



**SOCIETE FRANÇAISE
DES PRODUITS TARTRIQUES
MANTE (SFPTM)**

—
**ANCIEN SITE LEGRE MANTE
ROUTE DE LA MADRAGUE MONTREDON
MARSEILLE (13008)**

—
PLAN DE GESTION

FICHER : Y:\DOSSIERS EN COURS LYON\2017\17LES038Ab_GINKGO_PG MARSEILLE 13\RAPPORT\VPRO\17LES038Ab_Rapport_VDef.doc

N° DOSSIER	17	LES	038	A	b	ENV	MOK	BT	PIECE	1/1	AGENCE	LYON
15/10/18	42333	MO. KHIAT				N. SOULET			96 +ann	PREMIERE DIFFUSION		
DATE	CHRONO	REDACTEUR	CHEF DE PROJET			SUPERVISEUR			nb. pages	MODIFICATIONS - OBSERVATIONS		

ENVIRONNEMENT - DECHETS - POLLUTION - EAU - SONDAGES - GEOLOGIE - GEOTECHNIQUE

E.R.G. Agence LYON : Bât Le Fontenay – Business Center – 63, rue André Bollier 69307 LYON CEDEX 07 – Tél. 04.72.80.87.71 – Fax 04.78.61.25.03
ERG ENVIRONNEMENT – S.A.S AU CAPITAL DE 40 000 € - SIRET 440 245 314 – CODE NAF 7112B – RC LYON 2010B011558

TOULON (Siège social) 04 94 11 04 90 la-seyne@erg-sa.fr	CAVAILLON 04 32 50 10 87	LILLE 03 21 64 46 92 lille@erg-sa.fr	LYON 04 72 80 87 71 lyon@erg-sa.fr	MARSEILLE 04 95 06 90 66 environnement@erg-sa.fr	NANCY 03 83 26 09 02 nancy@erg-sa.fr	NICE 04 93 72 90 00 nice@erg-sa.fr
--	------------------------------------	---	---	---	---	---



PREAMBULE

A la date de réalisation du présent Plan de Gestion le projet d'aménagement particulièrement en terme de constructibilité des terrains est en cours de concertation entre les différents acteurs.

C'est dans ce contexte que le Plan de Gestion a été bâti sur un Projet d'aménagement réaliste et détaillé mais qui est présenté d'une manière « générique » dans le cadre de la présente étude, en attente de validation.

SYNTHESE NON TECHNIQUE

NOM SITE	ANCIEN SITE LEGRE MANTE
NOM CLIENT	Société Française des Produits Tartriques Mante (SFPTM)
N° DOSSIER	17LES038Ab
TYPE D'ETUDE	Plan de Gestion des Parcelles A, B et C.
CODE NF 31-620	Code de mission Globale PG (intégrant les missions élémentaires A320 et A330)
ADRESSE	162 avenue de la Madrague de Montredon – 13 008 MARSIELLE
SUPERFICIE	8.5 ha
CONTEXTE OBJECTIFS PROJET	<p>Cette étude s'inscrit dans le cadre d'une requalification de l'ancien site industriel pour l'aménagement d'un ensemble immobilier, ainsi que pour la gestion du crassier existant aujourd'hui rattaché à l'usine, et répond aux exigences de l'Administration dans l'Art. 2 du projet d'arrêté préfectoral transmis le 04/07/2017.</p> <p>Ce Plan de Gestion est indissociable du diagnostic complémentaire réalisé au droit des parcelles A, B et C du site de l'ancienne usine (objet d'un rapport distinct référencé 17LES038Aa/ENV/MOK/BT/42333, reporté en annexe A1).</p>
OCCUPATION ACTUELLE	<p>L'ancien site LEGRE MANTE s'étend sur une superficie d'environ 8,5 ha que l'on peut décomposer en 3 parcelles de la façon suivante, du sud au nord :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Parcelle A : 5 ha environ de terrain soit « naturel » (parties sommitales du site) soit ayant fait l'objet d'une exploitation industrielle ancienne (des infrastructures de l'ancienne cheminée et les carneaux de la fonderie historique sont toujours en place), - Parcelle C : 2,7 ha environ ayant fait l'objet d'une exploitation industrielle récente (bâtiments, voiries et installations de traitement des eaux usées), - Parcelle B : 0,7 ha environ de terrain remblayé en surplomb de la mer, de l'autre côté de l'avenue de la Madrague par rapport au site industriel. <p>La parcelle B est le siège d'un crassier d'un volume de 40 000 m3 environ de déchets qui ont été entreposés dans le cadre des activités industrielles historiques, activité de stockage pour laquelle l'exploitant historique disposait d'une autorisation administrative pendant les premières activités de fonderie et jusqu'aux dernières activités de production d'acide tartrique. De la même manière, sur la parcelle C, des opérations de démolitions récentes ont été pratiquées, sous validation de l'administration pour la mise en place d'une STEP. Une très grande quantité de déblais de terrassement et de matériaux de démolition d'anciennes infrastructures de l'usine a été constitué dans ce cadre.</p>
SYNTHESE DE L'HISTORIQUE	<p>Le site de la S.A.S. LEGRE-MANTE ETABLISSEMENT a abrité en particulier :</p> <ul style="list-style-type: none"> - une usine de traitement de plomb argentifère et de zinc par natrométallurgie et fabrication de soude (1875-1883 : Hilarion-Roux) ; - un site de production d'acide tartrique et d'acide sulfurique (LEGRE-MANTE 1888 à 2009). <p>L'étude historique a permis de détailler les procédés industriels employés par l'usine et de recenser et localiser les sources potentielles de pollution associées.</p>
CONTEXTE ET SYNTHESE DES DONNEES DE DIAGNOSTIC	<p>Les résultats d'analyse ont permis de distinguer en première approche les zones sources suivantes : la cheminée verticale, la cheminée rampante, les remblais du crassier Est (type démolition et industrie « chimique »), les remblais du crassier Ouest (type démolition et industrie « chimique » en surface et déchet industrie « métallique » en profondeur) et enfin, les remblais des parcelles A et C dont la signature est variables au regard des activités historiques successives sur site ainsi que des opérations historiques de démolitions, terrassement et de maintien sur site des matériaux extraits.</p> <p>Nous retiendrons :</p> <ul style="list-style-type: none"> - un marquage des sols par les ETM avec particulièrement un impact diffus et concentré en Pb et en As sur les parcelles C et A, ainsi que d'une manière relativement hétérogène au sein du crassier de la parcelle B - des anomalies ponctuelles en cyanures, mercure et hydrocarbures (HCT et HAP), non associées à des anomalies dans les gaz des sols sur les parcelles C et A - un transfert limité des composés volatils vers les gaz du sol sur les parcelles C et A
IDENTIFICATION DES POLLUTIONS	<p>La démarche de caractérisation et d'identification des pollutions concentrées dans le cadre du Plan de Gestion a permis de retenir, outre les débris de démolition (fours, cheminée verticale historique) dans les remblais de surface des parcelles A et C :</p> <ul style="list-style-type: none"> - La présence de zones concentrées limitées et accessibles dans les sols de surface en hydrocarbures, en Cyanures totaux et en mercure dont la gestion proportionnée consistera, en une purge et évacuation en filière(s) autorisée(s). - La présence de zones concentrées potentiellement non limitées et peu accessibles dans les sols profonds en Cyanures (au niveau des carneaux bas), ainsi qu'en mercure (au niveau de la cheminée rampante enterrée). Les mesures de gestion sont dans ce cadre étudiées en globalité avec les ouvrages sources associés

<p>IDENTIFICATION DES POLLUTIONS</p>	<ul style="list-style-type: none"> - La présence d'une manière diffuse et marquée de Pb et d'As dans les sols en surface comme en profondeur sur l'emprise des parcelles C et A. Au regard du projet développé et particulièrement du périmètre de reconversion une solution de maintien et recouvrement a été retenue. - Les matériaux sur la parcelle B présentent une importante hétérogénéité avec une qualité chimique également fortement hétérogène, ne permettant pas une définition rigoureuse, par classe, des pollutions concentrées. La gestion du volume global de déchets de 41 600 m3 ne constitue pas un projet réaliste de dépollution au regard des contraintes urbanistiques et des attentes de la Collectivité (création d'aménagements publics et limitation des trafics en phase travaux). La solution retenue consiste en l'extraction d'un tiers du massif de déchets et la construction d'un parking souterrain, ainsi que des aménagements d'accès à la mer et des mesures de gestion, permettant de garantir l'absence de voie de transfert au sable de la plage et au milieu marin. Le projet d'aménagement permettra aussi d'améliorer la sécurité mécanique du secteur et des constructions avoisinantes
<p>EVALUATION DES MESURES DE GESTION</p>	<p>Conformément aux attentes de la Collectivités et en cohérence avec l'application de mesures de gestion durables, le scénario de gestion doit tenir compte d'une limitation du trafic routier et de l'impossibilité d'employer la voie maritime directement depuis le site. C'est dans ce cadre que les solutions de gestion des déblais « sur site » ont été privilégiées, pour minimiser au maximum les exportations de matériaux : solutions de réemploi, confinement, stabilisation/solidification et/ou pythostabilisation sur site.</p> <p>De plus les mesures de gestion en phase travaux ont été dimensionnées en tenant compte des contraintes du site et risques potentiels liés aux opérations d'aménagement, à savoir :</p> <ul style="list-style-type: none"> - <u>le risque « Poussières »</u> : mise en place de phasage de chantier, méthodologie de terrassement en fonction de la vitesse du vent, utilisation de brumisation avec agents tensio-actifs spécifiques, opérations de criblage en milieu confiné (tente de confinement), convoyage des matériaux de la parcelle B par le tunnel existant jusqu'à la zone confinée, nettoyage systématique des roues des engins et balayage régulier, surveillance environnementale de la qualité de l'air au moyen de prélèvements de poussières (jauges OWEN et plaquettes de dépôts), mais également de PM2,5 susceptibles d'être générées lors des opérations de terrassement. Le Maître d'Ouvrage prévoit d'être assisté par ATMOSUD pour le dimensionnement de la surveillance ainsi que sa réalisation en phase travaux - <u>le risque « Ruissellement »</u> : Gestion des eaux par un système de récupération dédié, Traitement par décantation en bassin(s) (existant(s) sur site) et recyclage des eaux stockées ou rejet avec contrôle préalable. <p>Sur cette base les 2 scénarios retenus et étudiés sont :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Scénario 1 : excavation (intégrant les mesures de gestion détaillées dans le paragraphe précédent), tri granulométrique sous confinement et orientation en filières de traitements adaptée des matériaux criblés. - Scénario 2 : excavation (intégrant les mesures de gestion détaillées dans le paragraphe précédent), tri granulométrique sous confinement et gestion sur site selon le descriptif des traitements et confinement retenus. <p>L'analyse des scénarios a été réalisée sur la base d'un Bilan coûts-avantages par une analyse multicritères qui a abouti à un score global plus élevé pour le scénario 2, traduisant un niveau d'adéquation avec le contexte de gestion plus important, ce qui a été conforté par les tests de sensibilité qui ont été réalisés. En cas d'excédent de matériaux le principe de gestion du scénario 1 pourra être réalisé pour la gestion d'un stock excédentaire.</p>
<p>ANALYSE DES RISQUES RESIDUELS</p>	<p>L'analyse des risques Résiduels permet de mettre en évidence une compatibilité de l'état des milieux avec les usages projetés pour le risque par inhalation dans des bâtiments de plain-pied projetés au droit des parcelles A et C.</p> <p>Par ailleurs, la mise en place des mesures de gestion et dispositions constructives retenues à ce stade, dans le cadre des deux scénarios de gestion retenus, permettra de supprimer les voies de transfert et d'exposition.</p> <p>Enfin, un dossier de Servitudes d'Utilités Publiques sera mis en œuvre dans le cadre des deux scénarios de gestion étudiés. Les restrictions porteront sur les usages et activités possibles et préciseront que tout autre usage, selon les secteurs, sera soumis à études complémentaires préalables.</p>
<p>PRECONISATIONS</p>	<p>Des études complémentaires sont préconisées afin de permettre :</p> <ul style="list-style-type: none"> - L'analyse des mesures de gestion et de leur faisabilité au niveau de la cheminée rampante sur son linéaire enterré ainsi que des carneaux bas également enterrés. - La confirmation de la qualité des gaz des sols par une 2^{ème} campagne sur le site et la validation de l'analyse de risques - L'étude de la traitabilité par stabilisation/solidification des sols et de la faisabilité de la mise en œuvre dans les ouvrages (cheminées rampantes et éventuellement carneaux bas) - L'étude de de la faisabilité pour la mise en œuvre des opérations de phytostabilisation sur le site, qui seront réalisées par les équipes scientifiques de l'IMBE. <p>Les études de conception ultérieures porteront également sur : la stabilité des ouvrages historiques le dimensionnement du système de gestion des eaux météoriques en phase chantier, la méthodologie de terrassement, de brumisation, la mesure de gestion des poussières sous tente ou dans le bâtiment 1, le système de gestion des poussières, les phasages induits, ...</p> <p>Enfin, et avant toute validation définitive, la communication et la concertation avec les riverains, la collectivité et les services de l'État, étape par étape, garantira la bonne prise en compte des attentes et l'acceptation sociétale des travaux et aménagements à vocation public et privé.</p>

Cette synthèse non technique, volontairement simplificatrice, fait partie intégrante et est indissociable de notre rapport. Pour une bonne compréhension du présent document, une lecture intégrale de ce dernier est nécessaire.

S O M M A I R E

LISTE DES ABREVIATIONS

1. CADRE DE L'ETUDE	10
1.1 CADRE DE L'INTERVENTION	10
1.2 CADRE DE LA MISSION « PLAN DE GESTION »	11
1.3 LISTE DES PRINCIPAUX RAPPORTS ET DOCUMENTS CONSULTES	11
2. PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE	13
2.1 CARACTERISTIQUES GENERALES DE LA ZONE D'ETUDE	13
2.2 SITUATION GEOGRAPHIQUE ET TOPOGRAPHIQUE	14
2.3 PRESENTATION DU PROJET D'AMENAGEMENT	15
3. DIAGNOSTIC DE LA QUALITE DES MILIEUX	16
3.1 VOLET DOCUMENTAIRE ET HISTORIQUE	16
3.2 PRINCIPALES CONCLUSIONS DU DIAGNOSTIC DE LA QUALITE DES MILIEUX AU DROIT DU SITE	17
4. SYNTHESE DE L'ETAT DES MILIEUX – ANALYSE DES ENJEUX	18
4.1 PRINCIPE DE LA DEMARCHE	18
4.2 IDENTIFICATION DES SOURCES DE LA POLLUTION CONCENTREE HORS METAUX LOURDS SUR LES PARCELLES A ET C	19
4.2.1 APPROCHE BASEE SUR L'INTERPRETATION DES CONSTATS DE TERRAIN	19
4.2.2 APPROCHE STATISTIQUE	19
4.2.2.1 Approche Graphiques de répartition des teneurs en composés organiques et cyanures et Approche statistique simplifiée	20
4.2.2.2 Approche statistique par pourcentage cumulé de population d'analyse	24
4.2.3 APPROCHE CARTOGRAPHIQUE	28
4.2.4 APPROCHE BILAN MASSIQUE	32
4.2.5 DETAIL DE L'ESTIMATION DES VOLUMES DES ZONES SOURCES EN POLLUANTS ORGANIQUES ET CYANURES	37
4.3 IDENTIFICATION DES SOURCES DE POLLUTION CONCENTREE EN METAUX LOURDS SUR LES PARCELLES A ET C	37
4.3.1 APPROCHE STATISTIQUE - GRAPHIQUES DE REPARTITION DES TENEURS EN METAUX LOURDS ET APPROCHE STATISTIQUE SIMPLIFIEE ET PAR POURCENTAGE CUMULE DE POPULATION D'ANALYSE	37
4.3.2 APPROCHE CARTOGRAPHIQUE ET BILAN MASSIQUE	45
4.3.3 DETAIL DE L'ESTIMATION DES VOLUMES DES ZONES SOURCES POUR LES ETM	55
4.3.4 INTEGRATION DE LA CONTRAINTE FINANCIERE	55
4.3.5 CARACTERISATION DE LA MOBILITE : LOCALISATION ET QUANTIFICATION DES POLLUTIONS DANS LES GAZ DES SOLS ET LES EAUX SOUTERRAINES	57
4.4 IDENTIFICATION DES SOURCES DE POLLUTION CONCENTREE SUR LA PARCELLE B	58
4.5 IDENTIFICATION DES AUTRES SOURCES LIEES AUX ANCIENNES ACTIVITES INDUSTRIELLES	58
5. EVALUATION QUANTITATIVE DES RISQUES SANITAIRES (EQRS) ET SCHEMA CONCEPTUEL D'EXPOSITION CONSTATE	59
5.1 ÉVALUATION QUANTITATIVE DES RISQUES SANITAIRES POUR LA VOIE D'EXPOSITION PAR INHALATION	59
5.2 SCHEMA CONCEPTUEL D'EXPOSITION CONSTATE	59
6. EVALUATION DES MESURES DE GESTION	61
6.1 PREAMBULE - CONTEXTE SPECIFIQUE DU SITE	61
6.2 METHODOLOGIE GENERALE	62
6.2.1 OBJECTIFS DES MESURES DE GESTION	62
6.2.2 PRESELECTION DES TECHNIQUES DE DEPOLLUTION EN FONCTION DES SUBSTANCES RENCONTREES	62
6.2.3 PRESELECTION DES TECHNIQUES DE DEPOLLUTION EN FONCTION DU LIEU DE TRAITEMENT	63
6.2.4 PRESELECTION DES TECHNIQUES DE DEPOLLUTION EN FONCTION DES CONTRAINTES DU SITE	63

6.3	MESURES DE GESTION DES FUTURS DEBLAIS ET BILAN COUT-AVANTAGE	65
6.3.1	ESTIMATION DES VOLUMES GENERES PAR LE PROJET	65
6.3.1.1	Documents ayant servi à l'estimation des volumes de déblais / remblais	65
6.3.1.2	Méthodologie appliquée pour l'estimation des volumes de déblais / remblais	65
6.3.1.3	Limites des estimations des volumes de déblais / remblais	66
6.3.2	PRESENTATION DE LA SYNTHESE DES CUBATURES ET DES ORIENTATIONS	66
6.3.3	PRESENTATION DES TECHNIQUES DE DEPOLLUTION APPLICABLES A LA GESTION DES FUTURS DEBLAIS ET BILAN COUT-AVANTAGE	67
6.3.3.1	Types de traitement retenu	67
6.3.3.2	Intégration des contraintes du site pour dimensionnement des scenarios de gestion étudiés	70
6.3.4	SCENARIO DE GESTION RETENUS	71
6.3.5	POLLUTIONS RESIDUELLES ET RISQUES SANITAIRES OU ENVIRONNEMENTAUX	71
6.3.6	SELECTION DES DISPOSITIONS CONSTRUCTIVES ET IDENTIFICATION DES RESTRICTIONS D'USAGE	72
6.3.6.1	Sélection des dispositions constructives	72
6.3.6.2	Identification des restrictions d'usage adaptées aux enjeux	73
6.3.6.3	Impact juridique des dispositions constructives / restrictions d'usage	73
6.3.7	CRITERES DE COMPARAISON RETENUS	73
6.3.8	HYPOTHESES D'ESTIMATION DES COUTS	74
6.3.8.1	Scenario 1	74
6.3.8.2	Scenario 2	75
6.3.8.3	Cas particulier du crassier de la parcelle B	75
6.3.9	BILAN COUTS-AVANTAGES (BCA)	75
6.3.10	TEST DE SENSIBILITE	78
6.4	MESURES DE GESTION DES SOURCES CONCENTREES ENCORE EN PLACE	83
6.4.1	MESURES DE GESTION DES SOURCES SOLS ENCORE EN PLACE APRES GESTION DES FUTURS DEBLAIS	83
6.4.2	SOURCES LIEES AUX ANCIENNES ACTIVITES HISTORIQUES : ANCIENS CARNEAUX BAS PARTIELLEMENT ENFOUIS ET CHEMINEES	83
6.5	RAPPEL DE LA REGLEMENTATION SUR LES CONTRAINTES JURIDIQUES	84
7.	ANALYSE DES RISQUES RESIDUELS	85
8.	MESURES MINIMALES DE GESTION ET ETUDES COMPLEMENTAIRES	86
8.1	DISPOSITIONS DE GESTION MINIMALES A METTRE EN ŒUVRE	86
8.2	ÉTUDES COMPLEMENTAIRES ET PLAN DE CONCEPTION DE TRAVAUX	86
8.2.1	INVESTIGATIONS COMPLEMENTAIRES DES SOLS	86
8.2.1.1	Sources cheminée horizontale sur son tronçon enterré sur site et carneaux bas	86
8.2.1.2	Zones de terrassement et d'aménagement en général dans le cadre du projet à l'étude	87
8.2.2	INVESTIGATIONS COMPLEMENTAIRES DES GAZ DES SOLS	87
8.2.3	ESSAIS DE FAISABILITE	87
8.2.4	ÉTUDES DE CONCEPTION	87
8.2.5	ANALYSE DES RISQUES RESIDUELS	87
8.2.6	AXES D'OPTIMISATION	88
9.	SYNTHESE, CONCLUSIONS ET PRECONISATIONS	89
9.1	SYNTHESE DU PLAN DE GESTION	89
9.1.1	CONTEXTE ET SYNTHSE DES DONNEES DE DIAGNOSTIC	89
9.1.2	IDENTIFICATION DES SOURCES DE POLLUTION CONCENTREES SUR L'EMPRISE DE L'ANCIENNE ICPE	90
9.1.3	ÉVALUATION DES MESURES DE GESTION	91
9.1.4	ANALYSE DES RISQUES RESIDUELS	92
9.2	CONCLUSIONS	93
9.3	PRECONISATIONS	94
9.3.1	ÉTUDES COMPLEMENTAIRES ET PLAN DE CONCEPTION DE TRAVAUX	94
9.3.1.1	Sources cheminée horizontale sur son tronçon enterré sur site et carneaux bas	94
9.3.1.2	Zones de terrassement et d'aménagement en général dans le cadre du projet à l'étude	94
9.3.2	ESSAIS DE FAISABILITE	94
9.3.3	ÉTUDES DE CONCEPTION	94
9.3.4	ANALYSE DES RISQUES RESIDUELS	95
9.3.5	AXES D'OPTIMISATION	95
9.4	LIMITE DE L'ETUDE	95
	SOMMAIRE DES ANNEXES	96

