



HUB ENVIRONNEMENT – GESTION DES SITES ET SOLS POLLUÉS

24 Avenue Joannès Masset – 69009 LYON
Centre d'activité Gorges de Loup – Bâtiment 3 - Tel. 09 52 81 14 74
www.hub-environnement.fr – contact@hub-environnement.fr

Plan d'orientation des déblais & ARRp

**Quai de la Gironde
76600 Le Havre**

TRANSPORT OLIVIER LELOUP

N° & version	Date	Rédacteur	Chef de projet	Superviseur
20260220 RF	20 février 2026	J. BAUGÉ	N. JOULIA	N. GARNIER-PINEL



Sommaire

Sommaire	2
Liste des Figures	3
Liste des Tableaux	3
Glossaire	4
1. Contexte général de la mission	5
2. Contexte réglementaire et normatif	6
3. Localisation du site de l'étude	6
4. Projet d'aménagement	7
5. Résumé du site	8
5.1. Résumé des contextes historique et environnemental	8
5.2. Synthèse des investigations précédentes	9
6. Intervention de HUB-Environnement (janvier 2026)	12
6.1. Méthodologie d'investigations des eaux du robinet	12
6.2. Programme des investigations	12
7. Interprétation des résultats d'analyses des eaux du robinet	13
8. Analyse des risques résiduels prédictive (ARRp)	15
8.1. Méthodologie de l'ARRp	15
8.2. Evaluation de l'exposition	15
8.3. Evaluation de la relation dose-réponse	19
8.4. Choix des modèles	21
8.5. Principe de calcul	21
8.6. Résultats des calculs	22
9. Orientation des déblais	23
9.1. Classification des déblais	23
9.2. Total des terres à évacuer	25
10. Mesure de gestion des déblais	26
10.1. Gestion des risques sanitaires en phase chantier	26
10.2. Suivi, contrôle et réception par la maîtrise d'œuvre	26
11. Estimation des coûts de gestion des déblais	27
12. Conclusions & recommandations	28
12.1. Conclusions	28
12.2. Recommandations	29
ANNEXES	32
ANNEXE 1 : Fiche de prélèvement des eaux du robinet	33
ANNEXE 2 : Résultats d'analyses laboratoire	35
ANNEXE 3 : Méthodologie EQRS	39
ANNEXE 4 : Présentation du logiciel Modul'ERS	45
ANNEXE 5 : Données des calculs	47
ANNEXE 6 : Evaluation des incertitudes	66

Liste des Figures

Figure 1 : Localisation de la zone d'étude sur fond de carte IGN (géoportail.gouv.fr)	6
Figure 2 : Photographie aérienne du site (délimitation rouge, géoportail.gouv.fr)	7
Figure 3 : Plan de la zone d'étude sur fond de carte cadastrale (délimitation rouge, géoportail.gouv.fr)	7
Figure 4 : Carte de synthèse des investigations précédentes	11
Figure 6 : Schéma conceptuel d'exposition après travaux	18
Figure 7 : Carte d'orientation des déblais couche 0-1 m/TN.....	23
Figure 8 : Implantation de la zone tampon de sécurité de 1,5 m	24
Figure 9 : Emprise des zones tampons de sécurité et de talutage de la maille ISDND	25

Liste des Tableaux

Tableau 1 : Synthèse des investigations précédentes.....	9
Tableau 2 : Programme des investigations du 23 janvier 2026	12
Tableau 3 : Résultats d'analyses laboratoire dans les eaux du robinet	13
Tableau 4 : Caractérisation des voies d'exposition potentielles	16
Tableau 5 : Paramètres d'exposition retenus pour l'étude	17
Tableau 6 : Sélection et calcul des concentrations des substances retenues pour l'inhalation	17
Tableau 7 : Données toxicologiques.....	19
Tableau 8 : VTR Inhalation retenues	20
Tableau 9 : Résultats des calculs de risques inhalation	22
Tableau 10 : Classification des déblais	25
Tableau 11 : Répartition des terres par orientation en filière extérieure – couche 0-1 m/TN.....	26
Tableau 12 : Estimation des coûts de gestion des déblais	27

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 : Photolonization Detector (détecteur à photoionisation)
PEHD : PolyEthylène Haute Densité
PG : Plan de Gestion
QD : Quotient de Danger
RIVM : Agence sanitaire hollandaise: Rijksinstituut voor Volksgezondheid 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 Organo-Halogénés 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 volatiles 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)
PCE : Tétrachloroéthylène – composé de la famille des COHV
TCE : Trichloroéthylène – composé de la famille des COHV

1. Contexte général de la mission

- **Objectif et résumé de la demande :** Dans le cadre de la mise en conformité du site pour le départ d'une société locatrice (continuité d'activité – usage industriel), HUB-Environnement a été mandaté pour réaliser un plan d'orientation des déblais suites aux investigations réalisées ainsi qu'un diagnostic de la qualité de l'eau de robinet pour qualifier le risque de perméation des réseaux.
- **Donneur d'ordre :**

TRANSPORTS OLIVIER LELOUP
5602 Voie des Barges Rousses – Parc des Alizés 1
76430 Sandouville
- **Localisation étude :** 3675 Quai de la Gironde, 76600 Le Havre – 15 200 m² (environ).
- **Documents à disposition :**
 - 20191212_RF_LELOUP_LE HAVRE (76) ;
 - Rapport de HUB-Environnement de décembre 2019 ;
 - Rapport de HUB-Environnement de juin 2025 ;
- **Usages du site :**
 - Activité ancienne : Port du Havre – usage industriel ;
 - Activité actuelle : Activité de transport de matières dangereuses ;
 - Activité future : Continuité d'usage industriel.
- **Risques identifiés :**
 - 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 (Pb) supérieur au seuil d'acceptation de l'Annexe I pour Pz1 (34 µg/L > 10 µg/L).
 - Les investigations réalisées en 2025 ont mis en évidence :
 - Une concentration en HCT de 3100 mg/kg au droit de l'ateliers ;
 - Une concentration en COV de 397 ppmV au Nord-Ouest du site.
- **Prestations réalisées :**

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

 - A250 : Prélèvements, mesures, observation et/ou analyses sur les denrées alimentaires – ici eau de robinet ;
 - A270 : Interprétation des résultats et investigations ;
 - A320 : Analyse des enjeux sanitaires (démarche d'évaluation des risques sanitaires) – ARRp ;
 - A330 : Identification des différentes options de gestion possibles et réalisation d'un bilan coûts/avantages.
- **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, carte 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 AFNOR NF X50-110 de mai 2003 sur les « prescriptions générales de compétence pour une expertise » ;
- Les préconisations imposées par l'arrêté préfectoral 2021-45 du 24 février 2021 ;

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 (géoportail.gouv.fr)

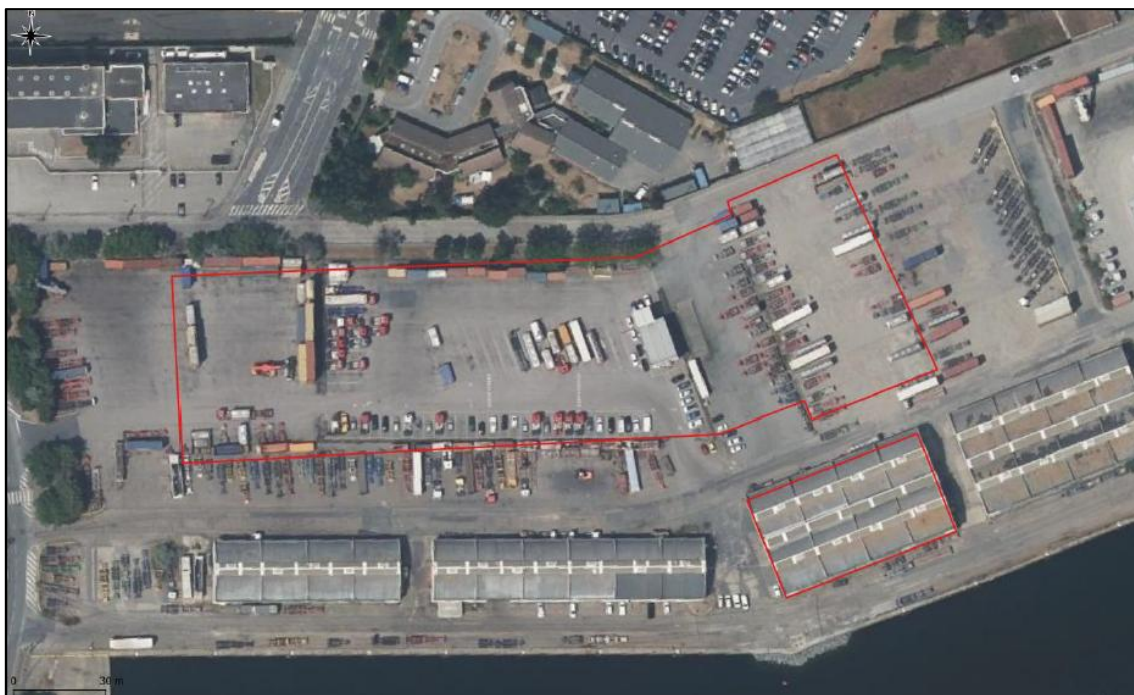


Figure 2 : Photographie aérienne du site (délimitation rouge, géoportail.gouv.fr)

