

Projet urbain de Grette-Brûlard-Polygones

Pochette n° 5

Autres études

Diagnostic des sols Brulard

Historique et diagnostic des sols du Polygone-Génie

Historique et diagnostic des sols du Polygone-Gendarmerie

Mission de contrôle ancienne chaufferie Grette

Diagnostic environnemental Faune Flore Habitat

LES ATELIERS



MISSION DIAG COMPLEMENTAIRE, ARR
PROGRAMME D'INVESTIGATIONS COMPLEMENTAIRES ET
INTERPRETATION DES RESULTATS - A100/110/200/230/270/320

Renouvellement urbain du quartier Polygone Gendarmerie

Rue de Dole
BESANÇON (25 000)



Dossier 2501948 - Polygone Gendarmerie - Juin 2022



Ville de BESANCON
2, rue Mégevand
25 043 BESANÇON

CLIENT

NOM	Ville de Besançon
ADRESSE	2, Rue Mégevand 25 043 BESANCON CEDEX
INTERLOCUTEUR	M. Bastien FIORI et M. Mickaël OBIN

ECR ENVIRONNEMENT

COORDONNEES AGENCE	Agence de Besançon ZA Sud « Les Prés Chalots » - 3 Rue du Bassin 25220 ROCHE-LEZ-BEAUPRÉ Tel : 03 81 80 27 10 Mail : besancon@ecr-environnement.com
CHARGE D'AFFAIRES	Mathieu GUYOT
CHARGÉE D'ÉTUDES	Roxanne DURAND

DATE	INDICE	OBSERVATION / MODIFICATION	REDACTEUR	VERIFICATEUR
17/06/2022	0		R. DURAND	M. GUYOT

Rédacteur	Vérificateur
	
Roxanne DURAND Chargée d'études Environnement	Mathieu GUYOT Chargé d'affaires Environnement Responsable du service Environnement



RESUME TECHNIQUE

GENERALITES	
Nom du client Adresse	Ville de Besançon 2, Rue Mégevand 25 034 BESANCON
Types de missions	Missions LEVE et DIAG (Missions A100, A110 et A200) Mission DIAG Complémentaire (Missions A200, A230 et A270) Mission ARR (A320) Norme NFX31-620-2 « Prestations de services relatives aux sites et sols pollués »
CARACTERISTIQUES DU SITE A L'ETUDE	
Adresse	Rue de Dole, BESANÇON (25000)
Références cadastrales	DY 171, DY 282, DY 280, DY207, DY 203 et DY 205
Superficie parcelles	S _{Gendarmerie} = 47 942 m ²
Projet	Renouvellement urbain du quartier polygone Gendarmerie
SYNTHESE MISSION LEVE – 17/01/2022	
Visite du site (Mission A100)	Date : 21/09/2021 Activité actuelle : Friche
Etudes historiques documentaires et mémorielles (Mission A110)	Personnes et organismes contactés
	Contact client : Mickaël OBIN et Bastien FIORI Arrêté préfectoral : NON
	Contexte industriel
	Site BASIAS : NON, Dans un rayon de 300 m : OUI (9) Site BASOL : NON, Dans un rayon de 500 m : NON Site ICPE : NON, Dans un rayon de 1000m : OUI (2), Dans un rayon de 5000m : OUI (17) Activités antérieures : <ul style="list-style-type: none"> ▪ Complexe militaire. Sources potentielles de pollution : <ul style="list-style-type: none"> ▪ Apport de matériaux : remblais, matériaux issus de la démolition d'une ancienne partie des bâtiments ; ▪ Décharge à proximité ; ▪ Hydrocarbures.
SYNTHESE MISSION DIAG – 17/01/2022	
Prélèvements, mesures, observations et/ou analyses sur les sols (Mission A200)	Date de réalisation des sondages : 17 Novembre 2021 Sondages réalisés à la pelle mécanique : 9 Profondeur maximale : 2 m Nombres de prélèvement : 18 échantillons Lithologie : Les sondages de reconnaissance des sols sont permis de mettre en évidence la lithologie suivante : <ul style="list-style-type: none"> - Des remblais +/- graveleux de 0 à 0,5 mètres/TA ; - Des argiles +/- calcareuses de couleur jaune-orangé, de 0,5 m à 2 mètres/TA.

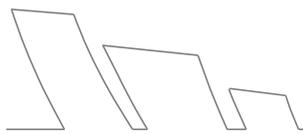


Cartographie des résultats analytiques des éléments traces métalliques selon le guide ASPITET, le guide de valorisation hors site du BRGM et le fond géochimique local (janvier 2022)

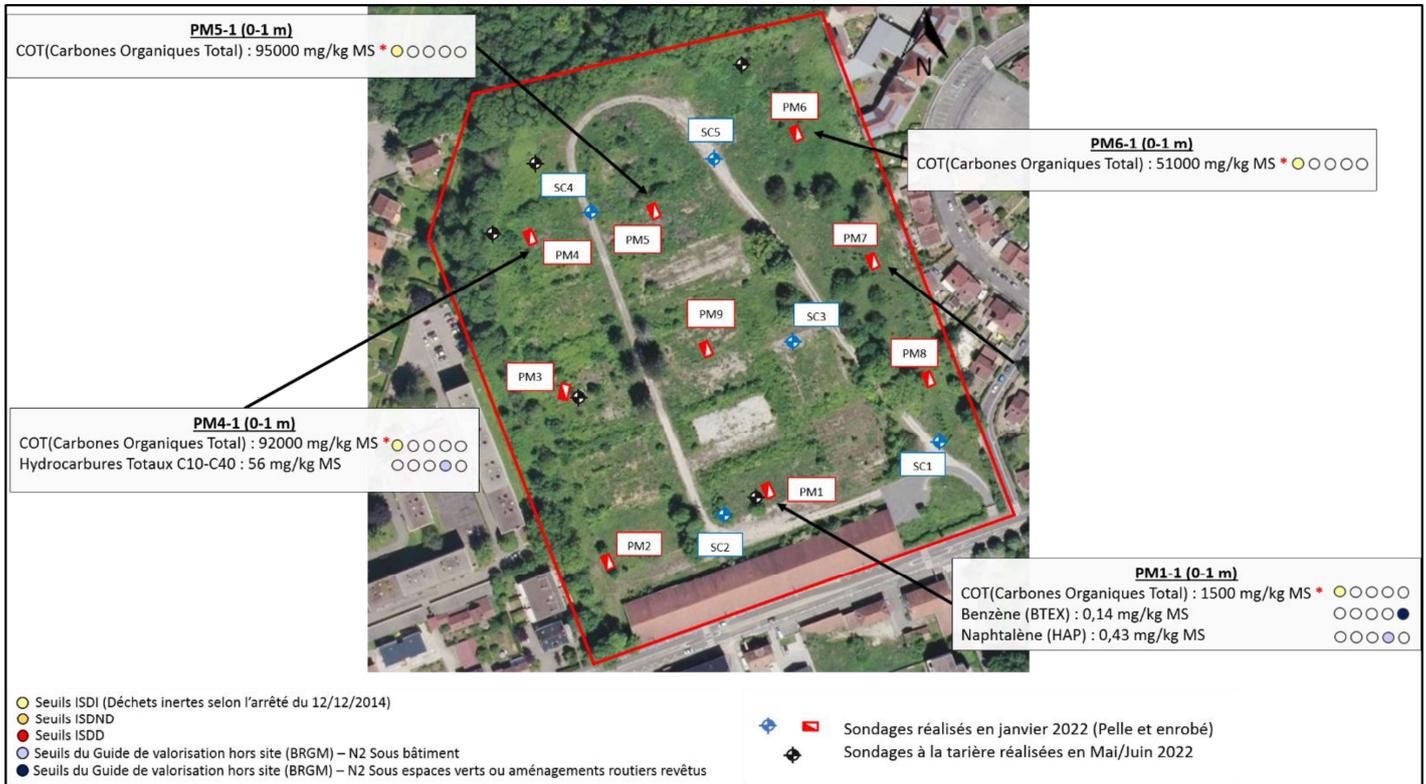


- Fond géochimique local
- Guide de valorisation Seuil N1 VSA + Valeurs guides ASPITET - sols « ordinaires »
- Valeurs guides ASPITET – Anomalies modérées
- Valeurs guides ASPITET – fortes anomalies

- Sondage à la pelle mécanique (Diagnostic initiale, Janvier 2022) : 
- Prélèvement d'enrobé (Diagnostic initiale, Janvier 2022) : 
- Sondages à la tarière mécanique (Diagnostic complémentaire, Juin 2022) : 



Cartographie des résultats analytiques dépassant les seuils ISDI, ISDND et ISDD et les seuils de valorisation hors-site du BRGM (janvier 2022)



* conformément à l'arrêté du 28/10/2010, si le déchet ne respecte pas au moins une des valeurs fixées pour le chlorure, le sulfate ou la fraction soluble, le déchet peut être encore jugé conforme aux critères d'admission s'il respecte soit les valeurs associées au chlorure et au sulfate, soit celle associée à la fraction soluble ; de même si le déchet ne satisfait pas à la valeur limite indiquée pour le carbone organique total sur éluat à sa propre valeur de pH, le déchet peut être jugé conforme aux critères d'admission pour le carbone organique total sur éluat si le résultat de cette détermination ne dépasse pas 500 mg/kg de matière sèche.

RECOMMANDATION MISSION DIAG – 01/2022

Les recommandations suivantes ne constituent pas un réel plan de gestion du site mais ont pour but d'orienter le projet d'aménagement.

La présence de benzène et de naphthalène bien que ponctuelle, (au point de sondage PM1) et de mercure sur l'ensemble de la zone d'étude laisse présumer qu'il est judicieux de procéder à des investigations complémentaires sur ces composés eu égard le caractère très volatil qui leur permet d'entrer en contact avec les futurs usagers.

De fait, nous avons listé plusieurs investigations complémentaires qui peuvent être réalisées de manières indépendantes ou concomitantes :

- Réaliser une analyse des risques résiduels lorsque le projet sera mieux défini ;
- Mettre en place un ou des piézaires en vue de mesurer plus précisément la teneur de ces composés dans les gaz du sol et par conséquent d'optimiser les futures mesures correctrices à mettre en place ;
- D'envoyer directement en décharge les sols impactés et de réaliser un prélèvement en fond de fouille afin de s'assurer de l'absence de ces composés après terrassement ;
- Réaliser un maillage (via des nouveaux sondages) autour des sources polluantes identifiées afin de mieux évaluer les volumes impactés.

En parallèle de ces propositions, des mesures correctrices capables d'isoler les voies de transferts sont à étudier, telles que par exemple le **confinement physique par couverture et étanchéification**.

Il s'agit d'isoler les contaminants de façon à prévenir leur propagation de manière pérenne. Cela peut se faire par la mise en place d'une surface d'enrobé, d'une dalle béton ou d'un apport de 30 cm de terre végétale saine compactée au niveau du sol.

Concernant les canalisations, il est recommandé de mettre en place un « buffer » (une zone tampon) composé de remblais sains autour des canalisations AEP afin de limiter la propagation des polluants.

Pour le projet d'aménagement, les sols excavés pourront être envoyés en installation de stockage des déchets inertes (ISDI) ou réutiliser sur site en respectant les dispositions décrites dans le chapitre 12.

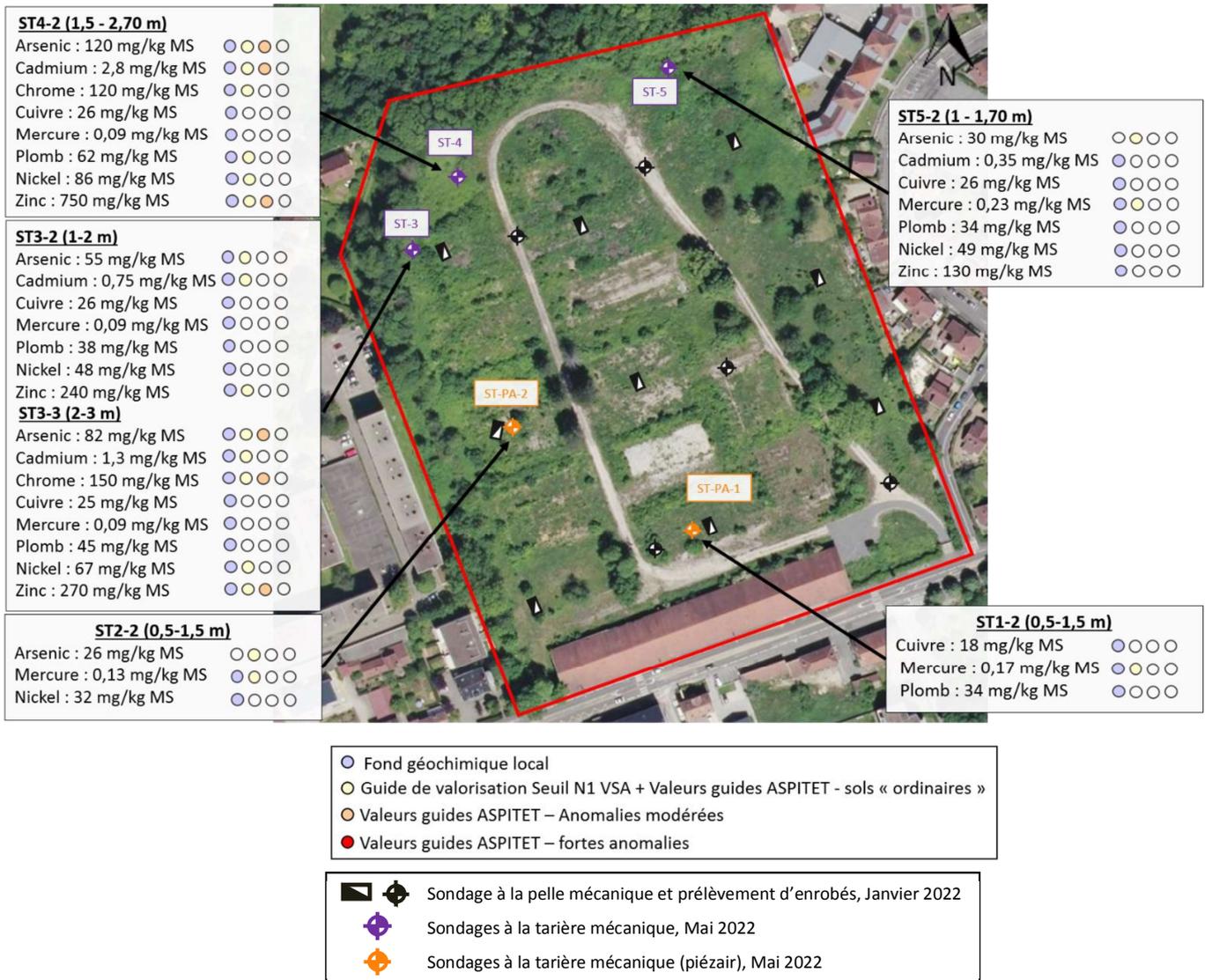
SYNTHESE MISSION DIAG COMPLEMENTAIRE 17/06/2022

Prélèvements, mesures, observations et/ou analyses sur les sols (Mission A200)	Sondages réalisés à la tarière mécanique : 5 (ST1 à ST5)	
	Profondeur maximale : 3 m	
	Prélèvements sols : 11	
	Piézaire : 2 Piézaires à 1,5 m (ST-PA-1 et ST-PA-2)	
	Lithologie :	
	Les investigations de reconnaissance du sous-sol ont permis de mettre en évidence les faciès moyens suivants (très hétérogènes du fait du caractère remblayé du site) :	
ST-PA-1	0,00-0,10 0,10-0,20 0,20-1,50	Terre végétale Remblais limono-argileux à cailloutis Remblais argileux à cailloutis avec présence de brique
ST-PA-2	0,00-1,50	Remblais argileux à cailloutis et cailloux, présence de briquettes
ST-3	0,00-0,30 0,30-1,50 1,50-2,10 2,10-3,00	Blocs calcaires Remblais argileux légèrement limoneux à cailloux, avec brique Argiles brunes légèrement sableuses Argiles à cailloux



ST-4	0,00-1,50 1,50-2,70	Remblais argileux brun légèrement sableux à cailloutis Argiles brunes à cailloux légèrement sableuses – Refus sur calcaire
ST-5	0,00-1,00 1,00-1,50 1,50-1,70	Remblais argileux à cailloux, brique et charbon Remblais argileux à cailloux, brique Calcaire – Refus sur calcaires

Cartographie des résultats analytiques des éléments traces métalliques selon le guide ASPITET, le guide de valorisation hors site du BRGM et le fond géochimique local (juin 2022)



Cartographie des résultats analytiques dépassant les seuils ISDI, ISDND et ISDD et les seuils de valorisation hors-site du BRGM (juin 2022)



- Seuils ISDI (Déchets inertes selon l'arrêté du 12/12/2014)
- Seuils ISDND
- Seuils ISDD
- Seuils du Guide de valorisation hors site (BRGM) – N2 Sous bâtiment
- Seuils du Guide de valorisation hors site (BRGM) – N2 Sous espaces verts ou aménagements routiers revêtus

- 🔍 Sondage à la pelle mécanique et prélèvement d'enrobés, Janvier 2022
- 🔍 Sondages à la tarière mécanique, Mai 2022
- 🔍 Sondages à la tarière mécanique (piézair), Mai 2022

* conformément à l'arrêté du 28/10/2010, si le déchet ne respecte pas au moins une des valeurs fixées pour le chlorure, le sulfate ou la fraction soluble, le déchet peut être encore jugé conforme aux critères d'admission s'il respecte soit les valeurs associées au chlorure et au sulfate, soit celle associée à la fraction soluble ; de même si le déchet ne satisfait pas à la valeur limite indiquée pour le carbone organique total sur éluat à sa propre valeur de pH, le déchet peut être jugé conforme aux critères d'admission pour le carbone organique total sur éluat si le résultat de cette détermination ne dépasse pas 500 mg/kg de matière sèche.



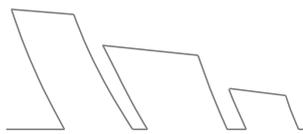
Cartographie des résultats analytiques des gaz du sol



ST-PA-2
Fraction aliphatique > C10-C12 : 1100 µg/m³ ○○○○○

ST1-PA-1
 Fraction aromatique > C8-C10 : 138,33 µg/m³ ○○○○○
 Fraction aromatique > C10-C12 : 316,67 µg/m³ ○○○○○
 Fraction aliphatique > C8-C10 : 123,33 µg/m³ ○○○○○
 Fraction aliphatique > C10-C12 : 1100 µg/m³ ○○○○○
 Fraction aliphatique > C12-C16 : 433,33 µg/m³ ○○○○○
 Benzène : 2 µg/m³ ○○○○○
 BTEX Totaux (dont Benzène) : 14,67 µg/m³ ○○○○○

- | | | | |
|--|---|--|---|
| | Sondage à la pelle mécanique et prélèvement d'enrobés, Janvier 2022 | | Limite de quantification du laboratoire |
| | Sondages à la tarière mécanique, Mai 2022 | | Seuil du guide de qualité de l'air intérieur de l'Anses |
| | Sondages à la tarière mécanique (piézair), Mai 2022 | | Seuil R1 de l'INERIS |
| | | | Seuil R2 de l'INERIS |
| | | | Seuil R3 de l'INERIS |



SYTHESE MISSION ARR

<p>Bilan de l'analyse des enjeux sanitaires (A320)</p>	<p>Une ARR a été effectuée sur le site à partir des concentrations des sols et les risques ont été calculés pour trois scénarios :</p> <ul style="list-style-type: none"> - L'exposition du personnel et des habitants à l'intérieur des locaux, - L'exposition des habitants au droit de jardins potagers, - L'exposition du personnel et des passants à l'extérieur au droit des espaces verts d'agrément. <p>D'après les hypothèses prises en compte et en prenant en compte les seuils d'intervalle de risque de QD = 1 et ERI = 10⁻⁵, le risque pour les deux zones est :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Acceptable pour les scénarios intérieurs personnel, - Inacceptable pour les scénarios intérieurs pour les habitants, - Inacceptable pour les scénarios extérieurs jardins potager et espaces verts. <p>Une second ARR a été réalisée à partir des concentrations de gaz de sol. Celle-ci a conclu à un risque acceptable pour les scénarios intérieurs habitants et personnel.</p> <p>Les scénarios intérieurs habitants sont déclassés à cause du mercure et du benzène gazeux. Le logiciel majore ces gaz. D'après les résultats des analyses des gaz du sols, le mercure sous forme gazeuse est sous le seuil de détection du laboratoire et le benzène sous forme gazeuse ne présente pas de risque inacceptable. Nous considérons donc le risque comme acceptable pour les scénarios intérieurs habitants.</p>
<p>Préconisations</p>	<p>Afin de rendre le risque acceptable, nous préconisons pour :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Les jardins potagers, soit : <ul style="list-style-type: none"> o Une restriction d'usage de jardins potager et un recouvrement des sols de surface, o Une substitution des sols en place et un recouvrement des sols de surface. - Les espaces verts : <ul style="list-style-type: none"> o Un recouvrement des sols de surface.
<p style="text-align: center;">Recommandations mission DIAG Complémentaire – 17/06/2022</p>	
<p>Les recommandations suivantes ne constituent pas un réel plan de gestion du site mais ont pour but d'orienter le projet d'aménagement.</p> <p>Aux vues de l'analyse des risques résiduels réalisées, les sols en place sous les futurs bâtiments présentent des risques acceptables. Dans ces conditions aucune recommandation au droit des bâtiments n'est nécessaire.</p> <p>Concernant les espaces verts « Coulée verte » et « Aménagement », les concentrations en métaux lourds entraînent un risque inacceptable par injection et contact cutané. Dans ces conditions, nous recommandons la mise en place de :</p> <ul style="list-style-type: none"> - D'un recouvrement des sols de surface par 30 cm de terres végétales saines. - D'une restriction d'usage de jardin potager et de vergers <p>Soit :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Une substitution totale (sur une épaisseur d'environ 1,5 m) des remblais contaminés par des terres saines. <p>Concernant les canalisations, il est recommandé de mettre en place un « buffer » (une zone tampon) composé de remblais sains autour des canalisations AEP afin de limiter la propagation des polluants.</p> <p>Aux vues des dépassements de seuil de niveau VSA, les terres excavées pourront être réutilisées sur site ou hors site sous aménagement routier ou sous espace vert (à condition qu'il n'y ait ni potager, ni vergers) (Cf. les dispositions décrites dans le <i>chapitre 9.2.1</i>). Seules les terres au droit de PM1 ne pourront être réutilisées de par leurs concentrations en Benzène. Les sols excavés non réutilisés pourront être envoyés en installation de stockage des déchets inertes (ISDI).</p>	



GLOSSAIRE

AEP : Alimentation en Eau Potable

ARIA : Retour d'expérience sur les accidents technologiques

ARS : Agence Régionale de Santé

BASIAS : Base de données des Anciens Sites Industriels et Activités de Services

BASOL : Sites et sols pollués ou potentiellement pollués appelant une action des pouvoirs publics, à titre préventif ou curatif

BRGM : Bureau de Recherches Géologiques et Minières

BSS : Banque de données du Sous-Sol

BTEX : Benzène Toluène Ethylbenzène et Xylène

COHV : Composé Organique Halogéné Volatil

DDTM : Direction Départementale des territoires et de la Mer

DREAL : Direction Régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement

HAP : Hydrocarbure Aromatique Polycyclique

ICPE : Installation Classée pour la Protection de l'Environnement

IGN : Institut national de l'information Géographique et forestière

LQ : Limite de Quantification

MTES : Ministère de la Transition Ecologique et Solidaire

SQ : Seuil de Quantification

VGAI : Valeurs Guides de qualité d'Air Intérieur

VTR : Valeurs Toxicologiques de Référence

ZICO : Zones Importantes pour la Conservation des Oiseaux

ZNIEFF : Zones d'Intérêt Ecologique, Faunistique et Floristique



DOCUMENTS CONSULTÉS

Organisme/Personne contactée	Informations recherchées
Ministère des Finances et comptes Publics (https://www.cadastre.gouv.fr)	Plan cadastral
Institut national de l'information Géographique et forestière (IGN)	Cartographie IGN du secteur d'étude
topographic-map.com	Contexte topographique
Base de données des Limites des Systèmes Aquifères (BDLISA)	Contexte hydrogéologique
Bureau de Recherches Géologiques et Minières (BRGM) (Infoterre.brgm.fr)	Contexte géologique, hydrogéologique, recensements des captages hydrauliques, espaces naturels remarquables, bases de données BASIAS et BASOL
Base de données (carte généralise) de la DREAL BFC (Bourgogne Franche-Comté) https://cartes.ternum-bfc.fr/?config=apps/dreal-bourgogne-franche-comte/carte-generaliste-bfc.xml#	Recensement des espaces naturels remarquables, zone d'alimentation de captage.
Geoportail.gouv.fr	Contexte géologique, topographique, hydrologique, étude des photographies aériennes historiques
Ministère de la Transition Ecologique et Solidaire (MTES)	Recensements des ICPE, base de données des retours d'expérience sur les accidents technologiques (ARIA), BASOL, BASIAS
Géorisques	
www.gesteau.eaufrance.fr	Territoire des SDAGE et SAGE
www.adeseaufrance.fr	Recensement des nappes
https://www.aria.developpement-durable.gouv.fr/	Accidents technologiques dans la commune de Besançon
Baser de défense de Besançon – Etat major - Cabinet d'Etude historique de pollution pyrotechnique	Pollutions pyrotechniques
Rapport mission DIAG, ECR Environnement, Janvier 2022, dossier 2501545	Résultats analytiques
Rapport géotechnique (mission G1 ES + PGC), ECR Environnement, dossier 2501466, Janvier 2022	Résultats de sondages
Rapport géophysique, ECR Environnement, Juin 2022, dossier 2501948	Résultats des profils géophysiques

Le présent rapport est élaboré sur la base des documents fournis par le client (plans, description du contexte...). En cas de modifications du projet impactant l'interprétation environnementale du site d'étude (changement de l'usage futur, de l'emprise du projet ...), le client se doit d'en informer son interlocuteur privilégié afin de réadapter le rapport aux nouvelles contraintes du projet. Toutes modifications de projet non-signalées ou effectives après le rendu de ce rapport ne pourra faire l'objet de réclamations.



SOMMAIRE

1. METHODOLOGIE ET REFERENCES DOCUMENTAIRE.....	17
2. INTRODUCTION.....	18
2.1. OBJECTIF DE L'ETUDE.....	18
3. PRESENTATION DU SITE.....	19
3.1. SITUATION GEOGRAPHIQUE ET CADASTRALE.....	19
3.2. PROJET PREVU SUR LA ZONE D'ETUDE.....	22
3.3. VISITE DE SITE (POLYGONE GENDARMERIE).....	23
3.3.1. Sources d'énergies utilisées.....	26
3.3.2. Gestion des eaux.....	26
3.3.3. Gestion des déchets.....	26
3.3.4. Mise en sécurité du site.....	27
4. ETUDE DOCUMENTAIRE - BASIAS, BASOL, ICPE ET ARIA.....	27
4.1. INFORMATIONS RECUEILLIES SUR LES BASES DE DONNEES BASIAS, BASOL, ICPE ET ARIA.....	27
4.1.1. BASIAS.....	27
4.1.2. Sites pollués ou potentiellement pollués BASOL.....	28
4.1.3. ICPE.....	30
4.1.4. ARIA.....	30
4.1.5. SIS.....	31
5. ETUDE HISTORIQUE.....	32
5.1. EVOLUTION DES ACTIVITES SUR LE SITE.....	32
5.1.1. Dans le passé.....	32
5.1.2. Actuellement.....	32
5.1.3. Pollution pyrotechnique.....	32
5.2. ETUDE DES PHOTOGRAPHIES AERIENNES.....	32
5.3. SYNTHESE DES SOURCES DE POLLUTIONS IDENTIFIEES SUITE A L'ETUDE HISTORIQUE ET A LA VISITE DE SITE.....	33
6. CONCLUSION DE L'ETUDE HISTORIQUE.....	34
7. DIAG INITIAL – DESCRIPTION DES INVESTIGATIONS SUR SOL - 17/01/2022.....	35
7.1. MESURES D'HYGIENE ET DE SECURITE.....	35
7.2. PREPARATION DE L'INTERVENTION.....	35
7.3. INVESTIGATIONS SUR LES SOLS (A200).....	35
7.4. LOCALISATION DES INVESTIGATIONS.....	35
7.5. NATURE DES INVESTIGATIONS.....	35
7.6. LITHOLOGIE DES TERRAINS RENCONTRES.....	36
7.7. CONSTATS ORGANOLEPTIQUES.....	36
7.8. RESUME DES CONSTATS ET DES LITHOLOGIES.....	36
7.9. PROGRAMME ANALYTIQUE ENGAGE SUR LES SOLS.....	37
8. DIAG INITIAL - INTERPRETATION DES RESULTATS DU MILIEU SOL.....	38



8.1.	CARTOGRAPHIE DES RESULTATS ANALYTIQUES DES ELEMENTS TRACES METALLIQUES SELON LE GUIDE ASPITET, LE GUIDE DE VALORISATION HORS SITE DU BRGM ET LE FOND GEOCHIMIQUE LOCAL	40
8.2.	CARTOGRAPHIE DES RESULTATS ANALYTIQUES DEPASSANT LES SEUILS DU GUIDE DE VALORISATION HORS SITE DU BRGM ET LES SEUILS ISDI (DECHETS INERTES SELON L'ARRETE DU 12/12/2014).....	41
8.3.	LECTURE DES ANALYSES SUR LE MILIEU SOL	42
8.4.	RESULTATS ANALYTIQUES SUR LES ENROBES	42
8.5.	CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS – MISSION DIAG 17/01/2022	44
9.	ETUDE DE DIAGNOSTIC COMPLEMENTAIRE 17/06/2022	45
9.1.	DESCRIPTION DES INVESTIGATIONS SUR LES SOLS – A200	45
9.1.1.	Mesures d'hygiène et de sécurité	45
9.1.2.	Préparation de l'intervention	45
9.1.3.	Investigations sur les sols (A200)	45
9.1.4.	Localisation des investigations	45
9.1.5.	Nature des investigations	45
9.1.6.	Stratégie d'échantillonnage	46
9.1.7.	Difficultés rencontrées	46
9.1.8.	Lithologie des terrains rencontrés.....	47
9.1.9.	Constats organoleptiques	47
9.1.10.	Résumé des constats et des lithologies	47
9.1.11.	Programme analytique engagé sur les sols	47
9.2.	INTERPRETATION DES RESULTATS	48
9.2.1.	Valeurs de références sur le milieu sol.....	48
9.2.2.	Valeurs de références pour les enrobés.....	50
9.2.3.	Classification des matériaux en termes de déchet.....	50
9.2.4.	Résultats analytiques des échantillons de sols	50
9.2.5.	Cartographie des résultats analytiques des éléments traces métalliques selon le guide ASPITET, le guide de valorisation hors site du BRGM et le fond géochimique local (juin 2022)	55
9.2.6.	Cartographie des résultats analytiques dépassant les seuils du guide de valorisation hors site du BRGM et les seuils ISDI (Déchets inertes selon l'arrêté du 12/12/2014)	56
9.2.7.	Résultats analytiques de l'échantillon d'enrobé :.....	57
9.2.8.	Lecture des analyses	58
9.3.	DESCRIPTION DES INVESTIGATIONS COMPLEMENTAIRES SUR LES GAZ DU SOL A230	59
9.3.1.	Investigations de terrain.....	59
9.3.2.	Localisation des prélèvements de gaz du sol.....	59
9.3.3.	Mode opératoire d'échantillonnage.....	60
9.3.4.	Valeurs limites de références	62
9.4.	RESULTATS DES ANALYSES DES GAZ DU SOL.....	65
9.4.1.	Cartographie des résultats analytiques des gaz du sol	67
10.	EVALUATION DES INCERTITUDES.....	68
10.1.	LIEES AUX INVESTIGATIONS DE TERRAIN	68
10.2.	LIEES A L'ECHANTILLONNAGE	68
10.3.	LIEES AU PROGRAMME ANALYTIQUE	68
10.4.	LIEES AUX ANALYSES EN LABORATOIRE	68
11.	SCHEMAS CONCEPTUELS.....	69
11.1.	AVANT-PROJET.....	69
11.2.	APRES-PROJET, SANS MESURES DE GESTIONS	71



