

VILLE DE RONCHIN

Ecole maternelle Albert Samain – Ronchin (59)

- Diagnostic complémentaire du milieu souterrain - Mise à jour de l'Evaluation Quantitative des Risques Sanitaires

Rapport

Réf : NO2700578 / 25-NO-RC-195-01

MAH / CAL / EL

19/02/2025



GINGER BURGEAP Région Nord-Ouest (Arras) • 5, chemin des Filatiers – 62223 Sainte-Catherine
Tél : 03.21.24.38.00 • burgeap.arras@groupeginger.com

SIGNALETIQUE

CLIENT

| | |
|---|--|
| RAISON SOCIALE | VILLE DE RONCHIN |
| COORDONNÉES | Ville de Ronchin 650 Av. Jean Jaurès, 59790 Ronchin |
| INTERLOCUTEUR <i>(nom et coordonnées)</i> | Xavier THIEBAULT Tél : 03 20 16 60 15 E-mail : xthiebault@ville-ronchin.fr |

GINGER BURGEAP

| | |
|--|---|
| ENTITE EN CHARGE DU DOSSIER | GINGER BURGEAP Région Nord-Ouest (Arras) 5, chemin des Filatiers – 62223 Sainte-Catherine Tél : 03.21.24.38.00 - burgeap.arras@groupeginger.com |
| CHEF DU PROJET | Camille DUVAL Tél : 06.82.58.33.01 E-mail : c.duval@groupeginger.com |
| COORDONNÉES Siège Social <i>SAS au capital de 1 200 000 euros dirigée par Claude MICHELOT</i> <i>SIRET 682 008 222 003 79 / RCS Nanterre B 682 008 222 / Code APE 7112B / CB BNP Neuilly – S/S 30004 01925 00010066129 29</i> | Siège Social 143, avenue de Verdun 92442 ISSY LES MOULINEAUX Tél : 01.46.10.25.70 E-mail : burgeap@groupeginger.com |

RAPPORT

| | |
|--|---|
| Offre de référence | CV_NO0003093 du 05/12/2025 |
| Numéro et date de la commande | Marché 2024/14 – Bon de commande ST241160 du 20/12/2024 |
| Numéro de projet / de rapport : | Réf : NO2700578 / 25-NO-RC-195-01 |
| Num. du site d'intervention (GMP) : | GMP10158 |
| Domaine technique : | 27_2 |

SIGNATAIRES

| DATE | Indice | Rédaction Nom / signature | Vérification Nom / signature | Supervision / validation Nom / signature |
|------------|--------|--|--|---|
| 19/02/2025 | 01 | M.HACHEMI  | C. DUVAL  | E. LANGARD  |

SOMMAIRE

| | |
|--|-----------|
| Synthèse technique | 5 |
| 1. Introduction | 8 |
| 1.1 Objet de l'étude..... | 8 |
| 1.2 Codification des prestations | 9 |
| 1.3 Documents de référence et ressources documentaires | 10 |
| 2. Localisation et environnement du site | 10 |
| 3. Données sur la qualité du milieu souterrain | 11 |
| 4. Investigations sur les sols (A200) | 13 |
| 4.1 Stratégie d'investigations..... | 13 |
| 4.2 Programme et stratégie d'investigations..... | 16 |
| 4.3 Observations et mesures de terrain | 17 |
| 4.3.1 Succession lithologique..... | 18 |
| 4.3.2 Niveaux suspects et mesures PID | 18 |
| 4.4 Stratégie et mode opératoire d'échantillonnage | 19 |
| 4.5 Conservation des échantillons | 19 |
| 4.6 Valeurs de référence pour les sols..... | 20 |
| 4.7 Résultats et interprétation des analyses sur les sols | 20 |
| 5. Synthèse des anomalies dans les sols et du schéma conceptuel | 23 |
| 6. Evaluation Quantitative des Risques Sanitaires (EQRS) | 25 |
| 6.1 Contexte et méthodologie | 25 |
| 6.2 Composés et concentrations retenues dans les différents milieux | 25 |
| 6.3 Identification des dangers..... | 26 |
| 6.4 Caractérisation des Relation dose-réponse | 27 |
| 6.5 Estimation des expositions..... | 29 |
| 6.5.1 Concentrations dans les milieux d'exposition | 29 |
| 6.5.2 Estimation des expositions..... | 30 |
| 6.6 Quantification des risques sanitaires | 34 |
| 6.6.1 Méthodologie..... | 34 |
| 6.6.2 Quantification des risques sanitaires résiduels au droit du site | 35 |
| 6.7 Analyse des incertitudes | 37 |
| 7. Synthèse et recommandations | 40 |
| 7.1 Synthèse..... | 40 |
| 7.2 Recommandations | 41 |
| 8. Limites d'utilisation d'une étude de pollution | 42 |

FIGURES

| | |
|---|----|
| Figure 1 : Localisation du site d'étude (fond de plan : IGN topographie) | 8 |
| Figure 2 : Photographie aérienne de l'école maternelle Albert Samain | 10 |
| Figure 3 : Cartographie des anomalies de concentrations dans les sols de surface – Ecole maternelle Albert Samain | 12 |
| Figure 4 : Schéma des notions de bioaccessibilité et biodisponibilité en cas d'ingestion d'une matrice contaminée (source : adapté de Caboche (2009), RECORD (2011), Pelfrène (2016) et InVS-Ineris (2012)) | 14 |
| Figure 5 : Illustration schématique des étapes du test in vitro UBM (INERIS, 2021)..... | 15 |
| Figure 6 : Localisation des investigations réalisées – GINGER BURGEAP (décembre 2024)..... | 19 |
| Figure 7 : Cartographie des teneurs en plomb mesurées dans les sols | 22 |
| Figure 8 : Schéma conceptuel (usage actuel) | 24 |

TABLEAUX

| | |
|---|----|
| Tableau 1 : Informations sur le site d'étude..... | 10 |
| Tableau 2 : Informations sur le site d'étude..... | 11 |
| Tableau 3 : Investigations et analyses réalisées sur les sols..... | 16 |
| Tableau 4 : Points de prélèvements réalisés..... | 18 |
| Tableau 5 : Résultats d'analyses sur les sols | 21 |
| Tableau 6 : Concentrations prises en compte dans les sols | 26 |
| Tableau 7 : Valeurs toxicologiques de référence retenues | 28 |
| Tableau 8 : Paramètres retenus liés au sol | 29 |
| Tableau 9 : Concentrations calculées dans poussières | 30 |
| Tableau 10 : Budgets espace/temps retenus..... | 33 |
| Tableau 11 : Synthèse des QD et ERI – Ecole maternelle Albert Samain..... | 36 |
| Tableau 12 : Variables générant les incertitudes majeures de l'évaluation | 38 |

ANNEXES

| |
|---|
| Annexe 1. Résultats des analyses antérieures |
| Annexe 2. Propriétés physico-chimiques |
| Annexe 3. Fiches d'échantillonnage des sols |
| Annexe 4. Bordereaux d'analyse des sols |
| Annexe 5. Données toxicologiques |
| Annexe 6. Relations dose-réponse |
| Annexe 7. Estimation des concentrations dans les milieux d'exposition |
| Annexe 8. Paramètres d'exposition retenus |
| Annexe 9. Détails des calculs de dose et de risque |
| Annexe 10. Glossaire |

Synthèse technique

| CONTEXTE | | |
|--|--|--|
| Client | VILLE DE RONCHIN | |
| Nom / adresse du site | Ecole maternelle Albert Samain – Ronchin (59) | |
| Contexte de l'étude | Vérification de la compatibilité sanitaire des sols en place avec les usages actuels et futurs. | |
| Projet d'aménagement | Maintien de l'usage (espaces verts école maternelle) | |
| Informations sur le site lui-même | Superficie totale | 2 431 m ² |
| | Parcelles cadastrales | Parcelle n°400 – Section AH |
| | Propriétaire | Ville de Ronchin |
| | Exploitant et usage actuel | Ville de Ronchin – Ecoles maternelle (espaces verts) |
| | Environnement proche | Autour du site : logements individuels. |
| Statut réglementaire | Installation ICPE et régime | Non recensé. |
| Contexte géologique et hydrogéologique | <ul style="list-style-type: none"> De la terre végétale a été retrouvée entre 0 et 0,1 m de profondeur lors des investigations ; La ville de Ronchin est située sur les limons des plateaux puis sur la Craie. La Craie peut être retrouvée à faible profondeur (2 m). La nappe de la craie est localisée vers 10 m de profondeur. | |
| Impacts connus sur le milieu souterrain | Etudes antérieures | <ul style="list-style-type: none"> Rapport GINGER BURGEAP « -Diagnostic environnemental du milieu souterrain & Evaluation Quantitative des Risques Sanitaires » référencé NO2700503 / 1105641-01 et date 04/10/2024. |
| | Impacts milieu sols | Les investigations réalisées ont mis en évidence la présence de cuivre, de cadmium, de plomb et de zinc dans les sols superficiels (0-0,1 m) de l'école maternelle Albert Samain. Les teneurs en plomb mesurées dépassent les valeurs seuils de vigilance et de dépistage du HCSP. |
| | EQRS | <p>Dans le cadre de la mission qui nous a été confiée par la Ville de Ronchin, avec les conditions d'études retenues, et en l'état actuel des connaissances scientifiques, les niveaux de risques estimés sont supérieurs aux critères d'acceptabilité tels que définis par la politique nationale de gestion des sites pollués pour les hypothèses considérées, en particulier pour les enfants présents dans l'école et vis-à-vis de l'exposition à l'ingestion de sols contaminés au plomb.</p> <p>Plusieurs facteurs engendrent des incertitudes sur les risques évalués. Pour la majorité des facteurs engendrant ces incertitudes, l'approche adoptée a été « sécuritaire » notamment par l'utilisation des hypothèses relatives aux quantités de sols ingérés ou la durée d'exposition. La variation des paramètres d'expositions sécuritaires ne permet pas de rendre les niveaux de risques acceptables pour les enfants en école maternelle. Sur la base des teneurs maximales détectées, les niveaux de risques ne seraient acceptables qu'en considérant une exposition en espace vert qu'1 jour /semaine.</p> |
| MISSION | | |
| Intitulé et objectifs | Diagnostic complémentaire sur les sols et mise à jour de l'EQRS afin de confirmer la compatibilité d'usage l'école maternelle Albert Samain avec l'usage actuel (espaces verts). Le présent diagnostic consiste : <ul style="list-style-type: none"> au prélèvement de sol de surface, | |

| | | |
|-------------------------------------|--|--|
| | <ul style="list-style-type: none"> • au tamisage de ces sols pour réalisation des analyses sur les fractions granulométriques majoritairement inhalées/ ingérées (<2 mm) ; • à l'analyse plomb sur ces fractions granulométriques ; • à l'analyse de la bioaccessibilité orale du plomb selon différentes méthodes et en différents points afin de consolider la connaissance du comportement de plomb. <p>L'EQRS sera ensuite actualisée à l'aide des nouvelles données acquises.</p> | |
| Investigations réalisées | Sols | 3 sondages de sols à la tarière manuelle (0,3m de profondeur). |
| Polluants recherchés | Sols | Mesure des concentrations totales en Pb puis prédiction des concentrations bio-accessibles oralement via un test simplifié à l'HCl (ISO DIS 7303) (x3) Test UBM (ISO 17924) (x1) |
| Résultats des investigations | <p>Les investigations réalisées en décembre 2024, ont mis en évidence :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Des teneurs en plomb dans les sols de surfaces supérieures au seuil de vigilance HCSP mais conformes au seuil de dépistage sur l'ensemble des prélèvements (teneurs comprises entre 162,5 et 284,4 mg/kg MS) ; Notons que ces teneurs restent inférieures aux teneurs détectées précédemment par GINGER BURGEAP (entre 360 et 450 mg/kg) ce qui est cohérent ; Le delta entre les teneurs mesurées lors des différentes campagnes peut s'expliquer par le fait que ce ne sont pas les mêmes fractions granulométriques qui ont été analysées (analyses par broyage pour aout 2024) ; • Les bioaccessibilités calculées sont globalement du même ordre de grandeur (entre 141,7 et 249,7 mg/kg soit entre 85 et 87,8 %) ; • Notons que la teneur de bioaccessibilité mesurée (Méthode UBM / plus fiable) est inférieure à celles calculées (69,5 %). <p>A titre indicatif, en considérant la bioaccessibilité mesurée, la biodisponibilité calculée est de 62,2%.</p> <p>Dans le cadre de la mission qui nous a été confiée par la Ville de Ronchin, avec les conditions d'études retenues, et en l'état actuel des connaissances scientifiques, les niveaux de risques estimés sont supérieurs aux critères d'acceptabilité tels que définis par la politique nationale de gestion des sites pollués pour les hypothèses considérées, en particulier pour les enfants présents dans l'école et vis-à-vis de l'exposition à l'ingestion de sols contaminés au plomb.</p> <p>Plusieurs facteurs engendrent des incertitudes sur les risques évalués. Pour la majorité des facteurs engendrant ces incertitudes, l'approche adoptée a été « réaliste » pour les durées d'exposition et bioaccessibilité du plomb, et « sécuritaire » pour les taux d'ingestion :</p> <ul style="list-style-type: none"> • La quantité de sols ingérés : les taux d'ingestion journalier pris en compte ne tient pas compte de la durée de présence des usagés, et peut conduire à une surestimation des doses liées à l'ingestion de sols/poussières et ainsi des risques induits ; • La prise en compte du facteur de bioaccessibilité réelle du plomb mesuré sur site pour le calcul de risque ; • La considération d'une concentration en plomb maximale de la campagne de décembre 2024 uniquement (échantillons superficiels et analyses sur les fractions granulométriques réellement inhalées / ingérées) ; • Les durées d'exposition : sur la base des teneurs maximales détectées, les niveaux de risques ne seraient acceptables qu'en considérant une exposition en espace vert 3 à 4 jours /semaine durant la période scolaire (130 jours/an). <p>Pour la majorité de ces paramètres, les connaissances actuelles ne permettent pas de réduire ces incertitudes.</p> | |
| | Schéma conceptuel | <ul style="list-style-type: none"> • Impacts identifiés : cuivre, plomb et zinc dans les sols superficiels ; • Enjeux à protéger : usagers actuels (adultes travailleurs, enfants en maternelle) ; • Voies d'expositions : inhalation de poussières contaminées et ingestion de sols contaminés. |
| RECOMMANDATIONS | | |

A la vue de ces résultats, GINGER BURGEAP recommande :

- De limiter l'accès des enfants dans les espaces verts extérieurs et appliquer les recommandations du guide du HCSP, en raison des concentrations en plomb supérieures au seuil de vigilance et de dépistage du HCSP sur l'ensemble du site avec la mise en œuvre des recommandations de précaution et d'hygiène émises dans le « Guide pour l'élaboration d'une liste de mesures de prévention individuelles visant à limiter l'exposition des populations riveraines des sites et sols pollués », HCSP 2020 permettront un abattement conséquent du risque d'ingestion de particules de terre et de poussières, ceci dans une démarche ALARA (As Low As Reasonably Achievable = Aussi basse que raisonnablement possible) ;
- D'exclure les travaux d'affouillement des sols avec les enfants (création de potager pédagogique par exemple, sauf si les potagers sont installés en bacs hors sol remplis de terres saines).
- Afin de lever les restrictions d'usage des espaces verts extérieurs, la mise en place de mesures de gestion simple sur l'ensemble des espaces verts de l'école Albert Samain. Elles peuvent être de 2 types :
 - **gestion hors site et substitution des terres** : évacuation hors site par terrassement en déblais et gestion en filière adaptée de l'ensemble des espaces verts sur minima 0,5 m de profondeur et substitution par des matériaux sains inertes sans dépassement des valeurs du bruit de fond de la Ville de Lille ;
 - **recouvrement des surfaces** : soit par de l'enrobé ou du béton (si prévu dans le cadre de l'aménagement du site) soit par des remblais (graviers) ou 50 cm de terre végétale d'apport saines afin de supprimer la possibilité d'un contact direct avec les sols en place.

A la vue de ces résultats, GINGER BURGEAP recommande également de garder en mémoire la qualité des sols au droit du site. En cas de changement d'usage ou de scénarii d'exposition, il conviendra de venir vérifier la nouvelle compatibilité des usages avec les teneurs présentes dans les sols.

1. Introduction

1.1 Objet de l'étude

La Ville de Ronchin souhaite confirmer la compatibilité d'usage sur des sites de lieux d'accueil de la petite enfance.

Le site de l'école maternelle Albert Samain est l'objet du présent rapport.

Dans ce contexte, la VILLE DE RONCHIN a missionné GINGER BURGEAP en juillet 2024 pour la réalisation de diagnostics de la qualité du milieu souterrain accompagnés d'une Evaluation Quantitative des Risques Sanitaires. Les investigations réalisées ont mis en évidence la présence de cuivre, de cadmium, de plomb et de zinc dans les sols superficiels (0-0,1 m) de l'école maternelle Albert Samain. Les teneurs en plomb mesurées dépassent les valeurs seuils de vigilance et de dépistage du HCSP.

Avec les conditions d'études retenues, et en l'état actuel des connaissances scientifiques, les niveaux de risques estimés étaient supérieurs aux critères d'acceptabilité tels que définis par la politique nationale de gestion des sites pollués pour les hypothèses considérées, notamment vis-à-vis des enfants en maternelle et des concentrations en plomb dans les sols des espaces verts.

Considérant cela, la Ville de Ronchin souhaite actualiser l'EQRS sur la base de nouveaux prélèvements de sols de surface, en tenant compte des teneurs en plomb sur les fractions granulométriques majoritairement inhalées/ingérées (fraction fines), et en tenant compte dans les calculs de risques des dernières méthodes de calcul de dose journalière ajustée, basée sur la biodisponibilité, conformément aux recommandations du guide pratique sur la biodisponibilité du plomb de l'INERIS à paraître au 1^{er} semestre 2025.

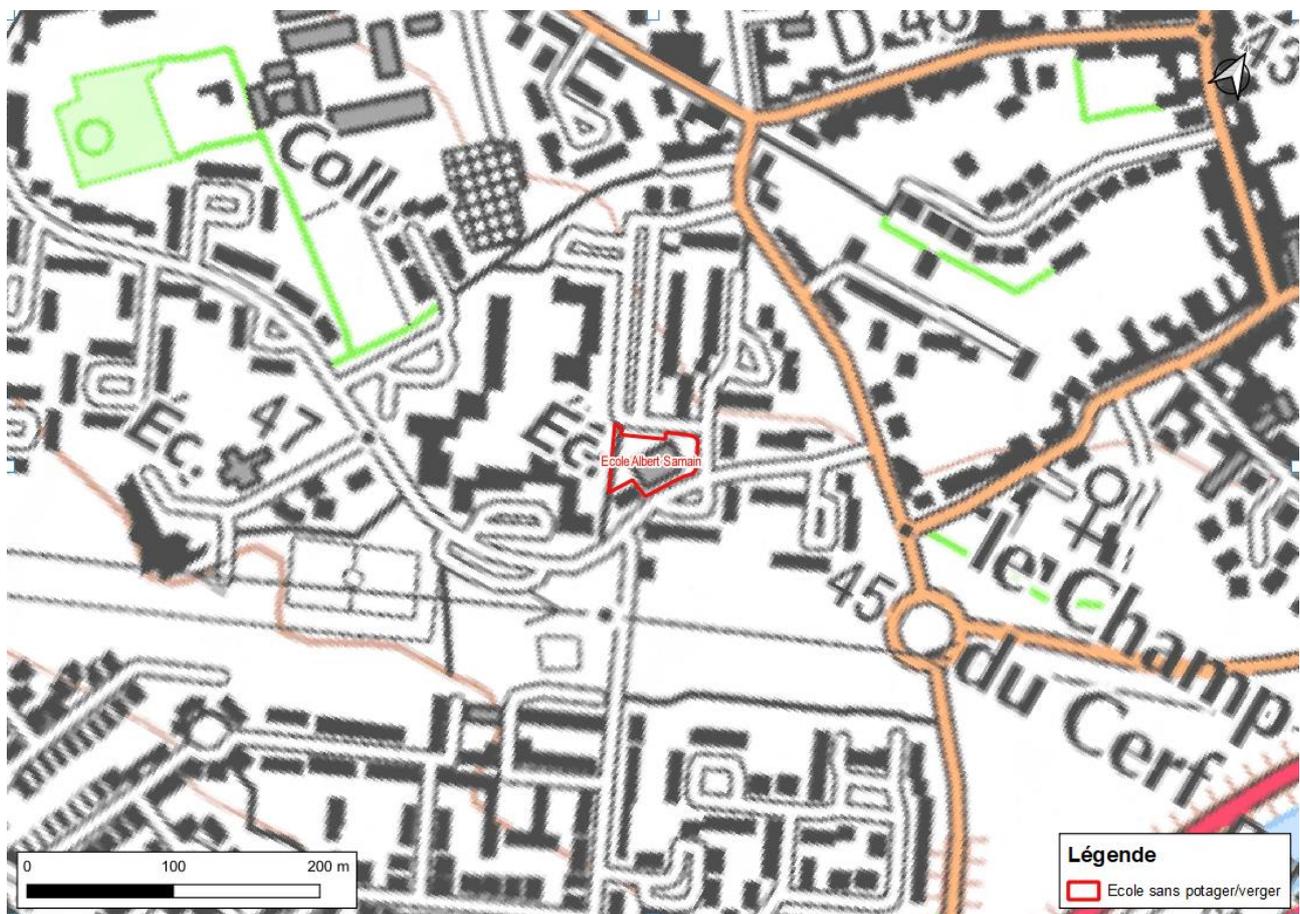


Figure 1 : Localisation du site d'étude (fond de plan : IGN topographie)

1.2 Codification des prestations

Le présent rapport est conforme à la méthodologie nationale de gestion des sites et sols pollués d'avril 2017 et aux exigences de la **norme AFNOR NF X 31-620 1, 2 et 5 : décembre 2021 - « Qualité du sol – Prestations de services relatives aux sites et sols pollués »**, pour le domaine A : « Etudes, assistance et contrôle » et le domaine D : « Attestation de prise en compte des mesures de gestion de la pollution des sols et des eaux souterraines dans la conception des projets de construction ou d'aménagement ».

| Prestations élémentaires (A) concernées | Objectifs | Prestations globales (A) concernées | Objectifs |
|--|---|---|---|
| <input type="checkbox"/> A100 | Visite du site | <input type="checkbox"/> AMO | |
| <input type="checkbox"/> A110 | Etudes historiques, documentaires et mémorielles | <input checked="" type="checkbox"/> AMO en phase études | Assister et conseiller son client pendant tout ou partie de la durée du projet, en phase études. |
| <input type="checkbox"/> A120 | Etude de vulnérabilité des milieux | <input type="checkbox"/> LEVE Levée de doute | Le site relève-t-il de la politique nationale de gestion des sites pollués, ou bien est-il « banalisable » ? |
| <input type="checkbox"/> A130 | Elaboration d'un programme prévisionnel d'investigations | <input type="checkbox"/> INFOS | Réaliser les études historiques, documentaires et de vulnérabilité, afin d'élaborer un schéma conceptuel et, le cas échéant, un programme prévisionnel d'investigations. |
| <input checked="" type="checkbox"/> A200 | Prélèvements, mesures, observations et/ou analyses sur les sols | <input checked="" type="checkbox"/> DIAG | Investiguer des milieux (sols, eaux souterraines, eaux superficielles et sédiments, gaz du sol, air ambiant...) afin d'identifier et/ou caractériser les sources potentielles de pollution, l'environnement local témoin, les vecteurs de transfert, les milieux d'exposition des populations et identifier les opérations nécessaires pour mener à bien le projet |
| <input type="checkbox"/> A210 | Prélèvements, mesures, observations et/ou analyses sur les eaux souterraines | <input type="checkbox"/> PG Plan de gestion dans le cadre d'un projet de réhabilitation ou d'aménagement d'un site | Etudier, en priorité, les modalités de suppression des pollutions concentrées. Cette prestation s'attache également à maîtriser les impacts et les risques associés (y compris dans le cas où la suppression des pollutions concentrées s'avère techniquement complexe et financièrement disproportionnée) et à gérer les pollutions résiduelles et diffuses. Réalisation d'un bilan coûts-avantages (A330) qui permet un arbitrage entre les différents scénarios de gestion possibles (au moins deux), validés d'un point de vue sanitaire (A320). Préconisations sur la nécessité de réaliser, ou non, les prestations un plan de conception des travaux (PCT), un contrôle de la mise en œuvre des mesures (CONT), un suivi environnemental (SUIVI), la mise en place de restrictions d'usage et la définition des modalités de leur mise en œuvre. Précision des mécanismes de conservation de la mémoire en lien avec les scénarios de gestion proposés |
| <input type="checkbox"/> A220 | Prélèvements, mesures, observations et/ou analyses sur les eaux superficielles et/ou les sédiments | | |
| <input type="checkbox"/> A230 | Prélèvements, mesures, observations et/ou analyses sur les gaz du sol | | |
| <input type="checkbox"/> A240 | Prélèvements, mesures, observations et/ou analyses sur l'air ambiant et les poussières atmosphériques | | |
| <input type="checkbox"/> A250 | Prélèvements, mesures, observations et/ou analyses sur les denrées alimentaires | | |
| <input type="checkbox"/> A260 | Prélèvements, mesures, observations et/ou analyses sur les terres excavées | <input type="checkbox"/> IEM Interprétation de l'Etat des Milieux | La prestation IEM est mise en œuvre en cas de la mise en évidence d'une pollution historique sur une zone où l'usage est fixé (installation en fonctionnement, quartier résidentiel, etc.), la mise en évidence d'une pollution hors des limites d'un site, un signal sanitaire Comparable à une photographie de l'état des milieux et des usages, la prestation IEM vise à s'assurer que l'état des milieux d'exposition est compatible avec les usages existants [9]. Elle permet de distinguer les situations qui ne nécessitent aucune action particulière, peuvent faire l'objet d'actions simples de gestion pour rétablir la compatibilité entre l'état des milieux et leurs usages constatés, nécessitent la mise en œuvre d'un plan de gestion |
| <input checked="" type="checkbox"/> A270 | Interprétation des résultats des investigations | | |
| <input type="checkbox"/> A300 | Analyse des enjeux sur les ressources en eaux | | |
| <input type="checkbox"/> A310 | Analyse des enjeux sur les ressources environnementales | <input type="checkbox"/> SUIVI | Suivi environnemental |
| <input checked="" type="checkbox"/> A320 | Analyse des enjeux sanitaires | <input type="checkbox"/> BQ Bilan quadriennal | Interpréter les résultats des données recueillies au cours des quatre dernières années de suivi Mettre à jour l'analyse des enjeux concernés par le suivi sur la période sur les ressources en eau, environnementales et l'analyse des enjeux sanitaires |
| <input type="checkbox"/> A330 | Identification des différentes options de gestion possibles et réalisation d'un bilan coûts/avantages | <input type="checkbox"/> CONT Contrôles | Vérifier la conformité des travaux d'investigation ou de surveillance Contrôler que les mesures de gestion sont réalisées conformément aux dispositions prévues |
| <input type="checkbox"/> A400 | Dossiers de restriction d'usage, de servitudes | <input type="checkbox"/> XPER | Expertise dans le domaine des sites et sols pollués |
| | | <input type="checkbox"/> VERIF Evaluation du passif environnemental | Effectuer les vérifications en vue d'évaluer le passif environnemental lors d'un projet d'acquisition d'une entreprise |
| | | Prestations globales (D) concernées | Objectifs |
| | | <input type="checkbox"/> ATTES-ALUR | Attestation à joindre aux demandes de permis de construire (PC) ou d'aménager dans les secteurs d'information sur les sols (SIS) ou au second changement d'usage (loi ALUR). |

1.3 Documents de référence et ressources documentaires

Cette étude se base sur les documents d'entrée suivant :

- Rapport GINGER BURGEAP « -Diagnostic environnemental du milieu souterrain & Evaluation Quantitative des Risques Sanitaires » référencé NO2700503 / 1105641-01 et date 04/10/2024.