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 - Liste des abréviations.....	9
Tableau 2 – Codification au sens de la norme NF X 31-620 pour les offres de prestations de la phase 3.....	11
Tableau 3 - Caractéristiques générales du site	13
Tableau 4 - Situation géographique et topographique.....	14
Tableau 5 : Echantillons anomaux selon les Graphiques de répartition des teneurs en HCT et l'approche statistique simplifiée.....	21
Tableau 6 : Echantillons anomaux selon les Graphiques de répartition des teneurs en HAP et l'approche statistique simplifiée.....	22
Tableau 7 : Présentation des gammes de concentration retenues selon l'approche des pourcentages cumulés de population	27
Tableau 8 : Sélection des zones sources selon les gammes de concentration retenues et l'analyse cartographique	32
Tableau 9 : Estimation de l'emprise et des volumes des zones sources concentrées	37
Tableau 10 : Présentation des gammes de concentration retenues selon l'approche des pourcentages cumulés de population	44
Tableau 11 : Estimation de l'emprise et des volumes des zones sources concentrées	55
Tableau 12 : Pertinence des différentes voies d'expositions sur site.....	60
Tableau 13 : Présélection des techniques de dépollution en fonction des contraintes et caractéristiques du site	64
Tableau 14 : Bilan Coûts – Avantages (BCA) - GESTION DES FUTURS DEBLAIS GENERES PAR LES OPERATIONS D'AMENAGEMENT DU SITE.....	76
Tableau 15 : Hypothèses prises en compte pour l'étude d'incertitude.....	78
Tableau 16 : Résultats de l'analyse de sensibilité sur les notes des scenario 1 et 2 (SC1 et SC2).....	79
Tableau 17 : Contribution des différents paramètres à la variance (prise en compte des contributions > 4,7%)...	79

LISTE DES FIGURES

Figure 1 – Plan de localisation du site de l'ancienne usine LEGRE MANTE avec délimitation des parcelles A, B et C	14
Figure 2 : Esquisse du projet d'aménagement considéré.....	15
Figure 3 : Evolution du pourcentage cumulé de la population d'analyses en fonction des teneurs mesurées en HCT C10-C40 dans les sols.....	24
Figure 4 : Evolution du pourcentage cumulé de la population d'analyses en fonction des teneurs mesurées en HAP dans les sols.....	25
Figure 5 : Evolution du pourcentage cumulé de la population d'analyses en fonction des teneurs mesurées en Cyanures totaux dans les sols.....	26
Figure 6 : Evolution du pourcentage cumulé de la population d'analyses en fonction des teneurs mesurées en Cyanures totaux dans les sols.....	27
Figure 7 : Cartographies des teneurs en HCT dans les sols de surface (a)(c) et en profondeur (b)(d) – Représentation des teneurs supérieures à 500 mg/kg (c) et (d).....	29
Figure 8 : Cartographies des teneurs en HAP dans les sols de surface (a) et en profondeur (b).....	30
Figure 9 : Cartographies des teneurs en Cyanures totaux dans les sols de surface (a) et en profondeur (b).....	31
Figure 10 : Évolution du pourcentage de volume de sol et du pourcentage de la masse de polluant contenue dans chaque plage de concentration en hydrocarbures dans les sols	33
Figure 11 : Évolution du pourcentage de volume de sol et du pourcentage de la masse de polluant contenue dans chaque plage de concentration en HAP dans les sols.....	34
Figure 12 : Évolution du pourcentage de volume de sol et du pourcentage de la masse de polluant contenue dans chaque plage de concentration en Cyanures totaux dans les sols	35
Figure 13 : Évolution du pourcentage de volume de sol et du pourcentage de la masse de polluant contenue dans chaque plage de concentration en Cyanures libres dans les sols	36
Figure 14 : Evolution du pourcentage cumulé de la population d'analyses en fonction des teneurs mesurées en As dans les sols.....	38
Figure 15 : Evolution du pourcentage cumulé de la population d'analyses en fonction des teneurs mesurées en Cd dans les sols.....	39
Figure 16 : Evolution du pourcentage cumulé de la population d'analyses en fonction des teneurs mesurées en Cu dans les sols.....	40
Figure 17 : Evolution du pourcentage cumulé de la population d'analyses en fonction des teneurs mesurées en Hg dans les sols.....	41
Figure 18 : Evolution du pourcentage cumulé de la population d'analyses en fonction des teneurs mesurées en Pb dans les sols.....	42
Figure 19 : Evolution du pourcentage cumulé de la population d'analyses en fonction des teneurs mesurées en Hg dans les sols.....	43
Figure 20 : Cartographies des teneurs en Hg dans les sols de surface (a) et en profondeur (b).....	46
Figure 21 : Évolution du pourcentage de volume de sol et du pourcentage de la masse de polluant contenue dans chaque plage de concentration en Mercure dans les sols	47
Figure 22 : Cartographies d'extrapolation de la qualité chimique en Pb dans les 2 premiers horizons de sols des parcelles A et C (Horizon 1 de surface (a) et Horizon 2 profond (b)).....	49
Figure 23 : Cartographies d'extrapolation de la qualité chimique en As dans les 2 premiers horizons de sols des parcelles A et C (Horizon 1 de surface (a) et Horizon 2 profond (b)).....	50
Figure 24 : Représentation des pourcentages d'effectif « Remblais » et « TN » par gamme de concentration en Pb dans les sols – Commentaires concernant les horizons de « TN » pour les anomalies supérieures à 500 mg/kg MS de Pb.....	51
Figure 25 : Représentation des pourcentages d'effectif « Remblais » et « TN » par gamme de concentration en Pb dans les sols – Commentaires concernant les horizons de « Remblais » pour les anomalies supérieures à 4000 mg/kg MS de Pb	52
Figure 26 : Évolution du pourcentage de volume de sol et du pourcentage de la masse de polluant contenue dans chaque plage de concentration en Plomb dans les sols.....	53
Figure 27 : Évolution du pourcentage de volume de sol et du pourcentage de la masse de polluant contenue dans chaque plage de concentration en Plomb dans les sols	54
Figure 28 : volumes de sol et coûts de réhabilitation associés en fonction des gammes de concentration.....	56
Figure 29 : Stratégie des mesures de gestion (source rapport BRGM/RP-57708-FR).....	62
Figure 30 : Présélection des techniques de dépollution (source rapport BRGM/RP-57708-FR)	63
Figure 31 – Représentation Schématique du principe de Gestion retenu pour la Parcelle B dans le cadre du Scénario N°2.....	81
Figure 32 – Représentation Schématique du principe de Gestion retenu pour les Parcelles C et A dans le cadre du Scénario N°2.....	82

PRINCIPALES ABREVIATIONS EMPLOYEES

Tableau 1 - Liste des abréviations

<i>Abrév.</i>	<i>Définition</i>
AEP	Alimentation en eau potable
ATSDR	Agency for Toxic Substances and Disease Registry
BASIAS	Base des Anciens Sites Industriels et Activités de Service
BASOL	Base de données sur les sites et sols pollués ou potentiellement pollués
BTEX	Benzène, Toluène, Éthylène, Xylène
BRGM	Bureau de Recherches Géologiques et Minières
DJE	Dose Journalière d'Exposition
DJT	Dose Journalière Tolérable
DDT	Direction départementale des territoires
DREAL	Direction Régionale de l'environnement de l'aménagement et du logement
ETM	Eléments Traces Métallique
EQRS	Evaluation Quantitative des Risques Sanitaires
ERI	Excès de Risque Individuel
ERU	Excès de Risque Unitaire
HAP	Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques
COHV	Composés Organo-Halogénés Volatils
HCT	Hydrocarbures Totaux
ICPE	Installations Classées Pour la Protection de l'Environnement
IGN	Institut géographique national
INERIS	Institut National de l'Environnement Industriel et des Risques
INRA	Institut national de recherche agronomique
IR	Indice de Risque
ML	Métaux Lourds
NGF	Nivellement général de France
OEHHA	Office of Environmental Health Hazard Assessment : antenne californienne de l'US EPA
OMS	Organisation Mondiale de la Santé
PCB	Polychlorobiphényles (pyralène)
PNR	Parc Naturel Régional
PPRI	Plan de Prévention du Risque Inondation
QD	Quotient de Danger
SAGE	Schéma d'aménagement et de gestion des eaux
SIC	Site d'Intérêt Communautaire
SPP	Sources potentielles de pollution
US EPA	United States Environmental Protection Agency
VTR	Valeur Toxicologique de Référence

1. CADRE DE L'ETUDE

1.1 Cadre de l'intervention

La SFPT MANTE, a sollicité ERG ENVIRONNEMENT pour la réalisation pour la réalisation d'un Plan de Gestion (PG) au droit des parcelles A et C, ainsi que la parcelle B de l'ancien site LEGRE MANTE, localisées dans le 8^{ème} arrondissement de la ville de MARSEILLE (13).

Le présent Plan de Gestion est indissociable du diagnostic complémentaire réalisé au droit des parcelles A, B et C du site de l'ancienne usine (objet d'un rapport distinct référencé 17LES038Aa/ENV/MOK/BT/42333, reporté en annexe A1), le diagnostic complémentaire ayant été réalisé afin de synthétiser et de compléter les données existantes sur le site, dans le but d'élaborer un Plan de Gestion (PG) du site en adéquation avec le projet d'aménagement considéré.

Cette mission s'inscrit dans le cadre d'une requalification de l'ancien site industriel pour l'aménagement d'un ensemble immobilier, ainsi que pour la gestion du crassier existant aujourd'hui rattaché à l'usine.

Le périmètre de la mission d'ERG ENVIRONNEMENT répond aux exigences de l'Administration dans l'Art. 1.1 du projet d'arrêté préfectoral transmis le 04/07/2017, dans lequel le préfet des Bouches du Rhône prescrit :

« ...

- Art. 1 :

- o Article 1.1 - Interprétation de l'état des milieux (IEM)

La Société Française des Produits Tartriques Mante (SFPTM) est tenue de réaliser et de transmettre au préfet, dans un délai de 4 mois suivant la notification du présent arrêté, une étude d'interprétation de l'état des milieux (IEM), pour le site industriel LEGRE MANTE, conformément aux dispositions de la note ministérielle du 19 avril 2017 relative aux sites et sols pollués mettant à jour les textes méthodologiques de gestion des sites et sols pollués.

Les modalités de cette étude, incluant son périmètre et la nature des investigations à mener, ainsi que le choix de l'organisme retenu pour la réaliser, seront soumis, dans un délai d'un mois suivant la notification du présent arrêté, à l'approbation de l'inspection de l'environnement.

- o Article 1.2 - Plan de gestion

Dans le cas où la démarche d'interprétation de l'état des milieux susvisée conclut à la nécessité d'engager des actions complémentaires pour rétablir la compatibilité entre l'état des milieux et les usages constatés, la Société Française des Produits Tartriques Mante (SFPTM) réalisera, dans un délai de 6 mois suivant la transmission de l'étude d'interprétation de l'état des milieux, un plan de gestion, pour maîtriser, voire supprimer les sources de pollution qui ont été générées par l'activité du site industriel LEGRE MANTE, conformément aux dispositions de la note ministérielle du 19 avril 2017 relative aux sites et sols pollués mettant à jour les textes méthodologiques de gestion des sites et sols pollués.

La compatibilité entre l'état des milieux après les travaux et les usages constatés sera démontrée à l'appui d'une analyse des risques résiduels (ARR).

- Art. 2 :

- o **La Société Française des Produits Tartriques Mante (SFPTM) est tenue d'élaborer et de transmettre au préfet, dans un délai de 6 mois suivant la notification du présent arrêté, un plan de gestion, couvrant la totalité du site industriel LEGRE MANTE, relatif aux sources de pollution situées sur le site, tel que défini par la note ministérielle du 19 avril 2017 relative aux sites et sols pollués mettant à jour les textes méthodologiques de gestion des sites et sols pollués. »**

Cette mission fait suite à de nombreux diagnostics du site (listés au § 1.2) qui ont mis en évidence des anomalies en Eléments Traces Métalliques (ETM) et dans une moindre mesure en hydrocarbures ponctuellement dans les sols au droit de zones spécifiques (cuves à fuel, chaufferie, etc.).

La méthode d'étude s'appuie, point par point, sur les préconisations des textes du Ministère de l'Environnement relatifs aux Modalités de gestion et de réaménagement des sites pollués établis en avril 2017 (mise à jour des textes du 8 février 2007).

1.2 Cadre de la Mission « Plan de Gestion »

La présente mission aura pour base normative le document NF X 31-620 : Qualité du sol – prestations de services relatives aux sites et sols pollués :

- Partie 1 : Exigences générales.
- Partie 2 : Exigences dans le domaine des prestations d'études, d'assistance et de contrôle.
- Partie 3 : Exigences dans le domaine des prestations d'ingénierie des travaux de réhabilitation.

La codification de la présente mission au sens de la norme NF X 31-620 est pour l'offre globale de prestation :

Tableau 2 – Codification au sens de la norme NF X 31-620 pour les offres de prestations de la phase 3

CODE	OBJECTIFS GLOBAUX
PG	Plan de gestion dans le cadre d'un projet de réhabilitation ou d'aménagement d'un site. Définir des modalités de réhabilitation et d'aménagement d'un site pollué. Supprimer ou, à défaut, maîtriser les sources de pollution et leurs impacts.

1.3 Liste des principaux rapports et documents consultés

1. Rapport SOCOTEC N°2733 de décembre 1996 – Diagnostic de Sols – « Parcelle A » ;
2. Rapport SOCOTEC N°2733-complément de mars 1997 – Diagnostic de Sols – « Parcelle A » ;
3. Rapport SOCOTEC de 1997 portant sur la « Parcelle B »
4. Rapport ANTEA N°NYA A09746 de mai 1998 – Complément d'investigations sur les sols et établissement d'un programme de réhabilitation sur les sols (Parcelle A) ;
5. Rapport ATE N°9/1/013/0 de novembre 1999 – Travaux de réhabilitation des Carneaux – Avant-Projet ;
6. Rapport SOBESOL N°50 433/2A d'août 2000 – Etude géotechnique talus en bord de mer – « Parcelle B » ;
7. Rapport CERTA de janvier 2000 – Complément d'investigations des remblais de la Parcelle B – « Parcelle B » ;
8. Rapport CERTA de septembre 2001 – Diagnostic de pollution des sols pour création de la station d'épuration – « Parcelle C » ;
9. Rapport ANTEA N°A23196 d'octobre 2001 – Evaluation de l'impact sur la sécurité et l'environnement des vestiges de l'ancien conduit de cheminée de l'usine Legré-Mante à MARSEILLE (13) ;
10. Rapport ANTEA N°23967/B de novembre 2001 – Evaluation Détaillée des Risques – Parcelle A ;
11. Rapport ANTEA N°25500/A de décembre 2001 – Evaluation Simplifiée des Risques – Parcelle C ;
12. Rapport APAVE N°P6063-A/02 de février 2003 – Diagnostic et EDR complémentaire – Parcelle C ;
13. Rapport ANTEA N°A58914/A de juillet 2010 – Mise en sécurité du site – Etat d'avancement ;
14. Rapport ANTEA N°A60244/A de novembre 2010 – Mémoire de réhabilitation du Site des Etablissements LEGRE-MANTE à MARSEILLE (13) ;
15. Rapport ANTEA N°A59703/A de septembre 2010 – Dossier de Cessation d'activités des Etablissements LEGRE-MANTE à MARSEILLE (13) ;
16. Rapport VALGO N°8/ES/11 de mai 2011 – Etude Complémentaire du site en vue de : Préciser les volumes de matériaux impactés sur les parcelles A et C. Etudier les possibilités de valorisation des matériaux à extraire. Déterminer les concentrations maximales admissibles dans le cadre de la reconversion du site ;
17. Rapport VALGO N°10-B-13-004 de 2011 – Plan de Gestion – Ancienne Usine LEGRE-MANTE – 195 avenue de la Madrague MARSEILLE (13008) ;
18. Rapport VALGO N°10-B-14-002 de décembre 2011 – Plan de Gestion – Parcelle B – Ancienne Usine LEGRE-MANTE – 195 avenue de la Madrague MARSEILLE (13008) ;

19. Rapport ECOFIELD CONSULTING N°EC-25/1-SUP de mai 2012 – Dossier de demande d'institution de Servitudes d'Utilité Publique ;
 20. Rapport VALGO N°12-B-13-681 de juin 2014 – Complément opérationnel au plan de gestion.
 21. Rapports ERG Environnement relatifs au Groupe scolaire Madrague de Montredon (Ecole maternelle et école élémentaire), établis dans le cadre de la démarche nationale de diagnostics environnementaux des établissements accueillant les enfants et les adolescents construits sur des sites potentiellement pollués – Rapports en date du 31/03/2016 référencés :
 - a. N°0130887U_RNPP
 - b. N°0130887U_RT2
 - c. N°0130739H_RNPP
 - d. N°0130739H_RT2
 - e. N° 0130739H_RT3
 22. Rapport ERG GEOTECHNIQUE 17MG570Aa/GE/DJ – Rapport géotechnique sur l'emprise du crassier.
 23. Rapport ERG GEOTECHNIQUE 17MG570Ab/GE/MBn – Rapport géotechnique G2 AVP sur les bâtiments 1 à 4 sur site
 24. Rapport ERG ENVIRONNEMENT 17LES038Aa/ENV/MOK/BT/42331 – Rapport IEM hors site.
-

2. PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE

2.1 Caractéristiques générales de la zone d'étude

Tableau 3 - Caractéristiques générales du site

Caractéristiques générales du site	Synthèse des informations collectées	Sources d'informations	Référence à l'Annexe
Dénomination usuelle du site	Site de l'ancienne Usine LEGRE MANTE adressé au 195 avenue de la Madrague de Montredon, 13008 Marseille	Visite du site	-
Position du site	Le site est localisé sur la frange littorale du sud de la commune de Marseille, quartier de la Madrague de Montredon.	Visite du site et plans de localisation	A1 (annexe du diagnostic A1.1 à A1.3)
Description du site	Le site s'étend sur une superficie d'environ 8,5 ha que l'on peut décomposer en 3 parcelles de la façon suivante, du sud au nord (cf. figure 2 ci-dessus) : <ul style="list-style-type: none"> - Parcelle A : 5 ha environ de terrain soit « naturel » (parties sommitales du site) soit ayant fait l'objet d'une exploitation industrielle ancienne (des infrastructures de l'ancienne cheminée et les carneaux de la fonderie historique sont toujours en place) ; - Parcelle C : 2,7 ha environ ayant fait l'objet d'une exploitation industrielle récente (bâtiments, voiries et installations de traitement des eaux usées du site) ; - Parcelle B : de l'autre côté de l'avenue de la Madrague par rapport au site industriel, 0,7 ha environ de terrain remblayé en surplomb de la mer. La parcelle B est le siège d'un crassier d'un volume de 41 600 m³ environ de déchets qui ont été entreposés dans le cadre des activités industrielles historiques, activité de stockage pour laquelle l'exploitant historique disposait d'une autorisation administrative pendant les premières activités de fonderie et jusqu'aux dernières activités de production d'acide tartrique. 	Visite du site et plan de localisation	A1 (annexe du diagnostic A1.1 à A1.3 (localisation du site)) A1 (annexe du diagnostic A1.4 (reportage photographique du site))
Accès au site	L'accès aux parcelles B et C se fait par l'avenue de la Madrague de Montredon. La parcelle A est accessible depuis la parcelle C par le Nord ou par le biais d'un portail en limite Sud de l'ancienne ICPE. Notons que le site est entièrement clôturé et fermé. Par ailleurs, la partie usine est actuellement gardiennée.	Visite du site	-
Urbanisme (PLU – Annexe A1.5)	Chaque zone du site est localisée en zone spécifique : <ul style="list-style-type: none"> - Parcelle A : Zone UR2 – tissus discontinus de types petits collectifs. Dans ce secteur, les tissus présentent des caractéristiques et potentiels qui permettent d'envisager une densification supérieure, tout en restant mesurée - Parcelle B : Zone UR1 – tissu discontinu d'habitats individuels. Dans ce secteur, l'objectif principal est de maintenir des formes urbaines basses aérées, d'une densité relativement faible. C'est pourquoi, dans le cas d'un lotissement ou dans celui de la construction, sur une unité foncière ou sur plusieurs unités foncières contiguës, de plusieurs bâtiments dont le terrain d'assiette doit faire l'objet d'une division en propriété ou en jouissance, les règles de PLU s'appliquent au regard non pas de l'ensemble du projet, mais de chaque unité foncière ou construction issue de cette division - Parcelle C : Zone UT1 - tissus discontinus de types collectifs denses et/ou à densifier avec une hauteur de construction autorisée n'excédant pas les 6 m. 	Mairie de MARSEILLE (règlement consultable : http://www.marseille-provence.fr/index.php/documents/3253-reglement-tome-1-mrs/file#page=219)	A1 (annexe du diagnostic A1.5)
Usage des sites adjacents	Le site est localisé dans un environnement périurbain à caractère naturel et d'habitat résidentiel.	Visite du site	-
Caractère inondable du site	La consultation des bases de données du Ministère en ligne permet de mettre en évidence que le site n'est pas concerné par le risque d'inondation.	Ville de MARSEILLE	A1 (annexe du diagnostic A2.1)
Cadre réglementaire applicable (ICPE...)	Des Installations Classées pour la Protection de l'Environnement sont répertoriées au droit du site. Elles sont détaillées dans l'étude historique.	Courriers de la préfecture, site internet du Ministère	-

2.2 Situation géographique et topographique

Le site de l'usine se situe sur la frange littorale du sud de la commune de Marseille, 8^{ème} arrondissement quartier de la Madrague de Montredon, dans un environnement péri-urbain à caractère naturel et d'habitat résidentiel. Ses coordonnées géographiques et son altitude sont synthétisées dans le tableau suivant :

Tableau 4 - Situation géographique et topographique

Situation géographique et topographique	Synthèse des informations collectées ¹	Sources d'informations	Référence à l'Annexe
Coordonnées Lambert 93 (X, Y en m)	X : 890 639 Y : 6 239 840	Site Géoportail	A1 (annexe du diagnostic A1.1 extrait de la carte IGN)
Cote, altitude Z (NGF)	Entre + 45 et 0 m NGF		
Topographie du site	Le terrain est en pente vers le nord-ouest depuis le point culminant à environ +45 m NGF jusqu'à l'avenue de la Madrague à + 19 m NGF puis jusqu'à la mer	Carte IGN et visite du site	A1 (annexe du diagnostic A1.1. (Extrait de la carte IGN) et A1.4 (reportage photographique du site))

On se reportera à l'**annexe A1.1** du diagnostic reporté en annexe A1 du présent Plan de Gestion pour disposer de la localisation du site sur fond de plan IGN ainsi qu'à la figure page suivante pour disposer des périmètres d'étude (parcelles A, B et C).