12. ANALYSES STATISTIQUES ET SEUILS DE COUPURE	72
13. ANALYSE DES RISQUES RESIDUELS, MISSION A320.....	73
13.1. DETERMINATION DES EXPOSITIONS	73
13.1.1. <i>Méthodologie appliquée</i>	73
13.1.2. <i>Quantification des risques</i>	74
13.2. DESCRIPTION POUR LE CHOIX DES SCENARIOS.....	75
13.3. SELECTION DU MODELE ET DES PARAMETRES INITIAUX	75
13.3.1. <i>Sélection du modèle</i>	75
13.3.2. <i>Sélection des paramètres de modélisation</i>	76
13.3.3. <i>Sélection des substances à étudier</i>	77
13.3.4. <i>Choix des VTR utilisées</i>	79
13.3.5. <i>Calcul des risques sanitaires</i>	81
13.3.6. <i>Discussion des incertitudes</i>	90
13.3.7. <i>Synthèse de l'analyse des enjeux sanitaires à partir des concentrations dans les sols</i>	92
13.4. ANALYSE DES ENJEUX SANITAIRES – A320 A PARTIR DES CONCENTRATIONS DANS LES GAZ DU SOL.....	92
13.4.1. <i>Hypothèses de calcul</i>	92
13.4.2. <i>Résultats des calculs de risque</i>	93
13.4.3. <i>Interprétation QD et ERI</i>	94
13.5. SOLUTIONS PROPOSEES.....	95
13.5.1. <i>Scénario intérieur habitant</i>	95
13.5.2. <i>Scénario jardin potager</i>	95
13.5.3. <i>Scénario espaces verts</i>	95
13.6. CONCLUSION DE L'ARR.....	95
14. SCHEMA CONCEPTUEL APRES PROJET AVEC MESURES DE GESTIONS	96
15. CONCLUSION – RESUME NON TECHNIQUE – DIAG COMPLEMENTAIRE.....	98
16. RECOMMANDATIONS	99

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Localisation du projet – Plan IGN 1/25 000e – Géoportail	20
Figure 2 : Localisation du projet – Orthophotographie 1/25 000e – Géoportail	20
Figure 3 : Localisation du projet - Plan IGN + Orthophotographie 1/5000e – Géoportail	21
Figure 4 : Localisation du projet - Orthophotographie IGN 1/5000e – Géoportail	22
Figure 5 : Croquis du projet d'aménagement – Ville de Besançon (2021)	23
Figure 6 : Localisation des zones remarquables - IGN 1/3000	26
Figure 7 : Sites BASIAS à proximité (dans les 300 m) du site d'étude, Orthophotographie 1/5 000e – InfoTerre.....	27
Figure 8 : Carte des sites BASOL de la commune de Besançon.....	29
Figure 9 : Carte des sites BASOL à proximité du site d'étude 1/ 20 000e (R = 1 km) – Géorisques	29
Figure 10 : Localisation des sites classés ICPE, dans un rayon d'un kilomètre – Géorisques.....	30
Figure 11 : Localisation des sites SIS, Géorisques	31
Figure 12 : Carte de synthèse des zones potentiellement polluées - 1/1000e - Géoportail	34
Figure 13 : Plan du point de prélèvement d'enrobé	57
Figure 14 : Plan d'implantation des piézaires – Fond Géoportail.....	60
Figure 15 : Support de prélèvement "Petit Tube CA", mesure d'Hydrocarbure, de COHV et des BTEX	61



Figure 16 : Support de prélèvement XAD-2, mesure des HAP	61
Figure 17 : Support de prélèvement Hopcalite, mesure du mercure.....	61
Figure 18 : Photographie du support de prélèvement après utilisation	61
Figure 19 : Carte de la zone d'emprise du schéma conceptuel AVANT-PROJET	70
Figure 20 : Carte de la zone d'emprise du schéma conceptuel Après-projet, sans mesures de gestions.....	71
Figure 21 : Croquis du projet d'aménagement	75
Figure 22 : Carte de la zone d'emprise du schéma conceptuel APRES-PROJET, avec mesures de gestions	97

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Codifications des missions des normes NF X 31-620	17
Tableau 2 : Listes des sites BASIAS recensés à proximité du site d'étude (dans les 300 m)	28
Tableau 3 : Sites répertoriés SIS à proximité du secteur d'étude	31
Tableau 4 : Synthèse des principaux faits marquants (photographies aériennes).....	33
Tableau 5 : Résumé des investigations réalisées par ECR Environnement	36
Tableau 6 : Résumé des lithologies rencontrées et des constats organoleptiques	37
Tableau 7 : Programme analytique engagé sur les sols	38
Tableau 8 : Résultats analytiques des éléments traces métallique, DIAG Initial - Janvier 2022	39
Tableau 9 : Synthèse des résultats d'analyse sur les enrobés.....	43
Tableau 10 : Résumé des investigations réalisées par ECR Environnement	46
Tableau 11 : Résumé des lithologies rencontrées et des constats organoleptiques	47
Tableau 12 : Programme analytique engagé sur les sols	48
Tableau 13 : Valeur du Fond-géochimique de Besançon selon les bases de données.....	49
Tableau 14 : Synthèse des résultats d'analyses sur les éléments traces métalliques	51
Tableau 15 : Synthèse des analyses sur HAP.....	52
Tableau 16 : Résultats analytique sur les PCB.....	53
Tableau 17 : Synthèse des analyses sur les Eluats	54
Tableau 18 : Résultats des analyses sur enrobé.....	58
Tableau 19 : Normes des analyses effectuées	59
Tableau 20 : Description des piézairs	60
Tableau 21 : Calculs des temps optimaux de prélèvement par composés	62
Tableau 22 : Temps de prélèvements pour les différents types d'analyse	63
Tableau 23 : Résultats des mesures à la sonde 4 gaz pour ST-PA-12, ST-PA-15 et ST-PA-18.....	65
Tableau 24 : Résultats des gaz du sol dont les paramètres étudiés présentent des anomalies	66
Tableau 25 : Voies de transfert et voies d'exposition pertinentes avant-projet.....	70
Tableau 26 : Voies de transfert et voies d'exposition pertinentes après-projet, sans mesures de gestions.....	72
Tableau 27 : Caractéristiques des cibles	76
Tableau 28 : Hypothèses pour l'ingestion de végétaux.....	76
Tableau 29 : Paramètres de modélisation pour les scénarios intérieurs	77
Tableau 30 : Paramètres de modélisation pour les scénarios extérieurs	77
Tableau 31 : Répartition des sondages par scénario.....	78
Tableau 32 : Echantillons de sol retenu pour le calcul des risques	78
Tableau 33 : Concentrations retenues pour les HCT	79
Tableau 34 : Concentrations retenues pour les HAP.....	79
Tableau 35 : Concentrations retenues pour les BTEX	79
Tableau 36 : Concentrations retenues pour les métaux lourds	79
Tableau 37 : VTR pour voie respiratoire.....	80
Tableau 38 : VTR pour voie orale	81



Tableau 39 : Récapitulatif des QD et ERI obtenus pour les différents scénarios sur les deux zones	89
Tableau 40 : Concentrations retenues pour les gaz du sol sur les deux zones	93
Tableau 41 : VTR pour voie respiratoire des gaz du sol	93
Tableau 42 : Voies de transfert et d'exposition - Après-projet, avec mesures de gestions	98

ANNEXES

- Annexe 1 : Plan cadastral
- Annexe 2 : Etude documentaire
- Annexe 3 : Plans de localisation des sondages
- Annexe 4 : Coupes schématiques des sondages
- Annexe 5 : Bulletins analytiques du laboratoire (sols)
- Annexe 6 : Bulletins analytiques du laboratoire (enrobés)
- Annexe 7 : Bulletins analytiques du laboratoire (gaz du sol)
- Annexe 8 : Procès-verbaux des prélèvements d'enrobés
- Annexe 9 : Procès-verbaux des prélèvements des gaz du sol
- Annexe 10 : Schémas conceptuels

1. METHODOLOGIE ET REFERENCES DOCUMENTAIRE

Les missions ont été réalisées conformément :

- A la note ministérielle du 19 avril 2017, établie par le Ministère de l'Environnement, de l'Energie et de la Mer, relative aux modalités de gestion et de réaménagement des sites pollués ;
- A la norme NF X 31-620-1 « Qualité des sols – Prestations de services relatives aux sites et sols pollués – exigences générales » ;
- A la norme NF X 31-620-2 « Qualité des sols – Prestations de services relatives aux sites et sols pollués – Exigences dans le domaine des prestations d'études, d'assistance et de contrôle » ;

Les missions décrites ci-dessous (Cf. *Tableau 1*) font référence à la codification des missions des normes NF X 31-620.

Tableau 1 : Codifications des missions des normes NF X 31-620

Code	Prestation	Missions réalisées
AMO Etudes	Assistance à Maîtrise d'Ouvrage en phase études	
LEVE	Levée de doute pour savoir si un site relève ou non de la méthodologie nationale des sites et sols pollués	X
INFOS	Réalisation des études historiques, documentaires et de vulnérabilité afin d'élaborer un schéma conceptuel et, le cas échéant, un programme prévisionnel d'investigations	
DIAG	Mise en œuvre d'un programme d'investigations et interprétation des résultats	X
PG	Plan de gestion dans le cadre d'un projet de réhabilitation ou d'aménagement d'un site	
IEM	Interprétation de l'état des milieux	
SUIVI	Surveillance environnementale	
BQ	Bilan Quadriennal	
CONT	Contrôles : - de la mise en œuvre du programme d'investigation ou de surveillance - de la mise en œuvre des mesures de gestion	
ATTES	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 d'une installation classée pour la protection de l'environnement (loi ALUR)	
XPER	Expertise dans le domaine des sites et sols pollués	
Diagnostic de l'état des milieux		
A100	Visite de site	X
A110	Études historiques, documentaire et mémorielles	X
A120	Étude de vulnérabilité des milieux	
A130	Proposition d'un programme d'investigations	
A200	Prélèvements, mesures, observations et/ou analyses sur les sols	X
A210	Prélèvements, mesures, observations et/ou analyses sur les eaux souterraines	
A220	Prélèvements, mesures, observations et/ou analyses sur les eaux superficielles et/ou sédiments	
A230	Prélèvements, mesures, observations et/ou analyses sur les gaz du sol	X
A240	Prélèvements, mesures, observations et/ou analyses sur l'air ambiant et les poussières atmosphériques	



A250	Prélèvements, mesures, observations et/ou analyses sur les denrées alimentaires	
A260	Prélèvements, mesures, observations et/ou analyses sur les terres excavées	
A270	Interprétation des résultats des investigations	X
Évaluation des impacts sur les enjeux à protéger		
A300	Analyse des enjeux sur les ressources en eaux	
A310	Analyse des enjeux sur les ressources environnementales	
A320	Analyse des enjeux sanitaires	X
A330	Identification des différentes options de gestion possibles et réalisation d'un bilan coûts/avantages	
Autres compétences		
A400	Dossiers de restriction d'usage, de servitudes	

2. INTRODUCTION

2.1. Objectif de l'étude

Dans le cadre d'un projet de renouvellement urbain de trois sites contigus (GRETTE-BRULARD-POLYGONES), la ville de Besançon a sollicité le bureau d'études ECR Environnement (agence de BESANÇON) pour réaliser un diagnostic de la qualité des sols au droit du site localisé sur les secteurs POLYGONES GENIE et GENDARMERIE.

L'ensemble des prestations est conforme aux préconisations de la circulaire (et de ses annexes) du 8 février 2007 et à la méthodologie nationale de gestion des sites et sols pollués du Ministère de la transition écologique et solidaire en date d'avril 2017, adaptée de la norme AFNOR NF X 31-620 de décembre 2018 « Qualité du sol – Prestations de services relatives aux sites et sols pollués », pour le domaine A : « Etudes, assistance et contrôle ».

Prestation de type DIAG complémentaire aux missions LEVE et DIAG initial, qui regroupe :

- Une visite de site (A100) ;
- Une étude historique et documentaire (A110) ;
- Des prélèvements, mesures, observations et analyses sur les sols (A200) ;
- Des prélèvements, mesures, observations et analyses sur les gaz du sol (A230) ;
- Une interprétation des résultats des investigations (A270).

Prestation de type ARR :

- Analyses des enjeux sanitaires (A320).

Le présent document synthétise l'ensemble des informations et résultats obtenus lors de cette étude et conclut quant à la qualité actuelle du sol au droit des zones investiguées.

L'ensemble des missions sont basées sur les études antérieures réalisées par ECR Environnement (*Ref. ECR Environnement 2501545 (LEVE + DIAG)*). Ces documents sont réputés connus par le lecteur

L'étude menée par ECR Environnement a consisté à :

- Une visite de site ;
- Des recherches locales et bibliographiques ;
- L'implantation préalable des points de sondages au droit du site ;



- La réalisation de sondages de reconnaissance des sols ;
- Le prélèvement et le conditionnement d'échantillons de type sol ;
- Le prélèvement et le conditionnement d'échantillons des gaz du sol ;
- Des analyses en laboratoire agréé des différents échantillons prélevés pour la recherche d'éventuels polluants spécifiques.

Le présent rapport d'étude comporte les résultats des investigations (Rappel du contexte historique et environnemental du site, la synthèse des investigations réalisées pour ce diagnostic, les observations, les coupes lithologiques, la synthèse des résultats analytiques obtenus, le plan d'implantation, le reportage photographique) et les profils géophysiques obtenue, relatifs exclusivement au site GENDARMERIE.

En effet, en vue d'améliorer la compréhension et la lisibilité de ce document, les investigations réalisées sur le site POLYGONE GENIE font l'objet d'un autre rapport.

3. PRESENTATION DU SITE

3.1. Situation géographique et cadastrale

Le site d'étude fait partie du quartier POLYGONES (GENIE et GENDARMERIE) située au Sud de la commune de Besançon (25), à mi-chemin entre le centre historique et les grands ensembles de Planoise. Il concerne une emprise militaire qui jouxte :

- La caserne Brun à l'ouest ;
- L'Avenue George Clemenceau au nord ;
- La rue de Dole au sud ;
- La rue de la Pelouse à l'ouest.

Les parcelles cadastrales intéressées par le projet sont identifiées DY 282, DY 171, DY 280, DY207, DY 203 et DY 205 et ont respectivement des surfaces de 67 684 m², 47 942 m², 10 000 m², 205 m², 195 m² et 225 m² (Cf. Figures 1 à 4).



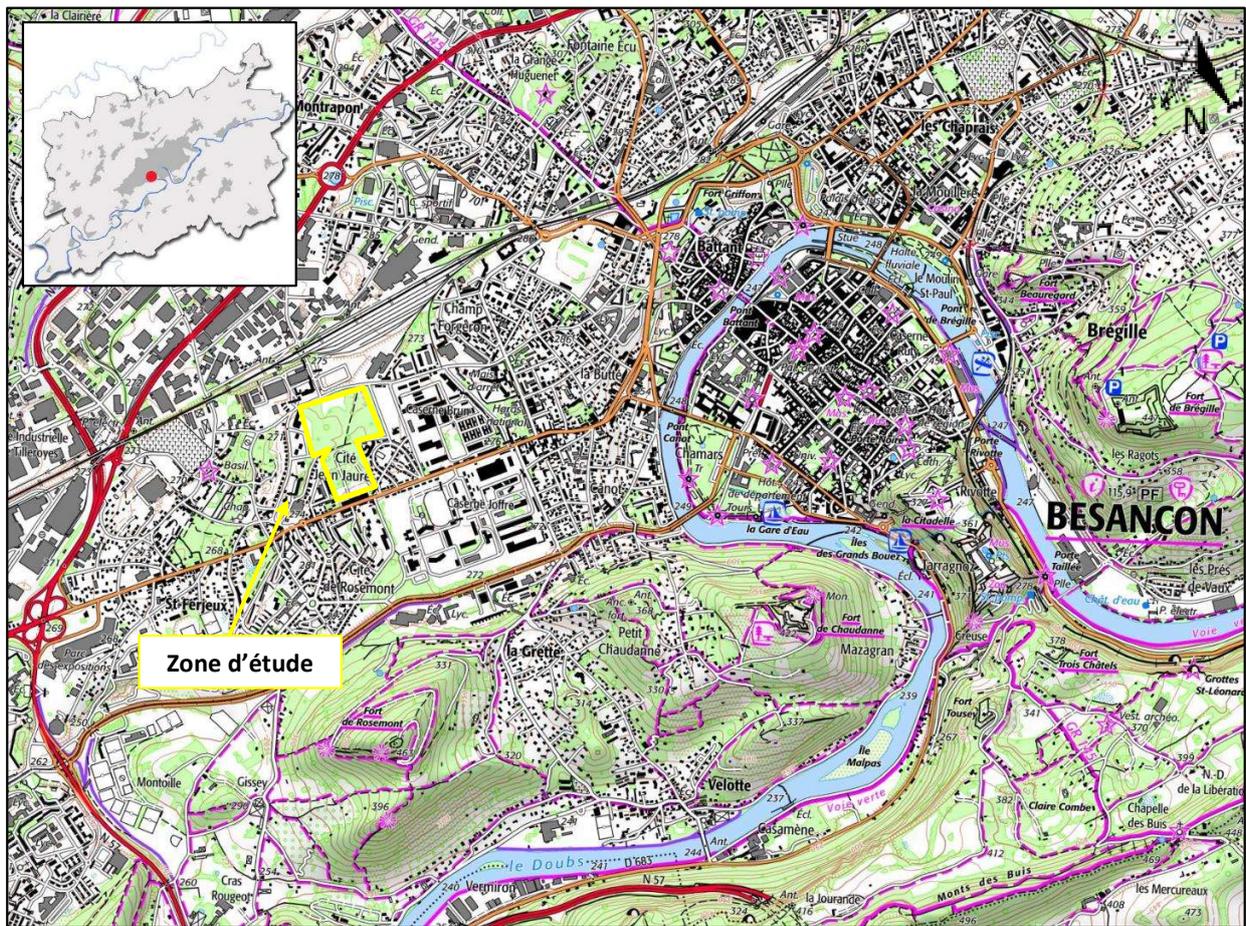


Figure 1 : Localisation du projet – Plan IGN 1/25 000e – Géoportail



Figure 2 : Localisation du projet – Orthophotographie 1/25 000e – Géoportail

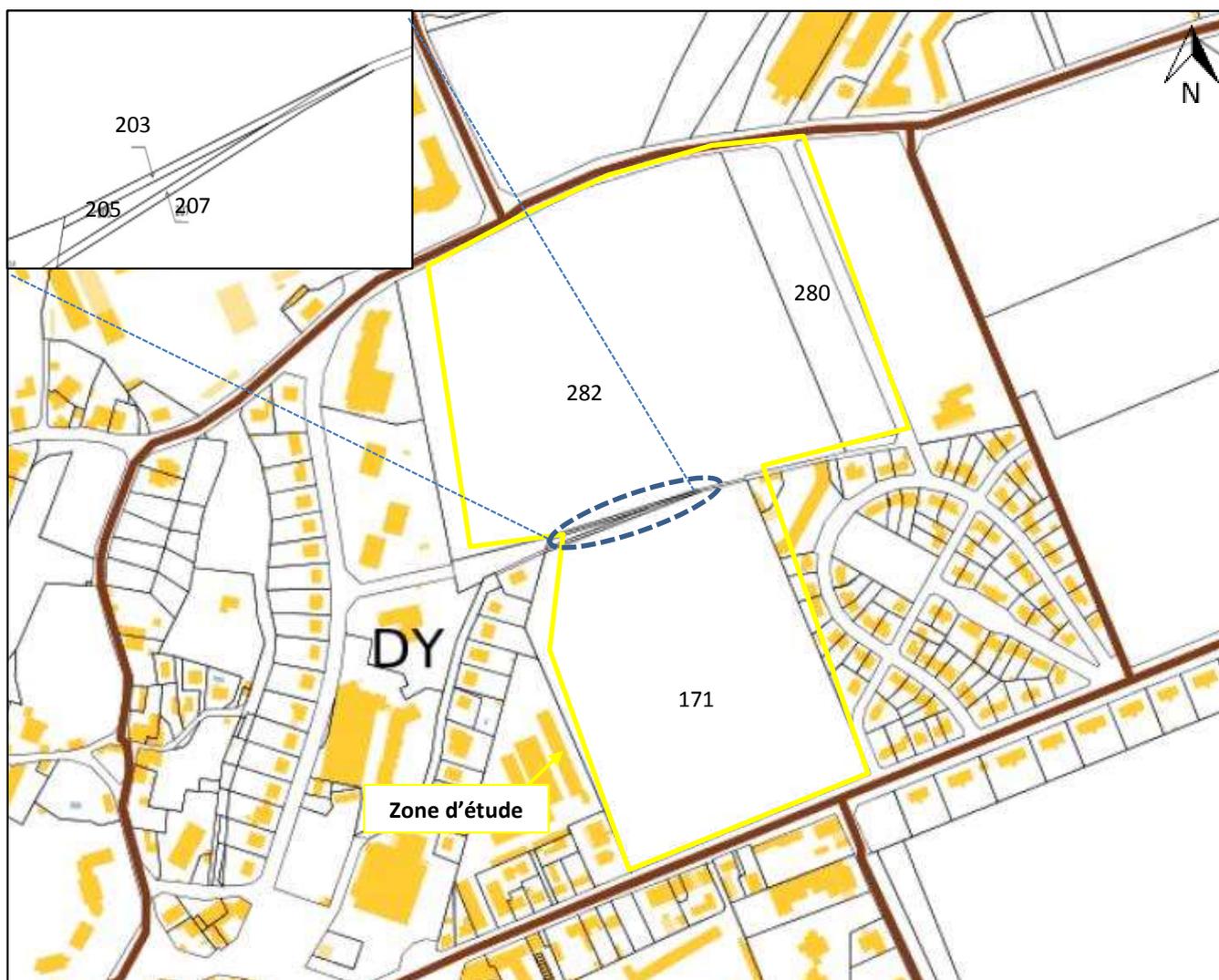


Figure 4 : Localisation du projet - Orthophotographie IGN 1/5000e – Géoportail

3.2. Projet prévu sur la zone d'étude

Il s'agit d'un projet d'aménagement. Les terrains militaires en friche sont pour partie en portage foncier (Polygone Gendarmerie entre la rue de Dole et Clemenceau) et pour partie propriété de l'Armée (Polygone du Génie au Nord de la rue de Dole). Ces terrains sont capables de recevoir à terme environ 250 nouveaux logements.

Un croquis d'aménagement (Cf. Figure 5) a été établi pour préserver un grand corridor écologique dans le cadre de l'aménagement.





A- Voiries en graviers



B- Voiries en graviers



C- Ancien bâtiment militaire



D- Intérieur du bâtiment militaire



E- Dalle béton



F- Voirie enherbée





H- Espaces enherbés



I- Limite nord de la zone d'étude



J- Cavité karstique observée au centre de la zone d'étude



K- Cavité karstique observée au sud-ouest de la zone



L- Cavité karstique observée sur le chemin au centre de la zone d'étude (09/05/2022)



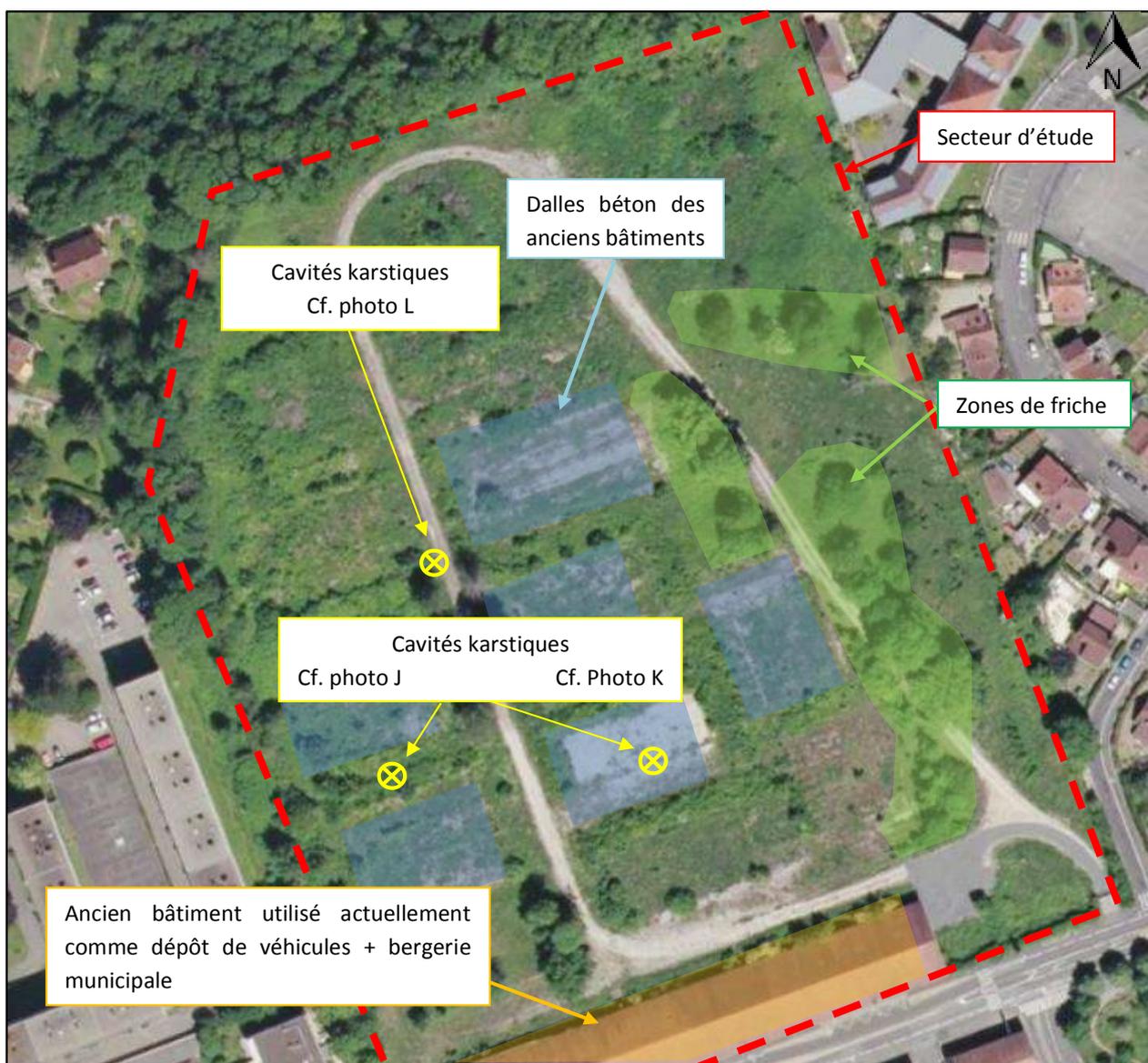


Figure 6 : Localisation des zones remarquables - IGN 1/3000

3.3.1.Sources d'énergies utilisées

L'ancien bâtiment est relié au réseau électrique et au gaz de ville.

3.3.2.Gestion des eaux

Les eaux pluviales sont infiltrées à la parcelle.

3.3.3.Gestion des déchets

Aucun dépôt sauvage n'a été observé au droit du site.



3.3.4. Mise en sécurité du site

Le site est interdit au public. Il est clôturé à l'est, à l'ouest et au sud par des murs ou des bâtiments mais aisément accessible au nord par un chemin de terre.

4. ETUDE DOCUMENTAIRE - BASIAS, BASOL, ICPE ET ARIA

L'étude historique consiste à consulter les documents d'archives sur le site afin d'identifier des activités potentiellement polluantes au droit du futur projet. Ces données permettent de retracer chronologiquement l'histoire du site.

4.1. Informations recueillies sur les bases de données BASIAS, BASOL, ICPE et ARIA

4.1.1. BASIAS

Après consultation de la base de données BASIAS (Inventaire Historique des Sites industriels et Activités de Service, « centres et adresses du site »), 9 sites sont référencés dans un rayon de 300 m autour du site étudié. Ils sont présentés et détaillés ci-dessous (Cf. Fig 7 et Tableau 2) :



Figure 7 : Sites BASIAS à proximité (dans les 300 m) du site d'étude, Orthophotographie 1/5 000e – InfoTerre

Tableau 2 : Listes des sites BASIAS recensés à proximité du site d'étude (dans les 300 m)

N° Identifiant	Raison sociale de l'entreprise connue	Activité	Etat d'occupation du site
FRC2507380	ADEME / Conseil Général 25	Décharge : Collecte et stockage des déchets non dangereux dont les ordures ménagères (décharge d'O.M. ; déchetterie)	Activité terminée
FRC2507384	ADEME / Conseil Général 25	Décharge : Collecte et stockage des déchets non dangereux dont les ordures ménagères (décharge d'O.M. ; déchetterie)	Activité terminée
FRC2503702	Christian Maussang	Atelier de travail des métaux	Ne sait pas
FRC2501895	DLI	Dépôt de liquide inflammables (D.L.I)	Ne sait pas
FRC2503708	SA CEDIS	Supermarché, Commerce de gros, de détail, de desserte de carburants en magasin spécialisé (station-service toute capacité de stockage)	Ne sait pas
FRC2500294	OUDOT André	Garage	Ne sait pas
FRC2500488	CUPILAR Pierre	Atelier de menuiserie	Ne sait pas
FRC2503884	Etablissements économiques Bisontins	Dépôt d'huiles, d'essences minérales, et d'eaux minérales	Ne sait pas
FRC2500474	Franche-Comté Transactions	Dépôt de liquide inflammables	Ne sait pas

4.1.2.Sites pollués ou potentiellement pollués BASOL

Le secteur d'étude n'est pas classifié comme site pollués (BASOL) selon le site du Ministère de l'Ecologie et du développement durable et de l'énergie (Cf. Figure 8). De plus, il n'y a aucun site BASOL à moins de 1 km à la ronde. Le site le plus proche se localise à 1,2 km à l'est et concerne une ancienne exploitation de métaux (Cf. Figure 9).



