

Qair

Qair

Fos-sur-Mer (13) / Site ArcelorMittal

Analyse des Risques Résiduels

Rapport

Réf : SE3700135 / 1056913-02

FLD / SL / GRE.

20/10/2023



GINGER BURGEAP Région Sud-Est • Agroparc - 940, route de l'aérodrome - BP 51 260 – 84911

Avignon Cedex 9

Tél : 04.90.88.31.92 • burgeap.avignon@groupeginger.com



GINGER
BURGEAP



SIGNALÉTIQUE

CLIENT

RAISON SOCIALE	Qair
COORDONNÉES	Site ArcelorMittal 13776 FOS-SUR-MER
INTERLOCUTEUR <i>(nom et coordonnées)</i>	Pascal ROUCAU Tel : 06 98 91 24 73 p.roucau@qair.energy

GINGER BURGEAP

ENTITE EN CHARGE DU DOSSIER	GINGER BURGEAP Région Sud-Est Agroparc - 940, route de l'aérodrome BP 51 260 – 84911 Avignon Cedex 9 Tél : 04.90.88.31.92 • burgeap.avignon@groupeginger.com
CHEF DU PROJET	Stéphanie GIANNO LARMIGNY Tél. 06.70.64.24.49 s.larmigny@groupeginger.com
COORDONNÉES Siège Social <i>SAS au capital de 1 200 000 euros dirigée par Claude MICHELOT</i> <i>SIRET 682 000 222 000 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_SE0000818 - 1043052 du 21/07/2023
Numéro et date de la commande	2023 07 28-PIM-003
Numéro de contrat / de rapport :	Réf : SE3700135 / 1056913-02
Numéro d'affaire :	A44791

SIGNATAIRES

DATE	Indice	Rédaction Nom / signature	Vérification Nom / signature	Supervision / validation Nom / signature
20/10/2023	01	F. DEVIC 	S. GIANNO LARMIGNY 	G. REGNARD 

SOMMAIRE

Synthèse technique	6
1. Introduction	9
1.1 Objet de l'étude	9
1.2 Codification des prestations	11
1.3 Documents de référence et ressources documentaires	12
2. Conceptualisation de l'exposition	13
2.1 Géologie et hydrogéologie	13
2.1.1 Géologie locale	13
2.1.2 Boues des lagunes	14
2.1.3 Hydrogéologie au droit du site	14
2.2 Synthèse des impacts résiduels dans les différents milieux	14
2.3 L'usage des milieux	15
2.3.1 Projet d'aménagement/usage pris en compte/environnement du site	15
2.3.2 Enjeux/cibles à considérer	20
2.4 Voies de transferts depuis les milieux impactés vers les milieux d'exposition	20
2.5 Voies d'exposition	20
2.5.1 Sur site	20
2.6 Schéma conceptuel	22
3. Analyse des Risques Résiduels (ARR)	24
3.1 Contexte et méthodologie	24
3.2 Composés et concentrations retenues dans les différents milieux	25
3.3 Identification des dangers	26
3.4 Caractérisation des Relation dose-réponse	27
3.5 Estimation des expositions	29
3.5.1 Concentrations dans les milieux d'exposition	29
3.5.2 Estimation des expositions	33
3.6 Quantification des risques sanitaires	34
3.6.1 Méthodologie	34
3.6.2 Quantification des risques sanitaires résiduels au droit du site	35
3.7 Analyse des incertitudes	36
4. Synthèse et recommandations	39
4.1 Synthèse	39
4.2 Recommandations	39
5. Limites d'utilisation d'une étude de pollution	40

TABLEAUX

Tableau 1 : Ressources documentaires consultées.....	12
Tableau 2 : Synthèse des impacts mis en évidence	15
Tableau 3 : Voies d'exposition retenues.....	21
Tableau 4 : Schéma conceptuel (usage futur).....	22
Tableau 5 : Concentrations retenues dans les différents milieux pour l'ARR – Lagunes L1/L2 et L6/L7	25
Tableau 6 : Concentrations retenues dans les différents milieux pour l'ARR – Lagunes L4 et L5	26
Tableau 7 : Valeurs toxicologiques de référence retenues	28
Tableau 8 : Paramètres retenus liés au sol – Lagunes L1/L2 et L6/L7	29
Tableau 9 : Paramètres retenus liés au sol – Lagunes L4 et L5	29
Tableau 10 : Paramètres retenus liés aux scénarios d'aménagements – Ensemble des lagunes.....	30
Tableau 11 : Concentrations calculées dans l'air intérieur et extérieur – Lagunes L1/L2 et L6/L7.....	31
Tableau 12 : Concentrations calculées dans l'air intérieur et extérieur – Lagunes L4 et L5.....	32
Tableau 13 : Budgets espace/temps retenus	33
Tableau 14 : Estimation du nombre de jour travaillés par an pour les missions de gestion et de suivi de la centrale photovoltaïque	34
Tableau 15 : Synthèse des QD et ERI – Lagunes L1/L2 et L6/L7	35
Tableau 16 : Synthèse des QD et ERI – Lagunes L4 et L5	35
Tableau 17 : Variables générant les incertitudes majeures de l'évaluation	37

FIGURES

Figure 1 : Photo aérienne des lagunes L1 à L12 au nord de l'usine ArcelorMittal (Source : ARCELORMITTAL, 2018)	9
Figure 2 : Vue aérienne de la zone de stockage des déchets de boues et de laitiers de l'aciérie ArcelorMittal de Fos-sur-Mer (Source : DDAE, 2019)	10
Figure 3 : Lithologie rencontrée lors des investigations (Rapport ARCADIS, 3367-A09 indice 01C du 17/10/2018).....	13
Figure 4 : Vue 3D des lagunes L1 à L7 (hors L3) après réhabilitation (Source : Rapport GINGER BURGEAP SE1400002 / 1017750-2 du 19/06/2023).....	17
Figure 5 : Coupe de principe de réhabilitation des lagunes L1/L2 – Cotés ouest.....	17
Figure 6 : Coupe de principe des lagunes L1/L2 – Coté nord.....	18
Figure 7 : Coupe de principe des lagunes L4 et L5 – Piste entre L4 et L5	18
Figure 8 : Coupe de principe des lagunes L6/L7 – Coté nord.....	19
Figure 9 : Coupe de principe des lagunes L6/L7 – Coté sud	19
Figure 10 : Implantation prévisionnelle des panneaux photovoltaïques sur les lagunes L1, L2, L4, L5, L6 et L7 - projet susceptible d'évoluer et présenté ici à titre indicatif (Source : QAIR, janvier 2023).....	20
Figure 11 : Schéma conceptuel (usage futur)	23

ANNEXES

Annexe 1.	Tableaux des résultats d'analyses sur les boues (Source : mémoire de cessation, ARCADIS, 2018)
Annexe 2.	Données toxicologiques
Annexe 3.	Relations dose-réponse
Annexe 4.	Estimation des concentrations dans les milieux d'exposition

Annexe 5. Détails des calculs de dose et de risque

Synthèse technique

CONTEXTE		
Client	Qair	
Contexte de l'étude	Réaménagement et couvertures des anciennes lagunes L1, L2, L4, L5, L6 et L7 dites « lagunes historiques ». Création d'une centrale photovoltaïque.	
Projet d'aménagement	<ul style="list-style-type: none"> • Travaux de réhabilitation des lagunes L1 à L6 par reprofilage de 4 dômes : <ul style="list-style-type: none"> • dôme Lagunes L1 et L2, déchets non dangereux ; • dôme lagune L4, déchets dangereux ; • dôme lagune L5, déchets dangereux ; • dôme lagunes L6 et L7, déchets dangereux. ➔ les dômes L1/L2 et L6/L7 seront reprofilés par mise à niveau avec des Laitiers d'Acierie de Conversion (LAC) puis recouvert de 30 cm de terres saines végétalisables ; ➔ les dômes L4 et L5 seront reprofilés par mise à niveau et couverture de 50 cm avec des LAC puis recouvert de 30 cm de terre saine végétalisable ; • aménagement de pistes de circulation sur les digues entourant les casiers ; • aménagement de la centrale photovoltaïque (panneaux photovoltaïques et infrastructures et réseaux annexes). 	
Informations sur le site lui-même	Adresse du site	Site ArcelorMittal, FOS-SUR-MER (13)
	Superficie totale	104 338 m ²
	Parcelle cadastrale	N°11 section AE
	Propriétaire	ARCELORMITTAL
	Exploitant et usage actuel	ARCELORMITTAL, Lagunes historiques sous restriction d'usage.
	Environnement proche	Zone industrielle de Fos-sur-Mer
	Historique connu	Anciennes lagunes L1, L2, L4, L5, L6 et L7, dites « lagunes historiques », qui recueillaient des boues issues du lavage des gaz des hauts fourneaux et dont l'activité est aujourd'hui arrêtée.
Statut réglementaire	Installation ICPE et régime	Soumise à autorisation, rubrique 2760-1 : Installation de stockage de déchets à l'exclusion des installations visées à la rubrique 2720.
	Situation administrative	Cessation d'activité au droit des lagunes concernées.
Contexte géologique et hydrogéologique	Géologie	<ul style="list-style-type: none"> • Sables 0-1,6 m de profondeur ; • limons 1,6-1,8 m de profondeur (tourbes éventuelles) ; • sables argileux à très argileux 1,8-2,4 m de profondeur ; • sables à galets 2,4-4,3 m de profondeur ; • substratum : molasses calcaires / marnes et grès fins du Miocène.
	Hydrogéologie	<ul style="list-style-type: none"> • Une nappe superficielle est contenue dans les formations sableuses et limoneuses, elle est recoupée à environ 2,5 m NGF et présente un battement de nappe entre 0,5 et 3,7 m NGF ; • sens d'écoulement présumé variable vers le nord-est ou le sud-est ; • absence d'usage sensible en aval des lagunes.

Impacts connus sur le milieu souterrain	Études antérieures	<ul style="list-style-type: none"> • Mémoire de cessation d'activité des lagunes L1, L2, L4, L5, L6 et L7 (ARCADIS, référencé 3367-A09 indice 01C – octobre 2018) ; • rapport PRO de réhabilitation des lagunes L1, L2, L4, L5, L6 et L7 en vue de la création d'un parc photovoltaïque (GINGER BURGEAP, référencé SE1400002 / 1017750-2 – juin 2023).
	Impacts milieu sols	<p><u>Informations sur les boues,</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • métaux en concentrations > aux concentrations de l'Aspitet (As, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Se, Zn) ; • concentrations élevées en Al, Fe, Ca, Mg ; • HAP avec des teneurs globalement < aux seuils ISDI sauf en L1/L2 (310 mg/kg avec 15 mg/kg en Naphtalène) ; • HCT C10-C40 : fractions lourdes C22-C30 majoritaires, jusqu'à 16 300 mg/kg en L4 et présence de composés C10-C16 à des concentrations max de 657 mg/kg en L4 ; • BTEX : Cmax = 1,28 mg/kg avec concentrations en benzène max = 0,15 mg/kg - Cyanures en concentrations modérées et non libérables ; • COT ; • pH basique : 8,8
	Impacts milieu eaux souterraines	<p>Influence des stockages de boues en lagunes (comparaison amont, aval, latéral) sur les paramètres calcium, chlorures, fer, magnésium sulfates et conductivité.</p> <p>Absence d'influence des lagunes pour les composés identifiés comme traceurs des boues et les plus nocifs à savoir : métaux lourds, hydrocarbures, HAP et cyanure.</p>
	Impacts eaux de surface	<p>Aucune influence des lagunes n'est décelée en aval des roubines sur les traceurs identifiés dans les boues à savoir : métaux lourds, hydrocarbures, HAP et cyanures.</p>
	Impacts milieu gaz du sol	<p>Non investigué.</p>

MISSION	
Intitulé et objectifs	<ul style="list-style-type: none"> Analyse des Risques Résiduels (ARR) ; vérifier que l'état des milieux, après travaux, est compatible avec les usages futurs.
Conceptualisation de l'exposition	<ul style="list-style-type: none"> Impacts identifiés : matériaux des lagunes (boues) impactées en métaux, HAP, HCT, BTEX et cyanures ; Enjeux à protéger : travailleurs en charge de l'exploitation du parc photovoltaïque de la mise en œuvre de la surveillance du site ; Voies d'expositions : inhalation de composés volatils.
CONCLUSION - RECOMMANDATIONS	
Conclusion et recommandations	<p>Conclusion</p> <p>Avec les conditions d'études retenues, et en l'état actuel des connaissances scientifiques, les niveaux de risques estimés sont inférieurs aux critères d'acceptabilité tels que définis par la politique nationale de gestion des sites pollués.</p> <p>Ainsi, l'état environnemental du site est compatible avec l'usage prévu.</p>
	<p>Recommandations</p> <p>Nous attirons votre attention sur le fait que dans l'Arrêté Préfectoral Complémentaire (APC) du 28/12/2020 concernant la restriction d'usage il est indiqué :</p> <ul style="list-style-type: none"> que les futures activités ne doivent remettre en cause ni la stabilité géotechnique du stockage de déchets dangereux ni le bon état de sa couverture superficielle ; qu'en cas d'affouillement ou d'excavation de sols, les travaux seront suivis en permanence par une personne ou un organisme qualifié, afin de contrôler en permanence la pollution éventuelle des terres et sols excavés ; ces travaux et plus généralement toute intervention sur la zone comprise dans le périmètre de servitudes telle que précisée dans l'article 1^{er} (de l'APC) ne doivent pas avoir pour effet de remobiliser, solubiliser, ou faire migrer les polluants ou matériaux présents dans les sols vers les eaux de surface, les eaux souterraines ou l'air ; lors d'éventuels travaux d'affouillement ou d'excavation de sols, la prise en compte et mise en œuvre de mesures adéquates d'hygiène et de sécurité devront être assurées pour les travailleurs. <p>Enfin, nous avons relevé une opération de contrôle susceptible d'exposer les futurs travailleurs à un risque aigu au moment des opérations à réaliser au droit des puits de lixiviats (mesures des niveaux et contrôles). Il conviendra pour ces opérations de porter de réaliser une analyse propre à l'intervention en vue de définir les moyens de surveillance et contrôles et les éventuels EPI adaptés pour éviter l'inhalation de composés volatils qui peuvent se retrouver concentrés dans les puits.</p>

1. Introduction

1.1 Objet de l'étude

Dans le cadre du réaménagement des anciennes lagunes L1, L2, L4, L5, L6 et L7 dites « lagunes historiques » du site ArcelorMittal de Fos-sur-Mer (13), en vue du projet de création d'une centrale photovoltaïque, la Préfecture des Bouches-du-Rhône a demandé la réalisation d'une étude des risques sanitaires au droit du site du fait de la présence de déchets dangereux (Arrêté Préfectoral Complémentaire du 28/12/2020).

Cette étude a pour objectif de valider le futur usage du site envisagé au regard de l'état environnemental des milieux en prenant en compte les travaux de réaménagement qui y sont prévus.

En effet, les anciennes lagunes d'une superficie de 104 338 m², recueillaient par le passé les boues issues du lavage des gaz des hauts fourneaux de l'aciérie :

- lagunes L1 et L2, boues considérées déchets non dangereux ;
- lagunes L4 à L7, boues considérées déchets dangereux.

Ces boues ont été analysées et sont impactées en métaux lourds, hydrocarbures, HAP, BTEX et cyanures.

Aujourd'hui ces activités sont terminées et les travaux de réaménagement de la zone sont à l'étude pour la création du parc photovoltaïque sur les couvertures des lagunes réhabilitées, en adéquation avec les prescriptions complémentaires des Arrêtés Préfectoraux post exploitation du 16/01/2020 et du 28/12/2020.

Qair, associé d'ArcelorMittal pour la conception et la réalisation du parc solaire, a missionné GINGER BURGEAP pour la réalisation d'une Analyse des Risques Résiduels, objet de ce rapport.