2. Localisation et environnement du site

Tableau 1 : Informations sur le site d'étude

| | |
|--|---|
| Adresse du site | Ecole maternelle Albert Samain – Ronchin (59) |
| Superficie totale | 2 431 m ² |
| Parcelles cadastrales | Parcelle n°400 – Section AH |
| Propriétaire du site | Ville de Ronchin |
| Exploitant du site (et activité de l'exploitant) | Ville de Ronchin – Ecole maternelle (espaces verts) |
| Altitude moyenne / Topographie | +41 m NGF (Nivellement Général de la France) / terrain plat |
| Abords du site | Autour du site : logements individuels. |



Figure 2 : Photographie aérienne de l'école maternelle Albert Samain

3. Données sur la qualité du milieu souterrain

Le tableau suivant reprend les données antérieures disponibles (voir **Paragraphe 1.3**). Les résultats des analyses antérieures sont disponibles en **Annexe 1**.

Tableau 2 : Informations sur le site d'étude

| Campagne | Investigations réalisées | Résultats obtenus |
|------------------------------|---|---|
| GINGER BURGEAP (08-24) | Réalisation de sondages à la tarière manuelle : 2 prélèvements de contrôle des sols de surface à 0,1 m de profondeur. | <p>Les investigations réalisées ont mis en évidence la présence de teneurs anormales en métaux (cuivre, cadmium, plomb et zinc) dans les sols superficiels (0-0,1 m) de l'école maternelle Albert Samain.</p> <p>Les teneurs en plomb mesurées dépassent les valeurs seuils de vigilance et de dépistage du HCSP.</p> |
| | Evaluation quantitative des risques sanitaires | <p>Dans le cadre de la mission qui nous a été confiée par la Ville de Ronchin, avec les conditions d'études retenues, et en l'état actuel des connaissances scientifiques, les niveaux de risques estimés sont supérieurs aux critères d'acceptabilité tels que définis par la politique nationale de gestion des sites pollués pour les hypothèses considérées, en particulier pour les enfants présents dans l'école et vis-à-vis de l'exposition à l'ingestion de sols contaminés au plomb.</p> <p>Plusieurs facteurs engendrent des incertitudes sur les risques évalués. Pour la majorité des facteurs engendrant ces incertitudes, l'approche adoptée a été « <i>sécuritaire</i> » notamment par l'utilisation des hypothèses suivantes :</p> <ul style="list-style-type: none"> • La quantité de sols ingérés : les taux d'ingestion journalier pris en compte ne tient pas compte de la durée de présence des usagés, et peut conduire à une surestimation des doses liées à l'ingestion de sols/poussières et ainsi des risques induits ; • Les durées d'exposition : sur la base des teneurs maximales détectées, les niveaux de risques ne seraient acceptables qu'en considérant une exposition en espace vert 1 jour /semaine. <p>Pour la majorité de ces paramètres, les connaissances actuelles ne permettent pas de réduire ces incertitudes.</p> |



Figure 3 : Cartographie des anomalies de concentrations dans les sols de surface – Ecole maternelle Albert Samain

4. Investigations sur les sols (A200)

4.1 Stratégie d'investigations

Des anomalies en plomb ayant été mises en évidence lors des précédentes campagnes d'investigations, les investigations complémentaires réalisées ont pour objectif de quantifier la bioaccessibilité orale réelle du plomb dans les sols de surface, sur les fractions granulométriques fines, majoritairement ingérées.

► Rappel : Biodisponibilité/bioaccessibilité orale pour l'Homme en contexte d'ingestion directe de substrat contaminé

La **biodisponibilité** est la fraction de composé ingérée qui est absorbée et atteint la circulation systémique. En d'autres termes, la biodisponibilité absolue peut se définir comme le ratio de la dose absorbée sur la dose ingérée :

$$\text{Biodisponibilité absolue (\%)} = \frac{\text{dose absorbée}}{\text{dose ingérée}} \times 100$$

La biodisponibilité intègre la solubilisation du contaminant dans le système salivaire, le tube digestif et la lumière gastro-intestinale (bioaccessibilité), le transport du contaminant au travers de la barrière gastro-intestinale, et la fraction métabolisée du contaminant avant transmission à la circulation systémique.

La **bioaccessibilité** est la fraction de polluant qui est extraite (mise en solution) par les fluides digestifs au niveau du système salivaire et du tractus gastro-intestinal. La fraction bioaccessible du polluant d'un sol peut s'exprimer selon le ratio suivant :

$$\text{Bioaccessibilité absolue (\%)} = \frac{\text{dose extraite de la matrice sol}}{\text{dose ingérée}} \times 100$$

Le lien théorique entre biodisponibilité et bioaccessibilité peut s'exprimer selon l'équation suivante :

$$B = B_a \times F_A \times F_H$$

Avec :

- B : biodisponibilité (absolue),
- B_a : bioaccessibilité (absolue),
- F_A : taux d'absorption par le système digestif de la fraction bioaccessible (extraite),
- F_H : taux de transmission à la circulation systémique de la fraction absorbée.

La bioaccessibilité absolue peut prendre des valeurs allant de 0 à 100%. Lorsqu'elle est égale à 0%, aucune molécule de polluant n'est dissoute dans les fluides digestifs, tandis qu'une bioaccessibilité de 100% indique que l'ensemble de la dose administrée est dissout dans les sucs digestifs.

La fraction bioaccessible correspond à la quantité maximale d'une substance ingérée disponible à l'absorption et susceptible d'engendrer un effet toxique.

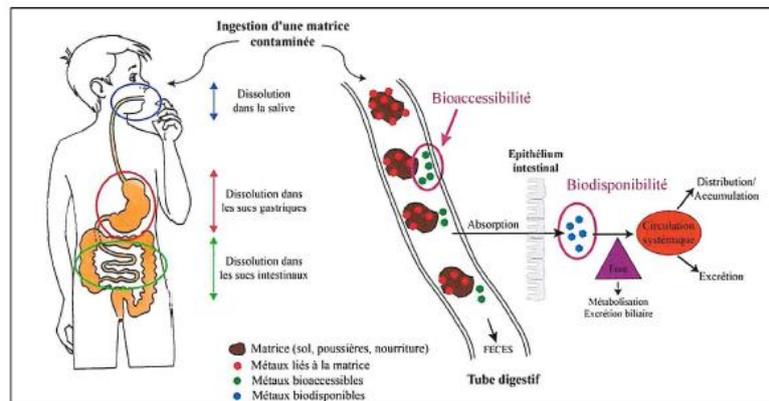


Figure 4 : Schéma des notions de bioaccessibilité et biodisponibilité en cas d'ingestion d'une matrice contaminée (source : adapté de Caboche (2009), RECORD (2011), Pelfrène (2016) et InVS-Ineris (2012))

Ainsi, en absolu, la fraction biodisponible d'un contaminant est inférieure à la fraction bioaccessible de ce même contaminant. Dans le cas des métaux, il est souvent considéré que FA et FH sont égales à 1¹.

La notion de bioaccessibilité relative (BaR) vise à comparer l'extraction d'un composé sous deux spéciations (tel que le carbonate de plomb vs l'acétate de plomb), ou du même composé administré par différents milieux (tels que la nourriture, le sol ou l'eau). Cette notion est particulièrement importante pour l'utilisation de la bioaccessibilité dans un calcul de risque dans lequel il convient de distinguer la différence de bioaccessibilité entre le sol et la matrice utilisée pour l'établissement de la valeur toxicologique de référence².

La toxicocynétique et la toxicodynamique représentent respectivement le devenir d'un contaminant dans l'organisme après passage dans la circulation et l'effet de ce contaminant sur la cible.

► Principe d'un test de bioaccessibilité

► Test simplifié

La méthode d'analyse simplifiée au moyen d'acide chlorhydrique dilué (HCl 0,65 %) repose sur une extraction chimique simple. Elle s'inscrit dans une démarche exploratoire à moindre coût. Elle permet de choisir les échantillons dont les résultats seront validés par la méthode normalisée UBM. Plus spécifiquement, cette technique d'estimation de la bioaccessibilité orale a été validée pour des gammes de concentrations totales dans les sols en éléments métalliques variant de 2 à 2600 mg/kg pour l'As, de 0,2 à 480 mg/kg pour le Cd, et de 4 à 50 000 mg/kg pour le Pb. La méthode simplifiée à l'HCl permet une approche prospective de la bioaccessibilité orale des polluants au niveau de l'estomac (phase gastrique) mais aussi en considérant l'ensemble du tube digestif (phase gastro-intestinale). Le test UBM reste ensuite nécessaire sur quelques échantillons d'intérêt, sélectionnés grâce à la méthode simplifiée, afin de valider les résultats obtenus par une méthode normalisée et pour ajuster les doses d'expositions dans les évaluations des risques sanitaires.

La mesure de la bioaccessibilité avec la méthode simplifiée par HCl est donc utilisable lors de la caractérisation du site pour la qualité des milieux. Elle permet un screening avant de choisir les échantillons pour caractérisation avec le test UBM afin d'ajuster les doses d'exposition.

Le protocole simplifié peut être utilisé pour d'autres éléments métalliques comme le Co, le Cr, le Ni et le Zn mais les données obtenues ne peuvent être considérées qu'à titre indicatif et doivent être utilisées avec précaution pour l'interprétation des résultats. Les résultats ne peuvent pas être utilisés à l'heure actuelle pour ajuster la dose d'exposition dans les calculs de risques sanitaires.

¹ Denys S. et al., 2009. Biodisponibilité et bioaccessibilité des métaux et métalloïdes des sols pollués pour la voie orale chez l'homme - Définitions, protocoles de mesure et retour d'expérience international. Environnement, Risques & Santé – Vol. 8, n° 5, septembre-octobre 2009

² INERIS, 2021. Facteurs d'influence de la bioaccessibilité orale de métaux et métalloïdes dans les sols. Etat de l'art. Caractérisation des propriétés physico-chimiques des sols. Ineris-21-180783-08802-v3.0

► Test UBM

La bioaccessibilité orale repose sur le test normalisé UBM³ qui est considéré comme la méthode de référence pour évaluer la bioaccessibilité de l'As, du Cd et du Pb.

Le principe des tests de bioaccessibilité *in vitro* est de mimer les conditions physiologiques se déroulant dans le corps humain, en particulier chez les enfants considérés comme la population potentiellement la plus exposée, lors de l'ingestion de sols contaminés et des processus digestifs.

Le sol potentiellement contaminé, après préparation, est mis en contact avec des solutions digestives représentatives des différents segments (salive, estomac, intestin), aux pH physiologiques et sous agitation à 37°C.

La norme ISO 17924⁴ simule des conditions à jeun, souvent reconnues comme les plus conservatoires pour l'étude de la bioaccessibilité des éléments inorganiques (dissolution plus importante aux pH plus faibles rencontrés à jeun). A noter que toutefois, des bioaccessibilités plus élevées ont été observées en présence de nourriture, y compris pour des contaminants inorganiques⁵.

Au cours du test, des échantillons sont prélevés après les différentes étapes de digestion mises en œuvre (sauf après la phase salivaire) afin d'évaluer une bioaccessibilité stomacale (ou gastrique) et une bioaccessibilité intestinale (ou gastro-intestinale).

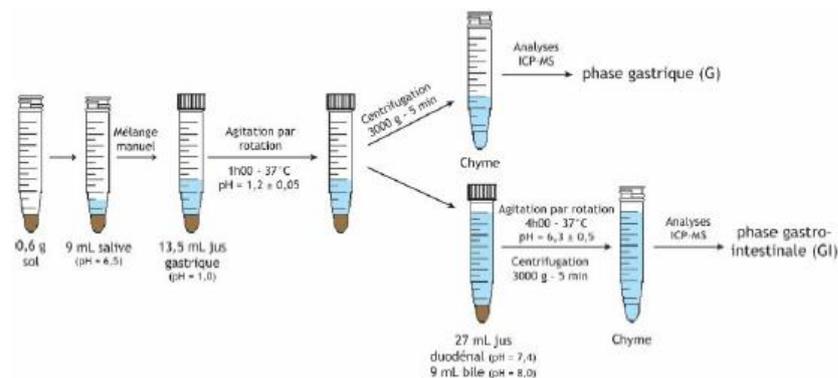


Figure 5 : Illustration schématique des étapes du test *in vitro* UBM (INERIS, 2021)

Les extraits ainsi obtenus sont analysés par ICP-AES. Les résultats issus des tests *in vitro* sont exprimés comme étant la fraction bioaccessible ou la bioaccessibilité en % selon l'équation :

$$FAB \text{ ou } Bioaccessibilité (\%) = \frac{[Elément]_{Bioaccessible}}{[Elément]_{Total}} \times 100$$

Avec :

$[Elément]_{bioaccessible}$: concentration en élément ou substance extraite après la phase stomacale ou intestinale

$[Elément]_{total}$: concentration en élément ou substance présente initialement dans le sol

³ test UBM normalisé pour Unified Bioaccessibility Method

⁴ ISO 17924 :2018 Qualité du sol — Évaluation de l'exposition humaine par ingestion de sol et de matériaux du sol — Mode opératoire pour l'estimation de la bioaccessibilité/biodisponibilité pour l'homme de métaux dans le sol

⁵ RECORD, Biodisponibilité et Bioaccessibilité des polluants dans le cas des sols pollués. Etat des connaissances et pistes de recherche, 2012, 259 p, n°10-0671/1A

4.2 Programme et stratégie d'investigations

| | |
|--|---|
| Date d'intervention | 16/12/2024 |
| Prestataire de forage Technique de forage | Tarière manuelle. |
| Investigations menées | <p>Cf. Tableau 3 et Figure 6</p> <p>Les sondages ont été suivis en continu par un collaborateur spécialisé de GINGER BURGEAP qui a effectué les prélèvements</p> <p>L'objectif des essais simplifiés de bioaccessibilité, réalisés en systématique sur chaque échantillon, est de consolider l'ordre de grandeur de la biodisponibilité du plomb.</p> <p>Un Test UBM est réalisé en parallèle sur un échantillon ponctuel pour confirmer, à l'aide d'une méthode normalisée, les résultats des essais simplifiés.</p> |
| Ecarts au programme prévisionnel | Sans objet. |
| Repli en fin de chantier | <p>Sondages rebouchés avec les déblais de forage.</p> <p>Réfection des surfaces : non concerné.</p> <p>Déchets de chantier : évacués en filières spécifique en fin de chantier.</p> |
| Laboratoire d'analyses | <p>JUNIA-ISA</p> <p>Afin de réaliser l'ensemble des analyses sur un même échantillon, l'analyse de la concentration en plomb total et les analyses de bioaccessibilité ont été réalisées par le laboratoire JUNIA-ISA.</p> <p>En accord avec la Ville de Ronchin, l'analyse plomb total ne sera donc pas COFRAC.</p> |

Tableau 3 : Investigations et analyses réalisées sur les sols

| Milieu reconnu | Investigations | | | | | | | Analyses laboratoire | |
|----------------|---|-------------------------------|---|-----|------------|----------|-----------------|---|----------------------|
| | Méthode | Localisation | Objectifs | Qté | Prof. (ml) | Nom | Mesures in situ | Mesure des concentrations totales en Pb puis prédiction des concentrations bio-accessibles via un test simplifié à l'HCl (ISO DIS 7303) | Test UBM (ISO 17924) |
| SOLS | Tarière manuelle – Echantillons moyens de surface | Groupe scolaire Albert Samain | Contrôle des sols de surface | 2 | 0,3 | AS3 | PID | 1 | 1 |
| | | | Contrôle des sols des potagers pleine terre | 1 | | AS4, AS5 | | 2 | - |

Chaque prélèvement a fait l'objet d'un séchage/tamissage avant la réalisation d'analyses. Seules les fractions fines <2 mm ont été analysées (fractions les plus représentatives de l'inhalation / ingestion).

Les propriétés chimiques des polluants recherchés, les méthodes analytiques, les limites de quantification et le descriptif du flaconnage utilisé figurent en **Annexe 2**.

Les paragraphes suivants présentent une description plus détaillée du programme analytique réalisé par le laboratoire JUNIA.

► Protocole appliqué par le laboratoire JUNIA

► Minéralisation à l'eau régale – mesure de la concentration pseudo-totale en métaux

A une prise d'essai de 0,3 g de terre sont ajoutés 4,5 mL d'HCl (37%) et 1,5 mL d'HNO₃ (70%).

Après agitation manuelle, les tubes sont mis à chauffer à 95°C pendant 1h30 dans un bloc chauffant.

Après refroidissement, le volume est ajusté à 25 mL avec de l'eau bidistillée puis la solution est filtrée à 0,45 µm sur une membrane en acétate de cellulose. Les concentrations en Pb extraites à l'eau régale ont été analysées en spectrométrie d'absorption atomique en mode flamme.

Les valeurs obtenues ont été corrigées avec l'humidité résiduelle afin d'exprimer les résultats en mg/kg de poids sec.

► Protocole simplifié de mesure de la bioaccessibilité orale des éléments métalliques

Une prise d'essai de 0,03 g de terre (tamisée à 250 µm sans avoir recours à un broyage mécanique) est ajoutée à 25 ml d'eau ultra-pure acidifiée à 0,65 % HCl dans des tubes en polyéthylène puis homogénéisée par ultrasons pendant 15 minutes.

La digestion est ensuite réalisée dans une enceinte thermostatée pendant 1 h à 37°C.

Après refroidissement, les échantillons digérés sont filtrés (filtre Millipore 0,45 µm) avant d'être analysés.

Pour assurer la qualité de la mesure, un blanc, un échantillon de référence et un duplicat ont également été réalisés (référence NIST 2710a).

Les concentrations extraites à l'HCl ont été envoyées et analysées par Wessling en ICP-MS.

► Protocole de mesure de la bioaccessibilité orale des éléments métalliques

Cette mesure est réalisée à partir d'une masse de 0,6 g de terre (< 250 µm). A cette masse est ajouté un volume de 9 mL de fluide salivaire. La suspension est homogénéisée manuellement puis 13,5 mL de fluide gastrique sont alors ajoutés à la suspension.

Après homogénéisation, le pH de la suspension est ajusté à 1,20 ± 0,05 par l'ajout d'HCl (37%). Après agitation pendant 1 h à 37°C, la phase gastrique est collectée par centrifugation de la suspension à 4500 g pendant 5 minutes.

Le surnageant est prélevé et acidifié (HNO₃ 70%) et la concentration en Pb mesurée représente la fraction bioaccessible dans la phase gastrique.

Le protocole décrit dans la norme prévoit de mesurer ensuite la fraction intestinale en ajoutant un fluide simulant le fluide digestif intestinal, c'est-à-dire 27 mL de solution duodénale et 9 mL de solution biliaire. Le pH de la suspension est ajusté à 6,3 ± 0,5 par ajouts de NaOH (10 M).

La suspension est ensuite homogénéisée pendant 4 h à 37°C, centrifugée à 4500 g pendant 5 minutes. Le surnageant obtenu est acidifié (HNO₃ 70%) et analysé en vue de déterminer les concentrations en éléments métalliques dans cette phase (gastro-intestinale).

Pour assurer la qualité de la mesure, un blanc, un échantillon de référence et un duplicat ont également été réalisés (référence NIST 2710a).

4.3 Observations et mesures de terrain

Les terrains recoupés en sondage ont été décrits avant échantillonnage :

- Succession lithologique ;
- Présence ou non de niveaux jugés suspects (traces de souillures, caractéristiques organoleptiques anormales (odeur, couleur, texture), présence de matériaux de type déchets, mâchefers, verre, bois...);
- Présence ou non de composés organiques volatils dans les gaz des sols (évaluée au niveau de chaque échantillon prélevé au moyen d'un détecteur à photo-ionisation (PID) régulièrement calibré).

Les échantillons ont ensuite été sélectionnés pour analyses chimiques en laboratoire (cf. § 4.4).

4.3.1 Succession lithologique

Au regard des observations réalisées au cours des investigations, les sols superficiels au droit de l'école maternelle Albert Samain correspondent à de la terre végétale.

Aucune venue d'eau n'a été identifiée lors des investigations.

4.3.2 Niveaux suspects et mesures PID

Les résultats des tests de terrain (mesures PID) sont tous inférieurs à 1 ppmV. L'intégralité des observations figure dans les fiches d'échantillonnage de sols rassemblées en **Annexe 3**.

Tableau 4 : Points de prélèvements réalisés

| Site | Adresse | Nom point | Coordonnées | | Projection | Photos |
|---------------------|------------|-----------|-------------|----------|------------|---|
| | | | x | y | | |
| Ecole Albert Samain | Rue Balzac | AS5 | 3.09469 | 50.59656 | WGS84 |  |
| | | AS4 | 3.09516 | 50.59668 | WGS84 |  |
| | | AS3 | 3.09545 | 50.59696 | WGS84 |  |



Figure 6 : Localisation des investigations réalisées – GINGER BURGEAP (décembre 2024)

4.4 Stratégie et mode opératoire d'échantillonnage

Après le levé de la coupe du sondage, le collaborateur de GINGER BURGEAP a procédé au prélèvement ponctuel des sols de surfaces compris entre la surface et 0,3 m de profondeur (horizon de terre végétale).

Une fois prélevés, les échantillons ont été conditionnés dans des bocaux d'une contenance de 370 ml.

L'ensemble des échantillons ont été soumis à analyses en laboratoire.

4.5 Conservation des échantillons

Après description, conditionnement et étiquetage, les échantillons de sol ont été stockés en glacière jusqu'à leur arrivée au laboratoire ou au réfrigérateur dans les locaux de GINGER BURGEAP.

4.6 Valeurs de référence pour les sols

Les concentrations dans les sols au droit de la zone d'étude ont été comparées en premier lieu aux concentrations du bruit de fond définies par la Ville de Lille.

Ces valeurs de comparaison sont présentées dans les premières colonnes des tableaux de présentation des résultats d'analyse.

| | |
|---|---|
| Métaux et métaux lourds sur sol brut | Concentrations inférieures au seuil de vigilance défini par le HCSP, à savoir : <ul style="list-style-type: none"> • Plomb : 100 mg/kg selon instruction du 21 septembre 2016. Pour le plomb, le Haut Conseil de Santé Publique (HCSP) mentionne une valeur de 300 mg (Pb)/kg sol, comme étant une valeur seuil entraînant un dépistage du saturnisme infantile. |
|---|---|

4.7 Résultats et interprétation des analyses sur les sols

Les résultats d'analyse sont synthétisés dans le **Tableau 5** : . Les bordereaux des analyses réalisées dans le cadre de ce diagnostic sont présentés en **Annexe 4**.

Les résultats d'analyses obtenus lors de la présente étude mettent en évidence :

- Des teneurs en plomb dans les sols de surfaces supérieures au seuil de vigilance HCSP mais conformes au seuil de dépistage sur l'ensemble des prélèvements (teneurs comprises entre 162,5 et 284,4 mg/kg MS).

Notons que ces teneurs restent inférieures aux teneurs détectées précédemment par GINGER BURGEAP (entre 360 et 450 mg/kg) ce qui est cohérent.

Le delta entre les teneurs mesurées lors des différentes campagnes peut s'expliquer par le fait que ce ne sont pas les mêmes fractions granulométriques qui ont été analysées (analyses par broyage pour aout 2024) ;

- Les bioaccessibilités calculées sont globalement du même ordre de grandeur (entre 141,7 et 249,7 mg/kg soit entre 85 et 87,8 %) ;
- Notons que la teneur de bioaccessibilité mesurée (Méthode UBM / plus fiable) est inférieure à celles calculées (69,5 %).

A titre indicatif, en considérant la bioaccessibilité mesurée, la biodisponibilité calculée est de 62,2%.

La cartographie des résultats obtenus est présentée en **Figure 7**.

Tableau 5 : Résultats d'analyses sur les sols

| Site | Référence | Bruit de fond Ville de Lille | HCSP Seuil de vigilance / Seuil de dépistage | Concentration en Plomb total (en mg/kg de poids sec) | Concentrations en Pb extraites - Test simplifié à l'HCl (en mg/kg) | | Bioaccessibilité orale de Pb prédite (BA) (HCl) | | Bioaccessibilité orale de Pb mesurée moyenne (BAc) (UBM) | | Biodisponibilité relative (RBD) de Pb calculée (UBM) |
|------|-----------|------------------------------|--|--|--|------------|---|-------|--|-------|--|
| | | mg/kg MS | mg/kg MS | | Moyenne | Ecart-type | en mg/kg de poids sec | en % | en mg/kg de poids sec | en % | en % |
| AS | AS3 | 100 | 100/300 | 284.4 | 268.6 | 4.5 | 249.7 | 87.8% | 197.6 | 69.5% | 62.2% |
| | AS4 | | | 162.5 | 153.3 | 1.5 | 141.7 | 87.5% | | | |
| | AS5 | | | 241.5 | 221.1 | 13.8 | 205.1 | 85.0% | | | |

| |
|--|
| Concentration supérieure au bruit de fond et seuil de vigilance du HCSP |
| Concentration supérieure au seuil de dépistage HCSP |



Figure 7 : Cartographie des teneurs en plomb mesurées dans les sols

5. Synthèse des anomalies dans les sols et du schéma conceptuel

| | | | |
|--|---|---|--|
| Usage pris en compte | Ecole maternelle Albert Samain (espaces verts) | | |
| Géologie et hydrogéologie | <p>De la terre végétale a été retrouvée entre 0 et 0,1 m de profondeur lors des investigations.</p> <p>La ville de Ronchin est située sur les limons des plateaux puis sur la Craie. La Craie peut être retrouvée à faible profondeur (2 m).</p> <p>La nappe de la craie est localisée vers 10 m de profondeur.</p> | | |
| Anomalies identifiées | <p>Les investigations réalisées ont mis en évidence la présence de teneurs anormales en métaux (cuivre, cadmium, plomb et zinc) dans les sols superficiels (0-0,1 m) de l'école maternelle Albert Samain.</p> <p>Les teneurs en plomb mesurées dépassent les valeurs seuils de vigilance et de dépistage du HCSP.</p> | | |
| Cibles | Usagers des espaces verts (adultes enseignants et enfants en maternelle) | | |
| Voies de transfert | <p>Les espaces sont non recouverts. Les voies de transferts à considérer sur l'ensemble des espaces verts sont le contact direct avec des sols pollués et l'envol de poussières contaminées.</p> <p>En l'absence de composés volatils identifiés dans les sols, la volatilisation des composés volatils n'a pas été retenue.</p> <p>En raison de la profondeur de la nappe et de la localisation des composés, en surface, le transfert vers les eaux souterraines n'est pas considéré.</p> | | |
| Voies d'exposition | | Espaces vert | RAISON DE LA SELECTION |
| | VOIES D'EXPOSITION | Usagers adultes et enfants | |
| | Inhalation de polluant sous forme gazeuse | Non | Du fait de l'absence de composés volatils (hydrocarbures volatils, BTEX, COHV ou naphthalène) dans les sols. |
| | Inhalation de polluant adsorbé sur les poussières du sol | Oui | Les sols de surface non recouverts présentent des anomalies en métaux (cuivre, cadmium, plomb, zinc) |
| | Inhalation de vapeur d'eau polluée* | Non | Absence de canalisation AEP |
| | Ingestion directe de sol et/ou de poussières | Oui | Les sols de surface non recouverts présentent des anomalies en métaux (cuivre, cadmium, plomb, zinc) |
| | Ingestion d'aliments d'origine végétale cultivés sur ou à proximité du site | Non | Absence d'usage. |
| | Ingestion d'aliments d'origine animale à partir d'animaux élevés ou pêchés à proximité du site | Non | Absence d'élevage. |
| | Ingestion d'eau contaminée | Non | Absence d'usage. |
| | Absorption cutanée de sols et/ou de poussières | Non | Absence de relations dose-réponse dans la littérature scientifique** |
| Absorption cutanée d'eau contaminée (bain, douche, baignade en gravière) | Non | Absence de relations dose-réponse dans la littérature scientifique** | |
| Absorption cutanée de polluant sous forme gazeuse | Non | Voie d'exposition négligeable devant la voie inhalation de vapeur. Absence de relations dose-réponse dans la littérature scientifique | |

* voie d'exposition considérée par la comparaison entre les concentrations dans les eaux utilisées et les concentrations maximales admissibles dans les eaux potables (voir paragraphe des investigations sur les eaux souterraines).