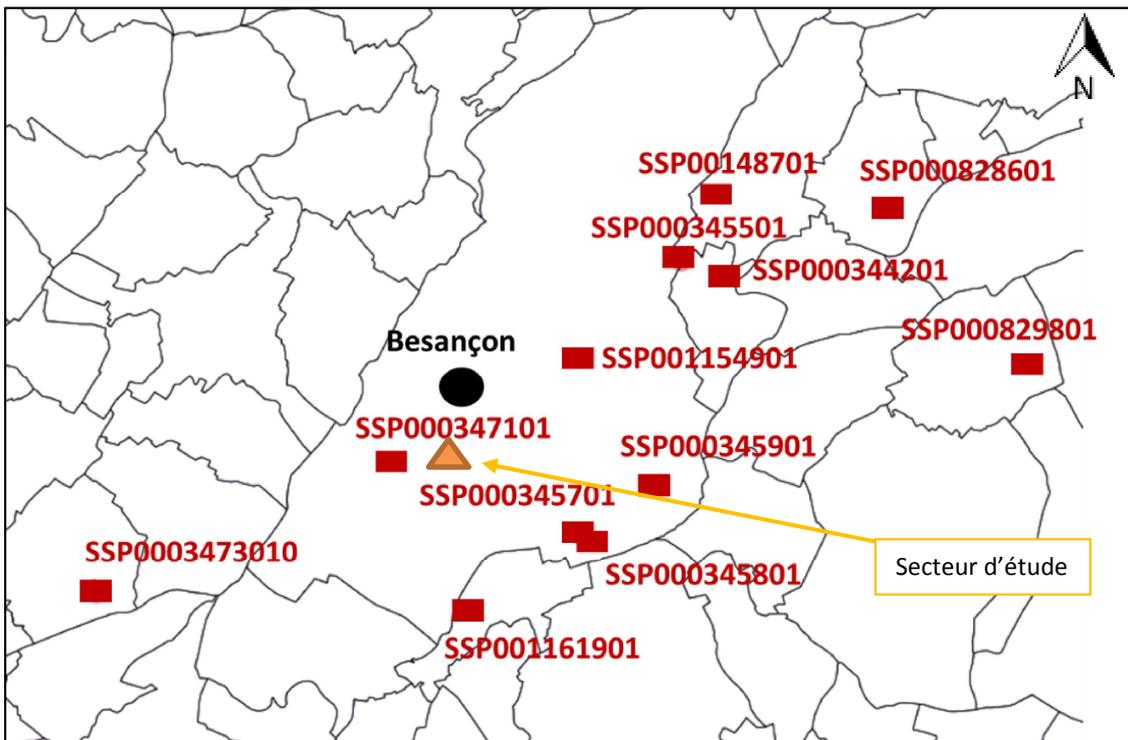


Figure 8 : Carte des sites BASOL de la commune de Besançon

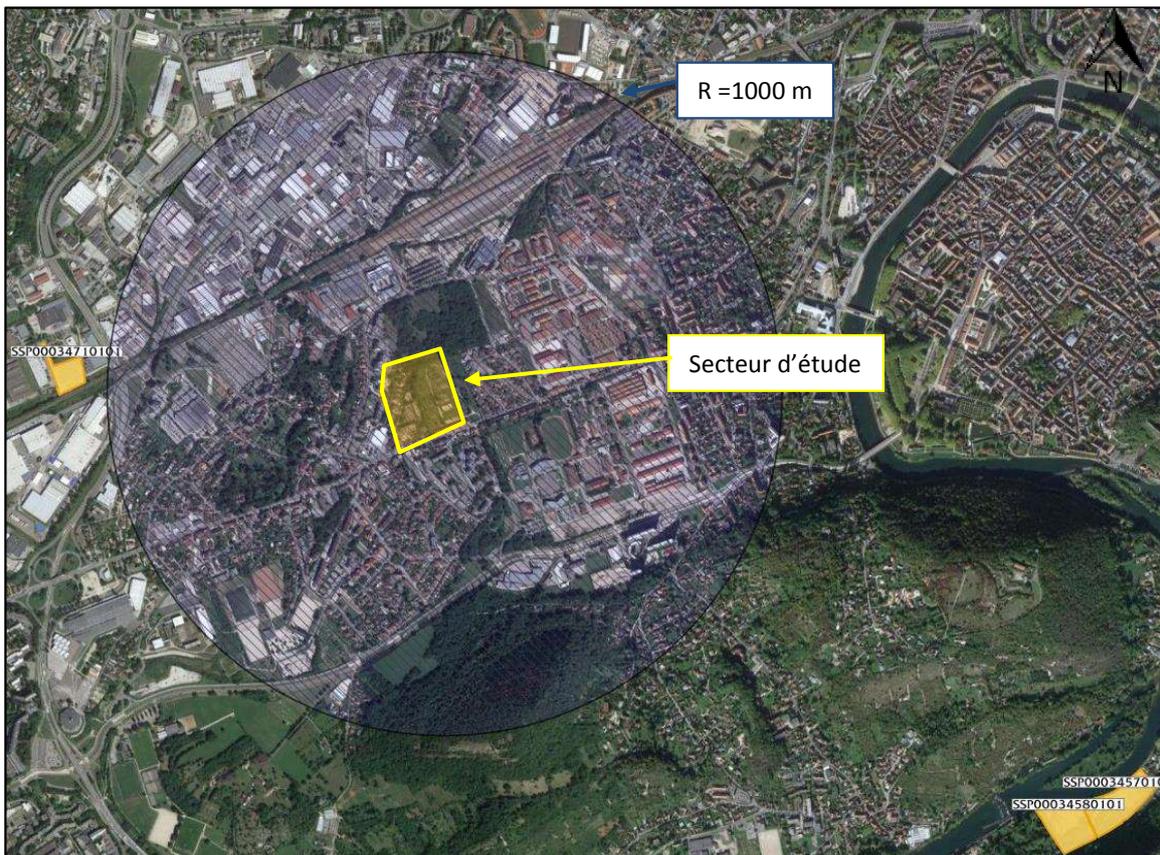


Figure 9 : Carte des sites BASOL à proximité du site d'étude 1/ 20 000e (R = 1 km) – Géorisques

4.1.3.ICPE

La base de données *des Installations Classées disponibles sur Géorisques*, indique la présence d'établissements classés sur la commune de Besançon. Les arrêtés et documents publiés concernant ces sites sont disponibles en ligne dans la base de données. Le site d'étude n'est pas répertorié dans cette base de données.

Un seul site se trouve dans un rayon de 1000 mètres de la zone d'étude (Cf. Figure 10). Il s'agit d'un atelier municipal de la ville de BESANCON en charge de la compétence Eau et Assainissement. Il n'est pas déclaré comme site SEVESO.



Figure 10 : Localisation des sites classés ICPE, dans un rayon d'un kilomètre – Géorisques

4.1.4.ARIA

Plusieurs accidents technologiques sont recensés dans la commune de Besançon. Depuis 1982, 10 accidents sont recensés dans la base de données comme ayant eu des conséquences environnementales. Les localisations précises ne sont pas connues. Néanmoins aucune des descriptions n'évoquent de proximité avec notre site.

4.1.5.SIS

Plusieurs sites de la commune de Besançon sont répertoriés SIS dans la base de données Géorisques mais aucun d'entre eux ne se situe à proximité du site d'étude (Cf. Figure 11 et Tableau 3) :

Tableau 3 : Sites répertoriés SIS à proximité du secteur d'étude

N°	Nom du site	Adresse du site	Référence
1	Ancienne usine à gaz	14 AVENUE DE LA 7ÈME ARMÉE AMÉRICAINE	SSP00034570101
2	BP Casamène	CHEMIN DE HALAGE CASAMÈNE	SSP00034580101
3	ZENITH Précision	13 RUE THOMAS EDISON	SSP00034710101
4	RAFFINERIE DU MIDI	SITE RHODIACETA "LES PRÉS DE VAUX"	SSP00034590101



Figure 11 : Localisation des sites SIS, Géorisques

5. ETUDE HISTORIQUE

L'étude historique consiste à consulter les documents d'archives sur la zone afin d'identifier des activités potentiellement polluantes au droit du futur projet. Ces données permettent de retracer chronologiquement l'histoire du site d'étude.

5.1. Evolution des activités sur le site

5.1.1. Dans le passé

D'après l'étude des données historiques, le site était une zone d'activité militaire regroupant plusieurs bâtiments de l'armée (casernes, bureaux, hangars...). Ils ont été construits dans les années 40 et ont vu leur nombre augmenter jusque dans les années 50. A l'issue de cette période, leur nombre a diminué périodiquement ne laissant place à plus qu'un seul bâtiment situé parallèlement à la rue de Dole.

Les principales sources de risque pour l'environnement viennent des éventuelles fuites d'hydrocarbures des véhicules sur site et de l'apport exogène de sol.

5.1.2. Actuellement

A l'issue de la visite de site et de l'inspection des ouvrages présents, nous avons remarqué que le site n'est plus entretenu depuis de nombreuses années. Il est actuellement recouvert par de la végétation sauvage ; bois, arbustes et herbes folles où il est possible d'observer de grandes dalles béton entourées par une ancienne voirie enherbée en arc de cercle qui ne sont autres que les témoins des activités militaires passées.

L'unique bâtiment encore existant se localise au sud de la parcelle ; il s'agit d'un ancien bâtiment militaire d'environ 2300 m² destiné aujourd'hui au stockage de véhicules de fourrière et au gardiennage de brebis détenues par la municipalité.

5.1.3. Pollution pyrotechnique

Une étude pyrotechnique en date de 2007 a été réalisée par le cabinet d'Etude en Sécurité Pyrotechnique sur le secteur Polygone GENIE. Cette action s'inscrivait dans le cadre dans un projet de voirie, rue Jules Gruey et n'a pas mis en évidence de source de pollution pyrotechnique sur le site du GENIE et subséquemment sur le site GENDARMERIE.

5.2. Etude des photographies aériennes

Les informations suivantes ont été recueillies auprès de l'Institut Géographique National. Les missions photographiques consultées dans le cadre de cette étude ont porté sur les 60 dernières années. Plusieurs clichés, entre 1929 et aujourd'hui, ont ainsi été observés.

Des agrandissements de certains des clichés ont été réalisés et sont présentés en Annexe 2. Le tableau (Cf. *Tableau 4*) ci-dessous synthétise les principales observations issues des photographies aériennes :



Tableau 4 : Synthèse des principaux faits marquants (photographies aériennes)

Date	FAITS MARQUANTS		Source
	Sur site	Hors site	
1929-1940	Bâtiment situé au sud de la parcelle parallèle à la rue de Dole.	Quelques habitations au sud et à l'Ouest	IGN
1940-1951	Densification de la zone d'étude : Construction de nombreux bâtiments militaires ; caserne et hangar.	Densification des zones d'habitation + Développement d'une zone agricole à l'Est.	IGN
1951-1953	Démolition d'environ 50 % du nombre de bâtiments militaires	Pas de changement majeur	IGN
1953-1963	Démolition d'une caserne	Pas de changement majeur	IGN
1963-1968	Construction d'un nouveau bâtiment de type caserne au centre de la zone d'étude	Densification des zones d'habitation à l'Ouest	IGN
1968-1971	Construction de micro-hangar au nord et au nord/est de la parcelle	Construction d'un bâtiment commerciale à la place de la zone agricole à l'Ouest	IGN
1971-1980	Présence de quelques containers d'ordre décimétrique au sud/Ouest de la parcelle	Densification globale des zones d'habitation	IGN
1980-1989	Dégradation des micro-hangar	Densification globale des zones d'habitation	IGN
1989-1999	Développement significatif de la végétation, bâtiments laissés à l'abandon	Densification globale des zones d'habitation	IGN
1999-2010	Démolition d'un premier bâtiment au Nord/Est de la parcelle	Développement urbain	IGN
2010-2021	Démolition de l'ensemble des bâtiments à l'exception du bâtiment au sud parallèle à la rue de Dole.	Développement urbain	IGN

5.3. Synthèse des sources de pollutions identifiées suite à l'étude historique et à la visite de site

A l'issue de la visite du site et de l'étude historique, des sources de pollutions **potentielles** ont été déterminées (Cf. Figure 12) :

Apport de sols exogènes au site : La densification de la parcelle a pu engendrer du chargement à sa surface par des matériaux de construction ou de démolition tels que des gravats ou des décombres.

De manière générale, les remblais étaient régulièrement, par le passé, de qualité médiocre et pouvaient généralement contenir divers polluants, dont notamment des métaux, des hydrocarbures, des HAP, des BTEX, des COHV et/ou des PCB.

Ancien décharge voisine : Le secteur voisin du site (*i.e.* Polygone GENIE) est marqué par la présence d'une ancienne décharge potentiellement source de pollution collatérale.



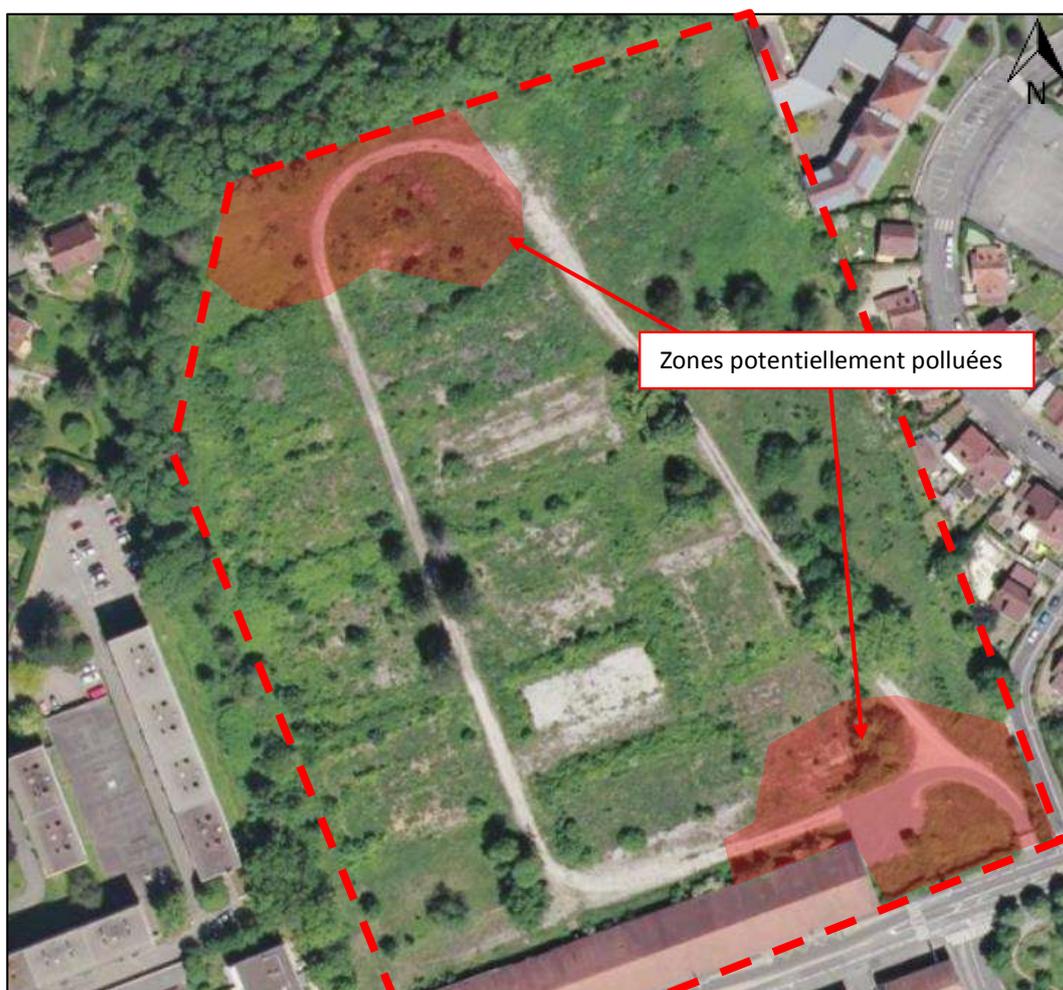


Figure 12 : Carte de synthèse des zones potentiellement polluées - 1/1000e - Géoportail

6. CONCLUSION DE L'ÉTUDE HISTORIQUE

Nous estimons que les risques de pollution des sols au droit du site sont modérés. Cette étude a mis en évidence les activités successives du site. D'après les recherches, les premiers bâtiments datent des années 30, ils ont été partiellement démolis et en parti rénovés dans les années 90 pour être de nouveau détruits dans les années 2010s. Les méthodes utilisées pour la construction des bâtiments étant inconnues, il n'est pas possible de se prononcer sur la présence et sur la qualité des remblais au droit des fondations des bâtiments. Les matériaux de construction du bâtiment pouvant être pollués, nous préconisons notamment la réalisation de fond de fouille après la démolition.

Le secteur d'étude n'est pas référencé comme BASIAS. Cependant, il convient de préciser que le secteur voisin (*i.e.* POLYGONE GENIE) qui rappelons fait l'objet d'un autre rapport) englobe deux sites identifiés BASIAS, correspondants notamment à deux anciennes décharges. L'une d'entre étant située dans la partie septentrionale de notre secteur d'étude, c'est-à-dire à la limite GENIE/GENDARMERIE, il est possible que les risques de pollution potentiellement engendrés sur le site GENDARMERIE soit imputables à cette décharge.

D'après notre visite et l'étude des photos aériennes historiques, aucun dépôt n'est et n'a été présent sur site. L'étude montre également qu'il y a eu plusieurs remaniements des terres depuis les années 1940s à aujourd'hui.



7. DIAG INITIAL – DESCRIPTION DES INVESTIGATIONS SUR SOL - 17/01/2022

7.1. Mesures d'hygiène et de sécurité

L'équipe technique d'ECR Environnement est constituée d'ingénieurs d'études spécialisés dans les sites et sols pollués. Les mesures de sécurité utilisées lors de l'intervention sont celles usuellement utilisées dans la profession, à savoir :

- Port des équipements de protection individuelle (casque, gants, lunettes, chaussures de sécurité, vêtements de chantier...);
- Maintien de la propreté du site.

Au préalable de l'intervention, la demande de DICT (Déclaration d'Intention de Commencement de Travaux) a été réalisée et transmise aux différents concessionnaires de réseaux aux abords du site.

7.2. Préparation de l'intervention

Les sondages ont été implantés le 22 Novembre 2021 avant les interventions, selon les étapes suivantes :

- Etude des plans DICT des exploitants des réseaux souterrains ;
- Reconnaissances visuelles.

7.3. Investigations sur les sols (A200)

Les travaux de reconnaissance du sous-sol du site ont été conduits par notre société le 22 Novembre 2021.

Ils ont consisté en la réalisation de 9 sondages à la pelle mécanique descendus à une profondeur maximale de 2 mètres. Les investigations sur les sols ont été effectuées par temps sec.

7.4. Localisation des investigations

Les sondages pour l'évaluation de la qualité du sous-sol ont été répartis :

- De manière à mailler l'ensemble de la zone d'étude ;
- En fonction des contraintes liées au site (zones accessibles, réseaux...).
- Au droit des zones potentiellement polluées.

Un plan de localisation des sondages est présenté en Annexe 3.

7.5. Nature des investigations

Les investigations menées sur le site sont détaillées dans le tableau page suivante (*Cf. Tableau 5*).

Tableau 5 : Résumé des investigations réalisées par ECR Environnement

Parcelle	Type de reconnaissance	Profondeur des sondages (m)	Profondeur d'investigations (m)	N° des sondages
Parcelle cadastrée n° 171, section DY	Pelle mécanique	2	0,0-2,0	PM1
		1.7	0,0-1,7	PM2
		2	0,0-2,0	PM3
		2	0,0-2,0	PM4
		1.7	0,0-1,7	PM5
		2	0,0-2,0	PM6
		1,5	0,0-1,5	PM7
		2	0,0-2,0	PM8
		2	0,0-2,0	PM9
	Carottier	0	0-0,05	SC1
		0	0-0,05	SC2
		0	0-0,05	SC3

7.6. Lithologie des terrains rencontrés

Les sondages de reconnaissance des sols sont permis de mettre en évidence la lithologie suivante :

- Des remblais +/- graveleux de 0 à 0,5 mètres/TA ;
- Des argiles +/- calcaires de couleur jaune-orangé, de 0,5 m à 2 mètres/TA.

7.7. Constats organoleptiques

Lors des investigations, aucun constat organoleptique n'a été constaté.

7.8. Résumé des constats et des lithologies

Le tableau ci-dessous résume les lithologies rencontrées et de la présence ou non de constats organoleptiques (Cf. Tableau 6).



Tableau 6 : Résumé des lithologies rencontrées et des constats organoleptiques

Sondage	Prof. (m)	Lithologies	Constats	Mesure PID (ppm)
PM1	0-0,5	Remblais : Bloc + gravier + terre noire (sur 5 cm d'épaisseur)	RAS (Rien à signaler)	0
	0,5-1	Argiles calcaires jaune-orangée	RAS	0
	1-2	Argiles calcaires de couleur jaune-orangée ocre avec un horizon supérieur marneux	RAS	0
PM2	0-1	Remblais sableux + Bloc béton + brique + enrobé	RAS	0
	1-1,1	Argiles de couleur jaune -orangée + remblais avec une frange noire	RAS	0
	1,1-1,7	Refus sur calcaire	RAS	0
PM3	0-0,15	Concassé calcaire	RAS	0
	0,15-1	Argiles calcaires de couleur jaune-orangée	RAS	0
	1-2	Argiles calcaires de couleur jaune-orangée + claire	RAS	0
PM4	0-0,3	Terreaux	RAS	0
	0,3-0,5	Remblais + briques + plastiques	RAS	0
	0,5-1	Argiles calcaires de couleur jaune-orangée	RAS	0
	1-1,5	Argiles calcaires de couleur jaune-orangée	RAS	0
	1,5-2	Argiles calcaires ocre	RAS	0
PM5	0-0,3	Terreaux + remblai plastique	RAS	0
	0,3-0,5	Remblais	RAS	0
	0,5-1	Argiles calcaires de couleur jaune-orangée	RAS	0
	1-1,7	Argiles calcaires de couleur jaune-orangée + bloc + refus	RAS	0
PM6	0-0,3	Terreaux	RAS	0
	0,3-2	Argiles calcaires de couleur jaune-orangée + bloc	RAS	0
PM7	0-0,4	Argiles + remblais	RAS	0
	0,4-0,8	Argiles beiges avec cailloutis calcaires + refus calcaires compacts	RAS	0
	0,8-1	Argiles + blocs	RAS	0
	1-1,5	Bloc calcaire + argiles de couleur jaune-orangée	RAS	0
PM8	0-0,3	Remblais + Bloc	RAS	0
	0,3-0,7	Argiles calcaires de couleur jaune-orangée	RAS	0
	0,7-1	Argiles calcaires marneuses grise très compactes	RAS	0
	1-2	Argiles calcaires marneuses grises	RAS	0
PM9	0-0,05	Remblais gravier	RAS	0
	0,05-0,7	Argiles calcaires de couleur jaune-orangée	RAS	0
	0,7-1	Argiles calcaires marneuses de couleur-orangée ocre	RAS	0
	1-2	Argiles calcaires marneuses ocre	RAS	0

7.9. Programme analytique engagé sur les sols

L'ensemble des analyses proposées a été effectué par le laboratoire SGS dont les accréditations sont reconnues par le COFRAC en France. D'après les constats organoleptiques et l'étude historique du site, le programme analytique suivant a été mis en œuvre (Cf. *Tableau 7*).



Tableau 7 : Programme analytique engagé sur les sols

N°	Sondage échantillonné	Prof. (m)	Analyses	
			ISDI + 8 métaux	Brut + Volatils
1	PM1-1	0-1	X	
2	PM1-2	1-2		X
3	PM2-1	0-1	X	
4	PM2-2	0-1,7		X
5	PM3-1	0-1	X	
6	PM3-2	1-2		X
7	PM4-1	0-1	X	
8	PM4-2	1-2		X
9	PM5-1	0-1	X	
10	PM5-2	0-1,7		X
11	PM6-1	0-1	X	
12	PM6-2	1-2		X
13	PM7-1	0-0,8	X	
14	PM7-2	0,8-1,5		X
15	PM8-1	0-1	X	
16	PM8-2	1-2		X
17	PM9-1	0-1	X	
18	PM9-2	1-2		X

Pack ISDI : (critères d'acceptation définis par l'arrêté du 12/12/2014) incluant :

- sur sol brut : matière sèche, hydrocarbures C10-C40, hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP), hydrocarbures aromatiques monocycliques (BTEX), polychlorobiphényles (PCB), carbone organique total (COT), test de lixiviation EN 12457-2 (L/S = 10, 1x 24h).
- sur éluat : métaux et métalloïdes (As, Ba, Cd, Cr, Cu, Hg, Mo, Ni, Pb, Sb, Se, Zn), chlorures, fluorures, sulfates, indice phénol, carbone organique total (COT), fraction soluble.

Pack brut : HCT C10-C40, HAP, BTEX, PCB, 8 ETM (Arsenic, Cadmium, Chrome, Cuivre, Mercure, Nickel, Plomb, Zinc)

Métaux sur brut : 8 ETM (Arsenic, Cadmium, Chrome, Cuivre, Mercure, Nickel, Plomb, Zinc)

Pack volatils :

- COHV: Composés Organiques Halogénés Volatils avec 1,3-dichloropropène, 1,1-dichloroéthène, 1,2-dichloropropane, hexachlorobutadiène, Dichlorométhane, Chloroforme, tétrachlorométhane, Chlorure de vinyle, 1,2-dichloroéthane, Cis 1,2-dichloroéthylène, trans 1,2-dichloroéthylène, 1,1,1-trichloroéthane, trichloroéthylène, tétrachloroéthylène, bromoforme

8. DIAG INITIAL - INTERPRETATION DES RESULTATS DU MILIEU SOL

Les résultats de la mission DIAG réalisée le 17 janvier 2022 sont synthétisés dans les cartes des anomalies ci-dessous. Les résultats analytiques sur le milieu sol sont disponibles dans le rapport 2501545 DIAG + LEVE rédigé par ECR Environnement en Janvier 2022. Seuls les résultats analytiques sur les éléments traces métalliques sont présentés dans le tableau ci-dessous. En effet, une mise à jour des seuils de ce tableau a été nécessaire.

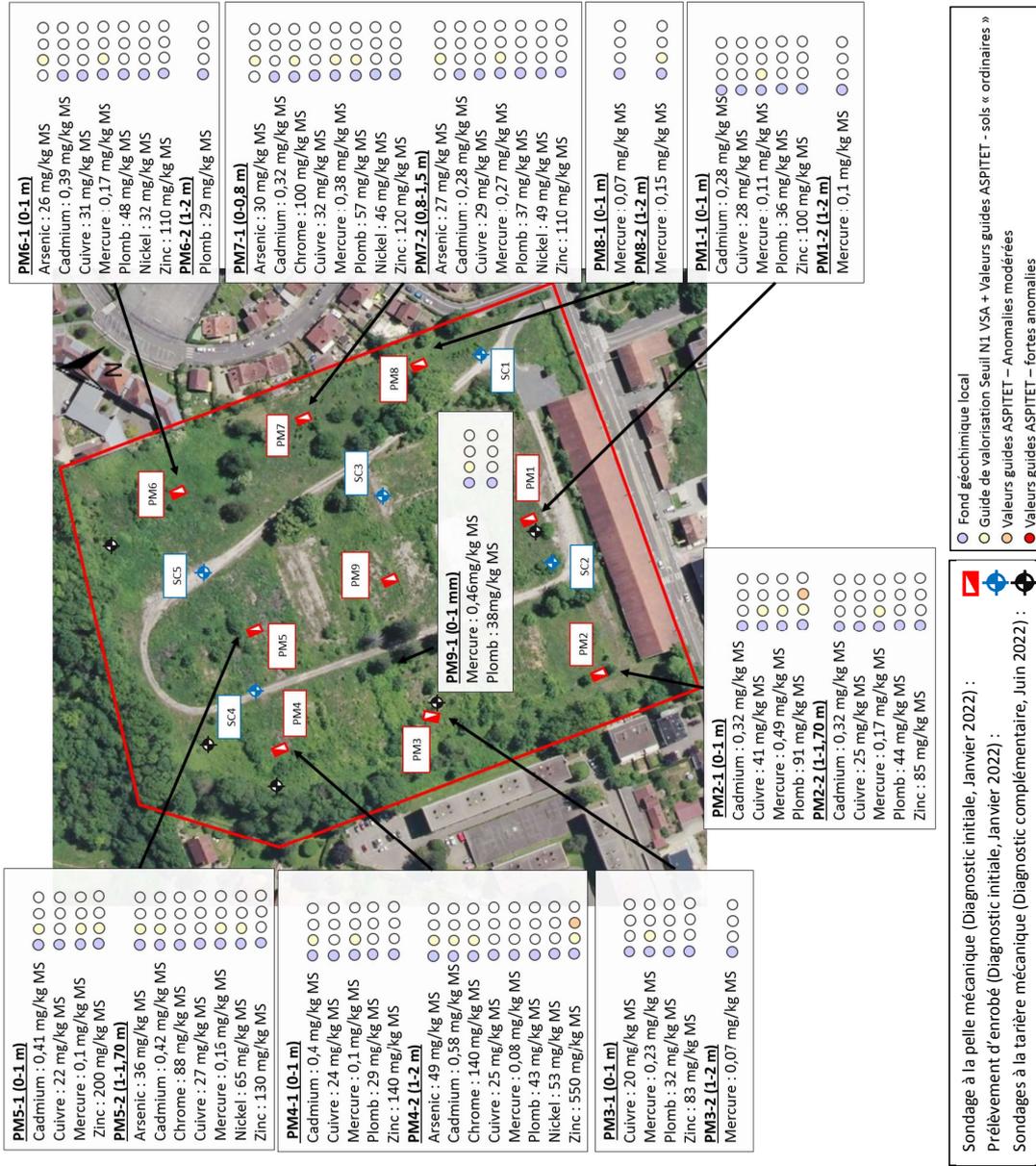


Tableau 8 : Résultats analytiques des éléments traces métallique, DJAG Initial - Janvier 2022

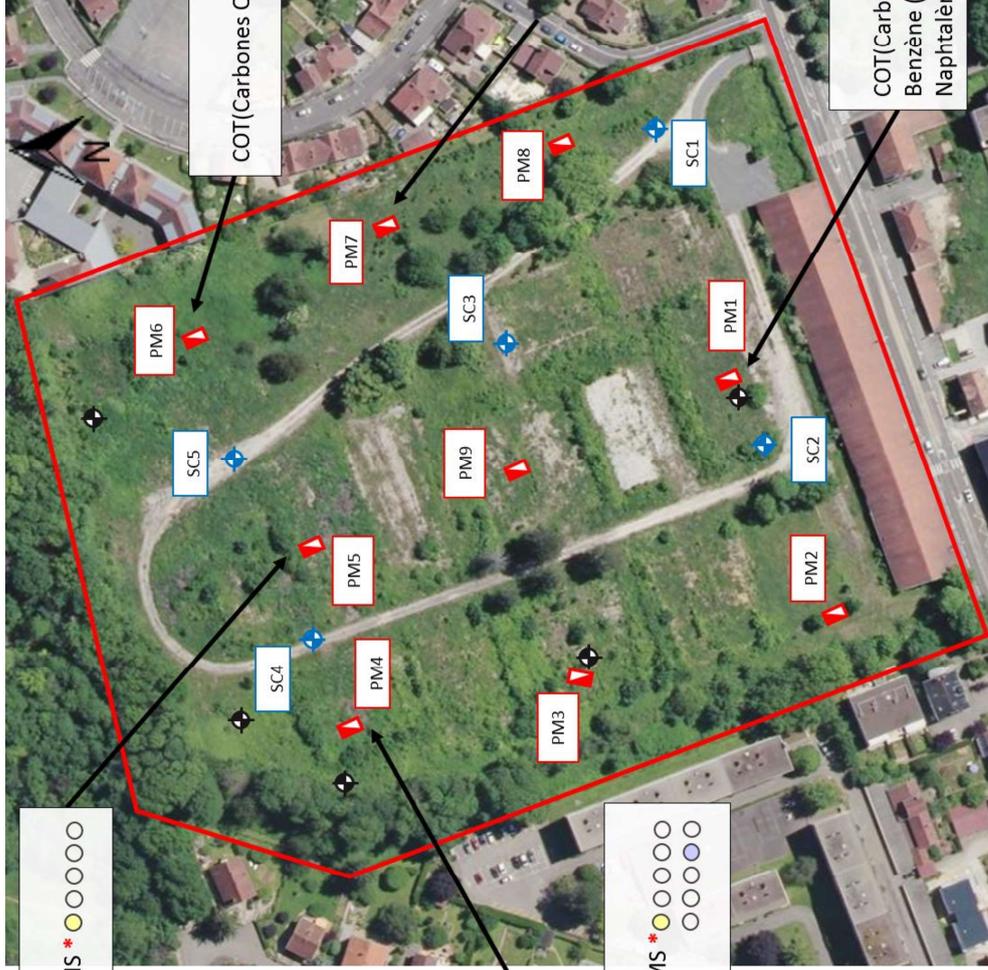
Paramètre	Unité	Valeurs guides ASPITET										Fond géochimique local	LQ																								
		Guide de valorisation de niveau 1 + ASPITET "ordinaire"		Anomalie modérée		Fortes anomalies		PM1-2		PM2-2				PM3-1		PM3-2		PM4-1		PM4-2		PM5-1		PM5-2		PM6-1		PM6-2		PM7-1		PM7-2		PM8-1		PM8-2	
arsenic	mg/kg MS	25	60	204	<1	11	13	20	11	21	18	12	49	14	36	28	21	30	27	13	1,7	19	5,7														
cadmium	mg/kg MS	0,4	2	0,26	<0,2	0,32	0,22	0,28	<0,2	0,39	<0,2	0,42	0,39	0,41	0,42	0,39	<0,2	0,32	0,28	<0,2	<0,2	<0,2															
chrome	mg/kg MS	90	160	100	<1	21	22	16	27	48	43	22	140	27	88	48	48	100	73	41	38	25															
cobalt	mg/kg MS	40	62	40	<1	41	25	28	6,2	20	13	24	25	22	27	31	16	32	28	9,8	4,1	7,5															
mercure	mg/kg MS	0,1	2,3	0,04	<0,05	0,17	0,23	0,11	0,1	0,08	0,07	0,1	0,08	0,1	0,16	0,17	<0,05	0,38	0,27	0,07	0,15	<0,05															
plomb	mg/kg MS	90	90	3000	<10	91	44	36	32	44	17	29	43	24	22	48	29	57	37	14	<10	38															
nickel	mg/kg MS	60	130	2076	<1	14	14	19	10	30	26	13	53	25	65	32	27	46	48	15	10	<10															
zinc	mg/kg MS	150	250	3000	<10	75	85	100	22	83	67	140	550	200	130	110	64	120	110	38	23	59	37														

Légende	
	Guide de valorisation de niveau 1 + ASPITET sols ordinaires sans dépassement du Fond géochimique local
	Guide de valorisation de niveau 1 + ASPITET sols ordinaires + Fond géochimique local
	ASPITET anomalies modérées
	ASPITET fortes anomalies
	Fond géochimique local

8.1. Cartographie des résultats analytiques des éléments traces métalliques selon le guide ASPITET, le guide de valorisation hors site du BRGM et le fond géochimique local



8.2. Cartographie des résultats analytiques dépassant les seuils du guide de valorisation hors site du BRGM et les seuils ISDI (Déchets inertes selon l'arrêté du 12/12/2014)



PM5-1 (0-1 m)
COT(Carbones Organiques Total) : 95000 mg/kg MS * ○○○○○○

PM6-1 (0-1 m)
COT(Carbones Organiques Total) : 51000 mg/kg MS * ○○○○○○

PM4-1 (0-1 m)
COT(Carbones Organiques Total) : 92000 mg/kg MS * ○○○○○○
Hydrocarbures Totaux C10-C40 : 56 mg/kg MS ○○○○○○

PM1-1 (0-1 m)
COT(Carbones Organiques Total) : 1500 mg/kg MS * ○○○○○○
Benzène (BTEX) : 0,14 mg/kg MS ○○○○○○
Naphthalène (HAP) : 0,43 mg/kg MS ○○○○○○

* conformément à l'arrêté du 28/10/2010, si le déchet ne respecte pas au moins une des valeurs fixées pour le chlorure, le sulfate ou la fraction soluble, le déchet peut être encore jugé conforme aux critères d'admission s'il respecte soit les valeurs associées au chlorure et au sulfate, soit celle associée à la fraction soluble ; de même si le déchet ne satisfait pas à la valeur limite indiquée pour le carbone organique total sur éluat à sa propre valeur de pH, le déchet peut être jugé conforme aux critères d'admission pour le carbone organique total sur éluat si le résultat de cette détermination ne dépasse pas 500 mg/kg de matière sèche.

