ⁵⁾	<0,0250 ⁵⁾	<0,0250 ⁵⁾
Somme cis/trans-1,2-Dichloroéthylènes	mg/kg MS	n.d. ⁵⁾	n.d. ⁵⁾	n.d. ⁵⁾	n.d. ⁵⁾	n.d. ⁵⁾

Hydrocarbures totaux (ISO)

Paramètres	Unité	150720 Sc101.1	150721 Sc101.2	150722 Sc102.1	150723 Sc103.1	150724 Sc104.1
Hydrocarbures totaux C10-C40	mg/kg MS	<20,0 ⁵⁾	<20,0 ⁵⁾	30,9	180	63,5

Les paramètres réalisés par AL-West BV sont accrédités selon la norme EN ISO/IEC 17025:2017. Seuls les paramètres non accrédités et/ou externalisés sont marqués du symbole ⁵⁾.

Kamer van Koophandel
Nr. 08110898
VAT/BTW-ID-Nr.:
NL 811132559 B01

Directeur
ppa. Marc van Gelder
Dr. Paul Wimmer

page 3 de 8



AL-West B.V.

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



RAPPORT D'ANALYSE 1571064 20250616-HAVRE-SoI

Date: 23.06.2025

Information sur l'échantillon

Numéro d'échantillon	Date de prélèvement	Nom d'échantillon
150720	13.06.2025 00:00	Sc101.1
150721	13.06.2025 00:00	Sc101.2
150722	13.06.2025 00:00	Sc102.1
150723	13.06.2025 00:00	Sc103.1
150724	13.06.2025 00:00	Sc104.1

Paramètres	Unité	150720 Sc101.1	150721 Sc101.2	150722 Sc102.1	150723 Sc103.1	150724 Sc104.1
Fraction C10-C12 ^{*)}	mg/kg MS	<4,0 ⁵⁾	<4,0 ⁵⁾	<4,0 ⁵⁾	<4,0 ⁵⁾	<4,0 ⁵⁾
Fraction C12-C16 ^{*)}	mg/kg MS	<4,0 ⁵⁾	<4,0 ⁵⁾	<4,0 ⁵⁾	<4,0 ⁵⁾	<4,0 ⁵⁾
Fraction C16-C20 ^{*)}	mg/kg MS	<2,0 ⁵⁾	<2,0 ⁵⁾	5,5	<2,0 ⁵⁾	9,4
Fraction C20-C24 ^{*)}	mg/kg MS	<2,0 ⁵⁾	<2,0 ⁵⁾	6,4	3,0	12,2
Fraction C24-C28 ^{*)}	mg/kg MS	<2,0 ⁵⁾	<2,0 ⁵⁾	7,3	12,3	13,4
Fraction C28-C32 ^{*)}	mg/kg MS	<2,0 ⁵⁾	<2,0 ⁵⁾	5,9	37	12
Fraction C32-C36 ^{*)}	mg/kg MS	<2,0 ⁵⁾	<2,0 ⁵⁾	<2,0 ⁵⁾	73,7	9,1
Fraction C36-C40 ^{*)}	mg/kg MS	<2,0 ⁵⁾	<2,0 ⁵⁾	<2,0 ⁵⁾	41,5	4,5

Polychlorobiphényles

Paramètres	Unité	150720 Sc101.1	150721 Sc101.2	150722 Sc102.1	150723 Sc103.1	150724 Sc104.1
PCB (28)	mg/kg MS	<0,001 ⁵⁾	<0,001 ⁵⁾	<0,001 ⁵⁾	<0,001 ⁵⁾	<0,001 ⁵⁾
PCB (52)	mg/kg MS	<0,001 ⁵⁾	<0,001 ⁵⁾	<0,001 ⁵⁾	<0,001 ⁵⁾	<0,001 ⁵⁾
PCB (101)	mg/kg MS	<0,001 ⁵⁾	<0,001 ⁵⁾	<0,001 ⁵⁾	0,002	<0,001 ⁵⁾
PCB (118)	mg/kg MS	<0,001 ⁵⁾	<0,001 ⁵⁾	<0,001 ⁵⁾	0,002	<0,001 ⁵⁾
PCB (138)	mg/kg MS	<0,001 ⁵⁾	<0,001 ⁵⁾	<0,001 ⁵⁾	0,005	<0,001 ⁵⁾
PCB (153)	mg/kg MS	<0,001 ⁵⁾	<0,001 ⁵⁾	<0,001 ⁵⁾	0,004	<0,001 ⁵⁾
PCB (180)	mg/kg MS	<0,001 ⁵⁾	<0,001 ⁵⁾	<0,001 ⁵⁾	0,003	<0,001 ⁵⁾
Somme 6 PCB	mg/kg MS	n.d. ⁵⁾	n.d. ⁵⁾	n.d. ⁵⁾	0,014 ⁴⁾	n.d. ⁵⁾
Somme 7 PCB (Ballschmitter)	mg/kg MS	n.d. ⁵⁾	n.d. ⁵⁾	n.d. ⁵⁾	0,016 ⁴⁾	n.d. ⁵⁾

Information sur l'échantillon

Numéro d'échantillon	Date de prélèvement	Nom d'échantillon
150725	13.06.2025 00:00	Sc105.1
150726	13.06.2025 00:00	Sc106.1
150727	13.06.2025 00:00	Sc107.1
150728	13.06.2025 00:00	Sc107.2

Prétraitement des échantillons

Paramètres	Unité	150725 Sc105.1	150726 Sc106.1	150727 Sc107.1	150728 Sc107.2
Broyeur à mâchoires		... ³⁾	++ ^{1),2)}	... ³⁾	... ³⁾
Matière sèche	%	92,4 ¹⁾	93,6 ¹⁾	79,9 ¹⁾	78,2 ¹⁾
Prétraitement de l'échantillon		++ ^{1),2)}	++ ^{1),2)}	++ ^{1),2)}	++ ^{1),2)}

Les paramètres réalisés par AL-West BV sont accrédités selon la norme EN ISO/IEC 17025:2017. Seuls les paramètres non accrédités et/ou externalisés sont marqués du symbole *).

Kamer van Koophandel
Nr. 08110898
VAT/BTW-ID-Nr.:
NL 811132559 B01

Directeur
ppa. Marc van Gelder
Dr. Paul Wimmer

page 4 de 8



AL-West B.V.

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



RAPPORT D'ANALYSE 1571064 20250616-HAVRE-SoI

Date: 23.06.2025

Information sur l'échantillon

Numéro d'échantillon	Date de prélèvement	Nom d'échantillon
150725	13.06.2025 00:00	Sc105.1
150726	13.06.2025 00:00	Sc106.1
150727	13.06.2025 00:00	Sc107.1
150728	13.06.2025 00:00	Sc107.2

Prétraitement pour analyses des métaux

Paramètres	Unité	150725 Sc105.1	150726 Sc106.1	150727 Sc107.1	150728 Sc107.2
Minéralisation à l'eau régale		++ ^{1),2)}	++ ^{1),2)}	++ ^{1),2)}	++ ^{1),2)}

Métaux

Paramètres	Unité	150725 Sc105.1	150726 Sc106.1	150727 Sc107.1	150728 Sc107.2
Arsenic (As)	mg/kg MS	1,6	1,8	4,7	4,0
Cadmium (Cd)	mg/kg MS	0,1	<0,1 ⁵⁾	0,1	<0,1 ⁵⁾
Chrome (Cr)	mg/kg MS	50	12	15	14
Cuivre (Cu)	mg/kg MS	13	5,1	22	1,2
Mercure (Hg)	mg/kg MS	<0,05 ⁵⁾	<0,05 ⁵⁾	2,03	<0,05 ⁵⁾
Nickel (Ni)	mg/kg MS	10	6,9	21	6,6
Plomb (Pb)	mg/kg MS	12	17	45	9,0
Zinc (Zn)	mg/kg MS	23	25	63	20

Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (ISO)

Paramètres	Unité	150725 Sc105.1	150726 Sc106.1	150727 Sc107.1	150728 Sc107.2
Naphtalène	mg/kg MS	<0,050 ⁵⁾	<0,050 ⁵⁾	<0,050 ⁵⁾	<0,050 ⁵⁾
Acénaphthylène	mg/kg MS	<0,050 ⁵⁾	<0,050 ⁵⁾	<0,050 ⁵⁾	<0,050 ⁵⁾
Acénaphène	mg/kg MS	<0,050 ⁵⁾	<0,050 ⁵⁾	0,080	<0,050 ⁵⁾
Fluorène	mg/kg MS	<0,050 ⁵⁾	<0,050 ⁵⁾	<0,050 ⁵⁾	<0,050 ⁵⁾
Phénanthrène	mg/kg MS	<0,050 ⁵⁾	<0,050 ⁵⁾	0,33	<0,050 ⁵⁾
Anthracène	mg/kg MS	<0,050 ⁵⁾	<0,050 ⁵⁾	0,076	<0,050 ⁵⁾
Fluoranthène	mg/kg MS	<0,050 ⁵⁾	<0,050 ⁵⁾	0,99	<0,050 ⁵⁾
Pyrène	mg/kg MS	<0,050 ⁵⁾	<0,050 ⁵⁾	0,83	<0,050 ⁵⁾
Benzo(a)anthracène	mg/kg MS	<0,050 ⁵⁾	<0,050 ⁵⁾	0,56	<0,050 ⁵⁾
Chrysène	mg/kg MS	<0,050 ⁵⁾	<0,050 ⁵⁾	0,68	<0,050 ⁵⁾
Benzo(b)fluoranthène	mg/kg MS	<0,050 ⁵⁾	0,072	0,46	<0,050 ⁵⁾
Benzo(k)fluoranthène	mg/kg MS	<0,050 ⁵⁾	<0,050 ⁵⁾	0,18	<0,050 ⁵⁾
Benzo(a)pyrène	mg/kg MS	<0,050 ⁵⁾	0,096	0,39	<0,050 ⁵⁾
Dibenzo(a,h)anthracène	mg/kg MS	<0,050 ⁵⁾	<0,050 ⁵⁾	<0,050 ⁵⁾	<0,050 ⁵⁾
Benzo(g,h,i)peryène	mg/kg MS	<0,050 ⁵⁾	0,091	0,31	<0,050 ⁵⁾
Indéno(1,2,3-cd)pyrène	mg/kg MS	<0,050 ⁵⁾	0,057	0,33	<0,050 ⁵⁾
HAP (6 Borneff) - somme	mg/kg MS	n.d.⁵⁾	0,316⁴⁾	2,66	n.d.⁵⁾
Somme HAP (VROM)	mg/kg MS	n.d.⁵⁾	0,244⁴⁾	3,85⁴⁾	n.d.⁵⁾
HAP (EPA) - somme	mg/kg MS	n.d.⁵⁾	0,316⁴⁾	5,22⁴⁾	n.d.⁵⁾

Les paramètres réalisés par AL-West BV sont accrédités selon la norme EN ISO/IEC 17025:2017. Seuls les paramètres non accrédités et/ou externalisés sont marqués du symbole *).