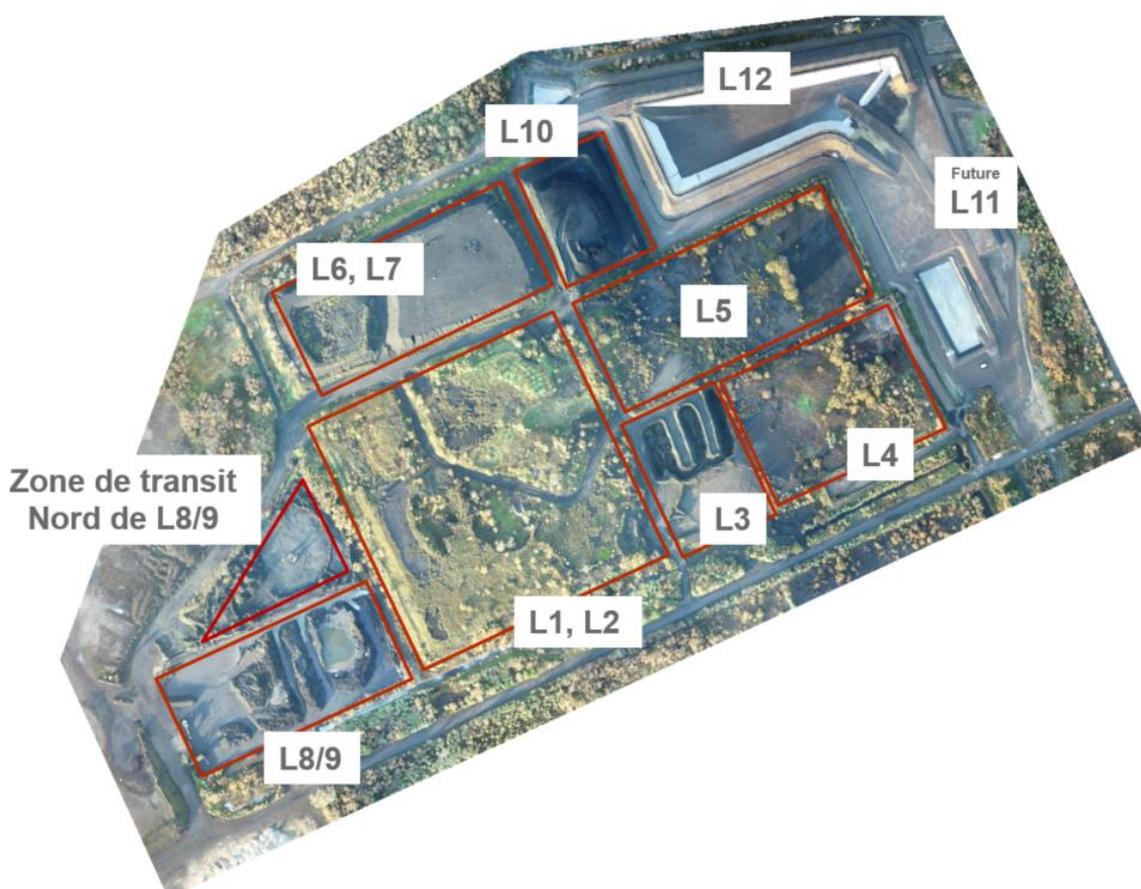


Figure 1 : Photo aérienne des lagunes L1 à L12 au nord de l'usine ArcelorMittal (Source : ARCELORMITTAL, 2018)

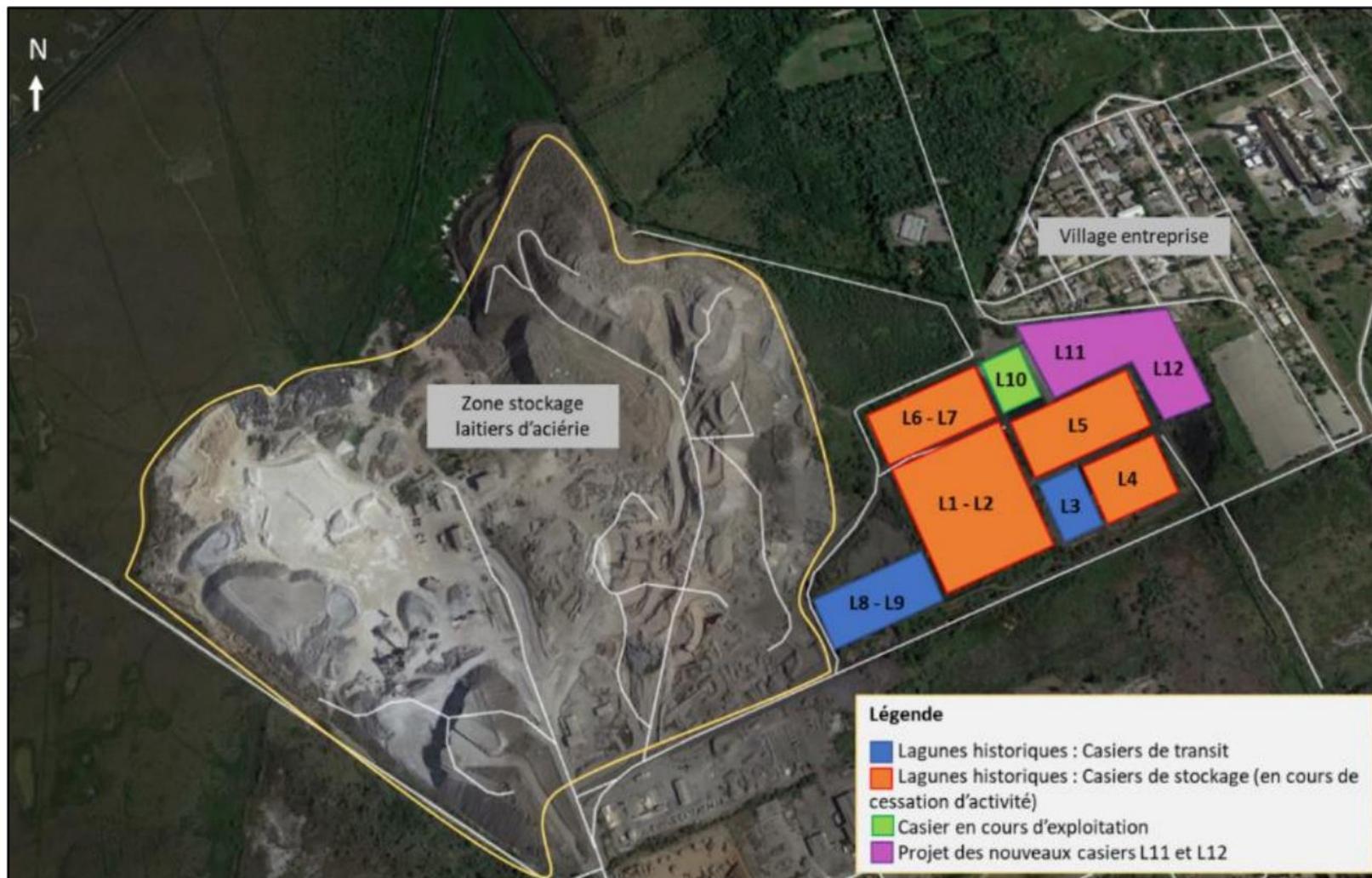


Figure 2 : Vue aérienne de la zone de stockage des déchets de boues et de laitiers de l'aciérie ArcelorMittal de Fos-sur-Mer (Source : DDAE, 2019)

1.2 Codification des prestations

La présente proposition 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 : « Études, 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	1) Objectifs
<input type="checkbox"/> A100	Visite du site	<input 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"/> A110	Études historiques, documentaires et mémorielles	<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"/> A120	Étude de vulnérabilité des milieux	<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 type="checkbox"/> A130	Élaboration d'un programme prévisionnel d'investigations	<input 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"/> A200	Prélèvements, mesures, observations et/ou analyses sur les sols	<input type="checkbox"/> PG Plan de gestion dans le cadre d'un projet de réhabilitation ou d'aménagement d'un site	Étudier, 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"/> A210	Prélèvements, mesures, observations et/ou analyses sur les eaux souterraines	<input type="checkbox"/> IEM Interprétation de l'État 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 type="checkbox"/> A220	Prélèvements, mesures, observations et/ou analyses sur les eaux superficielles et/ou les sédiments	<input type="checkbox"/> SUIVI	Suivi environnemental
<input type="checkbox"/> A230	Prélèvements, mesures, observations et/ou analyses sur les gaz du sol	<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"/> A240	Prélèvements, mesures, observations et/ou analyses sur l'air ambiant et les poussières atmosphériques	<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"/> A250	Prélèvements, mesures, observations et/ou analyses sur les denrées alimentaires	<input type="checkbox"/> XPER	Expertise dans le domaine des sites et sols pollués
<input type="checkbox"/> A260	Prélèvements, mesures, observations et/ou analyses sur les terres excavées	<input type="checkbox"/> VERIF Évaluation du passif environnemental	Effectuer les vérifications en vue d'évaluer le passif environnemental lors d'un projet d'acquisition d'une entreprise
<input 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 checked="" type="checkbox"/> A320	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"/> A400	Dossiers de restriction d'usage, de servitudes		
		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

Les documents de référence utilisés dans le cadre de l'étude sont présentés dans le **Tableau 1**.

Tableau 1 : Ressources documentaires consultées

Titre	Référence	Date	Auteur
Mémoire de cessation d'activité des lagunes L1, L2, L4, L5, L6 et L7	3367-A09 indice 01C	17/10/2018	ARCADIS, pour le compte d'ArcelorMittal
Arrêté instituant des servitudes d'utilité publique sur les lagunes historiques (L1, L2, L4, L5, L6 et L7) pour la société ArcelorMittal située sur la commune de Fos-sur-Mer	Arrêté Préfectoral	28/12/2020	Préfecture des Bouches-du-Rhône
Arrêté Préfectoral imposant des prescriptions complémentaires à la société ArcelorMittal Méditerranée dans le cadre du suivi environnemental post exploitation des dunes L1/L2, L4, L5 et L6/L7 (dites « lagunes historiques ») situées sur le site de Fos-sur-Mer	Arrêté Préfectoral Complémentaire Dossier n°2019-305 PC	15/01/2020	Préfecture des Bouches-du-Rhône
Rapport d'étude géotechnique G2 AVP - Couvertures des lagunes historiques L1 à L7 et Parcs photovoltaïques	CAI2.M.211-1	17/03/2023	GINGER CEBTP pour le compte de Qair
Rapport PRO de réhabilitation des lagunes L1, L2, L4, L5, L6 et L7 en vue de la création d'un parc photovoltaïque	SE1400002 / 1017750-2	19/06/2023	GINGER BURGEAP pour le compte de Qair

2. Conceptualisation de l'exposition

Le schéma conceptuel est présenté de façon à visualiser :

- la ou les sources de pollution,
- les voies de transfert possibles,
- les milieux d'exposition.
- les cibles potentielles,

Il est présenté et discuté dans les paragraphes suivants.

Le schéma conceptuel mis à jour à l'issue du diagnostic environnemental du site et pour les usages futurs envisagés est présenté sur la **Figure 11**.

2.1 Géologie et hydrogéologie

2.1.1 Géologie locale

D'après les investigations de sol menées sur site par ARCADIS en 2018 dans le cadre du mémoire de cessation d'activité des lagunes L1, L2, L4, L5, L6 et L7 on retrouve au droit du site :

- des sables 0-1,6 m de profondeur ;
- des limons 1,6-1,8 m de profondeur (tourbes éventuelles) ;
- des sables argileux à très argileux 1,8-2,4 m de profondeur ;
- des sables à galets 2,4-4,3 m de profondeur ;
- le substratum est composé de molasses calcaires / marnes et grès fins du Miocène.

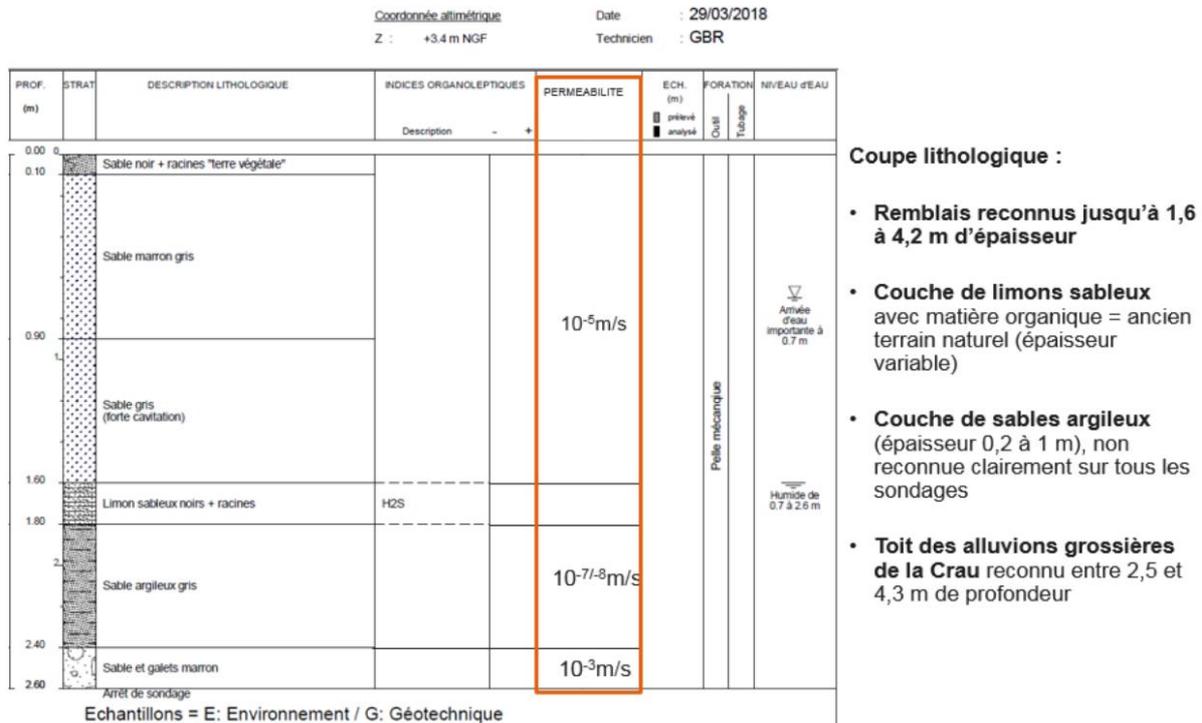


Figure 3 : Lithologie rencontrée lors des investigations (Rapport ARCADIS, 3367-A09 indice 01C du 17/10/2018)

2.1.2 Boues des lagunes

Les boues des lagunes sont constituées de limons silteux et limon sableux noirâtre à rougeâtre qualifiés de « boues de haut-fourneaux ». Elles sont très sensibles à l'eau et dans un état hydrique « moyen » à « très humide » (notamment L4/L5) au moment des investigations réalisées par GINGER CEBTP en 2023.

De plus, les boues de la lagune L5 sont très riches en matière organique, ce qui les rend évolutives. Ces matériaux sont globalement compressibles, et plus particulièrement en L4/L5.

2.1.3 Hydrogéologie au droit du site

2.1.3.1 Nappe superficielle alluviale

Une nappe superficielle est contenue dans les « limons et alluvions » du Bas Rhône et de la Camargue, correspondant au droit du site aux sables et limons entre la surface et 1,8 m de profondeur.

Elle est sub-affleurante et a un écoulement variable vers le nord-est ou le sud-est. Sa cote maximale est à 2,5 m NGF (la cote du site étant comprise entre 2 et 4 m NGF). Toutefois elle présente un fort battement de nappe, entre 0,5 et 3,7 m NGF. Le site n'est pas compris dans un périmètre de protection de captage AEP et aucun usage sensible n'est répertorié en aval supposé du site.

2.1.3.2 Nappe profonde alluviale

Une nappe profonde est contenue dans les « cailloutis de la Crau », correspondant au droit du site aux sables et galets. Elle est majoritairement captive par la présence de la couche sus-jacente de sables argileux à très argileux qui limitent les transferts entre les deux nappes. Néanmoins certains sondages ne présentent pas cet horizon (discontinue). Elle a un sens d'écoulement vers le sud-ouest.

2.2 Synthèse des impacts résiduels dans les différents milieux

La synthèse des impacts mis en évidence dans les boues des lagunes du site sont présentés dans le **Tableau 2**.

Les résultats d'analyses sur les boues sont fournis en **Annexe 1**.

Tableau 2 : Synthèse des impacts mis en évidence

Source caractérisée	Boues des lagunes (issues du lavage des gaz des hauts fourneaux)
Sondages / échantillons associés	<ul style="list-style-type: none"> • Lagunes 1 et 2 : PM15, PM16, PM17, PM25, PM36 et PM37 • Lagune 4 : PM11, PM26 et TM8 • Lagune 5 : PM27 • Lagunes 6 et 7 : PM12, PM32, PM33, PM34 et PM35
Impacts identifiés dans les sols	<ul style="list-style-type: none"> • Métaux : concentrations supérieures à la gamme Aspité « sol ordinaire » pour les paramètres suivants : arsenic, cadmium, chrome, cuivre, mercure, nickel, plomb, sélénium et zinc ; • concentrations élevées pour l'aluminium, le fer, le calcium et le magnésium ; • présence de HAP avec des teneurs en HAP totaux globalement sous le critère ISDI (un seul dépassement en L1/L2 sur PM37 avec 310 mg/kg MS) et des teneurs en naphthalène globalement au-dessus du bruit de fond géochimique (dont une valeur max de 15 mg/kg MS en L1/L2 sur PM37) ; • teneurs en HC C10-40 (fraction lourdes C22-C30 majoritaires) supérieures au critère ISDI avec un maximum de 16 300 mg/kg MS en L4 sur PM11 et présence de composés C10-C16 à des concentrations maximales de 657 mg/kg en L4 sur PM2 ; • BTEX : Cmax = 1,28 mg/kg en L6/L7 sur PM35, avec concentrations en benzène max de 0,15 mg/kg en L1/L2 sur PM36 ; • des cyanures en concentration modérée et non libérables. <p>Autres caractéristiques notables :</p> <ul style="list-style-type: none"> • COT supérieur au critère ISDI ; • pH légèrement basique avec une moyenne de 8,8.
Impacts identifiés dans les eaux souterraines	<i>Aucune influence des lagunes n'a été observée en aval des roubines sur les traceurs identifiés dans les boues dans le cadre de la surveillance environnementale.</i>
Eaux superficielles	<i>Aucune influence des lagunes n'a été observée en aval des roubines sur les traceurs identifiés dans les boues dans le cadre de la surveillance environnementale.</i>

PM : pelle mécanique / TM : tarière à main

2.3 L'usage des milieux

2.3.1 Projet d'aménagement/usage pris en compte/environnement du site

Le projet de réhabilitation qui nous a été communiqué par le maître d'ouvrage, encadré par les Arrêtés Préfectoraux des 16/01/2020 et du 28/12/2020, prévoit un remodelage en 4 dômes reprofilés au droit des lagunes :

- dôme Lagunes L1 et L2, déchets non dangereux (boues non hydrocyclonnées et non pressées) ;
- dôme lagune L4, déchets dangereux (boues hydrocyclonnées et non pressées) ;
- dôme lagune L5, déchets dangereux (boues hydrocyclonnées et non pressées) ;
- dôme lagunes L6 et L7, déchets dangereux (boues hydrocyclonnées et pressées).