☑ Sondage à la pelle mécanique (Diagnostic initiale, Janvier 2022)
⚡ Prélèvement d'enrobé (Diagnostic initiale, Janvier 2022)
⚡ Sondages à la tarière mécanique (Diagnostic complémentaire, Juin 2022)

○ Seuils ISDI (Déchets inertes selon l'arrêté du 12/12/2014)
● Seuils ISDND
● Seuils ISDD
⚡ Seuils du Guide de valorisation hors site (BRGM) – N2 Sous bâtiment
⚡ Seuils du Guide de valorisation hors site (BRGM) – N2 Sous espaces verts ou aménagements routiers revêtus

8.3. Lecture des analyses sur le milieu sol

Aucun dépassement des seuils ISDI n'a été répertorié concernant les sols.

Les teneurs les plus importantes en métaux et en hydrocarbures se localisent au nord/ouest de la parcelle, à proximité de l'ancienne décharge située sur le secteur voisin (Polygone du GENIE).

Des teneurs en BTEX (benzène) et en HAP (naphtalène) ont été observées au sud de la parcelle à proximité du bâtiment existant.

Dans la partie nord/est de la parcelle, les sondages ont également mis en évidence, dans une moindre mesure, des teneurs en métaux légèrement supérieures au fond géochimique de Besançon.

8.4. Résultats analytiques sur les enrobés

La synthèse des résultats relatifs aux enrobés sont présentés dans le tableau page suivante (*Cf. Tableau 9*).



Tableau 9 : Synthèse des résultats d'analyse sur les enrobés

Paramètre	Unité	Seuil de recyclage à chaud	Seuil de recyclage à froid	SC1	SC2	SC3	SC4	SC5
matière sèche	% massique			98,3	98,4	98,6	97,8	97
HYDROCARBURES AROMATIQUES POLYCYCLIQUES								
benzo(k)fluoranthène	mg/kg MS			<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5
benzo(b)fluoranthène	mg/kg MS			<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5
benzo(a)pyrène	mg/kg MS			<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5
chrysène	mg/kg MS			<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5
fluorène	mg/kg MS			<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5
phénanthrène	mg/kg MS			<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5
dibenzo(ah)anthracène	mg/kg MS			<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5
benzo(a)anthracène	mg/kg MS			<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5
indéno(1,2,3-cd)pyrène	mg/kg MS			<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5
fluoranthène	mg/kg MS			<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5
naphtalène	mg/kg MS			<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5
pyrène	mg/kg MS			<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5
anthracène	mg/kg MS			<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5
acénaphtylène	mg/kg MS			<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5
acénaphène	mg/kg MS			<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5
benzo(ghi)peryène	mg/kg MS			<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5
Somme des HAP (16) - EPA	mg/kg MS	50	500	<8.0	<8.0	<8.0	<8.0	<8.0
RECHERCHE QUALITATIVE D'AMIANTE (GENNEVILLIERS)								
Résultats d'amiante	-	Absence	Absence	non	non	non	non	non

Les enrobés prélevés ne présentent **pas de trace d'amiante**, aucune préconisation n'est donc donnée par rapport à la réglementation en vigueur concernant la présence d'amiantes dans les enrobés.

Les enrobés ne présentent également pas de **trace d'HAP**.

⇒ **Les enrobés prélevés pourront donc faire l'objet d'une évacuation vers un centre de recyclage à chaud compte tenu de leur teneur en HAP.**

A noter que des apports différents d'enrobé ont pu avoir lieu sur le site. Il conviendra de les analyser avant tout envoi en filière.



8.5. Conclusion et recommandations – Mission DIAG 17/01/2022

Les recommandations suivantes ne constituent pas un réel plan de gestion du site mais ont pour but d'orienter le projet d'aménagement.

La présence de benzène et de naphthalène bien que ponctuelle, (au point de sondage PM1) et de mercure sur l'ensemble de la zone d'étude laisse prétendre qu'il est judicieux de procéder à des investigations complémentaires sur ces composés eu égard le caractère très volatil qui leur permet d'entrer en contact avec les futurs usagers.

De fait, nous avons listé plusieurs investigations complémentaires qui peuvent être réalisées de manières indépendantes ou concomitantes :

- Réaliser une analyse des risques résiduels lorsque le projet sera mieux défini ;
- Mettre en place un ou des piézaires en vue de mesurer plus précisément la teneur de ces composés dans les gaz du sol et par conséquent d'optimiser les futures mesures correctrices à mettre en place ;
- D'envoyer directement en décharge les sols impactés et de réaliser un prélèvement en fond de fouille afin de s'assurer de l'absence de ces composés après terrassement ;
- Réaliser un maillage (*via* des nouveaux sondages) autour des sources polluantes identifiées afin de mieux évaluer les volumes impactés.

En parallèle de ces propositions, des mesures correctrices capables d'isoler les voies de transfert sont à étudier, telle que par exemple le **confinement physique par couverture et étanchéification**.

Il s'agit d'isoler les contaminants de façon à prévenir leur propagation de manière pérenne. Cela peut se faire par la mise en place d'une surface d'enrobé, d'une dalle béton ou d'un apport de 30 cm de terre végétale saine compactée au niveau du sol.

Concernant les canalisations, il est recommandé de mettre en place un « buffer » (une zone tampon) composé de remblais sains autour des canalisations AEP afin de limiter la propagation des polluants.

Pour le projet d'aménagement, les sols excavés pourront être envoyés en installation de stockage des déchets inertes (ISDI) ou réutiliser sur site en respectant les dispositions décrites dans le chapitre 12.



9. ETUDE DE DIAGNOSTIC COMPLEMENTAIRE 17/06/2022

9.1. Description des investigations sur les sols – A200

9.1.1. Mesures d'hygiène et de sécurité

L'équipe technique d'ECR Environnement est constituée d'ingénieurs d'études spécialisé dans les sites et sols pollués. Les mesures de sécurité utilisées lors de l'intervention sont celles usuellement utilisées dans la profession, à savoir :

- Port des équipements de protection individuelle (casque, gants, lunettes, chaussures de sécurité, vêtements de chantier...);
- Maintien de la propreté du site.

Au préalable de l'intervention, la demande de DICT (Déclaration d'Intention de Commencement de Travaux) a été réalisée et transmise aux différents concessionnaires de réseaux aux abords du site.

9.1.2. Préparation de l'intervention

Les sondages ont été implantés le 23 mai 2022 avant les interventions, selon les étapes suivantes :

- Etude des plans DICT des exploitants des réseaux souterrains ;
- Reconnaissances visuelles.

9.1.3. Investigations sur les sols (A200)

Les travaux de reconnaissance du sous-sol du site ont été conduits par notre société le 23 mai 2022.

Ils ont consisté en la réalisation de 5 sondages à la tarière mécanique descendus à une profondeur maximale de 3 m. Parmi ces sondages, 3 ont fait l'objet de la pose de piézair. Ces sondages sont profonds de 1,5 m.

Les investigations sur les sols ont été effectuées par temps pluvieux.

9.1.4. Localisation des investigations

Les sondages pour l'évaluation de la qualité du sous-sol ont été répartis :

- De manière à mailler l'ensemble de la zone d'étude ;
- Au droit des futurs bâtiments ;
- En fonction des résultats de l'étude de diagnostic réalisé en janvier 2022 ;
- En fonction des contraintes liées au site (zones accessibles, réseaux...);
- Au droit des zones potentiellement polluées.

Un plan de localisation des sondages est présenté en Annexe 3.

9.1.5. Nature des investigations

Les investigations menées sur le site sont détaillées dans le tableau page suivante (Cf. *Tableau 10*).



Tableau 10 : Résumé des investigations réalisées par ECR Environnement

Parcelle	Type de reconnaissance	Profondeur des sondages (m)	Profondeur d'investigations (m)	N° des sondages
Parcelle cadastrée n° 171, section DY	Tarière mécanique	1,5	0-1,5	ST-PA-1
		1.5	0-1,5	ST-PA-2
		3	0-3	ST3
		2,70	0-2	ST4
		1,70	0-1.7	ST5
	-	0	0	PM1-BIS

9.1.6. Stratégie d'échantillonnage

Un relevé précis de la lithologie et un examen visuel des terres ont été effectués de manière systématique sur tous les sondages afin de préciser la nature géologique des terrains rencontrés et d'évaluer la présence d'une éventuelle pollution (Cf. Annexe 5 « coupe schématique des sondages »).

Afin d'éliminer tout risque de contamination croisée entre les sondages de sol, des gants à usage unique ont été utilisés à chaque prélèvement.

En l'absence de constats organoleptiques :

Pour chaque sondage, un échantillon de sols pour chaque horizon rencontré, échantillon dit « moyen » a été prélevé. Si ce dernier fait plus d'un mètre d'épaisseur, le prélèvement sera fait au mètre linéaire.

En présence de constats organoleptiques :

Pour chaque sondage, un échantillon de la couche lithologique incriminée a été prélevé ainsi qu'un échantillon des couches sus et sous-jacentes.

Les échantillons ont été conditionnés en flacons hermétiques de verre, fournis par le laboratoire SGS. Ils ont été conservés en glacière à une température entre 4 et 6°C jusqu'à leur envoi express au laboratoire à Gennevilliers (92).

L'ensemble des opérations réalisées sur les échantillons (prélèvement, conditionnement, envoi) a été effectué selon la norme AFNOR NF ISO 18400-102 de décembre 2017.

Des mesures semi-quantitatives pour les composés organiques volatils (COV) ont été réalisées à l'aide d'un photo-ioniseur (PID), permettant de mesurer la présence de composés volatils dans les gaz du sol.

Les sondages ont ensuite été rebouchés avec les matériaux extraits en respectant les couches lithologiques initiales. Aucun déchet en excédent n'a été produit lors de notre intervention.

9.1.7. Difficultés rencontrées

Aucune difficulté particulière n'a été observée lors de l'intervention.



9.1.8. Lithologie des terrains rencontrés

Les sondages de reconnaissance des sols sont permis de mettre en évidence la lithologie suivante :

- Des remblais argileux à cailloutis de 0 à 1,5 mètres/TA ;
- Des argiles brunes +/- sableuses à cailloutis, de 1,5 m à 3 mètres/TA ou au refus sur calcaires.

9.1.9. Constats organoleptiques

Lors des investigations, aucun constat organoleptique n'a été constaté.

9.1.10. Résumé des constats et des lithologies

Le tableau ci-dessous résume les lithologies rencontrées et de la présence ou non de constats organoleptiques (Cf. *Tableau 11*).

Tableau 11 : Résumé des lithologies rencontrées et des constats organoleptiques

Sondage	Prof. (m)	Lithologies	Constats	Mesure PID (ppm)
ST-PA 1	0-0,5	Terre végétale puis remblais argileux à cailloutis.	RAS (Rien à signaler)	0
	0,5-1,5	Remblais argileux à cailloutis. Présence de briquettes	RAS	0
ST-PA-2	0-1,5	Remblais argileux bruns à cailloutis et cailloux. Présence de brique	RAS	0
			RAS	0
ST3	0-0,3	Blocs calcaires	RAS	0
	0,3 – 1,5	Remblais argilo-limoneux à cailloux. Présence de briquettes et de traces noir		
	1,5 – 2,1	Argiles brunes légèrement sableuses		
	2,1 - 3	Argiles compactes à cailloutis		
ST4	0-1,5	Remblais argileux à cailloutis et cailloux. Forte présence de briquettes.	RAS	0
	1,5 – 2,7	Argiles brunes légèrement sableuses à cailloutis. Refus sur calcaires	RAS	0
ST5	0- 1	Remblais argileux à cailloutis et cailloux calcaires. Présence de briquettes, charbons	RAS	0
	1 – 1,5	Argiles brunes à cailloux et galets	RAS	0
	1,5- 1,7	Calcaires. Refus sur calcaires		

9.1.11. Programme analytique engagé sur les sols

L'ensemble des analyses proposées a été effectué par le laboratoire SGS dont les accréditations sont reconnues par le COFRAC en France. D'après les constats organoleptiques et l'étude historique du site, le programme analytique suivant a été mis en œuvre (Cf. *Tableau 12*) :



Tableau 12 : Programme analytique engagé sur les sols

N°	Sondage échantillonné	Prof. (m)	Analyses		Enrobé
			ISDI + C5-C10+ Volatils	Brut + Volatils	Amiante+ HAP
1	ST1-1	0 – 0,5	X		
2	ST1-2	0,5 – 1,5		X	
3	ST2-1	0 – 0,5	X		
4	ST2-2	0,5 – 1,5		X	
5	ST3-1	0 – 1	X		
6	ST3-2	1 – 2		X	
7	ST3-3	2 – 3		X	
8	ST4-1	0 – 1,5	X		
9	ST4-2	1,5 – 2,70		X	
10	ST5-1	0 – 1	X		
11	ST5-2	1 – 1,70		X	
12	PM1-BIS	Surface			X

Pack ISDI : (critères d'acceptation définis par l'arrêté du 12/12/2014) incluant :

- sur sol brut : matière sèche, hydrocarbures C10-C40, hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP), hydrocarbures aromatiques monocycliques (BTEX), polychlorobiphényles (PCB), carbone organique total (COT), test de lixiviation EN 12457-2 (L/S = 10, 1x 24h).
- sur éluat : métaux et métalloïdes (As, Ba, Cd, Cr, Cu, Hg, Mo, Ni, Pb, Sb, Se, Zn), chlorures, fluorures, sulfates, indice phénol, carbone organique total (COT), fraction soluble.

Pack brut : HCT C10-C40, HAP, BTEX, PCB, 8 ETM (Arsenic, Cadmium, Chrome, Cuivre, Mercure, Nickel, Plomb, Zinc)

Pack C5- C10 : hydrocarbure volatils C5—C10

Pack volatils :

- COHV : Composés Organiques Halogénés Volatils avec 1,3-dichloropropène, 1,1-dichloroéthène, 1,2-dichloropropane, hexachlorobutadiène, Dichlorométhane, Chloroforme, tétrachlorométhane, Chlorure de vinyle, 1,2-dichloroéthane, Cis 1,2-dichloroéthylène, trans 1,2-dichloroéthylène, 1,1,1-trichloroéthane, trichloroéthylène, tétrachloroéthylène, bromoforme

Pack enrobé : hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) et recherche d'amiante.

9.2. Interprétation des résultats

9.2.1. Valeurs de références sur le milieu sol

Les résultats analytiques obtenus sur les sols ont été comparés aux valeurs de référence utilisées par la profession et applicables au site, à savoir pour les métaux, les teneurs dans le sol sont comparées aux valeurs proposées pour les sols « ordinaires de toutes granulométries » issues du programme ASPITET (INRA, 1997).

Les résultats analytiques obtenus sur les sols ont été comparés :

- Aux valeurs figurant dans l'arrêté du 12 décembre 2014 relatif aux installations de stockage de déchets inertes. Ces critères de comparaison ne sont qu'indicatifs, la définition de l'exutoire des matériaux ne pouvant être établie que selon les critères spécifiques au centre de traitement pressenti figurant dans son arrêté d'autorisation d'exploitation ;
- Aux critères d'acceptation courante en Installation de Stockage de Déchets non Dangereux (ISDND) et en Installation de Stockage de Déchets Dangereux (ISDD) ;

- Aux valeurs seuils du guide de valorisation hors site des terres excavées issues de sites et sols potentiellement pollués dans des projets d'aménagement (BRGM, novembre 2017). On distingue trois niveaux d'approche :
 - ⇒ Niveau 1 (approche nationale) : pour tout projet d'aménagement, les terres excavées peuvent être valorisées hors site dans les espaces verts sous une couverture de terre végétale, dans des aménagements routiers revêtus, sous bâtiments industriels, commerciaux, de bureaux ou de logements collectifs avec ou sans sous-sol dès lors que les valeurs seuils de niveau 1 sont respectées ;
 - ⇒ Niveau 2 (approche locale urbaine) : les éléments traces métalliques et composés organiques persistants (PCB et HAP) excédant les valeurs seuils de niveau 1 doivent être comparés aux concentrations des substances constituant le fond pédogéochimique local (bases de données régionales ou urbaines) ; les autres paramètres (HCT, BTEX, COHV et naphthalène) sont à comparer aux valeurs seuils suivantes :
 - VSA : utilisation possible pour les projets d'aménagement définis dans l'approche de niveau 1 à l'exclusion des bâtiments de logements collectifs ;
 - VSB : utilisation possible uniquement sous aménagements paysagers ou routiers ;
 - ⇒ Niveau 3 (approche au cas par cas) : dans le cas où les bases de données du fond pédogéochimique local n'existeraient pas, ou si d'autres substances polluantes sont mises en évidence (...), cette démarche inclue la caractérisation du site receveur et si besoin des études spécifiques ; les valeurs seuils VSA et VSB s'appliquent également dans cette démarche.
- Au fond géochimique local. Le fond géochimique retenu est celui proposé par de FOREGS (« Geochemical Atlas of Europe ») : (http://weppi.gtk.fi/publ/foregsatlas/maps_table.php). Cette base de données a été retenue car les valeurs proposées sont inférieures aux valeurs ASPITET « Sol ordinaire ». Le tableau ci-dessous (Cf. *Tableau 13*) répertorie les différentes valeurs du fond géochimique de Besançon selon les bases de données.

Tableau 13 : Valeur du Fond-géochimique de Besançon selon les bases de données

	ASPITET (ordinaire)	ASPITET (modérée)	FOREG	BRGM	Gis Sol/ INRAE	FGN du Doubs
Arsenic en mg/Kg	25	60	33,1	29/ 15	-	-
Cadmium en mg/Kg	0,45	2	0,26	0,94 / 0,78	1,41/ 2,72	0,73
Chrome en mg/Kg	90	150	88	44,3 / 39,5	210,3 / 240,8	55,3
Cuivre en mg/Kg	20	62	17,5	52,01 / 119,5	39,65 /53,9	16,2
Mercure en mg/Kg	0,1	2,3	0,04	1,021 / 0,53	-	0,06
Plomb en mg/Kg	50	90	29	124 / 226,01	102,1 / 69,6	33,6
Nickel en mg/Kg	60	130	32	25,5 / 20,3	123,9 / 110,9	36,8
Zinc en mg/Kg	100	250	83	174,5 / 278	418,4 / 305,07	98,2



Les substances n'ayant pas de valeur de référence sont mises en évidence dès lors que leurs concentrations dépassent les limites de quantification du laboratoire.

9.2.2. Valeurs de références pour les enrobés

Les résultats analytiques obtenus ont été comparés aux valeurs de référence figurant dans l'arrêté du 12 décembre 2014 relatif aux installations de stockage de déchets inertes. Ces critères de comparaison ne sont qu'indicatifs, la définition de l'exutoire des matériaux ne pouvant être établie que selon les critères spécifiques au centre de traitement pressenti figurant dans son arrêté d'autorisation d'exploitation.

Ils sont aussi comparés :

- aux critères de l'arrêté du 18/11/11 relatif au recyclage en technique routière des mâchefers d'incinération de déchets non dangereux. Les usages routiers de type 1 sont les usages d'au plus trois mètres de hauteur en sous-couche de chaussée ou d'accotement d'ouvrages routiers revêtus. Les usages routiers de type 2 sont les usages d'au plus six mètres de hauteur en remblai technique connexe à l'infrastructure routière ou en accotement, dès lors qu'il s'agit d'usages au sein d'ouvrages routiers recouverts.

- aux critères du guide du Céréma du 01/01/2016 « Acceptabilité environnementale de matériaux alternatifs en technique routière – Les matériaux de déconstruction issus du BTP. ». Ce guide comprend de nombreux critères en fonction des matériaux, les tableaux présentant les seuils d'acceptation sont présentés en annexe.

9.2.3. Classification des matériaux en termes de déchet

Les terres et matériaux potentiellement pollués peuvent être considérés comme des déchets et nécessitent une attention particulière quant à leur évacuation du site concerné. Ils seront susceptibles d'être évacués vers des centres de stockage de classe 3, 2 ou 1 selon leur classement en déchets inertes, non dangereux ou dangereux. Ce classement s'établit sur les concentrations mesurées sur matières sèches ou sur des essais de lixiviation qui précisent la mobilité des polluants.

La définition d'une filière d'évacuation de matériaux et terres est basée à la fois sur des teneurs en éléments et substances sur la matière sèche et sur des concentrations dans les lixiviats.

Les critères d'acceptation des décharges et centres de stockages sont définis par leur arrêté préfectoral d'exploitation. Ces critères peuvent donc varier par rapport aux valeurs définies dans les législations françaises et européennes.

Le premier critère d'acceptation reste le critère organoleptique : aspect visuel, texture, odeur.

Des paramètres spécifiques comme les cyanures, les sulfates (sur éluats), les métaux lourds (sur matière brute), etc. peuvent être demandés pour certains certificats d'acceptation préalable (CAP).

9.2.4. Résultats analytiques des échantillons de sols

Les bulletins analytiques du laboratoire correspondants sont fournis en annexe 5. Les résultats analytiques les plus pertinents sont synthétisés dans les tableaux ci-après.



Les métaux sur brut
Les résultats d'analyses sont présentés dans le tableau ci-dessous (Cf. Tableau14) :

Tableau 14 : Synthèse des résultats d'analyses sur les éléments traces métalliques

Paramètre	Unité	Valeurs guides ASPITET		Fond géochimique local	LQ	ST1-1	ST1-2	ST2-1	ST2-2	ST3-1	ST3-2	ST3-3	ST4-1	ST4-2	ST5-1	ST5-2
		Guide de valorisation seuils de niveau 1 + Soils "ordinaires"	Anomalie modérée			Fortes anomalies	0-0,5 m	0,5-1,5 m	0-0,5 m	0,5-1,5 m	1-2 m	2-3 m	0-1,5 m	1,5 - 2,70 m	0-1 m	1 - 1,70 m
arsenic	mg/kg MS	25	60	284	<1	-	18	-	26	-	55	82	-	120	-	30
cadmium	mg/kg MS	0,4	2	16	<0,2	-	<0,2	-	<0,2	-	0,75	1,3	-	2,8	-	0,35
chrome	mg/kg MS	90	150	180	<1	-	42	-	55	-	73	150	-	120	-	73
cuivre	mg/kg MS	40	62	102	<1	-	18	-	16	-	26	25	-	26	-	26
mercure	mg/kg MS	0,1	2,3	0,04	<0,05	-	0,17	-	0,13	-	0,09	0,09	-	0,09	-	0,23
plomb	mg/kg MS	50	90	3000	<10	-	34	-	23	-	38	45	-	62	-	34
nickel	mg/kg MS	60	130	2076	<1	-	28	-	32	-	48	67	-	86	-	49
zinc	mg/kg MS	150	250	3800	<10	-	61	-	76	-	240	270	-	750	-	130

Les résultats analytiques ont mis en évidence des concentrations en éléments trace métallique :

- Dépassant le fond géochimique local et les seuils du guide de valorisation hors site N1 VSA :
 - En Arsenic pour l'échantillon au droit de ST3-2 ;
 - En Cadmium pour les échantillons au droit de ST3-2, ST3-3 ;
 - En Chrome pour l'échantillon au droit de ST4-2 ;
 - En mercure pour les échantillons au droit de ST1-2, ST2-2, ST5-2 ;
 - En Plomb pour l'échantillon au droit de ST4-2 ;
 - En Nickel pour les échantillons au droit de ST3-3, ST4-2 ;
 - En Zinc pour l'échantillon au droit de ST3-2.
- Dépassant les limites ASPITET sols « fortes anomalies » :
 - En Arsenic pour les échantillons au droit de ST3-3, ST4-2 ;
 - En Cadmium pour l'échantillon au droit de ST4-2 ;
 - En Chrome pour l'échantillon au droit de ST3-3 ;
 - En Zinc pour les échantillons au droit de ST3-3 et ST4-2.

Légende	
	Guide de valorisation de niveau 1 + ASPITET sols ordinaires sans dépassement du Fond géochimique local
	Guide de valorisation de niveau 1 + ASPITET sols ordinaires + Fond géochimique local
	ASPITET anomalies modérées
	ASPITET fortes anomalies
	Fond géochimique local

Les PCB

Les résultats d'analyses des hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) sont présentés dans le tableau ci-après (Cf. Tableau 16) :

Tableau 16 : Résultats analytique sur les PCB

Paramètre	Unité	Seuils ISDI			Seuils ISDND			Seuils ISDD			Seuils N2 VSA			LQ
		1000	10000	50000	100	1000	50000	100	1000	50000	100	1000	50000	
POLYCHLOROBIPHENYLS (PCB)														
PCB 28	µg/kg MS													
PCB 52	µg/kg MS													
PCB 101	µg/kg MS													
PCB 118	µg/kg MS													
PCB 138	µg/kg MS													
PCB 153	µg/kg MS													
PCB 180	µg/kg MS													
PCB totaux (7)	µg/kg MS													
		ST1-1 0-0,5 m	ST1-2 0,5-1,5 m	ST2-1 0-0,5 m	ST2-2 0,5-1,5 m	ST3-1 0-1 m	ST3-2 1-2 m	ST3-3 2-3m	ST4-1 0-1,5 m	ST4-2 1,5 - 2,70 m	ST5-1 0-1 m	ST5-2 1 - 1,70 m		
		1,9	<1	2,1	<1	1,6	18	1,6	1,8	<1	2,3	2,8		
		1,3	<1	<1	<1	<1	4,9	<1	<1	<1	<1	<1		
		<1	<1	<1	<1	<1	1,6	<1	<1	<1	<1	<1		
		<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1		
		<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1		
		<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1		
		<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1		
		<1	<1	<1	<1	<1	25	<1	<1	<1	<1	<1		

Les résultats analytiques ont mis en évidence des concentrations en PCB inférieures ou proche des limites de quantification du laboratoire aux droit de l'ensemble des échantillons. Aucun dépassement de seuil n'a été observé.