DOC-13-26011345-FR-P3

Kamer van Koophandel
Nr. 08110898
VAT/BTW-ID-Nr.:
NL 811132559 B01

Directeur
ppa. Marc van Gelder
Dr. Paul Wimmer

page 5 de 8



AL-West B.V.

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



RAPPORT D'ANALYSE 1571064 20250616-HAVRE-SoI

Date: 23.06.2025

Information sur l'échantillon

Numéro d'échantillon	Date de prélèvement	Nom d'échantillon
150725	13.06.2025 00:00	Sc105.1
150726	13.06.2025 00:00	Sc106.1
150727	13.06.2025 00:00	Sc107.1
150728	13.06.2025 00:00	Sc107.2

Composés aromatiques

Paramètres	Unité	150725 Sc105.1	150726 Sc106.1	150727 Sc107.1	150728 Sc107.2
Benzène	mg/kg MS	<0,05 ⁵⁾	<0,05 ⁵⁾	<0,05 ⁵⁾	<0,05 ⁵⁾
Toluène	mg/kg MS	<0,05 ⁵⁾	<0,05 ⁵⁾	<0,05 ⁵⁾	<0,05 ⁵⁾
Ethylbenzène	mg/kg MS	<0,05 ⁵⁾	<0,05 ⁵⁾	<0,05 ⁵⁾	<0,05 ⁵⁾
m,p-Xylène	mg/kg MS	<0,10 ⁵⁾	<0,10 ⁵⁾	<0,10 ⁵⁾	<0,10 ⁵⁾
o-Xylène	mg/kg MS	<0,050 ⁵⁾	<0,050 ⁵⁾	<0,050 ⁵⁾	<0,050 ⁵⁾
Naphtalène	mg/kg MS	<0,10 ⁵⁾	<0,10 ⁵⁾	<0,10 ⁵⁾	<0,10 ⁵⁾
Somme Xylènes	mg/kg MS	n.d.⁵⁾	n.d.⁵⁾	n.d.⁵⁾	n.d.⁵⁾

COHV

Paramètres	Unité	150725 Sc105.1	150726 Sc106.1	150727 Sc107.1	150728 Sc107.2
Chlorure de Vinyle	mg/kg MS	<0,02 ⁵⁾	<0,02 ⁵⁾	<0,02 ⁵⁾	<0,02 ⁵⁾
Dichlorométhane	mg/kg MS	<0,05 ⁵⁾	<0,05 ⁵⁾	<0,05 ⁵⁾	<0,05 ⁵⁾
Trichlorométhane	mg/kg MS	<0,05 ⁵⁾	<0,05 ⁵⁾	<0,05 ⁵⁾	<0,05 ⁵⁾
Tétrachlorométhane	mg/kg MS	<0,05 ⁵⁾	<0,05 ⁵⁾	<0,05 ⁵⁾	<0,05 ⁵⁾
Trichloroéthylène	mg/kg MS	<0,05 ⁵⁾	<0,05 ⁵⁾	<0,05 ⁵⁾	<0,05 ⁵⁾
Tétrachloroéthylène	mg/kg MS	<0,05 ⁵⁾	<0,05 ⁵⁾	<0,05 ⁵⁾	<0,05 ⁵⁾
1,1,1-Trichloroéthane	mg/kg MS	<0,05 ⁵⁾	<0,05 ⁵⁾	<0,05 ⁵⁾	<0,05 ⁵⁾
1,1,2-Trichloroéthane	mg/kg MS	<0,05 ⁵⁾	<0,05 ⁵⁾	<0,05 ⁵⁾	<0,05 ⁵⁾
1,1-Dichloroéthane	mg/kg MS	<0,10 ⁵⁾	<0,10 ⁵⁾	<0,10 ⁵⁾	<0,10 ⁵⁾
1,2-Dichloroéthane	mg/kg MS	<0,05 ⁵⁾	<0,05 ⁵⁾	<0,05 ⁵⁾	<0,05 ⁵⁾
1,1-Dichloroéthylène	mg/kg MS	<0,10 ⁵⁾	<0,10 ⁵⁾	<0,10 ⁵⁾	<0,10 ⁵⁾
Trans-1,2-Dichloroéthylène	mg/kg MS	<0,0250 ⁵⁾	<0,0250 ⁵⁾	<0,0250 ⁵⁾	<0,0250 ⁵⁾
cis-1,2-Dichloroéthylène	mg/kg MS	<0,0250 ⁵⁾	<0,0250 ⁵⁾	<0,0250 ⁵⁾	<0,0250 ⁵⁾
Somme cis/trans-1,2-Dichloroéthylènes	mg/kg MS	n.d.⁵⁾	n.d.⁵⁾	n.d.⁵⁾	n.d.⁵⁾

Hydrocarbures totaux (ISO)

Paramètres	Unité	150725 Sc105.1	150726 Sc106.1	150727 Sc107.1	150728 Sc107.2
Hydrocarbures totaux C10-C40	mg/kg MS	53,2	170	3100	<20,0 ⁵⁾
Fraction C10-C12 ^{*)}	mg/kg MS	<4,0 ⁵⁾	<4,0 ⁵⁾	<4,0 ⁵⁾	<4,0 ⁵⁾
Fraction C12-C16 ^{*)}	mg/kg MS	<4,0 ⁵⁾	<4,0 ⁵⁾	210	<4,0 ⁵⁾
Fraction C16-C20 ^{*)}	mg/kg MS	<2,0 ⁵⁾	2,8	580	<2,0 ⁵⁾
Fraction C20-C24 ^{*)}	mg/kg MS	2,2	5,6	790	<2,0 ⁵⁾
Fraction C24-C28 ^{*)}	mg/kg MS	4,3	13,7	700	<2,0 ⁵⁾
Fraction C28-C32 ^{*)}	mg/kg MS	8,8	33	480	<2,0 ⁵⁾
Fraction C32-C36 ^{*)}	mg/kg MS	18,3	71,6	260	<2,0 ⁵⁾
Fraction C36-C40 ^{*)}	mg/kg MS	17,2	42,0	58,2	<2,0 ⁵⁾

Les paramètres réalisés par AL-West BV sont accrédités selon la norme EN ISO/IEC 17025:2017. Seuls les paramètres non accrédités et/ou externalisés sont marqués du symbole ^{*)}.

DOC-13-26011345-FR-P6

Kamer van Koophandel
Nr. 08110898
VAT/BTW-ID-Nr.:
NL 811132559 B01

Directeur
ppa. Marc van Gelder
Dr. Paul Wimmer

page 6 de 8



AL-West B.V.

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



RAPPORT D'ANALYSE 1571064 20250616-HAVRE-SoI

Date: 23.06.2025

Information sur l'échantillon

Numéro d'échantillon	Date de prélèvement	Nom d'échantillon
150725	13.06.2025 00:00	Sc105.1
150726	13.06.2025 00:00	Sc106.1
150727	13.06.2025 00:00	Sc107.1
150728	13.06.2025 00:00	Sc107.2

Polychlorobiphényles

Paramètres	Unité	150725 Sc105.1	150726 Sc106.1	150727 Sc107.1	150728 Sc107.2
PCB (28)	mg/kg MS	<0,001 ⁵⁾	<0,001 ⁵⁾	<0,001 ⁵⁾	<0,001 ⁵⁾
PCB (52)	mg/kg MS	<0,001 ⁵⁾	<0,001 ⁵⁾	<0,001 ⁵⁾	<0,001 ⁵⁾
PCB (101)	mg/kg MS	<0,001 ⁵⁾	<0,001 ⁵⁾	<0,001 ⁵⁾	<0,001 ⁵⁾
PCB (118)	mg/kg MS	<0,001 ⁵⁾	<0,001 ⁵⁾	<0,001 ⁵⁾	<0,001 ⁵⁾
PCB (138)	mg/kg MS	<0,001 ⁵⁾	0,004	<0,001 ⁵⁾	<0,001 ⁵⁾
PCB (153)	mg/kg MS	<0,001 ⁵⁾	0,004	<0,001 ⁵⁾	<0,001 ⁵⁾
PCB (180)	mg/kg MS	<0,001 ⁵⁾	0,004	<0,001 ⁵⁾	<0,001 ⁵⁾
Somme 6 PCB	mg/kg MS	n.d. ⁵⁾	0,012 ⁴⁾	n.d. ⁵⁾	n.d. ⁵⁾
Somme 7 PCB (Ballschmiter)	mg/kg MS	n.d. ⁵⁾	0,012 ⁴⁾	n.d. ⁵⁾	n.d. ⁵⁾

¹⁾ Tous les résultats obtenus à partir de l'analyse de la matière solide sont basés sur la matière sèche (MS), à l'exception des paramètres marqués du signe ¹⁾ qui sont basés sur la matière brute (MB).

²⁾ "+" Signifie que le traitement requis a été effectué en laboratoire.

³⁾ "-" Signifie "non demandé".

⁴⁾ Les résultats ne tiennent pas compte des teneurs en dessous des seuils de quantification.

⁵⁾ Explication : "<" ou "n.d." indiquent que la concentration de l'analyte est inférieure à la limite de quantification (LQ).

⁶⁾ Tous les résultats d'analyse se rapportent à la matière sèche (MS), à l'exception des paramètres marqués d'un signe ⁶⁾, qui sont basés sur la matière brute (MB).

Début de l'analyse : 17.06.2025

Fin de l'analyse : 23.06.2025

Les résultats portent exclusivement sur les échantillons analysés. Si le laboratoire n'est pas responsable de l'échantillonnage, les résultats correspondent à l'échantillon tel qu'il a été reçu. Le laboratoire n'est pas responsable des informations fournies par le client. Les informations du client, le cas échéant, présentées dans le présent rapport d'analyse ne sont pas soumises à l'accréditation du laboratoire et peuvent affecter la validité des résultats d'essai. La reproduction d'extraits de ce rapport sans notre autorisation écrite n'est pas autorisée. En cas de déclaration de conformité, l'approche discrète est utilisée comme règle de décision. Cela signifie que l'incertitude de mesure n'est pas prise en compte pour l'établissement de la déclaration de conformité à une spécification ou à une norme.