Nous notons que la délimitation entre les parcelles A et C apparaît peu pertinente au regard des opérations de démolition, de terrassement et de stockage de matériaux sur la parcelle référencée A, qui présente dans ce cadre une situation des milieux assimilable à celle de la parcelle C sur son secteur Nord et un espace de végétation spontanée, assimilable à un prolongement du contexte retrouvé dans les Calanques sur son ensemble Sud.



Figure 1 – Plan de localisation du site de l'ancienne usine LEGRE MANTE avec délimitation des parcelles A, B et C

¹ Informations approximatives déduites de la carte IGN.

2.3 Présentation du projet d'aménagement

Un projet de réaménagement entrepris par la société SFPT MANTE est en cours d'élaboration. Le projet d'aménagement n'étant pas finalisé au stade de la réalisation du diagnostic complémentaire et du présent Plan de Gestion, seuls les grands principes de celui-ci sont retenus en première approche. Ces éléments sont indispensables pour l'élaboration d'une stratégie d'investigation adaptée au projet.

Dans le cadre du présent diagnostic, les éléments suivants seront pris en compte pour les parcelles A et C :

- Conservation de certains éléments « patrimoniaux » actuellement présents sur site (cheminées, façades, etc),
- Création de niveaux de sous-sol à usage de parking : terrassements des matériaux présents,
- Construction de bâtiment de plain-pied,
- Aménagement des espaces extérieurs en espaces verts et placettes.

Au niveau de la parcelle B, l'aménagement comprend la création d'un parking public au sein du massif de déchets qui sera remodelé, avec une descente en restanques jusqu'au bord de mer et deux bâtiments de faible dimension sur le secteur Est (en forme de « L »). La figure ci-dessous présente l'esquisse du projet d'aménagement considéré (en cours de validation).



Figure 2 : Esquisse du projet d'aménagement considéré

Au regard de la topographie des parcelles A et C, de la nature même de la parcelle B et du projet d'aménagement sur les parcelles à l'étude, la requalification sera à l'origine d'un important volume de déblais, de matériaux divers de nature et qualité chimique variées, qu'il sera nécessaire de gérer (d'un volume estimé à environ 40 000 m³). Notons par ailleurs, dans ce contexte, qu'un volume conséquent de remblais apparaît également nécessaire pour la création des infrastructures, voies lourdes et aménagements paysagers (de type place, cours, espaces verts paysagers, ...)

La balance déblais / remblais de l'opération est détaillée dans le cadre du chapitre d'évaluation des mesures de gestion.

3. DIAGNOSTIC DE LA QUALITE DES MILIEUX

On se reportera au rapport de diagnostic complémentaire (référéncé 17LES038Ab/ENV/MOK/42332), reporté en annexe A1. Ce rapport comprend :

- Une étude historique du site (mission A110 selon la norme NF X 31-620) avec l'analyse des sources potentielles de pollution historique retenues,
- Une étude de vulnérabilité des milieux (mission A120 selon la norme NF X 31-620) qui reprend les éléments de l'étude d'IEM précédemment réalisées (rapport référencé 17LES038Aa/ENV/MOK/BT/42331 et réputée connue du lecteur),
- Une synthèse des précédents diagnostics réalisés et de la connaissance de la qualité des milieux,
- Les investigations complémentaires réalisées sur les milieux (sols et les gaz des sols) identifiés comme vulnérables (ayant pu avoir été impactés au droit du site) et pouvant potentiellement présenter un risque pour les futurs résidents en tenant compte du volet documentaire et historique du site, mais également du projet d'aménagement retenu à ce stade,
- L'interprétation de la qualité des milieux.

Une synthèse non exhaustive de l'étude et de ses principales conclusions et préconisations est proposée ci-dessous.

3.1 Volet documentaire et historique

Le site de la S.A.S. LEGRE-MANTE ETABLISSEMENT a abrité en particulier :

- Une usine de traitement de plomb argentifère et de zinc par natrométallurgie et fabrication de soude (1875-1883 : Hilarion-Roux) ;
- Un site de production d'acide tartrique et d'acide sulfurique (LEGRE-MANTE 1888 à 2009).

L'étude historique a permis de détailler les procédés industriels employés par l'usine et de recenser et localiser les sources potentielles de pollution associées.

La seconde période d'activité a été à l'origine d'une forte transformation du schéma industriel d'une part (avec la transformation des anciens bâtiments, le changement du process, du mode d'approvisionnement des minerais (pyrites), l'ajout de cheminée, ...), ainsi que la modification de la nature des rejets et déchets générés par les nouvelles activités sur site : fabrication d'acide tartrique et de crème de tartre dont le process nécessite l'utilisation d'acide sulfurique autoproduit sur site à partir de pyrites. Ces deux nouvelles activités ne sont pas à l'origine des mêmes déchets et rejets.

De nombreuses activités historiques ayant pu générer des pollutions extérieures sont répertoriées sur le littoral et en particulier dans un rayon de moins de 400 m à 2 km de l'ancienne usine LEGRE MANTE : usines d'acide sulfurique, usines de plomb, usine de raffinage de soufre, usine d'épuration de pétrole, verrerie.

L'usine s'inscrit en limite immédiate du Massif des Calanques de Marseille, référencé en site classé depuis 1975 au titre de la loi du 2 mai 1930 et inscrit depuis le 18 avril 2012 comme Parc National à la fois terrestre, marin et périurbain, permettant le renforcement de la protection de cet espace naturel.

En termes d'usages environnant, le site est localisé :

- Dans un environnement d'habitat résidentiel avec jardins privatifs,
- À proximité d'un établissement scolaire,
- Au cœur du massif des calanques où des activités de promenade, chasse et cueillette sont pratiquées,
- À proximité du littoral, lieu de baignade, sport nautique et pêche.

Le contexte hydrologique local est représenté par la mer (absence de cours d'eau), constituant l'exutoire principal :

- Du canal de Marseille traversant le site,
- Des eaux de ruissellement sur le massif des calanques, l'ancienne usine et le crassier,
- Des eaux souterraines s'infiltrant au sein du massif calcaire karstique.

3.2 Principales conclusions du diagnostic de la qualité des milieux au droit du site

En complément des investigations réalisées dans le cadre des études antérieures sur les Parcelles A et C et compte tenu de l'historique et des sources potentielles de pollution identifiées au droit du site, ERG ENVIRONNEMENT a réalisé les investigations suivantes au droit des parcelles A et C :

- 86 sondages à la pelle mécanique ;
- 9 sondages à la tarière mécanique ;
- 34 sondages dont 15 équipés en piézajirs ;
- 36 prélèvements à la tarière manuelle.

La stratégie analytique a reposé sur la recherche des traceurs des sources potentielles de pollution identifiées et des résultats des études antérieures réalisées sur site. De manière générale, les 8 métaux lourds ont été recherchés de manière systématique au droit du site et les composés organiques ont été recherchés de manière logique au droit des SPP retenues et de manière régulière sur l'emprise des parcelles à l'étude (au vu du passif industriel et de la présence de remblais hétérogènes au droit du site).

Des prélèvements et analyses des sources « cheminées » sur les parcelles A et C et « crassier » sur la parcelle B ont été effectués dans le cadre de l'étude d'IEM précédemment réalisées (référéncée 17LES038Aa/ENV/MOK/BT/42331 et réputée connue du lecteur) et sont intégrés au diagnostic complémentaire, il s'agit :

- De la cheminée verticale encore présente sur site : 1 prélèvement et analyse des encroutements,
- De la cheminée rampante et cheminée verticale haute (zone calanques) : 5 prélèvements et analyses des encroutements,
- Du crassier présent sur la parcelle B : 5 prélèvements et analyses des sols du crassier Ouest et 3 prélèvements et analyses des sols du crassier Est répartis sur la hauteur du crassier (au moyen de deux sondages profonds réalisés sur chaque secteur de la parcelle B).

Les analyses ont porté sur un screening large de 45 ETMM incluant les 8 métaux lourds. Les résultats d'analyse pour les sources ont permis de distinguer en première approche 5 signatures différentes : la cheminée verticale, la cheminée rampante, les remblais du crassier Est (mélange type « démolition » et industrie « chimique ») et deux types de remblais différents pour le crassier Ouest (mélange type « démolition » et industrie « chimique » en surface et déchet industriel « fonderie » en profondeur).

En cohérence avec le process historiques de l'activité du site, les teneurs les plus fortes sont observées au niveau des encroutements de la cheminée rampante (accumulation sur le long terme des fumées issus des différents fours) et des déchets métalliques au sein du crassier Ouest (concentration au sein des résidus profonds). Ces deux types de matériaux sont caractérisés par leurs concentrations en :

- Plomb, arsenic, mercure et cadmium pour les encroutements,
- Plomb, arsenic, zinc, cadmium et dans une moindre mesure cuivre et nickel dans les remblais industriels métalliques.
- Le chrome ne constitue pas un traceur de la pollution du site.

Concernant la parcelle B :

- Le crassier Ouest est constitué d'un empilement de résidus témoignant des différentes activités du site avec de la base vers le sommet : des remblais de type industriel (associé au procédé d'affinage de métaux) puis de nature chimique (associé à l'activité d'acide tartrique), ces derniers étant mélangés à des déchets de démolition issus de l'usine.
- La paragenèse caractérise mieux que la signature isotopique les remblais du crassier.

Concernant les parcelles C et A (sur le secteur Nord essentiellement) :

- Un marquage des sols par les ETM avec particulièrement un impact diffus et concentré en Pb et en As sur l'ensemble du site, ainsi qu'un impact diffus en cuivre, zinc et cadmium (avec plus ponctuellement des anomalies marquées). Quelques anomalies ponctuelles en mercure ont été enregistrées dans les sols en profondeur aux abords de la cheminée rampante sur son linéaire enterré et au niveau des sols de surface de deux prélèvements dans le même secteur.
- Des indices organoleptiques caractéristiques de cyanures (associés à des concentrations en cyanures totaux supérieures à 10 mg/kg MS) ont été enregistrées uniquement dans les sols de surface au droit du stockage historique de ferrocyanures dans le bâtiment 1, ainsi que dans les sols en profondeur à proximité des carreaux bas.
- Les HCT et HAP sont présents d'une manière ponctuelle et localisée dans les sols. Les teneurs enregistrées ne sont pas associées à des anomalies dans les gaz des sols.
- Un transfert possible des composés volatils vers les gaz du sol a été mis en évidence (seul le TCE est présent à des teneurs dépassant les valeurs de comparaison retenues en première sur 3 piézajirs localisés au droit des futurs bâtiments F et D de plain-pied).
- La présence de composés volatils dans les gaz du sol pouvant entraîner des risques sanitaires pour les futurs usagers du site exposés par inhalation de ces composés, une étude de risques sanitaires a donc été réalisée dans le cadre du présent Plan de Gestion (chapitre 5).

4. SYNTHÈSE DE L'ÉTAT DES MILIEUX – ANALYSE DES ENJEUX

Conformément à la méthodologie nationale, la gestion des sites et sols pollués repose sur :

- La maîtrise des sources de pollution et des transferts,
- La maîtrise des impacts avec :
 - Le contrôle des milieux d'exposition,
 - La définition des mesures de gestion à mettre en place visant à rétablir la compatibilité du site avec l'usage projeté,
 - La réhabilitation en veillant à protéger les futurs usagers d'éventuelles pollutions résiduelles
- L'étude au cas par cas des situations rencontrées en fonction des pollutions rencontrées et des contraintes intrinsèques au site étudié.

4.1 Principe de la démarche

Selon la méthodologie nationale mise à jour en avril 2017, en tout premier lieu, les possibilités de suppression des pollutions et de leurs impacts doivent être recherchées. La maîtrise des impacts suppose la maîtrise préalable des sources de pollution et des pollutions concentrées. Ainsi lorsque des pollutions concentrées sont identifiées (flottants sur les eaux souterraines, terres fortement imprégnées de produits, produits purs), la priorité consiste d'abord à déterminer les modalités de suppression des pollutions concentrées, plutôt que d'engager des études pour justifier leur maintien en l'état.

La définition d'une source de pollution se traduit par le concept de capacité à « émettre » des pollutions, cela se traduit par le transfert de polluants dans l'environnement.

Une pollution concentrée apparaît plus difficile à définir. Elle correspond à un volume fini de milieu souterrain au sein duquel les concentrations en une ou plusieurs substances sont significativement supérieures aux concentrations de ces mêmes substances à proximité immédiate de ce volume même en l'absence d'émission dans l'environnement.

La caractérisation des sources de pollution concentrées sera donc étudiée sur la base de différentes méthodes d'interprétation des résultats. La méthodologie d'avril 2017 propose différentes méthodes d'interprétation des données de terrain et de laboratoire permettant de caractériser et d'identifier une pollution concentrée.

L'objectif est de caractériser la présence d'un éventuel bruit de fond et/ou de valeurs anormales significativement différentes dans la distribution des concentrations. Elle doit permettre de proposer un seuil de coupure « théorique » pour la pollution concentrée, au-dessus duquel il serait intrinsèquement intéressant de traiter ces sols en retirant un maximum de la masse de polluant, tout en ne traitant qu'un volume de sol limité. Ces seuils de coupure sont évalués indépendamment :

- de la mobilité des polluants,
- des techniques de dépollution disponibles,
- des usages du site, des aménagements actuels ou futurs,
- des objectifs de qualité des milieux,
- des risques sanitaires,
- des aspects financiers.

Il est généralement nécessaire de recouper plusieurs méthodes afin de valider la définition du seuil de coupure pour la définition d'une source concentrée.

Quatre de ces méthodes sont étudiées ici :

- l'approche basée les constats de terrain,
- l'analyse statistique,
- l'approche cartographique,
- le bilan massique.

4.2 Identification des sources de la pollution concentrée hors métaux lourds sur les parcelles A et C

4.2.1 Approche basée sur l'interprétation des constats de terrain

Les constats de terrain de 2018 reportés en annexe A2 mettent en évidence des indices de pollution (aspect, odeur, couleur) rarement associés à des teneurs notables mesurées au PID en cohérence avec les résultats d'analyse. Les indices organoleptiques ont été confirmés par des anomalies en polluants organiques ou en cyanures uniquement au niveau des horizons surlignés en jaune dans les tableaux.

Dans le cadre des précédentes campagnes seul quelques indices organoleptiques notables ont été relevés, nous avons noté :

- Dans le cadre du diagnostic ANTEA de 1998 des horizons de matériaux bleus dans les sols entre 2 et 4 m au niveau de la fouille F11.
- Dans le cadre du diagnostic ANTEA de 2011 des horizons noirâtres dans les sols au niveau des sondages T7, T8 et T10 essentiellement dans les sols de surface.

Ces indices organoleptiques ont été confirmés par des anomalies en HAP dans les sols du sondage T8 et en cyanures totaux dans les sols de la fouille F11.

Retenons que les indices organoleptiques / mesures PID les plus notables sont des odeurs et des anomalies de PID entre 0.1 et 100 ppm et une couleur bleue des sols ponctuelle et exclusivement au niveau des zones de carneaux bas et de la zone de stockage de ferrocyanures.

La présence de débris de démolition et de matériaux de type mâchefers a également été mise en évidence d'une manière régulière dans les remblais de surface des parcelles A et C.

Rappelons dans ce cadre que des travaux ont été pratiqués sur la parcelle C en 2002, sous le contrôle de l'administration pour l'aménagement de l'actuelle station de traitement des eaux usées du site. Une très grande quantité de déblais de terrassement et de matériaux de démolition d'anciennes infrastructures de l'usine a été constituée dans ce cadre, après avoir revêtu le terrain d'un complexe géosynthétique. Les ancrages du complexe géosynthétique en amont de la pente du terrain naturel sont recouverts de sols et d'un couvert végétal, mais du polyane peut être observé en différents endroits du pied de talus. Un diagnostic de la qualité des sols, effectué préalablement à la construction de la station, avait mis en évidence des teneurs localement soutenues en métaux dans les sols stockés au sein du massif de matériaux de terrassement et de démolition.

4.2.2 Approche statistique

Conformément aux textes en vigueur, afin de permettre une bonne appréhension des résultats obtenus dans les sols, et dans l'objectif de juger du caractère de « pollution concentrée » ou de « pollution diffuse » des anomalies enregistrées dans les sols, des graphiques de synthèse des concentrations retrouvées dans les sols sont proposés pour chacun des paramètres recherchés (présentant des concentrations supérieures aux valeurs de bruit de fond retenues quand elles existent ou à la limite de quantification du laboratoire).

On se reportera au rapport de diagnostic en annexe A1 pour disposer des valeurs d'analyse de la situation retenues.

A noter qu'au regard de la quantité de données et de leur répartition sur l'ensemble du site, l'approche statistique s'avère pertinente. La densité de sondage est d'environ 1 sondage par 300 m² sur les parcelles A et C avec une densité plus importante sur la parcelle C au niveau des anciennes activités et une densité plus faible sur la parcelle A dans le secteur Sud.

4.2.2.1 Approche Graphiques de répartition des teneurs en composés organiques et cyanures et Approche statistique simplifiée

La représentation graphique des concentrations permet de visualiser rapidement les gammes de concentration les plus représentées et d'isoler les échantillons présentant des teneurs anormalement élevées en comparaison.

On se reportera aux paragraphes 7.6 et 7.7 du diagnostic complémentaire reporté en annexe A1 pour disposer de l'ensemble des diagrammes et données statistiques simplifiées.

Remarque : pour rappel la première étape de l'approche statistique consiste en la réalisation de calculs à partir des concentrations mesurées dans les sols, exprimés en mg/kg MS, sur l'ensemble des zones du site. Les concentrations inférieures à la limite de quantification sont retenue égales à cette limite.

❖ LES HCT :

Il apparait que 92% des 123 échantillons soumis à l'analyse des HCT, présentent des teneurs en HCT inférieures à 500 mg/kg (seuil de l'arrêté du 12/12/2014 définissant le caractère inerte de ceux-ci) et environ 87% présentent des teneurs inférieures à 250 mg/kg.

L'histogramme de répartition des concentrations en HCT met en évidence la présence d'une anomalie très significativement élevée par rapport aux autres teneurs mesurées sur le site. Il s'agit de l'échantillon prélevé de 0.1 à 0.2 m au droit de E9b (sondage réalisé à la tarière manuelle ayant pour objectif la délimitation latérale de l'impact en E9 mis en évidence lors de la première campagne).

Il apparait que 9 échantillons présentent des teneurs comprises entre la valeur de 500 mg/kg et 4 000 mg/kg. Les autres échantillons semblent présenter des teneurs homogènes assimilables en première approche au bruit de fond du site.

Les échantillons apparaissant comme anormaux selon cette première démarche sont présentés dans le tableau 5 page suivante.

Il apparait que ces échantillons sont prélevés dans des remblais ayant mis en évidence des constats organoleptiques particuliers (mesures PID non nulles ou traces noires ou odeurs d'hydrocarbures, etc).

En ce qui concerne l'échantillon « PM4-caniveau », il n'apparait pas réaliste de le considérer comme représentatif d'une anomalie dans les sols étant donné qu'il s'agit d'un prélèvement de résidu de type « sédiment » dans un caniveau historique au droit du bâtiment 1. Il s'agit de déchets qui seront curés et gérés lors des travaux de démolition ou d'aménagement, mais non d'une source sol qu'il serait nécessaire de dimensionner spécifiquement. Cette anomalie ne sera donc plus prise en compte lors de l'analyse, mais elle sera gardée en mémoire et le caniveau sera curé et les matériaux gérés en filière autorisée, comme toute canalisation ou structure de rétention qui s'avèrerait souillée.