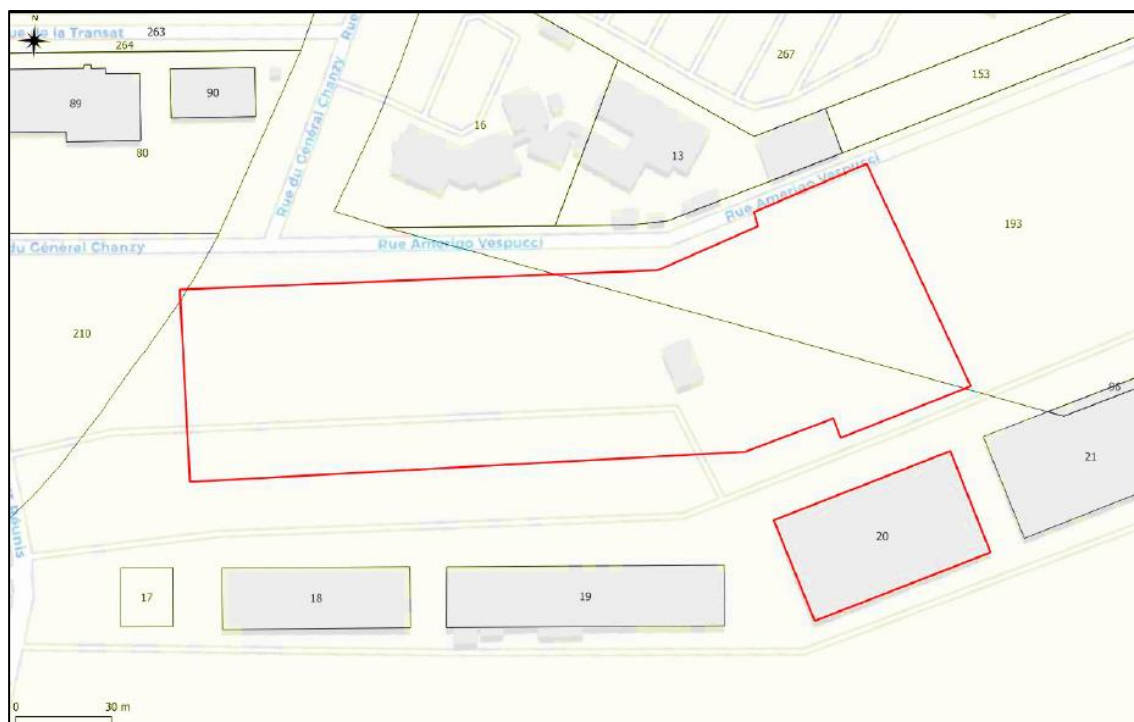


Figure 3 : Plan de la zone d'étude sur fond de carte cadastrale (délimitation rouge, géoportail.gouv.fr)

4. Projet d'aménagement

L'usage futur du site est une continuité d'activité sans projet d'aménagement.

5. Résumé du site

5.1. 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.

5.1.1. 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 suppressions 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.

5.1.2. 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.

D'après les investigations de HUB-Environnement, les sols sont composés de :

- 0-1 m : remblais sablo-limoneux
- 1-3 : sablo-limoneux

- **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 ».

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.

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.

- **Contexte hydrologique :**

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

→ ***Vu l'histoire 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.***

- 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.

5.2. Synthèse des investigations précédentes

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

Tableau 1 : Synthèse des investigations précédentes

Etudes réalisées	Observations et/ou principales anomalies identifiées
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 portable, et de 5 sondages sol au carottier portable (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)	<u>Contexte</u> : Diagnostic environnemental des sols afin de déterminer les extensions latérales et verticales des zones sources mises en évidence. <u>Investigations</u> : Réalisation d'une campagne de 8 mesures de COV dans les gaz du sol au PID portable, de 4 sondages sol au carottier portable et de 2 piézomètres. <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 ; - 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. <u>Résultats dans les sols</u> : - 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. <u>Résultats dans les eaux souterraines</u> : - Dépassement du seuil d'acceptation de l'annexe I en nickel sur l'ensemble des piézomètres (jusqu'à 1 400 µg/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.
Diagnostic de la qualité environnementale des sols et des gaz du sol & EQRS – HUB-Environnement (juin 2025)	<u>Contexte</u> : Etat des lieux avant le départ de la société locatrice. <u>Investigations</u> : Réalisation d'une campagne de 20 mesures de COV dans les gaz du sol au PID portable, de 7 sondages sol au carottier portable et d'un prélèvement des gaz du sol. Résultats 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 : BTEX : 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) ; Hydrocarbures volatils : hydrocarbure aromatique jusqu'à 39 664,2 µg/m³, (principalement sous la C₈-C₁₀ & C₁₀-C₁₂), hydrocarbure aliphatique jusqu'à 152 046 µg/m³ (principalement sous la C₈-C₁₀ & C₁₀-C₁₂). <u>Résultats dans les sols</u> : - 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. <u>EQRS</u> : Les risques par inhalation de composés organiques volatils en intérieur sont acceptables pour les futurs usagers (employés adultes).
Diagnostic de la qualité des sols & gaz du sol – HUB-Environnement (Octobre 2025)	<u>Contexte</u> : Diagnostic environnemental des sols et des gaz du sol pour dimensionner les zones sources mises en évidence. <u>Investigations</u> : Réalisation de 4 piézaires et de 9 sondages sol au carottier sur chenille. <u>Résultats dans les sols (sur brut)</u> : - Anomalie modérée ponctuelle en Plomb au droit de Sc201 sur la couche 0-1 m /TN (= 64 mg/kg MS) ; - Anomalies modérées en Cuivre au droit de Sc205 sur la couche 0-2 m /TN (jusqu'à 29 mg/kg MS). - Les investigations mettent en évidence un impact ponctuel en HCT (> 2 000 mg/kg MS, Sc107) au niveau du bâtiment – couche 0-1 m (/TN). - Une concentration ponctuelle supérieur au seuil BRGM est constatée en extérieur au niveau de Sc201 (93,2 mg/kg MS) – couche 0-1 m (/TN). - Une concentration ponctuelle supérieur au seuil BRGM est constatée en intérieur au niveau de Sc205 (140 mg/kg MS) – couche 1-2 m (/TN).

	<u>Résultats dans les sols (sur lixiviat) :</u> - Dépassement du seuil ISDI en Sulfates au droit de Sc202 & Sc205 – couche 0-1 m /TN ; - Dépassement du seuil ISDI en Fractions Solubles au droit de Sc205 – couche 0-1 m /TN ; - Aucun dépassement de seuil ISDI sur les autres échantillons analysés. <u>Résultats dans les gaz du sol :</u> - Les concentrations en hydrocarbures légers C₅-C₁₆ (respectivement 39,6 mg/m³ pour les aromatiques & 152 mg/m³ pour les aliphatiques) et BTEX (jusqu'à 5,0 mg/m³) les plus élevées sont constatées dans la zone COV Sud-Ouest ayant également les concentrations les plus élevées (Gd1 : 396,7 ppmV) ; - Les résultats des piézaires au niveau de l'autres COV (> 50 ppmV) sont dans l'ensemble proches (Pa1, GZ2, GZ3 & GZ4). Le résultat de Pa1 nuance cependant les résultats avec des concentrations plus élevées. - Au niveau de la zone extérieure, des concentrations en hydrocarbures légers C₅-C₁₆ (respectivement 164,22 µg/m³ pour les aromatiques) et BTEX (jusqu'à 164,22 µg/m³).
--	--

Une carte de synthèse des investigations est présentée ci-dessous.

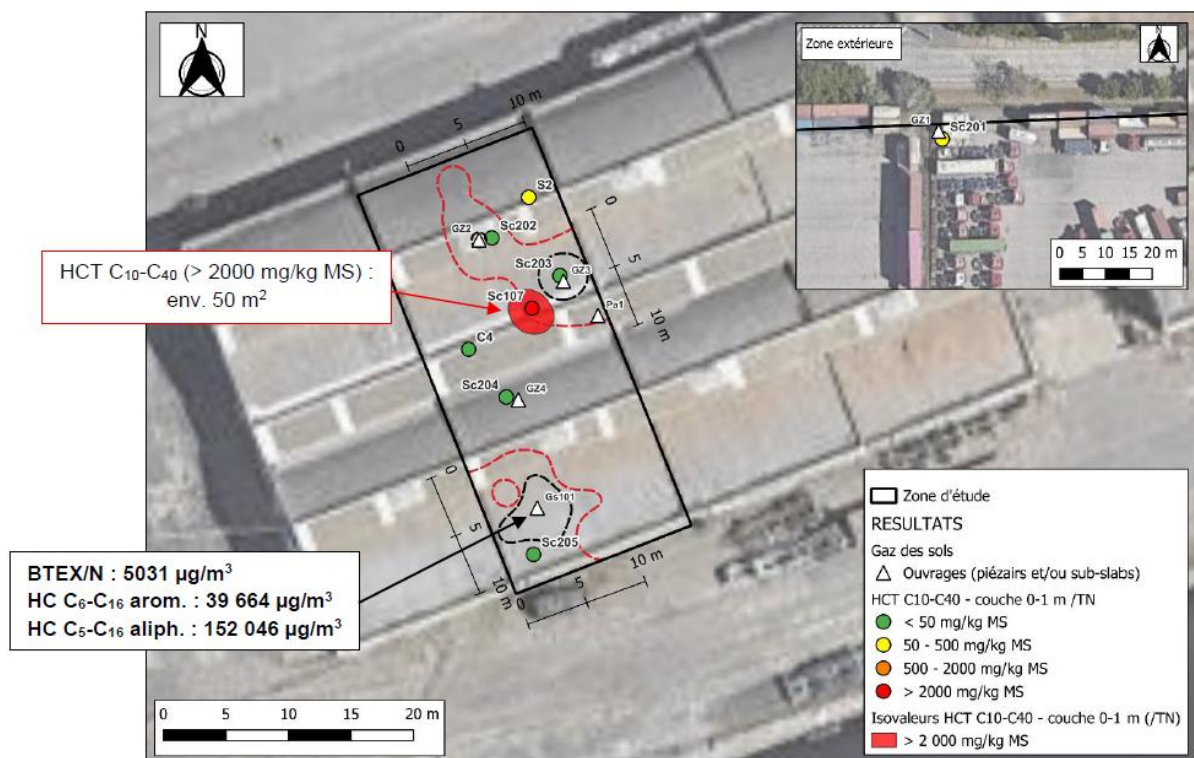


Figure 4 : Carte de synthèse des investigations précédentes

→ **Les investigations précédentes ont mis en évidence :**

- La présence de zones COV concentrées (> 50 ppmV) au droit du bâtiments – une zone au Nord et une au Sud-Ouest ;
- La zone Nord est en partie corrélée par des dépassements de seuils ISDI en HCT C10-C40 (jusqu'à 3100 mg/kg MS, Sc107), tandis que la zone Sud-Ouest est corrélée avec la présence la plus élevée mesurée de gaz des sols (hydrocarbures légers & BTEX, Gs101).