AL-West B.V. (AGROLAB GROUP), M. Brice Theillère, Tél : 33380681937

Liste des méthodes

conforme à NEN 6950 (digestion conf. à NEN 6961/NEN-EN-ISO 54321, mesure conforme à NEN-ISO 16772)	Mercurie (Hg)
Conforme à NEN-EN 16179	Prétraitement de l'échantillon
ISO 16703	Hydrocarbures totaux C10-C40
ISO 16703 ⁴⁾	Fraction C10-C12 ⁴⁾ • Fraction C12-C16 ⁴⁾ • Fraction C16-C20 ⁴⁾ • Fraction C20-C24 ⁴⁾ • Fraction C24-C28 ⁴⁾ • Fraction C28-C32 ⁴⁾ • Fraction C32-C36 ⁴⁾ • Fraction C36-C40 ⁴⁾
ISO 22155	Benzène • Toluène • Ethylbenzène • m,p-Xylène • o-Xylène • Naphtalène [150720-150728] • Somme Xylènes • Chlorure de Vinyle • Dichlorométhane • Trichlorométhane • Tétrachlorométhane • Trichloroéthylène • Tétrachloroéthylène • 1,1,1-Trichloroéthane • 1,1,2-Trichloroéthane • 1,1-Dichloroéthane • 1,2-Dichloroéthane • 1,1-Dichloroéthylène • Trans-1,2-Dichloroéthylène • cis-1,2-Dichloroéthylène • Somme cis/trans-1,2-Dichloroéthylènes
Minéralisation conforme à NEN-EN-ISO 54321, mesure conforme à NEN-EN-ISO 11885	Arsenic (As) • Cadmium (Cd) • Chrome (Cr) • Cuivre (Cu) • Nickel (Ni) • Plomb (Pb) • Zinc (Zn)

Les paramètres réalisés par AL-West BV sont accrédités selon la norme EN ISO/IEC 17025:2017. Seuls les paramètres non accrédités et/ou externalisés sont marqués du symbole ⁴⁾.

Kamer van Koophandel
Nr. 08110898
VAT/BTW-ID-Nr.:
NL 811132559 B01

Directeur
ppa. Marc van Gelder
Dr. Paul Wimmer

page 7 de 8



AL-West B.V.

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



RAPPORT D'ANALYSE 1571064 20250616-HAVRE-SoI

Date: 23.06.2025

Liste des méthodes

méthode interne	Broyeur à mâchoires
NEN-EN 15934	Matière sèche
NEN-EN 16167	PCB (28) • PCB (52) • PCB (101) • PCB (118) • PCB (138) • PCB (153) • PCB (180) • Somme 6 PCB • Somme 7 PCB (Ballschmüter)
NF-EN 16174; NF EN 13657 (déchets)	Minéralisation à l'eau régale
équivalent à NF EN 16181	Naphtalène [150720-150728] • Acénaphylène • Acénaphène • Fluorène • Phénanthrène • Anthracène • Fluoranthène • Pyrène • Benzo(a)anthracène • Chrysène • Benzo(b)fluoranthène • Benzo(k)fluoranthène • Benzo(a)pyrène • Dibenzo(a,h)anthracène • Benzo(g,h,i)peryène • Indéno(1,2,3-cd)pyrène • HAP (6 Borneff) - somme • Somme HAP (VROM) • HAP (EPA) - somme

Les paramètres réalisés par AL-West BV sont accrédités selon la norme EN ISO/IEC 17025:2017. Seuls les paramètres non accrédités et/ou externalisés sont marqués du symbole *).

DOC-13-26011345-FR-P8

Kamer van Koophandel
Nr. 08110898
VAT/BTW-ID-Nr.:
NL 811132559 B01

Directeur
ppa. Marc van Gelder
Dr. Paul Wimmer

page 8 de 8



Annexe 5 : Méthodologie EQRS

Le calcul de risque sanitaire a pour but de présenter de manière explicite, aux différentes parties, les éléments d'analyse sur lesquels la prise de décision pourra s'appuyer. À ce titre, cette étude est un outil d'analyse au service de la politique de gestion des sites et sols pollués, elle doit respecter les principes suivants :

- **Le principe de prudence scientifique** (prise en compte tous les risques avérés)
- **Le principe de proportionnalité** (adéquation des moyens avec le but recherché)
- **Le principe de spécificité** (utilisation d'outils spécifiques)
- **Le principe de transparence** (explicitation de tous les moyens mis en œuvre)

1. Méthodologie générale

L'évaluation des risques liés aux substances chimiques se décompose en quatre étapes :

- **La caractérisation des paramètres initiaux** (sources potentielles de contamination, vecteurs de transfert, récepteurs) permet de définir le schéma conceptuel d'exposition récapitulant l'ensemble des voies de transfert et d'exposition pour les populations cibles ;
- **L'évaluation de l'exposition** consiste à quantifier l'exposition (les concentrations ou les doses) des populations sur la base du schéma conceptuel d'exposition établi ;
- **L'évaluation de la toxicité** englobe l'identification du potentiel dangereux (ou détermination des effets indésirables que les substances chimiques sont intrinsèquement capables de provoquer chez l'homme) et l'évaluation des relations dose-effet (ou estimation du rapport entre le niveau d'exposition, ou la dose, et l'incidence et la gravité des effets) ;
- **La caractérisation du risque est la synthèse de l'évaluation des risques**, et quantifie le risque lié aux substances chimiques, en présentant les résultats sous une forme exploitable, accompagnée d'une évaluation des incertitudes relevées tout au long de l'étude.

2. Descriptif technique

L'évaluation des risques sanitaires se décompose en plusieurs étapes :

- **Analyse des données** (compilation et synthèse des données issues des différentes études réalisées au droit du site),
- **Évaluation des expositions** (définition des scénarii d'exposition, quantification des doses journalières d'exposition),
- **Sélection des substances** (détermination des substances retenues pour l'étude et leurs concentrations associées dans les sols et/ou la nappe) ;
- **Évaluation de la relation dose-réponse** : recueil des valeurs toxicologiques de référence disponibles au moment de la réalisation de l'étude, et choix argumenté d'une valeur toxicologique pour chaque substance retenue,
- **Caractérisation des risques** (effets avec seuil et sans seuil),
- **Évaluation des incertitudes**
- **Interprétation des résultats** : hiérarchisation des risques, détermination des objectifs de réhabilitation (ou de dépollution) et/ou de servitudes à mettre en place.

2.1. Analyse des données

L'ensemble des données issues des investigations réalisées au droit du site est compilé et analysé.

2.2. L'évaluation de l'exposition

L'évaluation de l'exposition est constituée de plusieurs étapes :

- Une caractérisation des lieux d'exposition (en accord avec les plans de réaménagement envisagés)

- Une identification des voies d'exposition (inhalation de gaz, ingestion de sols, etc.)
- Une identification des cibles susceptibles d'être exposées
- Une définition des scénarii d'exposition (construction du schéma conceptuel d'exposition)
- Une quantification de l'exposition (Dose Journalière d'Exposition (DJE) ou, pour un gaz, Concentration Inhalée (CI))

2.2.1 Caractérisation du lieu d'exposition

Le lieu d'exposition est décrit dans les plans du site. Il est important de connaître précisément ses caractéristiques au vu des calculs à effectuer.

Cette étape sert également à établir les voies de transfert et d'exposition potentielles.

2.2.2 Identification des voies d'exposition et des cibles

Dans une étude de risques, les **voies d'exposition** potentielles sont les voies de contact directes (ingestion des sols, inhalation de poussières) et indirectes (inhalation de substances volatiles, ingestion de végétaux, etc.). Le choix des voies retenues est fonction de l'aménagement prévu sur le site.

Les **cibles** sont les futurs usagers du site. Afin d'englober tous les cas de figures, les cibles retenues pour effectuer le calcul de risque sont les cibles les plus vulnérables (les plus exposées aux substances polluantes).

2.2.3 Définition des scénarii d'exposition

Plusieurs scénarii d'exposition peuvent être étudiés séparément, puis compilés. Chaque scénario doit contenir :

- Une source de pollution,
- Une voie de transfert (volatilisation, infiltration dans les nappes souterraines, etc.),
- Une cible,
- Un mode d'exposition (inhalation, ingestion, etc.).

Un schéma conceptuel d'exposition résumant de façon claire et précise tous les scénarii d'exposition doit être élaboré.

2.2.4 Quantification de l'exposition

Elle vise à calculer les doses journalières (ou concentration pour les gaz) d'exposition des cibles aux substances identifiées. Pour cela, il est important de définir les différents paramètres d'exposition :

- Les durées et fréquences d'exposition,
- Les caractéristiques des cibles (âge, poids, etc.),
- Les concentrations dans les sols ou dans l'air intérieur ou extérieur.

La **concentration de substance inhalée** permet la quantification de l'exposition journalière à une substance gazeuse polluante, présente dans l'air ambiant. Elle est définie comme une concentration ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) et se calcule grâce à la formule suivante dans le cas d'un risque lié à une inhalation de gaz.

$$CI = \frac{(Ci * Ti + Ce * Te) * T * Ef}{24 * Tm * 365}$$

Avec :

CI : concentration moyenne inhalée théorique ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

Ci : concentration de la substance testée dans l'air intérieur ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

Ti : fréquence d'exposition à la substance dans l'air intérieur (h/j)

Ce : concentration de la substance testée dans l'air extérieur ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

Te : fréquence d'exposition à la substance dans l'air extérieur (h/j)

T : durée d'exposition théorique (an)

Ef : fréquence d'exposition théorique (j/an)

Tm : période de temps sur laquelle est moyennée l'exposition (ans)

2.3 La sélection des substances

Les substances sont sélectionnées pour l'étude à partir des analyses effectuées sur les sols et du schéma conceptuel.

Les différentes analyses effectuées en amont de l'analyse des risques sanitaires servent à déterminer quelles substances sont présentes dans les sols ou nappes souterraines dans des proportions supérieures aux normes tolérées ; le risque sera calculé relativement à ces substances.

Le schéma conceptuel permet d'indiquer quelles substances sont susceptibles d'entrer en contact avec les cibles. Si le seul mode d'exposition est l'inhalation par exemple, il ne faut prendre en compte que les substances volatiles et donc susceptibles d'être inhalées.

Les substances sélectionnées sont connues pour être toxiques pour la santé humaine. Elles ne peuvent être utilisées pour les calculs que s'il existe des valeurs toxicologiques de référence associées qui soient accessibles et fiables.

2.4 L'évaluation de la relation dose-effet

Le but de l'évaluation dose-effet est d'identifier les effets indésirables qu'une substance peut avoir sur la santé humaine et, si possible, de déterminer une relation entre le niveau d'exposition et la gravité de ces effets.

Les valeurs toxicologiques de références (VTR) qui sont utilisées dans les évaluations de risques sont calculées à partir de la relation dose-effet des substances. Le portail des substances chimiques de l'INERIS (2009) consultable sur internet, propose une bibliothèque de fiches toxicologiques de nombreuses substances.

Il existe deux grandes catégories de substances toxiques. Les substances dites sans seuil d'effet qui sont cancérigènes, et les substances à seuil d'effet, non cancérigènes.