Tableau 5 : Echantillons anomaux selon les Graphiques de répartition des teneurs en HCT (en mg/kg MS) et l'approche statistique simplifiée

Echantillons anomaux par rapport au bruit de fond du site	Lithologie	Constats organoleptiques	Concentration mesurée	Composé majoritaire	Concentration du composé majoritaire	Remarque interprétation
PM18 0 - 0,6	Sables limoneux marron à bruns noirâtre à cailloutis et débris	Couleur noire et débris	1130	HCT (>nC30 - nC40)	854	Aucune délimitation réalisée
PM2 0,6 - 1,3	Sables limoneux beiges gris à traces noirâtres plus ou moins compactes	Couleur noire	1280	HCT (>nC22 - nC30)	627	Bâtiment 1 Hall 2-3-4 instables pour seconde campagne
PM4 caniveau	Fond de caniveau	Matériaux noirâtres en fond	3370	HCT (>nC22 - nC30)	1680	
E9 0 - 0,25	Sables à petits blocs beiges marron avec débris de briques et tache noire en surface légère odeur d'hydrocarbures Refus sur calcaire	Débris de briques et tâches noires Légère odeur d'hydrocarbures PID = 0,4 ppm	3460	HCT (>nC16 - nC22)	2140	Délimitation par E9a à E9d Impossibilité d'équiper un piézair car calcaire à 0,25m
PM10 0,2 - 0,8	Scories dans matrice sablo-limoneuse grise noire à beige et briques	Scories et briques	762	HCT (>nC30 - nC40)	315	Impact modéré Délimitation nord-ouest par C5, reste inaccessible
E9b 0,1 - 0,2	Sables fins argileux avec boulettes d'argiles beiges, zone noire grasse avec odeur d'HCT Refus à 20 cm S: débris végétaux	odeur d'HCT PID = 1,3 ppm	27300	HCT (>nC16 - nC22)	16600	Sondages de délimitation de E9 Délimitation de E9b par E9a, E9c et E9d Impossibilité de délimiter E9c plus au sud-est car encombrement de la zone Impossibilité d'équiper un piézair
E9c 0 - 0,1	Sables légèrement limoneux bruns (3cm) puis marron avec déchets végétaux et rares cailloux calcaires avec quelques odeurs d'HCT Refus à 0,1 m S: copeaux de bois, déchets métalliques et cuve à proximité	quelques odeurs d'HCT	3510	HCT (>nC16 - nC22)	2020	
SD1 2,5 - 3	Matériaux noirs humides forte odeur H2S et éléments métalliques avec calcite	odeur H2S ++ PID = 2,4 ppm	848	HCT (>nC22 - nC30)	394	Impact modéré Zone peu accessible Délimitation large par SD2, SD3 et PM8
T8 E1	-	-	1310	HCT (>nC20 - nC24)	250	Impact non retrouvé par PM14 Délimitation nord par E'22 et F'22 Equipement de Pza2
S2-LM 0,2-1	-	-	3050	Le bordereau annexé au rapport (A3-1) ne détaille pas les fractions HCT		Impact non retrouvé par SD6 Equipement de Pza3

❖ **LES HAP :**

Il apparaît que 95.5% des 112 échantillons soumis à l'analyse des HAP présentent des teneurs inférieures à 50 mg/kg (seuil de l'arrêté du 12/12/2014).

5 échantillons présentent des teneurs supérieures à cette valeur :

- L'histogramme de répartition des concentrations en HAP² met en évidence la présence de deux anomalies significativement plus élevées que les autres teneurs mesurées sur le site. Il s'agit de l'échantillon de matériaux présents en fond de caniveau découvert lors de la réalisation de PM4 et d'un échantillon prélevé lors de l'étude ANTEA de 2010 (T8).
- 3 autres échantillons semblent se distinguer d'un bruit de fond observé sur le site.

Le prélèvement « PM4-caniveau » n'est pas retenue comme une source sol qu'il serait nécessaire de dimensionner spécifiquement, le prélèvement correspondant à un résidu de type « sédiment » dans un caniveau historique au droit du bâtiment 1 : il s'agit plus de déchets qui seront curés et gérés lors des travaux de démolition ou d'aménagement.

L'anomalie mise en évidence sur T8 n'a pas été confirmée lors des investigations réalisées par ERG en 2018 (PM14, E'22 et F'22). PM14 présente un marquage par les HAP de 0.3 à 0.9 m de profondeur (de 54 mg/kg MS) largement inférieur à la teneur mesurée par ANTEA en 2010 (de 410 mg/kg MS). Le piézair (PzA2), équipé à proximité de cette zone, a permis de lever le doute sur cet impact.

Les deux autres anomalies retrouvées sont localisées en P'19 et T11. Le piézair (PzA8), équipé à proximité de P'19, a permis de lever le doute sur cet impact.

En revanche, l'anomalie en T11 mise en évidence par ANTEA en 2010 n'a pas pu être recharacterisée du fait de l'instabilité du bâtiment 3 (charpente en bois, incendie, toiture démolie). Un piézair (PzA13) a été implanté dans la seule zone accessible du bâtiment lors des investigations et a permis de lever le doute sur un impact à l'échelle du bâtiment.

Les échantillons apparaissant comme anormaux selon cette première démarche sont présentés dans le tableau 6 suivant.

Tableau 6 : Echantillons anormaux selon les Graphiques de répartition des teneurs en HAP (en mg/kg MS) et l'approche statistique simplifiée

Echantillons anormaux par rapport au bruit de fond du site	Lithologie	Constats organoleptiques	Concentration mesurée	Composé majoritaire	Concentration du composé majoritaire	Remarque interprétation
PM4 caniveau	Fond de caniveau	Matériaux noirâtres en fond	400	Fluoranthène	92	Impact dans des matériaux présents en fond de caniveau sous dalle
PM14 0,3 - 0,9	Sables limoneux beiges gris à passages noirâtres avec débris de briques et cailloutis centimétriques à décimétriques	Passages noirâtres et débris de briques	54	Fluoranthène	10	Sondage de délimitation de T8 Délimitation nord par E'22 F'22 Equipement de PzA2
P'19 0 - 0,6	Sables limoneux bruns à débris de briques et cailloutis centimétriques passage noirâtre grisâtre avec scories / mâchefers de 0,55 à 0,6 m	Scories / mâchefers de 0,55 à 0,6 m	63	Fluoranthène	12	Equipement de PzA8
T8 E1			410	Phénanthrène	99	Impact non retrouvé par PM14 Délimitation nord par E'22 et F'22 Equipement de PzA2
T11 E1			130	Fluoranthène	24	Zone inaccessible lors de l'intervention Equipement de PzA13 au plus proche dans la zone accessible

² Histogrammes disponibles aux paragraphes 7.6 et 7.7 du diagnostic complémentaire reporté en annexe A1 du Plan de Gestion.

❖ **LES CYANURES :**

95% des 41 échantillons soumis à l'analyse des Cyanures présentent des teneurs en cyanures libres inférieures à 5 mg/kg

63% des échantillons pour les cyanures totaux et

12% présentent des teneurs en cyanures totaux supérieures à 150 mg/kg.

5 échantillons présentent des teneurs en cyanures largement supérieures aux teneurs mesurées sur le site – teneurs comprises entre 200 à 1300 mg/kg MS. Il s'agit d'échantillons prélevés soit dans la zone proche des carneaux (PMC3 – SD14 – F11) soit dans la zone de stockage des ferrocyanures du Hall 1 Bât 1 (SD1).

Les cyanures libres sont détectés uniquement au niveau des sols en profondeur de PMC3 (teneurs comprises entre 1,7 et 63 mg/kg MS), SD14 (teneurs comprises entre 1,1 et 4 mg/kg MS) et F11 (teneurs comprises entre 0.1 et 2.5 mg/kg MS).

La totalité des anomalies mises en évidence sont localisées au niveau des zones carneaux et stockage de ferrocyanures exclusivement et ne concerne uniquement que 5 sondages pour les concentrations supérieures à 10 mg/kg.

❖ **LES BTEX, LES PCB ET LES COHV :**

Ces paramètres lorsqu'ils sont rarement détectés dans les sols le sont à l'état de trace, on retiendra dans ce cadre qu'aucune source concentrée en BTEX, en PCB et en COHV n'a été mise en évidence sur le site et l'analyse ne sera pas développée plus avant (selon les approches statistique, cartographique, bilan massique, estimation des cubatures et intégration des contraintes financières).

4.2.2.2 Approche statistique par pourcentage cumulé de population d'analyse

Le graphique de l'évolution du pourcentage cumulé de la population d'analyses en fonction des teneurs mesurées en polluants disponibles permet de déterminer une ou plusieurs ruptures de pente, qui définissent deux ou plusieurs gammes de concentrations. Cette représentation permet d'avoir une première estimation de la distribution et l'importance et de la répartition d'une pollution au droit du site.

Cette approche est établie pour les HCT, les HAP et les cyanures totaux.

Notons que pour cette approche, les concentrations inférieures à la limite de quantification sont retenues égales à cette limite et l'intégralité des analyses pour chaque famille de polluants ont été intégrées dans l'analyse des pourcentages cumulés.

Enfin dans le but de permettre une bonne lisibilité des données et une visualisation optimale des ruptures de pente sur ces représentations pour les familles de polluants à l'étude, l'axe des abscisses, représentant les teneurs en polluants, a volontairement été passé en échelle logarithmique.

❖ LES HCT :

L'évolution du pourcentage cumulé de la population d'analyses en fonction des teneurs mesurées en HCT est présentée dans la figure suivante.

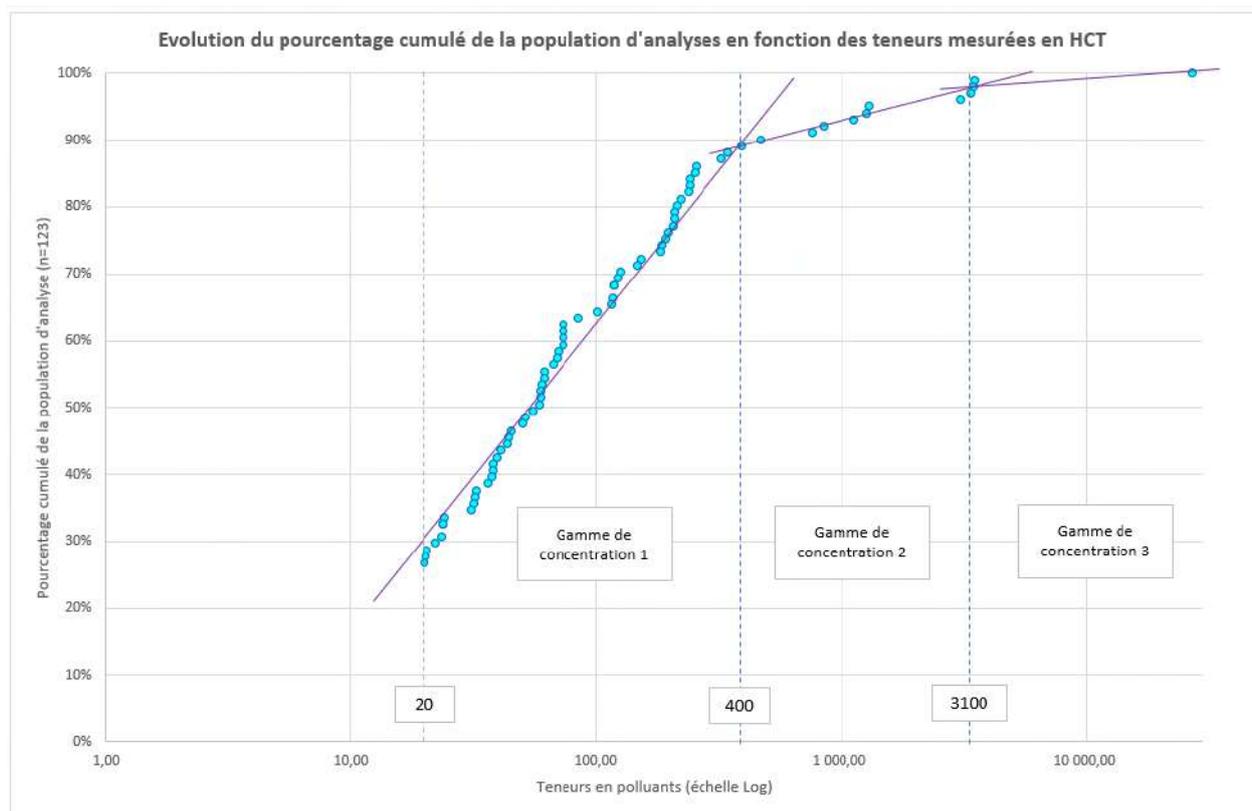


Figure 3 : Evolution du pourcentage cumulé de la population d'analyses en fonction des teneurs mesurées en HCT C10-C40 dans les sols

Le graphique fait apparaître deux ruptures de pente :

- La gamme de concentration 1 correspond au bruit de fond moyen sur l'ensemble du projet,
- La gamme de concentration 2 distingue les sols présentant un impact avéré modéré par les activités passées,
- La gamme de concentration 3 correspond à une pollution concentrée à fortement concentrée.

Remarque : les teneurs inférieures à la gamme de concentration 1 représentent 40% des analyses et correspondent aux teneurs inférieures à la limite de détection du laboratoire (limites variables selon les diagnostics de 1998 à 2018),

❖ LES HAP :

L'évolution du pourcentage cumulé de la population d'analyses en fonction des teneurs mesurées en HAP est présentée dans la figure suivante.

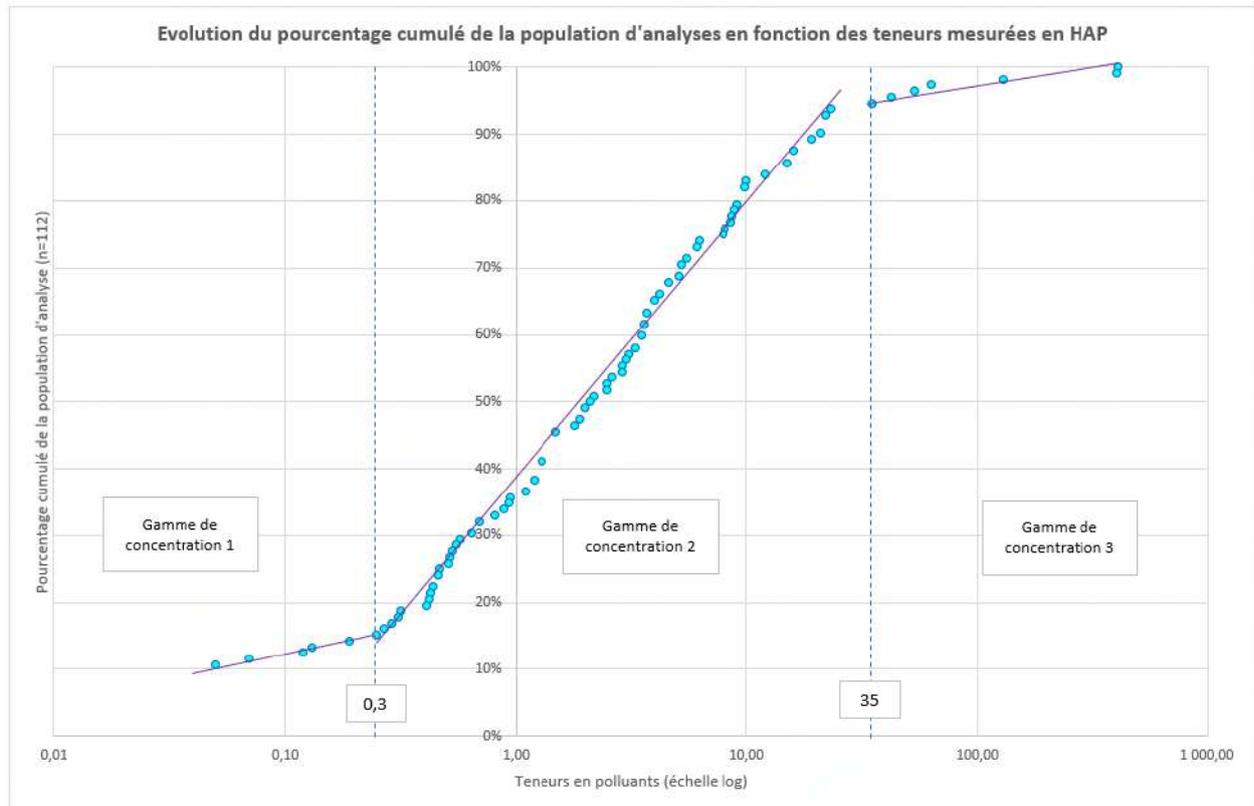


Figure 4 : Evolution du pourcentage cumulé de la population d'analyses en fonction des teneurs mesurées en HAP dans les sols

Le graphique fait apparaître deux ruptures de pente :

- La gamme de concentration 1 représente 15% des effectifs et correspond aux teneurs inférieures à la limite de détection du laboratoire (limites variables selon les diagnostics de 1998 à 2018),
- La gamme de concentration 2 correspond au bruit de fond sur l'ensemble du projet,
- La gamme de concentration 3 distingue les sols présentant un impact avéré modéré par les activités passées, jusqu'à des pollutions plus concentrées.

❖ LES CYANURES TOTAUX :

L'évolution du pourcentage cumulé de la population d'analyses en fonction des teneurs mesurées en Cyanures Totaux est présentée dans la figure suivante.

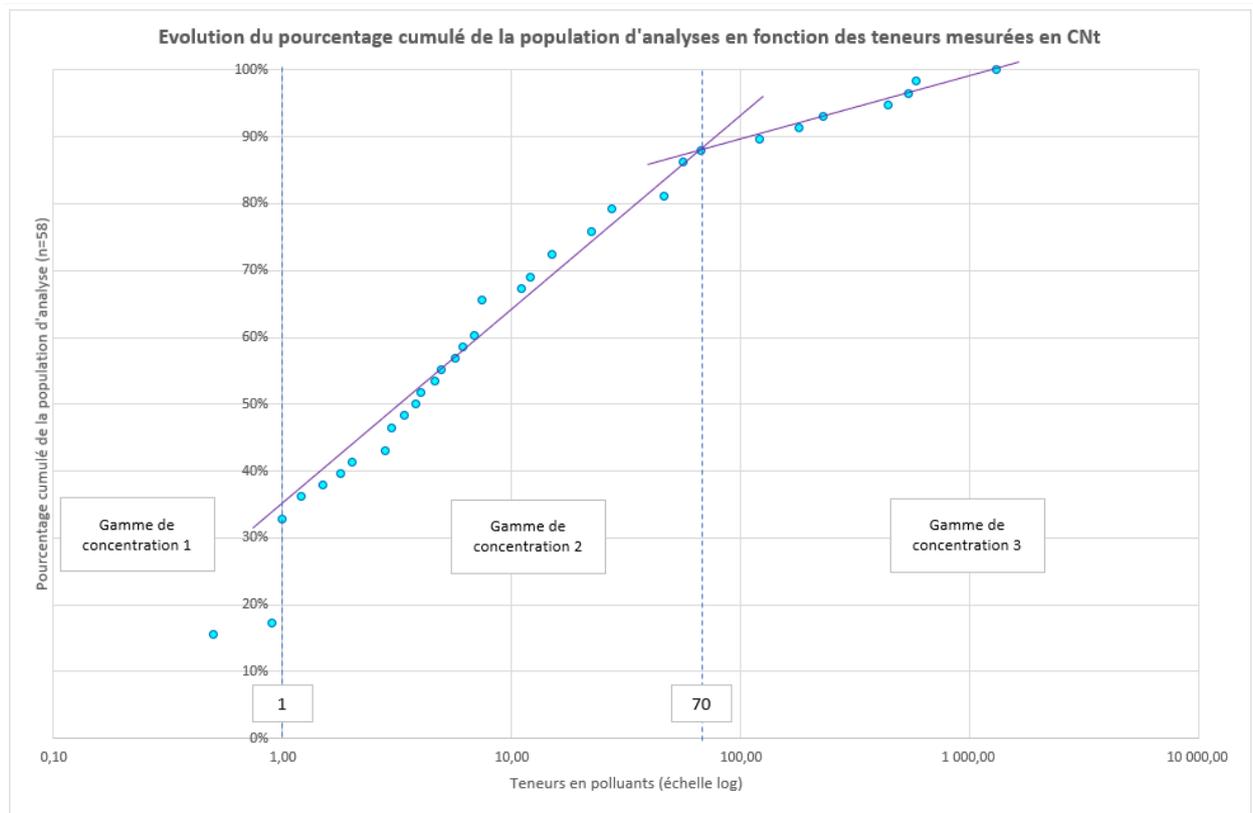


Figure 5 : Evolution du pourcentage cumulé de la population d'analyses en fonction des teneurs mesurées en Cyanures totaux dans les sols

Le graphique fait apparaître deux ruptures de pente :

- La gamme de concentration 1 représente 17% des effectifs et correspond aux teneurs inférieures à la limite de détection du laboratoire (limites variables selon les diagnostics de 1998 à 2018),
- La gamme de concentration 2 correspond au bruit de fond sur l'ensemble du projet,
- La gamme de concentration 3 distingue les sols présentant un impact avéré modéré par les activités passées, jusqu'à des pollutions plus concentrées.

❖ LES CYANURES LIBRES :

L'évolution du pourcentage cumulé de la population d'analyses en fonction des teneurs mesurées en Cyanures Libres est présentée dans la figure suivante.