6. Intervention de HUB-Environnement (janvier 2026)

6.1. Méthodologie d'investigations des eaux du robinet

L'eau de robinet a été prélevée dans le lave-mains de l'atelier mécanique. L'échantillonnage a été réalisé selon la méthodologie suivante :

1. Choix du robinet : Les eaux du robinet ont été prélevées dans le lave-mains de l'atelier mécanique. Un robinet défectueux (fuite à la poignée...) n'est pas prélevé.
2. Purge du réseau : Tout accessoire susceptible de provoquer des éclaboussures ou d'influencer sur la qualité des eaux prélevées devra être retiré. Le robinet sera ouvert jusqu'à ce que l'eau atteigne une température constante (approximation : débit maximum pendant 5 à 10 secondes, puis débit moyen pendant 1 minute).
3. Prélèvement des eaux : Les eaux du robinet seront prélevées directement dans le flaconnage fourni par le laboratoire, puis dans un récipient inerte pour les mesures de paramètres physico-chimiques (T°, pH, Eh, Ce). En parallèle, des mesures sont réalisées dans l'air de la pièce de concentrations en COV à l'aide d'un PID portatif avant, pendant et après le prélèvement.
4. Conditionnement et envoi : Les échantillons prélevés seront conditionnés en glacière réfrigérée à 4°C fournie par le laboratoire et expédié dans les 24 h au laboratoire.

La fiche de prélèvement des eaux du robinet est disponible en **Annexe 1**.

6.2. Programme des investigations

Le programme des investigations réalisées par HUB-Environnement 23 janvier 2026 est résumé dans le tableau suivant.

Tableau 2 : Programme des investigations du 23 janvier 2026

Ouvrages	Moyen d'investigation	Nombre d'ouvrages	Profondeur	Analyses
Prélèvement d'eau du robinet	/	1	/	1 analyse COHV, BTEX, HCT, HAP, PCB & 8 métaux lourds

7. Interprétation des résultats d'analyses des eaux du robinet

Les résultats d'analyses en laboratoire des eaux du robinet obtenus sont résumés dans le tableau ci-dessous. Les bordereaux d'analyses sont disponibles en **Annexe 2**.

Pour assurer l'interprétation des résultats, les seuils des annexes I et II de l'arrêté du 30 décembre 2022 modifiant l'arrêté ministériel du 11 Janvier 2007 relatif aux limites et références de qualité des eaux brutes et des eaux destinées à la consommation humaine ainsi les directives de qualité pour l'eau de boisson de l'OMS de 2017 ont été pris en référence.

Tableau 3 : Résultats d'analyses laboratoire dans les eaux du robinet

Substances	Arrêté du 30/12/2022 modifiant l'arrêté du 11/01/2007	Seuils OMS	Er1
Hydrocarbures			
HCT C10-C40	1000	-	<0,05
COHV			
Chlorure de vinyle	0,5	0,3	<0,5
Dichlorométhane	-	20	<0,5
Cis-1,2-Dichloroéthylène	-	-	<0,5
Trans-1,2-Dichloroéthylène	-	-	<0,5
Trichlorométhane	-	300	<0,5
1,1,1-Trichloroéthane	-	-	<0,5
Tétrachlorométhane	-	4	<0,5
Trichloroéthylène	-	-	<0,5
Tétrachloroéthylène	-	-	<0,5
Somme TCE+PCE	10	-	<0,5
1,1-Dichloroéthane	-	30	<0,5
1,1-Dichloroéthylène	-	-	<0,5
Somme des COHV	-	-	-/-
CAV-BTEX			
Benzène	1	10	<0,5
Toluène	-	700	<0,5
Ethylbenzène	-	300	<0,5
m- p-Xylène	-	500 (somme)	<0,5
o-Xylène	-		<0,5
Cumène	-	-	<0,5
m- p-Ethyltoluène	-	-	<0,5
Mésitylène	-	-	<0,5
o-Ethyltoluène	-	-	<0,5
Pseudocumène	-	-	<0,5
Somme des CAV	-	-	-/-
Métaux lourds			
Chrome (Cr)	25	50	<5,0
Nickel (Ni)	20	70	<10
Cuivre (Cu)	2000	2000	12
Zinc (Zn)	5000	-	<50
Arsenic (As)	10	10	<3,0
Cadmium (Cd)	5	3	<1,5
Plomb (Pb)	5	10	31
Mercure (Hg)	1	6	<0,1

HAP			
Naphtalène			<0,02
Acénaphthylène			<0,02
Acénaphène			<0,02
Fluorène			<0,02
Phénanthrène			<0,02
Anthracène			<0,02
Fluoranthène			<0,02
Pyrène			<0,02
Benzo(a)anthracène			<0,02
Chrysène			<0,02
Benzo[a]pyrène [e]	0,01	0,7	<0,02
Benzo[b]fluoranthène [a]	-	-	<0,02
Benzo[k]fluoranthène [b]	-	-	<0,02
Benzo(g,h,i)pérylène [c]	-	-	<0,02
Indéno(1,2,3-cd)pyrène [d]	-	-	<0,02
Fluoranthène [f]	-	-	<0,02
Fluorène	-	-	<0,02
Pyrène	-	-	<0,02
Naphtalène			<0,02
Phénanthrène			<0,02
Somme 4 HAP (a,b,c,d)	0,1	-	-/-
Somme 6 HAP (a,b,c,d,e,f)	1	-	-/-
Somme des HAP	-	-	-/-
PCB			
Somme des PCB	-	-	-/-

➤ **Commentaires :**

Les résultats d'analyses laboratoire ont mis en évidence :

- Dépassement de seuil en Plomb (= 31 µg/l) fixé par l'arrêté du 30/12/2022 & du seuil OMS ;
- Les autres paramètres analysés sont conformes aux seuils réglementaires.

→ **Les eaux du robinet ne sont pas conformes aux seuils limites de qualité des eaux brutes et des eaux destinées à la consommation humaines.**

8. Analyse des risques résiduels prédictive (ARRp)

8.1. Méthodologie de l'ARRp

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 3**.

8.2. Evaluation de l'exposition

8.2.1. Caractérisation du lieu d'exposition

L'usage futur prévu sur site est une continuité d'usage industriel.

8.2.2. 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 :

- Couverture de la totalité des sols présentant des anomalies par un revêtement (dalle ou enrobé) ou couche de terre saine (d'au moins 30 cm d'épaisseur) supprimant toute ingestion, contact cutané ou inhalation de poussières ;
- Aucun usage des eaux souterraines n'est envisagé ;
- Le réseau AEP et son utilisation interdite en particulier en tant qu'eau de boisson ;
- Aucune implantation de potager ou de verger.

Tableau 4 : 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	Employés	Réseau AEP et son utilisation interdite
Espaces extérieurs	<u>Non revêtus</u> (L'ensemble du site présente une 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	Non concerné	NON
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	Aucun usage des eaux souterraines n'est envisagé

→ Compte tenu de l'usage futur, la voie d'exposition la plus probable est l'inhalation de composés volatils en intérieur (volatilisation des substances depuis les sols).

8.2.3. 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 5 : Paramètres d'exposition retenus pour l'étude

Paramètres	Unités	Employé	Justification
Durée d'exposition	ans	42	Durée légale du travail en France (pour 35h/semaine) et statistiques CNAF
Fréquence d'exposition en intérieur	h/j	8	
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 à 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.

8.2.4. Sélection des substances

Dans le cadre de l'évaluation du risque par inhalation, seules les fractions d'hydrocarbures présentant une volatilité suffisante ont été retenues. Conformément à cette approche, pour les HCT, seules les fractions < C16 ont été considérées (C10–C12 et C12–C16), les fractions plus lourdes (> C16) étant jugées négligeables vis-à-vis de l'inhalation.

La concentration cible après travaux étant fixée à 500 mg/kg MS pour les HCT totaux C10–C40, cette valeur a été ventilée entre les fractions retenues selon les pourcentages de répartition issus du profil analytique du sondage SC107.1 (juin 2025). Les concentrations par fraction ont ainsi été calculées par :

$$C_{\text{fraction}} = C_{\text{total}} \times f_{\text{fraction}}$$

Tableau 6 : Sélection et calcul des concentrations des substances retenues pour l'inhalation

Milieux	Substances retenues	% de répartition au sein de la famille	Concentration (mg/kg MS)
Sol	Hydrocarbures totaux C ₁₀ –C ₄₀		500
	Hydrocarbures > C ₁₀ –C ₁₂	7%	34
	Hydrocarbures > C ₁₂ –C ₁₆	19%	94

8.2.1. Scénario d'exposition

Un schéma résumant le scénario d'exposition proposé est présenté ci-après.