Remodelage de l'ensemble des lagunes (pentes minimum 5%), avec,

- pour le dôme des lagunes L1/L2 une couverture en bi pente « est-ouest » avec en reprofilage :
 - une mise à niveau des dépressions avec des Laitiers d'Acierie de Conversion (LAC)¹ ;
 - une couverture de 30 cm de terre saine végétalisable ;
- pour les dômes des lagunes L4 et L5, des couvertures en bi pente « nord-sud » avec en reprofilage :
 - la mise en place d'une géogrille / géomembrane d'accroche ;
 - une couche de drainance avec des LAC ;
 - des matériaux de reprofilage (LAC) permettant d'atteindre les cotes projet et dont l'épaisseur peut varier de 0 à 3/4 m ;
 - une couverture de 30 cm de terre saine végétalisable ;
- pour le dôme des lagunes L6/L7, des couvertures en bi pente « nord-sud » avec un reprofilage :
 - une mise à niveau des dépressions avec des LAC ;
 - une couverture de 30 cm de terre saine végétalisable.

Une modélisation et les coupes de principe des dômes réhabilités sont présentées ci-après dans les **Figures 4 à 9**.

Pour permettre la consolidation des boues, la mise en œuvre d'un dispositif d'évacuation des eaux dans les lagunes, est prévue au droit des lagunes L4 à L7 via des puits de lixiviats permettant si besoin le pompage des eaux dans les lagunes.

Après la réalisation des travaux, les lagunes seront clôturées par l'exploitant, afin de limiter l'accès aux seules personnes autorisées.

Le projet de réaménagement quant à lui prévoit :

- l'aménagement de pistes de circulation sur les digues entourant les dômes ;
- l'aménagement de la centrale photovoltaïque (panneaux photovoltaïques et infrastructures et réseaux annexes).

A ce stade le projet n'est pas encore dans sa version définitive (voir **Figure 10**).

¹ ARCELOR MITTAL souhaite valoriser autant que possible ses LAC issus de la fraîche production. Il convient de noter que cela suppose d'un point de vue géotechnique l'utilisation de matériaux légèrement plus denses que des matériaux naturels équivalents (densité de l'ordre de 2,2 à 2,4 (selon données fournies par ARCELOR MITTAL).

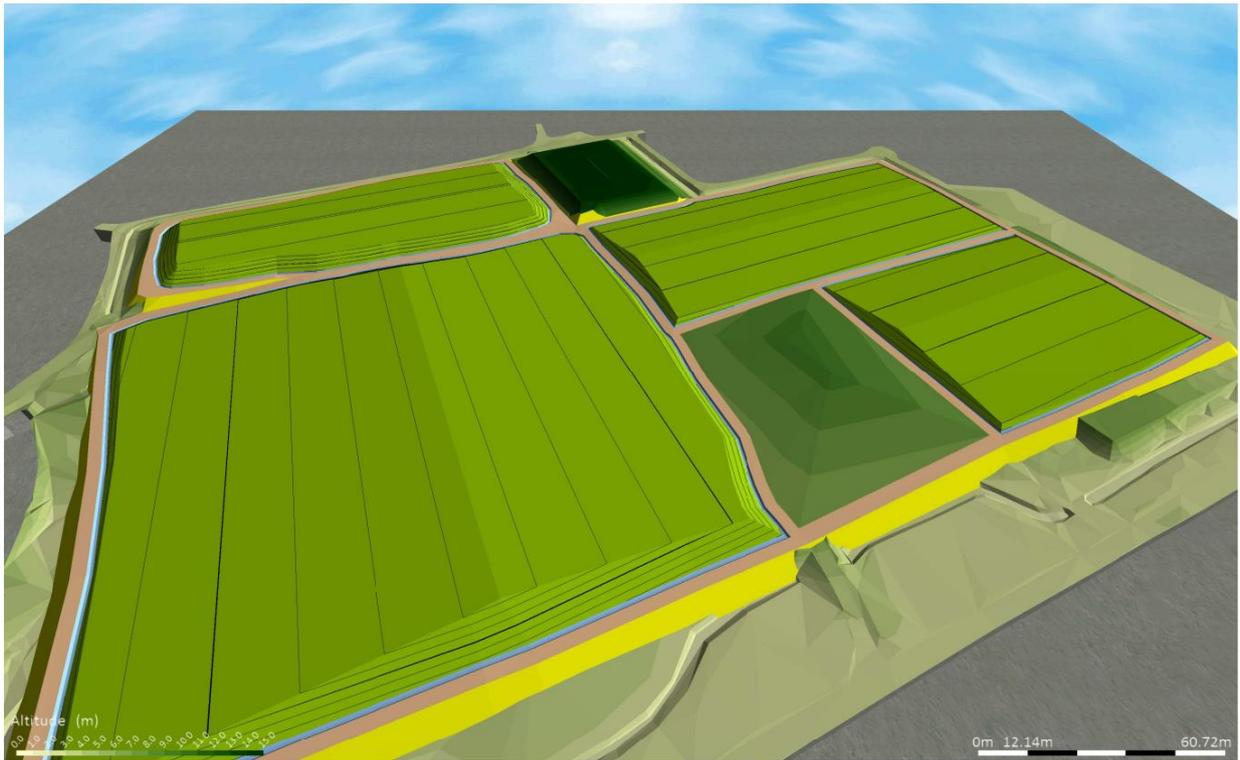


Figure 4 : Vue 3D des lagunes L1 à L7 (hors L3) après réhabilitation (Source : Rapport GINGER BURGEAP SE140002 / 1017750-2 du 19/06/2023)

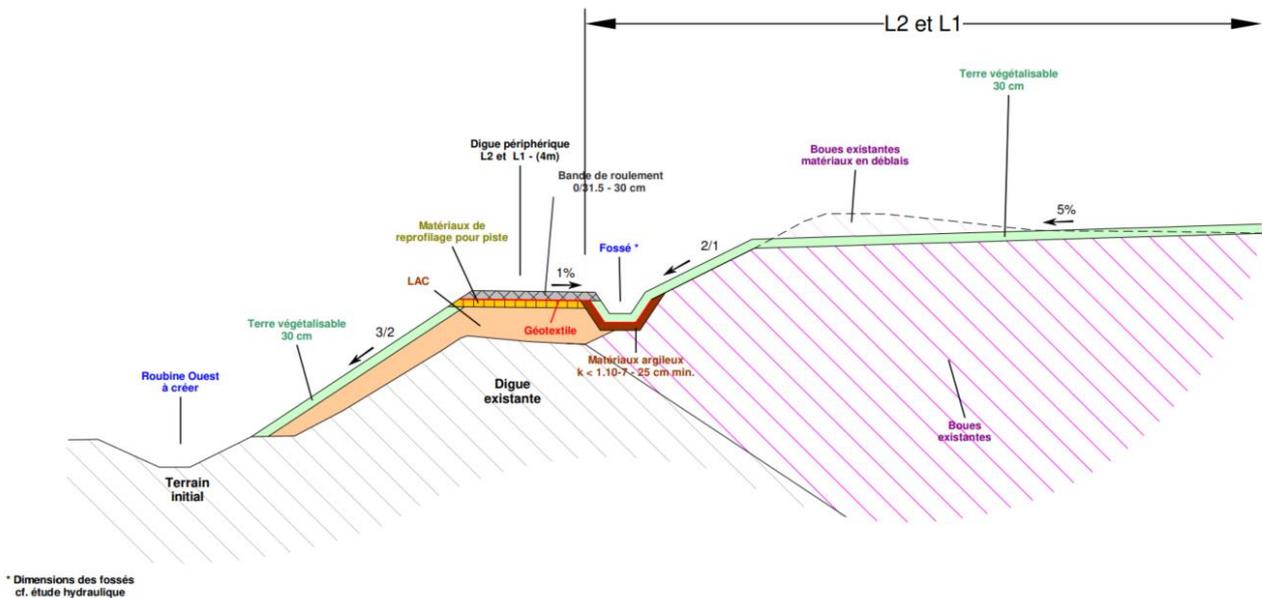


Figure 5 : Coupe de principe de réhabilitation des lagunes L1/L2 – Cotés ouest

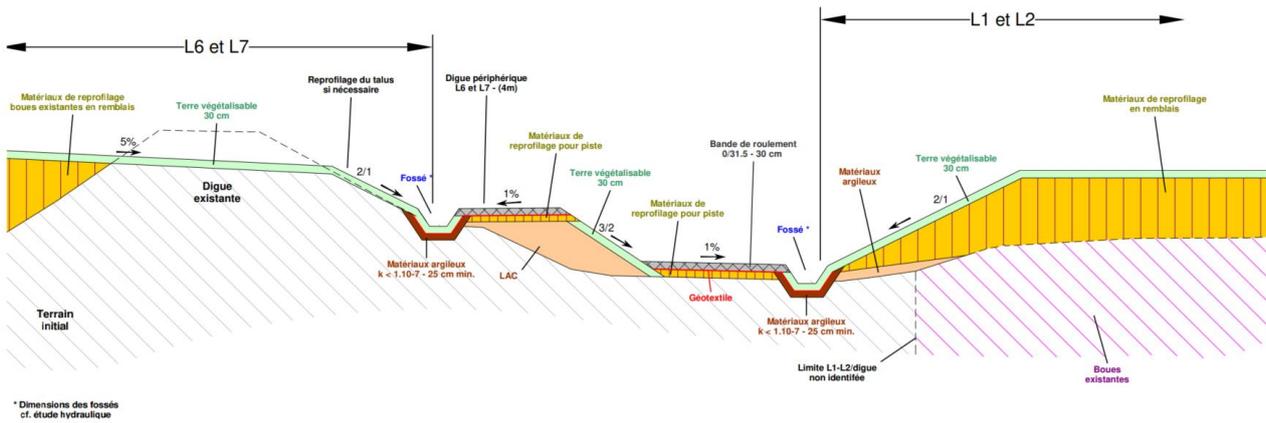


Figure 6 : Coupe de principe des lagunes L1/L2 – Coté nord

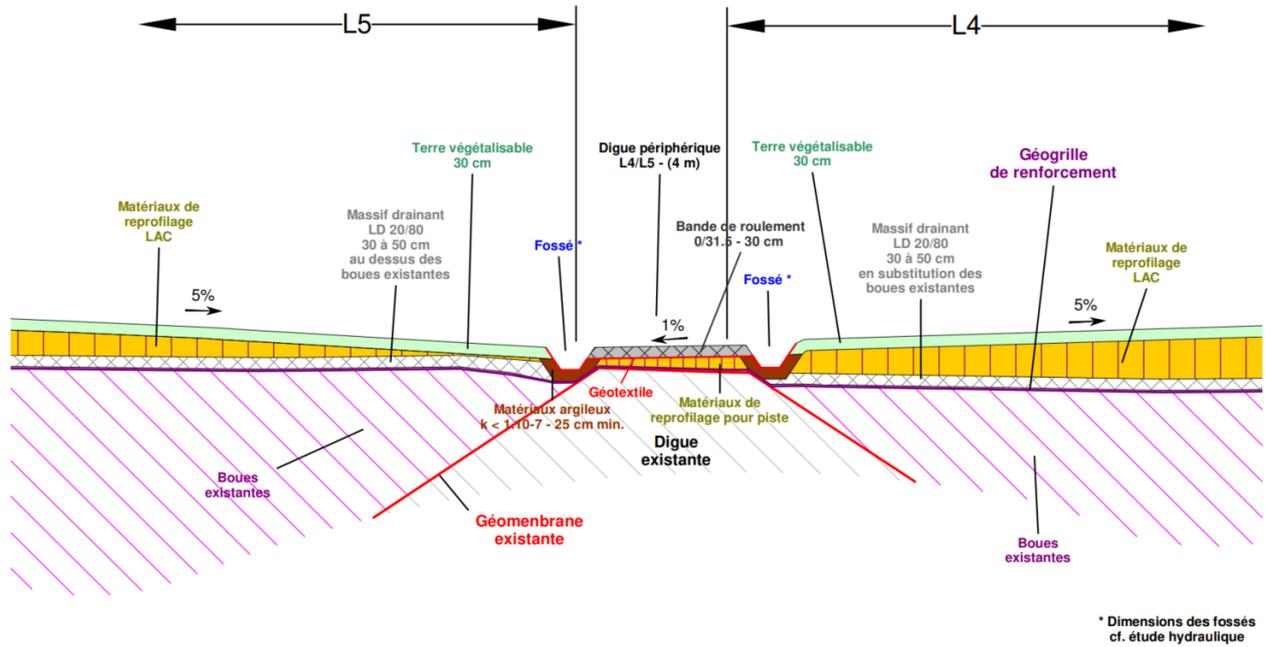


Figure 7 : Coupe de principe des lagunes L4 et L5 – Piste entre L4 et L5

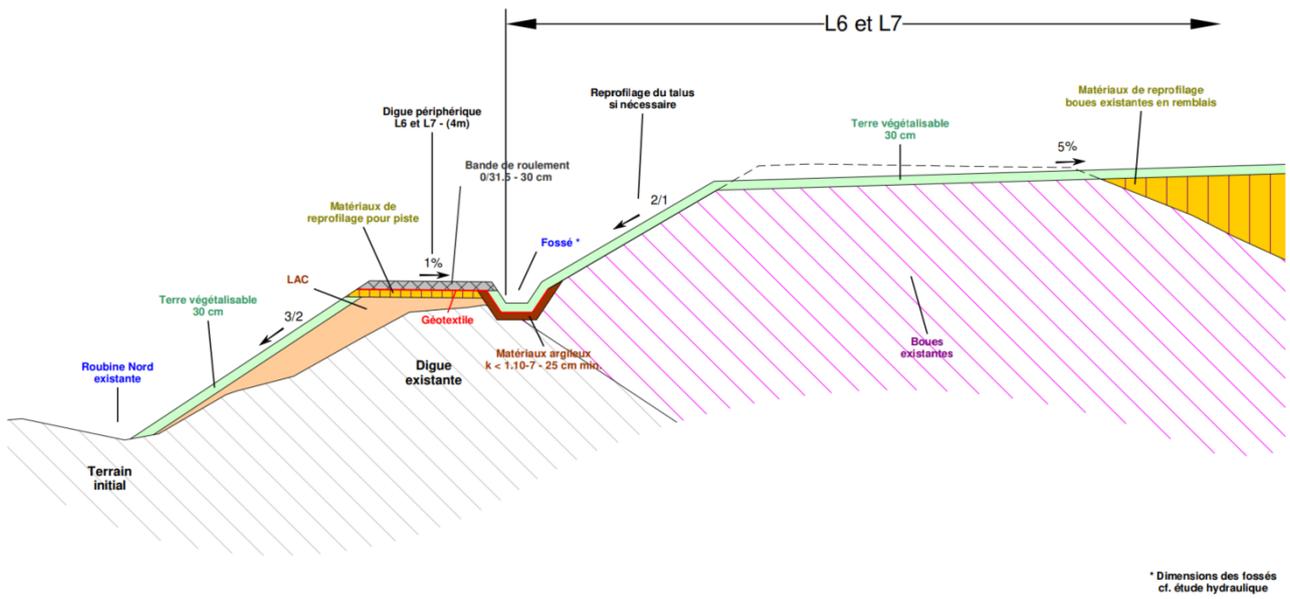


Figure 8 : Coupe de principe des lagunes L6/L7 – Coté nord

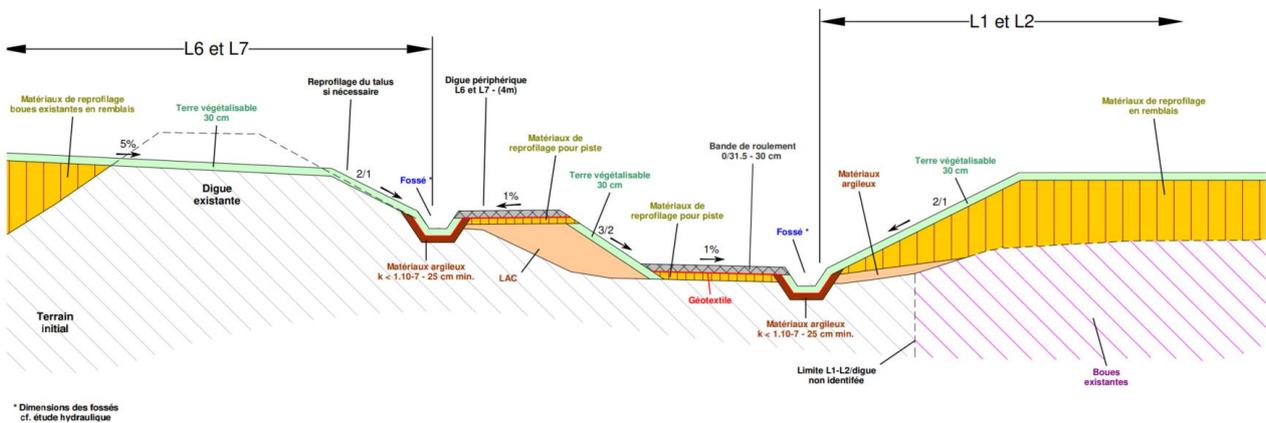


Figure 9 : Coupe de principe des lagunes L6/L7 – Coté sud



Figure 10 : Implantation prévisionnelle des panneaux photovoltaïques sur les lagunes L1, L2, L4, L5, L6 et L7 - projet susceptible d'évoluer et présenté ici à titre indicatif (Source : QAIR, janvier 2023)

2.3.2 Enjeux/cibles à considérer

Les enjeux à considérer **sur site** sont les futurs usagers du site (adultes travailleurs).