** Les expositions par contact cutané avec les sols ne sont pas considérées dans la présente étude compte tenu de l'absence de valeur toxicologique de référence pour cette voie d'exposition. En effet, comme cela est préconisé dans la note d'information N°DGS/EA1/DGPR/2014/307 du 31 octobre 2014, en l'absence de connaissance des effets potentiels des substances étudiées par voie cutanée, la transposition de la valeur toxicologique établie par voie orale n'est pas effectuée

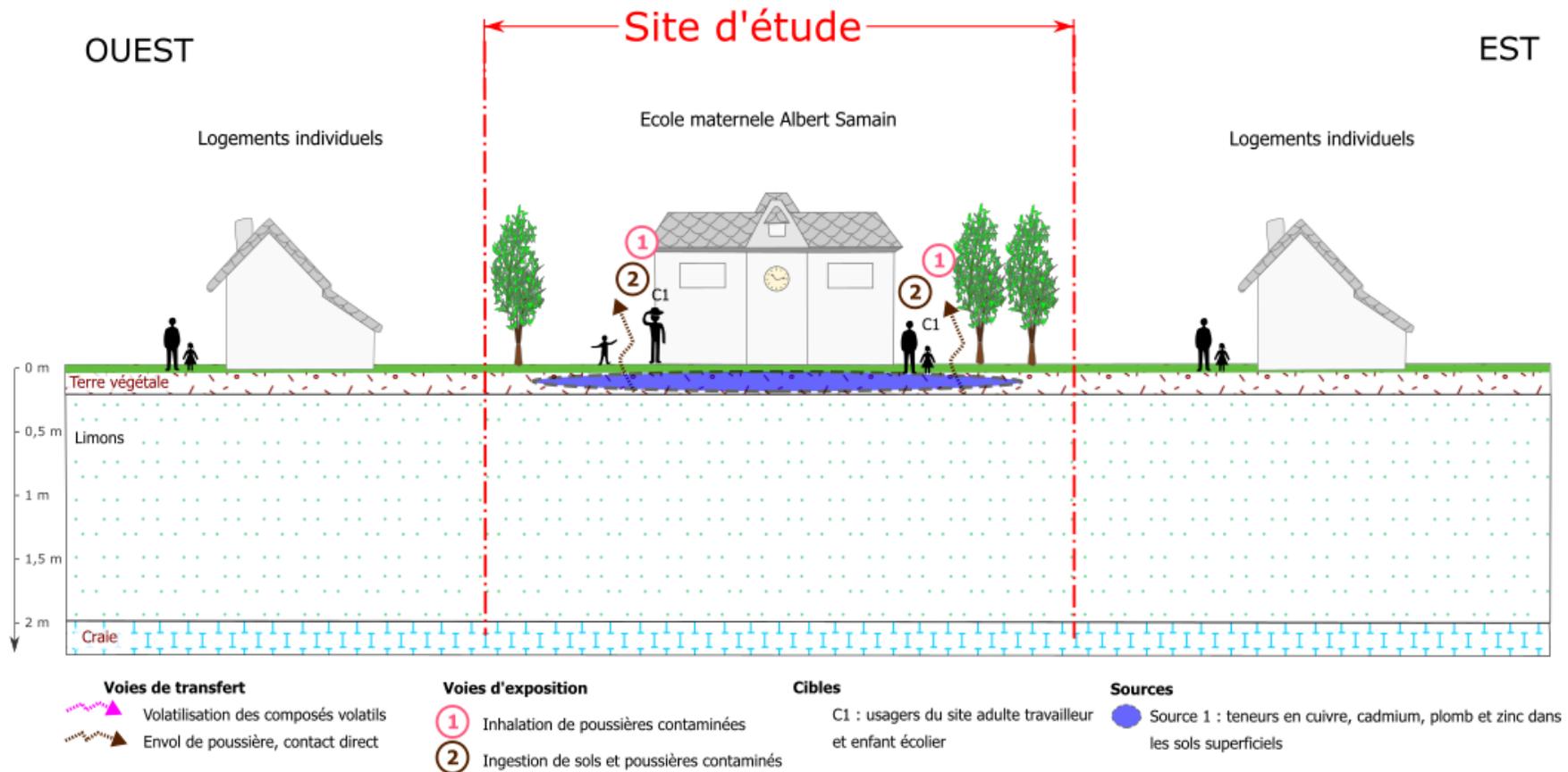


Figure 8 : Schéma conceptuel (usage actuel)

6. Evaluation Quantitative des Risques Sanitaires (EQRS)

L'Evaluation Quantitative des Risques Sanitaire (EQRS) est mise à jour avec les nouvelles données acquises en 2025 concernant la bioaccessibilité du plomb.

6.1 Contexte et méthodologie

La Ville de Ronchin souhaite vérifier la compatibilité entre l'état des terrains et l'usage réel de l'école maternelle Albert Samain.

L'étude quantitative des risques sanitaires (EQRS) consiste donc à vérifier que l'état des milieux en l'état actuel des sols est compatible avec les usages actuels (espaces verts).

La méthodologie appliquée est conduite en 4 étapes :

- Étape 1 : Identification des dangers ;
- Étape 2 : Caractérisation des relations dose-réponse ;
- Étape 3 : Estimation des expositions ;
- Étape 4 : Caractérisation des risques.

Cette méthodologie nécessite l'étape préalable de choix justifié et raisonné des composés et concentrations à prendre en compte.

6.2 Composés et concentrations retenues dans les différents milieux

La synthèse des investigations sur le site, combinée aux scénarios d'expositions retenus, permet de réaliser la sélection des composés à prendre en compte pour les milieux d'exposition considérés. Il ressort :

- Concernant les métaux, seuls ceux détectés dans les sols de surfaces en teneurs supérieures aux valeurs de bruit de fond seront retenus (plomb, cadmium, cuivre, zinc) ;
- Les concentrations maximales dans les sols de surface 0-0,3m détectées lors de la campagne de prélèvement du 07/08/2024 et du 16/12/2024 sont retenues pour les voies d'ingestion de sols de surface contaminés et d'inhalation de poussières contaminées, excepté pour le plomb ;
- Pour le plomb, on retient dans le calcul principal les teneurs maximales détectées sur les fractions granulométriques fines (<2 mm) plus représentative des fractions réellement ingérées / inhalées, soit les teneurs des échantillons prélevés le 16/12/2024. Dans une approche majorante c'est la teneur maximale qui est retenue.

La prise en compte des teneurs maximales des campagnes aout et décembre 2024 sera étudiée en incertitude.

- Pour les HCT dans les sols de surface, nous prendrons la répartition détaillée du sondage AS2 présentant les teneurs maximales en hydrocarbures dans les sols de surface, en considérant 100% d'hydrocarbures aliphatiques, puis après test en 100% d'hydrocarbures aromatiques, nous garderons la valeur maximisant les risques ;
- Pour les PCB, nous considérons la concentration maximale observée dans les sols de surface multipliée par 2 et associée à l'Arochlor 1254 (note de l'AFSSA :7 PCB représentent 50% des PCB présents dans le corps et les aliments).

Tableau 6 : Concentrations prises en compte dans les sols

| Substances | Concentrations à la source retenues en extérieur | |
|---|--|---|
| | Sols de surface (mg/kg) | Investigations correspondantes et critères de sélection |
| METAUX ET METALLOIDES | | |
| Cuivre (Cu) | 130 | AS1 (0-0,1m) |
| Zinc (Zn) | 600 | AS1 (0-0,1m) |
| Plomb (Pb) | 284,4 | AS3 (0-0,3m) |
| Cadmium (Cd) | 1,2 | AS2 (0-0,1m) |
| HYDROCARBURES TOTAUX | | |
| HCT aliphatiques C ₁₆ -C ₃₅ | 46,6 | AS2 (0-0,1m) |
| HCT aliphatiques <C ₃₅ | 2,5 | AS1 (0-0,1m) |
| HYDROCARBURES AROMATIQUES POLYCYCLIQUE | | |
| Acénaphthylène | 0,071 | AS1 (0-0,1m) |
| Phénanthrène | 0,23 | AS2 (0-0,1m) |
| Fluoranthène | 0,36 | AS2 (0-0,1m) |
| Pyrène | 0,32 | AS2 (0-0,1m) |
| Benzo(a)anthracène | 0,15 | AS2 (0-0,1m) |
| Chrysène | 0,2 | AS2 (0-0,1m) |
| Benzo(b)fluoranthène | 0,25 | AS2 (0-0,1m) |
| Benzo(k)fluoranthène | 0,1 | AS2 (0-0,1m) |
| Benzo(a)pyrène | 0,17 | AS2 (0-0,1m) |
| Benzo(g,h,i) pérylène | 0,14 | AS2 (0-0,1m) |
| Indéno(1,2,3-c,d)pyrène | 0,21 | AS2 (0-0,1m) |
| PCB | | |
| PCB (associés à l'Aroclor 1254) | 0,186 | AS1 (0-0,1m) x3 |

6.3 Identification des dangers

En termes sanitaires, un danger désigne tout effet toxique, c'est-à-dire un dysfonctionnement cellulaire ou organique lié à l'interaction entre un organisme vivant et un agent chimique, physique ou biologique. La toxicité d'un composé dépend de la durée et de la voie d'exposition de l'organisme humain. Différents effets toxiques peuvent être considérés.

Pour les substances prises en compte dans le cadre de cette évaluation, les effets toxiques ont été collectés et notamment les effets cancérogènes (apparition de tumeurs), les effets mutagènes (altération du patrimoine génétique) ainsi que les effets sur la reproduction (reprotoxicité).

En ce qui concerne le potentiel cancérogène, différents organismes internationaux (l'OMS, l'Union Européenne et l'US-EPA) distinguent différentes catégories ou classes. Seule la classification de l'Union Européenne a un caractère réglementaire. C'est également la seule qui classe les substances chimiques quant à leur caractère mutagène et reprotoxique.

L'ensemble des voies d'exposition a été traité en effets chroniques, correspondant à de longues durées d'exposition (supérieures à 7 ans pour l'US-EPA et supérieures à 1 an pour l'ATSDR).

L'ensemble des informations concernant le potentiel toxique des substances retenues est reporté en **Annexe 5**.

6.4 Caractérisation des Relation dose-réponse

L'évaluation quantitative de la relation entre la dose (ou la concentration) et l'incidence de l'effet néfaste permet d'élaborer la **Valeur Toxicologique de Référence (VTR)**. Des VTR sont établies par diverses instances internationales ou nationales⁶ à partir de l'analyse des données toxicologiques expérimentales chez l'animal et/ou des données épidémiologiques. Ces VTR sont une appellation générique regroupant tous les types d'indices toxicologiques établissant une relation quantitative entre une dose et un effet (toxiques à seuil de dose) ou entre une dose et une probabilité d'effet (toxiques sans seuil de dose).

Selon les mécanismes toxicologiques en jeu, deux grands types d'effets toxiques peuvent être distingués :

- Les effets à seuil pour lesquels il existe un seuil d'exposition en dessous duquel l'effet néfaste n'est pas susceptible de se manifester,
- Les effets sans seuil pour lesquels la probabilité de survenue de l'effet néfaste croît avec l'augmentation de la dose.

La note d'information **N° DGS/EA1/DGPR/2014/307 du 31 octobre 2014** relative aux modalités de sélection des substances chimiques et de choix des valeurs toxicologiques de référence pour mener les évaluations des risques sanitaires dans le cadre des études d'impact et de la gestion des sites et sols pollués est prise en compte pour la sélection des VTR.

Les valeurs toxicologiques de référence sont synthétisées dans le **Tableau 7**. Les relations dose-réponse des composés retenus sont détaillées en **Annexe 6** et discutées dans les incertitudes au **paragraphe 6.7**.

⁶ IRIS US-EPA (Integrated Risk Information System ; US Environmental Protection Agency)

ATSDR Toxicological Profiles (US Agency for Toxic Substances and Disease Registry)

OMS (Organisation Mondiale de la Santé)

Santé canada (Ministère Fédéral de la Santé – Canada),

RIVM (Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu – Institut National de Santé Publique et de l'Environnement – Pays Bas),

OEHHA (Office of Environmental Health Hazard Assessment of California – Etats-Unis)

En France, l'ANSES (Agence Nationale de Sécurité Sanitaire de l'Alimentation, de l'Environnement, du Travail) définit les VTR.

Tableau 7 : Valeurs toxicologiques de référence retenues

| Substance | CAS N° | Effets sans seuil | | | | | | Effets à seuil | | | | | | | |
|--|-------------|-------------------------|--|-------------------------------------|------------------------------------|----------------------|-------------------------------------|----------------|--------------------|---|------|----------------------|---------------------------|----------------|------|
| | | ERUo | TYPE CANCER | SOURCE | ERUi | TYPE CANCER | SOURCE | VTRo | ORGANE | SOURCE | SF | VTRI | ORGANE | SOURCE | SF |
| | | (mg/kg/j) ⁻¹ | | | (µg/m ³) ⁻¹ | | | (mg/kg/j) | | | | (µg/m ³) | | | |
| METEAUX ET METALLOIDES | | | | | | | | | | | | | | | |
| Cadmium (Cd) | multiple | - | - | - | - | - | - | 0.00035 | système osseux | Anses, 2019 | - | 0.45 | rein | Anses, 2012 | - |
| Cuivre (Cu) | multiple | - | - | - | - | - | - | 0.15 | syst.digest. | EFSA, 2018 | 100 | 1 | syst.Resp. et immunitaire | RIVM, 2001 | 600 |
| Plomb (Pb) | multiple | 8.5E-03 | rein | OEHHA, 2002 retenu par INERIS, 2013 | 1.2E-05 | rein | OEHHA, 2002 retenu par INERIS, 2013 | 0.00063 | plombémie | Anses, 2013 | - | - | - | - | - |
| Zinc (Zn) | multiple | - | - | - | - | - | - | 0.3 | sang | US-EPA, 2005 | 3 | - | - | - | - |
| HYDROCARBURES AROMATIQUES POLYCYCLIQUES | | | | | | | | | | | | | | | |
| Acenaphylène | 208-96-8 | 1.0E-03 | " | - | 6.0E-07 | application TEF | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Phénanthrène | 85-01-8 | 1.0E-03 | " | - | 6.0E-07 | " | - | 0.04 | syst.hepatique | RIVM, 2000 | 3000 | - | - | - | - |
| Fluoranthène | 206-44-0 | 1.0E-03 | " | - | 6.0E-07 | " | - | 0.04 | syst.hepatique | US-EPA, 1993 | 3000 | - | - | - | - |
| Pyrène | 129-00-0 | 1.0E-03 | " | - | 6.0E-07 | " | - | 0.03 | rein | US-EPA, 1989 | 3000 | - | - | - | - |
| Benzo(a)anthracène | 56-55-3 | 1.0E-01 | " | - | 6.0E-05 | " | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Chrysène | 218-01-9 | 1.0E-02 | " | - | 6.0E-06 | " | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| benzo(b)fluoranthène | 205-99-2 | 1.0E-01 | " | - | 6.0E-05 | " | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| benzo(k)fluoranthène | 207-08-9 | 1.0E-01 | " | - | 6.0E-05 | " | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Benzo(a)pyrène | 50-32-8 | 1.0E+00 | tractus respiratoire et tumeur gastrointestinale | US-EPA2017 | 6.0E-04 | tractus respiratoire | US-EPA 2017 | 0.0003 | developpement | US-EPA 2017 | 300 | 0.002 | developpement | US-EPA 2017 | 3000 |
| benzo(g,h,i) pérylène | 191-24-2 | 1.0E-02 | " | - | 6.0E-06 | " | - | 0.03 | ,néphrotoxique | RIVM-2001 (TDI), retenu par INERIS 2011 | 1000 | - | - | - | - |
| indéno(1,2,3-c,d)pyrène | 193-39-5 | 1.0E-01 | " | - | 6.0E-05 | " | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| HYDROCARBURES SUIVANT LES TPH | | | | | | | | | | | | | | | |
| Aliphatic nC>16-nC35 | non adéquat | - | - | - | - | - | - | 2 | tumeurs hépatiques | TPHCWG & MADEP | 100 | - | - | TPHCWG & MADEP | - |
| Aliphatic nC>35 | non adéquat | - | - | - | - | - | - | 20 | tumeurs hépatiques | TPHCWG & MADEP | 100 | - | - | TPHCWG & MADEP | - |
| POLLUANTS ORGANIQUES PERSISTANTS | | | | | | | | | | | | | | | |
| PCB (associés a l'aroclor 1254) | non adéquat | 2 | hépatique | US-EPA, 1997 | 5.7E-04 | hépatique | US-EPA 1997 | 0.00002 | sys immunitaire | US-EPA, 1996 | 300 | 1 | marginiaux | RIVM, 2000 | 300 |

6.5 Estimation des expositions

6.5.1 Concentrations dans les milieux d'exposition

► Hypothèses retenues – paramètres de transfert

Les hypothèses retenues pour les paramètres de transfert sont rappelées dans le **Tableau 8** et en **Annexe 7**.

Tableau 8 : Paramètres retenus liés au sol

| Paramètre de transfert | Unités | Valeurs | Sources de données |
|---|-------------------|----------|--------------------|
| TSPe=Concentration de particules en suspension dans l'air extérieur | kg/m ³ | 7E-08 | HESP |
| TSPi=Concentration de particules en suspension dans l'air intérieur | kg/m ³ | 5,25E-08 | HESP |
| frse = fraction de sol dans les poussières en extérieur | (-) | 0,5 | HESP |
| frsi = fraction de sol dans les poussières en intérieur | (-) | 0,8 | HESP |

► Concentrations dans les poussières inhalables (extérieur)

Le tableau suivant présente les concentrations estimées en poussières inhalables.

L'ensemble des équations utilisées pour l'évaluation des concentrations dans les poussières inhalables est présenté en **Annexe 7**.

Les teneurs sous forme particulaire calculées au droit de l'école maternelle Albert Samain sont inférieures aux valeurs guides ou réglementaires.

Tableau 9 : Concentrations calculées dans poussières

| Substances | AIR EXTERIEUR | | | Concentrations calculées dans l'air extérieur |
|--|---|---|----------------------|--|
| | (µg/m ³) | (µg/m ³) | (µg/m ³) | Sans recouvrement |
| | Bruit de fond (source OQAI (P90) ou INERIS,2009 (urbain)) | Valeurs réglementaires - décret n° 2010-1250 (valeur limite/valeur cible) | Valeurs guide OMS | Adulte et enfants |
| | | | | Concentration de polluant sous forme particulaire calculée dans l'air extérieur (µg/m ³) |
| METAUX ET METALLOIDES | | | | |
| Cadmium (Cd) | 0.0015 | 0.005 | 0.005 | 4.20E-05 |
| Cuivre (Cu) | 0.0279 | - | - | 4.55E-03 |
| Plomb (Pb) | 0.055 | 0.5 | 0.5 | 9.95E-03 |
| Zinc (Zn) | 0.0718 | - | - | 2.10E-02 |
| HYDROCARBURES AROMATIQUES POLYCYCLIQUES | | | | |
| Acenaphthylène | - | - | - | 2.49E-06 |
| Phénanthrène | 0.0082 | - | - | 8.05E-06 |
| Fluoranthène | 0.003 | - | - | 1.26E-05 |
| Pyrène | 0.0025 | - | - | 1.12E-05 |
| Benzo(a)anthracène | 0.0032 | - | - | 5.25E-06 |
| Chrysène | 0.004 | - | - | 7.00E-06 |
| benzo(b)fluoranthène | 0.0043 | - | - | 8.75E-06 |
| benzo(k)fluoranthène | 0.0019 | - | - | 3.50E-06 |
| Benzo(a)pyrène | 0.00452 | 0.001 | 0.00012 | 5.95E-06 |
| benzo(g,h,i) pérylène | 0.0049 | - | - | 4.90E-06 |
| indéno(1,2,3-c,d)pyrène | 0.0027 | - | - | 7.35E-06 |
| HYDROCARBURES SUIVANT LES TPH | | | | |
| Aliphatic nC>16-nC35 | - | - | - | 1.63E-03 |
| Aliphatic nC>35 | - | - | - | 8.75E-05 |
| POLLUANTS ORGANIQUES PERSISTANTS | | | | |
| PCB (associés a l'aroclor 1254) | - | - | - | 9.77E-06 |

6.5.2 Estimation des expositions

6.5.2.1 Exposition par inhalation

Le calcul de la concentration moyenne inhalée est réalisé avec l'équation générique suivante (guide EDR du Ministère en charge de l'environnement/BRGM/INERIS, version 2000) :

$$CI_j = [C_j \times t_j \times T \times F / T_m]$$

avec :

- CI_j : concentration moyenne inhalée du composé j (en mg/m³).
- C_j : concentration du composé j dans l'air inhalé (mg/m³).
- T : durée d'exposition (années).
- F : fréquence d'exposition : nombre de jours d'exposition par an (jours/an).
- t_j : fraction du temps d'exposition à la concentration C_j pendant une journée (-)
- T_m : période de temps sur laquelle l'exposition est moyennée (jours).

Les concentrations moyennes inhalées sont calculées à partir des concentrations dans poussières présentées dans le **Tableau 9**.

Le détail des calculs est donné en **Annexe 9**.

6.5.2.2 Exposition par ingestion

Les quantités de polluant administrées, exprimées en dose journalière d'exposition, sont définies par l'équation générique suivante (guide EDR Ministère en charge de l'environnement/BRGM/INERIS, 2000) :

$$DJE_{ij} = \frac{C_i * Q_j * T * F}{P * T_m}$$

avec :

- DJE_{ij} : dose journalière d'exposition liée à une exposition au milieu i par la voie orale (en mg/kg/j)
- C_i : concentration d'exposition relative au milieu i (en mg/kg ou mg/l)
- Q_j : taux d'ingestion par la voie orale (en kg/j ou l/j)
- T : durée d'exposition (années)
- F : fréquence d'exposition : nombre de jours d'exposition par an (jours/an)
- P : poids corporel de la cible (kg)
- T_m : période de temps sur laquelle l'exposition est moyennée (jours)

Les doses moyennes journalières induites par l'ingestion sont calculées à partir des concentrations dans les sols de surface présentées dans le **Tableau 6**.

Le poids corporel moyen d'un adulte est fixé à 60 kg pour les adultes à partir de 17 ans (INSERM et OMS). Cette valeur est cohérente avec la moyenne présentée dans le document de synthèse de l'INVS sur les variables humaines d'exposition (2012¹) sur la base de l'enquête décennale santé 2002-2003 menée par l'INSEE, de 61 kg.

Pour les enfants d'âges compris entre 2-6 ans (enfants maternelle), nous retiendrons des valeurs issues de ce même document pour cette tranche d'âge, soit 10 kg.

Le détail des autres paramètres est donné en **Annexe 8**.

Le détail des calculs est donné en **Annexe 9**.

► Modalité d'intégration de la bioaccessibilité dans l'évaluation des risques sanitaires

L'utilisation de la biodisponibilité orale absolue en évaluation de risque imposerait que les VTR soient elles-mêmes construites à partir de doses absorbées (ou internes). Or les VTR sont établies principalement sur la base de doses externes, ce qui a pour conséquence que l'utilisation de la notion de biodisponibilité absolue est actuellement impossible. Néanmoins, il est envisageable d'utiliser un facteur de biodisponibilité relative (BDrel ou RBD), lequel permet de quantifier la différence de biodisponibilité d'une substance entre une matrice « terre » et la matrice de référence (fondant la VTR) utilisé pour le calcul de risque.

Dans le cas présent, la biodisponibilité relative (RBD) peut être calculée ainsi selon l'équation suivante issue des corrélations in vivo/in vitro ayant permis la validation du test UBM :

$$RBD_{Pb\ G} = (0,92 \times BAc_{Pb\ G}) - 1,69$$

- RBD : biodisponibilité relative de Pb dans la phase gastrique (G) (exprimée en %)
- BAC : bioaccessibilité absolue de Pb dans la phase G dans le sol (exprimée en %)

¹ Demeureaux C, Zeghnoun A. Synthèse des travaux du département santé environnement de l'institut de veille sanitaire sur les variables humaines d'exposition. Saint Maurice : Institut de veille sanitaire ; 2012. 28p.

La biodisponibilité relative utilisée dans les calculs de risque est 62,2 %, soit la RBD calculée par le laboratoire JUNIA à partir de bioaccessibilité UBM.

Le facteur de biodisponibilité relative peut donc être utilisé pour le calcul de la dose d'exposition ajustée ($DJE_{ajustée}$) :

$$DJE_{ajustée} = DJE \times RBD$$

Initialement il était retenu pour le plomb, l'utilisation de la bioaccessibilité avec un facteur d'ajustement de 2 pour tenir compte d'un part de la fraction absorbée du plomb qui est comprise entre 20 à 80% chez l'enfant selon son âge (80% retenu dans le calcul) et de l'autre de la biodisponibilité absolue de plomb dans la matrice de référence (celle de l'étude ayant servi à établir la VTR) qui peut être estimée à 40% en moyenne (fraction absorbée = fraction biodisponible du fait d'une absence de métabolisation du plomb) (INERIS, 2020).

Conformément aux résultats du groupe de travail « Bioaccessibilité des métaux/métalloïdes dans les sols » piloté par l'Ineris à la demande du MTES et aux futures recommandations de son guide pratique sur la biodisponibilité du plomb à paraître au 1^{er} semestre 2025, la formule de la $DJE_{ajustée}$ selon la formule évoquée ci-dessus sera considérée.

Pour la suite des calculs de risques, c'est la DJE ajustée qui est prise en compte, sur la base des résultats de biodisponibilité calculé depuis les résultats des essais UMB, sans facteur d'ajustement.

Conformément aux résultats du groupe de travail sur la bioaccessibilité des métaux/métalloïdes, la bioaccessibilité retenue est celle gastrique (et non la bioaccessibilité maximale entre celle gastrique et gastro-intestinale comme initialement recommandé par le rapport INVS-Ineris (2012)) car elle est considérée comme la plus représentative.

L'utilisation d'une DJE ajustée sur la base des résultats simplifiés HCl sera prise en compte en analyse des incertitudes.

6.5.2.3 Budget espace-temps (BET)

Le budget espace-temps des cibles considérées est présenté dans le **Tableau 10**.

Tableau 10 : Budgets espace/temps retenus

| Scénario | Cibles | | Période de temps sur laquelle l'exposition est moyennée |
|--|---|--|---|
| | Adultes travailleurs (enseignants) | Enfants maternelle | |
| Ecole maternelle Albert Samain Espaces verts | T = 42 ans 176 jours par an 5.0E-05 kg/j de de sols et poussières ingérées en extérieur | T = 4 ans 176 jours par an 9,1E-05 kg/j de de sols et poussières ingérées en extérieur | - 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 cancérigènes quelle que soit la cible considérée - T (correspondant à durée d'exposition) pour les effets toxiques non cancérigènes quelle que soit la cible considérée |

Les données utilisées sont issues de la synthèse des travaux du département santé environnement de l'institut de veille sanitaire sur les variables humaines d'exposition¹ d'une part, de l'Exposure Factor Handbook (US-EPA, EFH, 1997 et 2001) d'autre part, de la réglementation du travail en France et du BRGM dans le cadre des diagnostics de la pollution du milieu souterrain sur les « Établissements sensibles » pour les écoles.

Pour les durées d'exposition dans le contexte du travail, le cas le plus défavorable a été considéré pour les adultes qui travailleraient pendant 42 ans au même endroit (correspondant à la durée totale de la période de travail) ; cependant la variabilité de cette durée d'exposition est importante. Les durées de 220 jours/an correspondent aux durées « classiques » du travail en France. Cette durée est très majorante pour ce scénario. Pour le contexte travailleur enseignant, la fréquence de travail de 176 jours/an dont 4h/jour en extérieur a été calquée sur celle des enfants (scénario réaliste).

Concernant les taux d'ingestion de sols, pour les adultes, aucune donnée n'étant disponible dans le document de l'INVS, nous retiendrons la valeur sécuritaire couramment utilisée dans les études françaises et d'autres pays de **50 mg/jour** pour les adultes sans travail du sol.