Il n'est pas rare de constater que des substances entrent dans les deux catégories : c'est-à-dire qu'elles ont des effets cancérigènes mais peuvent provoquer d'autres maux à partir d'une certaine dose. Dans le cas de ces substances, les risques sont calculés pour les deux effets, puis hiérarchisés en fonction de la gravité des conséquences.

2.4.1 Caractérisation des substances à effets cancérigènes (sans seuil)

Les substances à effets cancérigènes, aussi appelées substances sans seuil d'effet, présentent un risque à tous les niveaux d'exposition, excepté le niveau 0 (dose d'exposition nulle).

Plusieurs classifications des substances existent. Elles sont classées par rapport à leur niveau de cancérogénicité. L'US EPA définit les classes suivantes :

Classification US EPA :

- Groupe A :** Substance cancérigène pour l'homme
- Groupe B1 :** Substance probablement cancérigène pour l'homme avec des données disponibles limitées chez l'homme.
- Groupe B2 :** Substance probablement cancérigène chez l'homme mais il existe des preuves suffisantes chez l'animal et des preuves non adéquates ou pas de preuves chez l'homme.
- Groupe C :** Cancérigène possible pour l'homme.
- Groupe D :** Substance non classifiable quant à la cancérogénicité pour l'homme.
- Groupe E :** Substance pour laquelle il existe des preuves de non-cancérogénicité pour l'homme

Le Centre International de Recherche sur le Cancer de l'Organisation Mondiale de la Santé (CIRC/IARC) a également effectué une classification décrite ci-dessous :

Classification du CIRC / IARC :

- Groupe 1 :** L'agent (le mélange) est cancérogène pour l'homme.
- Groupe 2A :** L'agent (le mélange) est probablement cancérogène pour l'homme.
- Groupe 2B :** L'agent (le mélange) est peut-être cancérogène pour l'homme.
- Groupe 3 :** L'agent (le mélange) est inclassable quant à sa cancérogénicité pour l'homme
- Groupe 4 :** L'agent (le mélange) n'est probablement pas cancérogène pour l'homme.

Enfin l'Union Européenne a émis une classification réglementaire (applicable en France) quant aux effets cancérigènes, mutagènes, ou toxiques pour la reproduction des produits chimiques. La classification des substances cancérogènes est définie ci-dessous :

Classification de l'Union Européenne

- Catégorie 1 :** Substances que l'on sait être cancérogène pour l'homme.
- Catégorie 2 :** Substances devant être assimilées à des substances cancérogènes pour l'homme
Substances préoccupantes pour l'homme en raison d'effets cancérigènes possible mais pour
- Catégorie 3 :** lesquelles les informations disponibles ne permettent pas une évaluation satisfaisante (preuves insuffisantes).

Pour évaluer le risque de ces substances cancérigènes la valeur toxicologique de référence est utilisée. Il peut s'agir de :

- **L'Excès de Risques Unitaire (ERU)** pour la voie orale. Il correspond à la probabilité supplémentaire, par rapport à un sujet non exposé, qu'un individu contracte un cancer s'il est exposé pendant sa vie entière à une unité de dose de la substance cancérogène. Cet indice est l'inverse d'une dose et s'exprime en $(\text{mg/kg MS/j})^{-1}$.
- **L'Inhalation Unit Risk (IUR)** élaboré par l'US-EPA, pour la voie respiratoire. Cet indice est l'inverse d'une concentration et s'exprime en $\text{m}^3/\mu\text{g}$.

2.4.2 Caractérisation des substances à effets non cancérigènes (avec seuil)

Les substances à effets non cancérigènes présentent un risque lorsque le niveau d'exposition dépasse un certain seuil. En dessous de ce seuil, des mécanismes physiologiques tels que l'absorption, la distribution, l'excrétion, et le métabolisme, réduisent les effets néfastes de la substance. La dose (ou concentration) seuil est la dose (ou concentration) la plus basse engendrant un effet néfaste. Elle est estimée à partir d'études sur les animaux, ou à partir de données humaines lorsqu'elles sont disponibles.

Plusieurs valeurs de VTR sont disponibles et varient selon le mode d'exposition (orale ou respiratoire) et les conditions d'exposition (chronique, aiguë, ...). En général, un calcul de risque s'effectue pour des expositions chroniques. On utilise alors la **Reference concentration** (RfC) pour la voie respiratoire. Cet indice est homogène à une concentration et s'exprime en $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Ces VTR, élaborées par l'US-EPA sont les plus utilisées pour une évaluation des risques sanitaires.

2.4.3 Choix des valeurs toxicologiques de référence

Les VTR sont choisies conformément aux instructions de la circulaire du 30 mai 2006 du ministre en charge de la santé.

2.5 La caractérisation du risque

La caractérisation du risque est l'étape finale de l'EQRS. Elle sert à quantifier le risque à partir des valeurs obtenues aux étapes précédentes.

2.5.1 Calcul du risque pour une substance cancérigène

Pour une substance cancérigène, l'Excès de Risque Individuel (ERI) est calculé. Il représente l'excès de risque théorique de développer un cancer dans les conditions d'expositions spécifiques au calcul.

Il s'agit du produit entre la dose (ou concentration) journalière d'exposition et la valeur toxicologique de référence sélectionnée pour la substance.

Il est sans unité.

Pour une inhalation :

$$ERI = CI * IUR$$

Avec :

ERI : Excès de Risque Individuel, calculé pour des substances cancérigènes (sans dimension)

CI : Concentration moyenne inhalée théorique, calculé à l'étape *Quantification de l'exposition* ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

IUR : Inhalation Unit Risk ; valeur toxicologique de référence sélectionnée pour la substance cancérigène $\text{m}^3/\mu\text{g}$.

2.5.2 Calcul du risque pour une substance non cancérigène

Pour une substance non cancérigène, le Quotient de Danger (QD) est calculé.

Il s'agit du rapport entre la dose (ou concentration) journalière d'exposition et la valeur toxicologique de référence sélectionnée pour la substance.

Il est sans unité.

Pour une inhalation :

$$QD = \frac{CI}{RfC}$$

Avec :

IR : Indice de Risque théorique, calculé pour des substances non cancérigènes (sans dimension)

CI : Concentration moyenne inhalée théorique, calculé à l'étape *Quantification de l'exposition* ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

RfC : Reference Concentration ; valeur toxicologique de référence sélectionnée pour la substance non cancérigène ($\mu\text{g}/\text{m}^3$).

2.5.3 Règle de cumul des effets

Les risques sont calculés séparément pour chaque substance intervenant dans l'étude. En l'absence de connaissances sur les interférences entre les différentes substances, il est considéré que les effets produits par ces différentes substances s'ajoutent.

- Pour les effets à seuil (non cancérogènes), l'additivité des indices de risque entre voies d'exposition et substances est retenue comme hypothèse de départ, quel que soit les effets sanitaires associés à chacune des substances considérées ;
- Pour les effets sans seuil (cancérogènes), le cumul des ERI correspond à l'hypothèse d'une indépendance des effets cancérogènes des différentes substances.

2.5.4 Interprétation des résultats

Les valeurs ainsi calculées sont à comparer aux intervalles de gestion des risques publiés par le MEEDDAT dans un document présentant les nouvelles démarches de gestion des sites et sols pollués (V0. Février 2007).

Pour les substances non cancérogènes (à seuil) :

- Si **IR < 1** la survenue d'un effet toxique apparaît peu probable même pour une population sensible : le risque est acceptable.
- Si **IR > 1** l'effet toxique peut vraisemblablement apparaître : le risque est inacceptable.

Pour les substances cancérogènes (sans seuil) :

- Si **ERI < 10⁻⁶** le niveau de risque toxicologique est considéré comme acceptable
- Si **ERI > 10⁻⁶** le niveau de risque toxicologique est considéré comme inacceptable

2.6 Evaluation des incertitudes

L'analyse des risques résiduels fait bien sûr l'objet de nombreuses incertitudes dues aux outils de modélisation et au choix arbitraire de certains paramètres. Les incertitudes sont donc présentes tout au long du processus de calcul du risque et peuvent parfois être significatives.

Une évaluation des incertitudes est alors nécessaire à effectuer à la fin de toute EQRS.

Annexe 6 : Présentation du logiciel Modul'ERS

D'après le rapport d'étude INERIS DRC-14-141968-00696A (Mars 2014), « Guide l'utilisateur ».

MODUL'ERS a été produit par l'INERIS dans le cadre des programmes d'appui de l'institut pour le Ministère de l'Ecologie, du Développement Durable et de l'Energie (MEDDE).

MODUL'ERS est un outil logiciel pour la réalisation des évaluations prospectives des risques sanitaires effectuées dans le cadre de l'analyse des effets sur la santé des Installations Classées Pour l'Environnement (ICPE) et pour la réalisation des Evaluations de Risque Sanitaire (ERS) des sites et sols pollués. Il permet d'estimer les concentrations dans les milieux, les niveaux d'exposition et des niveaux de risque en fonction du temps.

Il consiste en une plateforme de modélisation et de simulation et en une bibliothèque de modules, basée sur le manuel référencé DRC-08—94882-16675B et intitulé « *Jeux d'équations pour la modélisation des expositions liées à la contamination d'un sol ou aux émissions d'une installation industrielle* ».

MODUL'ERS permet de :

- Construire des modèles multimédias adaptés, en agencant les modules prédéfinis de la bibliothèque, selon le schéma conceptuel du site étudié ;
- Mener des simulations déterministes, probabilistes et des analyses de sensibilité sur les résultats.

Cet outil a été développé à partir de la plateforme de modélisation et simulation ECOLEGO, logiciel de la société Facilia. MODUL'ERS est en fait un applicatif d'ECOLEGO, dont les fonctionnalités ont été augmentées et adaptées, avec le concours de Facilia, aux besoins des études menées dans le cadre de la politique de gestion des Installations Classées Pour l'Environnement (ICPE) et des sites et sols pollués.

MODUL'ERS est un outil permettant de faire concrètement le lien entre le schéma conceptuel défini pour le site d'étude et l'évaluation prospective des expositions et des risques sanitaires, puisque la première étape consiste pour l'utilisateur à construire son modèle sur la base du schéma conceptuel.

MODUL'ERS se veut donc avant tout un outil flexible, permettant de construire un modèle adapté au cas d'étude, en termes de mécanismes de transfert à prendre en compte (principe de spécificité) et en terme de précision requise et d'informations disponibles (principe de proportionnalité).