Il n'y a pas d'enjeux à considérer **hors site** dans cette étude.

2.4 Voies de transferts depuis les milieux impactés vers les milieux d'exposition

Au droit des dômes les zones sont recouvertes par des LAC et/ou des terres saines végétalisables. La voie de transfert à considérer est la volatilisation de composés volatils.

Il n'y aura pas d'espaces non recouverts au droit de la zone d'étude.

2.5 Voies d'exposition

2.5.1 Sur site

Au droit des zones recouvertes, la seule voie d'exposition à considérer est l'inhalation de composés volatils issus du milieu souterrain (ZNS²).

² ZNS : Zone Non Saturée

La sélection des voies d'exposition ainsi que l'argumentaire de cette sélection sont présentés dans le **Tableau 3**.

Tableau 3 : Voies d'exposition retenues

VOIES D'EXPOSITION	Habitations	Bureaux	RAISON DE LA SELECTION
	Adultes et enfants résidents	Adultes travailleurs	
Inhalation de polluant sous forme gazeuse	Oui	Oui	Du fait de la présence de composés volatils dans les boues des lagunes
Inhalation de polluant adsorbé sur les poussières du sol	Non	Non	En raison de la couverture des sols (LAC ou terres saines végétalisables), l'inhalation de poussières ne peut plus se produire
Inhalation de vapeur d'eau polluée*	Non	Non	Absence d'usages des eaux souterraines dans le cadre du projet de centrale photovoltaïque. et absence de passage de canalisations AEP dans les dômes.
Ingestion directe de sol et/ou de poussières	Non	Non	En raison de la couverture des sols (LAC ou terres saines végétalisables), l'inhalation de poussières ne peut plus se produire
Ingestion d'aliments d'origine végétale cultivés sur ou à proximité du site	Non	Non	Absence de culture actuellement et dans le futur sur site.
Ingestion d'aliments d'origine animale à partir d'animaux élevés ou pêchés à proximité du site	Non	Non	Absence d'élevages actuellement et dans le futur sur site.
Ingestion d'eau contaminée	Non	Non	Aucune mise en place de réseau AEP n'est prévue dans le cadre du projet de centrale photovoltaïque.
Absorption cutanée de sols et/ou de poussières	Non	Non	Sols recouverts
Absorption cutanée d'eau contaminée (bain, douche, baignade en gravière)	Non	Non	Absence de relations dose-réponse dans la littérature scientifique**
Absorption cutanée de polluant sous forme gazeuse	Non	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

2.6 Schéma conceptuel

Tableau 4 : Schéma conceptuel (usage futur)

Source primaire		Milieu dégradé à considérer (source secondaire)	Voies de transfert (et voies d'exposition associées)	Voies d'exposition	Cible / enjeux		Justification
Origine de la pollution	Polluants				Usager du site	Usager hors site	
SUR SITE							
Remblais Ancienne activité ICPE	HCT volatils Métaux (plomb, mercure et arsenic)	<input checked="" type="checkbox"/> Sols (Boues)	<input type="checkbox"/> Envol de poussières / contact direct → (1), (2), (8)	<input type="checkbox"/> (1) Inhalation de polluant adsorbé sur les poussières du sol	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	En raison de la couverture des sols (30 cm de terres saines végétalisables), l'inhalation de poussières n'est pas retenue.
		<input type="checkbox"/> Eaux souterraines	<input checked="" type="checkbox"/> Volatilisation de composés volatils → (3), (4), (8)	<input type="checkbox"/> (2) Ingestion de sol/poussière	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	En raison de la couverture des sols l'ingestion de poussières n'est pas retenue
		<input type="checkbox"/> Eaux superficielles	<input type="checkbox"/> Migration par infiltration vers les eaux souterraines → (4), (5), (8)	<input checked="" type="checkbox"/> (3) Inhalation de polluant sous forme gazeuse	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Du fait de la présence de composés volatils dans les boues des lagunes.
		<input type="checkbox"/> Eaux du robinet	<input type="checkbox"/> Migration par les eaux de ruissellement → (4), (5), (8)	<input type="checkbox"/> (4) Inhalation de vapeur d'eau polluée ^(c)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Absence d'usage des eaux souterraines. Absence de passage de canalisation AEP dans les dômes réhabilités.
		<input type="checkbox"/> Gaz du sol	<input type="checkbox"/> Perméation vers les canalisations d'eau potable → (4), (5)	<input type="checkbox"/> (5) Ingestion d'eau contaminée	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Aucune mise en place de réseau AEP n'est prévue dans le cadre du projet de centrale photovoltaïque.
		<input type="checkbox"/> Air ambiant	<input type="checkbox"/> Bioaccumulation dans les matrices végétales → (6), (7)	<input type="checkbox"/> (6) Ingestion d'aliments d'origine végétale cultivés sur site	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Absence de culture actuellement et dans le futur sur site.
			<input type="checkbox"/> Bioaccumulation dans les matrices animales → (7)	<input type="checkbox"/> (7) Ingestion d'aliments d'origine animale à partir d'animaux élevés sur site	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Absence d'élevages actuellement et dans le futur sur site.
				<input type="checkbox"/> (8) Absorption cutanée de polluant	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Sols recouverts

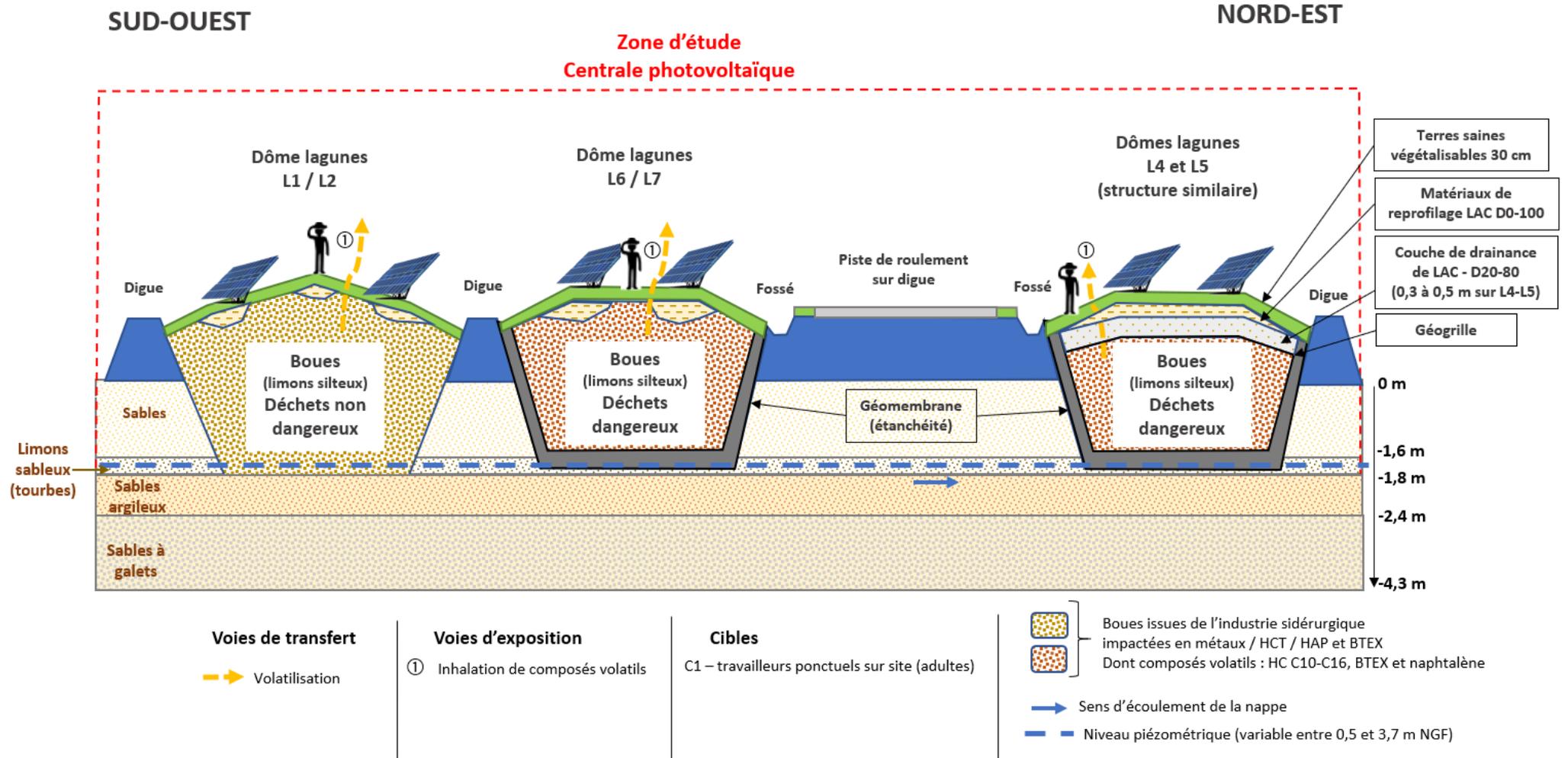


Figure 11 : Schéma conceptuel (usage futur)

3. Analyse des Risques Résiduels (ARR)

3.1 Contexte et méthodologie

Conformément aux textes ministériels relatifs à la gestion des sites et sols pollués de 2017, la compatibilité entre l'état attendu des terrains après mise en œuvre des mesures de gestion proposées et l'usage futur du site doit être vérifiée sur le plan sanitaire.

L'analyse des risques résiduels (ARR) consiste donc à vérifier que l'état des milieux à l'issue des travaux (concentrations résiduelles dans les sols) est compatible avec les usages futurs.

L'ARR qui repose sur le schéma conceptuel final peut être réalisée :

- *a priori* (avant la réalisation des travaux de réhabilitation ou « ARR prédictive »). Les calculs de risque sont menés sur des concentrations résiduelles estimées en tenant compte des performances connues des techniques de dépollution. Dans ce cas, lors du récolement à l'issue des travaux, les concentrations résiduelles mesurées et les caractéristiques des aménagements prévus seront comparées aux données d'entrée de la présente ARR afin de statuer sur la bonne mise en œuvre du plan de gestion. Une ARR prédictive apporte une certaine garantie sur l'acceptabilité sanitaire mais ne remplace pas celle réalisée à l'issue des travaux de réhabilitation ;
- *a posteriori* (à réception des travaux de réhabilitation ou « ARR fin de travaux »). Dans ce cas, à l'issue des travaux, les concentrations résiduelles mesurées lors du récolement et les caractéristiques des aménagements prévus sont intégrées à l'ARR afin de statuer sur la compatibilité entre les pollutions résiduelles et les usages.

L'ARR est ici réalisée *a priori*, avant les travaux de réhabilitation, en considérant les teneurs mesurées dans les terrains qui resteront en place au droit du site.

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.

3.2 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.

La seule voie d'exposition retenue est l'inhalation de composés volatils. De ce fait, seuls les composés volatils sont retenus, à savoir :

- le mercure considérant sa présence sous forme volatile en l'absence de spéciation ;
- les hydrocarbures C10-16 ;
- le naphthalène ;
- les BTEX.

En l'absence de données sur les gaz des sols, les concentrations mesurées dans les sols sont utilisées (majoration des incertitudes liées à la modélisation des transferts).

Dans une approche majorante, les concentrations maximales sont retenues.

Deux scénarios sont identifiés du fait de la nature des recouvrements,

- scénario 1 : concerne les lagunes L1/L2 et L6/L7 qui seront seulement reprofilées ponctuellement pour mise à niveau par des LAC et recouvertes de 30 cm de terres saines végétalisables ;
- scénario 2 : concerne les lagunes L4 et L5 qui seront reprofilées pour mise à niveau par des LAC, surmontés d'une géogrille et de 0 cm à 300 cm de LAC. Le tout sera recouvert de 30 cm de terres saines végétalisables.

Les concentrations retenues sont présentées dans les **Tableaux 5 et 6..**

Tableau 5 : Concentrations retenues dans les différents milieux pour l'ARR – Lagunes L1/L2 et L6/L7

Substances	Concentrations à la source retenues en extérieur	
	Sols	Investigations correspondantes et critères de sélection
	mg/kg	
METAUX ET METALLOIDES		
Mercure (Hg)	1,99	L1/L2 : PM37
HYDROCARBURES AROMATIQUES POLYCYCLIQUES		
Naphtalène	15	L1/L2 : PM37
COMPOSES AROMATIQUES MONOCYCLIQUES		
Benzène	0,15	L1/L2 : PM36
Toluène	0,31	L6/L7 : PM35
Ethylbenzène	0,17	L1/L2 : PM36
M+p-Xylène	0,51	L6/L7 : PM35
o-Xylène	0,22	L6/L7 : PM35
HYDROCARBURES SUIVANT LES TPH		
Aromatic nC>10-nC12	576	L6/L7 : PM35 (C10-C16)

Tableau 6 : Concentrations retenues dans les différents milieux pour l'ARR – Lagunes L4 et L5

Substances	Concentrations à la source retenues en extérieur	
	Sols	Investigations correspondantes et critères de sélection
	mg/kg	
METAUX ET METALLOIDES		
Mercure (Hg)	1,18	L4 : PM26
HYDROCARBURES AROMATIQUES POLYCYCLIQUES		
Naphtalène	14	L4 : PM26
COMPOSES AROMATIQUES MONOCYCLIQUES		
Benzène	0,12	L4 : PM26
Toluène	0,2	L4 : PM26
Ethylbenzène	0,32	L4 : PM26
M+p-Xylène	0,09	L4 : PM26
o-Xylène	0,16	L4 : PM26
HYDROCARBURES SUIVANT LES TPH		
Aromatic nC>10-nC12	657	L4 : PM26 (C10-C16)

Concernant les hydrocarbures

Les résultats d'analyses sur les hydrocarbures ont pour résultats la tranche C₁₀-C₁₆. Les modèles utilisés pour l'ARR discriminent les risques entre les tranches C₁₀-C₁₂ et C₁₂-C₁₆. Des tests ont donc également été réalisés en prenant en compte 100% de la valeur des C₁₀-C₁₆ en C₁₀-C₁₂ puis en C₁₂-C₁₆.

En l'absence de différenciation entre les composés aromatiques et aliphatiques, les concentrations maximales pour les tranches C₁₀-C₁₂ et C₁₂-C₁₆ ont été retenues et appliquées directement pour des hydrocarbures aromatiques et aliphatiques.

Les résultats les plus pénalisants en termes de risques sanitaires ont été conservés (hydrocarbures aromatiques en C₁₀-C₁₂).

3.3 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 cancérigènes (apparition de tumeurs), les effets mutagènes (altération du patrimoine génétique) ainsi que les effets sur la reproduction (reprotoxicité).

En ce qui concerne le potentiel cancérigène, 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 2**.

3.4 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 nationales³ 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 3** et discutées dans les incertitudes au paragraphe **3.7**.

³ 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) peut également produire des VTR.

Tableau 7 : Valeurs toxicologiques de référence retenues

Substance	CAS N°	Effets sans seuil			Effets à seuil							
		ERUi	TYPE CANCER	SOURCE	VTRi	ORGANE	SOURCE	SF	VTRi spécifique effet cancérogène	ORGANE	SOURCE	SF
		($\mu\text{g}/\text{m}^3$) ⁻¹			($\mu\text{g}/\text{m}^3$)				($\mu\text{g}/\text{m}^3$)			
METAUX ET METALLOIDES												
Mercure (Hg)	multiple	-	-	-	0,2	SNC	OMS-CICAD 2003	30	-	-	-	-
HYDROCARBURES AROMATIQUES POLYCYCLIQUES												
Naphtalène	91-20-3	5,6E-06	neuroblastome de l'épith, olfactif	Anses, 2013	37	sys. Resp.	Anses, 2013	250	-	-	-	-
COMPOSES AROMATIQUES MONOCYCLIQUES												
benzène	71-43-2	2,6E-05	leucémie	Anses, 2013	10	sang	Anses, 2008	10	-	-	-	-
toluène	108-88-3	-	-	-	19 000	sys. Nerveux	Anses, 2017	5	-	-	-	-
ethylbenzène	100-41-4	-	-	-	1 500	effet ototoxique	ANSES 2016	30	-	-	-	-
M+p-Xylène	1320-20-7	-	-	-	100	sys. Nerveux	US EPA 2003 retenu par Anses, 2020	300	-	-	-	-
o-Xylène	95-47-6	-	-	-	100	sys. Nerveux	US EPA 2003 retenu par Anses, 2020	300	-	-	-	-
HYDROCARBURES SUIVANT LES TPH												
Aromatic nC>10-nC12	non adéquat	-	-	-	200	poids	TPHCWG, 1997	1000	-	-	-	-

3.5 Estimation des expositions

3.5.1 Concentrations dans les milieux d'exposition

3.5.1.1 Estimation des concentrations dans l'air extérieur

Dans l'air extérieur, la modélisation des expositions est conduite sur la base des équations de Millington and Quirk et de l'équation de Fick. La dilution par le vent est ensuite calculée dans une boîte de taille fixée. Comme pour l'air intérieur, la zone de pollution est considérée comme infinie.