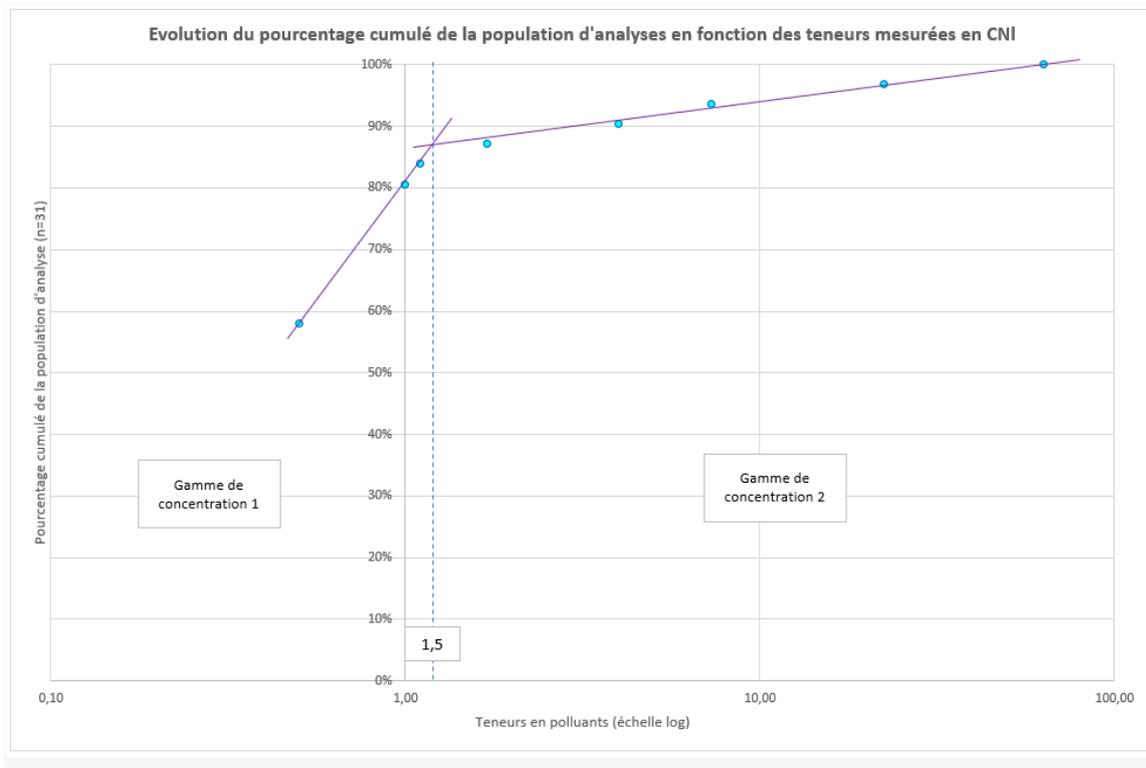


Figure 6 : Evolution du pourcentage cumulé de la population d'analyses en fonction des teneurs mesurées en Cyanures totaux dans les sols

Le graphique fait apparaître une rupture de pente :

- La gamme de concentration 1 représente 84% des effectifs et correspond aux teneurs inférieures à la limite de détection du laboratoire (limites variables selon les diagnostics de 1998 à 2018) ou dans une gamme de bruit de fond moyen,
- La gamme de concentration 2 distinguerait les sols présentant un impact avéré modéré par les activités passées, jusqu'à des pollutions plus concentrées.

Les gammes de concentration retenues sur la base de cette approche statistique sont synthétisées dans le tableau 7 suivant par polluant et famille de polluants.

Tableau 7 : Présentation des gammes de concentration retenues selon l'approche des pourcentage cumulés de population

Composé	Gamme de concentration 1 (en mg/kg MS)	Gamme de concentration 2 (en mg/kg MS)	Gamme de concentration 3 (en mg/kg MS)	Sondage dans la gamme des plus fortes concentrations
HCT	20-400	400-3100	> 3100	E9b (0,1 - 0,2) avec 27300 E9c (0 - 0,1) avec 3510 E9 (0 - 0,25) avec 3460 S2-LM (0,2-1) avec 3050
HAP	1-20	20-65	>65	T8E1 (0,05-1) avec 410 T11E1 (0-1) avec 130 P'19 (0 - 0,6) avec 63
Cyanures totaux	0-1	1-100	> 100	SD14 (0,6-5) avec 180 à 1300 F11(2,5-4,5) avec 578 PMC3(1,7-4,2) avec 120 à 540 SD1 (0-1) avec 230
Cyanures Libres	0-1,5	> 1,5		SD14(4-5) avec 4 PMC3(1,2-3,8) avec 7,3 à 63 F11 (>4,5) avec 2,5

Cette seule méthode ne permet pas de définir un seuil de coupure robuste puisqu'elle ne tient pas compte de la répartition spatiale des concentrations. Elle doit donc être confortée par l'approche cartographique et un bilan massique.

4.2.3 Approche cartographique

❖ LES HCT :

Les cartographies de répartition spatiale des concentrations en hydrocarbures dans les sols de surface et dans les sols en profondeur sont présentées en figures 7 page suivante.

L'ensemble des analyses disponibles a été représentée dans les figures (a) et (b) sans sélection de gamme de concentration. L'analyse cartographique met en évidence un bruit de fond de teneurs n'excédant pas les 500 mg/kg MS sur l'ensemble du terrain et une répartition géographiquement ponctuelle des anomalies en HCT enregistrées dans les sols de surface comme en profondeur.

Les anomalies supérieures à 500 mg/kg MS sont mises en exergue au travers des figures 7(c) et 7(d)

La cartographie met bien en évidence les 2 zones sources concentrées : E9 et S2-LM (la teneur au PM4 n'étant pas retenue comme une anomalie dans les sols) confortant ainsi les précédentes analyses statistiques des données disponibles.

Notons que parmi les anomalies comprises dans la gamme de concentration 2 (jugées modérées et non représentatives d'une « source concentrée ») pour les HCT, le secteur du sondage SD1 est concerné par une anomalie concentrée en cyanures.

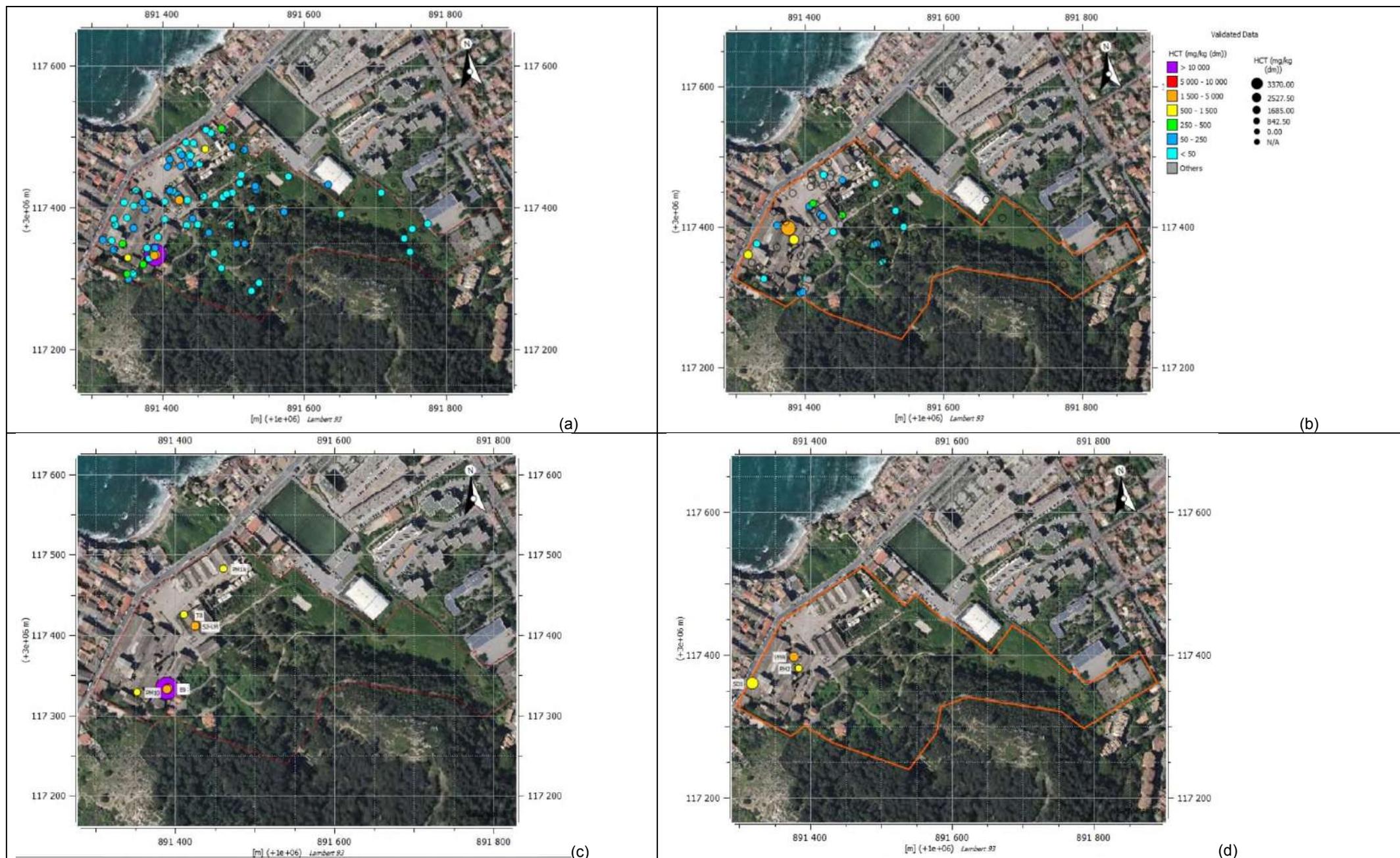


Figure 7 : Cartographies des teneurs en HCT dans les sols de surface (a)(c) et en profondeur (b)(d) – Représentation des teneurs supérieures à 500 mg/kg (c) et (d)

❖ **LES HAP :**

Les cartographies de répartition spatiale des concentrations en HAP dans les sols de surface et dans les sols en profondeur sont présentées en figure 8.

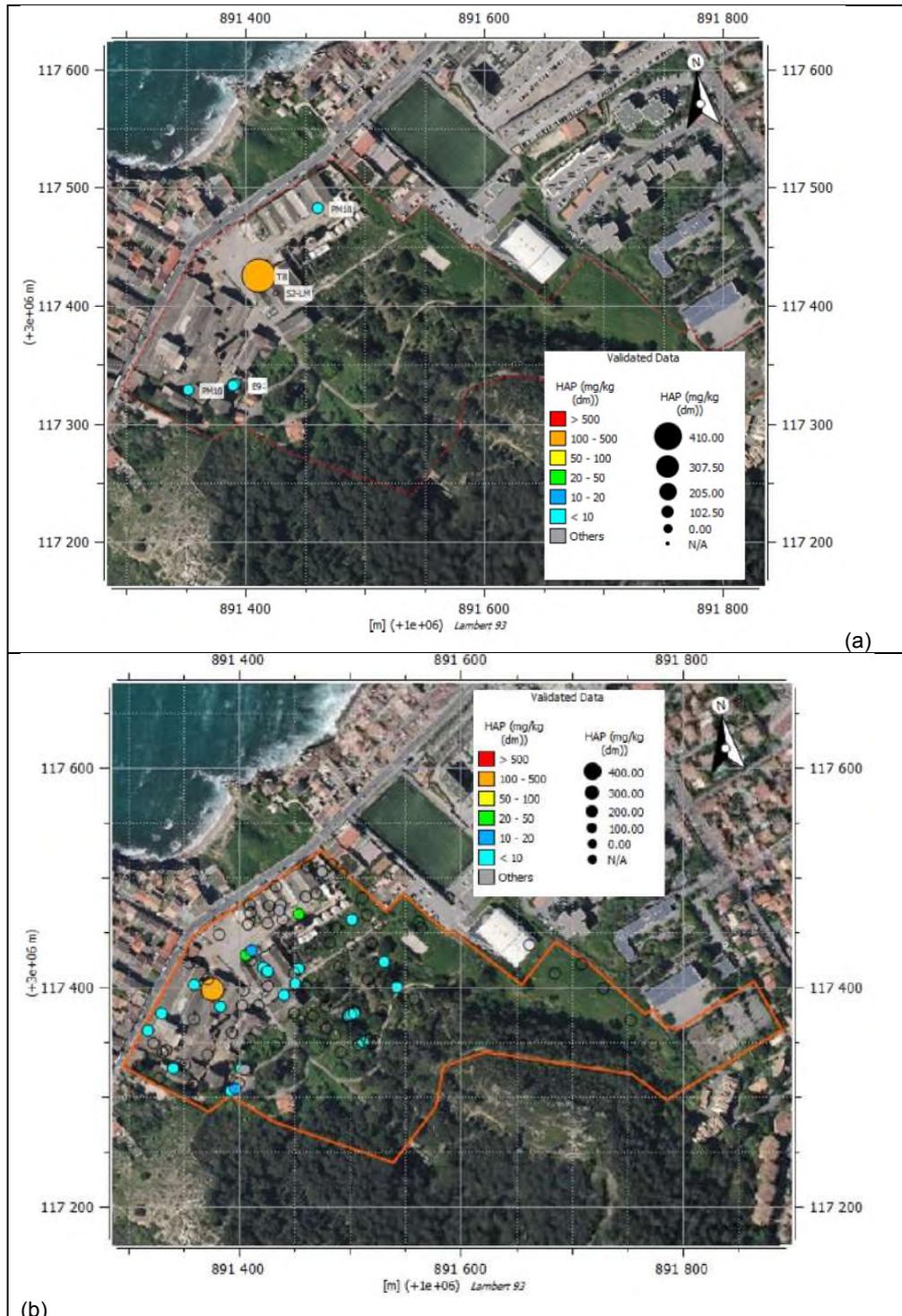


Figure 8 : Cartographies des teneurs en HAP dans les sols de surface (a) et en profondeur (b)

L'ensemble des analyses a été représenté dans les figures (a) et (b) sans sélection de gamme de concentration. L'analyse cartographique met en évidence un bruit de fond de teneurs n'excédant pas les 50 mg/kg MS sur l'ensemble du terrain et une répartition géographiquement ponctuelle des anomalies en HAP enregistrées dans les sols de surface comme en profondeur.

La cartographie met clairement en évidence les 2 zones sources concentrées (T8 dans les sols de surface et PM4-caniveau correspondant à des résidus dans un caniveau et non du sol en place sous le bâtiment 1) confortant ainsi les précédentes analyses statistiques des données disponibles.

LES CYANURES :

Les cartographies de répartition spatiale des concentrations en Cyanures dans les sols de surface et dans les sols en profondeur sont présentées en figure 9.

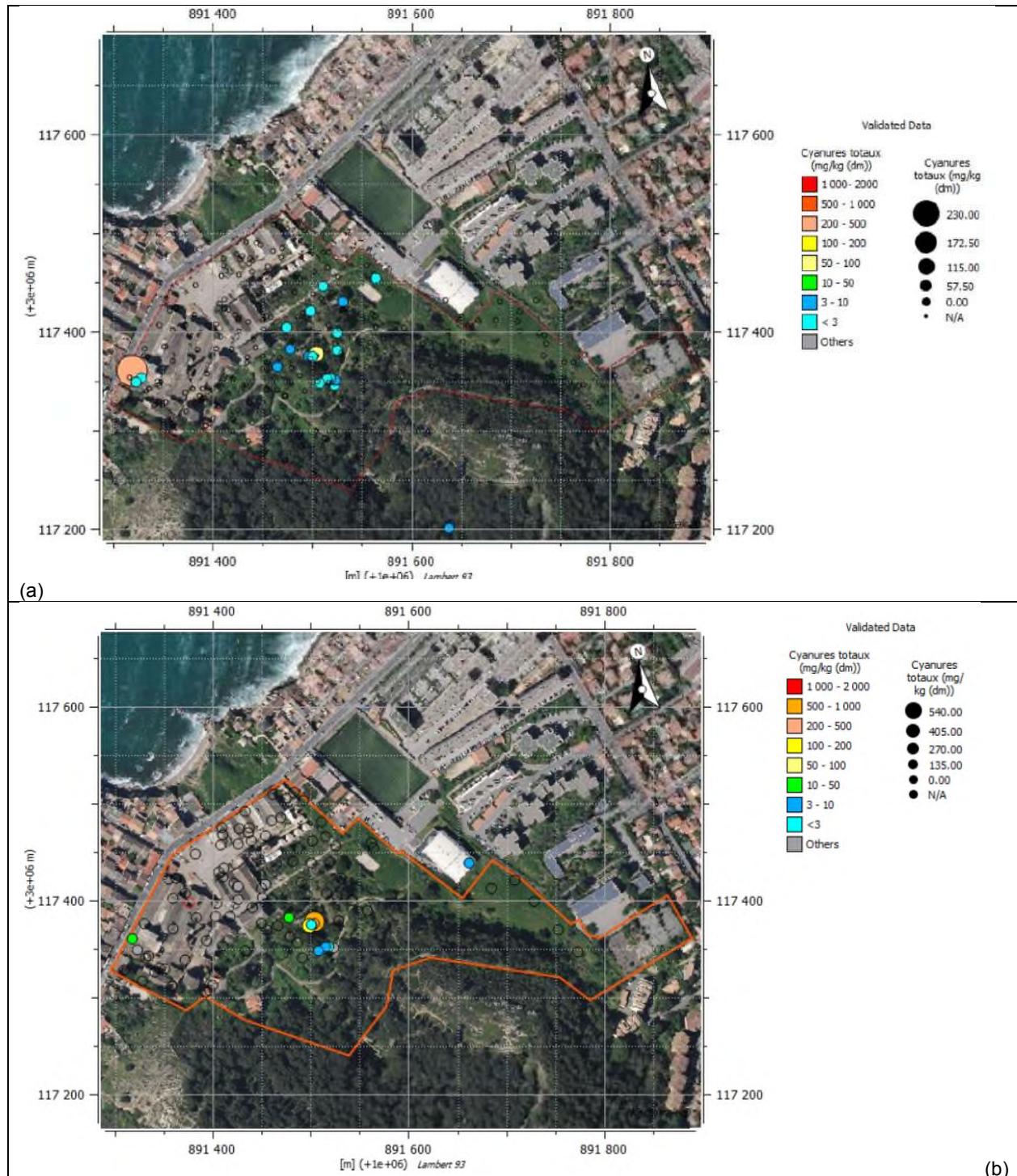


Figure 9 : Cartographies des teneurs en Cyanures totaux dans les sols de surface (a) et en profondeur (b)

L'ensemble des analyses disponibles a été représenté dans les figures (a) et (b) sans sélection de gamme de concentration. L'analyse cartographique met en évidence un bruit de fond de teneurs n'excédant pas les 5 mg/kg MS sur l'ensemble du terrain et une répartition géographiquement ponctuelle des anomalies en cyanures enregistrées dans les sols de surface comme en profondeur.

La cartographie met clairement en évidence les 2 zones sources concentrées confortant ainsi les précédentes analyses statistiques des données disponibles avec le secteur des sols de surface de SD1 dans le bâtiment 1 et le secteur des sols profonds au niveau des sondages SD14, F11 et de la fouille PMC3.

Le tableau des gammes de concentration retenues sur la base de l'approche statistique est repris et complété avec les résultats de l'analyse cartographique.

Tableau 8 : Sélection des zones sources selon les gammes de concentration retenues et l'analyse cartographique

Composé	Gamme de concentration 2 (en mg/kg MS)	Gamme de concentration 3 (en mg/kg MS)	Sondage dans la gamme des plus fortes concentrations (en mg/kg MS)	Analyse Cartographique des données
HCT	400-3050	> 3350	E9b (0,1 - 0,2) avec 27300 E9c (0 - 0,1) avec 3510 E9 (0 - 0,25) avec 3460 S2-LM (0,2-1) avec 3050	Zone E9 avec des anomalies entre 0 et 0.25 m sur calcaires de 3460 à 27300 Zone S2-LM avec une anomalie dans les sols de surface de 3050 (non délimitée spatialement)
HAP	0.3-35	>35	T8E1 (0,05-1) avec 410 T11E1 (0-1) avec 130 P'19 (0 - 0,6) avec 63 PM14 (0,3 - 0,9) avec 54 P6E1 (0-1) avec 42	Zone T8 avec 410 dans les sols de surface sur calcaires altérés (non retrouvé par PM14 - délimitation nord par E'22 et F'22) Zone T11 avec 130 dans les sols de surface
Cyanures totaux	1-100	> 100	SD14 (0.6-5) avec 180 à 1300 F11(2.5-4.5) avec 578 PMC3(1.7-4.2) avec 120 à 540 SD1 (0-1) avec 230	Zone SD14, F11 et PMC3 Zone SD1 (0-1) avec 230
Cyanures Libres	> 1.7		SD14(4-5) avec 4 PMC3(1.2-3.8) avec 7.3 à 63 F11 (>4.5) avec 2.5	Zone PMC3 et SD14 avec 4 à 63

4.24 Approche bilan massique

L'évaluation des surfaces de terres impactées a été effectuée sur la base d'un rapprochement avec des figures géométriques simples. Cette estimation ne tient pas compte, notamment, de la dispersion anisotropique de la pollution dans les sols et du caractère discontinue de la technique de prélèvement. En effet, il ne peut être préjugé du comportement de la contamination entre deux sondages distants, même de quelques mètres, l'un de l'autre.

Ces surfaces sont donc extrapolées sur la base de l'orientation des zones attenantes. De ce fait, les volumes estimés ici et leur orientation pourront varier dans une large mesure lors de la phase travaux. L'évaluation quantitative des volumes de terres impactées a été effectuée sur la base du maillage des sondages réalisés sur site et de la profondeur de prélèvement des échantillons analysés. Les volumes s'entendent matériaux en place et ne tiennent pas compte du phénomène de foisonnement des terres lors de leurs excavations. Rappelons enfin qu'il s'agit d'une estimation réalisée à partir de surfaces déduites sur plan.

Les concentrations retenues sont celles observées au droit des sondages réalisées. Pour les composés non quantifiés la teneur a été retenue égale au seuil de quantification analytique.