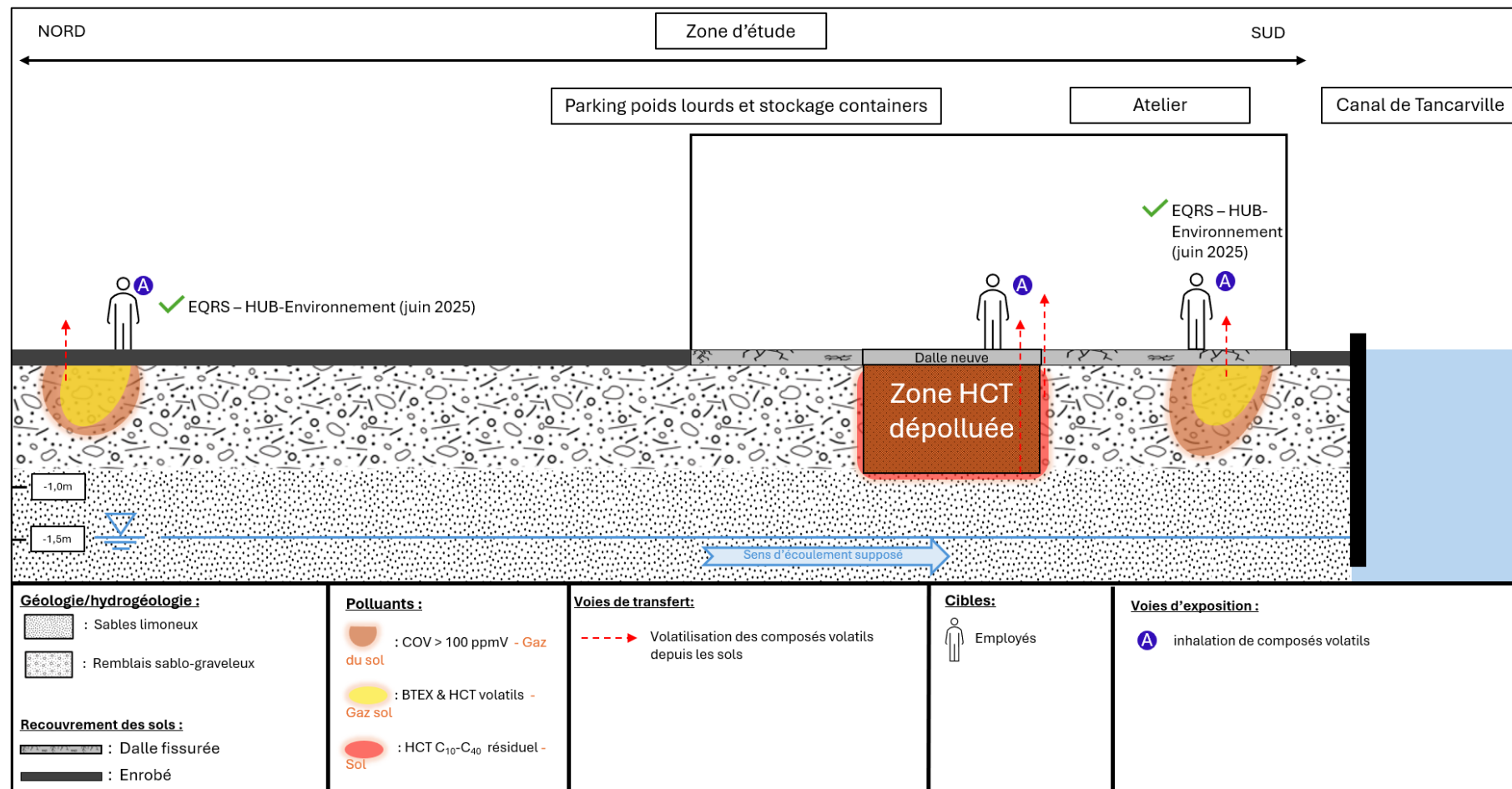


Figure 5 : Schéma conceptuel d'exposition après travaux

8.3. Evaluation de la relation dose-réponse

8.3.1. 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 7 : Données toxicologiques

Substances		Effets non cancérogènes	Effets cancérogènes			
			Classification			Types de cancer
Dénomination	N°CAS		US EPA	CIRC	UE	
Hydrocarbures volatils C ₅ -C ₁₆						
HC Aromatique C ₁₀ -C ₁₂	-	Poids	-	-	-	Aucune étude spécifique produite chez l'homme à ce jour
HC Aromatique C ₁₂ -C ₁₆	-	Poids	-	-	-	
HC Aliphatiques C ₁₀ -C ₁₂	-	Système hépatique	-	-	-	
HC Aliphatiques C ₁₂ -C ₁₆	-	Système hépatique	-	-	-	

8.3.2. 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 8 : VTR Inhalation retenues

Substances		Effets non Cancéri-gènes (mg/m ³)	Sources	Effets Cancéri-gènes (mg/m ³) ⁻¹	Sources
Dénomination	N°CAS	INHALATION		INHALATION	
HC Aromatique C ₁₀ -C ₁₂	-	2,0E-01	TPHCWG, VOL 5 1999		
HC Aromatique C ₁₂ -C ₁₆	-	2,0E-01	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		

8.4. Choix des modèles

L'ARRp 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 4**.

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 de plain-pied, **le modèle JOHNSON & ETTINGER a été retenu pour la modélisation**.

8.5. Principe de calcul

Le principe de calcul repose sur les formules suivantes :

8.5.1. 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.

8.5.2. 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 cancérigènes ;
- La somme des risques liés aux différentes durées d'exposition (chronique, subchronique 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.

8.6. Résultats des calculs

Les données des calculs sont disponibles en **Annexe 5**. Le calcul de risques donne les résultats suivants :

Tableau 9 : Résultats des calculs de risques inhalation

Scénario – Inhalation en intérieur		
Substances	Quotient de danger (QD)	Excès de Risque Individuel (ERI)
	Employés	Employés
HC Aromatique C ₁₀ -C ₁₂	4,55E-1	
HC Aromatique C ₁₂ -C ₁₆	1,11E-4	
HC Aliphatiques C ₁₀ -C ₁₂	1,08E-2	
HC Aliphatiques C ₁₂ -C ₁₆	2,26E-2	
TOTAL	4,89E-1	

Légende :

QD < 1 ; ERI < 10^{-5}
QD > 1 ; ERI > 10^{-5}

➤ **Commentaires :**

Les résultats des calculs de risques indiquent un risque acceptable pour les futurs occupants du site en intérieur (salariés) après travaux.

L'analyse des risques résiduels fait l'objet d'incertitudes dues aux outils de modélisation et au choix arbitraire de certains paramètres. Conformément à la méthodologie ces incertitudes ont été évaluées et sont présentées en **Annexe 6**.

9. Orientation des déblais

9.1. Classification des déblais

Les seuils de classifications de déblais retenus correspondent au seuil d'acceptation en filière de déchets inertes (d'après l'arrêté du 12/12/2014). Nous retiendrons en particulier le seuil suivant pour la conduite des travaux :

- HCT C₁₀-C₄₀ : 500 mg/kg MS.

A partir des résultats des différentes investigations une carte de répartition des déblais selon leur classification « déchets » a été réalisée dans le but de mettre en évidence la filière d'évacuation des terres pour la gestion des futurs déblais. Les cartes d'orientation des déblais jusqu'à 1 m/TN est présentée ci-dessous.

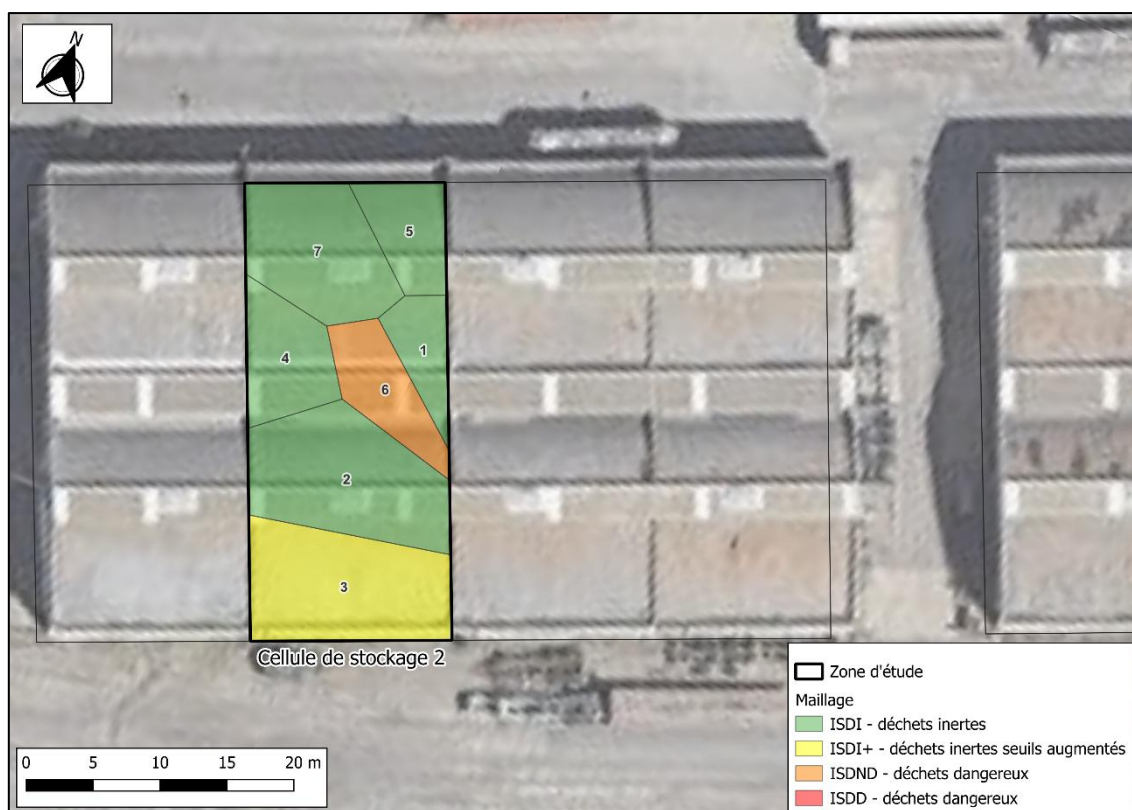


Figure 6 : Carte d'orientation des déblais couche 0-1 m/TN

- **Sécurité du bâtiment :**

Compte tenu des exigences structurelles applicables au bâtiment (stabilité, entretien et sécurité), il est nécessaire de maintenir une zone de dégagement. À ce titre, une distance minimale de sécurité de 1,50 m doit être respectée par rapport aux murs du bâtiment, afin de préserver l'intégrité de l'ouvrage, garantir l'accessibilité pour les interventions techniques et limiter tout risque d'atteinte aux façades.

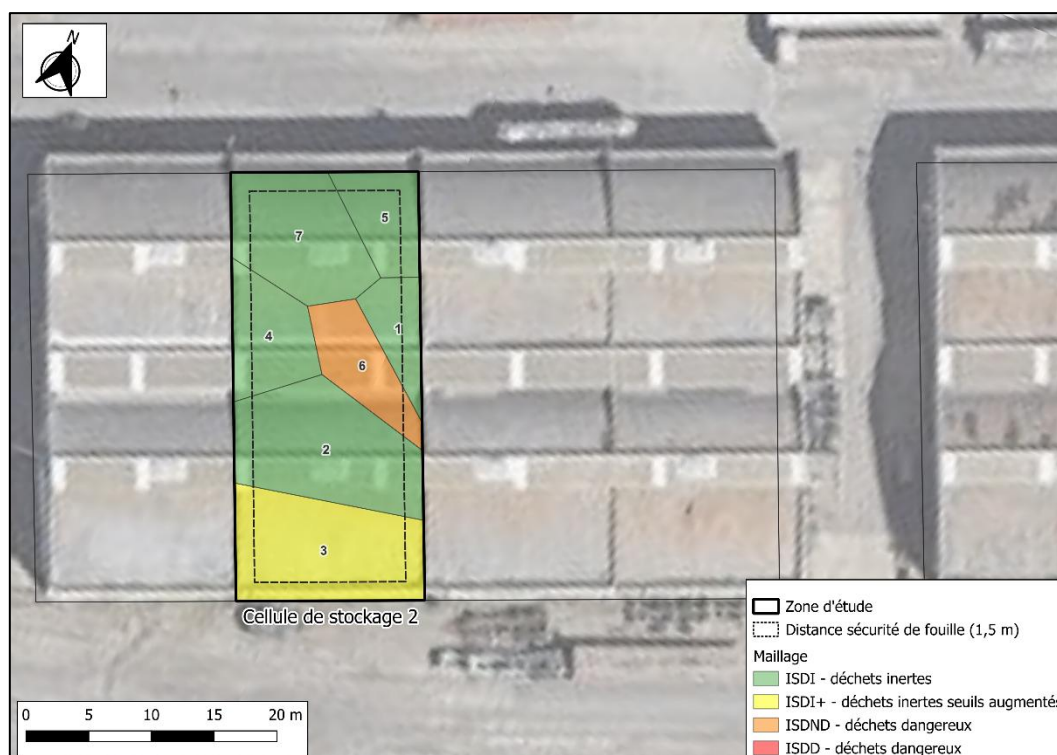


Figure 7 : Implantation de la zone tampon de sécurité de 1,5 m

- **Talutage de la fouille :**

Lors des travaux d'excavation, un talutage de pente 1/1 (1H/1V) sera mis en œuvre afin d'assurer la stabilité des parois de fouille et de limiter les risques d'éboulement pendant le chantier. En complément, la zone de sécurité du bâtiment, fixée à 1,5 m des murs, est intégrée au dispositif afin de préserver l'ouvrage, maintenir un dégagement suffisant pour les interventions et éviter toute interaction défavorable entre la fouille et la structure.