Les équations sont détaillées en **Annexe 4**.

► Hypothèses retenues – paramètres liés au sol et aux aménagements

Les concentrations dans l'air intérieur sont estimées à partir des concentrations mentionnées dans le **Tableau 6**. Les hypothèses retenues pour la réalisation des calculs de transferts des sols vers l'air extérieur, sont rappelées dans les **Tableau 8**, **Tableau 10**, **Tableau 10** et en **Annexe 4**.

Tableau 8 : Paramètres retenus liés au sol – Lagunes L1/L2 et L6/L7

Profondeur de la pollution	Unités	Valeurs	Justification
Profondeur du toit de la source (sous la base du recouvrement)	m	0,01	Profondeur minimale retenue pour des composés semi-volatils
Pour information, cohérence sur les informations concernant la profondeur de la source	-	Limons silteux	

Lithologie	Unités	Limons silteux	Source
Porosité	-	35%	RISC4
Teneur en eau	-	22%	RISC4
foc	-	10.2%	Teneurs COT sur brut la plus faible relevées dans les boues L1/L2/L6/L7
Masse volumique du sol	kg/l	1,80	

Tableau 9 : Paramètres retenus liés au sol – Lagunes L4 et L5

Profondeur de la pollution	Unités	Valeurs	
Profondeur du toit de la source (sous la base du recouvrement)	m	0,31	
Pour information, cohérence sur les informations concernant la profondeur de la source	-	Boues – Limons silteux	

Lithologie	Unités	LAC ⁴	Boues	
Nature lithologique	m	Graviers	Limons silteux	
Epaisseur	m	0,30	0,01	Projet
Porosité	-	30%	35%	bibliographie
Teneur en eau	-	10%	0,2%	bibliographie
foc	-	0,2%	10 %	Teneurs COT sur brut la plus faible relevées dans les boues L4/L5
Masse volumique du sol	kg/l	1,80	1,80	

⁴ Laitiers.

Tableau 10 : Paramètres retenus liés aux scénarios d'aménagements – Ensemble des lagunes

Recouvrement de surface	Unités	Valeurs	Sources de la donnée
Nature du recouvrement	-	Terre végétale	Données de la littérature pour de la terre végétale
Porosité	-	0,30	Données de la littérature pour de la terre végétale
Teneur en eau	-	0,15	Données de la littérature pour de la terre végétale
Epaisseur	m	0,30	Informations AP et rapport phase PRO de couverture

Dilution par le vent	Unités	Valeurs	Source de la donnée
Hauteur de la zone de mélange (adulte)	m	1,5	Hauteur des voies respiratoires des cibles (1,5m pour les adultes)
Longueur de la zone de mélange	m	400	Vents dominants du nord-ouest au sud-est (Windfinder)
Vitesse moyenne de vent	m/s	5,2	Fiche climatologique ISTRES MétéoFrance - données 1991-2020

► Concentrations dans l'air extérieur

Le **Tableau 11** et le **Tableau 12** présentent les concentrations estimées en air intérieur et extérieur.

Tableau 11 : Concentrations calculées dans l'air intérieur et extérieur – Lagunes L1/L2 et L6/L7

Substances	AIR EXTERIEUR			Concentrations calculées dans l'air extérieur
	($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Avec recouvrement
	Bruit de fond (source OQAI (P90) ou INERIS,2009 (urbain))	Valeurs réglementaires - décret n° 2010-1250 (valeur limite/valeur cible)	Valeurs guide OMS	Adultes
METAUX ET METALLOIDES				
Mercure (Hg)	-	-	1	0,0004
HYDROCARBURES AROMATIQUES POLYCYCLIQUES				
Naphtalène	0,009	-	-	0,0279
COMPOSES AROMATIQUES MONOCYCLIQUES				
benzène	2,2	5	1,7	0,11
toluène	9	-	-	0,07
ethylbenzène	2,1	-	-	0,03
M+p-Xylène	5,6	-	-	0,06
o-Xylène	2,3	-	-	0,02
HYDROCARBURES SUIVANT LES TPH				
Aromatic nC>10-nC12	-	-	-	9,99

Tableau 12 : Concentrations calculées dans l'air intérieur et extérieur – Lagunes L4 et L5

Substances	AIR EXTERIEUR			Concentrations calculées dans l'air extérieur
	($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Avec recouvrement
	Bruit de fond (source OQAI (P90) ou INERIS,2009 (urbain))	Valeurs réglementaires - décret n° 2010-1250 (valeur limite/valeur cible)	Valeurs guide OMS	Adultes
METEAUX ET METALLOIDES				Air extérieur ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Mercure (Hg)	-	-	1,00	0,00014
HYDROCARBURES AROMATIQUES POLYCYCLIQUES				
Naphtalène	9,00E-03	-	-	0,02
COMPOSES AROMATIQUES MONOCYCLIQUES				
benzène	2,20E+00	5,00E+00	1,70E+00	0,07
toluène	9,00E+00	-	-	0,04
ethylbenzène	2,10E+00	-	-	0,04
M+p-Xylène	5,60E+00	-	-	0,01
o-Xylène	2,30E+00	-	-	0,01
HYDROCARBURES SUIVANT LES TPH				
Aromatic nC>10-nC12	-	-	-	8,57

Pour les deux scénarios étudiés, les concentrations calculées dans l'air extérieur à partir des résultats sols mettent en évidence un dépassement de la valeur de bruit de fond (air extérieur).

Pour les composés sans valeur de comparaison (hydrocarbures aromatiques C10-C12), il n'est pas possible de statuer.

3.5.2 Estimation des expositions

3.5.2.1 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/m^3).
- C_j : concentration du composé j dans l'air inhalé (mg/m^3).
- 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 de gaz dans l'air présentées dans le **Tableau 11** et le **Tableau 12**.

Le détail des calculs est donné en **Annexe 5**.

3.5.2.2 Budget espace-temps (BET)

Le budget espace-temps des cibles considérées est présenté dans le **Tableau 13**.

Tableau 13 : Budgets espace/temps retenus

Scénario	Cibles		Période de temps sur laquelle l'exposition est moyennée
	Adultes	Enfants	
Travailleur Suivi d'exploitation centrale photovoltaïque Suivi environnemental	T = 43 ans 61 jours par an 8h/jour 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'exposition⁵ d'une part, de l'Exposure Factor Handbook (US-EPA, EFH, 1997 et 2001) d'autre part, et enfin de la réglementation du travail en France.

Pour les durées d'exposition dans le contexte du travail, le cas le plus défavorable a été considéré pour les adultes qui travailleraient pendant 43 ans au même endroit (correspondant à la durée totale de la période de travail) ; cependant la variabilité de cette durée d'exposition est importante. La durée de 8 h/jour correspondent à la durée « classique » du travail en France.

⁵ 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.

Concernant le nombre de jours travaillés par an, une estimation (voir **Tableau 14**) a été faite sur la base :

- des missions qui seront à réaliser au droit du site, cadrées en partie par les arrêtés préfectoraux post-exploitation auxquels est soumis le site ;
- d'hypothèses sur les durées de présence du personnel liées à l'exploitation de centrales photovoltaïques.

Tableau 14 : Estimation du nombre de jour travaillés par an pour les missions de gestion et de suivi de la centrale photovoltaïque

Opération de suivi et de gestion de la centrale photovoltaïque	Opération de suivi environnemental et contrôles des dômes et équipements connexes
<ul style="list-style-type: none"> • Interventions paysagères : 24 j/an à 8 h/j (1 visite/mois et 2 j/intervention) ; • Opérations préventives sur les panneaux : 6 j/an à 8 h/j (1 visite/mois de 0,5 j/intervention) ; • Opérations de contrôle : 7 j/an à 8 h/j. 	<ul style="list-style-type: none"> • Contrôles mensuels des puis verticaux, des niveaux piézométriques et des roubines : 18 j/an à 8 h/j (1 visite/mois et 1,5 j/intervention) • Contrôles trimestriels de l'état des eaux souterraines et des travaux d'aménagement : 6 j/an à 8 h/j (1 visite/mois et 1,5 j/intervention)
TOTAL : 37 jours	TOTAL : 24 jours
TOTAL : 61 jours	

Hypothèse conservatoire : la même personne fait l'ensemble des contrôles.

3.6 Quantification des risques sanitaires

3.6.1 Méthodologie

3.6.1.1 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 :

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

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 cancérigènes.

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 cancérigène global qui pèse sur la population exposée.

3.6.1.2 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 :

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

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**.

3.6.2 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 **Tableau 7** et des niveaux d'exposition estimés au paragraphe précédent. Ils sont présentés **dans le Tableau 15**. Le détail du calcul est donné en **Annexe 5**.

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.

Tableau 15 : Synthèse des QD et ERI – Lagunes L1/L2 et L6/L7

	Effets toxiques sans seuil Excès de risques individuels (ERI)		Effets toxiques à seuil non cancérigènes Quotient de danger (QD)	
	Adulte Travailleur	Composés tirant le risque	Adulte Travailleur	Composés tirant le risque
INHALATION air extérieur avec recouvrement	1,04.10-07	benzène	0,004	Aromatic nC>10- nC12
TOTAL	1,0.10-07		0,004	

Tableau 16 : Synthèse des QD et ERI – Lagunes L4 et L5

	Effets toxiques sans seuil Excès de risques individuels (ERI)		Effets toxiques à seuil non cancérigènes Quotient de danger (QD)	
	Adulte Travailleur	Composés tirant le risque	Adulte Travailleur	Composés tirant le risque
INHALATION air extérieur avec recouvrement	6,32E-08	benzène	0,003	Aromatic nC>10- nC12
TOTAL	6,3.10-08		0,003	

Risques non significatifs (QD<1 et ERI < 10-5)

Risques significatifs

Dans le cadre de la mission qui nous a été confiée par Qair, avec les conditions d'études retenues, et en l'état actuel des connaissances scientifiques, les niveaux de risques estimés sont inférieurs aux critères d'acceptabilité tels que définis par la politique nationale de gestion des sites pollués.

Ainsi, l'état environnemental du site est compatible avec l'usage prévu de centrale photovoltaïque.

3.7 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.

Tableau 17 : Variables générant les incertitudes majeures de l'évaluation

Variable	Voie d'exposition touchée	Poids dans l'évaluation	Approche retenue																
Choix et caractéristiques des composés																			
Nature des composés et concentrations retenues	Inhalation extérieur	Fort	Sécuritaire : pour chacun des scénarios (Lagunes L1/L2 et L6/L7 ou Lagunes L4 et L5) prise en compte des concentrations maximales (approche majorante) pour les composés volatils quantifiés dans les sols (campagnes de 2018, investigations d'ARCADIS menées dans le cadre du mémoire de cessation d'activité). Cette approche est considérée sécuritaire pour l'évaluation des expositions.																
Cas des hydrocarbures	Inhalation extérieur	Faible	Sécuritaire : en l'absence de données sur <u>la répartition entre les composés aromatiques et aliphatiques</u> (TPH non disponibles), les calculs sont réalisés en 1 ^{ère} approche, en prenant 100% de composés aromatiques (forme considérée plus toxique, mais moins volatile que celle aliphatique). La prise en compte de la forme exclusivement aliphatique des hydrocarbures dans les sols, induirait des niveaux de risques sanitaires inférieurs à ceux présentés dans le chapitre 3.6 précédent. En l'absence de données sur la répartition de la fraction C10-C16 en C10-C12 et C12-C16, les calculs ont été réalisés en prenant 100% de C10-C16 en C10-C12 puis en C12-C16. Le calcul le plus majorant a été retenu, à savoir les C10-C12. L'incertitude sur la forme des hydrocarbures (répartition des fractions hydrocarbonées, formes aliphatiques/aromatiques), n'a pas d'incidence sur la conclusion de l'évaluation des risques sanitaires du chapitre 3.6 précédent.																
Cas du mercure	Inhalation extérieur	Faible	Sécuritaire : en l'absence de données sur les gaz du sol, la concentration retenue et intégrée dans les calculs correspond à la teneur maximale retrouvée dans les sols. En première approche, on considère que 100% du mercure présent dans les sols va pouvoir se volatiliser (approche considérée très majorante de l'évaluation des risques sanitaires car il est estimé qu'environ 7% du mercure dans les sols est potentiellement sous une forme volatile). On notera que le mercure n'est pas un composé tirant le risque à la hausse.																
Valeurs Toxicologiques de référence	Inhalation extérieur	-	Les VTR ont été retenues <u>conformément à la note d'information N° DGS/EA1/DGPR/2014/307 du 31 octobre 2014</u> 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. <ul style="list-style-type: none"> Concernant le naphthalène : nous retenons les VTR de l'ANSES (2013) ; concernant les hydrocarbures de type TPH : nous retenons les caractéristiques physico-chimiques des classes définies par le TPHCWG et les valeurs toxicologiques établies par le TPHCWG (1997) pour les hydrocarbures aromatiques C10-C12 ; concernant les BTEX : nous retenons les VTR de l'ANSES (2008 pour le benzène, 2017 pour le toluène et 2016 pour l'éthylbenzène) ainsi que de l'US EPA (2003) retenues par l'ANSES (2020) pour les xylènes. 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.																
Cumul des QD et des ERI	Inhalation extérieur	Fort	Il convient de rappeler la limite méthodologique des évaluations de risques sanitaires lorsque plusieurs substances peuvent avoir entre elles des effets synergiques ou antagonistes. 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. <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; margin-top: 10px;"> <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>		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 « sol »	Inhalation extérieur	Fort	Sécuritaire : pour chacun des scénarios (Lagunes L1/L2 et L6/L7 ou Lagunes L4 et L5). La modélisation du dégazage depuis les sols est d'une manière générale relativement pénalisante puisqu'elle se base sur l'équilibre triphasique. Cette matrice a été retenue en l'absence de mesure sur les gaz du sol, milieu souvent privilégié pour cette voie de transfert car le milieu est intégrateur eau/sol. Les données sol restent toutefois pertinentes, en l'absence de gaz, en l'absence d'impact dans les eaux souterraines.																
Cas d'un mélange de composés en un même point	Inhalation extérieur	Fort	Si toutes les concentrations en différents composés sont retrouvés dans un même sondage, on considère être en présence d'un mélange de constituant dont les propriétés vont être dépendantes de l'équilibre triphasique qui se mettra en place dans le milieu « sols » (phase pure du produit, produit dissous dans l'eau des sols, produit volatilisé dans les gaz du sol). Sécuritaire : la prise en considération d'un mélange a tendance à diminuer les concentrations dans l'air et l'eau des sols, du fait de l'équilibre triphasique. De ce fait la prise en compte des substances individuellement a été retenue, ce qui conduit à considérer les concentrations à l'équilibre pour chaque substance, ce qui a tendance à augmenter les concentrations et les niveaux de risques.																
Profondeur de la source	Inhalation extérieur	Fort	Sécuritaire : le modèle considéré ne tient pas compte de l'évolution de la source de pollution et des flux en fonction du temps (source infinie). Mais, compte tenu de la faible volatilité des substances considérées et des paramètres de sols peu favorables aux transferts de vapeur, nous retiendrons la profondeur de 1 cm par défaut.																
Caractéristiques des sols																			
Lithologie	Inhalation extérieur	Faible	Réaliste : les boues des lagunes ont été identifiées comme des limons silteux par ARCADIS lors de leurs investigations. Les LAC sont identifiés comme des granulats (Fiche technique des laitiers d'aciéries de conversion, janvier 2022, ArcelorMittal). La lithologie rapprochée est la lithologie des graviers, matériaux très perméables. La prise en compte d'une lithologie moins perméable (type sables) engendre une légère diminution des niveaux de risques (< à un cof 2) et n'a donc que peu d'impact sur les conclusions d'étude																