Les représentations cartographiques présentées ci-dessus ont permis une estimation des volumes de sol associés à chaque gamme de concentrations, qui ne sont pas nécessairement celles définies dans la précédente approche cartographique, conformément aux préconisations de la méthodologie nationale.

Les estimations de bilan massique ont été construites en retenant une masse volumique moyenne de 1,8 tonne/m³ pour le sol, ce qui a permis d'élaborer, pour chaque polluant et famille de polluant, le graphique de bilan massique de polluant et volume de sol correspondant, avec :

- En ordonnées (à gauche, en bleu), le pourcentage de volume de sol correspondant à chaque gamme de concentration
- En ordonnée (à droite, en orange), les pourcentages de masse de polluants contenus dans les volumes de sol définis au précédent point
- En abscisse, les plages de concentration de polluants dans les sols retenues pour cette analyse du bilan massique.

❖ LES HCT :

La représentation ci-dessous traduit fidèlement le caractère très ponctuel des anomalies les plus concentrées et l'influence de la prise en compte de l'intégralité des analyses réalisées en HCT (avec prise en compte des teneurs égales à la limite de quantification en cas de non détection).

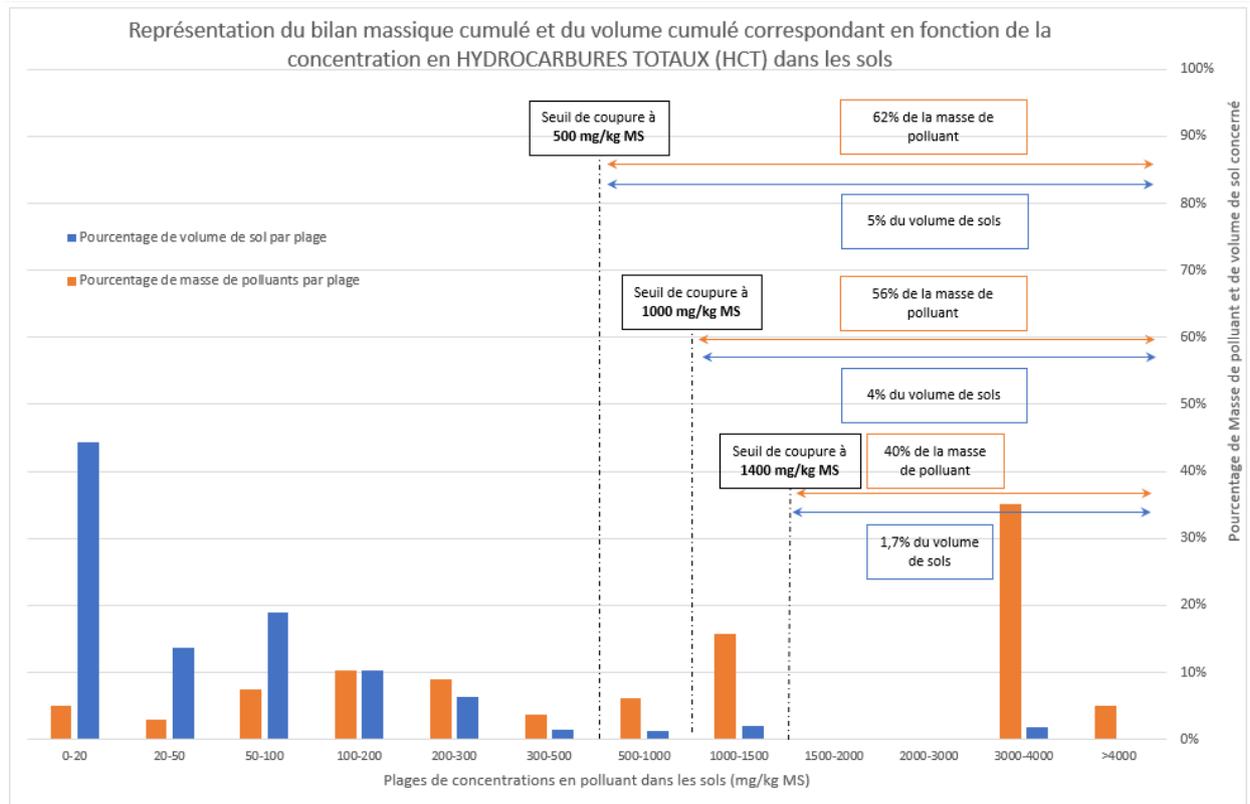


Figure 10 : Évolution du pourcentage de volume de sol et du pourcentage de la masse de polluant contenue dans chaque plage de concentration en hydrocarbures dans les sols

Nota : la prise en compte des teneurs non détectés égales à la limite de détection induit la prise en compte d'une masse de polluant peu à pas réaliste sur la gamme de 0 à 20 mg/kg MS qui n'est pas analysée plus avant.

La figure 10 ci-dessus met en évidence que :

- 62% de la masse de polluant est contenu dans 5% de volume de sol
- 56% de la masse de polluant est contenu dans 4% de volume de sol
- Le traitement d'un volume limité de sol pollué, permet donc de traiter plus de 50% de la masse de polluant,
- Au-dessus du seuil de 1000 mg/kg MS, le pourcentage de masse de polluant est 8 fois supérieur à celui du volume de sol.

Nota : Un traitement est d'autant plus efficace (techniquement et économiquement) qu'il porte sur des pollutions les plus concentrées, le ratio du pourcentage de masse de polluant traité sur le pourcentage de volume de sol traité étant élevé.

Compte tenu des volumes mis en jeu et du projet d'aménagement, retenir le seuil de coupure de 1000 mg/kg MS est pertinent.

Les zones concernées sont en cohérence avec les zones des analyses précédentes, à savoir : les sols de surface des sondages E9, E9b et E9c, S2-LM et T8.

Le projet d'aménagement nécessite la réalisation de terrassements au niveau de l'ensemble des zones concentrées en HCT, à l'exception de la zone E9 qui fera donc l'objet d'un traitement spécifique.

Conformément à la méthodologie nationale, les mesures de gestion doivent être d'une ampleur proportionnée aux pollutions et à leurs étendues.

Lorsque les volumes de terres polluées en cause sont limités et accessibles, les terres sont excavées et évacuées vers des filières de gestion appropriées sans engager d'études plus poussées qui devraient aboutir finalement à cette option de gestion. Dans ce cas, le bilan coût-avantage n'est pas nécessaire et le plan de gestion se limite à décrire les actions engagées. Pour la gestion des zones de pollutions concentrées en HCT, il est prévu de les terrasser dans le cadre du projet d'aménagement. La zone E9 (intégrant E9b et E9c) consistera donc en une extraction des matériaux pollués et une gestion en filière(s) autorisée(s).

❖ LES HAP:

La représentation ci-dessous traduit le caractère ponctuel des anomalies les plus concentrées. La représentation tient compte aussi de l'intégralité des analyses réalisées en HAP en ce compris les teneurs égales à la limite de quantification en cas de non détection).

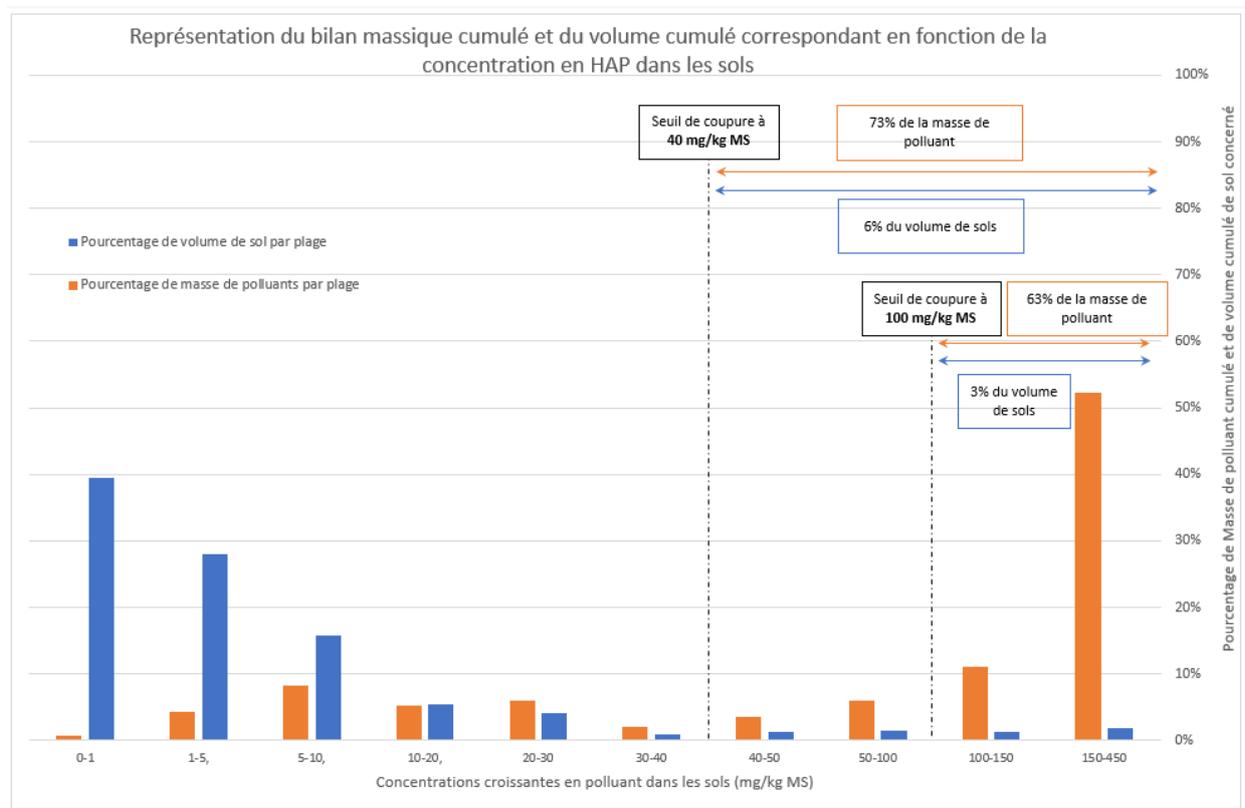


Figure 11 : Évolution du pourcentage de volume de sol et du pourcentage de la masse de polluant contenue dans chaque plage de concentration en HAP dans les sols

La figure 11 ci-dessus met en évidence que :

- 73% de la masse de polluant est contenu dans 6% de volume de sol
- 63% de la masse de polluant est contenu dans 3% de volume de sol

Le traitement d'un volume limité de sol pollué, permet de traiter plus des 3/5 de la masse de polluant, au-dessus du seuil de 100 mg/kg MS, le pourcentage de masse de polluant est 3 fois supérieur à celui du volume de sol.

Pour rappel, un traitement est d'autant plus efficace (techniquement et économiquement) qu'il porte sur des pollutions les plus concentrées, le ratio du pourcentage de masse de polluant traité sur le pourcentage de volume de sol traité étant élevé.

Compte tenu des volumes mis en jeu et du projet d'aménagement, retenir le seuil minimum de coupure de 100 mg/kg MS est pertinent.

Les zones concernées sont en cohérence avec les zones des analyses précédentes : soit les sols de surface des sondages T11 et T8.

Le projet d'aménagement comprend la réalisation de terrassements au niveau de l'ensemble des zones identifiées comme concentrée en HAP.

Pour la gestion des zones de pollutions concentrées, il est prévu de toutes les extraire dans le cadre du projet d'aménagement et d'évacuer les matériaux vers des filière(s) autorisée(s).

❖ LES CYANURES TOTAUX (CNT) ET LIBRES (CNL) :

La représentation ci-dessous traduit le caractère ponctuel des anomalies concentrées.
 La représentation souligne également l'influence de la prise en compte de l'intégralité des analyses réalisées en CNT à la limite de quantification en cas de non détection).

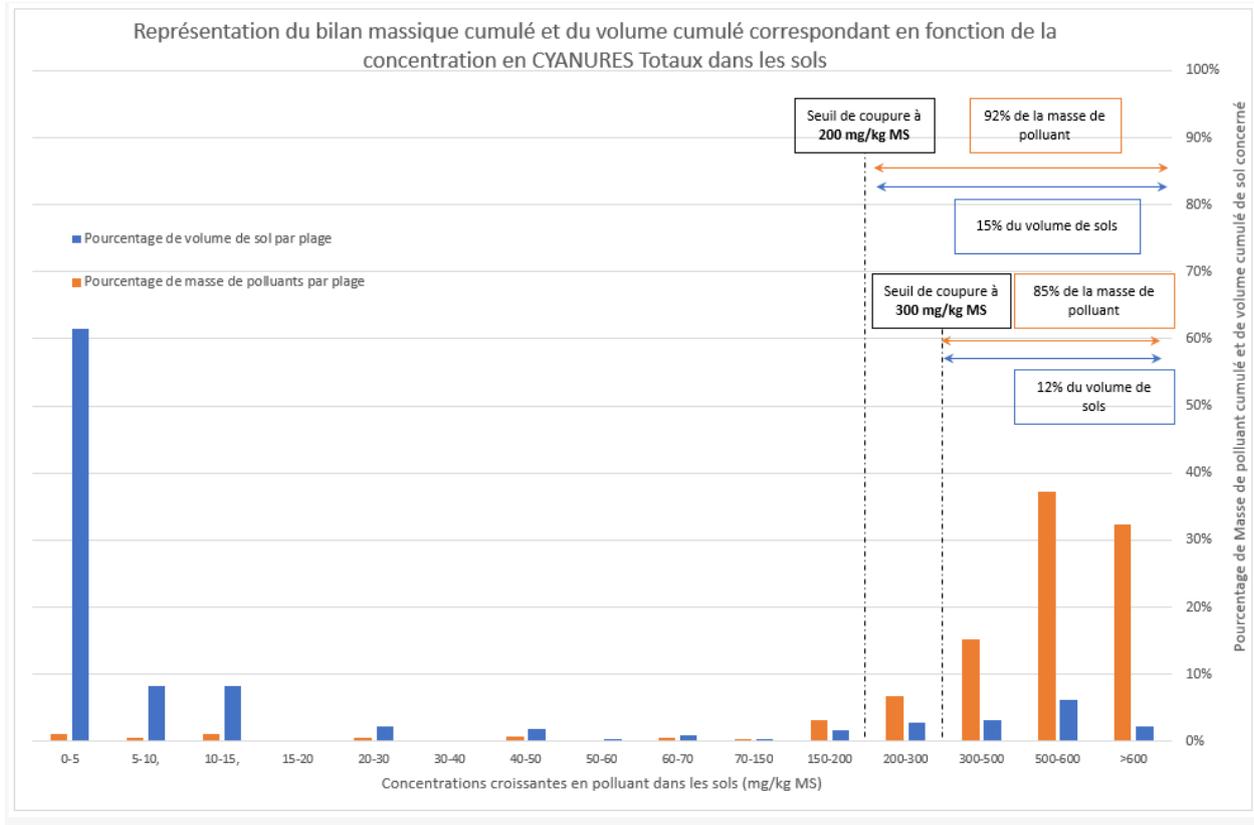


Figure 12 : Évolution du pourcentage de volume de sol et du pourcentage de la masse de polluant contenue dans chaque plage de concentration en Cyanures totaux dans les sols

La figure 12 ci-dessus met en évidence que :

- 92% de la masse de polluant est contenu dans 15% de volume de sol
- 85% de la masse de polluant est contenu dans 12% de volume de sol

Le traitement d'un volume relativement limité de sol pollué, permet de traiter plus des ¾ de la masse de polluant,

Au-dessus du seuil de 300 mg/kg MS, le pourcentage de masse de polluant est 5 fois supérieur à celui du volume de sol. Compte tenu des volumes mobilisés lors du projet d'aménagement, le seuil de coupure à 200 mg/kg MS est retenu.

Les zones concernées sont cohérentes avec les analyses précédentes :

- Les sols en profondeur des sondages F11, SD14 et PMC3
- Les sols de surface de SD1.

Le projet d'aménagement ne prévoit pas de terrassements au niveau des zones concentrées en CNT dans les sols en profondeur et particulièrement aux profondeurs de localisation des anomalies, ni d'ailleurs pour les sols de surface de SD1.

La même analyse a été réalisée pour les cyanures libres. La représentation figure 13 suivante met en évidence que :

- 70% de la masse de polluant est contenu dans 6% de volume de sol et
- 62% de la masse de polluant est contenu dans 2% de volume de sol

Le traitement d'un volume relativement limité de sol pollué, permet de traiter plus des 3/5 de la masse de polluant.

Au-dessus du seuil de 10 mg/kg MS, le pourcentage de masse de polluant est 2 fois supérieur à celui du volume de sol (ratio supérieur à 2).

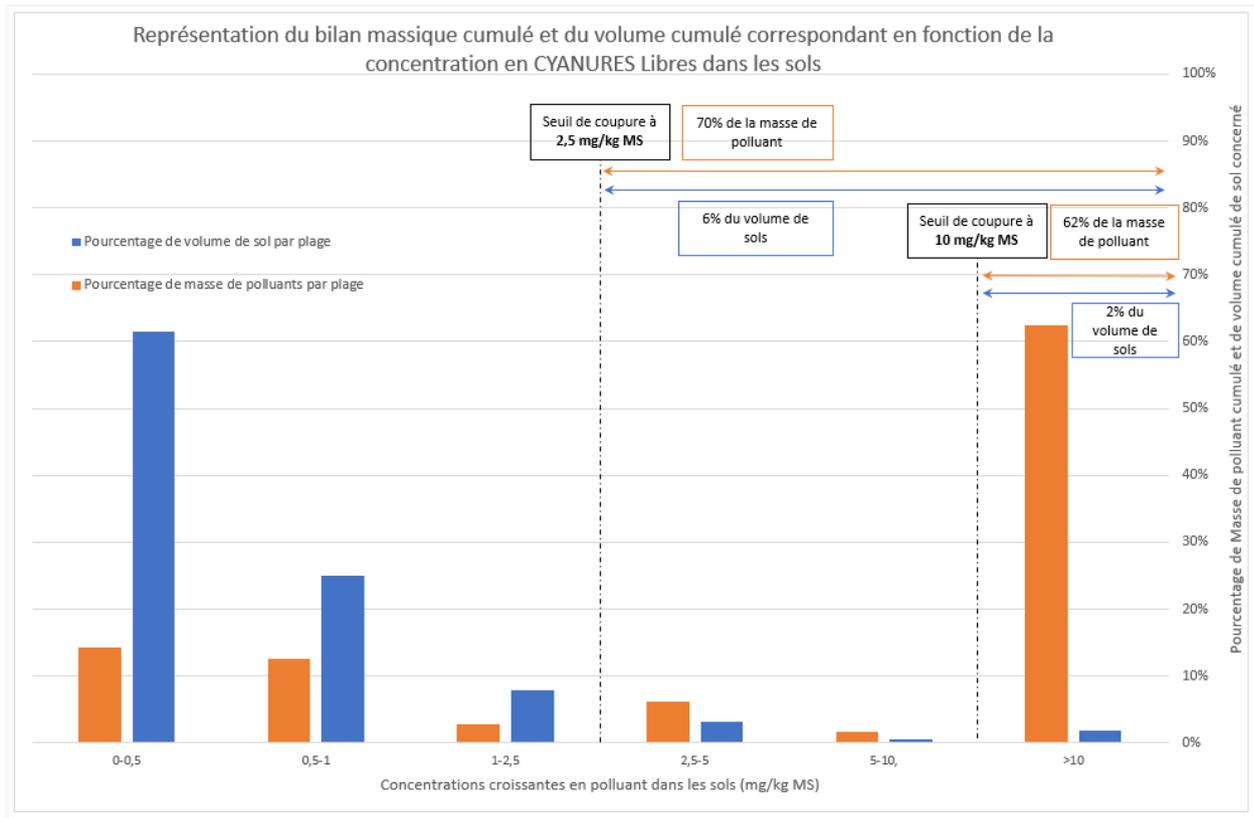


Figure 13 : Évolution du pourcentage de volume de sol et du pourcentage de la masse de polluant contenue dans chaque plage de concentration en Cyanures libres dans les sols

Compte tenu du projet d'aménagement on retient le seuil de coupure de 10 mg/kg MS.

Les zones concernées sont en cohérentes avec les analyses précédentes, à savoir : les sols en profondeur du sondage PMC3 (déjà retenus dans les zones concentrées pour les CNT).

Toujours selon le même principe de la méthodologie nationale, le plan de gestion doit être d'une ampleur proportionnée aux pollutions et à leur étendue.

Concernant les CNT et les CNI, les terres polluées sont peu accessibles (jusqu'à 5 m par rapport au niveau actuel, à proximité direct de la zone de carneaux). Le mouvement de terres pour atteindre le stock de terres polluées est disproportionné au regard de la masse à extraire. De ce fait, la solution d'excavation et d'évacuation des matériaux vers des filières de gestion appropriées n'est pas retenue d'office.

Le Plan de Gestion traitera de ces anomalies en cyanures dans les sols en profondeur.

Pour la source concentrée surfacique au droit du sondage SD1, les sols pollués seront excavés et évacués en filière autorisée.

4.2.5 Détail de l'estimation des volumes des zones sources en polluants organiques et cyanures

Au regard des résultats des investigations, l'emprise des zones sources concentrées est présentée dans le tableau 9 suivant. Elle intègre les sols présentant des dépassements des seuils retenus.