Les Éluats

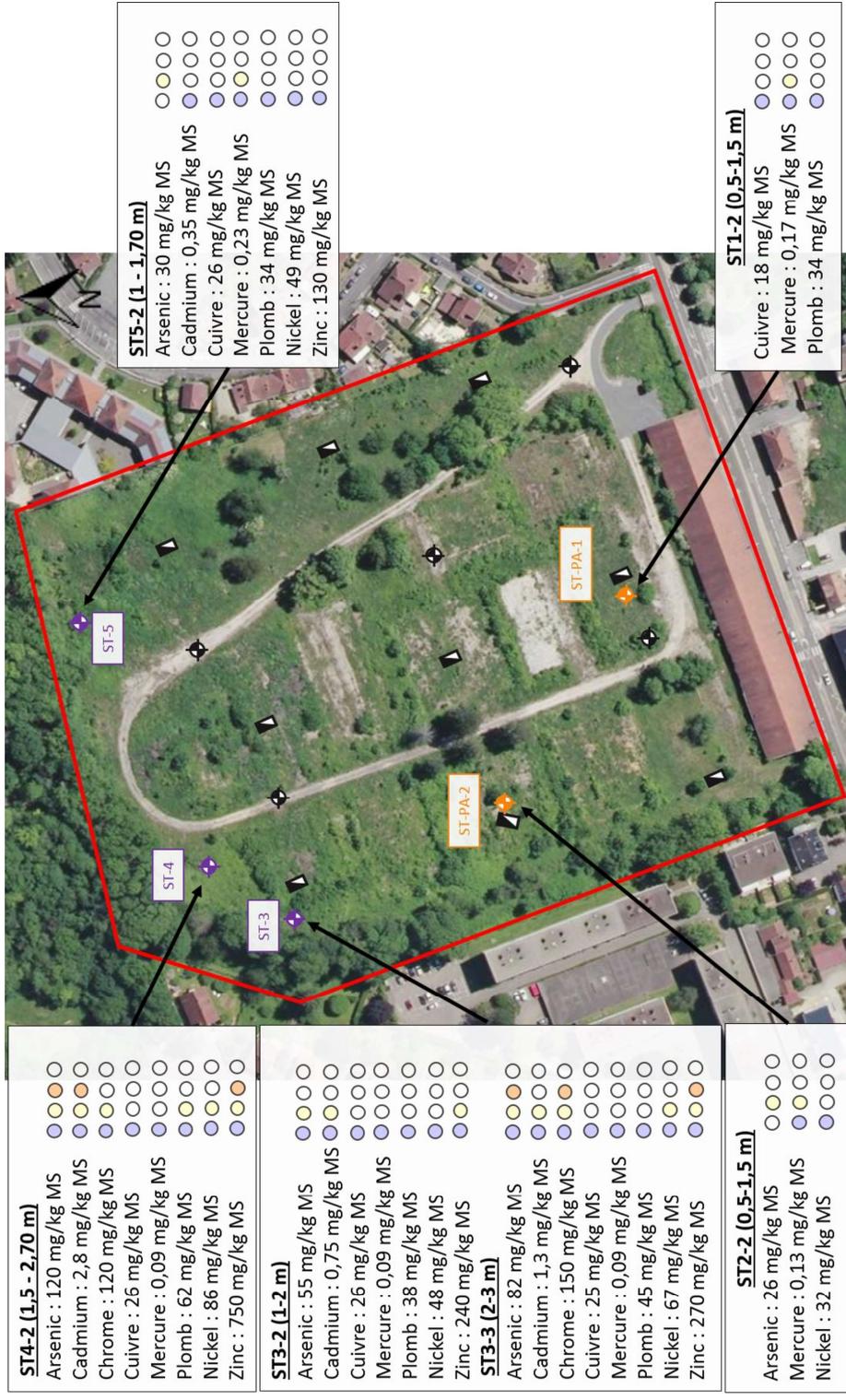
Les résultats d'analyses sont présentés dans le tableau ci-après (Cf. Tableau 17) :

Tableau 17 : Synthèse des analyses sur les Éluats

Paramètre	Unité	Seuils ISDI	Seuils ISDND	Seuils ISDD	LQ	ST1-1		ST2-1		ST3-1		ST4-1		ST5-1	
						0-0,5 m	0,5-1,5 m	0-0,5 m	0,5-1,5 m	0-1 m	1-2 m	0-1,5 m	1,5 - 2,70 m	0-1 m	1 - 1,70 m
COD, COT sur éluat	mg/kg MS	500	800	1000	<5	17	-	14	-	8,8	-	12	-	18	-
antimoine	mg/kg MS	0,06	21	5	<0,039	<0,02	-	<0,02	-	<0,02	-	<0,02	-	<0,02	-
arsenic	mg/kg MS	0,5	4	25	<0,05	<0,01	-	<0,01	-	<0,01	-	<0,01	-	<0,01	-
baryum	mg/kg MS	20	100	300	<0,05	<0,05	-	0,05	-	<0,05	-	0,07	-	0,12	-
cadmium	mg/kg MS	0,04	2	5	<0,004	<0,002	-	<0,002	-	<0,002	-	<0,002	-	<0,002	-
chrome	mg/kg MS	0,5	10	70	<0,01	<0,01	-	0,02	-	<0,01	-	<0,01	-	<0,01	-
cuivre	mg/kg MS	2	50	100	<0,05	<0,02	-	<0,02	-	<0,02	-	<0,02	-	<0,02	-
mercure	mg/kg MS	0,01	0,6	2	<0,0005	<0,0005	-	<0,0005	-	<0,0005	-	<0,0005	-	<0,0005	-
plomb	mg/kg MS	0,5	10	50	<0,1	<0,02	-	<0,02	-	<0,02	-	<0,02	-	<0,02	-
molybdène	mg/kg MS	0,5	15	30	<0,05	0,03	-	0,02	-	<0,02	-	<0,02	-	<0,02	-
nickel	mg/kg MS	0,4	10	40	<0,1	<0,03	-	<0,03	-	<0,03	-	<0,03	-	<0,03	-
sélénium	mg/kg MS	0,1	1,5	7	<0,039	<0,02	-	<0,02	-	<0,02	-	<0,02	-	<0,02	-
zinc	mg/kg MS	4	50	200	<0,2	<0,1	-	<0,1	-	<0,1	-	<0,1	-	<0,1	-
fraction soluble	mg/kg MS	4000			<500	760	-	1120	-	1120	-	840	-	2760	-
Indice phénol	mg/kg MS	1	50	100	<0,1	<0,1	-	<0,1	-	<0,1	-	<0,1	-	<0,1	-
fluorures	mg/kg MS	10			<2	4,3	-	5,2	-	3,9	-	3,6	-	5	-
chlorures	mg/kg MS	800			<10	<10	-	<10	-	<10	-	<10	-	<10	-
sulfate	mg/kg MS	1000			<10	<10	-	12	-	<10	-	<10	-	1500	-

Les résultats analytiques ont mis en évidence des teneurs sur éluat inférieures aux limites de quantification du laboratoire aux droit de tous les échantillons à exception des paramètres Fractions solubles et Sulfates. Les concentrations en fraction soluble sont toutefois inférieures au seuil ISDI. Seule la concentration en sulfate au droit de ST5-1 dépasse ce seuil ISDI avec une concentration de 1500 mg/kg MS.

9.2.5. Cartographie des résultats analytiques des éléments traces métalliques selon le guide ASPITET, le guide de valorisation hors site du BRGM et le fond géochimique local (juin 2022)



	Sondage à la pelle mécanique et prélèvement d'enrobés, Janvier 2022
	Sondages à la tarière mécanique, Mai 2022
	Sondages à la tarière mécanique (piézair), Mai 2022

	Fond géochimique local
	Guide de valorisation Seuil NI VSA + Valeurs guides ASPITET - sols « ordinaires »
	Valeurs guides ASPITET – Anomalies modérées
	Valeurs guides ASPITET – fortes anomalies

9.2.6. Cartographie des résultats analytiques dépassant les seuils du guide de valorisation hors site du BRGM et les seuils ISDI (Déchets inertes selon l'arrêté du 12/12/2014)



ST5-1 (0-1 m)
Sulfates (éluat) : 1.500 mg/kg MS ○○○○

ST1-1 (0-0,5 m)
Naphtalène (HAP) : 0,18 mg/kg MS ○○○○

* conformément à l'arrêté du 28/10/2010, si le déchet ne respecte pas au moins une des valeurs fixées pour le chlore, le sulfate ou la fraction soluble, le déchet peut être encore jugé conforme aux critères d'admission s'il respecte soit les valeurs associées au chlore et au sulfate, soit celle associée à la fraction soluble ; de même si le déchet ne satisfait pas à la valeur limite indiquée pour le carbone organique total sur éluat à sa propre valeur de pH, le déchet peut être jugé conforme aux critères d'admission pour le carbone organique total sur éluat si le résultat de cette détermination ne dépasse pas 500 mg/kg de matière sèche.

- Seuils ISDI (Déchets inertes selon l'arrêté du 12/12/2014)
 - Seuils ISDND
 - Seuils ISDD
 - Seuils du Guide de valorisation hors site (BRGM) – N2 Sous bâtiment
 - Seuils du Guide de valorisation hors site (BRGM) – N2 Sous espaces verts ou aménagements routiers revêtus
-
- ▲ Sondage à la pelle mécanique et prélèvement d'enrobés, Janvier 2022
 - ▲ Sondages à la tarière mécanique, Mai 2022
 - ▲ Sondages à la tarière mécanique (piézair), Mai 2022

9.2.7. Résultats analytiques de l'échantillon d'enrobé :

Les résultats analytiques sont présentés dans le tableau ci-dessous (Cf. *Tableau 18*). Le bulletin analytique du laboratoire correspondants sont fournis en Annexe 5.

La localisation de points de prélèvement d'enrobé est donnée par la carte suivant (Cf. *Figure 13*).



		Sondage à la pelle mécanique et prélèvement d'enrobés, Janvier 2022
		Sondages à la tarière mécanique, Mai 2022
		Sondages à la tarière mécanique (piézair), Mai 2022
		Prélèvement d'enrobé

Figure 13 : Plan du point de prélèvement d'enrobé



Le procès-verbal des analyses du morceau d'enrobé est consultable en Annexe 6.
 Les résultats analytiques sont synthétisés dans les paragraphes suivants.

Tableau 18 : Résultats des analyses sur enrobé

Paramètres	Unité	Seuils ISDI (Déchets inertes selon l'arrêté du 12/12/2014)	Seuils ISDND	Arrêté relatif aux mâchefers		PM1
				Type 1	Type 2	Surface
HYDROCARBURES AROMATIQUES POLYCYCLIQUES (HAP)						
Naphtalène	mg/kg MS					<0,5
Acénaphthylène	mg/kg MS					<0,5
Acénaphthène	mg/kg MS					<0,5
Fluorène	mg/kg MS					<0,5
Phénanthrène	mg/kg MS					<0,5
Anthracène	mg/kg MS					<0,5
Fluoranthène	mg/kg MS					0,7
Pyrène	mg/kg MS					0,62
Benzo(a)anthracène	mg/kg MS					<0,5
Chrysène	mg/kg MS					<0,5
Benzo(b)fluoranthène	mg/kg MS					<0,5
Benzo(k)fluoranthène	mg/kg MS					<0,5
Benzo(a)pyrène	mg/kg MS					<0,5
Dibenzo(ah)anthracène	mg/kg MS					<0,5
Benzo(ghi)pérylène	mg/kg MS					<0,5
Indéno(1,2,3-cd)pyrène	mg/kg MS					<0,5
Somme des HAP (10) VROM	mg/kg MS	50	100			
Somme des HAP (16) - EPA	mg/kg MS	50	100	50	50	1,3
AMIANTES						
Amiantes						Absence

L'échantillon d'enrobé présente une très faible concentration en HAP. Toutefois, cette concentration est inférieure aux seuils de l'arrêté relatif aux mâchefers. **L'enrobé prélevé pourra donc faire l'objet d'une évacuation vers un centre de recyclage à chaud compte tenu de la faible teneur en HAP.**

Les analyses n'ont relevé aucune trace d'amiante. Aucune préconisation n'est donc donnée par rapport à la réglementation en vigueur concernant la présence d'amiante dans les enrobés.

A noter que des apports différents d'enrobé ont pu avoir lieu sur le site. Il conviendra de les analyser avant tout envoi en filière.

9.2.8. Lecture des analyses

Aucun dépassement des seuils ISDI n'a été répertorié concernant les sols à l'exception d'un dépassement de seuil en ISDI sur les sulfates au droit de ST5 entre 0 et 1 m.



Les teneurs les plus importantes en métaux se localisent au nord-ouest de la parcelle. Elles dépassent le seuil de valorisation N1 et certaines d'entre elles présentent des dépassements « Anomalies modérées » du guide de l'ASPITET.

Des teneurs en HAP (naphtalène notamment) ont été observées au sud de la parcelle à proximité du bâtiment existant ainsi qu'à l'ouest du site.

Dans la partie Nord/Est de la parcelle, les sondages ont également mis en évidence, dans une moindre mesure, des teneurs en métaux légèrement supérieures au fond géochimique de Besançon.

9.3. Description des investigations complémentaires sur les gaz du sol A230

9.3.1. Investigations de terrain

La campagne de terrain a été conduite le 31 juin 2022 par temps sec.

Ne connaissant pas les concentrations attendues, les temps de prélèvement retenus ont été calculés afin de ne pas saturer les supports de prélèvements. Les calculs de temps de pompages sont présentés dans la section 9.3.4 *Valeurs limites de références*.

Le profil analytique des échantillons a été établi en prenant en compte les contaminations présentes dans les sols à des concentrations anormales : mercure, HAP (Naphtalène), benzène (BTEX) et les hydrocarbures.

L'ensemble des analyses proposées a été effectuée par le laboratoire SGS dont les accréditations sont reconnues par le Cofrac en France.

Le programme analytique présenté dans le tableau ci-après a été mis en œuvre (Cf. *Tableau 19*).

Tableau 19 : Normes des analyses effectuées

Paramètres analysés	Références normatives
Mercure	Méthode interne
HAP	Méthode interne
Benzène (BTEX)	Méthode interne
Hydrocarbures	Méthode interne

9.3.2. Localisation des prélèvements de gaz du sol

Deux piézaires en PEHD ont été mis en place par ECR Environnement le 23 mai 2022. Leurs caractéristiques sont présentées dans le tableau ci-dessous (Cf. *Tableau 20*). Les coupes sont présentées en annexe 6.



Tableau 20 : Description des piézairs

Points de prélèvements	Profondeur ouvrage (m/TA)	Longueur tube plein (m)	Longueur tube crépiné (m)	Diamètre forage (mm)	Diamètre (cm)	Hauteur du tube hors sol (m)
ST- PA 1	1,5 m/TA	0,70	1 m	100	2,54	0,20
ST- PA 2	1,50 m / TA	0,70	1 m	100	2,54	0,20

Les piézairs ont été implantés au droit des sondages ST-PA1 et ST-PA2. Leur implantation est présentée sur la figure suivante (Cf. Figure 14).

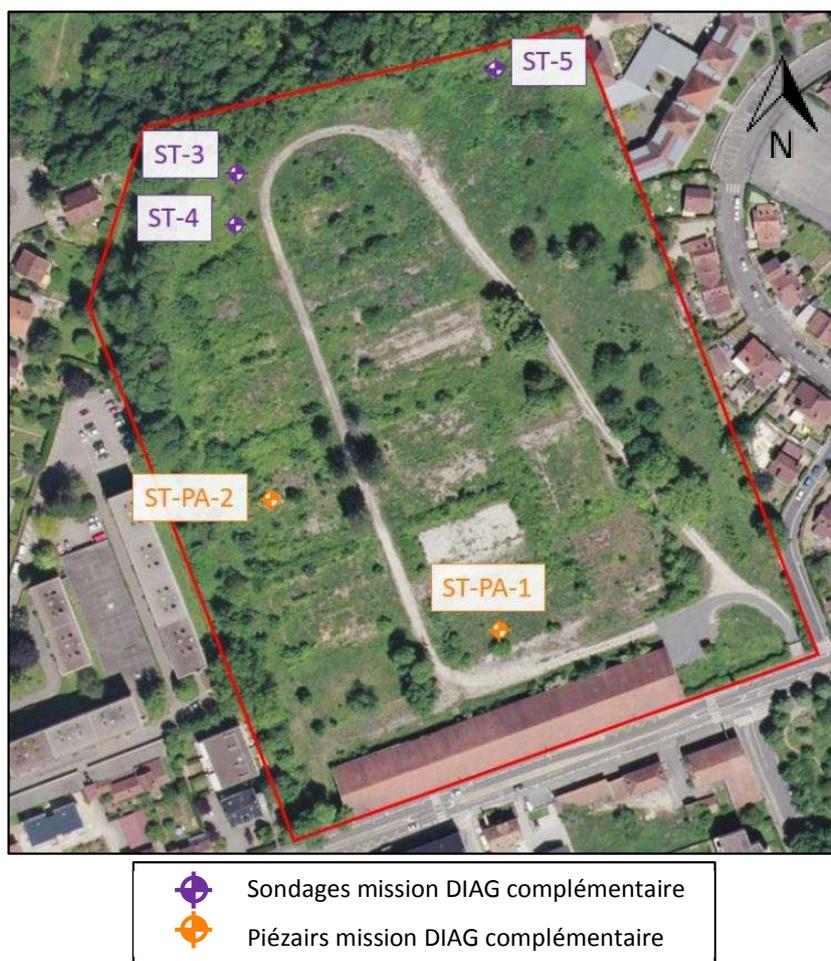


Figure 14 : Plan d'implantation des piézairs – Fond Géoportail

Les piézairs sont munis d'un bouchon de fond emboîté et d'un bouchon de tête rabattable emboîté.

9.3.3. Mode opératoire d'échantillonnage

Purge des circuits de prélèvements

Avant le prélèvement, la pompe est mise en fonctionnement afin de renouveler 3 fois le volume contenu dans le piézair. La purge consiste à aspirer les gaz à un débit de 0,5 L/min pendant 5 minutes.

Prélèvements

Les échantillons de gaz du sol sont prélevés sur des supports adaptés aux composés recherchés :



- Hydrocarbures, BTEX, COHV : Tube CA (Cf. Figure 15) ;
- HAP : XAD-2 + Filtre PTFE (Cf. Figure 16) ;
- Mercure : Hopcalite (Cf. Figure 17) ;



Figure 15 : Support de prélèvement "Petit Tube CA", mesure d'Hydrocarbure, de COHV et des BTEX



Figure 16 : Support de prélèvement XAD-2, mesure des HAP

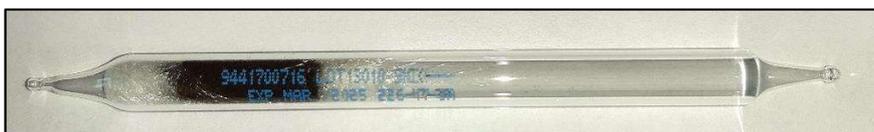


Figure 17 : Support de prélèvement Hopcalite, mesure du mercure

Chaque piézair a fait l'objet d'un prélèvement le 31 mai 2022 après la purge réglementaire. Les tubes sont rebouchés (Cf. Figure 18) après prélèvement et placés dans des boîtes hermétiques pour envoi par transport express au laboratoire d'analyses SGS.



Figure 18 : Photographie du support de prélèvement après utilisation

L'ensemble des opérations réalisées sur les échantillons (prélèvement conditionnement et envoi) ont été effectués selon la norme NF ISO 10381-7 Janvier 2006.

Les pompes de prélèvement des gaz du sol sont des pompes GilAir Plus qui ont été programmées pour pomper les gaz à un débit de 0,5 L/min. Les calibrations sont effectuées avec un débitmètre GILIBRATOR3 S/N /N 21441011008 (Flow Cell).

Des mesures semi-quantitatives pour les composés organiques volatils (COV) ont été réalisées à l'aide d'un photo-ioniseur (PID), permettant de mesurer la présence de composés volatils dans les gaz du sol. Ces mesures ont été récoltées avant et après chaque prélèvement. Des mesures des gaz : Oxygènes (O₂), Monoxyde de carbone (CO), Méthane (CH₄) et Sulfure d'hydrogène (H₂S) ont également été relevés dans chaque piézair.



9.3.4. Valeurs limites de références

Le temps de pompage a été déterminé afin de ne pas sous ou sursaturé les supports utilisés. Pour ce faire, la formule suivante a été utilisée :

$$T = \frac{LQ}{SQ * Q}$$

T : Temps de prélèvement (en minutes)

LQ : Limite de quantification du laboratoire (en µg/ech)

SQ : Seuil de quantification (µg/m³)

Q : Débit de pompage (m³/min)

Les limites de quantifications proposées sont les seuils de la VTR (Valeurs Toxicologiques de Référence) pour réaliser les modélisations dans l'ARR.

Les différents paramètres et les résultats des calculs sont présentés dans le tableau suivant :

Tableau 21 : Calculs des temps optimaux de prélèvement par composés

Composés	LQ (µg/ech)	SQ (µg/m ³)	Q (m ³ /min)	Durée de pompage T (min)	Durée de pompage T (heures)
METAUX					
Mercuré	-	0,03	0,0005	13	0,22
HAP					
Naphtalène	0,015	37	0,0005	1	0,01
HYDROCARBURES					
TPH aromatic C7-C8	5	3000	0,0005	3	0,06
TPH aromatic C8-C10	5	200	0,0005	50	0,83
TPH aromatic C10-C12	10	200	0,0005	100	1,67
TPH aromatic C12-C16	10	200	0,0005	100	1,67
TPH aliphatic C5-C6	5	18400	0,0005	0,5	0,01
TPH aliphatic C6-C8	5	18400	0,0005	0,5	0,01
TPH aliphatic C8-C10	5	1000	0,0005	10	0,17
TPH aliphatic C10-C12	5	1000	0,0005	10	0,17
TPH aliphatic C12-C16	10	1000	0,0005	20	0,33
BTEX					
Benzène	0,1	10	0,0005	20	0,33



Les temps de prélèvements retenus par types de supports sont les temps maximaux calculés dans le tableau ci-dessus (Cf. *Tableau 21*), à savoir :

- Support Charbon Actif (Hydrocarbures, COHV, BTEX) : T = 100 minutes ;
- Support XAD-2 (HAP) : T = 1 minutes ;
- Support Hopcalite (Mercure) : T = 13 minutes.

Lors de la campagne de terrain, ces temps seront allongés de quelques minutes afin de couvrir la marge d'erreur associée aux calculs de temps de prélèvement (Cf. *Tableau 22*).

Tableau 22 : Temps de prélèvements pour les différents types d'analyse

Type d'analyse	Support	Temps de prélèvement (minutes)
Hydrocarbures, COHV, BTEX	Charbon actif	100
HAP	XAD-2	5
Mercure	Hopcalite	20

Pour l'interprétation des analyses des gaz du sol, on se réfère à plusieurs types de seuils, à savoir les valeurs **guides de qualité d'air intérieur (VGAI) de l'Anses** et les **seuils R1, R2 et R3 de l'INERIS**.

Les VGAI sont définis par l'Anses comme étant des « [...] valeurs correspondent à des concentrations dans l'air d'une substance chimique en dessous desquelles aucun effet sanitaire ou aucune nuisance ayant un retentissement sur la santé n'est attendu pour la population générale, en l'état des connaissances actuelles. Ces valeurs sont des cibles sanitaires à atteindre pour protéger la santé des personnes. ».

Les seuils de l'INERIS sont définis comme suit dans la Mise à jour des valeurs-repères R1, R2 et R3 pour l'air intérieur dans le cadre de ma méthodologie de gestion des sites et sols pollués (Actualisation de 2021) :

- « Sur la base des valeurs disponibles, la **valeur R1** correspond par ordre de priorité à :
 - La valeur réglementaire relative à la surveillance de la qualité de l'air intérieur dans certains établissements recevant du public (Décret n°2011-1727 du 2 décembre 2011 relatif aux valeurs-guides pour l'air intérieur pour le formaldéhyde et le benzène, intégré au code de l'environnement (Art.R.221-29-I et II, Sous-section 2 de la section 5 du chapitre Ier du titre II du livre II, partie réglementaire)) ;
 - La valeur repère de qualité de l'air pour les effets à seuil ou sans seuil du Haut Conseil de la Santé Publique (HCSP), qui fixe des valeurs repères d'aide pour l'aide à la gestion de la qualité de l'air intérieur pour des substances dans l'air des espaces clos (concentrations et échéances à atteindre) ;
 - La Valeur Guide de qualité d'Air Intérieur (VGAI) chronique de l'Anses « cibles sanitaires à atteindre à long terme pour protéger la santé des personnes » ;
 - La Valeur Toxicologique de Référence (VTR) construite ou choisie par l'Anses ;
 - La VTR chronique la plus pénalisante retenue parmi les valeurs disponibles l'US-EPA, l'OMS, l'ATSDR, le RIVM, Santé Canada, l'OEHHA et l'EFSA. Cette méthode de sélection repose sur les organismes recommandés dans la démarche de la note d'information de la DGS et de la DGPR n°DGS/EA1/DGPR/2014/307 du 31 octobre 2014. Ces valeurs sont mises en perspective avec la sélection de valeur la plus pertinente publiée par l'Ineris dans le cadre de son expertise sur les VTR.



L'élaboration des valeurs R1, R2 et R3 tient compte des valeurs en fonction du mécanisme d'action à seuil et si nécessaire sans seuil. Pour une substance cancérigène génotoxique, une approche sans seuil est retenue, la concentration conduisant à un excès de risque de 10^{-5} sera déterminée (selon l'équation suivante) et la valeur la plus protectrice entre les deux approches à seuil et sans seuil sera retenue comme valeur R1. »

- « Sur la base des valeurs disponibles, la **valeur R2** correspond par ordre de priorité à :
 - La « valeur pour laquelle des investigations complémentaires doivent être menées » prescrite dans le décret n° 2015-1926 du 30 décembre 2015 relatif à l'évaluation des moyens d'aération et à la mesure des polluants effectués au titre de la surveillance de la qualité de l'air intérieur de certains établissements recevant du public ;
 - La valeur d'action rapide ou la valeur d'informations et de recommandations établies par le Haut Conseil de la Santé Publique (HCSP) qui fixe des valeurs repères d'aide à la gestion pour des substances dans l'air des espaces clos (concentrations et échéances à atteindre) ;
 - La valeur la plus protectrice entre la VGAI « court terme », 10 fois la VGAI « long terme » de l'Anses sauf si la différence entre R1 et R2 n'est pas d'un ordre de grandeur (cette situation est présentée comme « incohérente » dans le tableau) ; - 10 fois la VTR chronique si cette valeur est inférieure à la VTR « aigue » ou « subchronique », sauf si la différence entre R1 et R2 n'est pas d'un ordre de grandeur (cette situation est présentée comme « incohérente » dans le tableau) ; - la VTR « aigue » ou « court terme » de l'Anses ;
 - Le choix VTR « aigue » ou « court terme » de l'Ineris, selon la méthode déjà précisée pour les VTR chroniques (cf. § choix R1) ;
 - À défaut, la valeur la plus protectrice entre la « VTR « aigue », « subchronique » ou « court terme » et 10 fois la valeur R1 retenue (Cf. § choix du R1). »

- « Sur la base des valeurs disponibles, la **valeur R3** ne sont jamais calculées et correspond par ordre de priorité à :
 - La VGAI « subchronique » ou « court terme » ;
Lla VTR « subchronique » ou « aiguë » de l'Anses ; - la VTR « court terme », VTR « subchronique » ou « aiguë » (durée d'exposition < 15 jours) la plus protectrice ;
 - Si besoin R3 = R2, sauf si la valeur R2 est calculée à partir de R1 ;
 - A défaut, il n'est pas fait de choix de R3 :
 - Lorsqu'il n'existe pas de valeurs aiguës disponibles dans les bases de données consultées, la mention « pas de valeur » est précisée ;
 - Lorsqu'il existe une valeur aiguë dans les bases de données consultées mais que celle-ci n'est pas adaptée, il est mentionné « pas de valeur retenue ».



9.4. Résultats des analyses des gaz du sol

Les résultats des analyses sont donnés en $\mu\text{g}/\text{échantillon}$. Nous appliquons la formule suivante afin d'obtenir des $\mu\text{g}/\text{m}^3$:

$$C = \frac{W}{T \times D}$$

C : concentration mesurée en $\mu\text{g}/\text{m}^3$

W : concentration mesurée en $\mu\text{g}/\text{échantillon}$

T : temps de pompage en minute

D : débit de pompage en L/min

Les résultats des concentrations en gaz du sol les plus pertinents sont présentés dans le tableau ci-dessous (Cf. *Tableau 24*). L'ensemble des résultats est disponible en annexe.

Les mesures effectuées avec la sonde 4 gaz avant et après les purges étaient toujours égales à celles indiquées dans le tableau ci-dessous (Cf. *Tableau 20*) et ne relevaient donc d'aucune anomalie.

Tableau 23 : Résultats des mesures à la sonde 4 gaz pour ST-PA-12, ST-PA-15 et ST-PA-18

Paramètre O ₂ (%)	20,9
Paramètre CO (ppm)	0
Paramètre H ₂ S (ppm)	0
Paramètre CH ₄ (LEL)	0



Tableau 24 : Résultats des gaz du sol dont les paramètres étudiés présentent des anomalies

Nom du paramètre	Valeurs guides de qualité d'air intérieur de l'Anses	Valeurs de comparaison INERIS (Air intérieur < juillet 2020)			Point de prélèvement		ST-PA-1		ST-PA-2	
					Echantillons		ST-PA-1-1	ST-PA-1-3	ST-PA-2-1	ST-PA-2-3
					Date du prélèvement		31/05/2022	31/05/2022	31/05/2022	31/05/2022
					Mesures Pid (ppmv)		2,2	2,2	0,2	0,9
					LQ	Unité				
MERCURE VOLATIL										
Mercure (Hg)	<	0,03	0,20	<	1,64	µg/m3	-	<6,45	-	<6,9
HCT C5<C16										
fraction aromat. >C6<C7	<	<	<	<	<93,46	µg/m3	<83,33	-	<93,46	-
fraction aromat. >C7<C8	<	<	<	<	<93,46	µg/m3	<83,33	-	<93,46	-
fraction aromat. >C8<C10	<	200	2000	<	<93,46	µg/m3	138,33	-	<93,46	-
fraction aromat. >C10<C12	<	200	2000	<	<186,92	µg/m3	316,67	-	<186,92	-
fraction aromat. >C12<C16	<	200	2000	<	<186,92	µg/m3	<166,67	-	<186,92	-
fraction aliphat. >C5<C6	<	18000	180000	<	<93,46	µg/m3	<83,33	-	<93,46	-
fraction aliphat. >C6<C8	<	18000	180000	<	<93,46	µg/m3	<83,33	-	<93,46	-
fraction aliphat. >C8<C10	<	200 < 1000	2000 < 10 000	<	<93,46	µg/m3	123,33	-	<93,46	-
fraction aliphat. >C10<C12	<	200 < 1000	2000 < 10 000	<	<93,46	µg/m3	1100	-	121,5	-
fraction aliphat. >C12<C16	<	200 < 1000	2000 < 10 000	<	<186,92	µg/m3	433,33	-	<186,92	-
COMPOSES AROMATIQUES VOLATILS										
benzène	2	2	10	30	<1,87	µg/m3	2	-	<1,87	-
toluène	20000	20 000	21 000	21 000	<1,87	µg/m3	3,83	-	<1,87	-
éthylbenzène	1500	1500	15000	22000	<3,74	µg/m3	<3,33	-	<3,74	-
orthoxyène	<	<	<	<	<1,87	µg/m3	4	-	<1,87	-
para< et métaxyène	<	<	<	<	<3,74	µg/m3	4,83	-	<3,74	-
xylènes	<	200	2000	8800	<5,61	µg/m3	8,83	-	<5,61	-
BTEX totaux	<	<	<	<	<13,08	µg/m3	14,67	-	<13,08	-

<	: Teneur inférieure aux limites de quantifications (LQ)
Valeur	: Valeurs supérieures aux limites de quantification (LQ)
Valeur	: Teneurs supérieures aux valeurs de référence pour l'air intérieur de l'Anses (VGAI)*
Valeur	: Seuil R1 INERIS (Air intérieur < juillet 2020)
Valeur	: Seuil R2 INERIS (Air intérieur < juillet 2020)
Valeur	: Seuil R3 INERIS (Air intérieur < juillet 2020)

* Les valeur retenue de l'Anses sont des VGAI long terme : pour une exposition vie entière correspondant à un niveau de risque de 10^{-5} .

Des anomalies en gaz du sol sont présent au droit du piézair ST-PA-1, notamment sur les fractions aromatiques C10-C12 et les fractions aliphatiques C10-C16 avec des dépassements de seuil R1 proposé par l'INERIS. Une anomalie en Benzène est également présente avec un dépassement des seuils R1 et du guide de qualité de l'air intérieur de l'Anses.



Les autres substances recherchées dans les gaz du sol tel que le mercure volatil, les HAP (notamment le Naphtalène) ainsi que les COHV n'ont pas été détecté au droit du site.

Les dépassements de seuils dans les gaz du sol en hydrocarbures, en BTEX et en COHV sont potentiellement dus à l'apport sur site de matériaux exogènes. Ces apports sont constitués de matériaux divers contenant généralement des polluants, dont notamment des métaux, des hydrocarbures, des HAP, des BTEX, des COHV et/ou des PCB.