Variable	Voie d'exposition touchée	Poids dans l'évaluation	Approche retenue								
Perméabilité, porosité, teneur en gaz des sols	Inhalation extérieur	Moyen	Sécuritaire : en l'absence de mesures sur site, les valeurs de la littérature (logiciel RISC 4.0) sont prises en compte par défaut. Rappelons que la prise en compte d'une texture plus contraignante des boues (sable) induirait des niveaux de risque supérieurs mais acceptables. L'incertitude porte essentiellement sur le degré de compactage des matériaux de reprofilage et de couverture. Un compactage de ceux-ci amènerait à diminuer la porosité et donc les niveaux de risque sanitaire.								
Fraction de carbone organique	Inhalation extérieur	Moyen	Réaliste : la fraction de carbone organique (FOC) dans les sols au niveau de la source de pollution prise en compte est de 10,2% pour les lagunes L1/L2 et L6/L7 et de 0,2% pour les lagunes L1/L2 en considérant la plus petite valeur mesurée sur les boues stockées. La prise en compte d'une teneur moyenne induirait une baisse des niveaux de risques compte tenu du fait que plus le foc est plus élevée et plus certains polluants sont adsorbés dans les sols et moins propices à la volatilisation.								
Paramètres d'aménagement											
Couverture de sol extérieur	Inhalation extérieur	Faible	<p>Réaliste : recouvrement pérenne et systématique des sols en place par 30 cm de terre saines végétalisables, prévu pour l'aménagement du site (mesure de gestion), et considéré en 1^{ère} approche comme de la terre rapportée limoneuse.</p> <p>Dans le cadre de la modélisation, ce recouvrement présente les caractéristiques suivantes :</p> <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <thead> <tr> <th></th> <th>Sols limoneux (pour mémoire)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Porosité</td> <td>30%</td> </tr> <tr> <td>Teneur en gaz</td> <td>12%</td> </tr> <tr> <td>Teneur en eau</td> <td>18%</td> </tr> </tbody> </table> <p>La prise en compte de terres sableuses et fertile induirait une légère augmentation des niveaux de risques (<coeff 2) mais n'induirait pas de changement des conclusions d'études. L'épaisseur de la couverture dans le cas des Lagunes L4/L5 est l'épaisseur minimum dans le cas où seuls les laitiers de la couche de drainage sont présents. Il s'agit de l'hypothèse la plus pénalisante puisque par endroit, il y aura jusqu'à 3 m de LAC de reprofilage.</p>		Sols limoneux (pour mémoire)	Porosité	30%	Teneur en gaz	12%	Teneur en eau	18%
	Sols limoneux (pour mémoire)										
Porosité	30%										
Teneur en gaz	12%										
Teneur en eau	18%										
Paramètres liés aux usagés/cibles											
Durée d'exposition des cibles	Inhalation extérieur	Fort	<p>Sécuritaire : le BET réalisé dans les modélisations est très sécuritaire dans la mesure où nous considérons la présence d'un même travailleur pour la réalisation des différentes missions ponctuelles à mener sur site, qui sont effectuées à une fréquence mensuelle ou trimestrielle.</p> <p>Ces missions, bien distinctes, concernent à la fois des opérations de gestion de la centrale photovoltaïque et à la fois des mesures de contrôle environnemental et d'intégrité des dômes (voir le paragraphe 3.5.2.2).</p> <p>Dans les faits, il est peu probable que ce soit la même personne qui s'occupe de l'entièreté des interventions à mener au droit du site, d'où le fait que cette hypothèse est considérée très majorante pour l'étude de l'exposition aux risques.</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 suivantes :

- la prise en compte des concentrations maximales mesurées dans les sols (pour chacun des scénarios, sur la base des résultats d'investigations d'ARCADIS, effectuées en 2018 dans le cadre du mémoire de cessation d'activité des lagunes) ;
- la prise en compte des fractions et formes d'hydrocarbures les plus pénalisantes ;
- la non prise en compte des phénomènes de saturation dans les milieux (équilibre triphasique) en présence d'un mélange de polluants ;
- la durée d'exposition (en considérant une même cible pour effectuer l'ensemble des missions de gestion et de contrôle sur site).

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

Ces conclusions ne sont valables que pour les conditions précisées ci-dessus. Dans tous les cas, l'ARR devra être mise à jour en cas de modification des hypothèses d'aménagement retenues.

4. Synthèse et recommandations

4.1 Synthèse

Suite à la demande de la DREAL, la société Qair a missionné GINGER BURGEAP pour la réalisation d'une Analyse des Risques Résiduels (ARR) afin de valider la compatibilité du projet de réaménagement des lagunes L1, L2, L4, L5, L6 et L7 avec le futur usage prévu à savoir une centrale photovoltaïque.

Les lagunes ont recueilli des boues issues du lavage des gaz des hauts fourneaux (notamment déchets classifiés dangereux) de l'aciérie ArcelorMittal, propriétaire du site, auquel est associé Qair pour le projet de création de la centrale photovoltaïque.

En 2018 des investigations ont été réalisées par ARCADIS dans le cadre du mémoire de cessation d'activité des lagunes. Les résultats ont montré des impacts en métaux lourds, hydrocarbures, HAP, BTEX et cyanures dans les boues stockées.

Du fait des caractéristiques de réaménagement du site (création de dômes avec reprofilage et couvertures des lagunes par des laitiers d'aciérie de conversion (LAC) et/ou des terres saines végétalisables) la seule voie d'exposition identifiée au droit du site est l'inhalation de composés volatils issus des boues par les futurs travailleurs.

GINGER BURGEAP a étudié deux scénarios dont un avec recouvrement de 30 cm de terres végétales directement sur les boues (L1/L2/L6 et L7) et un présentant une couche de 30 cm de laitiers minimum (L4/L5), puis 30 cm de terres végétales en considérant les concentrations maximales en composés volatils mesurées dans les boues.

Dans le cadre de la mission confiée, avec les conditions d'études retenues, et en l'état actuel des connaissances scientifiques, les niveaux de risques estimés sont inférieurs aux critères d'acceptabilité tels que définis par la politique nationale de gestion des sites pollués.

Ainsi, l'état environnemental du site est compatible avec l'usage prévu.

4.2 Recommandations

Nous attirons votre attention sur le fait que dans l'Arrêté Préfectoral Complémentaire (APC) du 28/12/2020 concernant la restriction d'usage il est indiqué :

- que les futures activités ne doivent remettre en cause ni la stabilité géotechnique du stockage de déchets dangereux ni le bon état de sa couverture superficielle ;
- qu'en cas d'affouillement ou d'excavation de sols, les travaux seront suivis en permanence par une personne ou un organisme qualifié, afin de contrôler en permanence la pollution éventuelle des terres et sols excavés ;
- ces travaux et plus généralement toute intervention sur la zone comprise dans le périmètre de servitudes telle que précisée dans l'article 1^{er} (de l'APC) ne doivent pas avoir pour effet de remobiliser, solubiliser, ou faire migrer les polluants ou matériaux présents dans les sols vers les eaux de surface, les eaux souterraines ou l'air ;
- lors d'éventuels travaux d'affouillement ou d'excavation de sols, la prise en compte et mise en œuvre de mesures adéquates d'hygiène et de sécurité devront être assurées pour les travailleurs.

Enfin, nous avons relevé une opération de contrôle susceptible d'exposer les futurs travailleurs à un risque aigu au moment des opérations à réaliser au droit des puits de lixiviats (mesures des niveaux et contrôles). Il conviendra pour ces opérations de porter de réaliser une analyse propre à l'intervention en vue de définir les moyens de surveillance et contrôles et les éventuels EPI adaptés pour éviter l'inhalation de composés volatils qui peuvent se retrouver concentrés dans les puits.

5. 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.

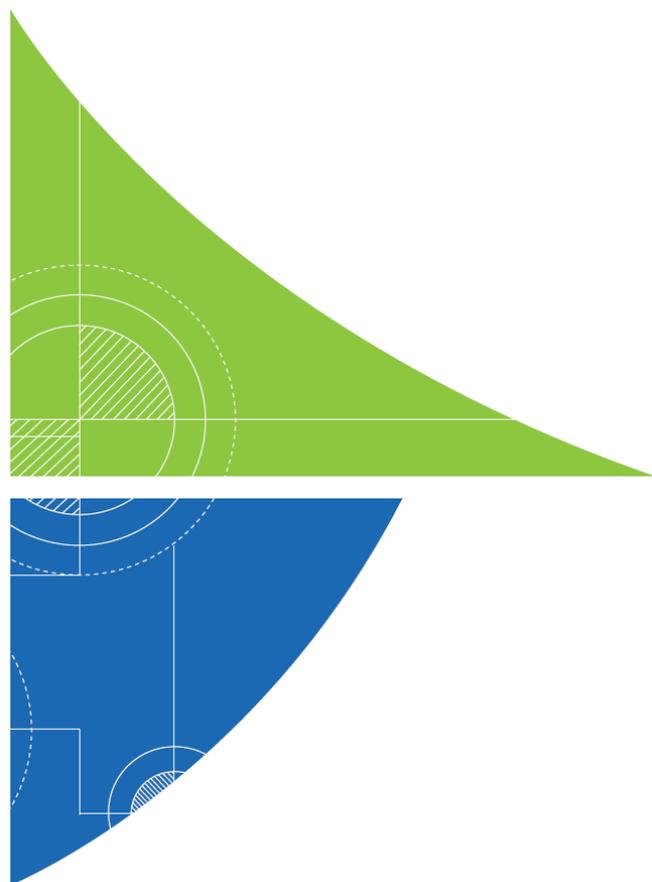
3- Le diagnostic rend compte d'un état du milieu à un instant donné. Des événements ultérieurs au diagnostic (interventions humaines, traitement des terres pour améliorer leurs caractéristiques mécaniques, ou phénomènes naturels) peuvent modifier la situation observée à cet instant.

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. Tableaux des résultats d'analyses sur les boues (Source : mémoire de cessation, ARCADIS, 2018)

Cette annexe contient 4 pages.

TABLEAU DES RESULTATS D'ANALYSES SUR LES SOLS

Zone	Critères de comparaison	L1 / L2							
		PM15 (2,3-4,2)	PM16 (1,3-2,6)	PM17 (0-3,8)	TM4	PM25 (0-3,5)	TM5	PM36 (2-4)	PM37 (0-2)
Désignation de l'échantillon	Gamme Aspitet "sols ordinaires" Déchets inertes arrêtés du 12/12/2014 ISDI	27/03/2018	27/03/2018	27/03/2018	14/06/2018	27/03/2018	14/06/2018	06/09/2018	06/09/2018
Date de prélèvement		Boues silteuses noires	Boues silteuses noires	Boues silteuses noires	Boues silteuses noires	Boues silteuses rouges	Boues silteuses rouges	Boues silteuses noires	Boues silteuses noires
Lithologie									
Analyse sur brut									
Matière sèche	%	72.3	72.9	72.4	88.9	68.8	91.2	74.6	86.7
Éléments chimiques									
Aluminium (Al)	mg/kg						3780	5040	5870
Antimoine (Sb)	mg/kg							16.4	40.5
Arsenic (As)	mg/kg	1.0-25.0	<1.16	<1.00	<1.00		<1.00	8.23	16.3
Baryum (Ba)	mg/kg		9.3	9.89	13.5		7.35		
Cadmium (Cd)	mg/kg	0.05-0.45	142	155	121		49.8	63.9	106
Calcium (Ca)	mg/kg		16.7	6.33	15.7		11	13	19
Carbone (C)	mg/kg						41600		
Chrome (Cr)	mg/kg	10.0-90.0	240	128	138		263	286	3780
Chrome VI	mg/kg		<0.5	<0.5	<0.5		<0.5		
Cobalt (Co)	mg/kg	2-23							
Cuivre (Cu)	mg/kg	2.0-20.0	38.3	46.5	26.6		35.4	42.7	108
Etain (Sn)	mg/kg								
Fer (Fe)	mg/kg							109000	330000
Fer Total	%								
Fe 0	%								
Fe 2+	%								
Fluor (F)	mg/kg								
Magnésium (Mg)	mg/kg						7980		
Manganèse (Mn)	mg/kg								
Mercur (Hg)	mg/kg	0.02-0.1	1.45	0.44	0.81		0.47	1.27	1.99
Molybdène (Mo)	mg/kg		36	13.3	13		25.8	47.3	664
Nickel (Ni)	mg/kg	2.0-60	213	107	109		161	99.9	2960
Phosphore (P)	mg/kg								
Plomb (Pb)	mg/kg	9.0-50	2670	703	2590		1200	323	697
Potassium (K)	mg/kg								
Sélénium (Se)	mg/kg	0.10-0.70	<1.16	<1.00	<1.00		<1.00	<1.00	220
Silicium (Si)	mg/kg						223		
Sodium (Na)	mg/kg								
Soufre (S)	mg/kg		10700	2100	5000		334		
Tellure (Te)	mg/kg								
Thallium (Tl)	mg/kg	0.1-1.7							
Titane (Ti)	mg/kg		319	469	210		137		
Vanadium (V)	mg/kg		131	39.2	39.8		31.9		
Zinc (Zn)	mg/kg	10-100	9940	2470	8390		4260	1830	6300
HAP									
Naphtalène	mg/kg		1.6	0.74	2.1		0.72	3.3	15
Acénaphylène	mg/kg		0.11	0.19	<0.067		<0.071	0.78	13
Acénaphthène	mg/kg		<0.05	0.66	<0.078		<0.082	0.34	1.3
Fluorène	mg/kg		0.14	0.27	0.18		<0.071	1.3	4
Phénanthrène	mg/kg		1.5	1.5	2.1		0.42	3.9	27
Anthracène	mg/kg		0.1	0.37	0.38		0.12	1.8	26
Fluoranthène	mg/kg		0.22	2.5	0.7		0.2	3.9	37
Pyrène	mg/kg		0.3	2.7	0.56		0.13	3.8	24
Benzo(a)anthracène	mg/kg		<0.05	2.2	<0.067		<0.071	0.76	19
Chrysène	mg/kg		<0.05	3	<0.089		<0.093	0.79	27
Benzo(b)fluoranthène	mg/kg		<0.05	3.8	<0.078		<0.082	1.3	36
Benzo(k)fluoranthène	mg/kg		<0.05	1.4	<0.08		<0.084	0.26	15
Benzo(a)pyrène	mg/kg		<0.05	2.8	<0.067		<0.071	0.36	26
Dibenz(a,h)anthracène	mg/kg		<0.05	0.48	<0.076		<0.079	0.058	5.2
Benzo(g,h,i)perylène	mg/kg		<0.05	2.2	<0.076		<0.079	0.18	13
Indéno(1,2,3-cd)pyrène	mg/kg		<0.05	2.6	<0.077		<0.081	0.21	17
Somme des 16 HAP	mg/kg		50	4	27		1.6	23	310
BTEX									
Benzène	mg/kg		<0.05	<0.05	<0.05		<0.05	0.15	0.06
Toluène	mg/kg		<0.05	<0.05	0.09		<0.05	0.18	0.08
Ethylbenzène	mg/kg		<0.05	<0.05	0.07		<0.05	0.17	0.11
m,p-Xylène	mg/kg		<0.05	<0.05	0.06		<0.05	0.19	0.15
o-Xylène	mg/kg		<0.05	<0.05	0.21		0.07	0.06	0.08
Somme des BTEX	mg/kg		6	<0.0500	0.43		0.07	0.75	0.48
Hydrocarbures totaux (HCT)									
Fraction C10-C16	mg/kg		89.5	4.78	141		52.1	151	253
Fraction C16-C22	mg/kg		66.9	81.2	310		126	175	773
Fraction C22-C30	mg/kg		85	460	904		344	730	2600
Fraction C30-C40	mg/kg		42.5	299	538		132	304	1250
Hydrocarbures totaux C10-C40	mg/kg		500	284	845		654	1360	4870
PolyChloroBiphényles (PCB)									
PCB (28)	mg/kg		<0.06	<0.01	<0.01		<0.01	<0.01	<0.01
PCB (52)	mg/kg		<0.06	<0.01	<0.01		<0.01	<0.01	<0.01
PCB (101)	mg/kg		<0.06	<0.01	<0.01		0.02	<0.01	<0.01
PCB (118)	mg/kg		<0.06	<0.01	<0.01		0.02	<0.01	<0.01
PCB (138)	mg/kg		<0.06	0.05	0.02		0.03	0.02	0.02
PCB (153)	mg/kg		<0.06	0.05	0.02		0.04	0.01	0.01
PCB (180)	mg/kg		<0.06	0.06	0.01		0.02	0.01	0.02
Somme 7 PCB	mg/kg		1.00	<0.06	0.16		0.13	0.04	0.05
Autres analyses sur brut									
Ammonium	mg/kg					<20.0		<20.0	
Nitrates	mg/kg					21.3		354	
Nitrites	mg/kg					<20.0		<20.0	
Azote Kjeldahl (NTK)	mg/kg					2.3	0.9	1	
Azote global	mg/kg					2.27-cx<2.28		1.14-cx<1.15	
Carbone Organique Total	mg/kg	30000	406000	318000	121000		6150	102000	155000
Chlorures	mg/kg								
Chlorures solubles	mg/kg		168	103	22.2		154		
Cyanures libres	mg/kg		<0.5	<0.5	<0.5		<0.5		
Cyanures totaux	mg/kg		50	48	17		<0.5	15	28
Indice Phénol	mg/kg		<0.50	<0.50	<0.50		<0.50		
Fluorures	mg/kg								
Sulfates solubles	mg/kg		1980	1330	1190		105		
Analyses physico-chimiques									
pH						9.3		8.6	
Température mesure du pH	°C					21		21	
Potentiel d'oxydoréduction	mV					41.6		47.4	
Analyse sur lixiviat									
Éléments chimiques									
Alluminium (Al)	mg/kg							0.72	<0.50
Antimoine (Sb)	mg/kg		0.06	0.008	0.017		0.006	0.23	0.009
Arsenic (As)	mg/kg		0.50	<0.20	<0.20		<0.20	<0.20	<0.20
Baryum (Ba)	mg/kg		20.00	0.29	0.34		0.41	0.27	0.31
Cadmium (Cd)	mg/kg		0.04	0.005	<0.002		0.016	0.008	0.013
Calcium (Ca)	mg/kg					295		7150	
Chrome (Cr)	mg/kg		0.50	<0.10	<0.10		<0.10	<0.10	<0.10
Chrome IV	mg/kg								
Cobalt (Co)	mg/kg								
Cuivre (Cu)	mg/kg		2.00	<0.20	<0.20		<0.20	<0.20	<0.20
Etain (Sn)	mg/kg								
Fer (Fe)	mg/kg							0.34	0.26
Magnésium (Mg)	mg/kg								
Manganèse (Mn)	mg/kg								
Mercur (Hg)	mg/kg		0.01	<0.001	<0.001		<0.001	<0.001	<0.010
Molybdène (Mo)	mg/kg		0.50	1.37	0.627		0.495	0.51	13.3
Nickel (Ni)	mg/kg		0.40	<0.10	<0.10		<0.10	<0.10	0.6
Phosphore (P)	mg/kg								
Plomb (Pb)	mg/kg		0.50	<0.10	<0.10		<0.10	<0.10	<0.10
Potassium (K)	mg/kg								
Sélénium (Se)	mg/kg		0.10	0.02	0.042		0.052	0.012	0.02
Silicium (Si)	mg/kg								
Sodium (Na)	mg/kg								
Soufre (S)	mg/kg								
Tellure (Te)	mg/kg								
Thallium (Tl)	mg/kg								
Titane (Ti)	mg/kg								
Vanadium (V)	mg/kg								
Zinc (Zn)	mg/kg		4.00	<0.20	<0.20		0.87	<0.20	<0.20
Paramètres physico-chimiques									
pH			8.1	7.7	7.9		7.9	9.1	8
Température mesure du pH (°C)	°C		20	19	20		20	21	21
Conductivité corrigée à 25°C	µS/cm		1440	1680	2410		2290	1320	1010
Potentiel d'oxydoréduction	mV								
Autres analyses sur lixiviat									
Ammonium	mg/kg								
Azote Kjeldahl (NTK)	mg/kg								
Carbone Organique Total	mg/kg		500	<50	72		74	130	110
Chlorures	mg/kg		800	178	73.6		2190	574	404
Cyanures	mg/kg							<0.10	