La carte ci-après illustre :

- le tampon correspondant au talutage 1/1 de la fouille ISDND ;
- le tampon de 1,5 m établi autour des murs du bâtiment.

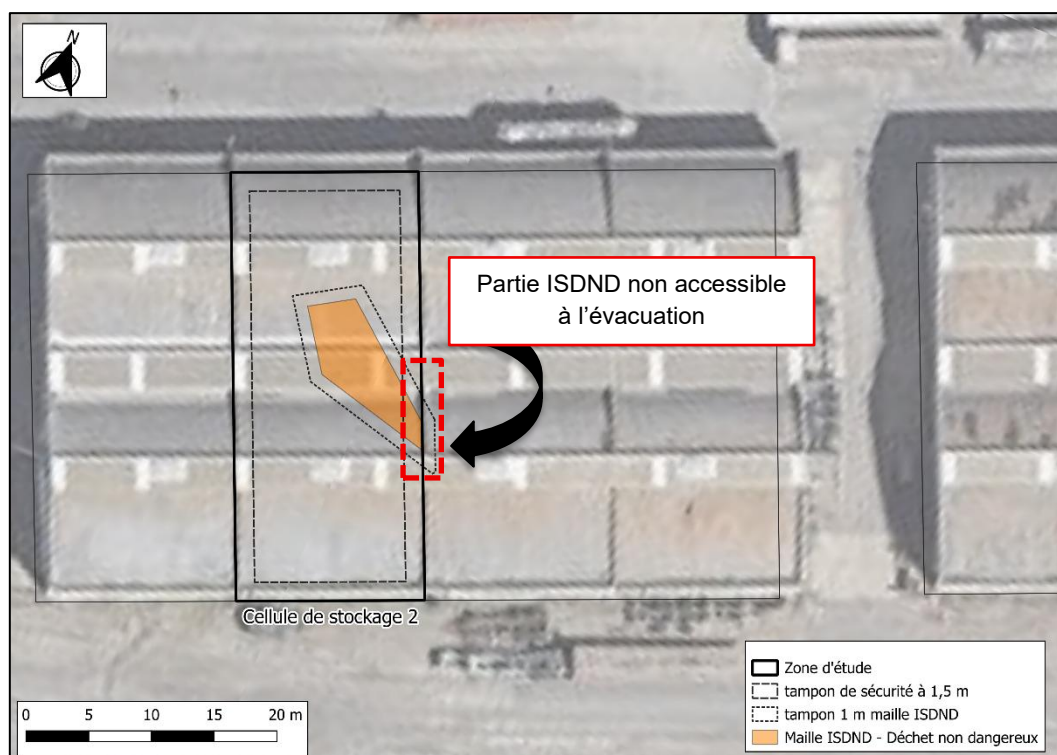


Figure 8 : Emprise des zones tampons de sécurité et de talutage de la maille ISDND

- Les cartes mettent en évidence une partie de la maille ISDND non accessible (tampon de sécurité).
- Au total, 5 m³ de la maille ISDND (délimitation rouge) resteront en place. Par conséquent, 45 m³ (80 tonnes) de terres ISDND devront être évacuées.

9.2. Total des terres à évacuer

Ce chapitre présente l'estimation du volume total de terres à évacuer dans le cadre du projet. Le calcul intègre les terrassements prévus, les contraintes géométriques de la fouille (dont le talutage) ainsi que les zones de sécurité applicables, afin d'établir une quantification cohérente des matériaux à extraire et à transporter vers les filières de gestion appropriées.

D'après les résultats des investigations, la classification des terres par maille est présentée dans le tableau ci-dessous.

Tableau 10 : Classification des déblais

Mailles	Echantil- lons	Profondeur (en m/TN)	Surface (m²)	Classification	Paramètre(s) déclassant(s) arrêté du 12/12/2014	
					Sur lixiviate	Sur les composés organiques
1	Sc203	0-1 m/TN	17	ISDI	/	/
2	Sc204		101	ISDI	/	/
3	Sc205		77	ISDI+	Sulfates & fractions solubles	/
4	C4		39	ISDI	/	/
5	S2		23	ISDI	/	/
6	Sc107		44	ISDND / BIOCENTRE	/	HCT C ₁₀ -C ₄₀
7	Sc202		73	ISDI	/	/
TOTAL VOLUME (m³) (en place)			374	Soit environ 670 tonnes (1,8 t/m³)		

Tableau 11 : Répartition des terres par orientation en filière extérieure – couche 0-1 m/TN

Classe	Total (en place)	
	Volume (m ³)	Tonne (t) (arrondi)
ISDI : déchets inertes	253	450
ISDI+	77	140
ISDND : déchets non dangereux	44	80

→ **Au total, environ 80 de terres ISDND sont à évacuer au droit du bâtiment pour gérer la zone source hydrocarbures.**

10. Mesure de gestion des déblais

10.1. Gestion des risques sanitaires en phase chantier

Ce chapitre est principalement à destination de l'entreprise de dépollution et de terrassement mais également de tout personnel intervenant sur le site.

Le personnel des entreprises amenées à effectuer les excavations, s'expose à un risque dû au contact direct avec les sols et l'ingestion des poussières de sol contenant des métaux lourds et l'inhalation des poussières et vapeurs contenant des composés organiques volatils. Cette information devra obligatoirement leur être transmise avec les règles de prévention des risques qui en découlent.

Des règles de protection individuelle simple devront être prévues (gants, bottes). Le personnel sera sensibilisé pour une hygiène rigoureuse avec changement de vêtements régulier, lavage régulier des mains, prise de déjeuner hors de la zone de travaux, etc.

Un contrôle des COV par PID portatif dans l'air ambiant du bâtiment devra être réalisé systématiquement pour toute la durée des opérations (excavation et évacuation des terres).

10.2. Suivi, contrôle et réception par la maîtrise d'œuvre

10.2.1. Suivi et contrôle des travaux

La mise en œuvre du plan de gestion et son suivi devra se faire par un prestataire spécialisé afin de garantir l'absence de risques sanitaires pour les futurs usagers et vérifier la bonne destination des déblais excavés. A l'issue de la mise en œuvre du plan de gestion, l'ensemble des teneurs résiduelles devra être contrôlé et faire l'objet d'une actualisation et vérification de l'analyse des risques résiduels permettant de conclure à la compatibilité entre l'état de contamination résiduelle du site et l'usage envisagé, en disposant des données acquises à l'occasion des travaux.

10.2.2. Réception des travaux

À l'issue des travaux, il sera nécessaire de réaliser :

- Une étude ARR après travaux : À l'issue de la mise en œuvre du plan d'orientation des déblais, l'ensemble des teneurs résiduelles devra être contrôlé et faire l'objet d'une analyse des risques résiduels (ARR) permettant de conclure à la compatibilité entre l'état de contamination résiduelle du site et l'usage envisagé, en disposant des données acquises à l'occasion des travaux.
- Un mémoire de travaux décrivant l'ensemble des travaux et mesures de gestion mises en œuvre et intégrant les résultats des contrôles et de l'analyse des risques résiduels, ainsi que l'ensemble des documents justificatifs relatifs aux travaux (CR de travaux et réception d'analyse...) devront être réalisés et transmis éventuellement à l'administration compétente.

11. Estimation des coûts de gestion des déblais

Le tableau d'estimation de la gestion des déblais est présenté ci-après.

Tableau 12 : Estimation des coûts de gestion des déblais

N°	Gestion des déblais ISDND	Unité	PU € HT	Qté	Montant € HT
1	Opérations préalables				
1.1	Autorisations préalables, documents préparatoires, PPSPS, PAQ, etc.	F	2 000,00	1	2 000,00
2	Travaux préparatoires				
2.1	Amenée, installations chantier, panneau de chantier, relevé topographique, barrières, ...	F	5 000,00	1	5 000,00
2.2	Réalisation d'un constat d'huissier (avant et après travaux)	F	2 000,00	1	2 000,00
3	Excavation, évacuation et acceptation en filière extérieure – déblais ISDND				
3.1	Excavation des terres ISDND (45 m ³)	m ³	20	50	1 000,00
3.2	Transport et acceptation en filière ISDND (80 t)	T	60	80	4 800,00
3.3	Apport de terres saines extérieures	m ³	20	50	1 000,00
3.4	Remblaiement des terres saines	m ³	10	50	500,00
4	Excavation, évacuation et acceptation en filière extérieure – déblais ISDND				
4.1	Transport et acceptation en filière ISDND (80 t)	T	75	80	6 000,00
4.2	Apport de terres saines extérieures	m ³	20	50	1 000,00
4.3	Remblaiement des terres saines	m ³	10	50	500,00
4.4	Réfection dalle	F	2 000,00	1	2 000,00
5	Réception				
5.1	Repli après travaux (remise en état du site) – réunion de réception	F	5 000,00	1,00	5 000,00
5.2	Dossier des ouvrages exécutés (DOE)	F	1 500,00	1,00	1 500,00
Coût opération (arrondi) HT					32 k€
Coûts de la maîtrise d'œuvre HT					3,2 k€
COUT TOTAL OPERATION + MATRISE D'OEUVRE					35 k€

(*) Le cubage des terres ISDND a été arrondi à 50 m³.

→ L'ensemble des prestations (travaux & maîtrise d'œuvre) représentent un montant total estimé à environ 35 k€ HT. Par principe de précaution, ce montant peut être intégré à un aléa de +/- 10%, une fourchette comprise entre 28 et 38 k€ HT (travaux & maîtrise d'œuvre).