Ainsi, pour chaque substance étudiée, l'utilisateur peut choisir :

- **De prendre en compte ou non un mécanisme de transfert pour modéliser la concentration attendue dans un milieu.** Par exemple, il peut tenir compte de la perte de polluant par le sol lié au ruissellement pour calculer la concentration dans le sol et de l'apport équivalent vers les eaux superficielles pour calculer la concentration dans les eaux superficielles. Mais ces deux aspects « apport » et « perte », liés au phénomène de ruissellement peuvent être découplés, et l'utilisateur peut, dans une approche conservatoire, ne considérer que le phénomène d'apport pour éviter de sous-estimer la concentration attendue dans le sol ;
- **Entre différentes approches de modélisation, pour représenter certains mécanismes de transfert ou estimer des coefficients de transfert entre différentes matrices** (exemples : modèle Volasoil ou Johnson et Ettinger pour le transfert de polluant du sol vers l'air intérieur, approche dynamique ou stationnaire pour le calcul des concentrations dans les matrices animales...) ;
- **Entre l'utilisation de données mesurées pour les concentrations dans les milieux et les niveaux d'exposition ou le recours à la modélisation.** Si, par exemple, l'utilisateur voulant évaluer l'exposition aux polychlorodibenzodioxines (PCDD) et aux polychlorobiphényles (PCB) par ingestion d'œufs dispose de données de mesure uniquement pour le premier groupe de substances, il pourra entrer ses données pour des dioxines et estimer les concentrations de PCB dans les œufs par modélisation au cours d'une même simulation.

MODUL'ERS vise aussi à améliorer la transparence des études.

Les éléments contribuant à cet objectif sont :

- **La fourniture d'un manuel présentant les équations sur lesquelles MODUL'ERS est basé. Ce document, revu par des experts nationaux et internationaux, présente les hypothèses et les limites des équations utilisées.** Ce manuel et le rapport reprenant les commentaires et les réponses apportées par l'INERIS sont accessibles dans la documentation jointe au logiciel ;
- **La possibilité de visualiser la manière dont les équations ont été implémentées dans le logiciel,** grâce à une syntaxe simple du type de celle utilisée sous Excel. La navigation par lien hypertexte permet ainsi de retrouver facilement l'ensemble des équations utilisées pour estimer une grandeur donnée ;
- **La mise en évidence des données d'entrée modifiées par l'utilisateur dans son étude par rapport aux valeurs prédéfinies.** Cette mise en évidence se traduit, à l'écran, par l'apparition des valeurs modifiées en caractères gras et, dans le rapport éditables, par la fourniture des valeurs prédéfinies dans l'outil, à côté de celles retenues par l'utilisateur.
- **L'accès aux valeurs, intervalles de valeurs ou/et distributions statistiques renseignant les données d'entrée, la fourniture au sein du logiciel des références utilisées pour définir ces valeurs par défaut et le statut de validation accordée à ces valeurs.**

Le travail de collecte, de vérification et de sélection de valeurs, intervalles de valeurs ou/et distributions statistiques pour chaque donnée d'entrée est un travail très consommateur de temps, mais important au vu de la sensibilité des modèles d'exposition à un certain nombre de données d'entrée. Dans un premier temps, ce statut de validation vise à qualifier le niveau d'analyse effectuée par l'INERIS pour renseigner la donnée d'entrée considérée, et ainsi aider l'utilisateur, ayant réalisé une analyse de sensibilité, à identifier les données d'entrée pour lesquelles une estimation plus fine est possible. In fine, cela permettra à l'utilisateur d'améliorer la qualité de son étude en réduisant les incertitudes entourant le résultat.

A terme, l'objectif est d'aller plus loin en fournissant des rapports spécifiques pour présenter les sources consultées de manière plus détaillée, les données collectées et leur contexte d'obtention, ainsi que les raisons ayant orienté la sélection de valeurs pour chaque donnée d'entrée du modèle. Ce travail a déjà été réalisé pour les paramètres d'exposition relatifs aux animaux. Le rapport correspondant est accessible dans la documentation annexée au logiciel.

Annexe 7 : Données des calculs

Page 1 of 22

MODULERS v.1.0.142

v1EQRS_employe



Report generated: Fri Jun 27 10:53:22 CEST 2025

Table of contents

- 1 Project properties
- 2 Materials/Species
- 3. Model description
 - 3.1. Constantes_Reglages
 - 3.2. Conc_gaz_air_interieur_J_E
 - 3.3. Niveaux_Exposition_Risque
- 4 Simulation settings
- 5 Results

1. Project properties

Project name	v1EQRS_employe
Author	HUB-Environnement
Description	Modele_base : version 2.0.3

CHAMP D'UTILISATION

MODUL'ERS est un outil logiciel pour la réalisation des évaluations de risque prospectives effectuées dans le cadre de l'analyse des effets pour la santé des installations classées et pour la réalisation des Analyses de Risques Résiduels des sites et sols pollués.

Il est donc avant tout orienté vers l'estimation des expositions et des risques chroniques pour une source de contamination locale.

Toutefois, les concentrations dans les milieux et les niveaux d'exposition sont également données en fonction du temps. La représentativité de ces données de sortie dépend de celles des données d'entrée et des hypothèses sur lesquelles reposent les modèles utilisés (calcul dynamique ou à l'état stationnaire, temps nécessaire pour satisfaire une hypothèse d'équilibre,...). Le détail de ces hypothèses est présenté dans le document "Jeux d'équations pour la modélisation des expositions liées à la contamination d'un sol ou aux émissions d'une installation industrielle" (référence INERIS DRC-08-94882-16675B).

MODUL'ERS peut être utilisé pour des substances organiques et inorganiques. Toutefois, dans sa version actuelle, MODUL'ERS ne prend pas en compte le pH des milieux et ne calcule pas la fraction ionisée des substances organiques partiellement ionisables. Pour étudier les substances organiques partiellement ionisables, il peut être nécessaire d'ajuster les paramètres relatifs aux substances en fonction de la répartition entre la forme neutre et la forme ionisée dans le milieu. Pour le mercure, MODUL'ERS donne des valeurs de paramètres pour les formes inorganique et organique, mais n'estime pas la répartition des deux formes dans les différents milieux.

2. Materials/Species

Materials

Name	Enabled
Benzène	Yes
Toluène	Yes
Ethylbenzène	Yes
Xylènes	Yes
HC aliph C6 C8	Yes
HC aliph C8 C10	Yes
HC aliph C10 C12	Yes
HC aliph C12 C16	Yes
HC arom C6 C8	Yes
HC arom C8 C10	Yes
HC arom C10 C12	Yes
HC arom C12 C16	Yes

3. Model description

Interaction Matrix

Constantes Reglages	Constantes Reglages to Conc gaz air interieur J E		1
	Conc gaz air interieur J E	Conc gaz air interieur J E to Niveaux Exposition Risque	2
	Niveaux Exposition Risque to Conc gaz air interieur J E	Niveaux Exposition Risque	3
1	2	3	

3.1. Constantes Reglages

Constantes Reglages		Sub-system
Id	Constantes_Reglages	
Symbol	Constantes Reglages	
Object	Output	Sub-system
organique	organique	Conc gaz air interieur J E
inorganique	inorganique	Conc gaz air interieur J E
type Polluant	type Polluant	Conc gaz air interieur J E

General variable changes

Vector general variables

Full Name	Symbol	Unit
type_Polluant	type Polluant	
Description		
Indiquer s'il s'agit d'un polluant organique ou inorganique		
Materials	Value	Predefined value
Benzène	organique	
Toluène	organique	Constantes_Reglages.non_defini
Ethylbenzène	organique	Constantes_Reglages.non_defini
Xylènes	organique	Constantes_Reglages.non_defini
HC aliph C6_C8	organique	Constantes_Reglages.non_defini
HC aliph C8_C10	organique	Constantes_Reglages.non_defini
HC aliph C10_C12	organique	Constantes_Reglages.non_defini
HC aliph C12_C16	organique	Constantes_Reglages.non_defini
HC arom C6_C8	organique	Constantes_Reglages.non_defini
HC arom C8_C10	organique	Constantes_Reglages.non_defini
HC arom C10_C12	organique	Constantes_Reglages.non_defini
HC arom C12_C16	organique	Constantes_Reglages.non_defini

Parameter changes

Scalar parameters

Full Name	Symbol	Unit			
Durée d'exposition de l'individu	Duree _{expo,individu}	year			
Description					
sert au calcul de la dose d'exposition de l'individu en fonction de son âge (effets cancérigènes).Durée d'exposition de l'individu à ou aux source(s) de contamination du site.					
Value	Predefined	Min value	Max value	PDF	Predefined
42.0	30.0				

Vector parameters

Full Name	Symbol	Unit				
Age minimal de chaque classe d'âge	Age _{min,classes}	year				
Description						
sert au calcul de la dose d'exposition de l'individu en fonction de son âge (effets cancérigènes). Pour chaque classe d'âge à prendre en compte, définir l'âge minimal. Les classes doivent se succéder selon l'âge croissant. Pour les classes non utilisées, laisser la valeur infinie par défaut.						
Classes_d'age	Value	Predefined	Min value	Max value	PDF	Predefined
classe_1	18.0	0.0				

classe_10	Infinity	
classe_2	Infinity	1.0
classe_3	Infinity	3.0
classe_4	Infinity	6.0
classe_5	Infinity	11.0
classe_6	Infinity	15.0
classe_7	Infinity	18.0
classe_8	Infinity	
classe_9	Infinity	