Tableau 9 : Estimation de l'emprise et des volumes des zones sources concentrées

Polluants	Seuils retenus en recoupant les différentes approches	Sondage	Surface (m ²) estimation basse	Prof. m/TN	Volume (m ³) estimation basse	Volume (m ³) + incertitude
HCT	1000	Zone E9				
		E9b (0,1 - 0,2) avec 27300 E9c (0 - 0,1) avec 3510 E9 (0 - 0,25) avec 3460	100	0.25-0.3	25	30
		Zone S2-LM				
		S2-LM (0,2-1) avec 3050	50	1-1,5	50	100
HCT	1000	Zone T8				
HAP	100	Zone T8 avec 410 dans les sols de surface sur calcaires altérés (non retrouvé par PM14 - délimitation nord par E'22 et F'22)	50	1-1,5	50	100
HAP	100	Zone T11				
		Zone T11 avec 130 dans les sols de surface	70	1-1,5	50	100
CNt CNI	200 10	Zone SD14, F11 - CNT				
		SD14 (0.6-5) avec 180 à 1300 F11(2.5-4.5) avec 578	70	2-4.5	150	350
		SD1(0-1) avec 230	50-100	1	50	100
		Zone PMC3 – CNt et CNI				
		PMC3 (1,7-3,8) avec 540 et 63 en CNI	70	2-3	150	200

Total volume de "source de pollution concentrée" en polluants organiques et cyanures	525	1000
--	-----	------

Il est à noter que certaines sources mises en évidence précédemment et dans le diagnostic en annexe A1 n'ont pu être totalement délimitées dans le cadre des investigations. Les volumes sont ainsi estimés et tiennent compte d'une marge d'incertitude.

4.3 Identification des sources de pollution concentrée en métaux lourds sur les parcelles A et C

Sur la base de l'analyse présentée dans le diagnostic, la démarche d'identification des sources de pollution concentrée en métaux lourds ne sera pas appliquée aux éléments Cr et Ni, la qualité des sols témoignant de l'absence d'impact significatif des sols par ces éléments sur les parcelles A et C.

4.3.1 Approche statistique - Graphiques de répartition des teneurs en métaux lourds et Approche statistique simplifiée et par pourcentage cumulé de population d'analyse

On se reportera au paragraphes 4.2.2.1 et 4.2.2.2 pour disposer de la présentation des méthodologies appliquées sur les ETM qui sont identiques à celles mises en œuvre pour l'analyse de la qualité chimique des sols en polluants organiques et cyanures traités précédemment.

On se reportera au paragraphe 7.5 du diagnostic complémentaire reporté en annexe A1 pour disposer de l'ensemble des diagrammes et données statistiques simplifiées.

❖ **L'ARSENIC :**

Les indicateurs statistiques (paragraphe 7.5.7 du rapport de diagnostic en annexe A1) mettent en évidence un marquage plus élevé dans les sols sous-jacents que dans les sols superficiels.

Environ 40% des 319 échantillons soumis à l'analyse de l'As, présentent des teneurs en arsenic comprises dans la gamme des sols ordinaires de l'ASPITET.

Une gamme de concentrations comprises entre 200 et 1400 mg/kg se distingue.

Un marquage généralisé du site de manière diffuse à des teneurs inférieures à 200 mg/kg transparait.

Quelques anomalies très ponctuelles sont retrouvées sur le site (teneurs supérieures à 1000 mg/kg). Notamment un échantillon profond présente une teneur en arsenic très nettement plus élevée que les autres (SP6 4-5.5 avec 9 430 mg/kg) et 8 autres échantillons, dont 6 profonds, se distinguent avec des teneurs comprises entre 1000 et 4 500 mg/kg.

L'évolution du pourcentage cumulé de la population d'analyses en fonction des teneurs mesurées en As est présentée dans la figure 14 suivante.

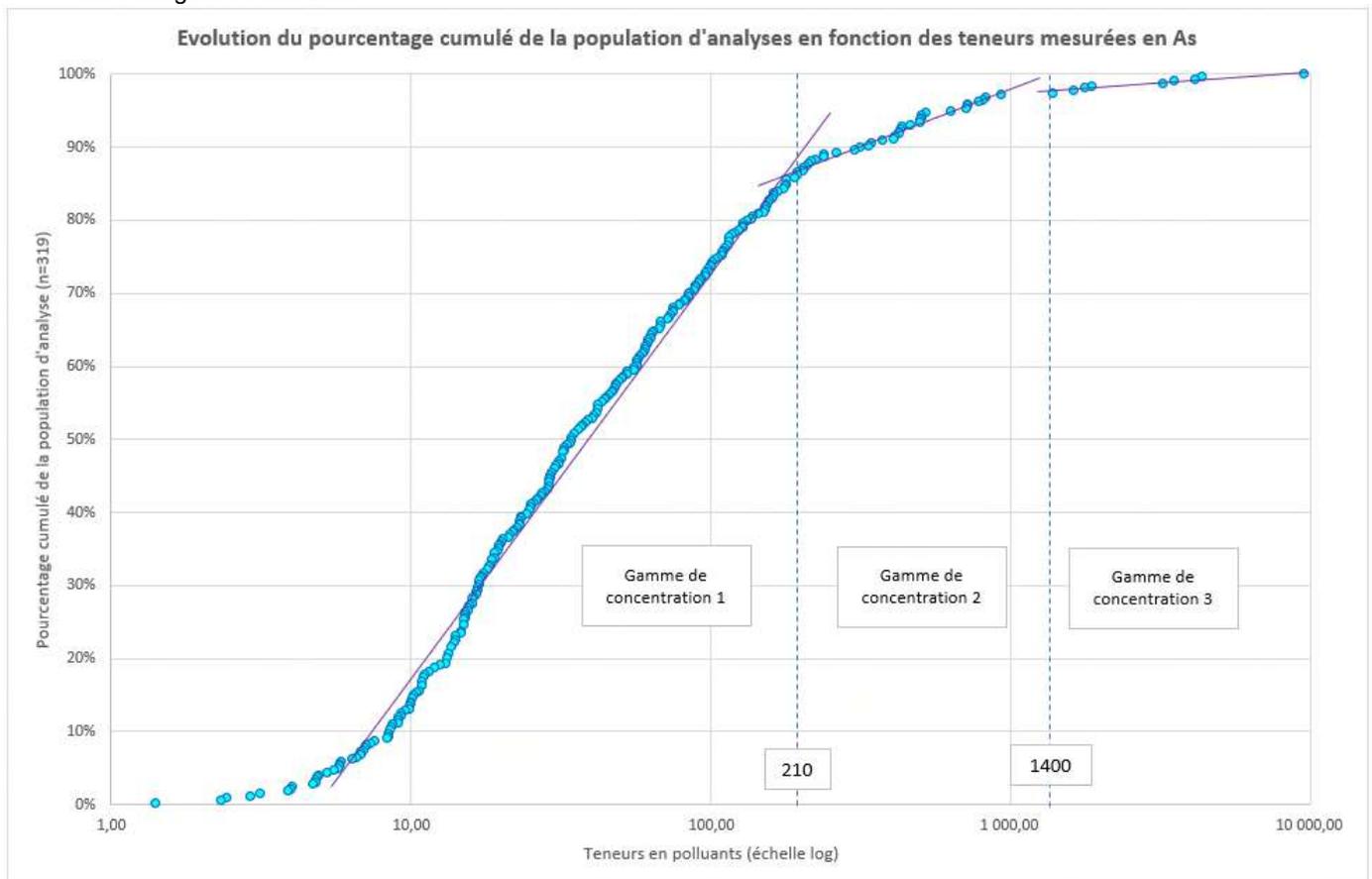


Figure 14 : Evolution du pourcentage cumulé de la population d'analyses en fonction des teneurs mesurées en As dans les sols

Le graphique fait apparaître trois ruptures de pente :

- La gamme de concentration 1 représente 84% des effectifs et correspond au bruit de fond moyen sur l'ensemble du projet,
- La gamme de concentration 2 distingue les sols présentant un impact avéré modéré par les activités passées,
- La gamme de concentration 3 correspond à une pollution concentrée à fortement concentrée.

❖ LE CADMIUM:

Les indicateurs statistiques (paragraphe 7.5.6 du rapport de diagnostic en annexe A1) mettent en évidence un marquage plus élevé dans les sols sous-jacents que dans les sols superficiels

Environ 60% des 319 échantillons soumis à l'analyse du Cd, présentent des teneurs en cadmium inférieures aux valeurs de bruit de fond de l'environnement local témoin similaire au bruit de fond RMQS (de 0.9 mg/kg MS).

Environ 30 à 45% des échantillons sont compris dans la gamme des sols ordinaires de la base de données ASPITET.

Les cartographies mettent en évidence un marquage du site proche de 2 mg/kg. Quelques anomalies ponctuelles et isolées sont retrouvées sur le site dont 2 échantillons profonds qui présentent des teneurs en cadmium très nettement plus élevées que le reste du site (teneurs comprises entre 60 et 75 mg/kg) et 11 échantillons (dont 4 profonds) qui présentent des teneurs élevées par rapport au reste du site (teneurs comprises entre 10 et 40 mg/kg).

Les histogrammes de répartition par gamme de concentrations en Cd (paragraphe 7.5.6 du rapport de diagnostic en annexe A1) mettent en évidence un bruit de fond du site en cadmium autour de 1 à 2 mg/kg.

L'évolution du pourcentage cumulé de la population d'analyses en fonction des teneurs mesurées en Cd est présentée dans la figure 15 suivante.

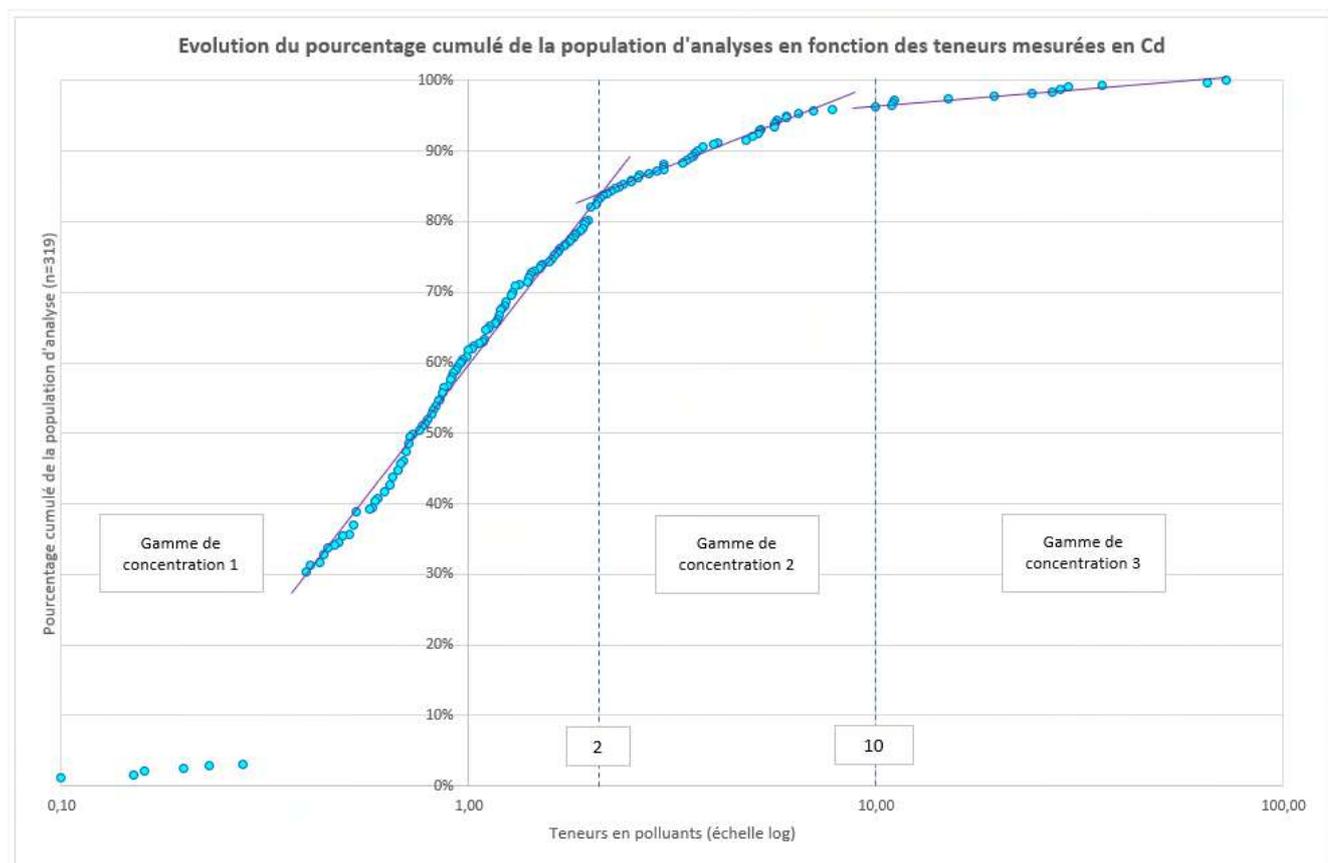


Figure 15 : Evolution du pourcentage cumulé de la population d'analyses en fonction des teneurs mesurées en Cd dans les sols

Le graphique fait apparaître deux ruptures de pente :

- La gamme de concentration 1 représente 80% des effectifs et correspond aux teneurs inférieures à la limite de détection du laboratoire et un bruit de fond moyen sur l'ensemble du projet,
- La gamme de concentration 2 distingue les sols présentant un impact avéré modéré par les activités passées,
- La gamme de concentration 3 correspond à une pollution concentrée à fortement concentrée.

❖ **LE CUIVRE :**

Les indicateurs statistiques (paragraphe 7.5.4 du rapport de diagnostic en annexe A1) mettent en évidence un marquage plus élevé dans les sols sous-jacents que dans les sols superficiels

44 à 53% des 319 échantillons soumis à l'analyse du Cu, présentent des teneurs en cuivre inférieures aux valeurs de bruit de fond de l'environnement local témoin similaire au bruit de fond RMQS.

10 à 40% des échantillons sont compris dans la gamme des sols ordinaires de la base de données ASPITET.

Les dépassements sont observés sur l'ensemble des bâtiments de production de l'ancienne usine, sur la Parcelle C.

Il apparait que les échantillons les plus impactés sont prélevés dans les horizons sous-jacents. 8 échantillons présentent des teneurs en cuivre très nettement plus élevées que le reste du site.

Les histogrammes de répartition par gamme de concentrations en Cu (paragraphe 7.5.4 du rapport de diagnostic en annexe A1) mettent en évidence un impact généralisé et marqué sur une grande partie des échantillons.

L'évolution du pourcentage cumulé de la population d'analyses en fonction des teneurs mesurées en Cu est présentée dans la figure 16 suivante.

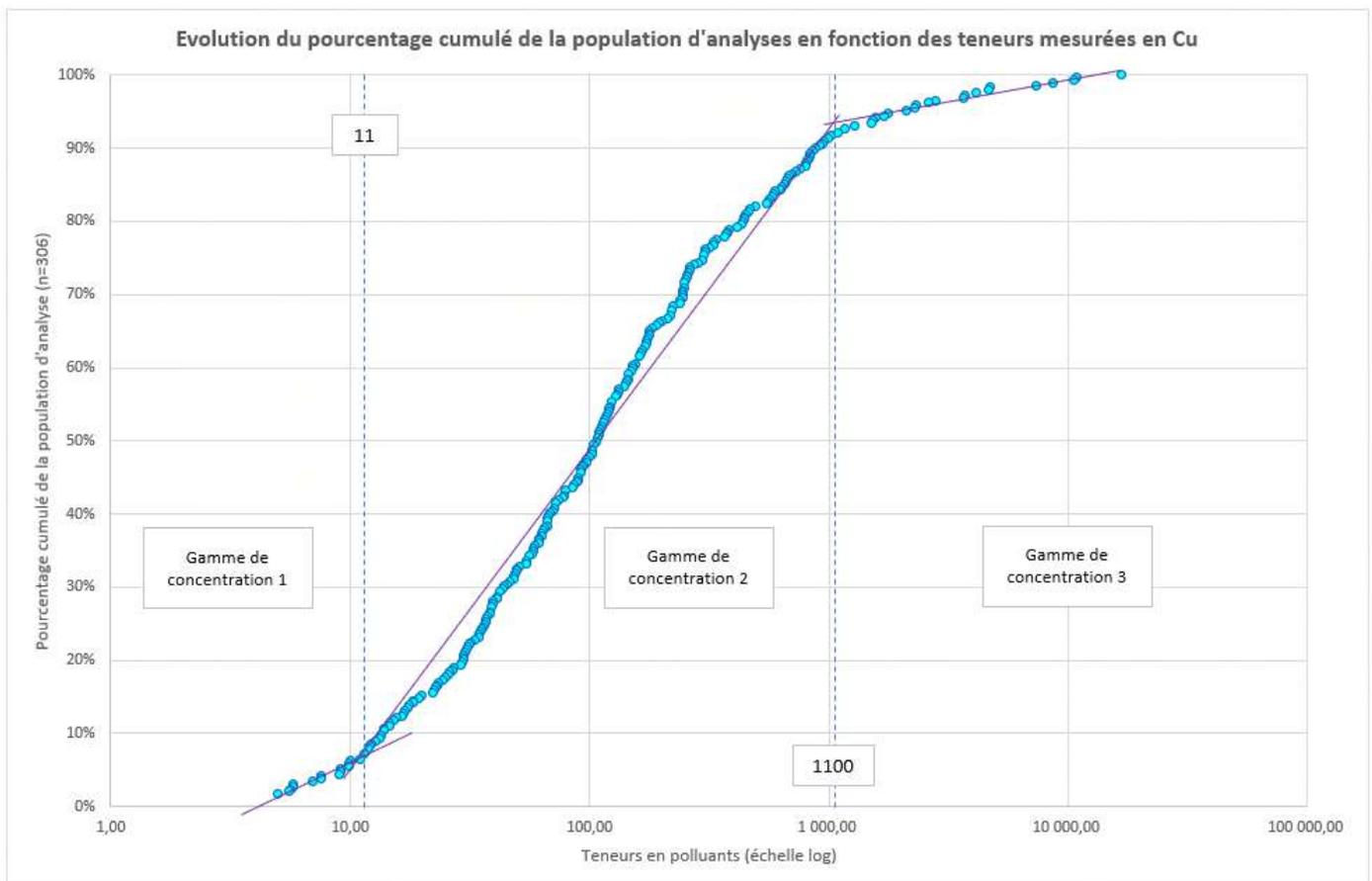


Figure 16 : Evolution du pourcentage cumulé de la population d'analyses en fonction des teneurs mesurées en Cu dans les sols

Le graphique fait apparaître deux ruptures de pente :

- La gamme de concentration 1 représente 10% des effectifs et correspond aux teneurs inférieures à la limite de détection du laboratoire (limites variables selon les diagnostics de 1998 à 2018)
- La gamme de concentration 2 correspond à un bruit de fond moyen sur l'ensemble du projet,
- La gamme de concentration 3 distingue les sols présentant un impact avéré modéré par les activités passées jusqu'à une pollution concentrée.

❖ LE MERCURE :

Les indicateurs statistiques (paragraphe 7.5.3 du rapport de diagnostic en annexe A1) mettent en évidence des anomalies ponctuelles dans les sols superficiels et quelques anomalies ponctuelles marquées dans les sols sous-jacents.

8 échantillons (dont 3 prélevés en surface) présentent des anomalies fortement marquées par rapport au reste du site (teneurs comprises entre 10 et 95 mg/kg).

Les sondages ayant révélé des anomalies supérieures à 10 mg/kg sont localisés à proximité de l'endroit où la cheminée rampante plonge sous les matériaux. Il est probable que l'impact en mercure soit lié à la proximité de cette cheminée soit par la présence de matériaux issus de la cheminée dans les remblais, soit par un impact de la cheminée sur ces matériaux. En effet, la cheminée rampante présente localement d'anciennes ouvertures.

Les histogrammes de répartition par gamme de concentrations en Hg (paragraphe 7.5.3 du rapport de diagnostic en annexe A1) mettent en évidence 14 échantillons dont 8 prélevés en surface présentent des teneurs comprises entre 2.3 et 10 mg/kg.

L'évolution du pourcentage cumulé de la population d'analyses en fonction des teneurs mesurées en Hg est présentée dans la figure 17 suivante.