Pour rappel, ce sont des prix génériques qui ont été rencontrés dans d'autres affaires. Une consultation avec plusieurs entreprises devra être réalisée en amont des travaux.

12. Conclusions & recommandations

12.1. Conclusions

Dans le cadre de la vente du site, HUB-Environnement a été mandaté pour réaliser un plan d'orientation des déblais non conformes ISDI suites aux investigations réalisées ainsi qu'une Analyse des Risques Résiduels (ARR).

➤ Synthèse de la mission historique et documentaire :

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 19ème 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.

➤ Synthèse de vulnérabilité des milieux :

Le site se situe sur l'Île de Nantes, constituée de remblais reposant sur des sables limoneux, dans un contexte de forte perméabilité des terrains et de vulnérabilité marquée des eaux souterraines.

- Géologique : Remblais jusqu'à 1 m de profondeur puis sables limoneux jusqu'à 3 m/TN ;
- Hydrogéologique : Nappe alluviale peu profonde (mesuré à 1,5 m de profondeur en 2019) ;
- Hydrologique : Bassin Vétillard est présent en bord immédiat, limite de propriété Sud (récolement Géoportail). Milieu portuaire

➤ Synthèse de la qualité environnementale des milieux :

○ Dans les sols – au droit du bâtiment :

- Un dépassement du seuil ISDI en HCT C10-C40 (jusqu'à 3100 mg/kg MS) au droit de Sc107
- Anomalie modérée ponctuelle en Plomb au droit de Sc201 sur la couche 0-1 m /TN (= 64 mg/kg MS) ;
- Anomalies modérées en Cuivre au droit de Sc205 sur la couche 0-2 m /TN (jusqu'à 29 mg/kg MS).
- Une concentration ponctuelle supérieur au seuil BRGM est constatée en extérieur au niveau de Sc201 (93,2 mg/kg MS) – couche 0-1 m (/TN).
- Une concentration ponctuelle supérieur au seuil BRGM est constatée en intérieur au niveau de Sc205 (140 mg/kg MS) – couche 1-2 m (/TN).

Résultats dans les sols (sur lixiviat) :

- Dépassement du seuil ISDI en Sulfates au droit de Sc202 & Sc205 – couche 0-1 m /TN ;
- Dépassement du seuil ISDI en Fractions Solubles au droit de Sc205 – couche 0-1 m /TN ;
- Aucun dépassement de seuil ISDI sur les autres échantillons analysés.

○ Résultats dans les gaz du sol – au droit du bâtiment:

- Les concentrations en hydrocarbures légers C₅-C₁₆ (respectivement 39,6 mg/m³ pour les aromatiques & 152 mg/m³ pour les aliphatiques) et BTEX (jusqu'à 5,0 mg/m³) les plus élevées sont constatées dans la zone COV Sud-Ouest ayant également les concentrations les plus élevées (Gd1 : 396,7 ppmV) ;
- Les résultats des piézairs au niveau de l'autres COV (> 50 ppmV) sont dans l'ensemble proches (Pa1, GZ2, GZ3 & GZ4). Le résultat de Pa1 nuance cependant les résultats avec des concentrations plus élevées.
- Au niveau de la zone extérieure, des concentrations en hydrocarbures légers C₅-C₁₆ (respectivement 164,22 µg/m³ pour les aromatiques) et BTEX (jusqu'à 164,22 µg/m³).

- Résultats dans les eaux du robinet – au droit du bâtiment:
- Dépassement de seuil en Plomb (= 31 µg/l) fixé par l'arrêté du 30/12/2022 & du seuil OMS ;
- Les autres paramètres analysés sont conformes aux seuils réglementaires.

Les investigations précédentes ont mis en évidence :

- **La présence de zones COV concentrées (> 50 ppmV) au droit du bâtiments – une zone au Nord et une au Sud-Ouest ;**
- **La zone Nord est en partie corrélée par des dépassements de seuils ISDI en HCT C10-C40 (jusqu'à 3100 mg/kg MS, Sc107), tandis que la zone Sud-Ouest est corrélée avec la présence la plus élevée mesurée de gaz des sols (hydrocarbures légers & BTEX, Gs101).**

Le prélèvement d'eau réalisé au niveau du lave-mains de l'atelier mécanique ne sont pas conformes aux critères de potabilité, en raison d'une teneur en plomb mesurée à 31 µg/L. Les investigations menées n'ayant pas mis en évidence d'anomalies en plomb dans les sols, cette non-conformité est plus probablement imputable au réseau d'alimentation en eau potable (branchements/ matériaux/ stagnation) acheminant l'eau sur le site.

➤ **Synthèse de l'Analyse des Risques Résiduels prédictive (ARRp) :**

L'ARRp a été réalisée en prenant en compte une volatilisation en intérieur des composés des sols puis inhalation de vapeurs en intérieur par les cibles. Les personnes exposées retenues sont les futurs employés de la zone.

La modélisation a été réalisée à partir des teneurs résiduelles objectivées en hydrocarbures (HCT C₁₀-C₄₀ : 500 mg/kg MS) .

➔ **Les résultats des calculs de risques indiquent un risque acceptable pour les futurs occupants du site (salariés).**

➤ **Gestion des déblais non conformes ISDI de la zone HCT :**

Le volume de déblais non conforme et principalement retrouvé sur la couche 0-1 m/TN, pour un volume estimé à 50 m³ (arrondi) soit environ 80 tonnes. Le coût de l'excavation, évacuation puis acceptation en filière de ces matériaux est estimé entre 28 et 38 k€ HT (travaux & maîtrise d'œuvre).

12.2.Recommandations

Les recommandations suivantes sont à retenir :

▪ **Gestion des risques sanitaires – eau de boisson (du bâtiment) :**

Du fait du dépassement de seuil en Plomb (= 31 µg/l) fixé par l'arrêté du 30/12/2022 & du seuil OMS, les eaux distribuées au droit du bâtiment sont impropre à la consommation. Par conséquent, nous recommandons :

Mesures immédiates (sécurisation)

- Interdire toute consommation de cette eau (boisson, café/thé, préparation alimentaire, ...) et afficher une signalétique claire au point d'eau : « *Eau non destinée à la consommation* ».
- Mettre à disposition une alternative (fontaine raccordée sur un point conforme, eau embouteillée).
- Informer le personnel, avec vigilance renforcée pour les personnes sensibles (femme enceinte, employés les plus jeunes).

Actions correctives (remise en conformité)

- Tracer le réseau interne du bâtiment concerné (tronçons, raccords, brasures, robinetterie).
- Solliciter le distributeur/gestionnaire du réseau pour investigation et actions correctives sur le branchement/secteur.
- Mettre en place un contrôle analytique de confirmation après travaux/mesures, puis un suivi périodique tant que le risque n'est pas levé.

▪ **Gestion des terres de la zone HCT – dans le cadre de la mise en conformité du site :**

Dans le cadre de la mise en conformité du site, nous préconisons

- Excavation et évacuation des terres non conformes ISDI en filière extérieure ;
- Suivi des fouilles et tri des matériaux à l'aide d'un PID ainsi que sur la base de critères organoleptiques, afin de déterminer le point d'arrêt des excavations ;
- Contrôle et analyses des sols de bords et fonds de fouille après travaux d'excavation ;
- Remblaiement par des matériaux sains d'apports extérieurs.

Pour garantir la conformité et l'efficacité des travaux, nous recommandons la préparation et le suivi de ces opérations par un bureau d'étude Sites et Sols Pollués.

▪ **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...).

Réserves

- ✓ *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.*
- ✓ *Les couts donnés dans le bilan cout/avantage sont indicatifs et leur précision reste très liée à la densité de sondages et à la présence de zones non accessibles pour les études*
- ✓ *Les coûts unitaires indiqués sont génériques et devront être affinés à l'occasion des études d'avant-projet de maîtrise d'œuvre.*
- ✓ *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 eaux du robinet	33
ANNEXE 2 : Résultats d'analyses laboratoire.....	35
ANNEXE 3 : Méthodologie EQRS	39
ANNEXE 4 : Présentation du logiciel Modul'ERS	45
ANNEXE 5 : Données des calculs	47
ANNEXE 6 : Evaluation des incertitudes	66

ANNEXE 1 : Fiche de prélèvement des eaux du robinet

Fiche de prélèvement des eaux du robinet		
Nom du site : Le Havre MRZ		Nom du prélèvement : ER1
Photographie du prélèvement		
Date : 23/01/2026		
Heure :		
X Longitude : 0.143088°		
Y Latitude : 49.483010°		
Z Altitude : 5.98		
Condition météo : Ensoleillé		
Opérateur : HUB-Environnement		
Description de l'environnement		
Usage du bâtiment : Atelier mécanique		Jour et heure de la dernière utilisation : 19/04/2025 18h00
Usage du point d'eau : Lave mains		
Fréquence d'utilisation : ☒ Journalier ☐ Hebdomadaire ☐ Mensuel ☐ Annuel		
Population concernée : ☐ Enfants ☐ Adultes ☒ Employés ☐ Autres :		
Nombre de personne utilisant le point d'eau : ☒ <10 ☐ >10 ☐ >50 ☐ >100		
Observations : RAS		
Description du point de prélèvement		
Age du bâtiment : Inconnu		T°C dans l'air : 16°C
Type de canalisation : ☒ Cuivre ☐ Plomb ☐ Multicouche ☐ PVC ☐ Autre :		
Travaux sur les canalisations : Inconnu		Travaux aux alentours : Inconnu
Concentrations dans l'air ambiant (PID) : Avant purge : 0 Pendant purge : 0 Après purge : 0		
Observations : RAS		
Description de l'échantillonnage		
Purge réalisée ? : ☒ Oui (analyse eau qualité) ☐ Non (analyse eau canalisation)		
Durée purge à débit maximal (5 à 10 sec) : 10sec		Durée purge à débit moyen (1 à 2 min) : 2min
Volume de purge estimé (L) :		
Paramètres physico-chimiques		
Paramètres	En cours de purge (débit moyen)	Prélèvement
Heure :	9h48	
T°C :	X	X
pH :	X	X
Conductivité :	X	X
Redox (mV) :	X	X
Irisations :	X	X
Odeur :	X	X
Couleur :	X	X
Matières en suspension :	X	X
PID (ppmV) :	1 ^{er} jet : 0 Pendant :	
Remarque :	Appareil défectueux	Appareil défectueux
Gestion des échantillons		
Conditionnement : Glacière		Date envoi au laboratoire : 23/01/2026
Nom du laboratoire : WESSLING		Transporteur : UPS
Substances recherchées		
HCT C ₁₀ -C ₄₀ , HAP, BTEX, COHV, PCB & 8 ETM		

ANNEXE 2 : Résultats d'analyses laboratoire



Accréditation n°1-1364
Portée disponible
sur www.cofrac.fr

ALS France
Z.I. de Chesne Tharabie
40 rue du Ruisseau BP 50705
38297 Saint-Quentin-Fallavier
Tél. +33 (0)4 74 99 96 20
france@alsglobal.com
www.alsglobal.com/France



ALS France, 40 rue du Ruisseau, 38070 Saint-Quentin-Fallavier Cedex

HUB ENVIRONNEMENT
Madame Justine BAUGÉ
6 rue Auber
75009 PARIS

N° rapport d'essai	ULY26-002823-1
N° commande	ULY-02632-26
Interlocuteur (interne)	Y. Lafond
Téléphone	+33 474 990 554
Courrier électronique	yann.lafond@alsglobal.com
Date	02.02.2026

Rapport d'essai

Le Havre - eau robinet 23/01/2026



Les résultats ne se rapportent qu'aux échantillons soumis à l'essai et tels qu'ils ont été reçus (dans le cas où le laboratoire n'a pas prélevé les échantillons).