9.4.1. Cartographie des résultats analytiques des gaz du sol



ST-PA-2
Fraction aliphatique > C10-C12 : 1100 µg/m³ ●○○○○○

ST1-PA-1
 Fraction aromatique > C8-C10 : 138,33 µg/m³ ●○○○○○
 Fraction aromatique > C10-C12 : 316,67 µg/m³ ●○○○○○
 Fraction aliphatique > C8-C10 : 123,33 µg/m³ ●○○○○○
 Fraction aliphatique > C10-C12 : 1100 µg/m³ ●○○○○○
 Fraction aliphatique > C12-C16 : 433,33 µg/m³ ●○○○○○
 Benzène : 2 µg/m³ ●○○○○○
 BTEX Totaux (dont Benzène) : 14,67 µg/m³ ●○○○○○

Sondage à la pelle mécanique et prélèvement d'enrobés, Janvier 2022
 Sondages à la tarière mécanique, Mai 2022
 Sondages à la tarière mécanique (piézair), Mai 2022

Limite de quantification du laboratoire
 Seuil du guide de qualité de l'air intérieur de l'Anses
 Seuil R1 de l'INERIS
 Seuil R2 de l'INERIS
 Seuil R3 de l'INERIS



10. EVALUATION DES INCERTITUDES

Lors de la réalisation d'un diagnostic de pollution des sols, des incertitudes sont rencontrées tout au long des missions. Elles sont détaillées dans les sections suivantes.

10.1. Liées aux investigations de terrain

Des incertitudes demeurent sur la représentativité des sondages effectués.

Dans le cadre de notre étude, les investigations ont été positionnées en lien avec les activités antérieures.

Au final, 5 points de sondages ont été réalisés à la tarière mécanique, ce qui permet d'avoir une idée globale de la qualité des sols au droit du site. Cependant, la présence d'anomalies locales n'est pas à exclure. Seule la réalisation d'un maillage plus précis permettrait de limiter cette incertitude.

10.2. Liées à l'échantillonnage

Les prélèvements ont été effectués par la société ECR Environnement en respectant les normes en vigueur et de manière à limiter au maximum l'apport de substances exogènes à la matrice.

Les prélèvements sont effectués à partir d'indices organoleptiques (couleurs, odeurs, éléments exogènes, ...) et sont réalisés par couches lithologiques. Ils constituent des prélèvements ponctuels, effectués à un moment donné sur un point précis pour une épaisseur de sol. Ils représentent donc une incertitude quant à leur représentativité.

Malgré les précautions prises lors du conditionnement et le maintien au frais des échantillons, leur conservation suppose des incertitudes quant à la volatilisation de certains polluants (notamment les BTEX), la transformation de composés organiques entre le moment de prélèvement et l'analyse en laboratoire.

10.3. Liées au programme analytique

Le programme analytique réalisé lors de cette étude s'est basé suivant les constats organoleptiques positifs rencontrés lors des investigations de terrain mais également sur l'étude historique et documentaire, les ouvrages à risques présents sur le site et à la demande du client. Il existe parfois des doutes quant à la connaissance des substances présentes sur le site et leur localisation. Cependant, les analyses effectuées ont été ciblées et adaptées au mieux à la zone d'étude.

10.4. Liées aux analyses en laboratoire

Tous les résultats d'analyses fournis par le laboratoire SGS présentent une incertitude liée aux techniques de préparations et aux analyses même du laboratoire. Afin de minimiser ces incertitudes, les analyses réalisées dans le cadre de ce diagnostic ont été effectuées par SGS, reconnu par le COFRAC (Comité Français d'Accréditation). La majorité des méthodes utilisées sont des méthodes de laboratoire normées (ISO).



11. SCHEMAS CONCEPTUELS

Le schéma conceptuel décrit les sources de polluants, les transferts liés aux milieux environnementaux et à leurs usages ainsi que les voies d'exposition possible pour les usagers. Il recense les populations exposées du fait de leurs modes de vie, de leur vulnérabilité et localisations. Il est construit à partir de l'inventaire des informations disponibles sur chacun de ces éléments.

Sur la base de la situation environnementale élaborée lors du diagnostic, deux schémas conceptuels avant-projet et après-projet (sans mesure de gestions) sont proposés en Annexe. Ils mettent en évidence plusieurs voies de transfert et conséquemment plusieurs voies d'exposition inhérentes à ces dernières.

Les substances polluantes concernées sont les substances observées dans le sol lors du diagnostic à des concentrations significatives et dont les propriétés physico-chimiques les rendent pertinentes pour les voies d'exposition envisagées, à savoir : les métaux lourds dont le mercure, les HAP (naphtalène), les BTEX (benzène) et les hydrocarbures totaux (HCT) ponctuellement.

Parmi les polluants cités, les BTEX (Benzène) et les hydrocarbures à chaîne courte comme les C8-C16, sont très volatiles et par conséquent, susceptibles d'entrer en contact avec les usagers, ont été repérés dans les gaz du sol.

Concernant les autres polluants observés (métaux lourds et HCT), ces derniers sont peu mobiles et peu volatiles et ne pourront pas se volatiliser dans les bâtiments.

La liste des voies de ces voies de transfert associées à leur voie d'exposition correspondante sont résumées en amont des schémas conceptuels dans les tableaux ci-dessous (Cf. *Tableau 25 et tableau 26*).

11.1. Avant-Projet

Le tableau suivant présente les voies de transferts et les voies d'expositions pertinentes de l'**Avant-Projet** (Cf. *Tableau 25*). Ci-dessous le plan d'emprise du schéma conceptuel illustrant les voies de transfert et d'exposition en question (Cf. *Figure 19*).





Figure 19 : Carte de la zone d'emprise du schéma conceptuel AVANT-PROJET

Tableau 25 : Voies de transfert et voies d'exposition pertinentes avant-projet

Voie(s) de transfert	Voie(s) d'exposition associée(s)	Voies retenues		Substances concernées	Type de population concernée
		Scénario extérieur	Scénario intérieur		
Envol de poussière	Ingestion et contact cutané	Oui	-	Benzène, Naphtalène, Métaux lourds,	Usagé du site (berger, travailleur de la fourrière)
Diffusion dans les sols	Ingestion de sol	Oui	-	Benzène, Naphtalène, Métaux lourds,	
Diffusion dans les végétaux	Ingestion	Non	-	Benzène, Naphtalène, Métaux lourds,	
Volatilisation dans l'air	Inhalation de vapeurs	Oui	-	Benzène, Naphtalène, Métaux lourds, hydrocarbures Légers (C8-C16)	
Diffusion dans/ Drainage par les eaux circulant dans les sols	Utilisation des eaux souterraines	Oui	-	Benzène, Naphtalène, Métaux lourds	
Perméation via les canalisations d'eau potable	Ingestion d'eau potable	Non	-	Benzène, Naphtalène, Métaux lourds	



11.2. Après-Projet, sans mesures de gestions

Le tableau suivant présente les voies de transferts et les voies d'expositions pertinentes de l'**Après-projet, sans mesures de gestions des sols** (Cf. *Tableau 26*). Ci-dessous le plan d'emprise du schéma conceptuel illustrant les voies de transfert et d'exposition en question (Cf. *Figure 20*).



Figure 20 : Carte de la zone d'emprise du schéma conceptuel Après-projet, sans mesures de gestions



Tableau 26 : Voies de transfert et voies d'exposition pertinentes après-projet, sans mesures de gestions

Voie(s) de transfert	Voie(s) d'exposition associée(s)	Voies retenues		Substances concernées	Type de population concernée
		Scénario extérieur	Scénario intérieur		
Envol de poussière	Ingestion et contact cutané	Oui	Non	Benzène, Naphtalène, Métaux lourds,	Futurs usagers et habitants
Diffusion dans les sols	Ingestion de sol	Oui	Non	Benzène, Naphtalène, Métaux lourds,	
Diffusion dans les végétaux	Ingestion	Oui	Non	Benzène, Naphtalène, Métaux lourds,	
Volatilisation dans l'air	Inhalation de vapeurs	Oui	Oui	Benzène, Naphtalène, Métaux lourds, hydrocarbures Légers (C8-C16)	
Diffusion dans/ Drainage par les eaux circulant dans les sols	Utilisation des eaux de circulation / eaux de drainage	Oui	-	Benzène, Naphtalène, Métaux lourds	
Perméation via les canalisations d'eau potable	Ingestion d'eau potable	Non	Oui	Benzène, Naphtalène, Métaux lourds	

Compte tenu de la présence de gaz du sol, de métaux lourds et ponctuellement de Benzène, Naphtalène, HTC et en présence de cibles exposées, ECR Environnement considère l'existence d'un risque sanitaire, lequel devra être pris en compte lors de l'élaboration du projet.

Néanmoins certaines voies de transfert identifiées peuvent être bloquées par des mesures de gestion simple. Elles seront prises en compte dans le calcul des risques et les schémas conceptuels. Ces mesures de gestions sont présentées dans le schéma conceptuel après projet avec mesure de gestions ainsi que dans les recommandations (Cf. 13.Schéma conceptuel Après Projet, avec mesures de gestions et 15.Recommandation).

12.ANALYSES STATISTIQUES ET SEUILS DE COUPURE

Aux vues de l'hétérogénéité des pollutions au droit du site de Polygone Génie et de la méconnaissance de l'origine des polluants, l'établissement d'une analyse statistique et de seuils de coupures ne semble pas justifié.



13. ANALYSE DES RISQUES RESIDUELS, MISSION A320

13.1. Détermination des expositions

13.1.1. Méthodologie appliquée

Des extrapolations des données sont nécessaires afin de réaliser les calculs. Le logiciel les réalise en interne, cependant il est important de connaître le cheminement suivi.

- Comme vu précédemment, la concentration des gaz du sol a été calculée à partir de la concentration dans les sols.
- D'une manière générale, les quantités de polluant administrées exprimées en Dose Journalière d'Exposition (en mg/kg/j) peuvent se définir des façons suivantes :

$$DJE_{ij} = \frac{C_i \times Q_{ij} \times F}{P} \times \frac{T}{T_m}$$

DJE_{ij} : Dose journalière d'exposition liée à une exposition au milieu i par la voie d'exposition j (en mg/kg/jour),

C_i : Concentration d'exposition relative au milieu i (eaux souterraines, eaux superficielles, sol, aliments...) exprimée en mg/kg, mg/l...,

Q_{ij} : Quantité de milieu i, c'est-à-dire de sol, d'eau... administrée par la voie j par unité de temps d'exposition, exprimée en kg/j pour les milieux solides et en m³/j ou L/j pour les milieux gazeux ou liquides,

F : Fréquence ou taux d'exposition : fraction du nombre annuel d'unités de temps d'exposition sur le nombre d'unités de temps de l'année,

P : masse corporelle de la cible (kg),

T : nombre d'année d'exposition,

T_m : Période de temps sur laquelle l'exposition est moyennée.

- Pour la voie respiratoire, la dose d'exposition est généralement remplacée par la concentration inhalée. Lorsque l'on considère des expositions de longue durée, on s'intéresse à la concentration moyenne inhalée par jour, retranscrite par la formule suivante :

$$CI = \left(\sum_i (C_i \times t_i) \right) \times F \times \frac{T}{T_m}$$

Avec :

CI : concentration moyenne inhalée (mg/m³ ou µg/m³),

C_i : concentration de polluant dans l'air inhalé pendant la fraction de temps t_i (en mg/m³),

t_i : fraction du temps d'exposition à la concentration C_i pendant une journée,

T : durée d'exposition (en années),

F : fréquence ou taux d'exposition nombre annuel d'heures ou de jours d'exposition ramené au nombre total annuel d'heures ou de jours,



| T_m : Période de temps sur laquelle l'exposition est moyennée.

13.1.2. Quantification des risques

➤ Les effets à seuil

Ils correspondent aux effets aigus et à certains effets chroniques non cancérogènes, non génotoxiques et non mutagènes, dont la gravité est proportionnelle à la dose. Selon cette approche classique de la toxicologie, les effets ne surviennent que si une certaine dose est atteinte et dépasse les capacités de détoxification, de réparation ou de compensation de l'organisme : il existe donc une dose limite en dessous de laquelle le danger ne peut apparaître.

L'évaluation est de nature qualitative : un **quotient de danger (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. 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.

$$QD = \frac{DJE}{VTR (oral)} \text{ ou } QD = \frac{CI}{VTR (inhalation)}$$

QD ≤ 1 => Risque acceptable

Lorsqu'un quotient de danger (QD) est supérieur à 1, le nombre de cas d'effet toxique dans une population donnée n'est pas accessible mais l'apparition d'un effet toxique ne peut pas être exclue. **Lorsqu'il est inférieur à 1, la survenue d'un effet toxique apparaît peu probable, il n'y a théoriquement aucun cas.**

Le potentiel d'effet toxique est représenté par le rapport entre la dose ou concentration d'exposition et la valeur toxicologique de référence (VTR).

➤ Les effets toxiques sans seuil

Il s'agit des effets cancérogènes génotoxiques (et des mutations génétiques) pour lesquels la fréquence (mais non la gravité) est proportionnelle à la dose. Ces effets réputés sans seuil pourraient apparaître quelle que soit la dose reçue par l'organisme.

Ces effets sans seuil ont également été suggérés pour des manifestations autres que le cancer, comme des troubles respiratoires inflammatoires en lien avec des particules fines atmosphériques.

Il est admis que les substances cancérogènes génotoxiques agissent sans seuil de dose. Cela signifie qu'à toute inhalation non nulle d'un toxique cancérogène correspond une probabilité non nulle de développer un effet.

Cette probabilité est appelée l'Excès de Risque Individuel (ERI).

$$ERI = VTR (inhalation) \times CI \text{ ou } ERI = VTR (oral) \times DJE$$

ERI : excès de risque individuel par voie respiratoire ou orale, sans unité

VTR : valeur toxicologique de référence

CI : concentration moyenne inhalée,

DJE : Dose journalière d'exposition

ERI ≤ 10⁻⁵ => Risque acceptable

Un risque acceptable est défini par une somme des **ERI inférieure à 10⁻⁵**.



13.2. Description pour le choix des scénarios

Le projet comprenant des zones de logements et une coulée verte en son centre, le site sera scindé en deux zones : Coulée verte et Aménagement.

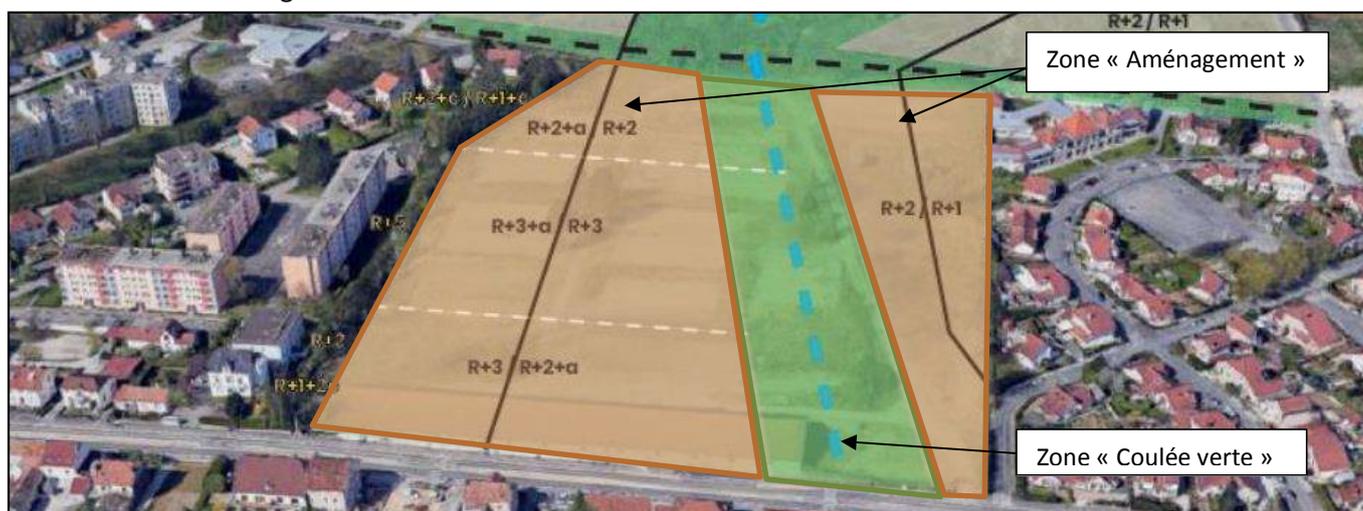


Figure 21 : Croquis du projet d'aménagement

13.3. Sélection du modèle et des paramètres initiaux

13.3.1. Sélection du modèle

Afin de quantifier le risque sanitaire que génèrent les pollutions résiduelles au droit du site en fonction de son futur usage, nous avons utilisé le logiciel RISC5 pour réaliser ces calculs. Il s'agit d'un logiciel développé par BP pour faire les analyses de risque.

Trois scénarios seront étudiés dans ce rapport pour chacune des zones :

- L'exposition du personnel et des habitants à l'intérieur des locaux ;
- L'exposition des habitants au droit de jardins potagers ;
- L'exposition du personnel et des passants à l'extérieur au droit des espaces verts d'agrément.

Les données les caractéristiques des cibles afin de modéliser leur exposition sont regroupées dans le tableau 27 ci-après.



Tableau 27 : Caractéristiques des cibles

Cibles	Volume d'air respiré	Période maximale d'exposition	Temps passé par jour dedans	Temps passé par jour dehors	Fréquence d'exposition	Poids moyen (kg)	Quantité de terre ingérée par jour
Résident adulte	0.625 m ³ /h	40 ans	16 h/j	8 h/j	350 j /an	70	50
Résident enfant	0.35 m ³ /h	10 ans	16h/j	8 h/j	350 j /an	19	100
Personnel	0.625m ³ /h	42 ans	8h/j	2 h/j	220 j /an	70	50
Passant adulte	0.625 m ³ /h	40 ans	/	2 h/j	350 j/an	70	100
Passant enfant	0.35 m ³ /h	10 ans	/	2 h/j	350 j/an	19	50

Les hypothèses concernant la consommation de végétaux sont celles proposées par défaut par le programme. Le model utilisé est celui de « Trapp and Matthies) pour les polluants organiques. Pour les polluants inorganiques, les calculs sont basés sur le facteur d'absorption des plantes (provenant de la base de données BAES à l'exception de celui du plomb, issu de l'INIST de 0.44 (mg/kg)/(mg/kg)).

A noter que les facteurs d'absorption des plantes peuvent varier en fonction de différents facteurs (notamment le pH du sol).

Tableau 28 : Hypothèses pour l'ingestion de végétaux

Scénario	Cibles	Fréquence d'exposition d'ingestion de végétaux	Taux d'ingestion de « légume feuille »	Taux d'ingestion de « légume racine »
Jardin potager	Résident adulte	75 j/an	127 g/j	87.5 g/j
	Résident enfant	75 j/an	55.8 g/j	48.5 g/j

13.3.2. Sélection des paramètres de modélisation

Le modèle comporte plusieurs niveaux de paramètres :

- Paramètres liés au sous-sol ;
- Paramètres liés à la configuration de la pollution ;
- Paramètres liés aux bâtiments et aux aménagements du site (enrobés, pelouses...) ;
- Paramètres liés aux occupants du site

Dans le cas où certaines données ne sont pas connues, on retient les valeurs par défaut préconisées par le modèle ou les données utilisées par le groupe de travail « réutilisation des terres » (INERIS/BRGM).

➤ Scénarios intérieurs :

Pour ce scénario nous nous basons sur une pièce de 10 m² (surface minimale d'un bureau) ou de 9 m² (surface minimale d'une chambre) afin de simuler le plus petit espace où peut stationner le personnel ou les habitants. En effet, plus la surface de la pièce est petite, plus les concentrations sont importantes et donc plus le risque est majoré.

Le modèle de dégazage des sols est basé sur les équations de Johnson & Ettinger. Il combine un modèle de transport par diffusion et advection à travers les sols avec un modèle simple de transport à travers les fondations du bâtiment. Les paramètres retenus pour le scénario intérieur sont présentés en *Tableau 29* en page suivante.



Tableau 29 : Paramètres de modélisation pour les scénarios intérieurs

Caractéristiques	Données		Source
	Logements	Bureaux	
Surface de zone polluée	3 425 m ²		ECR Environnement
Épaisseur de la zone polluée	1.7 m		ECR Environnement
Surface pièce	9 m ²	10 m ²	ECR Environnement
Hauteur de l'espace où a lieu la respiration	2.8 m	2.5 m	ECR Environnement
Taux de renouvellement de l'air	0.25 h ⁻¹	0.5 h ⁻¹	ECR Environnement
Épaisseur de la dalle	20 cm		ECR Environnement
Pourcentage de fissuration du béton	0.002		Valeur par défaut de Johnson & Ettinger
Type de matériaux du sol	Argiles		ECR Environnement
Porosité	0.459		RISC 5
Distance entre la source de pollution et bâtiment	0.3 m (couche de forme et dalle béton)		ECR Environnement

La surface de la zone polluée correspond à la densité de maillage au droit de la zone d'étude. L'épaisseur de 2.0 m correspond à la succession de deux échantillons contaminés de manière significative.

➤ Scénarios extérieurs :

La concentration en substance dans l'atmosphère extérieure est estimée en considérant la dilution qui intervient dans une « boîte virtuelle » au sein de laquelle le récepteur évolue.

Le modèle fait intervenir les dimensions de la zone de circulation « boîte » et la vitesse du vent.

Les paramètres retenus sont présentés dans le tableau ci-après.

Tableau 30 : Paramètres de modélisation pour les scénarios extérieurs

Caractéristiques	Donnée	Source
Surface de zone polluée	3 425m ²	ECR Environnement
Épaisseur de la zone polluée	1.7 m	ECR Environnement
Surface de la boîte	10 m ²	ECR Environnement
Hauteur de l'espace où a lieu la respiration	2 m	ECR Environnement
Vitesse du vent	2,25 m/s	RISC5
Type de matériaux du sol	Argiles	ECR Environnement
Porosité	0.459	RISC 5
Distance entre la source de pollution et la boîte	0 cm	ECR Environnement

La surface de la zone polluée correspond à la densité de maillage au droit de la zone d'étude. L'épaisseur de 2.0 m correspond à la succession de deux échantillons contaminés de manière significative.

13.3.3. Sélection des substances à étudier

L'élaboration du schéma conceptuel a mis en évidence les substances présentant un risque potentiel pour les scénarios étudiés.

La zone d'étude est découpée en 2 zones afin d'adapter les scénarios mais aussi de sélectionner les sondages localisés au droit de chacune des zones. Pour chacune des substances, on considère la concentration maximale mesurée sur la zone.



Le tableau ci après présente la répartition des sondages en fonction des zones.

Tableau 31 : Répartition des sondages par scénario

	Coulée verte	Aménagement
Pelles mécaniques	PM1, PM5, PM9	PM2 à PM4 et PM6 à PM8
Sondages tarières	ST1	ST2 à ST5

Le tableau ci-après présente la liste des composés sélectionnés pour l'évaluation des risques sanitaires, leur concentration maximale et l'échantillon dans lequel cette concentration a été mesurée. Sont retenues :

- Pour les composés organiques les valeurs supérieures au seuil N2,
- Pour les composés inorganiques les valeurs supérieures au fond géochimique et/ou au seuil des anomalies des sols ordinaires.

Tableau 32 : Echantillons de sol retenu pour le calcul des risques

Composés	Paramètres	Coulée verte		Aménagement	
		Concentration (mg/kg MS)	Echantillon	Concentration (mg/kg MS)	Echantillon
HCT volatils	Hydrocarbures totaux C5-C10				
HCT	Hydrocarbures totaux C10-C40			56	PM4-1
HAP	HAP totaux				
	Naphtalène	0,43	PM1-1		
BTEX	BTEX totaux				
	Benzène	0,14	PM1-1		
PCB	PCB totaux				
COHV	COHV totaux				
Métaux lourds	Arsenic	36	PM5-2	120	ST4-2
	Cadmium	0,42	PM5-2	2,8	ST4-2
	Chrome	88	PM5-2	150	ST3-3
	Cuivre	28	PM1-1	41	PM2-1
	Mercure	0,46	PM9-1	0,49	PM2-1
	Nickel	65	PM5-2	86	ST4-2
	Plomb	38	PM9-1	91	PM2-1
	Zinc	200	PM5-1	750	ST4-2

Les hydrocarbures C10-C40 sont des mélanges complexes de différentes substances aux propriétés physico-chimiques et toxicologiques diverses. A l'initiative de l'US EPA, le groupe de travail TPH-CWG1 a étudié ces mélanges d'hydrocarbures en les décomposant en différents groupes de substances. Le TPH-CWG a déterminé les propriétés physico-chimiques et toxicologiques de ces groupes de substances.

Dans le cas de l'inhalation d'air intérieur et/ou extérieur, étant donné que la voie de transfert envisagée est le transfert de vapeurs, on considère uniquement la fraction volatile des hydrocarbures C10-C40, soit les hydrocarbures C10-C16.

Les tableaux 33 à 36 présentent les concentrations utilisées dans le modèle en vue de la sélection des valeurs définitives.



Tableau 33 : Concentrations retenues pour les HCT

Fractions	Concentration (mg/kg MS)		Voie concernée
	Coulée verte	Aménagement	
TPH aromatic C10-C12		5*	Inhalation et ingestion
TPH aromatic C12-C16		10*	Inhalation et ingestion
TPH aromatic C16-C21		15*	Ingestion
TPH aromatic C21-C40		61	Ingestion
TPH aliphatic C10-C12		5*	Inhalation et ingestion
TPH aliphatic C12-C16		10*	Inhalation et ingestion
TPH aliphatic C16-C21		76	Ingestion
TPH aliphatic C21-C35			Ingestion

* Lorsque les valeurs sont inférieures au seuil de détection du laboratoire, la valeur de détection qui est retenue pour le calcul de risque.

Ne disposant pas de la répartition des différentes fractions (aromatiques/aliphatiques), les concentrations seront affectées aux fractions qui présentent le plus de risques.

Tableau 34 : Concentrations retenues pour les HAP

Substance	Concentration (mg/kg MS)		Voie concernée
	Coulée verte	Aménagement	
Naphtalène	0,43		Inhalation et ingestion

Tableau 35 : Concentrations retenues pour les BTEX

Substance	Concentration (mg/kg MS)		Voie concernée
	Coulée verte	Aménagement	
Benzène	0,14		Inhalation et ingestion

Tableau 36 : Concentrations retenues pour les métaux lourds

Métaux lourds	Concentration (mg/kg MS)		Voie concernée
	Coulée verte	Aménagement	
Arsenic	36	120	Ingestion
Cadmium	0,42	2,8	Ingestion
Chrome	88	150	Ingestion
Cuivre	28	41	Ingestion
Mercuré	0,46	0,49	Inhalation et ingestion
Nickel	65	86	Ingestion
Plomb	38	91	Ingestion
Zinc	200	750	Ingestion

13.3.4. Choix des VTR utilisées

On utilise les valeurs toxicologiques de référence recommandées par l'INERIS pour la réalisation des évaluations quantitatives des risques sanitaires. Les résultats de calcul fournissent des valeurs d'exposition des utilisateurs du site aux substances polluantes présentes dans le sol. Ces valeurs se traduisent sous forme de quantité de produit absorbé



par unité de poids corporel d'individu ou sous forme de concentration moyenne inhalée. Ces valeurs sont comparées aux valeurs toxicologiques de référence (VTR) afin d'évaluer le risque sanitaire.

Le choix des VTR s'est fait selon la circulaire de la DGS 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.

Les VTR sont issues d'études menées par divers organismes : ANSES, OMS, US EPA, ATSDR, OEHHA, RIVM, Santé Canada.

Principales sources concernant les VTR :

ANSES : Agence nationale de Sécurité Sanitaire de l'Alimentation, de l'Environnement et du Travail.

USEPA : United-States Environmental Protection Agency, base de données des Etats-Unis

ATSDR : Agency for Toxic Substances and Disease Registry, base de données des Etats-Unis

OMS : Organisation Mondiale de la Santé

RIVM : Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu, base de données des Pays-Bas

OEHHA : Office of Environmental Health Hazard Assessment, base de données de l'état de Californie

Les valeurs les plus pertinentes de VTR ont été sélectionnées. Le choix des VTR a été réalisé à partir du site substances.ineris.fr, consulté en novembre 2020. Nous avons d'abord sélectionné les VTR retenues par l'INERIS puis celles retenues par l'ANSES. Lorsque celles-ci ne sont pas disponibles et que plusieurs valeurs toxicologiques sont présentées, nous avons d'abord choisi celles de l'US EPA, l'OMS et l'ATSDR puis enfin celles de Santé Canada, RIVM, OEHHA et EFSA.

Le tableau ci-après (Cf. *Tableau 37*) présente les VTR disponibles pour les substances étudiées qui présentent des effets à seuil ou sans seuil pour la voie respiratoire.

Tableau 37 : VTR pour voie respiratoire

Composés	N° CAS	Organe Cible	Avec seuil ($\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$)	Source/Choix	Organe Cible	Sans seuil ($\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{a}^{-1}$)	Source
HYDROCARBURES							
TPH aromatic C10-C12			200	TPH CWG 1997			
TPH aromatic C12-C16			200	TPH CWG 1997			
TPH aromatic C16-C20							
TPH aromatic C21-C40							
TPH aliphatic C10-C12			1000	TPH CWG 1997			
TPH aliphatic C12-C16			1000	TPH CWG 1997			
TPH aliphatic C16-C35							
HAP							
Naphtalène	91-20-3	Poumon/Nez	37	ANSES 2013/INERIS	Poumon/Nez	0,0000056	ANSES 2013/INERIS
METAUX LOURDS							
Arsenic	7440-38-2	Cerveau	0,015	OEHHA 2008/INERIS 2010	Poumon	0,0043	US EPA 1995/INERIS 2010
Cadmium	7440-43-9	Poumons/Reins	0,3	ANSES 2012/INERIS	Poumon	0,0018	US EPA 1987
Chrome	7440-47-3	Poumon	2	INERIS 2017	Poumon	0,04	OMS CICAD 2013/INERIS 2017
Cuivre	7440-50-8		1	RIVM 2001			
Mercurure	7439-97-6	Cerveau	0,03	OEHHA 2008/INERIS 2014			
Plomb	7439-92-1		0,5	OMS 2000	Reins	0,000012	OEHHA 2011/INERIS 2013
Nickel	7440-02-0	Poumon/Nez	0,09	ATSDR2005/INERIS 2017	Poumon	0,00026	OEHHA 2011/INERIS 2017
Zinc	7440-66-6						
BTEX							
Benzène	71-43-2		10	ANSES 2008	Sang	0,000026	ANSES 2014



Le tableau ci-dessous (Cf. *Tableau 38*) présente les VTR disponibles pour les substances étudiées qui présentent des effets à seuil ou sans seuil pour la voie Orale.

Tableau 38 : VTR pour voie orale

Composés	N° CAS	Organe Cible	Avec seuil (mg/kg/j)	Source	Organe Cible	Sans seuil (mg/kg/j) ⁻¹	Source
HYDROCARBURES							
TPH aromatic C10-C12			0,04	TPH CWG 1997			
TPH aromatic C12-C16			0,04	TPH CWG 1997			
TPH aromatic C16-C20			0,03	TPH CWG 1997			
TPH aromatic C21-C40			0,03	TPH CWG 1997			
TPH aliphatic C10-C12			0,1	TPH CWG 1997			
TPH aliphatic C12-C16			0,1	TPH CWG 1997			
TPH aliphatic C16-C21			2	TPH CWG 1997			
TPH aliphatic C21-C35			2	TPH CWG 1997			
HAP							
Naphtalène	91-20-3	Masse corporelle	0,02	US EPA 1998/INERIS 2014	Poumon/Nez	0,12	OEHHA 2011/INERIS 2014
METEAUX LOURDS							
Arsenic	7440-38-2	Peau	0,00045	Fobig 2009/INERIS 2010	Peau	1,5	US EPA 2009/INERIS 2010
Cadmium	7440-43-9	Sang	0,00036	EFSA 2011/INERIS 2013			
Chrome	7440-47-3		0,3	EFSA 2014/INERIS 2019	Intestin	0,5	OEHHA 2011/ INERIS 2017
Cuivre	7440-50-8	Estomac	0,141	Santé Canada 2010			
Mercurure	7439-97-6	Reins	0,00066	INERIS 2013/INERIS 2014			
Plomb	7439-92-1		0,0036	RIVM 2001	Reins	0,0085	OEHHA 2011/INERIS 2013
Nickel	7440-02-0	Appareil reproducteur	0,0028	EFSA 2015/INERIS 2017			
Zinc	7440-66-6		0,3	US EPA 2005			
BTEX							
Benzène	71-43-2	Sang	0,004	US EPA 2003	Sang	0,015	US EPA 2000

On observe que certaines substances considérées dans les données de départ ne possèdent pas de VTR pour une ou plusieurs voies d'exposition retenues et pour l'un ou l'autre type d'effet. Dans ce cas, on ne les prend pas en considération pour le calcul des risques pour les voies d'exposition et le type d'effet concernés.