3.2. Conc gaz air interieur J E

Conc gaz air interieur J E		Sub-system
Id	Conc_gaz_air_interieur_J_E	
Symbol	Conc gaz air interieur J E	
Description	Le module est basé sur les équations du modèle de Johnson et Ettinger (Johnson et al., 1991). Il permet le calcul du flux d'émission à partir d'une source sol ou d'une source nappe et l'estimation des concentrations attendues dans l'endroit où a lieu l'émission (sous-sol ou pièces à vivre selon les cas) et dans le lieu de vie, si le bâtiment comporte un sous-sol. La moyenne annuelle de la concentration dans le lieu de vie et les niveaux d'exposition par inhalation sont également calculées. Dans le cas d'un bâtiment sur sous-sol, il est possible de distinguer la fraction de temps passé dans le sous-sol et la fraction de temps passé dans les pièces à vivre. La concentration de la source est définie comme une constante . <u>Ce module est conçu pour un bâtiment construit sur une dalle (dalle d'un bâtiment de plain pied ou dalle d'un sous-sol). Il n'est pas adapté dans le cas d'un bâtiment sur vide sanitaire.</u> Pour le calcul du flux d'émission, <u>l'utilisateur peut définir les caractéristiques de 2 couches de sol différentes entre la source et la surface inférieure de la dalle du bâtiment . Ces couches de sol sont numérotées de la source vers la surface .</u> La partie enterrée du bâtiment est supposée incluse dans une couche de mêmes caractéristiques que la couche 2 (utilisation par le modèle des caractéristiques de cette couche de sol pour estimer les flux convectif et diffusif au niveau de la dalle). Par conséquent, si <u>une seule couche de sol a besoin d'être renseignée entre la source et la surface d'émission (sol homogène), renseigner la couche numérotée 2 et laisser les valeurs par défaut des données d'entrée pour la couche 1 .</u> 1) <u>Dans le cas d'une source nappe</u> , en plus du transfert dans la frange capillaire, il est possible de considérer la diffusion du polluant dans la nappe ("aquifère mal mélangé"). 2) Dans le cas d'une source sol, la concentration attendue dans le bâtiment peut être estimée en utilisant la solution pour une <u>source infinie</u> ou la solution pour une <u>source finie</u> . * <u>La solution en source finie</u> peut être utilisée dans <u>le cas d'un bâtiment avec ou sans sous-sol</u> . Dans le cas d'un sous-sol, <u>celui-ci doit se trouver au-dessus de la source sol</u> (sous-sol non inclus dans la source-sol). Par ailleurs, dans le cas d'une source finie, si la distance entre la source et la dalle est nulle (epaisseur_couche1 et epaisseur_couche2 égales à 0), par défaut cette distance sera considérée comme égale à 1 cm par le modèle. *Dans le cas de la solution pour une <u>source sol considérée comme infinie</u> , si l'utilisateur définit <u>le volume de la source et la concentration dans le sol (Cs_source)</u> , le flux d'émission émis à un instant t peut être limité par un <u>contrôle de la masse de polluant dans le sol</u>. Le contrôle de la masse de polluant porte soit sur le flux d'émission instantané, soit sur la quantité de polluant émise depuis le début de la simulation. - Dans le premier cas (contrôle de la masse de polluant portant sur le flux d'émission instantané), le flux d'émission (appelé J), résultant des transferts par convection et diffusion, est constant jusqu'à l'instant t, où $J \times t \times \text{Surface_batiment} = Q$ (quantité initiale présente dans le sol) puis il est égal à : $Q / \text{Surface_batiment} / t$. Le flux ainsi calculé sert notamment au calcul des niveaux d'exposition des cibles à un instant t (Cinh_fraction_expo_classe_age et Cinh_fraction_expo_individu), ainsi qu'au calcul de la concentration dans le lieu de vie en moyenne annuelle (Cinh_lieu_vie_moy_an) et des niveaux d'exposition par inhalation en moyenne annuelle (Cinh_fraction_expo_classe_age_moy_an) au-delà de la première année de simulation.	

- Dans le second cas (contrôle de masse de polluant sur la quantité de polluant émise depuis le début de la simulation), le flux d'émission (appelé J_{prime}), résultant des transferts par convection et diffusion, est constant jusqu'à l'instant t , où $J \times t \times X_{Surface_batiment} = Q$ (quantité initiale présente dans le sol) puis il est égal à 0. Le flux ainsi calculé sert notamment au calcul du niveau d'exposition par inhalation sur la vie entière ($C_{inh_fraction_expo_vie_entiere}$) et aux niveaux d'exposition en moyenne annuelle lors de la première année de simulation (les variables calculées selon cette approche portent le suffixe $_{prime}$).

Pour une source sol infinie, la concentration dans l'air du sol peut aussi être calculée en tenant compte ou non du mélange de substances présentes dans le sol et en appliquant ou non la loi de Raoult pour cela.

L'apport de polluant dans le bâtiment à partir de l'air extérieur peut également être pris en compte en définissant la concentration dans l'air extérieur ($C_{ag_e_Hb_attrib}$). La concentration de bruit de fond dans l'air intérieur peut être prise en compte. La fraction gazeuse peut être définie par l'utilisateur ($C_{ag_i_BF_E}$) ou calculée à partir de l'équation 1.1.35 et de la concentration de bruit de fond dans l'air incluant les fractions gazeuse et particulaire ($C_{a_i_BF}$).

Object	Input	Sub-system
inorganique	inorganique	Constantes Reglages
ADAF _{inh}	ADAF _{inh}	Niveaux Exposition Risque
type Polluant	type Polluant	Constantes Reglages
organique	organique	Constantes Reglages
Object	Output	Sub-system
C _{inh moy,duree,expo,AD}	C _{inh moy,duree,expo,AD}	Niveaux Exposition Risque
C _{inh classe age moy an}	C _{inh classe,age,moy,an}	Niveaux Exposition Risque

General variable changes

Vector general variables

Full Name	Symbol	Unit
definition_Cinh	definition Cinh	
Description		
Sélectionner l'option à prendre en compte pour définir la concentration de polluant dans le bâtiment (lieu d'entrée du flux dans le bâtiment pièce à vivre dans le cas d'un bâtiment sur dalle ou sous-sol dans les autres cas). Il peut s'agir d'une valeur calculée par le modèle : concentration attribuable au site (valeur_Cag_i_inh_attrib) ou concentration totale (valeur_Cag_i_inh_tot) ou d'une valeur définie par l'utilisateur (valeur_entrée)		
Materials	Value	Predefined value
Benzène	valeur_Cag_i_inh_attrib	Conc_gaz_air_interieur_J_E.valeur_entree
Toluène	valeur_Cag_i_inh_attrib	Conc_gaz_air_interieur_J_E.valeur_entree
Ethylbenzène	valeur_Cag_i_inh_attrib	Conc_gaz_air_interieur_J_E.valeur_entree
Xylènes	valeur_Cag_i_inh_attrib	Conc_gaz_air_interieur_J_E.valeur_entree
HC aliph C6_C8	valeur_Cag_i_inh_attrib	Conc_gaz_air_interieur_J_E.valeur_entree
HC aliph C8_C10	valeur_Cag_i_inh_attrib	Conc_gaz_air_interieur_J_E.valeur_entree
HC aliph C10_C12	valeur_Cag_i_inh_attrib	Conc_gaz_air_interieur_J_E.valeur_entree
HC aliph C12_C16	valeur_Cag_i_inh_attrib	Conc_gaz_air_interieur_J_E.valeur_entree
HC arom C6_C8	valeur_Cag_i_inh_attrib	Conc_gaz_air_interieur_J_E.valeur_entree
HC arom C8_C10	valeur_Cag_i_inh_attrib	Conc_gaz_air_interieur_J_E.valeur_entree
HC arom C10_C12	valeur_Cag_i_inh_attrib	Conc_gaz_air_interieur_J_E.valeur_entree
HC arom C12_C16	valeur_Cag_i_inh_attrib	Conc_gaz_air_interieur_J_E.valeur_entree

Full Name	Symbol	Unit
definition_source	definition source	
Description		
A définir si definition_Cinh est différent de valeur_entrée. Sélectionner le type de modélisation : modèle de Johnson et Ettingher en source finie, utilisable uniquement dans le cas d'une source sol et si la pollution n'est pas à une profondeur inférieure à celle de la dalle du bâtiment (cas des murs au niveau de la source de pollution), ou en source infinie (source-sol ou source-nappe).		
Materials	Value	Predefined value
Benzène	source_infinie	Conc_gaz_air_interieur_J_E.non_defini
Toluène	source_infinie	Conc_gaz_air_interieur_J_E.non_defini
Ethylbenzène	source_infinie	Conc_gaz_air_interieur_J_E.non_defini
Xylènes	source_infinie	Conc_gaz_air_interieur_J_E.non_defini
HC aliph C6_C8	source_infinie	Conc_gaz_air_interieur_J_E.non_defini
HC aliph C8_C10	source_infinie	Conc_gaz_air_interieur_J_E.non_defini
HC aliph C10_C12	source_infinie	Conc_gaz_air_interieur_J_E.non_defini
HC aliph C12_C16	source_infinie	Conc_gaz_air_interieur_J_E.non_defini
HC arom C6_C8	source_infinie	Conc_gaz_air_interieur_J_E.non_defini
HC arom C8_C10	source_infinie	Conc_gaz_air_interieur_J_E.non_defini
HC arom C10_C12	source_infinie	Conc_gaz_air_interieur_J_E.non_defini
HC arom C12_C16	source_infinie	Conc_gaz_air_interieur_J_E.non_defini

Parameter changes

Scalar parameters

Full Name				Symbol	Unit
Hauteur du bâtiment				HBat	m
Description					
A définir si definition_Cinh est différent de valeur_entree					
Value	Predefined	Min value	Max value	PDF	Predefined
2.5	0.0				
Comment					
Vérifié					

Full Name				Symbol	Unit
Largeur_Bat				Largeur Bat	m
Description					
A définir si definition_Cinh est différent de valeur_entree					
Value	Predefined	Min value	Max value	PDF	Predefined
5.0	0.0				

Full Name	Symbol	Unit			
Longueur du bâtiment	Longueur _{Bat}	m			
Description					
A définir si definition_Cinh est différent de valeur_entree					
Value	Predefined	Min value	Max value	PDF	Predefined
5.0	0.0				

Full Name	Symbol	Unit			
Perméabilité intrinsèque de la couche 2	$\kappa_{a,2}$	m ²			
Description					
A définir si definition_Cinh est différent de valeur_entree. Sert au calcul du flux d'air du sol entrant dans le bâtiment (Qsol). Paramètre à renseigner même si la couche polluée vient au contact de la dalle du bâtiment : utiliser alors la perméabilité de la couche polluée					
Value	Predefined	Min value	Max value	PDF	Predefined
7.6E-10	0.0	1.0E-16	1.0E-10		
Comment					
Vérifié. Sols sableux : 10 ⁻¹³ à 10 ⁻¹⁰ ; Sols limoneux : 10 ⁻¹³ à 10 ⁻¹¹ ; Sols argileux : 10 ⁻¹⁶ à 10 ⁻¹²					

Full Name	Symbol	Unit
Porosité de la couche de sol 2	n_2	unitless
Description		
A définir si definition_Cinh est différent de valeur_entree. Paramètre à renseigner même si la couche polluée vient au contact de la dalle du bâtiment : utiliser alors la même porosité que celle de la couche polluée		

Value	Predefined	Min value	Max value	PDF	Predefined
0.375	0.0	0.25	0.5		
Comment					
Vérifié. Sols sableux : 0,25 à 0,4 (0,4 par défaut) ; sols limoneux et argileux : 0,35 à 0,5 (0,45 par défaut)					

Full Name	Symbol	Unit
Porosité de la couche de sol pollué	Porosite _{couche,source}	unitless

Description		
A définir si definition_Cinh est différent de valeur_entree et s'il s'agit d'une source sol (definition Cas_source_sol=valeur_calculée_sol ou definition Cas_source_sol=valeur_entree_sol)		

Value	Predefined	Min value	Max value	PDF	Predefined
0.375	0.0	0.25	0.5		
Comment					
Vérifié. Sols sableux : 0,25 à 0,4 (0,4 par défaut) ; sols limoneux et argileux : 0,35 à 0,5 (0,45 par défaut)					