Les résultats des paramètres couverts par l'accréditation EN ISO/CEI 17025 sont marqués d'un (A).

La portée d'accréditation COFRAC n°1-1364 essais du laboratoire ALS France, site de Lyon (St Quentin Fallavier) est disponible sur le site www.cofrac.fr pour les résultats accrédités par ce laboratoire.

Le COFRAC est signataire des accords de reconnaissance mutuels de l'ILAC et de l'EA pour les activités d'essai.

Les organismes d'accréditation signataires de ces accords pour les activités d'essai reconnaissent comme dignes de confiance les rapports couverts par l'accréditation des autres organismes d'accréditation signataires des accords des activités d'essai.

Ce rapport d'essai ne peut être reproduit que sous son intégralité et avec l'autorisation des laboratoires ALS France.

Les laboratoires ALS France autorisent leurs clients à extraire tout ou partie des résultats d'essai envoyés à titre indicatif sous format excel uniquement à des fins de retraitement, de suivi et d'interprétation de données sans faire allusion à l'accréditation des résultats d'essai.

Les données fournies par le client sont sous sa responsabilité et identifiées en italique.

Rapport d'essai n° : ULY26-002823-1
Projet : Le Havre - eau robinet 23/01/2026

ALS France
Z.I. de Chesne Tharabie
40 rue du Ruisseau BP 50705
38297 Saint-Quentin-Fallavier
Tél. +33 (0)4 74 99 96 20
france@alsglobal.com
www.alsglobal.com/France



Le 02.02.2026

N° d'échantillon

26-011756-01

Désignation d'échantillon

Unité

ER1

Paramètres globaux / Indices

Indice hydrocarbures (GC) sur eau / lixiviat (HCT) - NF EN ISO 9377-2 - Réalisé par ALS France, Lyon (France)

Indice hydrocarbure C10-C40	mg/l E/L	<0,05 (A)			
Hydrocarbures > C10-C12	mg/l E/L	<0,05			
Hydrocarbures > C12-C16	mg/l E/L	<0,05			
Hydrocarbures > C16-C21	mg/l E/L	<0,05			
Hydrocarbures > C21-C35	mg/l E/L	<0,05			
Hydrocarbures > C35-C40	mg/l E/L	<0,05			

Éléments

Métaux dissous (ICP/MS) - NF EN ISO 17294-2 - Réalisé par ALS France, Lyon (France)

Chrome (Cr)	µg/l E/L	<5,0 (A)			
Nickel (Ni)	µg/l E/L	<10 (A)			
Cuivre (Cu)	µg/l E/L	12 (A)			
Zinc (Zn)	µg/l E/L	<50 (A)			
Arsenic (As)	µg/l E/L	<3,0 (A)			
Cadmium (Cd)	µg/l E/L	<1,5 (A)			
Mercurie (Hg)	µg/l E/L	<0,1 (A)			
Plomb (Pb)	µg/l E/L	31 (A)			

Hydrocarbures halogénés volatils (COHV)

Composés Organo-Halogénés volatils (COHV) - NF EN ISO 10301 - Réalisé par ALS France, Lyon (France)

Chlorure de vinyle	µg/l E/L	<0,5 (A)			
Dichlorométhane	µg/l E/L	<0,5 (A)			
cis-1,2-Dichloroéthylène	µg/l E/L	<0,5 (A)			
trans-1,2-Dichloroéthylène	µg/l E/L	<0,5 (A)			
Trichlorométhane	µg/l E/L	<0,5 (A)			
1,1,1-Trichloroéthane	µg/l E/L	<0,5 (A)			
Tétrachlorométhane	µg/l E/L	<0,5 (A)			
Trichloroéthylène	µg/l E/L	<0,5 (A)			
Tétrachloroéthylène	µg/l E/L	<0,5 (A)			
1,1-Dichloroéthane	µg/l E/L	<0,5 (A)			
1,1-Dichloroéthylène	µg/l E/L	<0,5 (A)			
Somme des COHV	µg/l E/L	-/-			

Benzène et aromatiques (CAV - BTEX)

Composés aromatiques volatils (CAV-BTEX) - NF ISO 11423-1 - Réalisé par ALS France, Lyon (France)

Benzène	µg/l E/L	<0,5 (A)			
Toluène	µg/l E/L	<0,5 (A)			
Ethylbenzène	µg/l E/L	<0,5 (A)			
o-Xylène	µg/l E/L	<0,5 (A)			
m-, p-Xylène	µg/l E/L	<0,5 (A)			
Cumène	µg/l E/L	<0,5 (A)			
Mésitylène	µg/l E/L	<0,5 (A)			
o-Ethyltoluène	µg/l E/L	<0,5 (A)			
m-, p-Ethyltoluène	µg/l E/L	<0,5 (A)			
Pseudocumène	µg/l E/L	<0,5 (A)			
Somme des BTEX	µg/l E/L	-/-			
Somme des CAV	µg/l E/L	-/-			

Rapport d'essai n° : ULY26-002823-1
Projet : Le Havre - eau robinet 23/01/2026

ALS France
Z.I. de Chesne Tharabie
40 rue du Ruisseau BP 50705
38297 Saint-Quentin-Fallavier
Tél. +33 (0)4 74 99 96 20
france@alsglobal.com
www.alsglobal.com/France



Le 02.02.2026

N° d'échantillon 26-011756-01
Désignation d'échantillon Unité ER1

Hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP)

HAP - Méthode interne : HAP-PCB-GC/MS - Réalisé par ALS France, Lyon (France)

Naphtalène	µg/l	<0,02 (#)			
Acénaphthylène	µg/l	<0,02 (A)			
Acénaphthène	µg/l	<0,02 (A)			
Fluorène	µg/l	<0,02 (A)			
Phénanthrène	µg/l	<0,02 (A)			
Anthracène	µg/l	<0,02 (A)			
Fluoranthène	µg/l	<0,02 (A)			
Pyrène	µg/l	<0,02 (A)			
Benzo(a)anthracène	µg/l	<0,02 (A)			
Chrysène	µg/l	<0,02 (A)			
Benzo(b)fluoranthène	µg/l	<0,02 (A)			
Benzo(k)fluoranthène	µg/l	<0,02 (A)			
Benzo(a)pyrène	µg/l	<0,02 (A)			
Dibenzo(a,h)anthracène	µg/l	<0,02 (A)			
Indéno(1,2,3,c,d)pyrène	µg/l	<0,02 (A)			
Benzo(g,h,i)peryène	µg/l	<0,02 (A)			
Somme des 4 HAP	µg/l	-/-			
Somme des 6 HAP	µg/l	-/-			
Somme des HAP	µg/l	-/-			

Polychlorobiphényles (PCB)

Polychlorobiphényles (PCB) - NF EN ISO 6468 - Réalisé par ALS France, Lyon (France)

PCB n° 28	µg/l E/L	<0,003 (A)			
PCB n° 52	µg/l E/L	<0,003 (A)			
PCB n° 101	µg/l E/L	<0,003 (A)			
PCB n° 118	µg/l E/L	<0,003 (A)			
PCB n° 138	µg/l E/L	<0,003 (A)			
PCB n° 153	µg/l E/L	<0,003 (A)			
PCB n° 180	µg/l E/L	<0,003 (A)			
Somme des 7 PCB	µg/l E/L	-/-			

E/L : Eau/lixiviat

< : résultat inférieur à la limite de quantification

Informations sur les échantillons

Date de réception :	23.01.2026			
Type d'échantillon :	Eau douce			
Date de prélèvement :	23.01.2026			
Heure de prélèvement :	00:00			
	250VB			
	WES204+2*40ml HS			
	WES138+60ml PE			
	WES101+250ml			
	VIH2SO4			
	WES203+60ml			
	PE/HNO3 WES112			
Réceptier :				
Température à réception (C°) :	10.1			
Début des analyses :	28.01.2026			
Fin des analyses :	02.02.2026			

Rapport d'essai n° : ULY26-002823-1
Projet : Le Havre - eau robinet 23/01/2026

ALS France
Z.I. de Chesne Tharabie
40 rue du Ruisseau BP 50705
38297 Saint-Quentin-Fallavier
Tél. +33 (0)4 74 99 96 20
france@alsglobal.com
www.alsglobal.com/France



Le 02.02.2026

Commentaires retirant l'accréditation de vos résultats d'analyses :

: Le délai de mise en analyse par rapport au prélèvement est supérieur aux exigences normatives, ce qui peut potentiellement impacter l'exactitude du résultat.

Informations sur vos résultats d'analyses :

Pour parfaire la lecture de vos résultats, les seuils sont susceptibles d'être augmentés en fonction de la nature chimique de la matrice. Seuls les résultats quantifiés (résultats égaux ou supérieurs à la LQ) sont pris en compte dans le calcul des sommes. Dans le cas contraire la somme est rendue "-/-".