TABLEAU DES RESULTATS D'ANALYSES SUR LES SOLS

Zone	Critères de comparaison		L4				L5	L6 / L7						
	Désignation de l'échantillon	Gamma Aspiwet "sols ordinaires"	PM11 (0-1)	PM26 (0,4-2,6)	TM6	TM8 (0-1)	PM27 (0,7-1,6)	PM12 (0-2)	PM12 (3-5)	TM7	PM32	PM33	PM34	PM35
Date de prélèvement	Déchets inertes arrêtés du 12/12/2014 ISDI		27/03/2018	27/03/2018	27/03/2018	06/09/2018	27/03/2018	26/03/2018	26/03/2018	14/06/2018	06/09/2018	06/09/2018	06/09/2018	06/09/2018
Lithologie			Boues silteuses noires	Boues silteuses noires	Boues silteuses noires	Boues silteuses noires	Boues silteuses marron à grises	Boues silteuses noires						
Analyse sur brut														
Matière sèche	%		51.7	43.2	89.2	74.9	74	67.3	63.8	74.6	60	58.8	66	63.1
Éléments chimiques														
Aluminium (Al)	mg/kg			9200		9250					9540	10200	7860	8950
Antimoine (Sb)	mg/kg		2.91	6.98		21.8	<1.00	6.15	9.34		24	18.6	23.8	16.1
Arsenic (As)	mg/kg	1.0-25.0	17.7	23		7.29	3.99	22.4	29.2		23.6	20	27.5	10.4
Baryum (Ba)	mg/kg		99.5	179		75.1	40.6	173	201		146	212	164	133
Cadmium (Cd)	mg/kg	0.05-0.45	56.6	122		13.7	3.45	118	253		153	93.9	190	118
Calcium (Ca)	mg/kg				61900									
Carbone (C)	mg/kg													
Chrome (Cr)	mg/kg	10.0-90.0	114	41.6		239	202	87	38.1		41.5	30.6	33.7	31.4
Chrome VI	mg/kg		<0.5	<0.5			<0.5	<0.5	<0.5					
Cobalt (Co)	mg/kg	2-23												
Cuivre (Cu)	mg/kg	2.0-20.0	53.7	19		107	16.3	47.4	39.6		26.2	31	40.9	15.8
Etain (Sn)	mg/kg													
Fer (Fe)	mg/kg			165000		113000					184000	175000	204000	166000
Fer Total	%													
Fe 0	%													
Fe 2+	%													
Fluor (F)	mg/kg													
Magnésium (Mg)	mg/kg			4350										
Manganèse (Mn)	mg/kg													
Mercuré (Hg)	mg/kg	0.02-0.1	0.68	1.18		0.38	<0.10	1.87	0.99		0.68	1.14	1.16	1
Molybdène (Mo)	mg/kg		11.8	5.25		64.6	8.42	13.8	3		4.71	6.55	3.09	1.1
Nickel (Ni)	mg/kg	2.0-60	54.3	24.3		114	98.7	52	36.8		38.8	30.5	30.7	40.4
Phosphore (P)	mg/kg													
Plomb (Pb)	mg/kg	9.0-50	2760	4320		451	70.2	5010	7310		6040	4600	8160	3490
Potassium (K)	mg/kg				526									
Sélénium (Se)	mg/kg	0.10-0.70	<1.00	<1.03		17.8	<1.00	<1.07	<1.10		4.73	<1.00	13.4	10.1
Silicium (Si)	mg/kg				578									
Sodium (Na)	mg/kg													
Soufre (S)	mg/kg		594	1800				7340	2000	3450				
Tellure (Te)	mg/kg													
Thallium (Tl)	mg/kg	0.1-1.7												
Titane (Ti)	mg/kg		281	415			152	516	421					
Vanadium (V)	mg/kg		33.3	36			45.2	48.3	32.6					
Zinc (Zn)	mg/kg	10-100	11800	22300		3990	310	22000	28900		27800	19100	30200	22100
HAP														
Naphtalène	mg/kg		3.6	14		1.1	<0.05	1.4	4.2		2.3	3.1	1.9	1.7
Acénaphtylène	mg/kg		0.33	<0.11		<0.05	<0.05	<0.073	0.085		0.23	0.082	0.13	0.28
Acénaphtène	mg/kg		<0.069	2.4		0.054	<0.05	<0.085	0.7		0.65	0.38	0.54	0.62
Fluorène	mg/kg		1.2	5.7		0.12	<0.05	0.18	1.5		0.42	0.18	0.52	0.34
Phénanthrène	mg/kg		12	6.6		1.4	2.2	3.6	4.3		2	2.2	2.4	0.72
Anthracène	mg/kg		1.2	2.3		0.32	0.41	0.58	1.2		0.4	<0.05	0.076	0.2
Fluoranthène	mg/kg		4.5	0.67		2.1	3.5	0.86	0.68		0.66	0.29	0.26	0.097
Pyrène	mg/kg		3.3	0.64		2.1	2.2	0.43	0.34		0.28	0.23	0.24	<0.05
Benzo(a)anthracène	mg/kg		0.94	<0.11		1.2	11	<0.073	<0.076		<0.05	<0.05	<0.05	0.075
Chrysène	mg/kg		1.3	<0.15		1.5	16	<0.097	<0.1		<0.05	<0.053	<0.05	0.085
Benzo(b)fluoranthène	mg/kg		<0.073	<0.13		1.4	2.2	0.092	<0.088		<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
Benzo(k)fluoranthène	mg/kg		0.26	<0.14		0.47	0.63	<0.087	<0.09		<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
Benzo(a)pyrène	mg/kg		0.24	<0.11		0.67	0.46	<0.073	<0.076		<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
Dibenzo(a,h)anthracène	mg/kg		<0.071	<0.13		0.051	<0.5	<0.083	<0.085		<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
Benzo(g,h,i)perylene	mg/kg		0.14	<0.13		0.061	<0.5	<0.083	<0.085		<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
Indeno(1,2,3-cd)pyrène	mg/kg		0.23	<0.13		0.14	<0.51	<0.084	<0.087		<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
Somme des 16 HAP	mg/kg		50	29	32	13	39	7.1	13		6.9	6.5	6.1	4.1
BTEX														
Benzène	mg/kg		<0.05	0.12		<0.05	<0.05	<0.05	<0.05		<0.05	<0.05	0.06	0.1
Toluène	mg/kg		0.06	0.2		<0.05	<0.05	<0.05	0.09		<0.05	<0.05	0.13	0.31
Ethylbenzène	mg/kg		0.07	0.32		<0.05	0.08	<0.05	0.06		<0.05	<0.05	0.07	0.14
m,p-Xylène	mg/kg		<0.06	0.09		<0.05	<0.05	<0.05	0.05		0.11	0.07	0.16	0.51
o-Xylène	mg/kg		0.09	0.16		<0.05	0.09	<0.05	0.14		<0.05	<0.05	<0.05	0.22
Somme des BTEX	mg/kg		6	0.22	0.89		<0.0500	0.23	<0.0500		0.11	0.07	0.42	1.28
Hydrocarbures totaux (HCT)														
Fraction C10-C16	mg/kg		342	657		207	2.51	227	493		519	327	337	576
Fraction C16-C22	mg/kg		2130	661		1030	22	369	300		394	239	263	249
Fraction C22-C30	mg/kg		11200	774		8700	3.13	950	258		341	324	171	110
Fraction C30-C40	mg/kg		2600	641		6010	3.51	1050	128		70.8	218	38.8	17.5
Hydrocarbures totaux C10-C40	mg/kg		500	16300	2730	16000	31.1	2600	1180		1320	1110	809	953
PolyChloroBiphényles (PCB)														
PCB (28)	mg/kg		<0.01	<0.02		<0.01	<0.01	<0.01	<0.01		<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
PCB (52)	mg/kg		<0.01	<0.02		<0.01	<0.01	<0.01	<0.01		<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
PCB (101)	mg/kg		<0.01	<0.01		<0.01	<0.01	<0.01	<0.01		<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
PCB (118)	mg/kg		<0.01	<0.01		<0.01	<0.01	<0.01	<0.01		<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
PCB (138)	mg/kg		<0.01	<0.01		0.01	<0.01	<0.01	<0.01		<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
PCB (153)	mg/kg		<0.01	<0.01		0.01	<0.01	<0.01	<0.01		<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
PCB (180)	mg/kg		<0.01	<0.01		<0.01	<0.01	<0.01	<0.01		<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
Somme 7 PCB	mg/kg		1.00	<0.01	<0.02	0.02	<0.01	<0.01	<0.01		<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
Autres analyses sur brut														
Ammonium	mg/kg				<20.0									
Nitrates	mg/kg				<20.0					<20.0				
Nitrites	mg/kg				<20.0					<20.0				
Azote Kjeldahl (NTK)	mg/kg				1.1		3.2			2.3				
Azote global	mg/kg				1.13<x<1.14					2.29<x<2.3				
Carbone Organique Total	mg/kg	30000	1950	127000		115000	473000	368000	406000		600000	624000	480000	603000
Chlorures	mg/kg													
Chlorures solubles	mg/kg		94.3	299			888	2700	<20.0					
Cyanures libres	mg/kg		<0.5	<0.5			<0.5	<0.5	<0.5					
Cyanures totaux	mg/kg		<0.5	36		42	210	110	65		48	150	32	78
Indice Phénol	mg/kg		<0.50	<0.50			<0.50	<0.50	<0.50					
Fluorures	mg/kg													
Sulfates solubles	mg/kg		72.3	519			270	354	522					
Analyses physico														

TABLEAU DES RESULTATS D'ANALYSES SUR LES SOLS

Zone	Critères de comparaison		L10		Synthèse							
	Désignation de l'échantillon	Gamme Aspitet "sols ordinaires"	Déchets inertes arrêté du 12/12/2014 ISDI	Boues HFX	TM8	Nb analyses	Teneur mini	Teneur maxi	Moyenne	Nb résultats > L.Q	Nb résultats >= BRGM	Nb résultats > ISDI
Date de prélèvement	2017			14/06/2018								
Lithologie			Boues silteuses noires	Boues silteuses noires								
Analyse sur brut												
Matière sèche	%			73.2	73.2	22	43.2	91.2	70.945455	22		
Éléments chimiques												
Aluminium (Al)	mg/kg				5190	10	3780	10200	7488	10		
Antimoine (Sb)	mg/kg				<1.00	17	2.91	40.5	16.981818	11		
Arsenic (As)	mg/kg	1.0-25.0			5.85	17	3.99	29.2	15.029412	17	2	
Baryum (Ba)	mg/kg				95.7	17	40.6	212	126.85882	17		
Cadmium (Cd)	mg/kg	0.05-0.45			115	17	3.45	253	77.551765	17	17	
Calcium (Ca)	mg/kg				18400	3	18400	61900	40633.333	3		
Carbone (C)	mg/kg					0	0	0	#DIV/0!	0		0
Chrome (Cr)	mg/kg	10.0-90.0			41	17	30.6	3780	337.34706	17	9	
Chrome VI	mg/kg					9	0	0	#DIV/0!	0		
Cobalt (Co)	mg/kg	2-23				0	0	0	#DIV/0!	0	0	
Cuivre (Cu)	mg/kg	2.0-20.0			15.4	17	15.4	108	41.752941	17	13	
Etain (Sn)	mg/kg					0	0	0	#DIV/0!	0		
Fer (Fe)	mg/kg					8	109000	330000	180750	8		
Fer Total	%					0	0	0	#DIV/0!	0		
Fe 0	%					0	0	0	#DIV/0!	0		
Fe 2+	%					0	0	0	#DIV/0!	0		
Fluor (F)	mg/kg					0	0	0	#DIV/0!	0		
Magnésium (Mg)	mg/kg				8430	3	4350	8430	6920	3		
Manganèse (Mn)	mg/kg					0	0	0	#DIV/0!	0		
Mercuré (Hg)	mg/kg	0.02-0.1			0.95	17	0.38	1.99	1.02875	16	16	
Molybdène (Mo)	mg/kg				2.47	17	1.1	664	54.364118	17		
Nickel (Ni)	mg/kg	2.0-60			65.9	17	24.3	2960	249.19412	17	9	
Phosphore (P)	mg/kg					0	0	0	#DIV/0!	0		
Plomb (Pb)	mg/kg	9.0-50			3240	17	70.2	8160	3154.9529	17	17	
Potassium (K)	mg/kg				1510	2	526	1510	1018	2		
Sélénium (Se)	mg/kg	0.10-0.70			<1.00	17	4.73	220	53.206	5	5	
Silicium (Si)	mg/kg				57.1	3	57.1	578	286.03333	3		
Sodium (Na)	mg/kg					0	0	0	#DIV/0!	0		
Soufre (S)	mg/kg				5010	10	334	10700	3832.8	10		
Tellure (Te)	mg/kg					0	0	0	#DIV/0!	0		
Thallium (Tl)	mg/kg	0.1-1.7				0	0	0	#DIV/0!	0	0	
Titane (Ti)	mg/kg					9	137	516	324.44444	9		
Vanadium (V)	mg/kg					9	31.9	131	48.588889	9		
Zinc (Zn)	mg/kg	10-100				16	310	30200	13855.625	16	16	
HAP												
Naphtalène	mg/kg				2.4	17	0.72	15	3.6975	16		
Acénaphylène	mg/kg				0.6	17	0.082	13	1.4379091	11		
Acénaphthène	mg/kg				0.37	17	0.054	2.4	0.7285455	11		
Fluorène	mg/kg				3.1	17	0.12	5.7	1.2766667	15		
Phénanthrène	mg/kg				17	17	0.42	27	5.3435294	17		
Anthracène	mg/kg				5.7	17	0.076	26	2.57225	16		
Fluoranthène	mg/kg				22	17	0.097	37	4.7139412	17		
Pyréne	mg/kg				23	17	0.13	24	4.015625	16		
Benzo(a)anthracène	mg/kg				5.8	17	0.075	19	5.121875	8		
Chrysène	mg/kg				6.8	17	0.085	27	7.059375	8		
Benzo(b)fluoranthène	mg/kg				3.2	17	0.092	36	6.856	7		
Benzo(k)fluoranthène	mg/kg				1	17	0.26	15	2.7171429	7		
Benzo(a)pyréne	mg/kg				0.83	17	0.24	26	4.48	7		
Dibenzo(a,h)anthracène	mg/kg				0.18	17	0.051	5.2	1.1938	5		
Benzo(g,h,i)peryène	mg/kg				0.18	17	0.061	13	2.6268333	6		
Indéno(1,2,3-cd)pyréne	mg/kg				0.25	17	0.14	17	3.405	6		
Somme des 16 HAP	mg/kg		50		92	17	1.6	310	36.488235	17		2
BTEX												
Benzène	mg/kg					16	0.06	0.15	0.098	5		
Toluène	mg/kg					16	0.06	0.31	0.1333333	9		
Ethylbenzène	mg/kg					16	0.06	0.32	0.1211111	9		
m,p-Xylène	mg/kg					16	0.05	0.51	0.1544444	9		
o-Xylène	mg/kg					16	0.06	0.22	0.1244444	9		
Somme des BTEX	mg/kg		6			16	0.07	1.28	0.4408333	12		0
Hydrocarbures totaux (HCT)												
Fraction C10-C16	mg/kg				248	17	2.51	657	272.17494	17		
Fraction C16-C22	mg/kg				560	17	22	2130	455.81906	17		
Fraction C22-C30	mg/kg				1199	17	3.13	11200	1714.9028	17		
Fraction C30-C40	mg/kg				173	17	3.51	6010	795.05788	17		
Hydrocarbures totaux C10-C40	mg/kg		500		2180	17	31.1	16300	3242.1235	17		16
PolyChloroBiphényles (PCB)												
PCB (28)	mg/kg				<0.01	17	0	0	#DIV/0!	0		
PCB (52)	mg/kg				<0.01	17	0	0	#DIV/0!	0		
PCB (101)	mg/kg				<0.01	17	0.02	0.02	0.02	1		
PCB (118)	mg/kg				<0.01	17	0.02	0.02	0.02	1		
PCB (138)	mg/kg				<0.01	17	0.01	0.05	0.025	6		
PCB (153)	mg/kg				<0.01	17	0.01	0.05	0.0233333	6		
PCB (180)	mg/kg				<0.01	17	0.01	0.06	0.024	5		
Somme 7 PCB	mg/kg		1.00		<0.07	17	0.02	0.16	0.075	6		0
Autres analyses sur brut												
Ammonium	mg/kg				<20.0	4	0	0	#DIV/0!	0		
Nitrates	mg/kg				<20.0	5	21.3	354	187.65	2		
Nitrites	mg/kg				<20.0	5	0	0	#DIV/0!	0		
Azote Kjeldahl (NTK)	mg/kg				3.2	7	0.9	3.2	2	7		
Azote global	mg/kg				3.25-cx<3.26	5	0	0	#DIV/0!	0		
Carbone Organique Total	mg/kg		30000		426000	17	1950	624000	313652.94	17		15
Chlorures	mg/kg					0	0	0	#DIV/0!	0		
Chlorures solubles	mg/kg					9	22.2	2700	553.5625	8		
Cyanures libres	mg/kg					9	0	0	#DIV/0!	0		
Cyanures totaux	mg/kg					16	15	210	66.357143	14		
Indice Phénol	mg/kg					9	0	0	#DIV/0!	0		
Fluorures	mg/kg					0	0	0	#DIV/0!	0		
Sulfates solubles	mg/kg					9	72.3	1980	704.7	9		
Analyses physico-chimiques												
pH					8.3	5	8.3	9.3	8.7	5		
Température mesure du pH	°C				20	5	20	21	20.8	5		
Potentiel d'oxydoréduction	mV				44.9	5	-19.9	47.4	29.98	5		
Analyse sur lixiviat												
Éléments chimiques												
Alluminium (Al)	mg/kg					7	0.58	0.79	0.658	5		
Antimoine (Sb)	mg/kg				0.06	17	0.003	0.23	0.0318125	16		2
Arsenic (As)	mg/kg	0.50			<0.20	17	0	0	#DIV/0!	0		0
Baryum (Ba)	mg/kg	20.00			0.63	17	0.14	0.74	0.4453333	15		0
Cadmium (Cd)	mg/kg	0.04			<0.002	17	0.003	0.37	0.0807273	11		4
Calcium (Ca)	mg/kg					4	228	7150	2333.25	4		
Chrome (Cr)	mg/kg	0.50			<0.10	17	0	0	#DIV/0!	0		0
Chrome IV	mg/kg					0	0	0	#DIV/0!	0		
Cobalt (Co)	mg/kg					0	0	0	#DIV/0!	0		
Cuivre (Cu)	mg/kg	2.00			<0.20	17	0	0	#DIV/0!	0		0
Etain (Sn)	mg/kg					0	0	0	#DIV/0!	0		
Fer (Fe)	mg/kg					7	0.25	1.45	0.6257143	7		
Magnésium (Mg)	mg/kg					0	0	0	#DIV/0!	0		
Manganèse (Mn)	mg/kg					0	0	0	#DIV/0!	0		
Mercuré (Hg)	mg/kg	0.01			<0.001	17	0.003	0.003	0.003	1		0
Molybdène (Mo)	mg/kg	0.50			0.24	17	0.02	13.3	1.4296471	17		6
Nickel (Ni)	mg/kg	0.40			<0.10	17	0.6	0.6	0.6	1		1
Phosphore (P)	mg/kg					0	0	0	#DIV/0!	0		
Plomb (Pb)	mg/kg	0.50			<0.10	17	0.17	0.72	0.47	3		2
Potassium (K)	mg/kg					0	0	0	#DIV/0!	0		
Sélénium (Se)	mg/kg	0.10			0.019	17	0.011	0.053	0.0257647	17		0
Silicium (Si)	mg/kg											