Pour les enfants, nous nous baserons sur les travaux de synthèse de l'INVS sur les variables humaines d'exposition (2012), basés pour ce paramètre sur l'étude de Stanek et al. (2001), qui donne un percentile 95 de **91 mg/jour**.

¹ Demeureaux C, Zeghnoun A. Synthèse des travaux du département santé environnement de l'institut de veille sanitaire sur les variables humaines d'exposition. Saint Maurice : Institut de veille sanitaire ; 2012. 28p.

6.6 Quantification des risques sanitaires

6.6.1 Méthodologie

6.6.1.1 Estimation du risque pour les effets toxiques sans seuil

Pour les effets toxiques sans seuil, et pour des faibles expositions, l'excès de risque individuel (ERI) est calculé de la façon suivante :

$$\text{ERI (inhalation)} = \text{CI} \times \text{ERU}_i$$

$$\text{ERI (ingestion)} = \text{DJE} \times \text{ERU}_o$$

Les ERI s'expriment sous la forme mathématique 10^{-n} . Par exemple, un excès de risque de 10^{-5} présente la probabilité supplémentaire, par rapport à une personne non exposée, de développer un cancer pour 100 000 personnes exposées durant la vie entière.

Pour chaque scénario d'exposition, un ERI global est ensuite calculé en faisant :

- Pour chaque composé, la somme des risques liés à chacune des voies d'exposition,
- La somme des risques liés à chacun des composés cancérogènes.

Il n'existe pas de niveau d'excès de risque individuel universellement acceptable. Les documents du ministère en charge de l'environnement de février 2007, confirmés par ceux de 2017, relatifs aux sites et sols pollués et aux modalités de gestion et de réaménagement des sites pollués, considèrent que le niveau de risque « usuellement [retenue] au niveau international par les organismes en charge de la protection de la santé », de 10^{-5} est acceptable.

En cas d'exposition conjointe à plusieurs agents dangereux, l'Environmental Protection Agency des États-Unis (US-EPA) recommande de sommer l'ensemble des excès de risque individuels (ERI), quels que soient le type de cancer et l'organe touché, de manière à apprécier le risque cancérogène global qui pèse sur la population exposée.

6.6.1.2 Estimation du risque pour les effets toxiques à seuil

Pour les effets toxiques à seuil, un quotient de danger (QD) est défini pour chaque voie d'exposition de la manière suivante :

$$QD_{i,INH} = \frac{CI_{i,INH}}{RfCi}$$

$$QD_{i,ING} = \frac{DJE_{i,S}}{RfDi}$$

Un QD inférieur ou égal à 1 signifie que l'exposition de la population n'atteint pas le seuil de dose à partir duquel peuvent apparaître des effets indésirables pour la santé humaine. A l'inverse, un ratio supérieur à 1 signifie que l'effet toxique peut se déclarer dans la population, sans qu'il soit possible d'estimer la probabilité de survenue de cet événement.

En l'absence de doctrine unique sur l'additivité des risques et compte tenu de la méconnaissance à l'heure actuelle des mécanismes d'action pour la majorité des substances, nous procéderons à l'additivité des quotients de danger en **premier niveau d'approche**.

6.6.2 Quantification des risques sanitaires résiduels au droit du site

Les quotients de danger et excès de risques individuels liés aux différentes expositions ont été calculés à partir des valeurs toxicologiques et des niveaux d'exposition estimés au paragraphe précédent. Ils sont présentés dans le **Tableau 6** et le **Tableau 7**.

La méthodologie adoptée est celle préconisée par les circulaires ministérielles de février 2007 reprise dans les textes d'avril 2017. L'évaluation du risque nécessite la prise en compte simultanée d'expositions par différentes voies et concerne l'ensemble des substances pour lesquelles on considérera ici l'additivité des risques.

Le détail du calcul est donné en **Annexe 9**.

Tableau 11 : Synthèse des QD et ERI – Ecole maternelle Albert Samain

| | Effets toxiques sans seuil Excès de risques individuels (ERI) | | | Effets toxiques à seuil cancérigènes Quotient de danger spécifique (QD) | | | Effets toxiques à seuil non cancérigènes Quotient de danger (QD) | | |
|---|--|----------------------|------------------------------|--|----------------------|------------------------------|---|----------------------|------------------------------|
| | Adulte Travailleur | Enfant maternelle | Composés tirant le risque | Adulte Travailleur | Enfant maternelle | Composés tirant le risque | Adulte Travailleur | Enfant maternelle | Composés tirant le risque |
| INHALATION de poussières (extérieur) | 1.40E-08 | 6.69E-10 | Plomb (Pb) | 8.44E-06 | 8.44E-06 | Cadmium (Cd) | 4.59E-04 | 4.59E-04 | Cuivre (Cu) |
| INGESTION de sol et poussières (extérieur) | 3.78E-07 | 5.32E-07 | Plomb (Pb) | - | - | non calculé | 8.82E-02 | 1.30E+00 | Plomb (Pb) |
| TOTAL | 3.92E-07 | 5.32E-07 | | 8.44E-06 | 8.44E-06 | | 8.86E-02 | 1.30E+00 | |

Risques non significatifs

Risques significatifs

Dans le cadre de la mission qui nous a été confiée par la Ville de Ronchin, avec les conditions d'études retenues, et en l'état actuel des connaissances scientifiques, les niveaux de risques estimés sont supérieurs aux critères d'acceptabilité tels que définis par la politique nationale de gestion des sites pollués pour les hypothèses considérées, en particulier pour les enfants présents dans l'école et vis-à-vis de l'exposition à l'ingestion de sols contaminés au plomb.

6.7 Analyse des incertitudes

L'analyse des incertitudes d'une évaluation des risques et la sensibilité des paramètres retenus pour cette évaluation est une partie intégrante d'un calcul de risque sanitaire.

Afin de ne pas alourdir cette analyse les paramètres clés de l'évaluation réalisée sont ici discutés, ainsi que leurs incidences sur les résultats de l'évaluation. Ces paramètres clés sont dépendants des scénarios d'exposition et des substances retenues.

Plusieurs facteurs engendrent des incertitudes sur les risques évalués. Pour la majorité des facteurs engendrant ces incertitudes, l'approche adoptée a été « réaliste » pour les durées d'exposition et bioaccessibilité du plomb, et « sécuritaire » pour les taux d'ingestion :

- La quantité de sols ingérés : les taux d'ingestion journalier pris en compte ne tient pas compte de la durée de présence des usagés, et peut conduire à une surestimation des doses liées à l'ingestion de sols/poussières et ainsi des risques induits ;
- La prise en compte du facteur de bioaccessibilité réelle du plomb mesuré sur site pour le calcul de risque ;
- La considération d'une concentration en plomb maximale de la campagne de décembre 2024 uniquement (échantillons superficiels et analyses sur les fractions granulométriques réellement inhalées / ingérées) ;
- Les durées d'exposition : sur la base des teneurs maximales détectées, les niveaux de risques ne seraient acceptables qu'en considérant une exposition en espace vert 1 jour /semaine.

Pour la majorité de ces paramètres, les connaissances actuelles ne permettent pas de réduire ces incertitudes.

Tableau 12 : Variables générant les incertitudes majeures de l'évaluation

| Variable | Voie d'exposition touchée | Poids dans l'évaluation | Approche retenue | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|--|---|--|--|--|---------------------------|---|--|--|---|---|----|------------|---------------------------|--|---------------------------|---------------------------------|-------------------|---------------------------|--------------------|-------------------|---------------------------|--------------------------------------|----------|----------|------------|---------|---------|--------------|--------|--------|-------------|--|----------|----------|------------|---------|---------|-------------|------|------|------------|--------------|-----------------|-----------------|--|----------------|----------------|--|-------------|-------------|--|--|--|--|--|--|--|--|---|--|--|--------------------|-------------------|---------------------------|--------------------|-------------------|---------------------------|--------------------|-------------------|---------------------------|--------------------------------------|----------|----------|------------|---------|---------|--------------|--------|--------|-------------|--|----------|----------|------------|---------|---------|-------------|------|------|------------|--------------|-----------------|-----------------|--|----------------|----------------|--|-------------|-------------|--|
| Non prise en compte de l'exposition au bruit de fond | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Bruit de fond | Inhalation et ingestion de sols et/ou poussières | Faible | <p>Dans la mesure où le bruit de fond et ses incidences sanitaires n'ont pas à ce jour fait l'objet d'une procédure de gestion nationale, la présente étude a été menée en ne considérant que la compatibilité vis-à-vis des composés présents en concentrations supérieures au bruit de fond sur le site. Cette pratique correspond à ce qui est couramment réalisé dans ce type d'étude. Cependant, il faut rappeler que :</p> <ul style="list-style-type: none"> Certains métaux n'ont pas été retenus, car les concentrations dans les sols sont jugées appartenir au bruit de fond. Leur présence sur site et hors site pourrait dans certains cas induire des niveaux de risques qui seraient jugés inacceptables (c'est le cas en particulier de l'arsenic) ; Pour les métaux et métalloïdes présents dans les sols à des concentrations supérieures à la gamme du bruit de fond et pris en compte dans la présente étude, une part du risque évalué est lié à un bruit de fond régional ou national ; La présence potentielle de composés organiques volatils (benzène, solvants, etc.) ou de poussières dans l'air atmosphérique de certaines agglomérations (suivis parfois par les réseaux de surveillance de la qualité de l'air), non liée au site, n'est pas prise en compte. | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Choix et caractéristiques des composés | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Valeurs Toxicologiques de référence | Ingestion | Faible | <p>Les VTR ont été retenues conformément à la note d'information N° DGS/EA1/DGPR/2014/307 du 31 octobre 2014 relative aux modalités de sélection des substances chimiques et de choix des VTR pour mener les évaluations des risques sanitaires dans le cadre des études d'impact et de la gestion des sites et sols pollués.</p> <p>Malgré l'existence d'incertitudes sur les VTR (concernant le degré de confiance accordées aux études, les facteurs de sécurité, les désaccords entre experts toxicologues), l'approche que nous avons retenue rend compte des connaissances scientifiques et techniques du moment et n'engendre pas d'incertitude majeure sur les conclusions formulées quant à l'acceptabilité des risques.</p> <p>Dans notre cas, en accord avec la Ville de Ronchin, il a été décidé de recalculer la DJE pour le plomb à partir des analyses de biodisponibilité en phase gastrique calculée sur les tests UBM.</p> <p>En considérant la méthodologie actuelle (avec un DJE ajustée = DJE x biodisponibilité x2) avec la biodisponibilité maximale mesurée sur site (dans notre cas UBM), les niveaux de risques sont encore plus élevés.</p> <table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <thead> <tr> <th rowspan="2"></th> <th colspan="3">Effets toxiques sans seuil Excès de risques individuels (ERI)</th> <th colspan="3">Effets toxiques à seuil cancérigènes Quotient de danger spécifique (QD)</th> <th colspan="3">Effets toxiques à seuil non cancérigènes Quotient de danger (QD)</th> </tr> <tr> <th>Adulte Travailleur</th> <th>Enfant maternelle</th> <th>Composés tirant le risque</th> <th>Adulte Travailleur</th> <th>Enfant maternelle</th> <th>Composés tirant le risque</th> <th>Adulte Travailleur</th> <th>Enfant maternelle</th> <th>Composés tirant le risque</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>INHALATION de poussières (extérieur)</td> <td>1.40E-08</td> <td>6.69E-10</td> <td>Plomb (Pb)</td> <td>0.00001</td> <td>0.00001</td> <td>Cadmium (Cd)</td> <td>0.0005</td> <td>0.0005</td> <td>Cuivre (Cu)</td> </tr> <tr> <td>INGESTION de sol et poussières (extérieur)</td> <td>8.74E-07</td> <td>9.09E-07</td> <td>Plomb (Pb)</td> <td>0.00000</td> <td>0.00000</td> <td>non calculé</td> <td>0.23</td> <td>2.54</td> <td>Plomb (Pb)</td> </tr> <tr> <td>TOTAL</td> <td>8.88E-07</td> <td>9.10E-07</td> <td></td> <td>0.00001</td> <td>0.00001</td> <td></td> <td>0.23</td> <td>2.54</td> <td></td> </tr> </tbody> </table> <p>Risques non significatifs Risques significatifs</p> <p>En considérant la biodisponibilité maximale calculée à partir des tests HCL (79,09%) les niveaux de risques restent inacceptables. Notons que les résultats sont donnés à titre indicatif, le calcul de la biodisponibilité sur la base de test HCL n'étant pas encore validé par les guides en cours.</p> <table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <thead> <tr> <th rowspan="2"></th> <th colspan="3">Effets toxiques sans seuil Excès de risques individuels (ERI)</th> <th colspan="3">Effets toxiques à seuil cancérigènes Quotient de danger spécifique (QD)</th> <th colspan="3">Effets toxiques à seuil non cancérigènes Quotient de danger (QD)</th> </tr> <tr> <th>Adulte Travailleur</th> <th>Enfant maternelle</th> <th>Composés tirant le risque</th> <th>Adulte Travailleur</th> <th>Enfant maternelle</th> <th>Composés tirant le risque</th> <th>Adulte Travailleur</th> <th>Enfant maternelle</th> <th>Composés tirant le risque</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>INHALATION de poussières (extérieur)</td> <td>1.40E-08</td> <td>6.69E-10</td> <td>Plomb (Pb)</td> <td>0.00001</td> <td>0.00001</td> <td>Cadmium (Cd)</td> <td>0.0005</td> <td>0.0005</td> <td>Cuivre (Cu)</td> </tr> <tr> <td>INGESTION de sol et poussières (extérieur)</td> <td>6.10E-07</td> <td>6.34E-07</td> <td>Plomb (Pb)</td> <td>0.00000</td> <td>0.00000</td> <td>non calculé</td> <td>0.15</td> <td>1.64</td> <td>Plomb (Pb)</td> </tr> <tr> <td>TOTAL</td> <td>6.24E-07</td> <td>6.35E-07</td> <td></td> <td>0.00001</td> <td>0.00001</td> <td></td> <td>0.15</td> <td>1.64</td> <td></td> </tr> </tbody> </table> <p>Risques non significatifs Risques significatifs</p> | | Effets toxiques sans seuil Excès de risques individuels (ERI) | | | Effets toxiques à seuil cancérigènes Quotient de danger spécifique (QD) | | | Effets toxiques à seuil non cancérigènes Quotient de danger (QD) | | | Adulte Travailleur | Enfant maternelle | Composés tirant le risque | Adulte Travailleur | Enfant maternelle | Composés tirant le risque | Adulte Travailleur | Enfant maternelle | Composés tirant le risque | INHALATION de poussières (extérieur) | 1.40E-08 | 6.69E-10 | Plomb (Pb) | 0.00001 | 0.00001 | Cadmium (Cd) | 0.0005 | 0.0005 | Cuivre (Cu) | INGESTION de sol et poussières (extérieur) | 8.74E-07 | 9.09E-07 | Plomb (Pb) | 0.00000 | 0.00000 | non calculé | 0.23 | 2.54 | Plomb (Pb) | TOTAL | 8.88E-07 | 9.10E-07 | | 0.00001 | 0.00001 | | 0.23 | 2.54 | | | Effets toxiques sans seuil Excès de risques individuels (ERI) | | | Effets toxiques à seuil cancérigènes Quotient de danger spécifique (QD) | | | Effets toxiques à seuil non cancérigènes Quotient de danger (QD) | | | Adulte Travailleur | Enfant maternelle | Composés tirant le risque | Adulte Travailleur | Enfant maternelle | Composés tirant le risque | Adulte Travailleur | Enfant maternelle | Composés tirant le risque | INHALATION de poussières (extérieur) | 1.40E-08 | 6.69E-10 | Plomb (Pb) | 0.00001 | 0.00001 | Cadmium (Cd) | 0.0005 | 0.0005 | Cuivre (Cu) | INGESTION de sol et poussières (extérieur) | 6.10E-07 | 6.34E-07 | Plomb (Pb) | 0.00000 | 0.00000 | non calculé | 0.15 | 1.64 | Plomb (Pb) | TOTAL | 6.24E-07 | 6.35E-07 | | 0.00001 | 0.00001 | | 0.15 | 1.64 | |
| | Effets toxiques sans seuil Excès de risques individuels (ERI) | | | | Effets toxiques à seuil cancérigènes Quotient de danger spécifique (QD) | | | Effets toxiques à seuil non cancérigènes Quotient de danger (QD) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Adulte Travailleur | Enfant maternelle | Composés tirant le risque | Adulte Travailleur | Enfant maternelle | Composés tirant le risque | Adulte Travailleur | Enfant maternelle | Composés tirant le risque | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| INHALATION de poussières (extérieur) | 1.40E-08 | 6.69E-10 | Plomb (Pb) | 0.00001 | 0.00001 | Cadmium (Cd) | 0.0005 | 0.0005 | Cuivre (Cu) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| INGESTION de sol et poussières (extérieur) | 8.74E-07 | 9.09E-07 | Plomb (Pb) | 0.00000 | 0.00000 | non calculé | 0.23 | 2.54 | Plomb (Pb) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| TOTAL | 8.88E-07 | 9.10E-07 | | 0.00001 | 0.00001 | | 0.23 | 2.54 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Effets toxiques sans seuil Excès de risques individuels (ERI) | | | Effets toxiques à seuil cancérigènes Quotient de danger spécifique (QD) | | | Effets toxiques à seuil non cancérigènes Quotient de danger (QD) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Adulte Travailleur | Enfant maternelle | Composés tirant le risque | Adulte Travailleur | Enfant maternelle | Composés tirant le risque | Adulte Travailleur | Enfant maternelle | Composés tirant le risque | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| INHALATION de poussières (extérieur) | 1.40E-08 | 6.69E-10 | Plomb (Pb) | 0.00001 | 0.00001 | Cadmium (Cd) | 0.0005 | 0.0005 | Cuivre (Cu) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| INGESTION de sol et poussières (extérieur) | 6.10E-07 | 6.34E-07 | Plomb (Pb) | 0.00000 | 0.00000 | non calculé | 0.15 | 1.64 | Plomb (Pb) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| TOTAL | 6.24E-07 | 6.35E-07 | | 0.00001 | 0.00001 | | 0.15 | 1.64 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Cumul des QD et des ERI | Toutes | Faible | <p>Il convient de rappeler la limite méthodologique des évaluations de risques sanitaires lorsque plusieurs substances peuvent avoir entre elles des effets synergiques ou antagonistes.</p> <p>A l'heure actuelle, les éléments qui permettraient de déterminer si les effets se cumulent ou non ne sont pas disponibles et il n'y a pas de consensus sur une méthode pour prendre en compte les effets de mélanges.</p> <table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <thead> <tr> <th></th> <th>Somme des ERI ou QD</th> <th>Justification</th> <th>Consensus</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>ERI</td> <td>Oui, quels que soient les organes cibles, les types de cancer et les voies d'exposition.</td> <td>On parle de cancer en général quelle que soit la cause ou le mécanisme.</td> <td>Oui, internationaux</td> </tr> <tr> <td>QD</td> <td>Discutable</td> <td>Approche par organe cible</td> <td>Proche des consensus nationaux et internationaux</td> </tr> <tr> <td>Si Somme QD >1</td> <td>Faire la somme par organe cible</td> <td>-</td> <td>-</td> </tr> </tbody> </table> <p>La sommation des QD n'est pas de nature à modifier les conclusions de l'étude.</p> | | Somme des ERI ou QD | Justification | Consensus | ERI | Oui, quels que soient les organes cibles, les types de cancer et les voies d'exposition. | On parle de cancer en général quelle que soit la cause ou le mécanisme. | Oui, internationaux | QD | Discutable | Approche par organe cible | Proche des consensus nationaux et internationaux | Si Somme QD >1 | Faire la somme par organe cible | - | - | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Somme des ERI ou QD | Justification | Consensus | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ERI | Oui, quels que soient les organes cibles, les types de cancer et les voies d'exposition. | On parle de cancer en général quelle que soit la cause ou le mécanisme. | Oui, internationaux | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| QD | Discutable | Approche par organe cible | Proche des consensus nationaux et internationaux | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Si Somme QD >1 | Faire la somme par organe cible | - | - | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Caractéristiques des sources de pollution et concentrations dans les différents milieux | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Source « sols de surface » | Inhalation et ingestion de sols et/ou poussières | Fort | <p>Réaliste : teneurs maximales des campagnes du 06/08/2024 et du 16/12/2024 (pour l'ensemble des paramètres excepté le plomb) retenues en supposant que ces teneurs sont identiques sur l'ensemble du site. Pour le plomb, on retient la teneur maximale mesurée le 16/12/2024.</p> <p>Le site a fait l'objet d'un échantillon composite à partir des différents points de prélèvements. Les analyses sont donc jugées représentatives de l'ensemble du site.</p> <p>En calculant les niveaux de risques en prenant en compte la teneur maximale en plomb mesurée lors des 2 campagnes de 2024, les niveaux de risques sont encore plus élevés.</p> <table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <thead> <tr> <th rowspan="2"></th> <th colspan="3">Effets toxiques sans seuil Excès de risques individuels (ERI)</th> <th colspan="3">Effets toxiques à seuil cancérigènes Quotient de danger spécifique (QD)</th> <th colspan="3">Effets toxiques à seuil non cancérigènes Quotient de danger (QD)</th> </tr> <tr> <th>Adulte Travailleur</th> <th>Enfant maternelle</th> <th>Composés tirant le risque</th> <th>Adulte Travailleur</th> <th>Enfant maternelle</th> <th>Composés tirant le risque</th> <th>Adulte Travailleur</th> <th>Enfant maternelle</th> <th>Composés tirant le risque</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>INHALATION de poussières (extérieur)</td> <td>1.40E-08</td> <td>6.69E-10</td> <td>Plomb (Pb)</td> <td>0.00001</td> <td>0.00001</td> <td>Cadmium (Cd)</td> <td>0.0005</td> <td>0.0005</td> <td>Cuivre (Cu)</td> </tr> <tr> <td>INGESTION de sol et poussières (extérieur)</td> <td>5.34E-07</td> <td>7.51E-07</td> <td>Plomb (Pb)</td> <td>0.00000</td> <td>0.00000</td> <td>non calculé</td> <td>0.14</td> <td>2.02</td> <td>Plomb (Pb)</td> </tr> <tr> <td>TOTAL</td> <td>5.48E-07</td> <td>7.52E-07</td> <td></td> <td>0.00001</td> <td>0.00001</td> <td></td> <td>0.14</td> <td>2.02</td> <td></td> </tr> </tbody> </table> <p>Risques non significatifs Risques significatifs</p> <p>En prenant en compte la moyenne des teneurs mesurées en décembre 2024 uniquement, les niveaux de risques sont moins élevés mais restent inacceptables.</p> | | Effets toxiques sans seuil Excès de risques individuels (ERI) | | | Effets toxiques à seuil cancérigènes Quotient de danger spécifique (QD) | | | Effets toxiques à seuil non cancérigènes Quotient de danger (QD) | | | Adulte Travailleur | Enfant maternelle | Composés tirant le risque | Adulte Travailleur | Enfant maternelle | Composés tirant le risque | Adulte Travailleur | Enfant maternelle | Composés tirant le risque | INHALATION de poussières (extérieur) | 1.40E-08 | 6.69E-10 | Plomb (Pb) | 0.00001 | 0.00001 | Cadmium (Cd) | 0.0005 | 0.0005 | Cuivre (Cu) | INGESTION de sol et poussières (extérieur) | 5.34E-07 | 7.51E-07 | Plomb (Pb) | 0.00000 | 0.00000 | non calculé | 0.14 | 2.02 | Plomb (Pb) | TOTAL | 5.48E-07 | 7.52E-07 | | 0.00001 | 0.00001 | | 0.14 | 2.02 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Effets toxiques sans seuil Excès de risques individuels (ERI) | | | | Effets toxiques à seuil cancérigènes Quotient de danger spécifique (QD) | | | Effets toxiques à seuil non cancérigènes Quotient de danger (QD) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Adulte Travailleur | Enfant maternelle | Composés tirant le risque | Adulte Travailleur | Enfant maternelle | Composés tirant le risque | Adulte Travailleur | Enfant maternelle | Composés tirant le risque | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| INHALATION de poussières (extérieur) | 1.40E-08 | 6.69E-10 | Plomb (Pb) | 0.00001 | 0.00001 | Cadmium (Cd) | 0.0005 | 0.0005 | Cuivre (Cu) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| INGESTION de sol et poussières (extérieur) | 5.34E-07 | 7.51E-07 | Plomb (Pb) | 0.00000 | 0.00000 | non calculé | 0.14 | 2.02 | Plomb (Pb) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| TOTAL | 5.48E-07 | 7.52E-07 | | 0.00001 | 0.00001 | | 0.14 | 2.02 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