Pour effectuer l'extraction dans le flacon d'origine, un retrait d'une partie de la phase aqueuse a été nécessaire. Ce retrait a pu engendrer un sous dosage de l'échantillon. :

-Indice hydrocarbures (GC) sur eau / lixiviat (HCT), Indice hydrocarbure C10-C40

L'extraction réalisée sur le contrôle interne d'eau dopée n'est pas incluse dans les exigences de la méthode ce qui peut potentiellement augmenter l'incertitude liée au résultat :

-Indice hydrocarbures (GC) sur eau / lixiviat (HCT), Indice hydrocarbure C10-C40

Approuvé par :
Jean-Francois CAMPENS
Président

ANNEXE 3 : 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 $IR \geq 1$ 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 $ERI \geq 10^{-6}$ 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 4 : 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 5 : Données des calculs

Page 1 of 21

MODULERS v.1.0.142

ARRp_v1

Report generated: Tue Feb 17 16:08:18 CET 2026

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	ARRp_v1
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
HC aliph C10 C12	Yes
HC aliph C12 C16	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
type Polluant	type Polluant	Conc gaz air interieur J E
organique	organique	Conc gaz air interieur J E
inorganique	inorganique	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
HC aliph C10_C12	organique	Constantes_Reglages.non_defini
HC aliph C12_C16	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
organique	organique	Constantes Replages
ADAF _{inh}	ADAF _{inh}	Niveaux Exposition Risque
inorganique	inorganique	Constantes Replages
type Polluant	type Polluant	Constantes Replages
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_Cas_source	definition Cas source	
Description		
A définir si definition_Cinh est différent de valeur_entree. Sélectionner le mode d'estimation de la concentration dans l'air du sol, attribuable à la source sol étudiée (hors bruit de fond) : valeur définie par l'utilisateur (valeur_entree), valeur calculée à partir d'une concentration dans le sol (valeur_calculée_sol) ou valeur calculée à partir d'une concentration dans l'eau de la nappe (valeur_calculée_nappe).		
Materials	Value	Predefined value
HC aliph C10_C12	valeur_calculée_sol	Conc_gaz_air_interieur_J_E.valeur_entree_sol
HC aliph C12_C16	valeur_calculée_sol	Conc_gaz_air_interieur_J_E.valeur_entree_sol
HC arom C10_C12	valeur_calculée_sol	Conc_gaz_air_interieur_J_E.valeur_entree_sol
HC arom C12_C16	valeur_calculée_sol	Conc_gaz_air_interieur_J_E.valeur_entree_sol

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_entree)		
Materials	Value	Predefined value
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 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_entree. 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
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 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
5.0	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
15.0	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
34.0	0.0		

Full Name		Symbol	Unit
Perméabilité intrinsèque de la couche 2		ka,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
1.33E-11	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		n2	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
0.385	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
0.385	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
5.0E-4	0.0	5.0E-4	0.0050		

Full Name	Symbol	Unit			
Taux de renouvellement d'air dans la zone du bâtiment où a lieu l'émission	t _{ra}	s ⁻¹			
Description					
A définir si definition_Cinh est différent de valeur_entree					
Value	Predefined	Min value	Max value	PDF	Predefined
4.2E-4	1.4E-4	2.8E-5	4.2E-4		
Comment					
Valeur par défaut correspondant à t _{ra} =0,5 h ⁻¹					

Full Name	Symbol	Unit			
Teneur en carbone organique de la couche contenant la source sol	foc	unitless			
Description					
A définir si definition_Cas_source=valeur_calculée_sol et si Kd_source est défini à partir de Koc ou logKoc (en l'absence de connexion pour ce paramètre à partir de modules amont)					
Value	Predefined	Min value	Max value	PDF	Predefined
0.0055	0.0	0.0010	0.01		
Comment					
Vérifié					

Vector parameters

Full Name	Symbol	Unit
-----------	--------	------

Coefficient de diffusion dans l'air

Da $\text{m}^2 \text{s}^{-1}$

Materials	Value	Predefined	Min value	Max value	PDF	Predefined
HC aliph C10_C12	1.0E-5	NaN				
HC aliph C12_C16	1.0E-5	NaN				
HC arom C10_C12	1.0E-5	NaN				
HC arom C12_C16	1.0E-5	NaN				

Full Name

De

Unit

Coefficient de diffusion dans l'eau

De $\text{m}^2 \text{s}^{-1}$

Materials	Value	Predefined	Min value	Max value	PDF	Predefined
HC aliph C10_C12	1.0E-9	NaN				
HC aliph C12_C16	1.0E-9	NaN				
HC arom C10_C12	1.0E-9	NaN				
HC arom C12_C16	1.0E-9	NaN				

Full Name

Koc

Unit

Coefficient de partage carbone organique-eau

Koc l kg^{-1}

Description

Coefficient de partage carbone organique-eau. A définir si definition_Cas_source==valeur_calculée_sol. L'utilisateur doit définir pour chaque substance une valeur soit pour Kd_source_E, soit pour log Kd_source_E, soit pour Koc, soit pour log Koc (en l'absence de connexion pour ce paramètre à partir de modules amont). Mettre Koc à -1 (valeur par défaut) en cas de substances inorganiques

Materials	Value	Predefined	Min value	Max value	PDF	Predefined
HC aliph C10_C12	251000.0	-1.0				
HC aliph C12_C16	5000000.0	-1.0				
HC arom C10_C12	2500.0	-1.0				
HC arom C12_C16	5000.0	-1.0				

Full Name

Cs

Unit

Concentration au niveau de la source sol (hors bruit de fond)

Cs_{source,sol} mg kg^{-1}

Description

A définir si definition_Cinh est différent de valeur_entree, s'il s'agit d'une source sol et 1) si Cas_source est différent de Cas_source_E ou 2) pour tenir compte de la masse initiale présente dans le sol dans le calcul du flux maximal (si Cs_source_sol=0, la concentration dans l'air Cag_i_inh_attr sera calculée sans tenir compte de ce flux maximal) ou 3) si definition_source=source_finie. Concentration dans le sol prise en compte pour le calcul des émissions de polluants gazeux à partir du sol vers l'air intérieur (concentration hors bruit de fond).Cs_source_sol doit être constante (pas de variation avec le temps)

Materials	Value	Predefined	Min value	Max value	PDF	Predefined
HC aliph C10_C12	34.0	0.0				
HC aliph C12_C16	94.0	0.0				
HC arom C10_C12	34.0	0.0				
HC arom C12_C16	94.0	0.0				

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
HC aliph C10_C12	300000.0	-1.0				
HC aliph C12_C16	520.0	-1.0				
HC arom C10_C12	350.0	-1.0				
HC arom C12_C16	530.0	-1.0				

Full Name	Symbol	Unit
Epaisseur de la couche 2 de la ZNS	l2	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
HC aliph C10_C12	1.0	0.0				
HC aliph C12_C16	1.0	0.0				
HC arom C10_C12	1.0	0.0				
HC arom C12_C16	1.0	0.0				

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

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	

Full Name	Symbol	Unit				
Log du coefficient de partage carbone organique-eau	logKoc	l kg ⁻¹				
Description						
Log du coefficient de partage carbone organique-eau. A définir si definition_Cas_source==valeur_calculée_sol. L'utilisateur doit définir pour chaque substance une valeur soit Kd_source_E, soit pour log Kd_source_E, soit pour Koc, soit pour log Koc (en l'absence de connexion pour ce paramètre à partir de modules amont). Mettre logKoc à -1 (valeur par défaut) en cas de substances inorganiques. Si pour une substance, logKoc est inférieur ou égal à -1 (la valeur par défaut) ou peut prendre ces valeurs (distribution statistique), renseigner une autre paramètre.						
Materials	Value	Predefined	Min value	Max value	PDF	Predefined
HC aliph C10_C12	5.6	-1.0				
HC aliph C12_C16	6.8	-1.0				
HC arom C10_C12	3.5	-1.0				
HC arom C12_C16	3.9	-1.0				

Full Name					Symbol	Unit
Masse molaire					M	g mol ⁻¹
Materials	Value	Predefined	Min value	Max value	PDF	Predefined
HC aliph C10_C12	160.0	-1.0				
HC aliph C12_C16	200.0	-1.0				
HC arom C10_C12	150.0	-1.0				
HC arom C12_C16	170.0	-1.0				

Full Name	Symbol	Unit				
Pression de vapeur à température du sol	Pvap _{T_s}	Pa				
Description						
A définir si definition_Cas_source=valeur_calculée_sol. Paramètre servant au calcul de la concentration dans l'air du sol dans le cas d'une source sol						
Materials	Value	Predefined	Min value	Max value	PDF	Predefined
HC aliph C10_C12	65.328	-1.0				
HC aliph C12_C16	4.8	-1.0				
HC arom C10_C12	63.9947	-1.0				
HC arom C12_C16	4.7996	-1.0				

Full Name	Symbol	Unit
Température de fusion	Tm	K
Description		
Paramètre servant au calcul des fractions de polluant sous forme particulaire et sous forme gazeuse dans l'air et au calcul de la concentration dans l'air du sol		

Materials	Value	Predefined	Min value	Max value	PDF	Predefined
HC aliph C10_C12	250.0	-1.0				
HC aliph C12_C16	270.0	-1.0				
HC arom C10_C12	350.0	-1.0				
HC arom C12_C16	360.0	-1.0				

Lookup table changes

Scalar lookup tables

Full Name	Symbol	Unit
Teneur en eau de la couche contenant la source sol	$\Theta_{couche,source}$	unitless
Description		
A définir si definition_Cas_source_sol=valeur_calculée.		
Cyclic option		
No		
Interpolation		
Interpolation-Use End Values		
Time	Values	
Predefined	0.0:0.0	
0.0	0.117	

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	0.117	

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'individus (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'individus 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
HC aliph C10_C12		0.2	NaN				
HC aliph C12_C16		0.2	NaN				
HC arom C10_C12		1.0	NaN				
HC arom C12_C16		1.0	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

QD

QD	Niveaux Exposition Risque.QD tot [HC aliph C10 C12] [classe 1]
0,00E0	0,00E0
7,00E1	4,55E-1

QD	Niveaux Exposition Risque.QD tot [HC aliph C12 C16] [classe 1]
0,00E0	0,00E0
7,00E1	1,11E-4

QD	Niveaux Exposition Risque.QD tot [HC arom C10 C12] [classe 1]
0,00E0	0,00E0
7,00E1	1,08E-2

QD	Niveaux Exposition Risque.QD tot [HC arom C12 C16] [classe 1]
0,00E0	0,00E0
7,00E1	2,26E-2

QD	Niveaux Exposition Risque.Somme QD tot [classe 1]
0,00E0	0,00E0
7,00E1	4,89E-1

Copyright (C) INERIS 2013-2014 All Rights Reserved

ANNEXE 6 : 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.