13.3.5. Calcul des risques sanitaires

13.3.5.1. Aménagement

Les hydrocarbures aliphatiques ont été retenus car ils présentent le plus de risque.

➤ Intérieur des locaux

○ QD

Résident adulte			Résident enfant		
Chemical	Inhalation of Indoor Air	TOTAL	Chemical	Inhalation of Indoor Air	TOTAL
Arsenic	0,0E+00	ND	Arsenic	0,0E+00	ND
Cadmium	0,0E+00	ND	Cadmium	0,0E+00	ND
Chromium (total)	0,0E+00	ND	Chromium (total)	0,0E+00	ND
Copper	0,0E+00	ND	Copper	0,0E+00	ND
Lead	0,0E+00	ND	Lead	0,0E+00	ND
Mercury (inorganic)	2,3E+00	2,3E+00	Mercury (inorganic)	2,3E+00	2,3E+00
Nickel (soluble salts)	0,0E+00	ND	Nickel (soluble salts)	0,0E+00	ND
TPH Aliphatic C10-12	6,5E-03	6,5E-03	TPH Aliphatic C10-12	6,5E-03	6,5E-03
TPH Aliphatic C12-16	2,7E-03	2,7E-03	TPH Aliphatic C12-16	2,7E-03	2,7E-03
TPH Aliphatic C16-35	ND	ND	TPH Aliphatic C16-35	ND	ND
TPH Aromatic C10-12	0,0E+00	ND	TPH Aromatic C10-12	0,0E+00	ND
TPH Aromatic C12-16	0,0E+00	ND	TPH Aromatic C12-16	0,0E+00	ND
TPH Aromatic C16-21	ND	ND	TPH Aromatic C16-21	ND	ND
TPH Aromatic C21-35	ND	ND	TPH Aromatic C21-35	ND	ND
Zinc	ND	ND	Zinc	ND	ND
TOTAL	2,3E+00	2,3E+00	TOTAL	2,3E+00	2,3E+00



Personnel		
Chemical	Inhalation of Indoor Air	TOTAL
Arsenic	0,0E+00	ND
Cadmium	0,0E+00	ND
Chromium (total)	0,0E+00	ND
Copper	0,0E+00	ND
Lead	0,0E+00	ND
Mercury (inorganic)	4,0E-01	4,0E-01
Nickel (soluble salts)	0,0E+00	ND
TPH Aliphatic C10-12	1,2E-03	1,2E-03
TPH Aliphatic C12-16	4,8E-04	4,8E-04
TPH Aliphatic C16-35	ND	ND
TPH Aromatic C10-12	0,0E+00	ND
TPH Aromatic C12-16	0,0E+00	ND
TPH Aromatic C16-21	ND	ND
TPH Aromatic C21-35	ND	ND
Zinc	ND	ND
TOTAL	4,0E-01	4,0E-01

○ ERI

L'ERI n'est pas calculé, car le mercure et les HCT ne disposent pas de VTR pour les effets sans seuil et que les autres métaux lourds ne possèdent pas de forme volatile.

➤ Extérieur jardin potager

Les hydrocarbures aromatiques ont été retenus car ils présentent le plus de risque.

○ QD

Résident adulte						
Chemical	Ingestion of Soil	Dermal Contact with Soil	Ingestion of Vegetables	Inhalation of Outdoor Air	Inhalation of Particulates	TOTAL
Arsenic	1,8E-01	4,0E-02	3,3E-01	0,0E+00	1,5E-12	5,4E-01
Cadmium	2,6E-04	3,9E-05	1,3E-01	0,0E+00	1,8E-15	1,3E-01
Chromium (total)	4,4E-06	2,5E-03	1,3E-03	0,0E+00	1,5E-14	3,8E-03
Copper	2,0E-04	1,5E-03	3,6E-03	0,0E+00	7,9E-15	5,3E-03
Lead	1,7E-02	1,3E-03	3,5E-01	0,0E+00	3,5E-14	3,6E-01
Mercury (inorganic)	3,5E-05	3,7E-03	2,1E-02	9,8E-05	3,1E-15	2,4E-02
Nickel (soluble salts)	2,1E-02	6,2E-03	3,8E-02	0,0E+00	1,9E-13	6,5E-02
TPH Aliphatic C10-12	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	ND
TPH Aliphatic C12-16	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	ND
TPH Aliphatic C16-35	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	ND	ND	ND
TPH Aromatic C10-12	8,4E-05	6,2E-04	1,2E-03	1,7E-07	4,8E-18	1,9E-03
TPH Aromatic C12-16	1,7E-04	1,3E-03	3,4E-03	8,5E-08	9,6E-18	4,8E-03
TPH Aromatic C16-21	3,4E-04	2,5E-03	1,2E-02	ND	ND	1,5E-02
TPH Aromatic C21-35	1,4E-03	1,0E-02	1,4E-01	ND	ND	1,5E-01
Zinc	1,7E-03	1,3E-02	1,2E-01	ND	ND	1,3E-01
TOTAL	2,2E-01	8,2E-02	1,1E+00	9,9E-05	1,8E-12	1,4E+00



Résident enfant						
Chemical	Ingestion of Soil	Dermal Contact with Soil	Ingestion of Vegetables	Inhalation of Outdoor Air	Inhalation of Particulates	TOTAL
Arsenic	1,3E+00	1,7E-01	5,8E-01	0,0E+00	1,5E-12	2,1E+00
Cadmium	1,9E-03	1,7E-04	2,4E-01	0,0E+00	1,8E-15	2,4E-01
Chromium (total)	3,2E-05	1,1E-02	2,3E-03	0,0E+00	1,5E-14	1,3E-02
Copper	1,5E-03	6,3E-03	6,5E-03	0,0E+00	7,9E-15	1,4E-02
Lead	1,3E-01	5,5E-03	6,2E-01	0,0E+00	3,5E-14	7,5E-01
Mercury (inorganic)	2,6E-04	1,6E-02	3,7E-02	9,8E-05	3,1E-15	5,3E-02
Nickel (soluble salts)	1,5E-01	2,7E-02	6,8E-02	0,0E+00	1,9E-13	2,5E-01
TPH Aliphatic C10-12	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	ND
TPH Aliphatic C12-16	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	ND
TPH Aliphatic C16-35	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	ND	ND	ND
TPH Aromatic C10-12	6,2E-04	2,7E-03	2,5E-03	1,7E-07	4,8E-18	5,8E-03
TPH Aromatic C12-16	1,2E-03	5,4E-03	7,0E-03	8,5E-08	9,6E-18	1,4E-02
TPH Aromatic C16-21	2,5E-03	1,1E-02	2,5E-02	ND	ND	3,8E-02
TPH Aromatic C21-35	1,0E-02	4,4E-02	2,8E-01	ND	ND	3,4E-01
Zinc	1,2E-02	5,5E-02	2,1E-01	ND	ND	2,8E-01
TOTAL	1,6E+00	3,6E-01	2,1E+00	9,9E-05	1,8E-12	4,1E+00

 ○ ERI

Résident enfant						
Chemical	Ingestion of Soil	Dermal Contact with Soil	Ingestion of Vegetables	Inhalation of Outdoor Air	Inhalation of Particulates	TOTAL
Arsenic	2,2E-04	2,9E-05	9,8E-05	0,0E+00	2,5E-17	3,5E-04
Cadmium	ND	ND	ND	0,0E+00	2,5E-19	2,5E-19
Chromium (total)	1,2E-06	4,1E-04	8,8E-05	0,0E+00	2,9E-16	5,0E-04
Copper	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Lead	9,7E-07	4,2E-08	4,8E-06	0,0E+00	5,3E-20	5,8E-06
Mercury (inorganic)	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Nickel (soluble salts)	ND	ND	ND	0,0E+00	1,1E-18	1,1E-18
TPH Aliphatic C10-12	ND	0,0E+00	ND	ND	ND	ND
TPH Aliphatic C12-16	ND	0,0E+00	ND	ND	ND	ND
TPH Aliphatic C16-35	ND	0,0E+00	ND	ND	ND	ND
TPH Aromatic C10-12	ND	ND	ND	ND	ND	ND
TPH Aromatic C12-16	ND	ND	ND	ND	ND	ND
TPH Aromatic C16-21	ND	ND	ND	ND	ND	ND
TPH Aromatic C21-35	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Zinc	ND	ND	ND	ND	ND	ND
TOTAL	2,2E-04	4,4E-04	1,9E-04	0,0E+00	3,2E-16	8,5E-04

Résident adulte						
Chemical	Ingestion of Soil	Dermal Contact with Soil	Ingestion of Vegetables	Inhalation of Outdoor Air	Inhalation of Particulates	TOTAL
Arsenic	1,1E-04	2,5E-05	2,1E-04	0,0E+00	9,3E-17	3,5E-04
Cadmium	ND	ND	ND	0,0E+00	9,9E-19	9,9E-19
Chromium (total)	6,7E-07	3,8E-04	2,0E-04	0,0E+00	1,2E-15	5,8E-04
Copper	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Lead	5,3E-07	3,9E-08	1,1E-05	0,0E+00	2,1E-19	1,1E-05
Mercury (inorganic)	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Nickel (soluble salts)	ND	ND	ND	0,0E+00	4,4E-18	4,4E-18
TPH Aliphatic C10-12	ND	0,0E+00	ND	ND	ND	ND
TPH Aliphatic C12-16	ND	0,0E+00	ND	ND	ND	ND
TPH Aliphatic C16-35	ND	0,0E+00	ND	ND	ND	ND
TPH Aromatic C10-12	ND	ND	ND	ND	ND	ND
TPH Aromatic C12-16	ND	ND	ND	ND	ND	ND
TPH Aromatic C16-21	ND	ND	ND	ND	ND	ND
TPH Aromatic C21-35	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Zinc	ND	ND	ND	ND	ND	ND
TOTAL	1,1E-04	4,1E-04	4,2E-04	0,0E+00	1,3E-15	9,4E-04

 ➤ Extérieur espaces verts

 ○ QD


Passant adulte					
Chemical	Ingestion of Soil	Dermal Contact with Soil	Inhalation of Outdoor Air	Inhalation of Particulates	TOTAL
Arsenic	1,8E-01	4,0E-02	0,0E+00	3,8E-13	2,2E-01
Cadmium	2,6E-04	3,9E-05	0,0E+00	4,5E-16	3,0E-04
Chromium (total)	4,4E-06	2,5E-03	0,0E+00	3,6E-15	2,5E-03
Copper	2,0E-04	1,5E-03	0,0E+00	2,0E-15	1,7E-03
Lead	1,7E-02	1,3E-03	0,0E+00	8,8E-15	1,8E-02
Mercury (inorganic)	3,5E-05	3,7E-03	2,5E-05	7,8E-16	3,7E-03
Nickel (soluble salts)	2,1E-02	6,2E-03	0,0E+00	4,6E-14	2,7E-02
TPH Aliphatic C10-12	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	ND
TPH Aliphatic C12-16	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	ND
TPH Aliphatic C16-35	0,0E+00	0,0E+00	ND	ND	ND
TPH Aromatic C10-12	8,4E-05	6,2E-04	4,1E-08	1,2E-18	7,0E-04
TPH Aromatic C12-16	1,7E-04	1,3E-03	2,1E-08	2,4E-18	1,4E-03
TPH Aromatic C16-21	3,4E-04	2,5E-03	ND	ND	2,8E-03
TPH Aromatic C21-35	1,4E-03	1,0E-02	ND	ND	1,2E-02
Zinc	1,7E-03	1,3E-02	ND	ND	1,4E-02
TOTAL	2,2E-01	8,2E-02	2,5E-05	4,4E-13	3,0E-01
Passant enfant					
Chemical	Ingestion of Soil	Dermal Contact with Soil	Inhalation of Outdoor Air	Inhalation of Particulates	TOTAL
Arsenic	1,3E+00	1,7E-01	0,0E+00	3,8E-13	1,5E+00
Cadmium	1,9E-03	1,7E-04	0,0E+00	4,5E-16	2,1E-03
Chromium (total)	3,2E-05	1,1E-02	0,0E+00	3,6E-15	1,1E-02
Copper	1,5E-03	6,3E-03	0,0E+00	2,0E-15	7,8E-03
Lead	1,3E-01	5,5E-03	0,0E+00	8,8E-15	1,3E-01
Mercury (inorganic)	2,6E-04	1,6E-02	2,5E-05	7,8E-16	1,6E-02
Nickel (soluble salts)	1,5E-01	2,7E-02	0,0E+00	4,6E-14	1,8E-01
TPH Aliphatic C10-12	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	ND
TPH Aliphatic C12-16	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	ND
TPH Aliphatic C16-35	0,0E+00	0,0E+00	ND	ND	ND
TPH Aromatic C10-12	6,2E-04	2,7E-03	4,1E-08	1,2E-18	3,3E-03
TPH Aromatic C12-16	1,2E-03	5,4E-03	2,1E-08	2,4E-18	6,7E-03
TPH Aromatic C16-21	2,5E-03	1,1E-02	ND	ND	1,3E-02
TPH Aromatic C21-35	1,0E-02	4,4E-02	ND	ND	5,4E-02
Zinc	1,2E-02	5,5E-02	ND	ND	6,7E-02
TOTAL	1,6E+00	3,6E-01	2,5E-05	4,4E-13	2,0E+00
Personnel					
Chemical	Ingestion of Soil	Dermal Contact with Soil	Inhalation of Outdoor Air	Inhalation of Particulates	TOTAL
Arsenic	1,1E-01	2,5E-02	0,0E+00	2,4E-13	1,4E-01
Cadmium	1,7E-04	2,5E-05	0,0E+00	2,8E-16	1,9E-04
Chromium (total)	2,8E-06	1,6E-03	0,0E+00	2,3E-15	1,6E-03
Copper	1,2E-04	9,2E-04	0,0E+00	1,3E-15	1,0E-03
Lead	1,1E-02	8,0E-04	0,0E+00	5,5E-15	1,2E-02
Mercury (inorganic)	2,2E-05	2,3E-03	1,6E-05	4,9E-16	2,4E-03
Nickel (soluble salts)	1,3E-02	3,9E-03	0,0E+00	2,9E-14	1,7E-02
TPH Aliphatic C10-12	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	ND
TPH Aliphatic C12-16	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	ND
TPH Aliphatic C16-35	0,0E+00	0,0E+00	ND	ND	ND
TPH Aromatic C10-12	5,3E-05	3,9E-04	2,6E-08	7,5E-19	4,4E-04
TPH Aromatic C12-16	1,1E-04	7,8E-04	1,3E-08	1,5E-18	8,9E-04
TPH Aromatic C16-21	2,1E-04	1,6E-03	ND	ND	1,8E-03
TPH Aromatic C21-35	8,6E-04	6,4E-03	ND	ND	7,3E-03
Zinc	1,1E-03	7,9E-03	ND	ND	8,9E-03
TOTAL	1,4E-01	5,1E-02	1,6E-05	2,8E-13	1,9E-01

○ ERI



Passant adulte					
Chemical	Ingestion of Soil	Dermal Contact with Soil	Inhalation of Outdoor Air	Inhalation of Particulates	TOTAL
Arsenic	1,1E-04	2,5E-05	0,0E+00	2,3E-17	1,4E-04
Cadmium	ND	ND	0,0E+00	2,5E-19	2,5E-19
Chromium (total)	6,7E-07	3,8E-04	0,0E+00	2,9E-16	3,8E-04
Copper	ND	ND	ND	ND	ND
Lead	5,3E-07	3,9E-08	0,0E+00	5,4E-20	5,7E-07
Mercury (inorganic)	ND	ND	ND	ND	ND
Nickel (soluble salts)	ND	ND	0,0E+00	1,1E-18	1,1E-18
TPH Aliphatic C10-12	ND	0,0E+00	ND	ND	ND
TPH Aliphatic C12-16	ND	0,0E+00	ND	ND	ND
TPH Aliphatic C16-35	ND	0,0E+00	ND	ND	ND
TPH Aromatic C10-12	ND	ND	ND	ND	ND
TPH Aromatic C12-16	ND	ND	ND	ND	ND
TPH Aromatic C16-21	ND	ND	ND	ND	ND
TPH Aromatic C21-35	ND	ND	ND	ND	ND
Zinc	ND	ND	ND	ND	ND
TOTAL	1,1E-04	4,1E-04	0,0E+00	3,2E-16	5,2E-04

Passant enfant					
Chemical	Ingestion of Soil	Dermal Contact with Soil	Inhalation of Outdoor Air	Inhalation of Particulates	TOTAL
Arsenic	2,2E-04	2,9E-05	0,0E+00	6,1E-18	2,5E-04
Cadmium	ND	ND	0,0E+00	6,1E-20	6,1E-20
Chromium (total)	1,2E-06	4,1E-04	0,0E+00	7,3E-17	4,1E-04
Copper	ND	ND	ND	ND	ND
Lead	9,7E-07	4,2E-08	0,0E+00	1,3E-20	1,0E-06
Mercury (inorganic)	ND	ND	ND	ND	ND
Nickel (soluble salts)	ND	ND	0,0E+00	2,7E-19	2,7E-19
TPH Aliphatic C10-12	ND	0,0E+00	ND	ND	ND
TPH Aliphatic C12-16	ND	0,0E+00	ND	ND	ND
TPH Aliphatic C16-35	ND	0,0E+00	ND	ND	ND
TPH Aromatic C10-12	ND	ND	ND	ND	ND
TPH Aromatic C12-16	ND	ND	ND	ND	ND
TPH Aromatic C16-21	ND	ND	ND	ND	ND
TPH Aromatic C21-35	ND	ND	ND	ND	ND
Zinc	ND	ND	ND	ND	ND
TOTAL	2,2E-04	4,4E-04	0,0E+00	7,9E-17	6,6E-04

Personnel					
Chemical	Ingestion of Soil	Dermal Contact with Soil	Inhalation of Outdoor Air	Inhalation of Particulates	TOTAL
Arsenic	7,1E-05	1,6E-05	0,0E+00	1,5E-17	8,7E-05
Cadmium	ND	ND	0,0E+00	1,6E-19	1,6E-19
Chromium (total)	4,2E-07	2,4E-04	0,0E+00	1,9E-16	2,4E-04
Copper	ND	ND	ND	ND	ND
Lead	3,3E-07	2,5E-08	0,0E+00	3,4E-20	3,6E-07
Mercury (inorganic)	ND	ND	ND	ND	ND
Nickel (soluble salts)	ND	ND	0,0E+00	6,9E-19	6,9E-19
TPH Aliphatic C10-12	ND	0,0E+00	ND	ND	ND
TPH Aliphatic C12-16	ND	0,0E+00	ND	ND	ND
TPH Aliphatic C16-35	ND	0,0E+00	ND	ND	ND
TPH Aromatic C10-12	ND	ND	ND	ND	ND
TPH Aromatic C12-16	ND	ND	ND	ND	ND
TPH Aromatic C16-21	ND	ND	ND	ND	ND
TPH Aromatic C21-35	ND	ND	ND	ND	ND
Zinc	ND	ND	ND	ND	ND
TOTAL	7,2E-05	2,6E-04	0,0E+00	2,0E-16	3,3E-04

13.3.5.2. Coulée verte

➤ Intérieur des locaux

Les hydrocarbures aliphatiques ont été retenus car ils présentent le plus de risque.

- QD



Résident adulte			Résident enfant		
Chemical	Inhalation of Indoor Air	TOTAL	Chemical	Inhalation of Indoor Air	TOTAL
Arsenic	0,0E+00	ND	Arsenic	0,0E+00	ND
Benzene	1,0E-01	1,0E-01	Benzene	1,0E-01	1,0E-01
Cadmium	0,0E+00	ND	Cadmium	0,0E+00	ND
Chromium (total)	0,0E+00	ND	Chromium (total)	0,0E+00	ND
Copper	0,0E+00	ND	Copper	0,0E+00	ND
Lead	0,0E+00	ND	Lead	0,0E+00	ND
Mercury (inorganic)	2,1E+00	2,1E+00	Mercury (inorganic)	2,1E+00	2,1E+00
Naphthalene	1,7E-04	1,7E-04	Naphthalene	1,7E-04	1,7E-04
Nickel (soluble salts)	0,0E+00	ND	Nickel (soluble salts)	0,0E+00	ND
Zinc	ND	ND	Zinc	ND	ND
TOTAL	2,2E+00	2,2E+00	TOTAL	2,2E+00	2,2E+00

Personnel		
Chemical	Inhalation of Indoor Air	TOTAL
Arsenic	0,0E+00	ND
Benzene	1,8E-02	1,8E-02
Cadmium	0,0E+00	ND
Chromium (total)	0,0E+00	ND
Copper	0,0E+00	ND
Lead	0,0E+00	ND
Mercury (inorganic)	3,7E-01	3,7E-01
Naphthalene	3,0E-05	3,0E-05
Nickel (soluble salts)	0,0E+00	ND
Zinc	ND	ND
TOTAL	3,9E-01	3,9E-01

 ○ ERI

Résident adulte			Résident enfant		
Chemical	Inhalation of Indoor Air	TOTAL	Chemical	Inhalation of Indoor Air	TOTAL
Arsenic	0,0E+00	ND	Arsenic	0,0E+00	ND
Benzene	2,7E-05	2,7E-05	Benzene	6,8E-06	6,8E-06
Cadmium	0,0E+00	ND	Cadmium	0,0E+00	ND
Chromium (total)	0,0E+00	ND	Chromium (total)	0,0E+00	ND
Copper	ND	ND	Copper	ND	ND
Lead	0,0E+00	ND	Lead	0,0E+00	ND
Mercury (inorganic)	ND	ND	Mercury (inorganic)	ND	ND
Naphthalene	3,6E-08	3,6E-08	Naphthalene	8,9E-09	8,9E-09
Nickel (soluble salts)	0,0E+00	ND	Nickel (soluble salts)	0,0E+00	ND
Zinc	ND	ND	Zinc	ND	ND
TOTAL	2,7E-05	2,7E-05	TOTAL	6,8E-06	6,8E-06

Personnel		
Chemical	Inhalation of Indoor Air	TOTAL
Arsenic	0,0E+00	ND
Benzene	4,8E-06	4,8E-06
Cadmium	0,0E+00	ND
Chromium (total)	0,0E+00	ND
Copper	ND	ND
Lead	0,0E+00	ND
Mercury (inorganic)	ND	ND
Naphthalene	6,3E-09	6,3E-09
Nickel (soluble salts)	0,0E+00	ND
Zinc	ND	ND
TOTAL	4,8E-06	4,8E-06

 ➤ Extérieur jardin potager

 ○ QD

Résident adulte						
Chemical	Ingestion of Soil	Dermal Contact with Soil	Ingestion of Vegetables	Inhalation of Outdoor Air	Inhalation of Particulates	TOTAL
Arsenic	5,3E-02	1,2E-02	9,8E-02	0,0E+00	4,6E-13	1,6E-01
Benzene	1,7E-05	1,3E-04	7,0E-04	3,1E-06	2,0E-18	8,5E-04
Cadmium	3,9E-05	5,9E-06	2,0E-02	0,0E+00	2,7E-16	2,0E-02
Chromium (total)	2,6E-06	1,5E-03	7,6E-04	0,0E+00	8,5E-15	2,2E-03
Copper	1,3E-04	1,0E-03	2,5E-03	0,0E+00	5,4E-15	3,6E-03
Lead	7,1E-03	5,3E-04	1,4E-01	0,0E+00	1,5E-14	1,5E-01
Mercury (inorganic)	3,3E-05	3,5E-03	1,9E-02	9,2E-05	2,9E-15	2,3E-02
Naphthalene	1,4E-05	1,4E-05	2,1E-04	2,1E-08	2,2E-18	2,4E-04
Nickel (soluble salts)	1,6E-02	4,7E-03	2,9E-02	0,0E+00	1,4E-13	4,9E-02
Zinc	4,5E-04	3,3E-03	3,1E-02	ND	ND	3,5E-02
TOTAL	7,7E-02	2,6E-02	3,5E-01	9,6E-05	6,3E-13	4,5E-01

Résident enfant						
Chemical	Ingestion of Soil	Dermal Contact with Soil	Ingestion of Vegetables	Inhalation of Outdoor Air	Inhalation of Particulates	TOTAL
Arsenic	3,9E-01	5,2E-02	1,8E-01	0,0E+00	4,6E-13	6,2E-01
Benzene	1,3E-04	5,5E-04	1,4E-03	3,1E-06	2,0E-18	2,1E-03
Cadmium	2,9E-04	2,5E-05	3,6E-02	0,0E+00	2,7E-16	3,6E-02
Chromium (total)	1,9E-05	6,4E-03	1,4E-03	0,0E+00	8,5E-15	7,8E-03
Copper	9,9E-04	4,3E-03	4,4E-03	0,0E+00	5,4E-15	9,7E-03
Lead	5,3E-02	2,3E-03	2,6E-01	0,0E+00	1,5E-14	3,1E-01
Mercury (inorganic)	2,4E-04	1,5E-02	3,5E-02	9,2E-05	2,9E-15	5,0E-02
Naphthalene	1,1E-04	6,0E-05	4,4E-04	2,1E-08	2,2E-18	6,0E-04
Nickel (soluble salts)	1,2E-01	2,0E-02	5,2E-02	0,0E+00	1,4E-13	1,9E-01
Zinc	3,3E-03	1,5E-02	5,6E-02	ND	ND	7,4E-02
TOTAL	5,7E-01	1,2E-01	6,2E-01	9,6E-05	6,3E-13	1,3E+00

 ○ ERI

Résident adulte						
Chemical	Ingestion of Soil	Dermal Contact with Soil	Ingestion of Vegetables	Inhalation of Outdoor Air	Inhalation of Particulates	TOTAL
Arsenic	6,6E-05	8,7E-06	3,0E-05	0,0E+00	7,4E-18	1,0E-04
Benzene	1,7E-09	7,3E-09	1,9E-08	1,8E-10	1,1E-22	2,8E-08
Cadmium	ND	ND	ND	0,0E+00	3,7E-20	3,7E-20
Chromium (total)	7,2E-07	2,4E-04	5,2E-05	0,0E+00	1,7E-16	2,9E-04
Copper	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Lead	4,0E-07	1,8E-08	2,0E-06	0,0E+00	2,2E-20	2,4E-06
Mercury (inorganic)	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Naphthalene	6,3E-08	3,6E-08	2,6E-07	1,1E-12	1,2E-22	3,6E-07
Nickel (soluble salts)	ND	ND	ND	0,0E+00	8,2E-19	8,2E-19
Zinc	ND	ND	ND	ND	ND	ND
TOTAL	6,7E-05	2,5E-04	8,3E-05	1,8E-10	1,8E-16	4,0E-04

Résident enfant						
Chemical	Ingestion of Soil	Dermal Contact with Soil	Ingestion of Vegetables	Inhalation of Outdoor Air	Inhalation of Particulates	TOTAL
Arsenic	3,4E-05	7,6E-06	6,3E-05	0,0E+00	2,8E-17	1,0E-04
Benzene	3,5E-10	2,6E-09	1,5E-08	2,8E-10	1,8E-22	1,8E-08
Cadmium	ND	ND	ND	0,0E+00	1,5E-19	1,5E-19
Chromium (total)	3,9E-07	2,2E-04	1,2E-04	0,0E+00	6,9E-16	3,4E-04
Copper	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Lead	2,2E-07	1,6E-08	4,5E-06	0,0E+00	8,9E-20	4,7E-06
Mercury (inorganic)	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Naphthalene	3,3E-08	3,2E-08	5,0E-07	4,2E-12	4,4E-22	5,6E-07
Nickel (soluble salts)	ND	ND	ND	0,0E+00	3,3E-18	3,3E-18
Zinc	ND	ND	ND	ND	ND	ND
TOTAL	3,5E-05	2,3E-04	1,8E-04	2,8E-10	7,2E-16	4,5E-04

 ➤ Extérieur espaces verts

 ○ QD


Passant adulte					
Chemical	Ingestion of Soil	Dermal Contact with Soil	Inhalation of Outdoor Air	Inhalation of Particulates	TOTAL
Arsenic	5,3E-02	1,2E-02	0,0E+00	1,1E-13	6,5E-02
Benzene	1,7E-05	1,3E-04	7,7E-07	4,9E-19	1,4E-04
Cadmium	3,9E-05	5,9E-06	0,0E+00	6,8E-17	4,5E-05
Chromium (total)	2,6E-06	1,5E-03	0,0E+00	2,1E-15	1,5E-03
Copper	1,3E-04	1,0E-03	0,0E+00	1,4E-15	1,1E-03
Lead	7,1E-03	5,3E-04	0,0E+00	3,7E-15	7,7E-03
Mercury (inorganic)	3,3E-05	3,5E-03	2,3E-05	7,3E-16	3,5E-03
Naphthalene	1,4E-05	1,4E-05	5,2E-09	5,6E-19	2,8E-05
Nickel (soluble salts)	1,6E-02	4,7E-03	0,0E+00	3,5E-14	2,0E-02
Zinc	4,5E-04	3,3E-03	ND	ND	3,8E-03
TOTAL	7,7E-02	2,6E-02	2,4E-05	1,6E-13	1,0E-01
Passant enfant					
Chemical	Ingestion of Soil	Dermal Contact with Soil	Inhalation of Outdoor Air	Inhalation of Particulates	TOTAL
Arsenic	3,9E-01	5,2E-02	0,0E+00	1,1E-13	4,4E-01
Benzene	1,3E-04	5,5E-04	7,7E-07	4,9E-19	6,8E-04
Cadmium	2,9E-04	2,5E-05	0,0E+00	6,8E-17	3,2E-04
Chromium (total)	1,9E-05	6,4E-03	0,0E+00	2,1E-15	6,4E-03
Copper	9,9E-04	4,3E-03	0,0E+00	1,4E-15	5,3E-03
Lead	5,3E-02	2,3E-03	0,0E+00	3,7E-15	5,5E-02
Mercury (inorganic)	2,4E-04	1,5E-02	2,3E-05	7,3E-16	1,5E-02
Naphthalene	1,1E-04	6,0E-05	5,2E-09	5,6E-19	1,7E-04
Nickel (soluble salts)	1,2E-01	2,0E-02	0,0E+00	3,5E-14	1,4E-01
Zinc	3,3E-03	1,5E-02	ND	ND	1,8E-02
TOTAL	5,7E-01	1,2E-01	2,4E-05	1,6E-13	6,8E-01
Personnel					
Chemical	Ingestion of Soil	Dermal Contact with Soil	Inhalation of Outdoor Air	Inhalation of Particulates	TOTAL
Arsenic	3,4E-02	7,5E-03	0,0E+00	7,2E-14	4,1E-02
Benzene	1,1E-05	8,0E-05	4,9E-07	3,1E-19	9,1E-05
Cadmium	2,5E-05	3,7E-06	0,0E+00	4,3E-17	2,8E-05
Chromium (total)	1,6E-06	9,2E-04	0,0E+00	1,3E-15	9,3E-04
Copper	8,4E-05	6,3E-04	0,0E+00	8,5E-16	7,1E-04
Lead	4,5E-03	3,3E-04	0,0E+00	2,3E-15	4,8E-03
Mercury (inorganic)	2,1E-05	2,2E-03	1,5E-05	4,6E-16	2,2E-03
Naphthalene	9,0E-06	8,7E-06	3,3E-09	3,5E-19	1,8E-05
Nickel (soluble salts)	9,9E-03	2,9E-03	0,0E+00	2,2E-14	1,3E-02
Zinc	2,8E-04	2,1E-03	ND	ND	2,4E-03
TOTAL	4,8E-02	1,7E-02	1,5E-05	9,9E-14	6,5E-02

 ○ ERI

Passant adulte					
Chemical	Ingestion of Soil	Dermal Contact with Soil	Inhalation of Outdoor Air	Inhalation of Particulates	TOTAL
Arsenic	3,4E-05	7,6E-06	0,0E+00	7,0E-18	4,2E-05
Benzene	3,5E-10	2,6E-09	6,9E-11	4,4E-23	3,1E-09
Cadmium	ND	ND	0,0E+00	3,7E-20	3,7E-20
Chromium (total)	3,9E-07	2,2E-04	0,0E+00	1,7E-16	2,2E-04
Copper	ND	ND	ND	ND	ND
Lead	2,2E-07	1,6E-08	0,0E+00	2,2E-20	2,4E-07
Mercury (inorganic)	ND	ND	ND	ND	ND
Naphthalene	3,3E-08	3,2E-08	1,0E-12	1,1E-22	6,5E-08
Nickel (soluble salts)	ND	ND	0,0E+00	8,3E-19	8,3E-19
Zinc	ND	ND	ND	ND	ND
TOTAL	3,5E-05	2,3E-04	7,0E-11	1,8E-16	2,7E-04



Passant enfant					
Chemical	Ingestion of Soil	Dermal Contact with Soil	Inhalation of Outdoor Air	Inhalation of Particulates	TOTAL
Arsenic	6,6E-05	8,7E-06	0,0E+00	1,8E-18	7,5E-05
Benzene	1,7E-09	7,3E-09	4,4E-11	2,8E-23	9,0E-09
Cadmium	ND	ND	0,0E+00	9,2E-21	9,2E-21
Chromium (total)	7,2E-07	2,4E-04	0,0E+00	4,3E-17	2,4E-04
Copper	ND	ND	ND	ND	ND
Lead	4,0E-07	1,8E-08	0,0E+00	5,5E-21	4,2E-07
Mercury (inorganic)	ND	ND	ND	ND	ND
Naphthalene	6,3E-08	3,6E-08	2,7E-13	2,9E-23	1,0E-07
Nickel (soluble salts)	ND	ND	0,0E+00	2,1E-19	2,1E-19
Zinc	ND	ND	ND	ND	ND
TOTAL	6,7E-05	2,5E-04	4,5E-11	4,5E-17	3,2E-04

Personnel					
Chemical	Ingestion of Soil	Dermal Contact with Soil	Inhalation of Outdoor Air	Inhalation of Particulates	TOTAL
Arsenic	2,1E-05	4,8E-06	0,0E+00	4,4E-18	2,6E-05
Benzene	2,2E-10	1,7E-09	4,4E-11	2,8E-23	1,9E-09
Cadmium	ND	ND	0,0E+00	2,3E-20	2,3E-20
Chromium (total)	2,5E-07	1,4E-04	0,0E+00	1,1E-16	1,4E-04
Copper	ND	ND	ND	ND	ND
Lead	1,4E-07	1,0E-08	0,0E+00	1,4E-20	1,5E-07
Mercury (inorganic)	ND	ND	ND	ND	ND
Naphthalene	2,1E-08	2,0E-08	6,6E-13	7,0E-23	4,1E-08
Nickel (soluble salts)	ND	ND	0,0E+00	5,2E-19	5,2E-19
Zinc	ND	ND	ND	ND	ND
TOTAL	2,2E-05	1,5E-04	4,4E-11	1,1E-16	1,7E-04

13.3.5.3. Interprétation des QD et ERI

Le tableau ci-dessous (Cf. *Tableau 39*) présente les résultats des calculs de risque pour les différents scénarios sur les deux zones.