| Variable | Voie d'exposition touchée | Poids dans l'évaluation | Approche retenue | Effets toxiques sans seuil Excès de risques individuels (ERI) | | | Effets toxiques à seuil cancérogènes Quotient de danger spécifique (QD) | | | Effets toxiques à seuil non cancérogènes Quotient de danger (QD) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|--|-------------------------|--|---|-------------------|---------------------------|--|-------------------|---------------------------|---|-------------------|---------------------------|--|--------------------|-------------------|---------------------------|--------------------|-------------------|---------------------------|--------------------|-------------------|---------------------------|--------------------------------------|----------|----------|------------|---------|---------|--------------|--------|--------|-------------|--|----------|----------|------------|---------|---------|-------------|----------|------|------------|--------------|-----------------|-----------------|--|----------------|----------------|--|-----------------|-------------|--|
| | | | | Adulte Travailleur | Enfant maternelle | Composés tirant le risque | Adulte Travailleur | Enfant maternelle | Composés tirant le risque | Adulte Travailleur | Enfant maternelle | Composés tirant le risque | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>Adulte Travailleur</th> <th>Enfant maternelle</th> <th>Composés tirant le risque</th> <th>Adulte Travailleur</th> <th>Enfant maternelle</th> <th>Composés tirant le risque</th> <th>Adulte Travailleur</th> <th>Enfant maternelle</th> <th>Composés tirant le risque</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>INHALATION de poussières (extérieur)</td> <td>1.40E-08</td> <td>6.69E-10</td> <td>Plomb (Pb)</td> <td>0.00001</td> <td>0.00001</td> <td>Cadmium (Cd)</td> <td>0.0005</td> <td>0.0005</td> <td>Cuivre (Cu)</td> </tr> <tr> <td>INGESTION de sol et poussières (extérieur)</td> <td>3.26E-07</td> <td>4.59E-07</td> <td>Plomb (Pb)</td> <td>0.00000</td> <td>0.00000</td> <td>non calculé</td> <td>7.21E-02</td> <td>1.07</td> <td>Plomb (Pb)</td> </tr> <tr> <td>TOTAL</td> <td>3.40E-07</td> <td>4.60E-07</td> <td></td> <td>0.00001</td> <td>0.00001</td> <td></td> <td>7.25E-02</td> <td>1.07</td> <td></td> </tr> </tbody> </table> | | | | | | | | | | Adulte Travailleur | Enfant maternelle | Composés tirant le risque | Adulte Travailleur | Enfant maternelle | Composés tirant le risque | Adulte Travailleur | Enfant maternelle | Composés tirant le risque | INHALATION de poussières (extérieur) | 1.40E-08 | 6.69E-10 | Plomb (Pb) | 0.00001 | 0.00001 | Cadmium (Cd) | 0.0005 | 0.0005 | Cuivre (Cu) | INGESTION de sol et poussières (extérieur) | 3.26E-07 | 4.59E-07 | Plomb (Pb) | 0.00000 | 0.00000 | non calculé | 7.21E-02 | 1.07 | Plomb (Pb) | TOTAL | 3.40E-07 | 4.60E-07 | | 0.00001 | 0.00001 | | 7.25E-02 | 1.07 | |
| | Adulte Travailleur | Enfant maternelle | Composés tirant le risque | Adulte Travailleur | Enfant maternelle | Composés tirant le risque | Adulte Travailleur | Enfant maternelle | Composés tirant le risque | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| INHALATION de poussières (extérieur) | 1.40E-08 | 6.69E-10 | Plomb (Pb) | 0.00001 | 0.00001 | Cadmium (Cd) | 0.0005 | 0.0005 | Cuivre (Cu) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| INGESTION de sol et poussières (extérieur) | 3.26E-07 | 4.59E-07 | Plomb (Pb) | 0.00000 | 0.00000 | non calculé | 7.21E-02 | 1.07 | Plomb (Pb) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| TOTAL | 3.40E-07 | 4.60E-07 | | 0.00001 | 0.00001 | | 7.25E-02 | 1.07 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>Adulte Travailleur</th> <th>Enfant maternelle</th> <th>Composés tirant le risque</th> <th>Adulte Travailleur</th> <th>Enfant maternelle</th> <th>Composés tirant le risque</th> <th>Adulte Travailleur</th> <th>Enfant maternelle</th> <th>Composés tirant le risque</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>INHALATION de poussières (extérieur)</td> <td>1.40E-08</td> <td>6.69E-10</td> <td>Plomb (Pb)</td> <td>0.00001</td> <td>0.00001</td> <td>Cadmium (Cd)</td> <td>0.0005</td> <td>0.0005</td> <td>Cuivre (Cu)</td> </tr> <tr> <td>INGESTION de sol et poussières (extérieur)</td> <td>4.11E-07</td> <td>4.27E-07</td> <td>Plomb (Pb)</td> <td>0.00000</td> <td>0.00000</td> <td>non calculé</td> <td>8.95E-02</td> <td>0.98</td> <td>Plomb (Pb)</td> </tr> <tr> <td>TOTAL</td> <td>4.25E-07</td> <td>4.28E-07</td> <td></td> <td>0.00001</td> <td>0.00001</td> <td></td> <td>9.00E-02</td> <td>0.98</td> <td></td> </tr> </tbody> </table> | | | | | | | | | | Adulte Travailleur | Enfant maternelle | Composés tirant le risque | Adulte Travailleur | Enfant maternelle | Composés tirant le risque | Adulte Travailleur | Enfant maternelle | Composés tirant le risque | INHALATION de poussières (extérieur) | 1.40E-08 | 6.69E-10 | Plomb (Pb) | 0.00001 | 0.00001 | Cadmium (Cd) | 0.0005 | 0.0005 | Cuivre (Cu) | INGESTION de sol et poussières (extérieur) | 4.11E-07 | 4.27E-07 | Plomb (Pb) | 0.00000 | 0.00000 | non calculé | 8.95E-02 | 0.98 | Plomb (Pb) | TOTAL | 4.25E-07 | 4.28E-07 | | 0.00001 | 0.00001 | | 9.00E-02 | 0.98 | |
| | Adulte Travailleur | Enfant maternelle | Composés tirant le risque | Adulte Travailleur | Enfant maternelle | Composés tirant le risque | Adulte Travailleur | Enfant maternelle | Composés tirant le risque | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| INHALATION de poussières (extérieur) | 1.40E-08 | 6.69E-10 | Plomb (Pb) | 0.00001 | 0.00001 | Cadmium (Cd) | 0.0005 | 0.0005 | Cuivre (Cu) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| INGESTION de sol et poussières (extérieur) | 4.11E-07 | 4.27E-07 | Plomb (Pb) | 0.00000 | 0.00000 | non calculé | 8.95E-02 | 0.98 | Plomb (Pb) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| TOTAL | 4.25E-07 | 4.28E-07 | | 0.00001 | 0.00001 | | 9.00E-02 | 0.98 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | Paramètres liés aux usagés/cibles | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Durée d'exposition des cibles | Inhalation intérieure et extérieur Ingestion de sols et/ou poussières | Faible | <p>Réaliste pour le cas des espaces verts de l'école, il est considéré sur ce site un enseignant à temps plein (176 jours). Les niveaux de risques deviennent acceptables pour l'ensemble des cibles en ne considérant 3 à 4 jours de présence en espaces vert / semaine durant la période scolaire (soit 130 jours).</p> <p>Dans le cas de la prise en compte d'un travailleur « classique » (220 jours/an) au sein des établissements scolaires, les niveaux de risques restent acceptables (ERI enseignant : $3,75.10^{-7}$, QD enseignant : $9,69.10^{-2}$).</p> | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Aménagements | Taux d'inhalation de poussières en bâtiment intérieur | Faible | L'inhalation de poussières extérieurs importées en intérieur des bâtiments n'a pas été considérée, car la voie est jugée minoritaire en comparaison de la voie d'ingestion de sol. | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Quantité de sols ingérés | Ingestion de sols et/ou poussières | Fort | <p>Sécuritaire : prise en compte des quantités de sols ingérées par jour de présence en intérieur (débit de 0,05 mg/événement) et sur les jardins du site étudié (respectivement pour les adultes et enfants : débits de 50 et 91 mg/événement), <u>ne tenant pas compte de la durée de présence des usagés</u>. Il s'agit d'une approche sécuritaire et généralement adoptée pour la modélisation des quantités de sols/poussières ingérés. Compte tenu de la non prise en compte de la variabilité temporelle de l'ingestion, il apparaît que l'utilisation de ces valeurs génériques conduit à une surestimation des doses liées à l'ingestion de sols/poussières et ainsi des risques induits (explication et réduction d'incertitude liée à l'ingestion de sols en évaluation des expositions environnementales, Ph. Glorennec (ERS, 2005)).</p> <p>L'application d'un facteur d'abattement permettrait de tenir compte du temps d'exposition en espaces-verts. La prise en compte d'une durée de base de 4 heures au lieu de 8 heures engendre potentiellement une surestimation d'un facteur 2. En outre, l'incertitude quant à la majoration des expositions par la prise en compte de ces facteurs, peut atteindre un facteur 2 à 4 (correspondant à l'écart entre les médianes et les centiles élevés des mesures des marqueurs de cette ingestion chez les enfants (Stanek, 2001)).</p> <p>Si dans des contextes particuliers, des informations complémentaires pourraient venir préciser le budget espace-temps des populations et leurs âges et ainsi réduire les incertitudes associées à l'évaluation, dans la majorité des cas, à l'heure actuelle, la variabilité des données et l'absence de consensus clair pour l'estimation des expositions potentielles, nous conduit à conserver cette approche suivant le principe de précaution.</p> | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

7. Synthèse et recommandations

7.1 Synthèse

La Ville de Ronchin souhaite confirmer la compatibilité d'usage sur des sites de lieux d'accueil de la petite enfance (écoles, halte-garderie, parcs publics). Le site de l'école maternelle Albert Samain est l'objet du présent rapport.

Dans ce contexte, la VILLE DE RONCHIN a missionné GINGER BURGEAP en juillet 2024 pour la réalisation de diagnostics de la qualité du milieu souterrain accompagnés d'une Evaluation Quantitative des Risques Sanitaires. Les investigations réalisées ont mis en évidence la présence de cuivre, de cadmium, de plomb et de zinc dans les sols superficiels (0-0,1 m) de l'école maternelle Albert Samain. Les teneurs en plomb mesurées dépassent les valeurs seuils de vigilance et de dépistage du HCSP.

Avec les conditions d'études retenues, et en l'état actuel des connaissances scientifiques, les niveaux de risques estimés étaient supérieurs aux critères d'acceptabilité tels que définis par la politique nationale de gestion des sites pollués pour les hypothèses considérées, notamment vis-à-vis des enfants en maternelle et des concentrations en plomb dans les sols des espaces verts.

Considérant cela, la Ville de Ronchin souhaite actualiser l'EQRS sur la base de nouveaux prélèvements de sols de surface, en tenant compte des teneurs en plomb sur les fractions granulométriques majoritairement inhalées/ingérées (fraction fines), et en tenant compte dans les calculs de risques des dernières méthodes de calcul de dose journalière ajustée, basée sur la biodisponibilité, conformément aux recommandations du guide pratique sur la biodisponibilité du plomb de l'INERIS à paraître au 1^{er} semestre 2025.

Les investigations réalisées en décembre 2024, ont mis en évidence :

- Des teneurs en plomb dans les sols de surfaces supérieures au seuil de vigilance HCSP mais sous le seuil de dépistage sur l'ensemble des prélèvements (teneurs comprises entre 162,5 et 284,4 mg/kg MS) ;
Notons que ces teneurs restent inférieures aux teneurs détectées précédemment par GINGER BURGEAP (entre 360 et 450 mg/kg). Le delta entre les teneurs mesurées lors des différentes campagnes peut s'expliquer par le fait que ce ne sont pas les mêmes fractions granulométriques qui ont été analysées (analyses par broyage pour aout 2024) ;
- Les bioaccessibilités calculées sont globalement du même ordre de grandeur (entre 141,7 et 249,7 mg/kg soit entre 85 et 87,8 %) ;
- La teneur de bioaccessibilité mesurée (Méthode UBM / plus fiable) est inférieure à celles calculées (69,5 %).

A titre indicatif, en considérant la bioaccessibilité mesurée, la biodisponibilité calculée est de 62,2%.

Dans le cadre de la mission qui nous a été confiée par la Ville de Ronchin, avec les conditions d'études retenues, et en l'état actuel des connaissances scientifiques, les niveaux de risques estimés **sont supérieurs aux critères d'acceptabilité** tels que définis par la politique nationale de gestion des sites pollués pour les hypothèses considérées, en particulier pour les enfants présents dans l'école et vis-à-vis de l'exposition à l'ingestion de sols contaminés au plomb.

Plusieurs facteurs engendrent des incertitudes sur les risques évalués. Pour la majorité des facteurs engendrant ces incertitudes, l'approche adoptée a été « réaliste » pour les durées d'exposition et bioaccessibilité du plomb, et « sécuritaire » pour les taux d'ingestion :

- La quantité de sols ingérés : les taux d'ingestion journalier pris en compte ne tient pas compte de la durée de présence des usagés, et peut conduire à une surestimation des doses liées à l'ingestion de sols/poussières et ainsi des risques induits ;
- La prise en compte du facteur de bioaccessibilité réelle du plomb mesuré sur site pour le calcul de risque ;
- La considération d'une concentration en plomb maximale de la campagne de décembre 2024 uniquement (échantillons superficiels et analyses sur les fractions granulométriques réellement inhalées / ingérées) ;
- Les durées d'exposition : sur la base des teneurs maximales détectées, les niveaux de risques ne seraient acceptables qu'en considérant une exposition en espace vert 3 à 4 jours /semaine durant la période scolaire (130 jours/ an).

Pour la majorité de ces paramètres, les connaissances actuelles ne permettent pas de réduire ces incertitudes.

7.2 Recommandations

A la vue de ces résultats, GINGER BURGEAP recommande :

- De limiter l'accès des enfants dans les espaces verts extérieurs et appliquer les recommandations du guide du HCSP, en raison des concentrations en plomb supérieures au seuil de vigilance et de dépistage du HCSP sur l'ensemble du site avec la mise en œuvre des recommandations de précaution et d'hygiène émises dans le « Guide pour l'élaboration d'une liste de mesures de prévention individuelles visant à limiter l'exposition des populations riveraines des sites et sols pollués », HCSP 2020 permettront un abattement conséquent du risque d'ingestion de particules de terre et de poussières, ceci dans une démarche ALARA (As Low As Reasonably Achievable = Aussi basse que raisonnablement possible) ;
- D'exclure les travaux d'affouillement des sols avec les enfants (création de potager pédagogique par exemple, sauf si les potagers sont installés en bacs hors sol remplis de terres saines).
- Afin de lever les restrictions d'usage des espaces verts extérieurs, la mise en place de mesures de gestion simple sur l'ensemble des espaces verts de l'école Albert Samain. Elles peuvent être de 2 types :
 - **gestion hors site et substitution des terres** : évacuation hors site par terrassement en déblais et gestion en filière adaptée de l'ensemble des espaces verts 0,5 m de profondeur et substitution par des matériaux sains inertes sans dépassement des valeurs du bruit de fond de la Ville de Lille ;
 - **recouvrement des surfaces** : soit par de l'enrobé ou du béton (si prévu dans le cadre de l'aménagement du site) soit par des remblais (graviers) ou 50 cm de terre végétale d'apport saines afin de supprimer la possibilité d'un contact direct avec les sols en place.

A la vue de ces résultats, GINGER BURGEAP recommande également de garder en mémoire la qualité des sols au droit du site. En cas de changement d'usage ou de scénarii d'exposition, il conviendra de venir vérifier la nouvelle compatibilité des usages avec les teneurs présentes dans les sols.

8. Limites d'utilisation d'une étude de pollution

1- Une étude de la pollution du milieu souterrain a pour seule fonction de renseigner sur la qualité des sols, des eaux ou des déchets contenus dans le milieu souterrain. Toute utilisation en dehors de ce contexte, dans un but géotechnique par exemple, ne saurait engager la responsabilité de GINGER BURGEAP.

2- Il est précisé que le diagnostic repose sur une reconnaissance du sous-sol réalisée au moyen de sondages répartis sur le site, soit selon un maillage régulier, soit de façon orientée en fonction des informations historiques ou bien encore en fonction de la localisation des installations qui ont été indiquées par l'exploitant comme pouvant être à l'origine d'une pollution. Ce dispositif ne permet pas de lever la totalité des aléas, dont l'extension possible est en relation inverse de la densité du maillage de sondages, et qui sont liés à des hétérogénéités toujours possibles en milieu naturel ou artificiel. Par ailleurs, l'inaccessibilité de certaines zones peut entraîner un défaut d'observation non imputable à notre société.

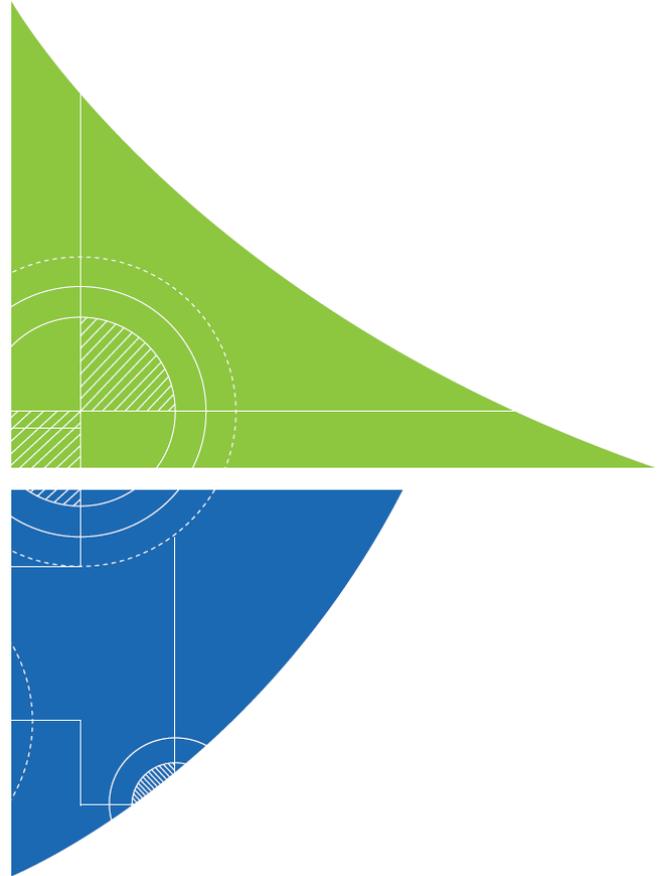
3- Le diagnostic rend compte d'un état du milieu à un instant donné. Des événements ultérieurs au diagnostic (interventions humaines, traitement des terres pour améliorer leurs caractéristiques mécaniques, ou phénomènes naturels) peuvent modifier la situation observée à cet instant.

4- La responsabilité de GINGER BURGEAP ne pourra être engagée si les informations qui lui ont été communiquées sont incomplètes et/ou erronées et en cas d'omission, de défaillance et/ou erreur dans les informations communiquées.

5- Un rapport d'étude de pollution et toutes ses annexes identifiées constituent un ensemble indissociable. Dans ce cadre, toute autre interprétation qui pourrait être faite d'une communication ou reproduction partielle ne saurait engager la responsabilité de GINGER BURGEAP. En particulier l'utilisation même partielle de ces résultats et conclusions par un autre maître d'Ouvrage ou pour un autre projet que celui objet de la mission confiée ne pourra en aucun cas engager la responsabilité de GINGER BURGEAP

La responsabilité de GINGER BURGEAP ne pourra être engagée en dehors du cadre de la mission objet du présent mémoire si les préconisations ne sont pas mises en œuvre.

ANNEXES



Annexe 1.

Résultats des analyses antérieures

Cette annexe contient 2 pages.

Annexe 2. Propriétés physico-chimiques

Cette annexe contient 6 pages.

| LEGENDE Volatilité : | | | | | LEGENDE Solubilité : | | |
|-----------------------------|------------|-----------------------------------|------------|-------------------|----------------------------|-------------|-----------------------|
| ++ : Pv > 1000 Pa (COV) | | - : 10 > P > 10-2 Pa (non COV) | | | ++ : S > 100 mg/l | | - : 1 > S > 0.01 mg/l |
| + : 1000 > Pv > 10 Pa (COV) | | -- : 10-2 > P > 10-5 Pa (non COV) | | | + : 100 > S > 1 mg/l | | -- : S < 0.01 mg/l |
| CAS n°R | Volatilité | solubilité | Classement | Mention de danger | classement cancérogénicité | | |
| | Pv | S | symboles | | UE | CIRC (IARC) | EPA |

METAUX ET METALLOIDES

| | | | | | | | | |
|--------------------|--------------------------|-------------|--------------------------|-----------------------------------|---|----------------------|----|----------------------|
| Antimoine (Sb) | 7440-36-0 | non adéquat | non adéquat | SGH07, SGH09 | H332, H302, H411 | C2 | - | - |
| Arsenic (As) | 7440-38-2 | non adéquat | non adéquat | SGH06, SGH09 | H331, H301, H400, H410 | C1A | 1 | A |
| Baryum (Ba) | non adéquat | non adéquat | Soluble dans l'éthanol ? | - | - | - | - | D |
| Cadmium (Cd) | 7440-43-9 | non adéquat | non adéquat | SGH06, SGH08, SGH09 | H350, H341, H361fd, H330, H372, H400, H410 | C1B/C2 M1B/M2 R1B/R2 | 1 | prob canc |
| Chrome III (CrIII) | 1308-38-9 | non adéquat | non adéquat | - | - | - | 3 | D |
| Chrome VI (CrVI) | trioxyde de Cr 1333-82-0 | non adéquat | non adéquat | SGH03, SGH05, SGH06, SGH08, SGH09 | H271, H350, H340, H361f, H330, H311, H301, H372, H314, H334, H317, H410 | C1A M1B R2 | 1 | A (inh°) D (oral) |
| Cobalt (Co) | 7440-48-4 | non adéquat | non adéquat | SGH08 | H334, H317, H413 | C1B M2 R1B | 2B | - |
| Cuivre (Cu) | 7440-50-8 | non adéquat | non adéquat | - | - | - | 3 | D |
| Etain (Sn) | non adéquat | non adéquat | non adéquat | - | - | - | - | - |
| Manganèse (Mn) | non adéquat | non adéquat | non adéquat | SGH07 (dioxyde) | H332, H302 (dioxyde) | - | - | D |
| Mercuré (Hg) | 7439-97-6 | non adéquat | non adéquat | SGH06, SGH08, SGH09 | H360D, H330, H372, H400, H410 | R1B | 3 | C à D |
| Molybdène (Mo) | 7439-98-7 | non adéquat | non adéquat | trioxyde : SGH07, SGH08 | Trioxyde : H351, H319, H335 | trioxyde : C2 | - | - |
| Nickel (Ni) | 7440-02-0 | non adéquat | non adéquat | SGH07, SGH08 | H351, H372, H317, H412 | C2 | 2B | A |
| Plomb (Pb) | 7439-92-1 | non adéquat | non adéquat | SGH07, SGH08, SGH09 | H360Df, H332, H373, H400, H410 | R1A | 2B | B2 |
| Sélénium (Se) | 7782-49-2 | non adéquat | non adéquat | SGH06, SGH08 | H331, H301, H373, H413 | - | 3 | D |
| Thallium (Tl) | 7440-28-0 | non adéquat | non adéquat | SGH06, SGH08 | H330, H300, H373, H413 | - | - | D |
| Vanadium (Va) | 7440-62-2 | non adéquat | non adéquat | - | - | - | 3 | D |
| Zinc (Zn) | 7440-66-6 (poudre) | non adéquat | non adéquat | SGH02 (pyrophorique) SGH09 | H250, H260 (pyrophorique) H400, H410 | - | - | D |

HYDROCARBURES AROMATIQUES POLYCYCLIQUES

| | | | | | | | | |
|----------------|----------|---|---|---------------------|------------------------|----|----|---|
| Naphtalène | 91-20-3 | + | + | SGH07, SGH08, SGH09 | H351, H302, H400, H410 | C2 | 2B | C |
| Acénaphthylène | 208-96-8 | - | + | - | - | - | - | D |
| Acénaphthène | 83-29-9 | - | + | - | - | - | - | - |
| Fluorène | 86-73-7 | - | + | - | - | - | 3 | D |

| | LEGENDE Volatilité : | | | | | LEGENDE Solubilité : | | |
|-------------------------|-----------------------------|------------------|------------------------------------|------------------------|--------------------------------------|----------------------------|----------------|-----------------------|
| | ++ : Pv > 1000 Pa (COV) | | - : 10 > Pv > 10-2 Pa (non COV) | | | ++ : S > 100 mg/l | | - : 1 > S > 0.01 mg/l |
| | + : 1000 > Pv > 10 Pa (COV) | | -- : 10-2 > Pv > 10-5 Pa (non COV) | | | + : 100 > S > 1 mg/l | | -- : S < 0.01 mg/l |
| | CAS n°R | Volatilité Pv | solubilité S | Classement symboles | Mention de danger | classement cancérogénicité | | |
| | | | | | | UE | CIRC (IARC) | EPA |
| Phénanthrène | 85-01-8 | - | + | - | - | - | 3 | D |
| Anthracène | 120-12-7 | -- | - | - | - | - | 3 | D |
| Fluoranthène | 206-44-0 | -- | - | - | - | - | 3 | D |
| Pyrène | 129-00-0 | -- | - | - | - | - | 3 | D |
| Benzo(a)anthracène | 56-55-3 | -- | -- | SGH08, SGH09 | H350, H400, H410 | C1B | 2B | B2 |
| Chrysène | 218-01-9 | -- | - | SGH08, SGH09 | H350, H341, H400, H410 | C1B M2 | 3 | B2 |
| Benzo(b)fluoranthène | 205-99-2 | -- | -- | SGH08, SGH09 | H350, H400, H410 | C1B | 2B | B2 |
| Benzo(k)fluoranthène | 207-08-9 | -- | -- | SGH08, SGH09 | H350, H400, H410 | C1B | 2B | B2 |
| Benzo(a)pyrène | 50-32-8 | -- | -- | SGH07, SGH08, SGH09 | H340, H350, H360FD, H317, H400, H410 | C1B M1B R1B | 1 | A |
| Dibenzo(a,h)anthracène | 53-70-3 | -- | -- | SGH08, SGH09 | H350, H400, H410 | C1B | 2A | B2 |
| Benzo(g,h,i) pérylène | 191-24-2 | -- | -- | - | - | - | 3 | D |
| Indéno(1,2,3-c,d)pyrène | 193-39-5 | -- | - | - | - | - | 2B | B2 |

| LEGENDE Volatilité : | | | | | LEGENDE Solubilité : | | |
|-----------------------------|------------|-----------------------------------|------------|-------------------|----------------------------|-------------|-----------------------|
| ++ : Pv > 1000 Pa (COV) | | - : 10 > P > 10-2 Pa (non COV) | | | ++ : S > 100 mg/l | | - : 1 > S > 0.01 mg/l |
| + : 1000 > Pv > 10 Pa (COV) | | -- : 10-2 > P > 10-5 Pa (non COV) | | | + : 100 > S > 1 mg/l | | -- : S < 0.01 mg/l |
| CAS n°R | Volatilité | solubilité | Classement | Mention de danger | classement cancérogénicité | | |
| | Pv | S | symboles | | UE | CIRC (IARC) | EPA |

COMPOSES AROMATIQUES MONOCYCLIQUES

| | | | | | | | | |
|---------------------------------------|-----------|----|----|----------------------------|--|---------|----|---|
| benzène | 71-43-2 | ++ | ++ | SGH02, SGH07, SGH08 | H225, H350, H340, H372, H304, H319, H315 | C1A M1B | 1 | A |
| toluène | 108-88-3 | ++ | ++ | SGH02, SGH07, SGH08 | H225, H361d, H304, H373, H315, H336 | R2 | 3 | D |
| éthylbenzène | 100-41-4 | + | ++ | SGH02, SGH07 | H225, H332 | - | 2B | - |
| xylènes | 1330-20-7 | + | ++ | SGH02, SGH07 | H226, H332, H312, H315 | - | 3 | - |
| styrène | 100-42-5 | + | ++ | SGH02, SGH07 | H226, H332, H319, H315 | - | 2B | - |
| cumène (isopropylbenzène) | 98-82-8 | + | + | SGH02, SGH07, SGH08, SGH09 | H226, H304, H335, H411 | - | 2B | D |
| mésitylène (1,3,5 Triméthylbenzène) | 108-67-8 | + | + | SGH02, SGH07, SGH09 | H226, H335, H411 | - | - | - |
| pseudocumène (1,2,4 Triméthylbenzène) | 95-63-6 | + | + | SGH02, SGH07, SGH09 | H226, H332, H319, H335, H315, H411 | - | - | - |

COMPOSES ORGANO-HALOGENES VOLATILS

| | | | | | | | | |
|--|--|----|----|----------------------|--|--------|----|--------------|
| PCE (tétrachloroéthylène) | 127-18-4 | ++ | ++ | SGH08, SGH09 | H351, H411 | C2 | 2A | B1 |
| TCE (trichloroéthylène) | 79-01-6 | ++ | ++ | SGH07, SGH08 | H350, H341, H319, H315, H336, H412 | C1B M2 | 1 | A |
| cis 1,2DCE (dichloroéthylène) | 156-59-2 | ++ | ++ | SGH02, SGH07 | H225, H335, H412 | - | - | D |
| trans 1,2DCE (dichloroéthylène) | 156-60-5 | | ++ | SGH02, SGH07 | H225, H335, H412 | - | - | D |
| 1,1 DCE (1,1 dichloroéthylène) | 75-35-4 | ++ | ++ | SGH02, SGH07, SGH08 | H224, H351, H332 | C2 | 3 | C |
| VC (chlorure de vinyle) | 75-01-4 | ++ | ++ | SGH02, SGH08 | H220, H350 | C1A | 1 | A |
| 1,1,2 trichloroéthane | 79-00-5 | ++ | ++ | SGH07, SGH08 | H351, H332, H312, EUH066 | C2 | 3 | C |
| 1,1,1 trichloroéthane | 71-55-6 | ++ | ++ | SGH07 | H332, EUH059 | - | 3 | D |
| 1,2 dichloroéthane | 107-06-2 | ++ | ++ | SGH02, SGH07, SGH08. | H225, H350, H302, H319, H335, H315 | C1B | 2B | B2 |
| 1,1 dichloroéthane | 75-34-3 | ++ | ++ | SGH02, SGH07 | H225, H302, H319, H335, H412 | - | - | C |
| Tétrachlorométhane | 56-23-5 | ++ | ++ | SGH06, SGH08 | H351, H331, H311, H301, H372, H412, EUH059 | C2 | 2B | B2 |
| TCmA (trichlorométhane ou chloroforme) | 67-66-3 | ++ | ++ | SGH07, SGH08 | H351, H302, H373, H315 | C2 | 2B | B2 |
| dichlorométhane | 75-09-2 | ++ | ++ | SGH08, SGH09 | H351 | C2 | 2B | B2 |
| trichlorobenzènes | 87-61-1 120-82-1 108-70-3 | + | + | SGH07, SGH09 | H302, H315, H400, H410 | - | - | (1,2,4) D |
| 1,2 dichlorobenzène | 95-50-1 | + | + | SGH07, SGH09 | H302, H319, H335, H315, H400, H410 | - | 3 | D |
| 1,3 dichlorobenzène | 541-73-1 | + | ++ | - | - | - | 3 | D |
| 1,4 dichlorobenzène | 106-46-7 | + | + | SGH08, SGH09 | H351, H319, H400, H410 | C2 | 2B | - |

| LEGENDE Volatilité : | | | | | LEGENDE Solubilité : | | | |
|-----------------------------|------------|-----------------------------------|------------|---------------------|----------------------------|-------------|-----------------------|---|
| ++ : Pv > 1000 Pa (COV) | | - : 10 > P > 10-2 Pa (non COV) | | | ++ : S > 100 mg/l | | - : 1 > S > 0.01 mg/l | |
| + : 1000 > Pv > 10 Pa (COV) | | -- : 10-2 > P > 10-5 Pa (non COV) | | | + : 100 > S > 1 mg/l | | -- : S < 0.01 mg/l | |
| CAS n°R | Volatilité | solubilité | Classement | Mention de danger | classement cancérogénicité | | | |
| | Pv | S | symboles | | UE | CIRC (IARC) | EPA | |
| chlorobenzène | 108-90-7 | ++ | ++ | SGH02, SGH07, SGH09 | H226, H332, H411 | - | - | D |