Full Name	Symbol	Unit
Rayon de fissure	Rayon _{fissure}	m

Description		
A définir si definition_Cinh est différent de valeur_entree		

Value	Predefined	Min value	Max value	PDF	Predefined
0.0050	0.0	5.0E-4	0.0050		

Vector parameters

Full Name				Symbol	Unit	
Coefficient de diffusion dans l'air				Da	m ² s ⁻¹	
Materials	Value	Predefined	Min value	Max value	PDF	Predefined
Benzène	9.669999E-6	9.669999999999999E-6				
Toluène	7.8E-6	NaN				
Ethylbenzène	6.8E-6	NaN				
Xylènes	6.9E-6	NaN				
HC aliph C6_C8	1.0E-5	NaN				
HC aliph C8_C10	1.0E-5	NaN				
HC aliph C10_C12	1.0E-5	NaN				
HC aliph C12_C16	1.0E-5	NaN				
HC arom C6_C8	1.0E-5	NaN				
HC arom C8_C10	1.0E-5	NaN				
HC arom C10_C12	1.0E-5	NaN				
HC arom C12_C16	1.0E-5	NaN				
Materials	Comment					
Benzène	Valeur à 25°C. Valeur ajustée à 12,5°C : 9,1E-6					

Toluène

Ethylbenzène

Xylènes

HC aliph C6_C8

HC aliph C8_C10

HC aliph C10_C12

HC aliph C12_C16

HC arom C6_C8

HC arom C8_C10

HC arom C10_C12

HC arom C12_C16

Full Name				Symbol	Unit	
Coefficient de diffusion dans l'eau				De	m ² s ⁻¹	
Materials	Value	Predefined	Min value	Max value	PDF	Predefined
Benzène	1.03E-9					
Toluène	9.2E-10	NaN				
Ethylbenzène	8.5E-10	NaN				
Xylènes	8.5E-10	NaN				
HC aliph C6_C8	1.0E-9	NaN				
HC aliph C8_C10	1.0E-9	NaN				
HC aliph C10_C12	1.0E-9	NaN				
HC aliph C12_C16	1.0E-9	NaN				
HC arom C6_C8	1.0E-9	NaN				
HC arom C8_C10	1.0E-9	NaN				
HC arom C10_C12	1.0E-9	NaN				
HC arom C12_C16	1.0E-9	NaN				
Materials	Comment					
Benzène	Valeur à 25°C. Valeur ajustée à 12,5°C : 7,2E-10					
Toluène						
Ethylbenzène						
Xylènes						
HC aliph C6_C8						
HC aliph C8_C10						
HC aliph C10_C12						
HC aliph C12_C16						
HC arom C6_C8						
HC arom C8_C10						
HC arom C10_C12						
HC arom C12_C16						

Full Name	Symbol	Unit
Concentration dans l'air du sol à la surface de la nappe ou au niveau de la source sol	Cas _{source,E}	mg m ³

(hors bruit de fond)

Description						
A définir si definition_Cinh est différent de valeur_entree et si definition_Cas_source==valeur_entree_sol ou valeur_entree_nappe						
Materials	Value	Predefined	Min value	Max value	PDF	Predefined
Benzène	0.0139	NaN				
Toluène	0.403	NaN				
Ethylbenzène	0.364	NaN				
Xylènes	4.23	NaN				
HC aliph C6_C8	5.49	NaN				
HC aliph C8_C10	92.5	NaN				
HC aliph C10_C12	44.3	NaN				
HC aliph C12_C16	9.26	NaN				
HC arom C6_C8	0.417	NaN				
HC arom C8_C10	26.4	NaN				
HC arom C10_C12	9.26	NaN				
HC arom C12_C16	3.37	NaN				

Full Name	Symbol	Unit
Constante de Henry à température du sol	H_{Ts}	$\text{Pa m}^3 \text{mol}^{-1}$

Description						
A définir si definition_Cinh est différent de valeur_entree. Mettre à 0 pour les substances inorganiques (hors mercure)						
Materials	Value	Predefined	Min value	Max value	PDF	Predefined
Benzène	567.0	560.0	481.0	640.0		
Toluène	668.7	-1.0				
Ethylbenzène	800.5	-1.0				
Xylènes	660.0	-1.0				
HC aliph C6_C8	120000.0	-1.0				
HC aliph C8_C10	200000.0	-1.0				
HC aliph C10_C12	300000.0	-1.0				
HC aliph C12_C16	520.0	-1.0				
HC arom C6_C8	0.27	-1.0				
HC arom C8_C10	0.48	-1.0				
HC arom C10_C12	350.0	-1.0				
HC arom C12_C16	530.0	-1.0				
Materials	Comment					
Benzène	Valeurs à 25°C - Valeur ponctuelle ajustée à 12,5°C : 330					
Toluène						
Ethylbenzène						
Xylènes						
HC aliph C6_C8						
HC aliph C8_C10						

HC aliph C10_C12

HC aliph C12_C16

HC arom C6_C8

HC arom C8_C10

HC arom C10_C12

HC arom C12_C16

Full Name	Symbol	Unit
Epaisseur de la couche 2 de la ZNS	I2	m

Description

Epaisseur de la couche 2 de la ZNS (située entre la couche 1 et la dalle du bâtiment. Dans le cas d'une source nappe, la hauteur de la frange capillaire n'est pas incluse dans l'épaisseur de la couche 2. A définir si definition_Cinh est différent de valeur_entree

Materials	Value	Predefined	Min value	Max value	PDF	Predefined
Benzène	0.8	0.0				
Toluène	0.8	0.0				
Ethylbenzène	0.8	0.0				
Xylènes	0.8	0.0				
HC aliph C6_C8	0.8	0.0				
HC aliph C8_C10	0.8	0.0				
HC aliph C10_C12	0.8	0.0				
HC aliph C12_C16	0.8	0.0				
HC arom C6_C8	0.8	0.0				
HC arom C8_C10	0.8	0.0				
HC arom C10_C12	0.8	0.0				
HC arom C12_C16	0.8	0.0				

Full Name	Symbol	Unit
Fraction annuelle de temps passé à l'intérieur (lieu de vie + sous-sol) sur le site	f	unitless
	annuelle,temps,int	

Description

A définir pour le calcul du niveau d'exposition par inhalation

Classes_d'age	Value	Predefined	Min value	Max value	PDF	Predefined
classe_1	0.183	0.726				
classe_10	0.0					
classe_2	0.0	0.726				
classe_3	0.0	0.63				
classe_4	0.0	0.63				
classe_5	0.0	0.643				
classe_6	0.0	0.606				
classe_7	0.0	0.686				
classe_8	0.0					
classe_9	0.0					
Classes_d'age	Comment					

classe_1	Vérifié. temps passé au domicile, à l'intérieur
classe_10	
classe_2	Vérifié. temps passé au domicile, à l'intérieur
classe_3	Vérifié. temps passé au domicile, à l'intérieur
classe_4	Vérifié. temps passé au domicile, à l'intérieur
classe_5	Vérifié. temps passé au domicile, à l'intérieur
classe_6	Vérifié. temps passé au domicile, à l'intérieur
classe_7	Vérifié. temps passé au domicile, à l'intérieur
classe_8	
classe_9	

Lookup table changes

Scalar lookup tables

Full Name	Symbol	Unit
Teneur en eau de la couche de sol 2	$\Theta_{couche2}$	unitless
Description		
A définir si definition_Cinh est différent de valeur_entree. Paramètre à renseigner même si la couche polluée vient au contact de la dalle du bâtiment : utiliser alors la même teneur en eau que celle de la couche polluée		
Cyclic option		
No		
Interpolation		
Interpolation-Use End Values		
Time	Values	
Predefined	0.0:0.0	
0.0	0.053	

3.3. Niveaux Exposition Risque

Niveaux Exposition Risque		Sub-system
Id	Niveaux_Exposition_Risque	
Symbol	Niveaux Exposition Risque	
Description	Ce module permet de calculer, d'une part les niveaux d'exposition chroniques (en moyenne annuelle) pour les différentes classes d'âge définies par l'utilisateur et pour le profil d'individu (défini par l'âge en début d'exposition et la date au début de l'exposition : cf. module Constantes_Reglages), et d'autre part les niveaux de risques chroniques pour des effets cancérogènes et non cancérogènes. Les niveaux de risques sont définis par substance individuelle et pour toutes les substances et peuvent aussi être définis par organe cible, en précisant les organes cibles de chaque substance par voies orale et respiratoire. La classe d'âge ayant les niveaux de risque non cancérogènes les plus élevés est mise en évidence (Max_Age_QD_). Pour la voie orale, l'utilisateur peut définir en données d'entrée les doses d'exposition en fonction du temps pour les différentes classes d'âge (dose_..._classe_age) et pour le profil d'individu définis (dose_..._individu) ou bien connecter ces données à partir des modules adhoc (modules "Sol", "Vegetaux", "Animaux_aquatiques"...). Pour l'inhalation, les concentrations inhalées en moyenne annuelle, pondérées par la fréquence d'exposition pour les différentes classes d'âge (Cinh_fraction_expo_classe_age_moy_an) seront définies par l'utilisateur ou connectées aux données des modules adhoc pour le calcul des risques non cancérogènes. Pour le calcul du risque cancérogène par inhalation, la concentration inhalée moyennée sur la durée d'exposition et pondérée par les facteurs d'ajustement dépendant de l'âge (ADAF) (Cinh_moy_duree_expo_AD) sera définie ou connectée aux données des modules adhoc. Attention : Les VTR (Valeurs de Référence Toxicologiques), les ADAF et les organes cibles de chaque substance ne sont pas renseignés par défaut.	
Object	Input	Sub-system
Cinh_classe,age,moy,an	Cinh classe age moy an	Conc gaz air interieur J E
Cinh_moy,duree,expo,AD	Cinh moy,duree,expo,AD	Conc gaz air interieur J E
Object	Output	Sub-system
ADAF_inh	ADAF_inh	Conc gaz air interieur J E

Parameter changes

Vector parameters

Full Name					Symbol	Unit
VTR à seuil par voie respiratoire					VTR _{seuil,inh}	mg m ⁻³
Description						
VTR à seuil par voie respiratoire						
Materials	Value	Predefined	Min value	Max value	PDF	Predefined
Benzène	0.01	NaN				
Toluène	19.0	NaN				
Ethylbenzène	1.5	NaN				
Xylènes	0.22	NaN				
HC aliph C6_C8	18.4	NaN				

HC aliph C8_C10	1.0	NaN
HC aliph C10_C12	1.0	NaN
HC aliph C12_C16	1.0	NaN
HC arom C6_C8	0.4	NaN
HC arom C8_C10	0.2	NaN
HC arom C10_C12	0.2	NaN
HC arom C12_C16	0.2	NaN