Annexe 2. 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 cancérogènes (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 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.	

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 connus> à la suite d'expositions répétées ou d'une exposition prolongée <indiquer la 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

- **SGH01 : 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 mortel 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	Mention de danger	classement cancérogénéicité			EFFETS TOXIQUES A SEUIL		
		Pv	S	symboles		UE	CIRC (IARC)	EPA	Organe cible (oral)	Organe cible (inh°)	
METAUX ET METALLOIDES											
Mercure (Hg)	7439-97-6	non adéquat	non adéquat	SGH06, SGH08, SGH09	H360D, H330, H372, H400, H410	R1B	3	C à D		rein	SNC
HYDROCARBURES AROMATIQUES POLYCYCLIQUES											
Naphtalène	91-20-3	+	+	SGH07, SGH08, SGH09	H351, H302, H400, H410	C2	2B	C		poids	sys. Resp.
COMPOSES AROMATIQUES MONOCYCLIQUES											
Benzène	71-43-2	++	++	SGH02, SGH07, SGH08	H225, H350, H340, H372, H304, H319, H315	C1A M1B	1	A		sang	sang
Toluène	108-88-3	++	++	SGH02, SGH07, SGH08	H225, H361d, H304, H373, H315, H336	R2	3	D		hépatique, rein	sys. Nerveux
Éthylbenzène	100-41-4	+	++	SGH02, SGH07	H225, H332	-	2B	-		hépatique, rein	effet ototoxique
Xylènes	1330-20-7	+	++	SGH02, SGH07	H226, H332, H312, H315	-	3	-		poids corporel	sys. Nerveux
HYDROCARBURES SUIVANT LES TPH											
Aromatic nC>10-nC12	"	+	+							poids	poids

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

Annexe 3. Relations dose-réponse

Cette annexe contient 5 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 nationales⁶ (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 seuil⁷) 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 µg/m³ 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)

⁶ 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

⁷ 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’ANSES⁸ 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**.

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.

⁸ANSES : Agence Nationale de Sécurité Sanitaire de l’Alimentation, de l’Environnement et du Travail

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.

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.

► OMS –Air et air intérieur

Le bureau Europe de l'Organisation Mondiale de la Santé a publié en 2000 un document intitulé « Air Quality Guidelines in Europe » [WHO 2000]⁹ dans lequel figurent des valeurs guides pour la qualité de l'air.

L'objet de ce guide est de fournir une base pour la protection de la santé publique contre les effets néfastes des polluants atmosphériques, dans la perspective d'une cessation ou d'une réduction de l'exposition aux polluants qui nuisent certainement ou probablement à la santé ou au bien-être. Ce guide présente des informations générales et des conseils aux autorités internationales, nationales et locales qui souhaitent évaluer les risques et prendre des décisions concernant leur gestion. Ce guide établit des niveaux de polluants au-dessous desquels l'exposition (à vie ou pendant une période donnée) ne représente pas de risque important pour la santé publique.

En ce qui concerne les polluants abordés, les sections relatives à l'évaluation des risques pour la santé et aux valeurs-guides exposent les considérations les plus pertinentes qui ont conduit à l'adoption des valeurs-guides recommandées.

Certains polluants ont été revus par l'OMS en 2005 (WHO air quality guidelines, global update, 2005)¹⁰. Cette révision s'appuie sur l'ensemble des connaissances acquises ces dernières années (études épidémiologiques notamment).

Enfin, en 2010, l'OMS a publié un document intitulé « WHO guidelines for indoor air quality » [WHO 2010] dans lequel figurent des valeurs guides spécifiques pour la qualité de l'air intérieur.

► 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).

⁹ WHO. Air Quality Guidelines. Second edition WHO Regional Publications, European Series, No. 91.2000, 273 pages.

¹⁰ WHO. Air Quality Guidelines. Global update 2005. Report on a working group meeting. Bonn, Germany. 18-20 October 2005.

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 4. Estimation des concentrations dans les milieux d'exposition

Cette annexe contient 2 pages.

Concentration dans les gaz du sol et coefficients de diffusion dans les sols (commun à tous les modèles)

Concentration dans les gaz du sol

La concentration dans les gaz du sol quand elle n'est pas donnée directement par l'utilisateur est calculée à partir des équations suivantes.

Elle correspond à la valeur minimale issue des équations (a) et (b) :

$$C_{gds} = (C_t \times \rho_b \times K_H) / (\theta_a \times K_H + \theta_w + \rho_b \times F_{oc} \times K_{oc}) \quad \text{(a)}$$

Équation utilisée quand $C_w <$ Solubilité effective

Avec C_t : concentration en polluant dans le sol (mg/kg)
 ρ_b : densité du sol (g/cm³)
 F_{oc} : fraction de carbone organique dans le sol (g co/g sol)
 K_{oc} : coefficient de partition du carbone organique (mg/l/g)
 K_H : constante de Henry adimensionnelle (-)
 θ_a : teneur en air dans les sols (-)
 θ_w : teneur en eau dans les sols (-)

$$C_{wi} = X \cdot S \quad \text{(c)}$$

$$C_w = \frac{C_{gds}}{H} \quad \text{(b)}$$

Équations utilisées en présence de phase résiduelle dans les sols ($C_w >$ Solubilité)

Avec C_{wi} : concentration de la substance i dans l'eau du sol (mg/l),
 H : constante de Henry (-)
 X : fraction molaire de la substance i dans le mélange (-)
 S : solubilité de la substance i (mg/l)

Coefficients de diffusion dans les gaz du sol

Le coefficient de diffusion réel dans le milieu poreux (D_{sa} dans l'air et D_{sw} dans l'eau) est calculé par la solution analytique développée par Millington and Quirk (1981) à partir de la porosité des sols, de la teneur en air et en eau et des coefficients de diffusion de la substance dans l'air et dans l'eau.

$$D_{sa} = D_a \cdot \theta_a \cdot \left(\frac{\theta_a^{7/3}}{\theta^2} \right) \quad \text{(d)}$$

$$D_{sw} = \frac{D_w}{H} \cdot \theta_w \cdot \left(\frac{\theta_w^{7/3}}{\theta^2} \right) \quad \text{(e)}$$

Avec :

H : constante de Henry adimensionnelle (-),
 D_a : coefficient de diffusion dans l'air libre (m²/s), D_w : coefficient de diffusion dans l'eau libre (m²/s)
 θ : porosité totale (-), θ_w teneur en eau du sol (-), θ_a teneur en gaz du sol (-)

Le coefficient de diffusion effectif dans le milieu poreux correspond à la somme des deux termes précédents (d) et (e).

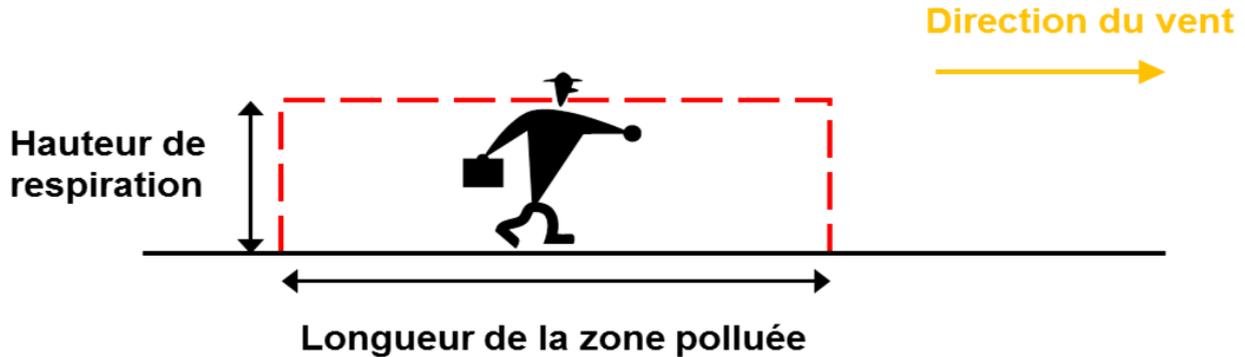
$$D_{eff} = D_{sa} + D_{sw} \quad \text{(f)}$$

En zone non saturée, le coefficient de diffusion dans la phase gazeuse est approximativement 10⁴ fois plus grand que le coefficient de diffusion dans la phase aqueuse, ce qui explique que certains modèles de transfert gazeux ne considèrent que l'équation (d). GINGER BURGEAP réalise cette sommation, excepté pour l'application du modèle VOLASOIL en application stricte des équations décrites dans (Waitz et al. 1996).

Concentration de vapeur dans l'air extérieur

Dans l'air extérieur, la modélisation des expositions est conduite sur la base des équations de **Millington and Quirck** et de **l'équation de Fick**. La dilution par le vent est ensuite calculée dans une boîte de taille fixée. Comme pour l'air intérieur, la source de pollution est considérée comme infinie.

Le calcul des concentrations diluées par le vent est effectué à l'aide de l'équation générique utilisée dans le logiciel RISC (modèle boîte).



La concentration moyenne dans l'air extérieur est calculée de la façon suivante :

$$C_{ae} = \frac{J_{ae}}{v} \cdot \frac{L}{H} \quad (1)$$

Avec C_{ae} : concentration moyenne dans l'air extérieur ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) à la hauteur de l'organe respiratoire (H)
 J_{ae} : flux de polluant à l'interface sol/air extérieur ($\mu\text{g}/\text{m}^2/\text{s}$)
 L : longueur de la zone de mélange (correspondant à la longueur de la zone polluée) (en m)
 v : vitesse moyenne du vent (m/s)
 H : hauteur de la zone de mélange (m) correspondant à la hauteur de l'organe respiratoire de la cible

Le flux vers l'air extérieur J_{ae} ($\mu\text{g}/\text{m}^2/\text{s}$) est calculé à partir de l'équation de Fick, comme suit :

$$J_{ae} = D_{eff} \cdot \frac{\partial C}{\partial z} \quad (2)$$

Avec dC/dz : gradient de concentration ($\text{g}/\text{m}^3\cdot\text{m}$) entre la concentration à la source et la surface
 D_{eff} (ici m^2/j) en le coefficient de diffusion effectif dans le sol .

La concentration dans les gaz du sol est si nécessaire calculée avec les équations (a), (b) et (c) présentées en début d'annexe. La diffusion effective est calculée à partir des caractéristiques des différentes couches de sol avec les équations (d), (e), (f) présentées en début d'annexe.

Enfin, en présence de recouvrement, ses caractéristiques diffusives sont prises en compte comme une couche de matériau poreux complémentaire.

Annexe 5. Détails des calculs de dose et de risque

Cette annexe contient 1 page.

Lagunes L1/L2 et L6/L7

SUBSTANCES	Inhalation air extérieur avec recouvrement			
	Effets toxiques sans seuil Concentrations moyennes de vapeurs inhalées	Effets toxiques à seuil Concentrations moyennes de vapeurs inhalées	Effets toxiques sans seuil Excès de risques individuels (ERI)	Effets toxiques à seuil non cancérigènes Quotient de danger (QD)
	Adulte Travailleur	Adulte Travailleur	Adulte Travailleur	Adulte Travailleur
METEAUX ET METALLOIDES				
Mercure (Hg)	1,24E-05	2,02E-05	<i>non calculé</i>	0,000
HYDROCARBURES AROMATIQUES POLYCYCLIQUES				
Naphtalène	9,56E-04	1,56E-03	5,35E-09	0,000
COMPOSES AROMATIQUES MONOCYCLIQUES				
benzène	3,81E-03	6,20E-03	9,90E-08	0,001
toluène	2,48E-03	4,04E-03	<i>non calculé</i>	0,000
ethylbenzène	8,87E-04	1,44E-03	<i>non calculé</i>	0,000
M+p-Xylène	2,02E-03	3,29E-03	<i>non calculé</i>	0,000
o-Xylène	6,70E-04	1,09E-03	<i>non calculé</i>	0,000
HYDROCARBURES SUIVANT LES TPH				
Aromatic nC>10-nC12	3,42E-01	5,57E-01	<i>non calculé</i>	0,003
TOTAL	3,53E-01	5,74E-01	1,04E-07	0,004

Lagunes L4 et L5

SUBSTANCES	Inhalation air extérieur avec recouvrement			
	Effets toxiques sans seuil Concentrations moyennes de	Effets toxiques à seuil Concentrations moyennes de	Effets toxiques sans seuil Excès de risques individuels (ERI)	Effets toxiques à seuil non cancérigènes Quotient de danger (QD)
	Adulte Travailleur	Adulte Travailleur	Adulte Travailleur	Adulte Travailleur
METEAUX ET METALLOIDES				
Mercure (Hg)	4,78E-06	7,78E-06	<i>non calculé</i>	0,00004
HYDROCARBURES AROMATIQUES POLYCYCLIQUES				
Naphtalène	6,69E-04	1,09E-03	3,75E-09	0,0000
COMPOSES AROMATIQUES MONOCYCLIQUES				
benzène	2,29E-03	3,72E-03	5,95E-08	0,000
toluène	1,20E-03	1,96E-03	<i>non calculé</i>	0,000000
ethylbenzène	1,25E-03	2,04E-03	<i>non calculé</i>	0,00000
M+p-Xylène	2,68E-04	4,36E-04	<i>non calculé</i>	0,00000
o-Xylène	3,66E-04	5,96E-04	<i>non calculé</i>	0,0000
HYDROCARBURES SUIVANT LES TPH				
Aromatic nC>10-nC12	2,93E-01	4,77E-01	<i>non calculé</i>	0,00
TOTAL	2,99E-01	4,87E-01	6,32E-08	0,003