HYDROCARBURES SUIVANT LES TPH

| Aliphatic nC>5-nC6 | non adéquat | ++ | + | white spirit, essences spéciales, solvants aromatiques légers, pétroles lampants (kérosène) : SGH08 | tout type d'hydrocarbures : H350, H340, H304 | classement fonction des hydrocarbures | | | |
|---------------------------|-------------|----|----|--|---|---|--|--|--|
| Aliphatic nC>6-nC8 | " | ++ | + | | | | | | |
| Aliphatic nC>8-nC10 | " | + | - | | | | | | |
| Aliphatic nC>10-nC12 | " | + | - | | | | | | |
| Aliphatic nC>12-nC16 | " | - | -- | | | | | | |
| Aliphatic nC>16-nC35 | " | - | -- | | | | | | |
| Aliphatic nC>35 | " | -- | -- | | | | | | |
| Aromatic nC>5-nC7 benzène | " | ++ | ++ | | | | | | |
| Aromatic nC>7-nC8 toluène | " | ++ | ++ | | | | | | |
| Aromatic nC>8-nC10 | " | + | + | | | | | | |
| Aromatic nC>10-nC12 | " | + | + | | | | | | |
| Aromatic nC>12-nC16 | " | - | + | | | | | | |
| Aromatic nC>16-nC21 | " | - | - | | | | | | |
| Aromatic nC>21-nC35 | " | -- | -- | | | | | | |

MENTIONS DE DANGER
► 28 mentions de danger physique

- H200 : Explosif instable
- H201 : Explosif ; danger d'explosion en masse
- H202 : Explosif ; danger sérieux de projection
- H203 : Explosif ; danger d'incendie, d'effet de souffle ou de projection
- H204 : Danger d'incendie ou de projection
- H205 : Danger d'explosion en masse en cas d'incendie
- H220 : Gaz extrêmement inflammable
- H221 : Gaz inflammable
- H222 : Aérosol extrêmement inflammable
- H223 : Aérosol inflammable
- H224 : Liquide et vapeurs extrêmement inflammables
- H225 : Liquide et vapeurs très inflammables
- H226 : Liquide et vapeurs inflammables
- H228 : Matière solide inflammable
- H240 : Peut exploser sous l'effet de la chaleur
- H241 : Peut s'enflammer ou exploser sous l'effet de la chaleur
- H242 : Peut s'enflammer sous l'effet de la chaleur
- H250 : S'enflamme spontanément au contact de l'air
- H251 : Matière auto-échauffante ; peut s'enflammer
- H252 : Matière auto-échauffante en grandes quantités ; peut s'enflammer
- H260 : Dégagement au contact de l'eau des gaz inflammables qui peuvent s'enflammer spontanément
- H261 : Dégagement au contact de l'eau des gaz
- H270 : Peut provoquer ou aggraver un incendie ; comburant
- H271 : Peut provoquer un incendie ou une explosion ; comburant puissant
- H272 : Peut aggraver un incendie ; comburant
- H280 : Contient un gaz sous pression ; peut exploser sous l'effet de la chaleur
- H281 : Contient un gaz réfrigéré ; peut causer des brûlures ou blessures cryogéniques
- H290 : Peut être corrosif pour les métaux

► 38 mentions de danger pour la santé

- H300 : Mortel en cas d'ingestion
- H301 : Toxique en cas d'ingestion
- H302 : Nocif en cas d'ingestion
- H304 : Peut être mortel en cas d'ingestion et de pénétration dans les voies respiratoires
- H310 : Mortel par contact cutané
- H311 : Toxique par contact cutané
- H312 : Nocif par contact cutané
- H314 : Provoque des brûlures de la peau et des lésions oculaires graves
- H315 : Provoque une irritation cutanée
- H317 : Peut provoquer une allergie cutanée
- H318 : Provoque des lésions oculaires graves
- H319 : Provoque une sévère irritation des yeux
- H330 : Mortel par inhalation
- H331 : Toxique par inhalation
- H332 : Nocif par inhalation
- H334 : Peut provoquer des symptômes allergiques ou d'asthme ou des difficultés respiratoires par inhalation
- H335 : Peut irriter les voies respiratoires
- H336 : Peut provoquer somnolence ou vertiges
- H340 : Peut induire des anomalies génétiques <indiquer la voie d'exposition s'il est formellement prouvé qu'aucune autre voie d'exposition ne conduit au même danger>
- H341 : Susceptible d'induire des anomalies génétiques <indiquer la voie d'exposition s'il est formellement prouvé qu'aucune autre voie d'exposition ne conduit au même danger>
- H350 : Peut provoquer le cancer <indiquer la voie d'exposition s'il est formellement prouvé qu'aucune autre voie d'exposition ne conduit au même danger>
- H351 : Susceptible de provoquer le cancer <indiquer la voie d'exposition s'il est formellement prouvé qu'aucune autre voie d'exposition ne conduit au même danger>
- H360 : Peut nuire à la fertilité ou au fœtus <indiquer l'effet spécifique s'il est connu> <indiquer la voie d'exposition s'il est formellement prouvé qu'aucune autre voie d'exposition ne conduit au même danger>
- H361 : Susceptible de nuire à la fertilité ou au fœtus <indiquer l'effet s'il est connu> <indiquer la voie d'exposition s'il est formellement prouvé qu'aucune autre voie d'exposition ne conduit au même danger>
- H362 : Peut être nocif pour les bébés nourris au lait maternel
- H370 : Risque avéré d'effets graves pour les organes <ou indiquer tous les organes affectés, s'ils sont formellement prouvé qu'aucune autre voie d'exposition s'il est formellement prouvé qu'aucune autre voie d'exposition ne conduit au même danger>
- H371 : Risque présumé d'effets graves pour les organes <ou indiquer tous les organes affectés, s'ils sont formellement prouvé qu'aucune autre voie d'exposition s'il est formellement prouvé qu'aucune autre voie d'exposition ne conduit au même danger>
- H372 : Risque avéré d'effets graves pour les organes <indiquer tous les organes affectés, s'ils sont formellement prouvé qu'aucune autre voie d'exposition s'il est formellement prouvé qu'aucune autre voie d'exposition ne conduit au même danger>
- H373 : Risque présumé d'effets graves pour les organes <indiquer tous les organes affectés, s'ils sont formellement prouvé qu'aucune autre voie d'exposition s'il est formellement prouvé qu'aucune autre voie d'exposition ne conduit au même danger>

► Pour certaines mentions de danger pour la santé des lettres sont ajoutées au code à 3 chiffres :

- H350i : Peut provoquer le cancer par inhalation
- H360F : Peut nuire à la fertilité
- H360D : Peut nuire au fœtus
- H361f : Susceptible de nuire à la fertilité
- H361d : Susceptible de nuire au fœtus
- H360FD : Peut nuire à la fertilité. Peut nuire au fœtus
- H361fd : Susceptible de nuire à la fertilité. Susceptible de nuire au fœtus
- H360Fd : Peut nuire à la fertilité. Susceptible de nuire au fœtus
- H360Df : Peut nuire au fœtus. Susceptible de nuire à la fertilité.

► 5 mentions de danger pour l'environnement

- H400 : Très toxique pour les organismes aquatiques
- H410 : Très toxique pour les organismes aquatiques, entraîne des effets néfastes à long terme
- H411 : Toxique pour les organismes aquatiques, entraîne des effets néfastes à long terme
- H412 : Nocif pour les organismes aquatiques, entraîne des effets néfastes à long terme
- H413 : Peut être nocif à long terme pour les organismes aquatiques

► Symboles de danger

- **SHG01 : Explosif** (ce produit peut exploser au contact d'une flamme, d'une étincelle, d'électricité statique, sous l'effet de la chaleur, d'un choc ou de frottements).
- **SGH02 : Inflammable** (Le produit peut s'enflammer au contact d'une flamme, d'une étincelle, d'électricité statique, sous l'effet de la chaleur, de frottements, au contact de l'air ou au contact de l'eau en dégageant des gaz inflammables).
- **SGH03 : Comburant** (peut provoquer ou aggraver un incendie – peut provoquer une explosion en présence de produit inflammable).
- **SGH04 : Gaz sous pression** (peut exploser sous l'effet de la chaleur (gaz comprimé, liquéfié et dissous) – peut causer des brûlures ou blessures liées au froid (gaz liquéfiés réfrigérés).
- **SGH05 : Corrosif** (produit qui ronge et peut attaquer ou détruire des métaux – peut provoquer des brûlures de la peau et des lésions aux yeux en cas de contact ou de projection).
- **SGH06 : Toxique ou mortel** (le produit peut tuer rapidement – empoisonne rapidement même à faible dose).
- **SGH07 : Dangereux pour la santé** (peut empoisonner à forte dose – peut irriter la peau, les yeux, les voies respiratoires – peut provoquer des allergies cutanées – peut provoquer somnolence ou vertige – produit qui détruit la couche d'ozone).
- **SGH08 : Nuit gravement pour la santé** (peut provoquer le cancer, modifier l'ADN, nuire à la fertilité ou au fœtus, altérer le fonctionnement de certains organes – peut être mortelle en cas d'ingestion et de pénétration dans les voies respiratoires – peut provoquer des difficultés respiratoires ou des allergies respiratoires).
- **SGH09 : Dangereux pour l'environnement** (produit polluant – provoque des effets néfastes à court et/ou long terme sur les organismes des milieux aquatiques).

► Classification en termes de cancérogénicité

| UE | US-EPA | CIRC |
|---|--|---|
| C1 (H350 ou H350i) : cancérogène avéré ou présumé l'être : C1A : Substance dont le potentiel cancérogène pour l'être humain est avéré C1B : Substance dont le potentiel cancérogène pour l'être humain est supposé | A : Preuves suffisantes chez l'homme | 1 : Agent ou mélange cancérogène pour l'homme |
| C2 : Substance suspectée d'être cancérogène pour l'homme | B1 : Preuves limitées chez l'homme B2 : Preuves non adéquates chez l'homme et preuves suffisantes chez l'animal | 2A : Agent ou mélange probablement cancérogène pour l'homme |
| Carc.3 : Substance préoccupante pour l'homme en raison d'effets cancérogènes possibles (R40) | C : Preuves inadéquates chez l'homme et preuves limitées chez l'animal | 2B : Agent ou mélange peut-être cancérogène pour l'homme |
| | D : Preuves insuffisantes chez l'homme et l'animal E : Indications d'absence de cancérogénicité chez l'homme et chez l'animal | 3 : Agent ou mélange inclassables quant-à sa cancérogénicité pour l'homme 4 : Agent ou mélange probablement non cancérogène chez l'homme |

► Classification en termes de mutagénicité

| UE | |
|--|---|
| M1 (H340) : Substance dont la capacité d'induire des mutations héréditaires est avérée ou qui sont à considérer comme induisant des mutations héréditaires dans les cellules germinales des êtres humains. Substance dont la capacité d'induire des mutations héréditaires dans les cellules germinales des êtres humains est avérée. | M1A : Classification fondée sur des résultats positifs d'études épidémiologiques humaines. Substance considérée comme induisant des mutations héréditaires dans les cellules germinales des êtres humains. M1B : Classification fondée sur des essais in vivo de mutagénicité sur des cellules germinales et somatiques et qui ont donné un ou des résultats positifs et sur des essais qui ont montré que la substance a des effets mutagènes sur les cellules germinales humaines, sans que la transmission de ces mutations à la descendance n'ait été établie. |
| M2 (H341) : Substance préoccupantes du fait qu'elle pourrait induire des mutations héréditaires dans les cellules germinales des êtres humains. | |

► Classification en termes d'effets reprotoxiques

| UE | |
|--|---|
| R1 (H360 ou H360F ou H360D ou H360FD ou H360Fd ou H360fd) : Reprotoxique avéré ou présumé | R1A : Substance dont la toxicité pour la reproduction humaine est avérée. La classification d'une substance dans cette catégorie s'appuie largement sur des études humaines. R1B : Substance présumée toxique pour la reproduction humaine. La classification d'une substance dans cette catégorie s'appuie largement sur des données provenant d'études animales. |
| R2 (H361 ou H361f ou H361d ou H361fd) : Substance suspectée d'être toxique pour la reproduction humaine. Les substances sont classées dans cette catégorie lorsque les résultats des études ne sont pas suffisamment probants pour justifier une classification dans la catégorie 1 mais qui font apparaître un effet indésirable sur la fonction sexuelle et la fertilité ou sur le développement. | |

Annexe 3. Fiches d'échantillonnage des sols

Cette annexe contient 3 pages.

FICHE D'ECHANTILLONNAGE DES SOLS

- NO2700578

| | | | | | |
|---|--|--|--|--|--|
| Sondage n° : AS3 Intervenant BURGEAP : NOS Date : 16/12/2024 Heure : 13h20 Condition météorologique : Couvert | | Sous-traitant : 0 Technique de forage : TARRIERE Profondeur atteinte (m/sol) : 0.3 Diamètre de forage (mm) et gaine : 80/60 | | Confection d'échantillon : BGP 105/10 composite Sous échantillons : - | |
| Localisation du sondage X : 3.09545 Y : 50.59696 Projection : WGS84 Z (sol) - m NGF : - | | Analyses de terrain : PID Réf. Matériel : PID ARRAS n°4 *mesure PID de l'air ambiant au poste d'échantillonnage : 0 ppm | | Préparation de l'échantillon : homogénéisation | |
| Niveau de la nappe d'un piézomètre proche Pz n° : - NS (m/sol) : - | | Doublons : non | | Méthode d'échantillonnage : truelle / pelle à main /autre | |
| Sondage pour échantillons témoins : non | | Laboratoire : JUNIA | | Conditionnement des échantillons : pot sol brut (PE / verre) | |
| Remarques : | | Date d'envoi au laboratoire : 16/12/2024 | | Conservation des échantillons : glacière | |

| Prof. (m) | COUPE GEOLOGIQUE | | | OBSERVATIONS ET MESURES | | |
|-----------|------------------|----------------|----------------------------------|------------------------------|---------------------|-------------|
| | Lithologie | Description | Venues d'eau / humidité des sols | Observations Corps étrangers | Analyses de terrain | N° |
| 0.00 | | terre vegetale | | | 0 ppm | AS3(0-0.3m) |
| 0.02 | | | | | | |
| 0.04 | | | | | | |
| 0.06 | | | | | | |
| 0.08 | | | | | | |
| 0.10 | | | | | | |
| 0.12 | | | | | | |
| 0.14 | | | | | | |
| 0.16 | | | | | | |
| 0.18 | | | | | | |
| 0.20 | | | | | | |
| 0.22 | | | | | | |
| 0.24 | | | | | | |
| 0.26 | | | | | | |
| 0.28 | | | | | | |

Annexe 4. Bordereaux d'analyse des sols

Cette annexe contient 7 pages.

Analyses de 21 terres pour BURGEAP – Mesure de la bioaccessibilité orale de Pb au moyen du test simplifié HCl puis du test UBM

Une campagne de 21 échantillons de terre issus de 7 sites (3 échantillons par site) fournis par BURGEAP a fait l'objet d'une mesure des concentrations totales en Pb puis d'une prédiction des concentrations bioaccessibles (en lien avec l'ingestion de particules de terre) au moyen du test simplifié à l'HCl (ISO DIS 7303). Un échantillon par site a ensuite été sélectionné (n = 7 au total) pour valider les données de prédiction au moyen du test UBM (ISO 17924).

Les échantillons de terre ont été préparés selon des techniques douces (séchage à l'air puis tamisage à 2 mm). Les terres tamisées à 2 mm ont ensuite été tamisées à 250 µm sans avoir recours à un broyage mécanique, et ce en vue d'avoir une fraction de sol représentative de l'exposition (i.e. particules les plus fines adhérant aux mains et susceptibles d'être ingérées).

Le référencement des échantillons est présenté dans le Tableau 1.

Tableau 1 : Référence des échantillons de terre

| Site | Référence terrain |
|------|-------------------|
| GS | GS5, GS6, GS7 |
| CP | CP4, CP5, CP6 |
| FL | FL3, FL4, FL5 |
| KB | KB4, KB5, KB6 |
| MV | MV6, MV7, MV8 |
| CM | CM4, CM5, CM6 |
| AS | AS3, AS4, AS5 |

Minéralisation à l'eau régale – mesure de la concentration pseudo-totale en métaux

La mesure de la concentration pseudo-totale en Pb a été réalisée sur l'ensemble des échantillons (n = 21).

A une prise d'essai de 0,3 g de terre sont ajoutés 4,5 mL d'HCl (37%) et 1,5 mL d'HNO₃ (70%). Après agitation manuelle, les tubes sont mis à chauffer à 95°C pendant 1h30 dans un bloc chauffant. Après refroidissement, le volume est ajusté à 25 mL avec de l'eau bidistillée puis la solution est filtrée à 0,45 µm sur une membrane en acétate de cellulose. Les concentrations en Pb extraites à l'eau régale ont été analysées en spectrométrie d'absorption atomique en mode flamme. Les valeurs obtenues ont été corrigées avec l'humidité résiduelle afin d'exprimer les résultats en mg/kg de poids sec.

Protocole simplifié de mesure de la bioaccessibilité orale des éléments métalliques

Le protocole simplifié de mesure de la bioaccessibilité orale utilisé correspond à une extraction chimique à l'acide chlorhydrique dilué. Ce test est conçu pour une ingestion non intentionnelle de particules de terre. Il permet de prédire la bioaccessibilité orale de As, Cd et Pb dans les phases gastrique et gastro-intestinale mesurée classiquement avec le test UBM (Unified Bioaccessibility Method ; ISO 17924). Ce test simplifié est valable pour des gammes de concentrations totales en éléments métalliques allant de 2 à 2600 mg/kg pour As, de 0,2 à 480 mg/kg pour Cd et de 4 à 50 000 mg/kg pour Pb. Il est en cours de normalisation à l'ISO (DIS 7303).

Une prise d'essai de 0,03 g de terre (tamisée à 250 μm sans avoir recours à un broyage mécanique) est ajoutée à 25 ml d'eau ultra-pure acidifiée à 0,65 % HCl dans des tubes en polyéthylène puis homogénéisée par ultrasons pendant 15 minutes. La digestion est ensuite réalisée dans une enceinte thermostatée pendant 1 h à 37°C. Après refroidissement, les échantillons digérés sont filtrés (filtre Millipore 0,45 μm) avant d'être analysés.

Pour assurer la qualité de la mesure, ont été ajoutés un blanc et un échantillon de référence (référence NIST 2710a). Pour chaque échantillon ($n = 21$), des duplicats ont été réalisés. Les concentrations extraites à l'HCl ont été envoyées et analysées par Wessling en ICP-MS.

L'ensemble des résultats des analyses de Wessling ont été fournies au LGCgE pour le traitement des données.

Protocole de mesure de la bioaccessibilité orale des éléments métalliques

Le protocole de mesure de la bioaccessibilité orale utilisé (Figure 1) est le test UBM (Unified Bioaccessibility Method ; ISO 17924:2019). La mesure de la bioaccessibilité a été réalisée sur 7 échantillons (1 par site) en vue de valider les résultats obtenus avec le test simplifié à l'HCl.

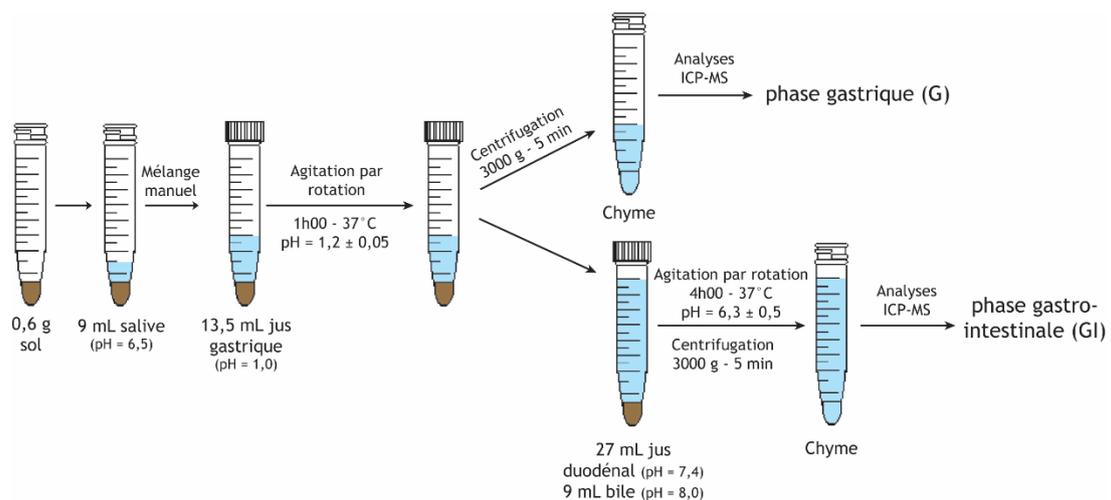


Figure 1 : Représentation schématique du protocole de digestion *in vitro* UBM

Cette mesure est réalisée à partir d'une masse de 0,6 g de terre ($< 250 \mu\text{m}$). A cette masse est ajouté un volume de 9 mL de fluide salivaire. La suspension est homogénéisée manuellement puis 13,5 mL de fluide gastrique sont alors ajoutés à la suspension. Après homogénéisation, le pH de la suspension est ajusté à $1,20 \pm 0,05$ par l'ajout d'HCl (37%). Après agitation pendant 1 h à 37°C, la phase gastrique est

collectée par centrifugation de la suspension à 4500 g pendant 5 minutes. Le surnageant est prélevé et acidifié (HNO₃ 70%) et la concentration en Pb mesurée représente la fraction bioaccessible dans la phase gastrique. Le protocole décrit dans la norme prévoit de mesurer ensuite la fraction intestinale en ajoutant un fluide simulant le fluide digestif intestinal, c'est-à-dire 27 mL de solution duodénale et 9 mL de solution biliaire. Le pH de la suspension est ajusté à 6,3 ± 0,5 par ajouts de NaOH (10 M). La suspension est ensuite homogénéisée pendant 4 h à 37°C, centrifugée à 4500 g pendant 5 minutes. Le surnageant obtenu est acidifié (HNO₃ 70%) et analysé en vue de déterminer les concentrations en éléments métalliques dans cette phase (gastro-intestinale). Cependant, seuls les résultats de la phase gastrique seront utilisés pour les calculs de risques ; ainsi, le compartiment intestinal n'a pas été considéré dans cette étude.

Les fluides utilisés dans le cadre de ce protocole sont composés de réactifs organiques et inorganiques de composition proche de celle rencontrée dans le fluide digestif humain et sont préparés un jour avant la réalisation des extractions.

Pour assurer la qualité de la mesure, sur la série d'échantillons sont ajoutés un blanc et un échantillon de référence (NIST 2710a). Pour chaque échantillon, des duplicats sont réalisés. La mesure des concentrations en Pb dans les digestats correspondant à la phase gastrique a été réalisée en spectrométrie d'absorption atomique en mode flamme. Les valeurs obtenues ont été corrigées avec l'humidité résiduelle afin d'exprimer les résultats en mg/kg de poids sec.

Résultats

Le Tableau 2 présente les résultats des concentrations pseudo-totales de Pb extraites à l'eau régale pour l'ensemble des échantillons (n = 21).

Tableau 2 : Concentration pseudo-totale en Pb extraite à l'eau régale (en mg/kg de poids sec)

| Site | Référence | [Pb]tot | Site | Référence | [Pb]tot |
|------|-----------|---------|------|-----------|---------|
| GS | GS5 | 103.5 | MV | MV6 | 117.8 |
| | GS6 | 110.8 | | MV7 | 59.7 |
| | GS7 | 100.8 | | MV8 | 48.8 |
| CP | CP4 | 223.9 | CM | CM4 | 151.1 |
| | CP5 | 156.5 | | CM5 | 195.4 |
| | CP6 | 142.8 | | CM6 | 137.8 |
| FL | FL3 | 137.4 | AS | AS3 | 284.4 |
| | FL4 | 153.6 | | AS4 | 162.5 |
| | FL5 | 186.9 | | AS5 | 241.2 |
| KB | KB4 | 102.7 | | | |
| | KB5 | 113.9 | | | |
| | KB6 | 123.6 | | | |

Le Tableau 3 présente les résultats des concentrations extraites au moyen du test simplifié à l'HCl sur l'ensemble des échantillons (n = 21).

Tableau 3 : Concentrations en Pb extraites à l’HCl (valeurs moyennes et écarts types ET exprimés en mg/kg de poids sec ; n = 2)

| Réf terrain | Pb_HCl (mg/kg) | |
|-----------------------|------------------|-----------|
| | <i>moy</i> | <i>ET</i> |
| GS5 | 75.1 | 3.8 |
| GS6 | 83.7 | 4.1 |
| GS7 | 80.0 | 3.6 |
| CP4 | 215.5 | 5.8 |
| CP5 | 138.0 | 0.2 |
| CP6 | 113.6 | 10.5 |
| FL3 | 136.1 | 5.9 |
| FL4 | 152.9 | 2.8 |
| FL5 | 109.4 | 0.5 |
| KB4 | 78.2 | 2.0 |
| KB5 | 79.3 | 1.9 |
| KB6 | 86.7 | 1.7 |
| MV6 | 115.5 | 8.3 |
| MV7 | 46.5 | 0.6 |
| MV8 | 32.1 | 2.5 |
| CM4 | 132.1 | 5.1 |
| CM5 | 181.0 | 1.5 |
| CM6 | 98.8 | 4.2 |
| AS3 | 268.6 | 4.5 |
| AS4 | 153.3 | 1.5 |
| AS5 | 221.1 | 13.8 |
| Référence NIST 2710a* | 3547 | - |
| Données labos** | 3681 (3386-4018) | - |

La référence NIST 2710a a été ajoutée à la série d’échantillons pour le contrôle qualité de l’extraction. Les valeurs obtenues* sont en adéquation avec les données labos** (moyenne et gamme acceptable).

A partir des concentrations moyennes extraites à l’HCl, la bioaccessibilité de Pb peut être prédite dans les deux phases (gastrique et gastro-intestinale) en utilisant les équations issues de régressions linéaires simples (Pelfrêne et al., 2020). Les équations utilisées ainsi que les intervalles de prédiction sont présentées dans le Tableau 4.