Full Name		Symbol	Unit			
VTRinh,ss		VTRinh,ss	mg ⁻¹ m ³			
Description						
VTR sans seuil par voie respiratoire						
Materials	Value	Predefined	Min value	Max value	PDF	Predefined
Benzène	0.026	NaN				
Toluène	NaN					
Ethylbenzène	0.0025	NaN				
Xylènes	NaN					
HC aliph C6_C8	NaN					
HC aliph C8_C10	NaN					
HC aliph C10_C12	NaN					
HC aliph C12_C16	NaN					
HC arom C6_C8	NaN					
HC arom C8_C10	NaN					
HC arom C10_C12	NaN					
HC arom C12_C16	NaN					

4. Simulation settings

Simulation type	Deterministic
Start time	0.0 Years
End time	70.0 Years
Output option	Produce specified output only
Time series	Linear Increment(start,end,1.0)
Solver	NDF
Absolute tolerance	Auto
Relative tolerance	0.0010
Initial step size	1.0E-5
Maximum step size	0.5
Minimum step size	Auto
Refine output	1
Limit number of data points to last	1000
Control error relative to norm of solution	No
Allowed number of step size violations	1
Enable saturation	Yes
Maximum order	5
LU decomposition matrix format	Dense

5. Results

Tables

ERI

Time (year)	Niveaux Exposition Risque.ERI tot [Benzène]
0,00E0	0,00E0
7,00E1	1,36E-7

Time (year)	Niveaux Exposition Risque.ERI tot [Ethylbenzène]
0,00E0	0,00E0
7,00E1	2,42E-7

Time (year)	Niveaux Exposition Risque.ERI tot [HC aliph C10 C12]
0,00E0	0,00E0
7,00E1	0,00E0

Time (year)	Niveaux Exposition Risque.ERI tot [HC aliph C12 C16]
0,00E0	0,00E0
7,00E1	0,00E0

Time (year)	Niveaux Exposition Risque.ERI tot [HC aliph C6 C8]
0,00E0	0,00E0
7,00E1	0,00E0

Time (year)	Niveaux Exposition Risque.ERI tot [HC aliph C8 C10]
0,00E0	0,00E0
7,00E1	0,00E0

Time (year)	Niveaux Exposition Risque.ERI tot [HC arom C10 C12]
0,00E0	0,00E0
7,00E1	0,00E0

Time (year)	Niveaux Exposition Risque.ERI tot [HC arom C12 C16]
0,00E0	0,00E0
7,00E1	0,00E0

Time (year)	Niveaux Exposition Risque.ERI tot [HC arom C6 C8]
0,00E0	0,00E0
7,00E1	0,00E0

Time (year)	Niveaux Exposition Risque.ERI tot [HC arom C8 C10]
0,00E0	0,00E0
7,00E1	0,00E0

Time (year)	Niveaux Exposition Risque.ERI tot [Toluène]
0,00E0	0,00E0
7,00E1	0,00E0

Time (year)	Niveaux Exposition Risque.ERI tot [Xylènes]
0,00E0	0,00E0
7,00E1	0,00E0

Time (year)	Niveaux Exposition Risque.Somme ERI tot
0,00E0	0,00E0
7,00E1	3,78E-7

QD

Time (year)	Niveaux Exposition Risque.QD tot [Benzène] [classe 1]
0,00E0	0,00E0
7,00E1	8,73E-4

Time (year)	Niveaux Exposition Risque.QD tot [Ethylbenzène] [classe 1]
0,00E0	0,00E0
7,00E1	1,07E-4

Time (year)	Niveaux Exposition Risque.QD tot [HC aliph C10 C12] [classe 1]
0,00E0	0,00E0
7,00E1	2,88E-2

Time (year)	Niveaux Exposition Risque.QD tot [HC aliph C12 C16] [classe 1]
0,00E0	0,00E0
7,00E1	6,01E-3

Time (year)	Niveaux Exposition Risque.QD tot [HC aliph C6 C8] [classe 1]
0,00E0	0,00E0
7,00E1	1,94E-4

Time (year)	Niveaux Exposition Risque.QD tot [HC aliph C8 C10] [classe 1]
0,00E0	0,00E0
7,00E1	6,01E-2

Time (year)	Niveaux Exposition Risque.QD tot [HC arom C10 C12] [classe 1]
0,00E0	0,00E0
7,00E1	3,01E-2

Time (year)	Niveaux Exposition Risque.QD tot [HC arom C12 C16] [classe 1]
0,00E0	0,00E0
7,00E1	1,09E-2

Time (year)	Niveaux Exposition Risque.QD tot [HC arom C6 C8] [classe 1]
0,00E0	0,00E0
7,00E1	6,78E-4

Time (year)	Niveaux Exposition Risque.QD tot [Toluène] [classe 1]
0,00E0	0,00E0
7,00E1	1,08E-5

Time (year)	Niveaux Exposition Risque.QD tot [Xylènes] [classe 1]
0,00E0	0,00E0
7,00E1	8,64E-3

Time (year)	Niveaux Exposition Risque.Somme QD tot [classe 1]
0,00E0	0,00E0
7,00E1	2,32E-1

Copyright (C) INERIS 2013-2014 All Rights Reserved

Annexe 8 : Evaluation des incertitudes

Incertitudes liées aux concentrations

Les concentrations prises en compte dans les calculs présentés précédemment sont les concentrations maximales mises en évidence sur le site. Ces concentrations et toutes les étapes précédant les analyses présentent plusieurs points d'incertitudes (liste non exhaustive) :

- La précision des résultats d'analyses au laboratoire, liés à un grand nombre de facteurs physiques et chimiques, qui peut donc sous-estimer ou surestimer la concentration réelle.
- Les délais entre le prélèvement et l'analyse, qui contribue potentiellement à la dégradation partielle des composés les moins stables.
- Les pertes liées à la méthode de prélèvement, qui peut participer à la volatilisation de certains composés.
- La représentativité des forages, chaque sondage donnant une image d'un point précis dont la représentativité dépend du nombre de sondages avoisinant.

Tous ces paramètres contribuent donc à des incertitudes sur les concentrations prises en compte, avec potentiellement des concentrations plus importantes qui n'ont pas été mises en évidence.

Le niveau de risques étant directement proportionnel à la concentration, l'augmentation ou la diminution des concentrations utilisées dans les calculs peut entraîner des résultats significativement différents. Une augmentation de 100% de la concentration d'un composé va donc entraîner une augmentation de 100 % des QD et ERI associés.

Autres sources d'incertitudes

Un certain nombre d'autres facteurs peuvent engendrer des incertitudes sur les résultats des calculs. Les principaux facteurs d'incertitudes mis en évidence sur cette étude sont listés ci-dessous.

- **Influence de la lithologie**

Les calculs réalisés au cours de cette étude ont été faits en considérant que le sol était un ensemble uniforme et homogène dont les caractéristiques dynamiques (porosité, teneur en eau et en air...) étaient des valeurs moyennes pondérées des caractéristiques d'un sol limon sableux et d'un sol argilo-sableux. La lithologie observée ayant mis en évidence une interface entre ces deux faciès lithologiques, il y aura des différences dans l'importance des sources sols (présentes dans les limons sableux) et l'influence de la nappe (dans les argiles sableuses) par rapport aux calculs réalisés ici.

De manière qualitative, on peut déterminer que les sources sols présenteront un risque plus important et la nappe un risque moins important que ceux calculés.

Il est également à noter que les calculs de risques avec le modèle Johnson & Ettinger considère que le sol est constitué de niveaux horizontaux continus et homogènes. Les sols du site n'étant très probablement pas dans cette configuration, de nombreuses différences entre les calculs et la réalité peuvent apparaître dus à l'hétérogénéité des sols (texture, profil...)

- **Influence des temps d'exposition**

Les calculs de risques par inhalation ont été réalisés en considérant des durées d'exposition en intérieur « standards » et régulièrement utilisées, qui sont les valeurs utilisées par l'INERIS dans leur module de calcul MO-DUL'ERS.

- **Incertitudes liées aux modèles et à la méthodologie des prélèvements et des calculs**

Les calculs de risques sanitaires font l'objet de nombreuses incertitudes dues aux outils de modélisation et au choix arbitraire de certains paramètres. Les incertitudes sont donc présentes tout au long du processus de calcul du risque et peuvent parfois être significatives. Certains exemples sont présentés ci-dessous :

- **Le taux de fissuration de la dalle et le taux de ventilation de la pièce** : le taux de fissuration a été pris égal à la valeur par défaut du modèle Johnson and Ettinger. Par principe de précaution, le taux de ventilation dans l'atelier a été choisi égal au minimum réglementaire recommandé par le code du travail pour les locaux à pollution non spécifique. Ces deux paramètres ont une grande importance dans le modèle Johnson & Ettinger et les valeurs par défaut peuvent ne pas représenter la réalité des caractéristiques du bâtiment.
- **Toutes les cibles n'ont pas été prises en compte**, seules les plus vulnérables interviennent dans le calcul. **Les fréquences d'exposition sont issues d'études statistiques** ; elles varient énormément selon les cas de figure.

Il convient de rappeler que les paramètres retenus pour l'EQRS ont tendance à surestimer les risques afin de répondre au principe de prudence scientifique qui régit l'évaluation quantitative des risques sanitaires.

- **La sélection des substances à traiter pour l'EQRS est également une source d'incertitude**. Ici les substances choisies sont les seules constituant un risque d'inhalation et dont les teneurs sont supérieures aux normes. Cependant les autres substances existent même en proportion moindre ; leur influence sur les risques encourus ne sera pourtant pas étudiée.
- **La quantification des concentrations des substances dans le sol par le laboratoire est soumise à des limites de précision**.
- Les délais entre le prélèvement et l'analyse, qui contribue potentiellement à la dégradation partielle des composés les moins stables.
- Les pertes liées à la méthode de prélèvement, qui peut participer à la volatilisation de certains composés.
- La représentativité des forages, chaque sondage donnant une image d'un point précis dont la représentativité dépend du nombre de sondages avoisinants. Des concentrations plus importantes que celles mises en évidence sont donc susceptibles d'être présentes sur le site à proximité des sondages réalisés.
- Les données toxicologiques retenues pour l'étude proviennent de l'US EPA, de l'OEHHA, de RIVM et de l'INERIS. Ce sont des valeurs reconnues dans les procédures de calculs de risques sanitaires, cependant une incertitude non quantifiable réside dans ces valeurs.
- Le calcul de risque se fait sur un scénario très précis, et ne peut pas prendre en compte les situations extérieures. Le calcul ne tient pas rigueur des expositions éventuelles à la même substance ou à d'autres substances auxquelles l'individu est confronté en dehors des scénarii établis et qui pourraient interférer et modifier considérablement l'évaluation des risques.