Tableau 39 : Récapitulatif des QD et ERI obtenus pour les différents scénarios sur les deux zones

COULEE VERTE	Intérieur			Extérieur				
	Adulte	Enfant	Personnel	Jardin potager		Espaces verts		
				Adulte	Enfant	Adulte	Enfant	Personnel
QD (limite 1)	2,23E+00	2,23E+00	3,92E-01	4,48E-01	1,30E+00	1,03E-01	6,80E-01	6,49E-02
ERI (limite 10-5)	2,73E-05	6,76E-06	4,80E-06	4,50E-04	4,00E-04	2,66E-04	3,17E-04	1,67E-04
Acceptabilité du risque	Non	Non	Oui	Non	Non	Non	Non	Non

AMENAGEMENT	Intérieur			Extérieur				
	Adulte	Enfant	Personnel	Jardin potager		Espaces verts		
				Adulte	Enfant	Adulte	Enfant	Personnel
QD (limite 1)	2,27E+00	2,27E+00	4,00E-01	1,44E+00	4,05E+00	3,01E-01	1,97E+00	1,89E-01
ERI (limite 10-5)	ND	ND	ND	9,38E-04	8,53E-04	5,21E-04	6,62E-04	3,27E-04
Acceptabilité du risque	Non	Non	Oui	Non	Non	Non	Non	Non

Au droit des deux zones, le risque est :

- **Acceptable pour les scénarios intérieurs personnel ;**
- **Inacceptable pour les scénarios intérieurs pour les habitants ;**
- **Inacceptable pour les scénarios extérieurs jardins potager et espaces verts.**



13.3.6. Discussion des incertitudes

Au vu des nombreuses hypothèses nécessairement prises dans le cadre de l'évaluation des risques, des imprécisions et incertitudes existent. Celles-ci doivent également faire l'objet d'une évaluation afin de pouvoir conclure.

L'approche générale se veut sécuritaire et conduit à des valeurs de risques majorantes.

13.3.6.1. Incertitudes liées au modèle

La source sol est considérée comme infinie, c'est-à-dire que le logiciel ne prend pas en compte une atténuation des teneurs dans la source des sols en fonction du temps du fait de la volatilisation des composés de la source vers l'extérieur, ce choix est fortement conservatoire pour les composés les plus volatils et majore les résultats obtenus.

La présente étude a été menée en ne considérant que les risques sanitaires induits par la présence de polluants en concentration supérieure au bruit de fond du site. Cette pratique correspond à ce qui est couramment réalisé dans ce type d'étude.

Nous rappellerons cependant que :

- La présence potentielle de composés organiques volatils (benzène, solvants, ...) ou de poussières dans l'air atmosphérique de certaines agglomérations, non liées au site, n'est pas prise en compte ;
- La présence potentielle dans l'air intérieur de composés organiques volatils (solvants, formaldéhydes, etc) issus des aménagements, non liées au site, n'est pas prise en compte.

13.3.6.2. Incertitudes liées aux substances et aux concentrations retenues

La modélisation a été établie sur la base des résultats des rapports de ECR Environnement n°2501545 de Janvier 2022 et du rapport n°2501948 de Juin 2022. La réalisation de sondages ponctuels ne permet pas de s'affranchir de toute anomalie d'extension limitée subsistante, qui n'aurait pas été appréhendée au travers des investigations.

Lors de la sélection des substances, on considère la concentration maximale pour chaque substance étudiée au droit de la zone concernée. Cela revient à prendre l'hypothèse que ces concentrations se rencontrent dans l'ensemble de la zone impactée, ce qui renforce le caractère conservatoire de la modélisation.

Les valeurs les plus pertinentes de VTR ont été sélectionnées. Lorsque plusieurs valeurs toxicologiques sont disponibles, les valeurs validées par l'INERIS ou l'ANSES sont choisies en priorité ensuite se sont les valeurs les plus récentes et émanant des organismes internationalement reconnus puis en cas d'absence d'études : les valeurs anciennes ou émanant d'organisme peu reconnu.

En résumé, malgré l'existence d'incertitudes sur les VTR (concernant le degré de confiance accordées aux études, les facteurs de sécurité, les désaccords entre expert toxicologues), l'approche que nous avons retenue rend compte des connaissances scientifiques et techniques du moment et sont sécuritaires.

Il est à noter que les calculs de risque ont été réalisés avec les connaissances scientifiques du moment. Certaines substances, bien que présentes dans les sols, n'ont pas été retenues dans les calculs à défaut de VTR disponibles dans la bibliographie ou parce qu'elles sont considérées comme non pertinentes pour les voies d'exposition considérées.



13.3.6.3. Incertitudes liées aux paramètres de modélisation

Pour le calcul de l'inhalation de l'air, on considère les paramètres standards du modèle.

Des hypothèses ont été prises afin de définir certains paramètres inconnus. Ces hypothèses sont prises de manière à ce que l'évaluation des risques soit conservatoire. La mesure de ces paramètres permettrait d'affiner la modélisation et de la faire tendre davantage vers la situation réelle.

La modélisation est établie pour le scénario envisagé et pour la situation environnementale telle qu'elle a été établie par le diagnostic. Dans le cas où l'aménagement du site diffère, ou dans le cas où la situation environnementale ou sa connaissance est modifiée, une modélisation complémentaire devrait idéalement être réalisée afin d'identifier les risques potentiels pour la santé liés à la présence de concentrations résiduelles dans le sol.

13.3.6.4. Incertitudes liées aux données de base

- Les sols : Nous avons pris le type de sols rencontré lors des sondages. Les argiles calcareuses ne faisant pas partie d'une typologie de sol, nous avons retenu les caractéristiques des argiles.
- Les cibles : Pour les durées d'exposition, nous avons pris les cas les plus défavorables pour chaque cible identifiée.
- Les volumes : Pour la modélisation de la migration des vapeurs, nous avons pris en compte des dimensions de boîte les plus restrictives pour les scénarios extérieurs : boîte plus petite que l'étendue totale de la pollution d'une hauteur de 2 m ; pour les scénarios intérieurs une pièce de 10 m² pour un bureau et de 9 m² pour une chambre.
- La distance source/cible : a été adaptée au scénario (épaisseur de béton et couche de forme) afin de majorer les risques.
- Surface de la pollution et étendue : nous avons pris l'étendue correspondant à la densité de maillage au droit de la zone d'étude. L'épaisseur est celle correspondant à deux échantillons contaminés successifs.
- Les concentrations choisies : nous avons choisi les concentrations les plus importantes obtenues lors des diagnostics réalisés par ECR Environnement adaptées à la zone.
- La source de pollution est fortement majorée puisqu'elle intègre toutes les contaminations les plus importantes (HCT, Naphtalène, Benzène et métaux lourds) et appliquées à l'ensemble de la zone polluée.

13.3.6.5. Incertitudes liées au calcul de l'exposition

Conformément à ce qui est préconisé pour la mission A320 (analyse des enjeux sanitaires) de la norme Afnor NF X 31-620, on procède à l'additivité des risques liés aux différentes substances d'une même voie d'exposition et à l'additivité des risques entre les différentes voies d'exposition.

13.3.6.6. Conclusion sur les incertitudes

On constate que plusieurs facteurs engendrent des incertitudes sur les risques évalués car basés sur des hypothèses. Pour certains d'entre eux, les connaissances actuelles ne permettent pas de réduire ces incertitudes. La démarche générale adoptée va dans le sens d'une surestimation probable des risques. Cette approche est donc conservatoire.



13.3.7. Synthèse de l'analyse des enjeux sanitaires à partir des concentrations dans les sols

Nous avons effectué une ARR du site et avons calculé les risques pour trois scénarios au droit des deux zones Coulée verte et Aménagement :

- L'exposition du personnel et des habitants à l'intérieur des locaux ;
- L'exposition des habitants au droit de jardins potagers ;
- L'exposition du personnel et des passants à l'extérieur au droit des espaces verts d'agrément.

Nous avons utilisé les hypothèses les plus pénalisantes pour s'assurer de l'innocuité de la pollution du site vis-à-vis des populations qui le fréquenteront (personnel, habitant et passant). Si les aménagements du site ou son utilisation doivent être différents des hypothèses envisagées dans cette étude, les résultats de celle-ci ne seront plus valables, notamment en cas de changement d'usage.

Ci-dessous sont présentés les tableaux récapitulatifs des QD et ERI obtenus pour chacun des scénarios.

COULEE VERTE	Intérieur			Extérieur				
	Adulte	Enfant	Personnel	Jardin potager		Espaces verts		
				Adulte	Enfant	Adulte	Enfant	Personnel
QD (limite 1)	2,23E+00	2,23E+00	3,92E-01	4,48E-01	1,30E+00	1,03E-01	6,80E-01	6,49E-02
ERI (limite 10-5)	2,73E-05	6,76E-06	4,80E-06	4,50E-04	4,00E-04	2,66E-04	3,17E-04	1,67E-04
Acceptabilité du risque	Non	Non	Oui	Non	Non	Non	Non	Non

AMENAGEMENT	Intérieur			Extérieur				
	Adulte	Enfant	Personnel	Jardin potager		Espaces verts		
				Adulte	Enfant	Adulte	Enfant	Personnel
QD (limite 1)	2,27E+00	2,27E+00	4,00E-01	1,44E+00	4,05E+00	3,01E-01	1,97E+00	1,89E-01
ERI (limite 10-5)	ND	ND	ND	9,38E-04	8,53E-04	5,21E-04	6,62E-04	3,27E-04
Acceptabilité du risque	Non	Non	Oui	Non	Non	Non	Non	Non

Au droit des deux zones, le risque est :

- **Acceptable pour les scénarios intérieurs personnel ;**
- **Inacceptable pour les scénarios intérieurs pour les habitants ;**
- **Inacceptable pour les scénarios extérieurs jardins potager et espaces verts.**

13.4. Analyse des enjeux sanitaires – A320 à partir des concentrations dans les gaz du sol

13.4.1. Hypothèses de calcul

Deux prélèvements de gaz du sol ont été réalisés au droit de la zone Coulée verte et un au niveau de la zone Aménagement.

Les concentrations retenues pour le calcul de risque au droit des deux zones sont présentées dans le tableau ci-dessous (Cf. *Tableau 40*).



Tableau 40 : Concentrations retenues pour les gaz du sol sur les deux zones

Composés	Paramètres	Coulée verte		Aménagement	
		Concentration (mg/m ³)	Echantillon	Concentration (mg/m ³)	Echantillon
HCT volatils	Hydrocarbures aliphatiques >C5-C6				
	Hydrocarbures aliphatiques >C6-C8				
	Hydrocarbures aliphatiques >C8-C10	0,12333	ST-PA-1		
	Hydrocarbures aliphatiques >C10-C12	1,1	ST-PA-1	0,1215	ST-PA-2
	Hydrocarbures aliphatiques >C12-C16	0,43333	ST-PA-1		
	Hydrocarbures aromatiques >C6-C7				
	Hydrocarbures aromatiques >C7-C8				
	Hydrocarbures aromatiques >C8-C10	0,13833	ST-PA-1		
	Hydrocarbures aromatiques >C10-C12	0,31667	ST-PA-1		
BTEX	Benzène	0,002	ST-PA-1		
	Toluène	0,00383	ST-PA-1		
	Ethyl benzène				
	Xylène	0,00883	ST-PA-1		

Les VTR retenues pour le calcul de risque sont présentées dans le tableau suivant.

Tableau 41 : VTR pour voie respiratoire des gaz du sol

Composés	N° CAS	Organe Cible	Avec seuil (µg.m ⁻³)	Source/Choix	Organe Cible	Sans seuil (µg.m ⁻³) ⁻¹	Source
HYDROCARBURES							
TPH aromatic C8-C10			200	TPH CWG 1999			
TPH aromatic C10-C12			200	TPH CWG 1997			
TPH aliphatic C8-C10			1000	TPH CWG 1999			
TPH aliphatic C10-C12			1000	TPH CWG 1997			
TPH aliphatic C12-C16			1000	TPH CWG 1997			
BTEX							
Benzène	71-43-2		10	ANSES 2008	Sang	0,000026	ANSES 2014
Toluène	108-88-3	Cerveau	3000	ANSES 2011/INERIS			
Xylènes (mélange isomères)	1330-20-7		200	ATSDR 2007/ANSES			

13.4.2. Résultats des calculs de risque

Le résultat du calcul de risque est présenté ci-dessous.

➤ Coulée verte

QD

Résident adulte			Résident enfant		
Chemical	Inhalation of Indoor Air	TOTAL	Chemical	Inhalation of Indoor Air	TOTAL
Benzene	8,9E-06	8,9E-06	Benzene	8,9E-06	8,9E-06
Toluene	5,6E-08	5,6E-08	Toluene	5,6E-08	5,6E-08
TPH Aliphatic C8-10	6,2E-06	6,2E-06	TPH Aliphatic C8-10	6,2E-06	6,2E-06
TPH Aliphatic C10-12	5,6E-05	5,6E-05	TPH Aliphatic C10-12	5,6E-05	5,6E-05
TPH Aliphatic C12-16	2,2E-05	2,2E-05	TPH Aliphatic C12-16	2,2E-05	2,2E-05
TPH Aromatic C8-10	3,5E-05	3,5E-05	TPH Aromatic C8-10	3,5E-05	3,5E-05
TPH Aromatic C10-12	8,0E-05	8,0E-05	TPH Aromatic C10-12	8,0E-05	8,0E-05
Xylenes (total)	3,8E-06	3,8E-06	Xylenes (total)	3,8E-06	3,8E-06
TOTAL	2,1E-04	2,1E-04	TOTAL	2,1E-04	2,1E-04

Personnel		
Chemical	Inhalation of Indoor Air	TOTAL
Benzene	1,6E-06	1,6E-06
Toluene	9,9E-09	9,9E-09
TPH Aliphatic C8-10	1,1E-06	1,1E-06
TPH Aliphatic C10-12	9,8E-06	9,8E-06
TPH Aliphatic C12-16	3,9E-06	3,9E-06
TPH Aromatic C8-10	6,2E-06	6,2E-06
TPH Aromatic C10-12	1,4E-05	1,4E-05
Xylenes (total)	6,7E-07	6,7E-07
TOTAL	3,7E-05	3,7E-05

ERI

Résident adulte			Résident enfant		
Chemical	Inhalation of Indoor Air	TOTAL	Chemical	Inhalation of Indoor Air	TOTAL
Benzene	2,3E-09	2,3E-09	Benzene	5,8E-10	5,8E-10
Toluene	ND	ND	Toluene	ND	ND
TPH Aliphatic C8-10	ND	ND	TPH Aliphatic C8-10	ND	ND
TPH Aliphatic C10-12	ND	ND	TPH Aliphatic C10-12	ND	ND
TPH Aliphatic C12-16	ND	ND	TPH Aliphatic C12-16	ND	ND
TPH Aromatic C8-10	ND	ND	TPH Aromatic C8-10	ND	ND
TPH Aromatic C10-12	ND	ND	TPH Aromatic C10-12	ND	ND
Xylenes (total)	ND	ND	Xylenes (total)	ND	ND
TOTAL	2,3E-09	2,3E-09	TOTAL	5,8E-10	5,8E-10

Personnel		
Chemical	Inhalation of Indoor Air	TOTAL
Benzene	4,3E-10	4,3E-10
Toluene	ND	ND
TPH Aliphatic C8-10	ND	ND
TPH Aliphatic C10-12	ND	ND
TPH Aliphatic C12-16	ND	ND
TPH Aromatic C8-10	ND	ND
TPH Aromatic C10-12	ND	ND
Xylenes (total)	ND	ND
TOTAL	4,3E-10	4,3E-10

➤ Aménagement

QD

Résident adulte			Résident enfant		
Chemical	Inhalation of Indoor Air	TOTAL	Chemical	Inhalation of Indoor Air	TOTAL
TPH Aliphatic C10-12	6,1E-06	6,1E-06	TPH Aliphatic C10-12	6,1E-06	6,1E-06
TOTAL	6,1E-06	6,1E-06	TOTAL	6,1E-06	6,1E-06

Personnel		
Chemical	Inhalation of Indoor Air	TOTAL
TPH Aliphatic C10-12	1,1E-06	1,1E-06
TOTAL	1,1E-06	1,1E-06

ERI

L'ERI n'est pas calculé car les HCT ne disposent pas de VTR pour les effets sans seuil.

13.4.3. Interprétation QD et ERI

L'exposition des habitants (adulte et enfant) et du personnel à l'intérieur des locaux présente un risque acceptable.



13.5. Solutions proposées

13.5.1. Scénario intérieur habitant

Les scénarios « Coulée verte » et « Aménagement » sont déclassés à cause du benzène pour l'ERI (juste pour « coulée verte ») et du mercure pour le QD. D'après les prélèvements de gaz de sol réalisés sur ces zones, le mercure sous forme gazeuse est sous le seuil de détection du laboratoire et le benzène sous forme gazeuse modélisée dans le chapitre précédent ne présente pas de risque inacceptable.

13.5.2. Scénario jardin potager

13.5.2.1. Restriction d'usage et recouvrement

Le scénario « Aménagement » est déclassé pour l'ERI par les voies d'exposition directes (ingestion de sol et de végétaux et contact cutané) et le QD par l'ingestion de sol et de végétaux.

Le scénario « Coulée verte » est déclassé pour le QD à cause ingestion végétaux et pour l'ERI à cause des voies de transfert directes (ingestion de sol et de végétaux et contact cutané).

Nous préconisons la mise en place de restriction d'usage jardin potager avec un recouvrement des sols de surface afin de couper les voies de transfert. Les espaces verts après recouvrement pourront être utilisés comme jardins d'agrément.

13.5.2.2. Substitution des sols en place et recouvrement

Les restrictions d'usage n'étant pas très bien vue lors de l'achat d'une parcelle, nous proposons une solution de substitution des sols par des terres saines sur 0.8 à 1.0 m de profondeur au droit des futurs potagers.

En revanche il sera nécessaire de réaliser une restriction d'usage pour les arbres fruitiers car leurs systèmes racinaires peuvent descendre jusqu'à 3.0 m de profondeur et de maintenir un recouvrement des sols de surface.

13.5.3. Scénario espaces verts

13.5.3.1. Recouvrement

Les scénarios « Coulée verte » et « Aménagement » sont déclassés à cause de l'ingestion de sol et du contact cutané. Nous préconisons donc un recouvrement des sols de surface afin de couper ces voies de transfert.

13.6. Conclusion de l'ARR

Dans le cadre d'un projet de renouvellement urbain de trois sites contigus (GRETTE-BRULARD-POLYGONES), la ville de Besançon a missionné ECR Environnement pour la réalisation d'une analyse des enjeux sanitaires afin de définir si les contaminations au droit du terrain sont compatibles avec les futurs usages du site.

Le site a été scindé en deux zones « Coulée verte » et « Aménagement ».



Nous avons effectué une ARR du site à partir des concentrations des sols et avons calculé les risques pour trois scénarios :

- L'exposition du personnel et des habitants à l'intérieur des locaux ;
- L'exposition des habitants au droit de jardins potagers ;
- L'exposition du personnel et des passants à l'extérieur au droit des espaces verts d'agrément.

D'après les hypothèses prises en compte et en prenant en compte les seuils d'intervalle de risque de $QD = 1$ et $ERI = 10^{-5}$, le risque pour les deux zones est :

- **Acceptable pour les scénarios intérieurs personnel ;**
- **Inacceptable pour les scénarios intérieurs pour les habitants ;**
- **Inacceptable pour les scénarios extérieurs jardins potager et espaces verts.**

Une second ARR a été réalisée à partir des concentrations de gaz de sol. Celle-ci a conclu à un risque acceptable pour les scénarios intérieurs habitants et personnel.

Les scénarios intérieurs habitants sont déclassés à cause du mercure et du benzène gazeux. Le logiciel majore ces gaz. D'après les résultats des analyses des gaz du sols, le mercure sous forme gazeuse est sous le seuil de détection du laboratoire et le benzène sous forme gazeuse ne présente pas de risque inacceptable. Nous considérons donc le risque comme acceptable pour les scénarios intérieurs habitants.

Afin de rendre le risque acceptable, nous préconisons pour :

- Les jardins potagers, soit :
 - o Une restriction d'usage de jardins potager et un recouvrement des sols de surface,
 - o Une substitution des sols en place et un recouvrement des sols de surface.
- Les espaces verts :
 - o Un recouvrement des sols de surface.

14. SCHEMA CONCEPTUEL APRES PROJET AVEC MESURES DE GESTIONS

Un schéma conceptuel après projet avec mesure de gestion est proposé en annexe. Ce schéma permet d'illustrer les mesures de gestion recommandées et d'observer les conséquences sur les voies de transfert et donc d'exposition pour les usagers du site.

Les substances polluantes concernées sont les substances observées dans le sol lors du diagnostic à des concentrations significatives et dont les propriétés physico-chimiques les rendent pertinentes pour les voies d'exposition envisagées, à savoir : les métaux lourds dont le mercure, les HAP (naphtalène), les BTEX (benzène) et les hydrocarbures totaux (HCT) ponctuellement.

Parmi les polluants cités, les BTEX (Benzène) et les hydrocarbures à chaîne courte comme les C8-C16, sont très volatils et par conséquent, susceptibles d'entrer en contact avec les usagers, ont été repérés dans les gaz du sol.



Concernant les autres polluants observés (métaux lourds et HCT), ces derniers sont peu mobiles et peu volatiles et ne pourront pas se volatiliser dans les bâtiments.

Le tableau suivant présente les voies de transferts et les voies d'expositions pertinentes de l'**APRES-PROJET**, avec **mesures de gestions des sols** (Cf. *Tableau 42*). Ci-dessous le plan d'emprise du schéma conceptuel illustrant les voie(s) de transfert et d'exposition en question (Cf. *Figure 22*).



Figure 22 : Carte de la zone d'emprise du schéma conceptuel APRES-PROJET, avec mesures de gestions



Tableau 42 : Voies de transfert et d'exposition - Après-projet, avec mesures de gestions

Voie(s) de transfert	Voie(s) d'exposition associée(s)	Voies retenues		Substances concernées	Type de population concernée
		Scénario extérieur	Scénario intérieur		
Envol de poussière	Ingestion et contact cutané	Oui	Non	Benzène, Naphtalène, Métaux lourds,	Futurs usagers et habitants
Diffusion dans les sols	Ingestion de sol	Oui	Non	Benzène, Naphtalène, Métaux lourds,	
Diffusion dans les végétaux	Ingestion	Oui	Non	Benzène, Naphtalène, Métaux lourds,	
Volatilisation dans l'air	Inhalation de vapeurs	Oui (dans la mesure où des jardins familiaux sont prévus)	Oui	Benzène, Naphtalène, Métaux lourds, hydrocarbures Légers (C8-C16)	
Diffusion dans/ Drainage par les eaux circulant dans les sols	Utilisation des eaux de circulation / eaux de drainage	Oui	-	Benzène, Naphtalène, Métaux lourds	
Perméation via les canalisations d'eau potable	Ingestion d'eau potable	Non	Oui	Benzène, Naphtalène, Métaux lourds	

Le schéma conceptuel est disponible en annexe.

15. CONCLUSION – RESUME NON TECHNIQUE – DIAG COMPLEMENTAIRE

Le diagnostic de pollution s'est composé d'investigations de reconnaissance des sols réalisées le 23, 24, 25 Mai 2022. Elles ont consisté en la réalisation de 5 sondages à la tarière mécanique menés jusqu'à une profondeur maximale de 3 mètres (dont deux piézair à une profondeur de 1,5 m).

L'ensemble de ces prestations a été suivies de prélèvements de 11 échantillons de sols, d'un échantillon d'enrobé et de quatre échantillons de gaz du sol qui ont tous été analysés en laboratoire agréé.

Concernant les sondages de reconnaissance des sols, ils ont permis de mettre en évidence la lithologie suivante :

- **Formation 1** : Des remblais argileux à cailloutis de 0 à 1,5 mètres/TA ;
- **Formation 2** : Des argiles brunes +/- sableuses à cailloutis, de 1,5 m à 3 mètres/TA ou au refus sur calcaires.

Paramètres inorganiques

Les résultats d'analyses ont mis en évidence des dépassements « sol ordinaires » (et N2 VSA du guide de valorisation) et anomalies modérées vis-à-vis des seuils ASPITET et du fond géochimique local pour quelques métaux, notamment en Mercure, en Zinc, mercure et arsenic.

Paramètres organiques

Aucun dépassement de seuil n'a été observée lors du chantier en Mai 2022.



Sur les Enrobés

Les résultats d'analyses ont mis en évidence aucun dépassement de seuil.

Sur les éluats

Les résultats d'analyses ont mis en évidence un dépassement du seuil ISDI en Sulfate.

Sur les Gaz du sol

Les résultats d'analyses ont mis en évidence un dépassement de seuil du guide de qualité d'air intérieur de l'Anses au droit de ST-PA-1 pour le Benzène. Des dépassements du seuil R1 de l'INERIS ont également été observé au droit de ST-PA-1 pour des fractions aromatiques et aliphatiques comprises entre C8 et C16.

Analyses d'acceptation en installation de stockage de déchets inertes (ISDI)

L'ensemble des échantillons ayant fait l'objet d'analyses d'acceptation en ISDI sont conformes aux valeurs seuils de l'arrêté du 12/12/14 à l'exception d'un dépassement de seuil ISDI en Sulfate au droit de ST5.

Réutilisation des terres sur site et hors site

D'après le guide de valorisation hors site des terres excavées issues de sites et sols potentiellement pollués dans des projets d'aménagement (Ministère de la transition écologique et solidaire – Nov 2017), les sols excavés sur site, d'une manière générale, pour des besoins de terrassement pourront être utilisés sur place mais uniquement sous voirie ou bâtiment à l'exception des sols au droit de PM1 et PM4 ou les teneurs en hydrocarbures (pour PM4), en HAP et BTEX (pour PM1) rendent leurs réutilisations prohibées.

16. RECOMMANDATIONS

Les recommandations suivantes ne constituent pas un réel plan de gestion du site mais ont pour but d'orienter le projet d'aménagement.

Aux vues de l'analyse des risques résiduels réalisées, les sols en place sous les futurs bâtiments présentent des risques acceptables. Dans ces conditions aucune recommandation au droit des bâtiments n'est nécessaire.

Concernant les espaces verts « Coulée verte » et « Aménagement », les concentrations en métaux lourds entraînent un risque inacceptable par injection et contact cutané. Dans ces conditions, nous recommandons la mise en place de :

- D'un recouvrement des sols de surface par 30 cm de terres végétales saines.
- D'une restriction d'usage de jardin potager et de vergers

Soit :

- Une substitution totale (sur une épaisseur d'environ 1,5 m) des remblais contaminés par des terres saines.

Concernant les canalisations, il est recommandé de mettre en place un « buffer » (une zone tampon) composé de remblais sains autour des canalisations AEP afin de limiter la propagation des polluants

Aux vues des dépassements de seuil de niveau VSA, les terres excavées pourront être réutilisées sur site ou hors site sous aménagement routier ou sous espace vert (à condition qu'il n'y ait ni potager, ni vergers) (Cf. les dispositions



décrites dans le *chapitre 9.2.1*). Seules les terres au droit de PM1 ne pourront être réutilisées de par leurs concentrations en Benzène. Les sols excavés non réutilisés pourront être envoyés en installation de stockage des déchets inertes (ISDI).



Conditions particulières

Cette étude est basée sur des reconnaissances dont le caractère ponctuel ne peut prétendre traduire de manière continue la nature et l'état de l'ensemble de la zone d'étude.

La réalisation de sondages ponctuels ne permet pas de s'affranchir de toute anomalie d'extension limitée subsistante, qui n'aurait pas été appréhendée au travers des investigations.

La mise en évidence de remblai n'exclue pas la présence de produits amiantés qui n'ont pas fait l'objet d'investigations particulières dans le cadre de ce diagnostic.

Le présent rapport, ainsi que tous les documents annexés, constituent un ensemble indissociable.

En conséquence, la société ECR Environnement se dégage de toute responsabilité dans le cas d'une communication ou reproduction partielle de cette étude et de ses annexes. Il en est de même pour toute interprétation au-delà des termes employés par ECR Environnement.