Tableau 4 : Bioaccessibilité prédite pour As, Cd et Pb dans les phases gastrique (G) et gastro-intestinale (GI) (exprimée en mg/kg) au moyen de l’extraction simple à l’HCl

| Prédiction de la bioaccessibilité de... | Dans la phase... | Equation et intervalle de prédiction |
|---|------------------|--|
| As | G | $\log_{10}[As]_{BA} = 0,8318 \times \log_{10}[As]_{HCl} + 0,1553$ $\pm 1,9776 \times 0,1325$ $\times \sqrt{(1 + 0,0162 + (-0,0327) \times \log_{10}[As]_{HCl} + 0,0297 \times \log_{10}[As]_{HCl}^2)}$ |
| | GI | $\log_{10}[As]_{BA} = 0,7998 \times \log_{10}[As]_{HCl} + 0,1284$ $\pm 1,9776 \times 0,1255$ $\times \sqrt{(1 + 0,0162 + (-0,0327) \times \log_{10}[As]_{HCl} + 0,0297 \times \log_{10}[As]_{HCl}^2)}$ |
| Cd | G | $\log_{10}[Cd]_{BA} = 1,0003 \times \log_{10}[Cd]_{HCl} - 0,0015$ |

| | | |
|----|----|--|
| | | $\pm 1,9806 \times 0,0746$ $\times \sqrt{(1 + 0,0095 + (-0,0078) \times \log_{10}[Cd]_{HCl} + 0,0149 \times \log_{10}[Cd]_{HCl}^2)}$ |
| | GI | $\log_{10}[Cd]_{BA} = 1,0293 \times \log_{10}[Cd]_{HCl} - 0,4129$ $\pm 1,9806 \times 0,1422$ $\times \sqrt{(1 + 0,0095 + (-0,0078) \times \log_{10}[Cd]_{HCl} + 0,0149 \times \log_{10}[Cd]_{HCl}^2)}$ |
| Pb | G | $\log_{10}[Pb]_{BA} = 1,0109 \times \log_{10}[Pb]_{HCl} - 0,0581$ $\pm 1,9776 \times 0,0696$ $\times \sqrt{(1 + 0,0762 + (-0,0618) \times \log_{10}[Pb]_{HCl} + 0,0138 \times \log_{10}[Pb]_{HCl}^2)}$ |
| | GI | $\log_{10}[Pb]_{BA} = 1,1050 \times \log_{10}[Pb]_{HCl} - 1,2757$ $\pm 1,9776 \times 0,5057 \times \sqrt{(1 + 0,0762 + (-0,0618) \times \log_{10}[Pb]_{HCl} + 0,0138 \times \log_{10}[Pb]_{HCl}^2)}$ |

[As, Cd ou Pb]_{BA} : concentration bioaccessible prédite

[As, Cd ou Pb]_{HCl} : concentration moyenne extraite mesurée par HCl

Le Tableau 5 présente les résultats de la prédiction de la bioaccessibilité orale de Pb au moyen de l'équation pour la phase gastrique uniquement (celle qui sera considérée dans les EQRS), exprimés en mg/kg de poids sec puis en % par rapport à la concentration pseudo-totale.

Tableau 5 : Bioaccessibilité orale de Pb prédite (BA) et intervalle de prédiction pour les 21 échantillons de terre dans la phase gastrique (G) ; Valeurs moyennes exprimés en mg/kg de poids sec et en % par rapport aux concentrations pseudo-totales.

| Réf terrain | [Pb] _{BA} (mg/kg) | | [Pb] _{BA} (%) |
|-------------|----------------------------|--------|------------------------|
| GS5 | 68.9 | ± 1.37 | 66.5 |
| GS6 | 76.8 | ± 1.37 | 69.3 |
| GS7 | 73.4 | ± 1.37 | 72.9 |
| CP4 | 199.9 | ± 1.37 | 89.3 |
| CP5 | 127.4 | ± 1.37 | 81.4 |
| CP6 | 104.6 | ± 1.37 | 73.3 |
| FL3 | 125.6 | ± 1.37 | 91.4 |
| FL4 | 141.3 | ± 1.37 | 92.0 |
| FL5 | 100.7 | ± 1.37 | 53.9 |
| KB4 | 71.7 | ± 1.37 | 69.8 |
| KB5 | 72.7 | ± 1.37 | 63.8 |
| KB6 | 79.6 | ± 1.37 | 64.4 |
| MV6 | 106.4 | ± 1.37 | 90.3 |
| MV7 | 42.4 | ± 1.38 | 71.0 |
| MV8 | 29.2 | ± 1.38 | 59.7 |
| CM4 | 121.8 | ± 1.37 | 80.7 |
| CM5 | 167.6 | ± 1.37 | 85.7 |
| CM6 | 90.9 | ± 1.37 | 66.0 |
| AS3 | 249.7 | ± 1.37 | 87.8 |
| AS4 | 141.7 | ± 1.37 | 87.2 |
| AS5 | 205.1 | ± 1.37 | 85.0 |

Le test HCl est une méthode appropriée pour évaluer en première approche la bioaccessibilité orale de Pb dans la phase gastrique. L'objectif est d'aider les utilisateurs à sélectionner quelques échantillons dans un second temps et dans une approche de validation complémentaire en utilisant le test UBM pour une meilleure évaluation de l'exposition humaine.

En ce sens, 7 échantillons ont été sélectionnés (1 par site) et le Tableau 6 présente les résultats des concentrations bioaccessibles en Pb dans la phase gastrique (G). Les valeurs sont exprimées en mg/kg de poids sec puis en % par rapport aux concentrations pseudo-totales.

Tableau 6 : Bioaccessibilité orale (BAc) de Pb mesurée dans les 7 échantillons de terre dans la phase gastrique (G). Valeurs moyennes et écart-types ($n = 2$) exprimées en mg/kg de poids sec et en % par rapport aux concentrations pseudo-totales.

| | BAc Pb_G (mg/kg) | | BAc Pb_G (%) | |
|-----------------------|------------------|------|--------------|-----|
| | Moy | ET | Moy | ET |
| GS7 | 65.2 | 4.0 | 64.7 | 4.0 |
| CP4 | 172.4 | 3.8 | 77.0 | 1.7 |
| FL4 | 122.1 | 1.4 | 79.5 | 0.9 |
| KB4 | 71.8 | 10.2 | 69.9 | 9.9 |
| MV6 | 103.9 | 1.6 | 88.2 | 1.4 |
| CM5 | 135.4 | 3.7 | 69.3 | 1.9 |
| AS3 | 197.6 | 3.2 | 69.5 | 1.1 |
| Référence NIST 2710a* | 2504 | - | - | - |
| Données labos** | 2924 (2362-3921) | - | - | - |

La référence NIST 2710a a été ajoutée à la série d'échantillons pour le contrôle qualité de l'extraction. Les valeurs obtenues* sont en adéquation avec les données labos** (moyenne et gamme acceptable).

Pour ces 7 échantillons, les données de bioaccessibilité obtenues avec le test UBM sont comparées aux données prédites avec HCl (Figure 2). Une très bonne corrélation est obtenue indiquant que la méthode simplifiée est adaptée en première approche pour prédire la bioaccessibilité de Pb. Une légère surestimation des valeurs est néanmoins observée avec la méthode simplifiée, ce qui permet de rester conservatoire. La méthode UBM permet d'affiner la mesure.

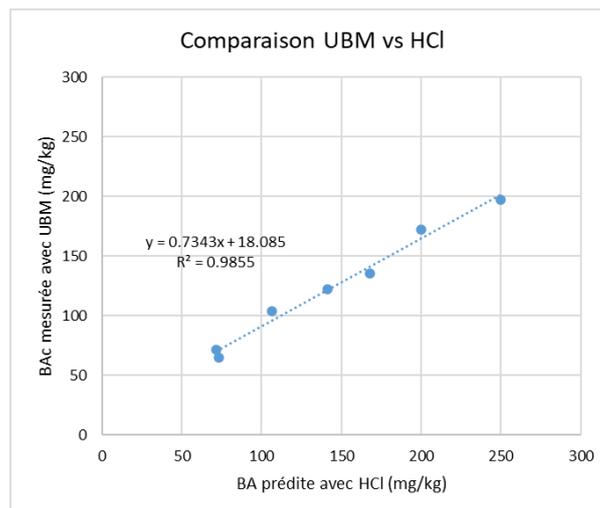


Figure 2 : Bioaccessibilité mesurée de Pb avec UBM en fonction de la bioaccessibilité prédite avec HCl (exprimées en mg/kg)

Intégration de la bioaccessibilité dans l'ajustement de la dose journalière d'exposition pour les EQRS

La démarche proposée ci-dessous a été validée et sera décrite dans le guide à paraître en lien avec le GT « Bioaccessibilité des métaux/métalloïdes dans les sols » piloté par l'Ineris à la demande du MTES.

Il est proposé de réaliser une EQRS pour chaque site en considérant ainsi la valeur de bioaccessibilité obtenue au moyen du test UBM (Tableau 6). Les résultats présentés dans ce Tableau, exprimés en % par rapport à la concentration pseudo-totale, correspondent à la bioaccessibilité absolue.

Les calculs de la dose d'exposition ajustée (DJE ajustée) pour Pb doivent être réalisés avec l'équation ci-dessous intégrant la biodisponibilité relative (RBD) :

$$DJE_{\text{ajustée}} = DJE \times RBD$$

Calcul des biodisponibilités relatives (RBD) de Pb :

Les RBD sont calculées selon l'équation suivante issue des corrélations *in vivo/in vitro* ayant permis la validation du test UBM :

$$RBD \text{ Pb G} = (0,92 \times BAc \text{ Pb G}) - 1,69$$

RBD : biodisponibilité relative de Pb dans la phase gastrique (G) (exprimée en %)

BAc : bioaccessibilité absolue de Pb dans la phase G dans le sol (exprimée en %)

Le Tableau 7 présente les RBD pour Pb qui seront les données à entrer dans les EQRS pour ajustée la DJE.

Tableau 7 : Biodisponibilité relative (RBD) de Pb calculée dans les 7 échantillons de terre dans la phase gastrique (G).

| Références | RBD Pb (%) |
|------------|------------|
| GS7 | 57.8 |
| CP4 | 69.1 |
| FL4 | 71.4 |
| KB4 | 62.6 |
| MV6 | 79.4 |
| CM5 | 62.0 |
| AS3 | 62.2 |

Référence

Pelfrêne A., Sahmer K., Waterlot C., Glorennec P., Douay F., Le Bot B. (2020). Evaluation of single-extraction methods to estimate the oral bioaccessibility of metal(loid)s in soils. *Science of the Total Environment* 727, 138553.

Annexe 5. Données toxicologiques

Cette annexe contient 6 pages

Identification des dangers

En termes sanitaires, un danger désigne tout effet toxique, c'est-à-dire un dysfonctionnement cellulaire ou organique lié à l'interaction entre un organisme vivant et un agent chimique, physique ou biologique. La toxicité d'un composé dépend de la durée et de la voie d'exposition de l'organisme humain.

Tous les modes d'exposition sont traités en **effets chroniques**, correspondant à de longues durées d'exposition (supérieures à 7 ans pour l'US-EPA et supérieures à 1 an pour l'ATSDR).

Types d'effets distingués

Par chaque substance, différents effets toxiques peuvent être considérés. On distinguera dans le présent document les effets cancérigènes (apparition de tumeurs), les effets mutagènes (ou tératogènes consistant à la modification de l'ADN en particulier), les effets sur la reproduction (reprotoxicité) des autres effets toxiques.

Différents organismes internationaux (l'OMS, l'Union Européenne et l'US-EPA) ont classé les effets suscités en catégories ou classes. Celles-ci sont présentées en page suivante. Seule la classification de l'Union Européenne a un caractère réglementaire. C'est également la seule qui classe les substances chimiques quant à leur caractère mutagène et reprotoxique.

Les mentions de danger des substances sont présentées en préambule ainsi que les symboles (SGH01 à SGH09) qui les représentent. Ces mentions de danger sont liées au classement établi par l'Union Européenne.

Classification en termes de cancérogénéité

| UE | US-EPA | CIRC |
|--|---|--|
| C1 (H350 ou H350i) : cancérigène avéré ou présumé l'être : C1A : Substance dont le potentiel cancérigène pour l'être humain est avéré C1B : Substance dont le potentiel cancérigène pour l'être humain est supposé | A : Preuves suffisantes chez l'homme | 1 : Agent ou mélange cancérigène pour l'homme |
| C2 : Substance suspectée d'être cancérigène pour l'homme | B1 : Preuves limitées chez l'homme B2 : Preuves non adéquates chez l'homme et preuves suffisantes chez l'animal | 2A : Agent ou mélange probablement cancérigène pour l'homme |
| Carc.3 : Substance préoccupante pour l'homme en raison d'effets cancérigènes possibles (R40) | C : Preuves inadéquates chez l'homme et preuves limitées chez l'animal | 2B : Agent ou mélange peut-être cancérigène pour l'homme |
| | D : Preuves insuffisantes chez l'homme et l'animal E : Indications d'absence de cancérogénéité chez l'homme et chez l'animal | 3 : Agent ou mélange inclassables quant à sa cancérogénéité pour l'homme 4 : Agent ou mélange probablement non cancérigène chez l'homme - |

Classification en termes de mutagénicité

| UE | |
|---|---|
| M1 (H340) : Substance dont la capacité d'induire des mutations héréditaires est avérée ou qui sont à considérer comme induisant des mutations héréditaires dans les cellules germinales des êtres humains. Substance dont la capacité d'induire des mutations héréditaires dans les cellules germinales des êtres humains est avérée. | M1A : Classification fondée sur des résultats positifs d'études épidémiologiques humaines. Substance considérée comme induisant des mutations héréditaires dans les cellules germinales des êtres humains. |
| | M1B : Classification fondée sur des essais in vivo de mutagénicité sur des cellules germinales et somatiques et qui ont donné un ou des résultats positifs et sur des essais qui ont montré que la substance a des effets mutagènes sur les cellules germinales humaines, sans que la transmission de ces mutations à la descendance n'ait été établie. |
| M2 (H341) : Substance préoccupantes du fait qu'elle pourrait induire des mutations héréditaires dans les cellules germinales des êtres humains. | |

Classification en termes d'effets reprotoxiques

| UE | |
|---|---|
| R1 (H360 ou H360F ou H360D ou H360FD ou H360Fd ou H360fD) : Reprotoxique avéré ou présumé | R1A : Substance dont la toxicité pour la reproduction humaine est avérée. La classification d'une substance dans cette catégorie s'appuie largement sur des études humaines. |
| | R1B : Substance présumée toxique pour la reproduction humaine. La classification d'une substance dans cette catégorie s'appuie largement sur des données provenant d'études animales. |
| R2 (H361 ou H361f ou H361d ou H361fd) : Substance suspectée d'être toxique pour la reproduction humaine. Les substances sont classées dans cette catégorie lorsque les résultats des études ne sont pas suffisamment probants pour justifier une classification dans la catégorie 1 mais qui font apparaître un effet indésirable sur la fonction sexuelle et la fertilité ou sur le développement. | |

La toxicité pour la reproduction comprend l'altération des fonctions ou de la capacité de reproduction chez l'homme ou la femme et l'induction d'effets néfastes non héréditaires sur la descendance.

Les effets sur la fertilité masculine ou féminine recouvrent les effets néfastes sur :

- sur la libido,
- le comportement sexuel,
- les différents aspects de la spermatogenèse ou de l'oogénèse,
- l'activité hormonale ou la réponse physiologique qui perturberaient la fécondation
- la fécondation elle-même ou le développement de l'ovule fécondé.

La toxicité pour le développement est considérée dans son sens le plus large, perturbant le développement normal aussi bien avant qu'après la naissance.

Les produits chimiques les plus préoccupants sont ceux qui sont toxiques pour la reproduction à des niveaux d'exposition qui ne donnent pas d'autres signes de toxicité.

Symboles et phrases de risques

Le SGH ou Système général harmonisé de classification et d'étiquetage des produits chimiques est un ensemble de recommandations élaborées au niveau international. Il vise à harmoniser les règles de classification des produits chimiques et de communication des dangers (étiquettes, fiches de données de sécurité). En Europe, dans les secteurs du travail et de la consommation, le SGH est mis en application via le règlement CLP. Le nouveau règlement européen CLP (*Classification, Labelling and Packaging*) 1272/2008 du 16 décembre 2008 relatif à la classification à l'étiquetage et à l'emballage des substances et des mélanges et modifiant les directives 67/548/CEE, 1999/45/CE et le règlement 1907/2006 a été publié le 31 décembre 2008 au Journal officiel de l'Union européenne.

Le règlement CLP est entré en vigueur le **20 janvier 2009**. Il prévoit néanmoins une période de transition durant laquelle l'ancien et le nouveau système de classification et d'étiquetage coexisteront. Sauf dispositions particulières prévues par le texte, la mise en application du nouveau règlement devient obligatoire à partir du **1er décembre 2010** pour les **substances** et du **1er juin 2015** pour les **mélanges**. Il est à souligner que, pour éviter toute confusion, les produits ne peuvent porter de double étiquetage. Au 1er juin 2015, le système préexistant sera définitivement abrogé et la nouvelle réglementation sera la seule en vigueur.

Les principales nouveautés pour l'étiquette de sécurité sont l'apparition de nouveaux pictogrammes de danger, de forme losange et composés d'un symbole noir sur un fond blanc bordé de rouge, et l'ajout de mention d'avertissement indiquant la gravité du danger ("DANGER", pour les produits les plus dangereux, et "ATTENTION"). Les étiquettes comporteront également des mentions de danger (ex: "Mortel par inhalation") en remplacement des phrases de risque (phrases R) et des nouveaux conseils de prudence (ex: "Éviter tout contact avec les yeux, la peau ou les vêtements").

MENTIONS DE DANGER
► 28 mentions de danger physique

- H200 : Explosif instable
- H201 : Explosif ; danger d'explosion en masse
- H202 : Explosif ; danger sérieux de projection
- H203 : Explosif ; danger d'incendie, d'effet de souffle ou de projection
- H204 : Danger d'incendie ou de projection
- H205 : Danger d'explosion en masse en cas d'incendie
- H220 : Gaz extrêmement inflammable
- H221 : Gaz inflammable
- H222 : Aérosol extrêmement inflammable
- H223 : Aérosol inflammable
- H224 : Liquide et vapeurs extrêmement inflammables
- H225 : Liquide et vapeurs très inflammables
- H226 : Liquide et vapeurs inflammables
- H228 : Matière solide inflammable
- H240 : Peut exploser sous l'effet de la chaleur
- H241 : Peut s'enflammer ou exploser sous l'effet de la chaleur
- H242 : Peut s'enflammer sous l'effet de la chaleur
- H250 : S'enflamme spontanément au contact de l'air
- H251 : Matière auto-échauffante ; peut s'enflammer
- H252 : Matière auto-échauffante en grandes quantités ; peut s'enflammer
- H260 : Dégage au contact de l'eau des gaz inflammables qui peuvent s'enflammer spontanément
- H261 : Dégage au contact de l'eau des gaz
- H270 : Peut provoquer ou aggraver un incendie ; comburant
- H271 : Peut provoquer un incendie ou une explosion ; comburant puissant
- H272 : Peut aggraver un incendie ; comburant
- H280 : Contient un gaz sous pression ; peut exploser sous l'effet de la chaleur
- H281 : Contient un gaz réfrigéré ; peut causer des brûlures ou blessures cryogéniques
- H290 : Peut être corrosif pour les métaux

► 38 mentions de danger pour la santé

- H300 : Mortel en cas d'ingestion
- H301 : Toxique en cas d'ingestion
- H302 : Nocif en cas d'ingestion
- H304 : Peut être mortel en cas d'ingestion et de pénétration dans les voies respiratoires
- H310 : Mortel par contact cutané
- H311 : Toxique par contact cutané
- H312 : Nocif par contact cutané
- H314 : Provoque des brûlures de la peau et des lésions oculaires graves
- H315 : Provoque une irritation cutanée
- H340 : Peut induire des anomalies génétiques <indiquer la voie d'exposition s'il est formellement prouvé qu'aucune autre voie d'exposition ne conduit au même danger>
- H341 : Susceptible d'induire des anomalies génétiques <indiquer la voie d'exposition s'il est formellement prouvé qu'aucune autre voie d'exposition ne conduit au même danger>
- H350 : Peut provoquer le cancer <indiquer la voie d'exposition s'il est formellement prouvé qu'aucune autre voie d'exposition ne conduit au même danger>
- H351 : Susceptible de provoquer le cancer <indiquer la voie d'exposition s'il est formellement prouvé qu'aucune autre voie d'exposition ne conduit au même danger>
- H360 : Peut nuire à la fertilité ou au fœtus <indiquer l'effet spécifique s'il est connu> <indiquer la voie d'exposition s'il est formellement prouvé qu'aucune autre voie d'exposition ne conduit au même danger>
- H361 : Susceptible de nuire à la fertilité ou au fœtus <indiquer l'effet s'il est connu> <indiquer la voie d'exposition s'il est formellement prouvé qu'aucune autre voie d'exposition ne conduit au même danger>
- H362 : Peut être nocif pour les bébés nourris au lait maternel
- H317 : Peut provoquer une allergie cutanée
- H318 : Provoque des lésions oculaires graves
- H319 : Provoque une sévère irritation des yeux
- H330 : Mortel par inhalation
- H331 : Toxique par inhalation
- H332 : Nocif par inhalation
- H334 : Peut provoquer des symptômes allergiques ou d'asthme ou des difficultés respiratoires par inhalation
- H335 : Peut irriter les voies respiratoires
- H336 : Peut provoquer somnolence ou vertiges
- H370 : Risque avéré d'effets graves pour les organes <ou indiquer tous les organes affectés, s'ils sont formellement prouvé qu'aucune autre voie d'exposition ne conduit au même danger>
- H371 : Risque présumé d'effets graves pour les organes <ou indiquer tous les organes affectés, s'ils sont formellement prouvé qu'aucune autre voie d'exposition ne conduit au même danger>
- H372 : Risque avéré d'effets graves pour les organes <indiquer tous les organes affectés, s'ils sont formellement prouvé qu'aucune autre voie d'exposition ne conduit au même danger>
- H373 : Risque présumé d'effets graves pour les organes <indiquer tous les organes affectés, s'ils sont formellement prouvé qu'aucune autre voie d'exposition ne conduit au même danger>

► Pour certaines mentions de danger pour la santé des lettres sont ajoutées au code à 3 chiffres :

- H350i : Peut provoquer le cancer par inhalation
- H360F : Peut nuire à la fertilité
- H360D : Peut nuire au fœtus
- H361f : Susceptible de nuire à la fertilité
- H361d : Susceptible de nuire au fœtus
- H360FD : Peut nuire à la fertilité. Peut nuire au fœtus
- H361fd : Susceptible de nuire à la fertilité. Susceptible de nuire au fœtus
- H360Fd : Peut nuire à la fertilité. Susceptible de nuire au fœtus
- H360Df : Peut nuire au fœtus. Susceptible de nuire à la fertilité.

► 5 mentions de danger pour l'environnement

- H400 : Très toxique pour les organismes aquatiques
- H410 : Très toxique pour les organismes aquatiques, entraîne des effets néfastes à long terme
- H411 : Toxique pour les organismes aquatiques, entraîne des effets néfastes à long terme
- H412 : Nocif pour les organismes aquatiques, entraîne des effets néfastes à long terme
- H413 : Peut être nocif à long terme pour les organismes aquatiques

► Symboles de danger

- **SHG01 : Explosif** (ce produit peut exploser au contact d'une flamme, d'une étincelle, d'électricité statique, sous l'effet de la chaleur, d'un choc ou de frottements).
- **SGH02 : Inflammable** (Le produit peut s'enflammer au contact d'une flamme, d'une étincelle, d'électricité statique, sous l'effet de la chaleur, de frottements, au contact de l'air ou au contact de l'eau en dégagant des gaz inflammables).
- **SGH03 : Comburant** (peut provoquer ou aggraver un incendie – peut provoquer une explosion en présence de produit inflammable).
- **SGH04 : Gaz sous pression** (peut exploser sous l'effet de la chaleur (gaz comprimé, liquéfié et dissous) – peut causer des brûlures ou blessures liées au froid (gaz liquéfiés réfrigérés).
- **SGH05 : Corrosif** (produit qui ronge et peut attaquer ou détruire des métaux – peut provoquer des brûlures de la peau et des lésions aux yeux en cas de contact ou de projection).
- **SGH06 : Toxique ou mortel** (le produit peut tuer rapidement – empoisonne rapidement même à faible dose).
- **SGH07 : Dangereux pour la santé** (peut empoisonner à forte dose – peut irriter la peau, les yeux, les voies respiratoires – peut provoquer des allergies cutanées – peut provoquer somnolence ou vertige – produit qui détruit la couche d'ozone).
- **SGH08 : Nuit gravement pour la santé** (peut provoquer le cancer, modifier l'ADN, nuire à la fertilité ou au fœtus, altérer le fonctionnement de certains organes – peut être mortelle en cas d'ingestion et de pénétration dans les voies respiratoires – peut provoquer des difficultés respiratoires ou des allergies respiratoires).
- **SGH09 : Dangereux pour l'environnement** (produit polluant – provoque des effets néfastes à court et/ou long terme sur les organismes des milieux aquatiques).

| | | |
|---|---|---|
| SGH01 | SGH02 | SGH03 |
|  |  |  |
| SGH04 | SGH05 | SGH06 |
|  |  |  |
| SGH07 | SGH08 | SGH09 |
|  |  |  |

Le tableau ci-après reprend l'ensemble des informations propres à chaque substance considérée dans la présente étude.

| | CAS n°R | Volatilité | solubilité | Classement symboles | Mention de danger | classement cancérogénéicité | | | EFFETS TOXIQUES A SEUIL | |
|------------------------------|-----------|-------------|-------------|------------------------|--|-----------------------------|----------------|--------------|-------------------------|----------------------------------|
| | | Pv | S | | | UE | CIRC (IARC) | EPA | Organe cible (oral) | Organe cible (inh°) |
| METAUX ET METALLOIDES | | | | | | | | | | |
| Cuivre (Cu) | 7440-50-8 | non adéquat | non adéquat | - | - | - | 3 | D | <i>sys.digest.</i> | <i>sys. Resp. et immunitaire</i> |
| Cadmium (Cd) | 7440-43-9 | non adéquat | non adéquat | SGH06, SGH08, SGH09 | H350, H341, H361fd, H330, H372, H400, H410 | C1B/C2 M1B/M2 R1B/R2 | 1 | prob canc | - | <i>tumeurs pulmonaires</i> |
| Plomb (Pb) | 7439-92-1 | non adéquat | non adéquat | SGH07, SGH08, SGH09 | H360Df, H332, H373, H400, H410 | R1A | 2B | B2 | <i>plombémie</i> | - |

| | |
|--|---|
| LEGENDE Volatilité : ++ : Pv > 1000 Pa (COV) + : 1000 > Pv > 10 Pa (COV) - : 10 > Pv > 10-2 Pa (non COV) -- : 10-2 > Pv > 10-5 Pa (non COV) | LEGENDE Solubilité : ++ : S > 100 mg/l + : 100 > S > 1 mg/l - : 1 > S > 0.01 mg/l -- : S < 0.01 mg/l |
|--|---|

Annexe 6. Relations dose-réponse

Cette annexe contient 6 pages.

Relations dose-effet/dose-réponse

La dose est la quantité d'agent dangereux mise en contact avec un organisme vivant. Elle s'exprime généralement en milligramme par kilo de poids corporel et par jour (mg/kg/j).

La relation entre une dose et son effet est représentée par une grandeur numérique appelée Valeur Toxicologique de Référence (VTR). Établies par diverses instances internationales ou nationales⁹ (Cf § H) sur l'analyse des connaissances toxicologiques animales et épidémiologiques, ces VTR sont une appellation générique regroupant tous les types d'indices toxicologiques établissant une relation quantitative entre une dose et un effet (toxiques à seuil de dose) ou entre une dose et une probabilité d'effet (toxiques sans seuil de dose).

Selon les mécanismes toxicologiques en jeu et pour des expositions chroniques, deux grands types d'effets sanitaires peuvent être distingués : **les effets à seuil** de dose (effets non cancérogènes et effets cancérogènes à seuil¹⁰) et **les effets sans seuil** de dose (substances cancérogènes génotoxiques). Une même substance peut produire ces deux types d'effets.

Pour les **effets à seuil de dose**, on dispose en pratique et dans le meilleur des cas :

- d'un niveau d'exposition sans effet observé (NOEL : no observed effect level),
- d'un niveau d'exposition sans effet néfaste observé (NOAEL : no observed adverse effect level),
- d'un niveau d'exposition le plus faible ayant entraîné un effet (LOEL : lowest observed effect level),
- le niveau d'exposition le plus faible auquel un effet néfaste apparaît (LOAEL : lowest observed adverse effect level).

Ces seuils sont issus d'expérimentations animales, d'études épidémiologiques ou d'essais de toxicologie clinique. À partir de ces seuils, des DJT (dose journalière tolérable) ou des CA (concentration admissible) applicables à l'homme sont définies en divisant les seuils précédents par des facteurs de sécurité liés aux types d'expérimentations ayant permis d'obtenir ces données. Les DJT et CA sont habituellement qualifiées de « valeur toxicologiques de références » (VTR).

Les **effets sans seuil de dose** sont exprimés au travers d'un indice représentant un excès de risque unitaire (ERU) qui traduit la relation entre le niveau d'exposition chez l'homme et la probabilité de développer l'effet. Les ERU sont définis à partir d'études épidémiologiques ou animales. Les niveaux d'exposition appliqués à l'animal sont convertis en niveaux d'exposition équivalents pour l'homme.

Pour les effets à seuil de dose, les VTR sont exprimées en mg/kg/j pour l'ingestion et en $\mu\text{g}/\text{m}^3$ pour l'inhalation, avec des dénominations variables selon les pays et les organismes, les principales dénominations sont reprises ci-dessous :

- DJT (dose journalière tolérable - France)
- RfD (Reference Dose – US-EPA)
- RfC (Reference Concentration – US-EPA)
- ADI (Acceptable Daily Intake – US-EPA)
- MRL (Minimum Reasonable Level - ATSDR)

⁹ ATSDR Toxicological Profiles (US Agency for Toxic Substances and Disease Registry)

IRIS US-EPA (Integrated Risk Information System ; US Environmental Protection Agency)

OMS. Guidelines for drinking-water quality.

INCHEM-IPCS (International Program on Chemical Safety, OMS)

En France, l'ANSES (Agence Nationale de Sécurité Sanitaire de l'Alimentation, de l'Environnement et du Travail) peut également produire des VTR

¹⁰ Cancérogènes épigénétiques ou non génotoxiques

- REL (Reference Exposure Level – OEHHA)
- TDI (Tolerable Daily Intake –RIVM)
- CAA (Concentration dans l'Air Admissible – OMS);

En France, la dénomination retenue par l'ANSES¹¹ pour l'ensemble de ses valeurs est la dénomination générique « VTR » (Valeur Toxicologique de Référence)

Pour les effets sans seuil de dose, les VTR seront présentées sous formes d'excès de risque unitaire (ERU). Cet ERU représente la probabilité de survenue d'un effet cancérigène pour une exposition à une unité de dose donnée. Les dénominations proposées les plus classiques sont les suivantes :

- l'excès de risque unitaire lié à la voie d'exposition orale : ERUo en (mg/kg/j)⁻¹,
- l'excès de risque unitaire par inhalation : ERUi en (µg/m³)⁻¹.

Critères de choix des VTR

La note d'information N° DGS/EA1/DGPR/2014/307 du 31 octobre 2014 relative aux modalités de sélection des substances chimiques et de choix des valeurs toxicologiques de référence pour mener les évaluations des risques sanitaires dans le cadre des études d'impact et de la gestion des sites et sols pollués est prise en compte pour la sélection des VTR.

En l'absence de VTR établie par l'ANSES, en application de la note DGS/DGPR précitée, pour chaque substance, les différentes VTR actuellement disponibles seront recherchées de façon à discuter le choix réalisé sur les critères suivants :

- les valeurs issues d'études chez l'homme par rapport à des valeurs dérivées à partir d'études sur les animaux. Par ailleurs, la qualité de l'étude pivot sera également prise en compte (protocole, taille de l'échantillon, ...);
- les modes de calcul (degré de transparence dans l'établissement de la VTR) et les facteurs de sécurité appliqués constitueront également un critère de choix ;
- les valeurs issues d'organismes reconnus (européens ou autres).

Ainsi, en l'absence d'**expertise nationale** ou de VTR proposée par l'**Anses**, la VTR sera retenue selon l'ordre de priorité défini par la circulaire DGS/DGPR du 31/10/2014, à savoir :

- la VTR la plus récente parmi les trois bases de données : **US-EPA, ATSDR ou 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.
- Puis, si aucune VTR n'était retrouvée dans les 4 bases de données (Anses, US-EPA, ATSDR et OMS), la VTR la plus récente proposée par **Santé Canada, RIVM, l'OEHHA ou l'EFSA**.

VTR pour la voie cutanée

Lors de la réalisation d'évaluations des risques sanitaires en France, l'exposition cutanée n'est pas prise en compte, en raison de l'absence de valeurs toxicologiques de référence (VTR) et de méthodologie d'élaboration. Ainsi, l'INERIS a récemment travaillé sur la prise en compte de la voie cutanée et a proposé une méthode de construction de VTR pour des effets sensibilisants pour une exposition de la peau (INERIS, rapport DRC-07-85452-12062A, 2007).

A l'heure actuelle, l'INERIS continue son travail concernant les VTR pour des effets cutanés. L'objet de son rapport DRC-09-94380-01323A d'avril 2009, est d'ajuster la méthodologie précédemment proposée en prenant notamment en compte les recommandations du document guide développé pour la mise en œuvre

¹¹ANSES : Agence Nationale de Sécurité Sanitaire de l'Alimentation, de l'Environnement et du Travail

du règlement REACH relatif à une méthodologie d'établissement des DNEL (Derived No Effect Level) pour les effets sensibilisants. La méthodologie a été appliquée à trois substances sensibilisantes : l'hydroquinone, substance pour laquelle deux types de tests étaient disponibles (LLNA et GPMT) qui présentait ainsi une bonne étude de cas pour la méthodologie et le benzo(a)pyrène, substance couramment retrouvée en évaluation des risques. Le 3-méthyleugénol, faiblement sensibilisant, a également été étudié dans l'objectif d'avoir un aperçu sur l'étendue possible des valeurs des DNEL. Ces valeurs ne sont pas reprises dans le présent document.

In fine, GINGER BURGEAP applique la note DGS/DGPR d'octobre 2014 qui mentionne « en l'absence de procédures établies pour la construction de VTR pour la voie cutanée, il ne doit être envisagé aucune transposition à cette voie de VTR disponibles pour les voies orale ou respiratoire ».

Autres valeurs de comparaison utilisées

L'utilisation d'autres valeurs que les Valeurs Toxicologiques de Référence peut être réalisée parallèlement à la quantification des risques sanitaires. Ces autres valeurs permettent en effet de discuter de l'exposition des individus et d'estimer l'état des milieux, à savoir si un impact est mesuré (ou mesurable) ou non.

Ces valeurs de comparaison regroupent des valeurs réglementaires (France et Europe), des valeurs guide (OMS, INDEX, CHSPF) qui sont généralement des valeurs qui servent de point de départ à l'élaboration de valeurs réglementaires et, dans le contexte particulier du code du travail, des valeurs limites pour l'exposition professionnelle (VLEP) qu'elles soient réglementaires ou indicatives. Les VLEP peuvent en effet avec les seuils olfactifs être des éléments de l'interprétation de l'état du milieu air en l'absence de toute autre valeur guide.

Ces valeurs ne sont en aucun cas (conformément à la note DGS/DGPR d'octobre 2014) utilisées pour évaluer les Quotient de Danger (QD) et excès de risques individuels (ERI) faisant référence à une évaluation des risques sanitaires. Ces valeurs appelées valeurs de comparaison constituent des critères de gestion.

Valeurs réglementaires

► Milieu AIR

Le Décret n°2010-1250 du 21 octobre 2010 transpose la directive européenne 2008/50/CE concernant la qualité de l'air ambiant et un air pur pour l'Europe et précise notamment les nouvelles normes à appliquer.

Ces valeurs réglementaires françaises sont établies pour l'air atmosphérique extérieur, pour des durées d'exposition (3h, 24h ou vie entière) et sur la base de moyennes horaires, journalières ou annuelles. On distingue 5 niveaux de **valeurs réglementaires** :

- Objectif de qualité : niveau de concentration à atteindre à long terme et à maintenir, sauf lorsque cela n'est pas réalisable par des mesures proportionnées, afin d'assurer une protection efficace de la santé humaine et de l'environnement dans son ensemble.
- Valeur cible : niveau de concentration à atteindre, dans la mesure du possible, dans un délai donné, et fixé afin d'éviter, de prévenir ou de réduire les effets nocifs sur la santé humaine ou l'environnement dans son ensemble.
- Valeur limite pour la protection de la santé : niveau de concentration à atteindre dans un délai donné et à ne pas dépasser, et fixé sur la base des connaissances scientifiques afin d'éviter, de prévenir ou de réduire les effets nocifs sur la santé humaine ou l'environnement dans son ensemble.
- Seuil d'information et de recommandation : niveau de concentration au-delà duquel une exposition de courte durée présente un risque pour la santé humaine de groupes particulièrement sensibles au sein de la population et qui rend nécessaires l'émission d'informations immédiates et adéquates à destination de ces groupes et des recommandations pour réduire certaines émissions.

- Seuil d'alerte de la population : niveau de concentration au-delà duquel une exposition de courte durée présente un risque pour la santé de l'ensemble de la population ou de dégradation de l'environnement, justifiant l'intervention de mesures d'urgence.

Des valeurs réglementaires françaises existent pour le monoxyde de carbone, le benzène, le benzo(a)pyrène, les PM10 et PM2.5, dioxyde de soufre, dioxyde d'azote, arsenic, cadmium, nickel et plomb.

Enfin, pour l'air intérieur des ERP (Établissement recevant du public) des valeurs guides réglementées en France ont été mises en place, elles sont reprises dans le présent document. La loi du 1er août 2008 relative à la responsabilité environnementale oblige à définir des « valeurs-guides pour l'air intérieur » dans les ERP. Le décret n° 2011-1727 du 2 décembre 2011 relatif aux valeurs-guides pour l'air intérieur y pourvoit pour le formaldéhyde, gaz incolore principalement utilisé pour la fabrication de colles, liants ou résines, et pour le benzène, substance cancérigène aux effets hématologiques issue de phénomènes de combustion (gaz d'échappement, cheminée, cigarette, etc.). La valeur-guide pour le formaldéhyde est fixée pour une exposition de longue durée à 30 µg/m³ au 1er janvier 2015 et à 10 µg/m³ au 1er janvier 2023. La valeur-guide pour le benzène est fixée pour une exposition de longue durée à 5 µg/m³ au 1^{er} janvier 2013 et à 2 µg/m³ au 1^{er} janvier 2016.

► Autres milieux

D'autres milieux sont concernés par des valeurs réglementaires en France (dans le domaine alimentaire par exemple). Celles-ci ne sont pas détaillées ici mais constituent au même titre que les concentrations dans l'eau et l'air des valeurs de gestion.

Valeurs guides

Les valeurs guides peuvent porter sur le milieu eau, air, sol et matrices alimentaires (animales, végétales). Ces valeurs, bien que reposant sur des critères sanitaires sont considérées comme des valeurs de gestion, et ne constituent pas, stricto sensu, des valeurs toxicologiques de référence.

► INDEX –Air intérieur

Le rapport final du projet INDEX : « Critical Appraisal of the setting and implementation of indoor exposures limits in the EU », 2005 élaboré par l'institut de la protection de la santé et du consommateur propose des valeurs guide pour l'air intérieur.

Les substances listées dans ce document sont le benzène, le toluène, les xylènes, le styrène, le naphthalène, l'acétaldéhyde, le formaldéhyde, le dioxyde de carbone, le dioxyde d'azote, l'ammoniac, le limonène, l'alpha pinène.

Les informations sur les expositions, la toxicité et la caractérisation du risque ont conduit les membres du projet à donner des recommandations quant aux expositions dans l'air intérieur à ne pas dépasser pour différentes durées.

► ANSES – Air intérieur

L'ANSES (Agence Nationale de Sécurité Sanitaire de l'Alimentation, de l'Environnement et du Travail) a pour mission de contribuer à assurer la sécurité sanitaire humaine dans les domaines de l'environnement, du travail et de l'alimentation, notamment en mobilisant une expertise scientifique et technique pluridisciplinaire nécessaire à l'évaluation des risques.

Pour faire face à l'enjeu que représente la qualité de l'air intérieur et apporter aux pouvoirs publics des informations utiles à la gestion de ce risque, l'ANSES s'est auto-saisie en octobre 2004, de l'élaboration de valeurs guides de qualité de l'air intérieur (VGAI) en France. Elles sont exclusivement construites sur des critères sanitaires. Elles sont exprimées sous forme de concentration dans l'air, associée à un temps d'exposition (VGAI court terme, VGAI long terme, VGAI intermédiaire), en dessous de laquelle aucun effet sanitaire, aucune nuisance, ou aucun effet indirect important sur la santé n'est en principe attendu pour la population générale.

Dans le cadre de substances dont les effets se manifestent sans seuil de dose, les VG sont exprimées sous la forme de niveaux de risque correspondant à une probabilité de survenue de la maladie.

En décembre 2014, date de la mise à jour de ce document, 11 polluants d'intérêt de l'air intérieur ont fait l'objet d'une expertise de l'Anses sur les VGAI.

Voir : <https://www.anses.fr/fr/content/valeurs-guides-de-qualit%C3%A9-d%E2%80%99air-int%C3%A9rieur-vgai>

► CSHPF et HCSP

Le Conseil supérieur d'hygiène publique de France (CSHPF) est une instance d'expertise scientifique et technique, placée auprès du ministre chargé de la santé. Cette instance a un rôle d'évaluation et de gestion des risques pour la santé de l'homme. Le CSHPF peut être consulté lorsque se posent des problèmes sanitaires. Les avis et les recommandations émis par le CSHPF constituent une base essentielle à la prise de décision en santé publique et peuvent également servir d'appui à l'élaboration de textes réglementaires.

Les avis et rapports du CSHPF sont consultables sur le site suivant : <http://www.sante.gouv.fr/avis-et-rapports-du-cshpf.html>

Le Haut Conseil de la santé publique a été officiellement installé le 14 mars 2007. Ses 105 membres ont élu leur président et leur vice-président. Le HCSP est une instance d'expertise créée par la Loi relative à la politique de santé publique du 9 août 2004. Il reprend, en les élargissant, les missions du Conseil supérieur d'hygiène publique de France (CSHPF) et celles du Haut Comité de la santé publique.

Les avis et rapports du HCSP sont consultables sur le site suivant :

<http://www.hcsp.fr/explore.cgi/accueil?ae=accueil>

Organismes consultés pour la recherche de VTR

Les bases de données consultées pour la recherche des VTR sont les suivantes (présentée dans l'ordre de priorité préconisé par la note d'information DGS/EA1/DGPR/2014/307 du 31 octobre 2014) :

- **Anses** (Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail).
- **US EPA** (United States Environmental Protection Agency – États-Unis) dont dépend la base de données **IRIS** – Integrated Risk Information System).
- **ATSDR** (Agency for Toxic Substances and Disease Registry – États-Unis).
- **OMS** (Organisation Mondiale de la Santé – Bureau régional de l'Europe) / **IPCS** (International Program on Chemical Safety).

Ces organismes établissent leurs propres VTR à partir d'études expérimentales ou épidémiologiques. Les valeurs issues de ces bases de Données sont des données à caractère national mais elles sont internationalement reconnues.

Viennent ensuite les organismes pour lesquels la transparence dans l'établissement des valeurs n'est pas toujours adaptée à la sélection de leur VTR :

- **Health Canada = Santé canada** (Ministère Fédéral de la Santé – Canada),
- **RIVM** (Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu – Institut National de Santé Publique et de l'Environnement – Pays Bas),
- **OEHHA** (Office of Environmental Health Hazard Assessment of California – États-Unis) qui établit également ces propres VTR. L'OEHHA se base souvent sur les mêmes études que l'US EPA mais les VTR sont souvent plus conservatoires.
- **EFSA** (European Food Safety Authority).

Des recueils de données sont consultés par ailleurs car ils regroupent les VTR des différents organismes cités ci-avant. Ce sont :

- **Furetox** (Faciliter l'Usage des REsources TOXicologique), base de données française réalisée en partenariat avec l'Institut de Veille sanitaire, l'ARS Nord Pas de Calais et l'ARS Ile de France.
- **TERA** (toxicology excellence for risk assessment), base de données **de ITER** (International Toxicity Estimates for Risk Database), établit une synthèse des données toxicologiques issues des autres bases de données.
- **INERIS** (Institut National de l'Environnement Industriel et des risques - France), établit des fiches de données toxicologiques et environnementales des substances chimiques qui synthétisent notamment l'ensemble des données toxicologiques issues des autres bases de données - à l'heure actuelle ce programme contient une cinquantaine de fiches.
- **IPCS INCHEM** (International Programme on Chemical Safety) : Portail d'accès à de nombreux sites dont le **CIRC** (Centre International de Recherche sur de Cancer), le **JEFCA** ([Joint Expert Committee on Food Additives](#)) et autres instances internationales.

Le recueil de donnée **RAIS** (Risk Assessment Information System – États-Unis) reprenant les valeurs des autres organismes américains, en particulier du **NTP** (National Toxicology Program) et de **IRIS** de l'US EPA, n'est pas considéré compte tenu de l'absence de toute transparence dans les valeurs affichées.

Annexe 7. Estimation des concentrations dans les milieux d'exposition

Cette annexe contient 1 page.

Concentration de substances adsorbées sur les poussières

L'équation utilisée est issue du modèle intégré HESP (ou VOLASOIL) :

$$C_{part} = C_s \times TSP \times fr \times frs$$

Avec C_{part} : concentration de polluant sous forme particulaire (mg/m^3)
 C_s : concentration dans les sols de surface (mg/kg)
 TSP : concentration de particules en suspension (kg/m^3)
 fr : fraction des poussières présentes dans l'air pouvant être réellement inhalées
 frs : fraction de sol dans les poussières (-)

Cette équation a été appliquée pour le calcul de la concentration de poussières dans l'air atmosphérique.

Annexe 8. Paramètres d'exposition retenus

Cette annexe contient 1 page.

Ingestion de sols et poussières

Pour le taux d'ingestion de sols en extérieur :

Pour les enfants, nous nous baserons sur les travaux de synthèse de l'INVS sur les variables humaines d'exposition (2012), basés pour ce paramètre sur l'étude de Stanek et al. (2001), qui donne un percentile 95 de **91 mg/jour**.

Pour les adultes, aucune donnée n'étant disponible dans le document de l'INVS, nous retiendrons la valeur sécuritaire couramment utilisée dans les études françaises et d'autres pays de **50 mg/jour**. Néanmoins, cette valeur doit être adaptée aux scénarios d'exposition pertinents (par exemple, l'US EPA recommande, pour des cultures potagères conduisant à **du bêchage**, de retenir une valeur de **200 mg/j** à pondérer selon le nombre de jours d'activité).

Ces données sont par ailleurs dans la fourchette des valeurs décrites dans la littérature : entre 0,6 et 480 mg/j chez l'adulte et entre 2 et 250 mg/j chez l'enfant (cité par KISSEL et al., 1998). La valeur de 480 mg/jour correspond à la réalisation de travaux de jardinage (Hawley 1985), non considérés de manière particulière dans la présente étude.

Les valeurs retenues pour l'ingestion de sols et de poussières en extérieur sont donc de **91 mg/j pour un enfant en bas âge** et **50 mg/j pour un adulte**. Pour des cultures potagères conduisant à **du bêchage**, nous retiendrons la valeur de **200 mg/j** pondérée selon le nombre de jours d'activité. Ces valeurs sont celles recommandées dans les textes relatifs aux sites et sols pollués de 2017.

Ces valeurs sont représentatives d'une journée d'activité en extérieur sans prise en compte d'un temps de présence sur la journée.

Ainsi, à ces taux d'ingestion de sols seront associées les fréquences d'exposition F1 (j/an) et non à des facteurs F2 (h/j) pour les adultes et enfants dans leurs jardins. Par contre, pour les cibles ne venant pas de manière prolongée sur le site (passage, intrusion), un facteur d'abattement correspondant au rapport du nombre d'heure passé sur une journée sera introduit.

Concernant le taux d'ingestion de poussières (en intérieur), à partir d'hypothèses sur la surface corporelle et les fréquences de contact avec le sol et les poussières, Hawley (Hawley 1985) estime qu'un adulte ingère une quantité de sols et de poussières de :

- 0,5 mg par jour dans sa pièce de séjour,
- 110 mg par jour, s'il fréquente une zone empoussiérée comme un grenier ou un sous-sol,

La valeur retenue pour l'ingestion de sols et de poussières en intérieur est de **0,5 mg/j** pour un enfant et un adulte.

Annexe 9. Détails des calculs de dose et de risque

Cette annexe contient 1 page.

Annexe 10. Glossaire

AEA (Alimentation en Eau Agricole) : Eau utilisée pour l'irrigation des cultures

AEI (Alimentation en Eau Industrielle) : Eau utilisée dans les processus industriels

AEP (Alimentation en Eau Potable) : Eau utilisée pour la production d'eau potable

ARIA (Analyse, Recherche et Information sur les Accidents) : base de données répertorie les incidents ou accidents qui ont, ou auraient, pu porter atteinte à la santé ou la sécurité publiques ou à l'environnement.

ARR (Analyse des risques résiduels) : Il s'agit d'une estimation par le calcul (et donc théorique) du risque résiduel auquel sont exposées des cibles humaines à l'issue de la mise en œuvre de mesures de gestion d'un site. Cette évaluation correspond à une EQRS.

ARS (Agence régionale de santé) : Les ARS ont été créées en 2009 afin d'assurer un pilotage unifié de la santé en région, de mieux répondre aux besoins de la population et d'accroître l'efficacité du système.

BASOL : Base de données gérée par le Ministère de l'Ecologie, du Développement Durable et de l'Energie recensant les sites et sols pollués ou potentiellement pollués appelant une action des pouvoirs publics, à titre préventif ou curatif.

Biocentre : Ces installations sont classées pour la protection de l'environnement et sont soumises à autorisation préfectorale. Elles prennent en charge les déchets en vue de leur traitement basé sur la biodégradation aérobie de polluants chimiques.

BTEX (Benzène, Toluène, Ethylbenzène, Xylènes) : Les BTEX (Benzène, Toluène, Ethylbenzène et Xylènes) sont des composés organiques mono-aromatiques volatils qui ont des propriétés toxiques.

CASIAS (Carte des Anciens Sites Industriels et Activités de Service) : Cette base de données gérée par le BRGM recense de manière systématique les sites industriels susceptibles d'engendrer une pollution de l'environnement.

COHV (Composés organohalogénés volatils) : Solvants organiques chlorés aliphatiques volatils qui ont des propriétés toxiques et sont ou ont été couramment utilisés dans l'industrie.

DREAL (Directions régionales de l'environnement, de l'aménagement et du logement) : Cette structure régionale du ministère du Développement durable pilote les politiques de développement durable résultant notamment des engagements du Grenelle Environnement ainsi que celles du logement et de la ville.

DRIEAT (Direction régionale et interdépartementale de l'environnement, de l'aménagement et des transports) : Service déconcentré du Ministère en charge de l'environnement pour l'Île de France, la DRIEAT met en œuvre sous l'autorité du Préfet de la Région les priorités d'actions de l'État en matière d'Environnement et d'Énergie et plus particulièrement celles issues du Grenelle de l'Environnement. Elle intervient dans l'ensemble des départements de la région grâce à ses unités territoriales (UT).

Eluat : voir lixiviation

EQRS (Evaluation quantitative des risques sanitaires) : Il s'agit d'une estimation par le calcul (et donc théorique) des risques sanitaires auxquels sont exposées des cibles humaines.

ERI (Excès de risque individuel) : correspond à la probabilité que la cible a de développer l'effet associé à une substance cancérigène pendant sa vie du fait de l'exposition considérée. Il s'exprime sous la forme mathématique suivante 10^{-n} . Par exemple, un excès de risque individuel de 10^{-5} représente la probabilité supplémentaire, par rapport à une personne non exposée, de développer un cancer pour 100 000 personnes exposées pendant une vie entière.

ERU (Excès de risque unitaire) : 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 cancérigène.

HAP (Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques) : Ces composés constitués d'hydrocarbures cycliques sont générés par la combustion de matières fossiles. Ils sont peu mobiles dans les sols.

HAM (Hydrocarbures aromatiques monocycliques) : Ces hydrocarbures constitués d'un seul cycle aromatiques sont très volatils, les BTEX* sont intégrés à cette famille de polluants.

HCT (Hydrocarbures Totaux) : Il s'agit généralement de carburants pétroliers dont la volatilité et la mobilité dans le milieu souterrain dépendent de leur masse moléculaire (plus ils sont lourds, c'est-à-dire plus la chaîne carbonée est longue, moins ils sont volatils et mobiles).

IEM (Interprétation de l'état des milieux) : au sens des textes ministériels du 8 février 2007, l'IEM est une étude réalisée pour évaluer la compatibilité entre l'état des milieux (susceptibles d'être pollués) et les usages effectivement constatés, programmés ou potentiels à préserver. L'IEM peut faire appel dans certains cas à une grille de calcul d'EQRS spécifique.

ISDI (Installation de Stockage de Déchets Inertes) : Ces installations sont classées pour la protection de l'environnement sous le régime de l'enregistrement. Ce type d'installation permet l'élimination de déchets industriels inertes par dépôt ou enfouissement sur ou dans la terre. Sont considérés comme déchets inertes ceux répondant aux critères de l'arrêté ministériel du 12 décembre 2014.

ISDND (Installation de Stockage de Déchets Non Dangereux) : Ces installations sont classées pour la protection de l'environnement et sont soumises à autorisation préfectorale. Cette autorisation précise, entre autres, les capacités de stockage maximales et annuelles de l'installation, la durée de l'exploitation et les superficies de l'installation de la zone à exploiter et les prescriptions techniques requises.

ISDD (Installation de Stockage de Déchets Dangereux) : Ces installations sont classées pour la protection de l'environnement et sont soumises à autorisation préfectorale. Ce type d'installation permet l'élimination de déchets dangereux, qu'ils soient d'origine industrielle ou domestique, et les déchets issus des activités de soins.

Lixiviation : Opération consistant à soumettre une matrice (sol par exemple) à l'action d'un solvant (en général de l'eau). On appelle lixiviat la solution obtenue par lixiviation dans le milieu réel (ex : une décharge). La solution obtenue après lixiviation d'un matériau au laboratoire est appelée un éluat.

PCB (Polychlorobiphényles) : L'utilisation des PCB est interdite en France depuis 1975 (mais leur usage en système clos est toléré). On les rencontre essentiellement dans les isolants diélectriques, dans les transformateurs et condensateurs individuels. Ces composés sont peu volatils, peu solubles et peu mobiles.

Plan de Gestion : démarche définie par les textes ministériels du 8 février 2007 puis du 19 avril 2017 visant à définir les modalités de réhabilitation et d'aménagement d'un site pollué.

QD (Quotient de danger) : Rapport entre l'estimation d'une exposition (exprimée par une dose ou une concentration pour une période de temps spécifiée) et la VTR* de l'agent dangereux pour la voie et la durée d'exposition correspondantes. Le QD (sans unité) n'est pas une probabilité et concerne uniquement les effets à seuil.

SIS (Secteur d'information des sols) : Secteurs créés par la Loi ALUR du 24 mars 2014 et correspondant à des terrains où la connaissance de la pollution des sols justifie, notamment en cas de changement d'usage, la réalisation d'études de sols et la mise en place de mesures de gestion de la pollution pour préserver la sécurité, la santé ou la salubrité publique et l'environnement.

VTR (Valeur toxicologique de référence) : Appellation générique regroupant tous les types d'indices toxicologiques qui permettent d'établir une relation entre une dose et un effet (toxique à seuil d'effet) ou entre une dose et une probabilité d'effet (toxique sans seuil d'effet). Les VTR sont établies par des instances internationales (l'OMS ou le CIPR, par exemple) ou des structures nationales (US-EPA et ATSDR aux Etats-Unis, RIVM aux Pays-Bas, Health Canada, ANSES en France, etc.).

VLEP (Valeur Limite d'Exposition Professionnelle) : Valeur limite d'exposition correspondant à la valeur réglementaire de concentration dans l'air de l'atmosphère de travail à ne pas dépasser durant plus de 8 heures (VLEP 8H) ou 15 minutes (VLEP CT) ; la VLEP 8H peut être dépassée sur de courtes périodes à condition de ne pas dépasser la VLEP CT.