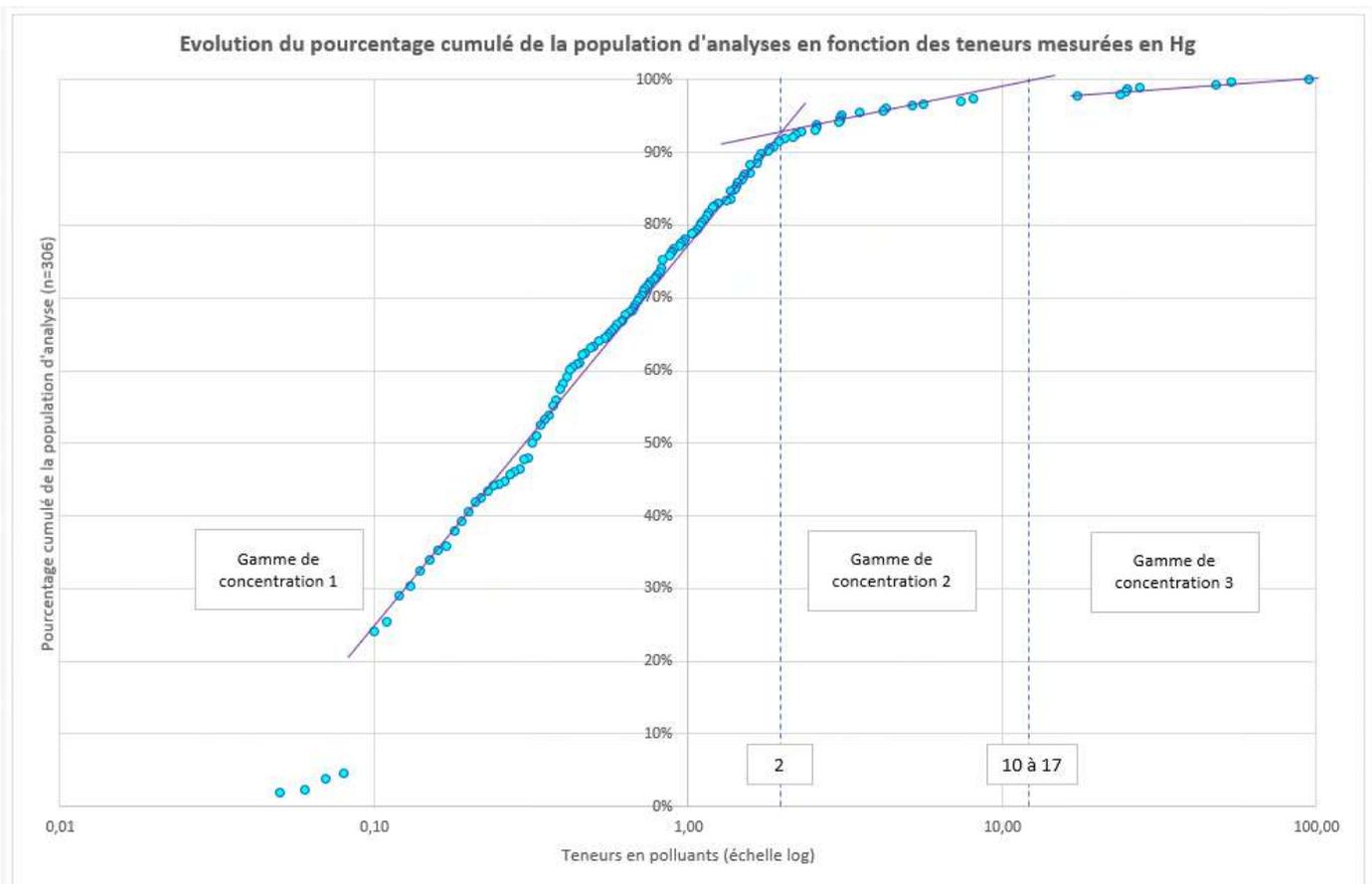


Figure 17 : Evolution du pourcentage cumulé de la population d'analyses en fonction des teneurs mesurées en Hg dans les sols

Le graphique fait apparaître deux ruptures de pente :

- La gamme de concentration 1 représente 90% des effectifs et correspond aux teneurs inférieures à la limite de détection du laboratoire et un bruit de fond moyen sur l'ensemble du projet,
- La gamme de concentration 2 distingue les sols présentant un impact avéré modéré par les activités passées,
- La gamme de concentration 3 correspond à une pollution concentrée à fortement concentrée.

❖ LE PLOMB :

Les indicateurs statistiques (paragraphe 7.5.8 du rapport de diagnostic en annexe A1) mettent en évidence un marquage plus élevé dans les sols sous-jacents que dans les sols superficiels

10 à 20% des 325 échantillons sont compris dans la gamme des sols ordinaires de l'ASPITET
20% à 30% des échantillons présentent des teneurs en plomb inférieures aux valeurs de bruit de fond local définies par l'environnement local proche du bruit de fond RMQS.
20% des échantillons sont conformes au seuil de vigilance défini par le HCSP (de 100 mg/kg)
40% sont conformes au seuil d'alerte déclenchant un dépistage du saturnisme (de 300 mg/kg).

Les dépassements sont observés de manière diffuse sur l'ensemble du site, à l'exception de l'extrémité sud-est.

Un échantillon profond présente une teneur en plomb plus élevée que les autres (SD13 3-3.9 avec 45 300 mg/kg).
26 autres échantillons, dont 13 profonds, se distinguent nettement du reste du site avec des teneurs comprises entre 5000 et 35 000 mg/kg.

Les histogrammes de répartition par gamme de concentrations en Pb (paragraphe 7.5.8 du rapport de diagnostic en annexe A1) mettent en évidence un marquage généralisé du site à des teneurs inférieures à 1 000 mg/kg MS.

L'évolution du pourcentage cumulé de la population d'analyses en fonction des teneurs mesurées en Pb est présentée dans la figure 18 suivante.

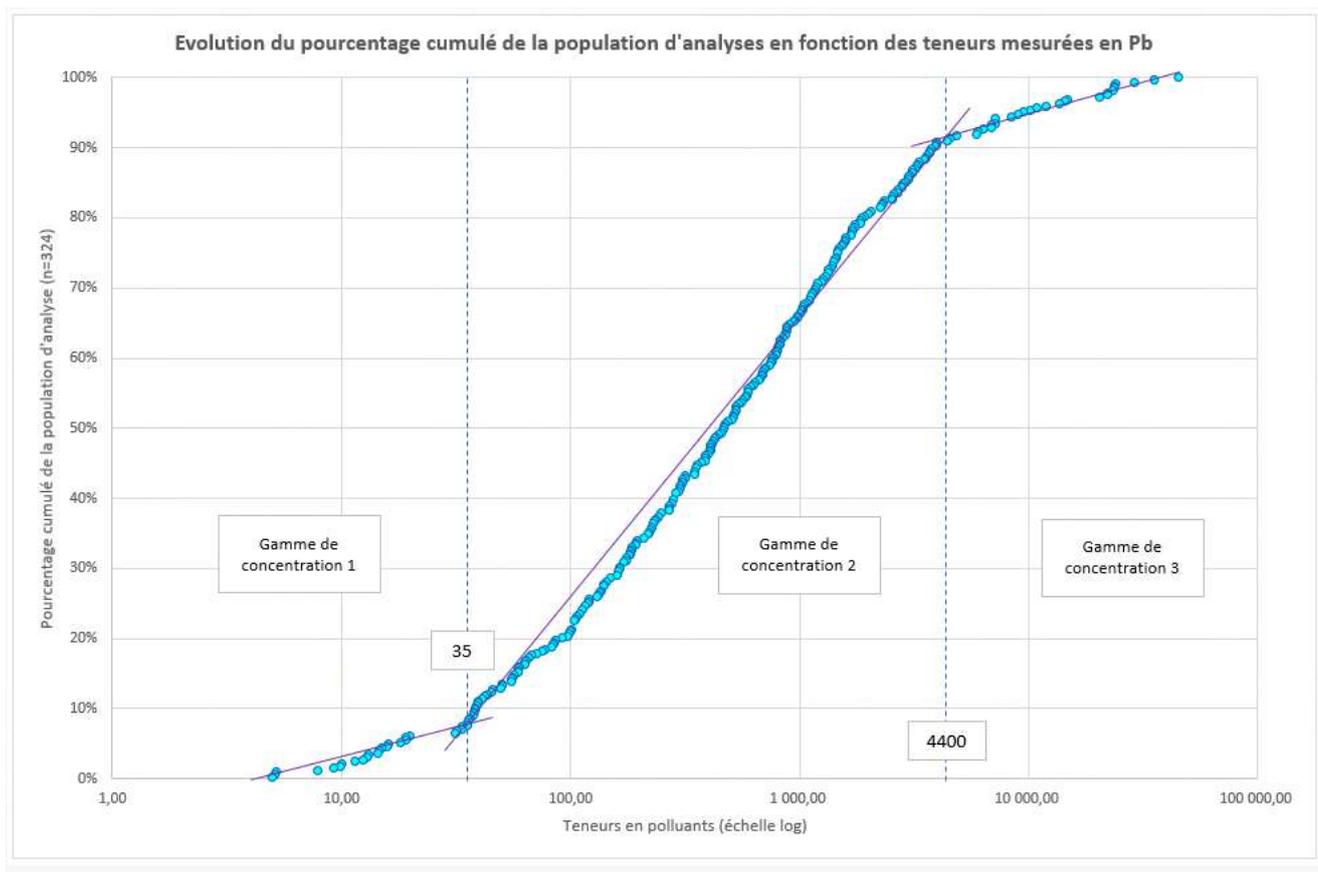


Figure 18 : Evolution du pourcentage cumulé de la population d'analyses en fonction des teneurs mesurées en Pb dans les sols

Le graphique fait apparaître deux ruptures de pente :

- La gamme de concentration 1 représente moins de 10% des effectifs et correspond aux teneurs inférieures à la limite de détection du laboratoire (limites variables selon les diagnostics de 1998 à 2018)
- La gamme de concentration 2 correspondrait à un bruit de fond moyen sur l'ensemble du projet, intégrant les sols présentant un impact avéré modéré
- La gamme de concentration 3 distinguerait les pollutions concentrées à fortement concentrées.

❖ LE ZINC :

Les indicateurs statistiques (paragraphe 7.5.5 du rapport de diagnostic en annexe A1) mettent en évidence un marquage plus élevé dans les sols sous-jacents que dans les sols superficiels

80% des 319 échantillons présentent des teneurs en zinc inférieures aux valeurs de bruit de fond de l'environnement local témoin.

25 à 55% des échantillons sont compris dans la gamme des sols ordinaires et/ou inférieures au bruit de fond RMQS. Les dépassements sont observés majoritairement sur l'ensemble des bâtiments de production de l'ancienne usine, sur la moitié Nord du site, ainsi que le secteur de la cheminée rampante.

La cartographie met en évidence :

- Des échantillons dont les teneurs en zinc supérieures à 1600 mg/kg caractéristiques de teneurs marquées et ponctuelles (Parcelle C principalement et quelques points sur la Parcelle A) :
- Des échantillons pour lesquels les teneurs en zinc sont inférieures à 1600 mg/kg se distribuent de manière diffuse sur le site. Ces teneurs sont assimilables au bruit de fond en zinc du site.

Les échantillons les plus impactés sont prélevés dans les horizons de surface : 5 échantillons présentent des teneurs en zinc très nettement plus élevées que les reste du site.

Les histogrammes de répartition par gamme de concentrations en Zn (paragraphe 7.5.5 du rapport de diagnostic en annexe A1) mettent en évidence un impact généralisé et marqué sur une grande partie des échantillons.

L'évolution du pourcentage cumulé de la population d'analyses en fonction des teneurs mesurées en Zn est présentée dans la figure 19 suivante.

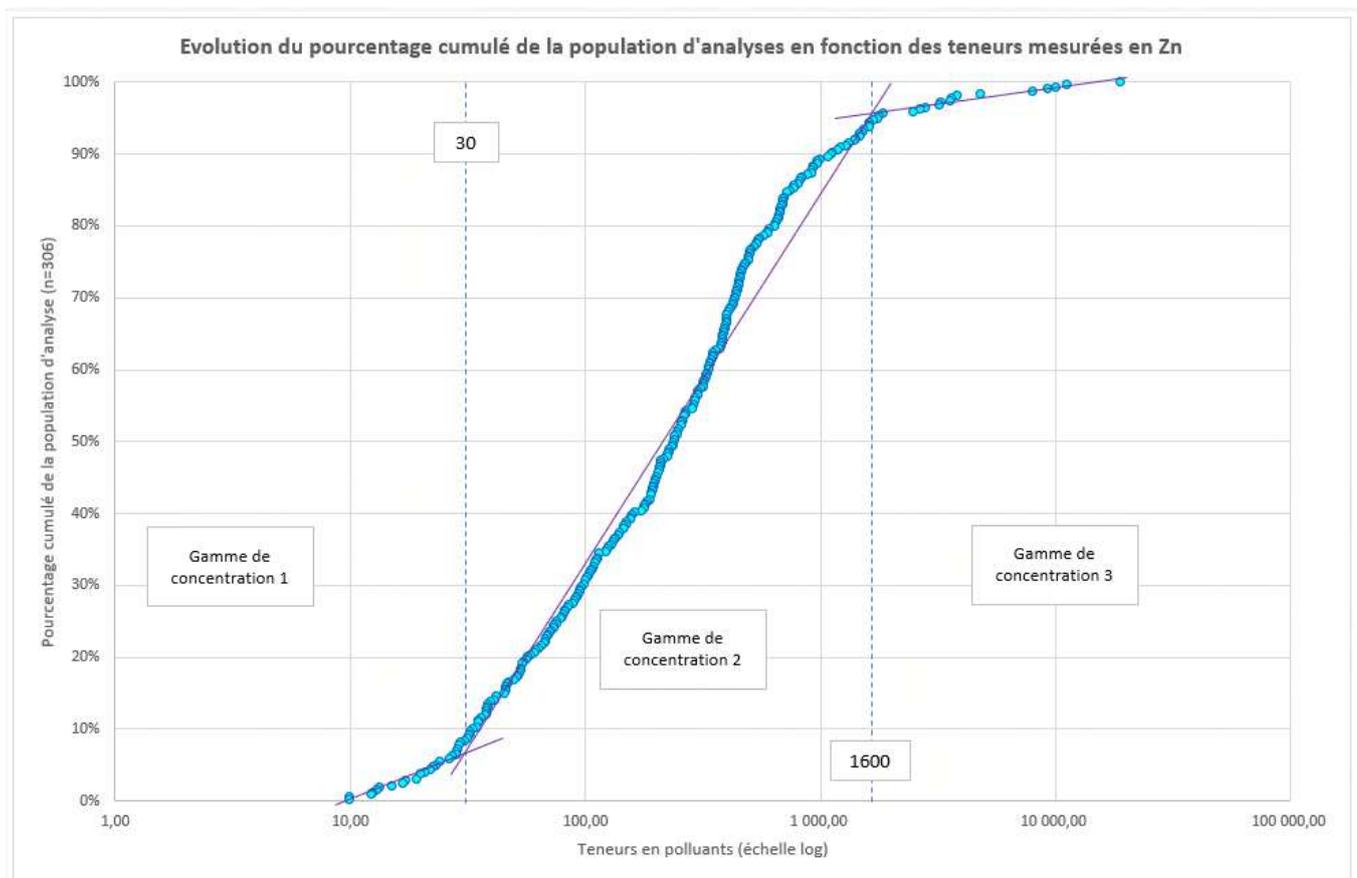


Figure 19 : Evolution du pourcentage cumulé de la population d'analyses en fonction des teneurs mesurées en Hg dans les sols

Le graphique fait apparaître deux ruptures de pente :

- La gamme de concentration 1 représente moins de 10% des effectifs et correspond aux teneurs inférieures à la limite de détection du laboratoire (limites variables selon les diagnostics de 1998 à 2018)
- La gamme de concentration 2 correspondrait à un bruit de fond moyen sur l'ensemble du projet, intégrant les sols présentant un impact avéré modéré
- La gamme de concentration 3 distinguerait les pollutions concentrées à fortement concentrées.

Les gammes de concentration retenues sur la base de cette approche statistique sont synthétisées dans le tableau 10 suivant par polluant.

Tableau 10 : Présentation des gammes de concentration retenues selon l'approche des pourcentages cumulés de population

Composé	Gamme de concentration 1 (en mg/kg MS)	Gamme de concentration 2 (en mg/kg MS)	Gamme de concentration 3 (en mg/kg MS)	Sondage dans la gamme des plus fortes concentrations	
As	< 200	200 à 1400	> 1400	SP6 (3 - 4) avec 3190 SP6 (4 - 5,5) avec 9430 SP6 (5,5 - 7) avec 4310 SD13 (3 - 3,9) avec 4110 SD8 (3 - 3,7) avec 3500	F'22 (1 - 1,2) avec 1860 TM18 (0 - 0,1) avec 1750 PM12 (0,9 - 1,5) avec 1610 PM19 (0 - 0,5) avec 1380
Cd	< 2	2 à 10	> 10	SD8 (3 - 3,7) avec 72.5 F9 (0,33-0,4) avec 65 TM18 (0 - 0,1) avec 35.8 SD9 (0 - 1) avec 29.6 PML (2,8 - 3,8) avec 28.4 P'24 (2,7 - 3,6) avec 27.1	PM13 (0,25 - 0,6) avec 24.1 SD13 (3 - 3,9) avec 19.5 "S2-LM (0,2-1) avec 15 N'26 (0 - 0,3) avec 11.1 PMG (0 - 0,3) avec 10.9 PM18 (0,1 - 0,6) avec 10
Cu	< 11	11 à 1100	> 1100	PM12 (0,9 - 1,5) avec 16700 PM10 (1,2 - 1,7) avec 10800 PZa3 (0,8 - 1) avec 10500 SD6 (3 - 3,4) avec 8690 F'22 (1 - 1,2) avec 7370 SP6 (3 - 4) avec 1520 SP6 (4 - 5,5) avec 4730 SP6 (5,5 - 7) avec 2280 PZa10 (1,4 - 1,5) avec 4670 E'22 (1,2 - 1,35) avec 4140 PM19 (0 - 0,5) avec 3690 H'26 (0,05 - 0,5) avec 3640	SD6 (2 - 2,5) avec 2810 PZa5 (0 - 0,5) avec 2600 PM16 (0,05 - 0,9) avec 2310 PM4 caniveau) avec 2120 P'24 (2,7 - 3,6) avec 1770 SD14 (2 - 2,7) avec 1690 N'26 (0 - 0,3) avec 1570 H'26 (1,5 - 2) avec 1500 PM silo (0,3 - 0,7) avec 1290 K'21 (0,3 - 1) avec 1160 SD1 (2,5 - 3) avec 1160
Hg	< 2	2 à 10	> 17	SD13 (3 - 3,9) avec 95.1 PMA (1 - 2) avec 53.3 PMA (2,8 - 3) avec 27.5 SD8 (3 - 3,7) avec 47.9	SD9 (0 - 1) avec 25.1 SD12 (2 - 3) avec 24.8 TM18 (0 - 0,1) avec 23.8 TM21 (0 - 0,1) avec 17.4
Pb	< 35	35 à 4400	> 4400	SD13 (3 - 3,9) avec 45300 PM silo (0,3 - 0,7) avec 35200 F'22 (1 - 1,2) avec 29100 N'24 (2,6 - 3) avec 24100 B7 (0,18 - 0,5) avec 23800 SP6 (4 - 5,5) avec 23500 SP6 (5,5 - 7) avec 10800 SD8 (3 - 3,7) avec 23200 PMG (0 - 0,3) avec 22000 N'26 (0 - 0,3) avec 22000 SD1 (2,5 - 3) avec 20500 Q'26 (0 - 0,6) avec 14800 TM18 (0 - 0,1) avec 14300 PM19 (0 - 0,5) avec 13600 H'26 (0,05 - 0,5) avec 12000	SD14 (2 - 2,7) avec 10100 PM4 caniveau) avec 9480 PMH (3 - 3,1) avec 8940 P'24 (2,7 - 3,6) avec 8460 PZa10 (1,4 - 1,5) avec 7140 SD13 (0 - 1) avec 7140 PZa5 (0 - 0,5) avec 7120 C3 (0,05 - 0,8) avec 6870 PM10 (0,2 - 0,8) avec 6860 E'22 (1,2 - 1,35) avec 6310 F9 (0,33-0,4) avec 6000 "S2-LM (0,2-1) avec 5935 PMB (0 - 0,9) avec 4860 PZa3 (0,8 - 1) avec 4520 H'26 (0,5 - 1,5) avec 4430
Zn	< 30	30 à 1600	> 1600	S2-LM (0,2-1) avec 18714 PM13 (0,25 - 0,6) avec 11100 PM19 (0 - 0,5) avec 9270 PM19 (0,5 - 1,2) avec 10000 F10 (0-0,25) avec 8003 N'26 (0 - 0,3) avec 4770 PM silo (0,3 - 0,7) avec 3810 SD6 (2 - 2,5) avec 3250 SD6 (3 - 3,4) avec 3620 F'22 (1 - 1,2) avec 3540 F9 (0,33-0,4) avec 3185	TM30 (0 - 0,1) avec 2810 SD8 (3 - 3,7) avec 2650 SD6 (0 - 1) avec 2460 PM4 (0,35 - 0,7) avec 1850 H'27 (2,4 - 3,2) avec 1760 K'21 (0,3 - 1) avec 1750 PM16 (0,05 - 0,9) avec 1670 P'24 (2,7 - 3,6) avec 1620 H'26 (0,05 - 0,5) avec 1610 T12 E1) avec 1600 PM18 (0,1 - 0,6) avec 1530
XXX : échantillons de sols de surface					

Cette seule méthode ne permet pas de définir un seuil de coupure robuste puisqu'elle ne tient pas compte de la répartition spatiale des concentrations. Elle doit donc être confortée par l'approche cartographique et un bilan massique.

4.3.2 Approche cartographique et bilan massique

Sur la base des approches statistiques précédentes, on peut conclure que :

- Le mercure se singularise des autres ETM par le fait que quelques teneurs ponctuelles dans les sols sont très largement supérieures aux valeurs de référence retenues.
Une analyse spécifique pour le mercure est proposée (à l'instar des analyses de sources précédemment établies pour les polluants organiques et les cyanures).
- L'arsenic et le plomb se singularisent des autres ETM par un bruit de fond marqué et étendu dans les sols à l'échelle des parcelles A et C. Ils sont dans ce cadre retenus comme traceurs des ETM (hors mercure) et ils font l'objet d'une analyse détaillée.

❖ LE MERCURE :

Les cartographies de répartition spatiale des concentrations en mercure dans les sols de surface et dans les sols en profondeur sont présentées en figure 20 page suivante.

L'ensemble des analyses disponibles a été représenté dans les figures (a) et (b) sans sélection de gamme de concentration. L'analyse cartographique met en évidence un bruit de fond de teneurs faibles sur l'ensemble du terrain et une localisation ponctuelle des anomalies en Hg enregistrées dans les sols de surface comme en profondeur.

La cartographie met en évidence les 2 zones sources concentrées dans les sols de surface et une zone source concentrée dans les sols en profondeur, confortant ainsi les précédentes analyses statistiques des données disponibles :

- Les sols de surface et profonds : PMA et SD19 d'une part et dans le même secteur l'ensemble SD8, SD12 et SD13
- Les sols de surface : TM18 et TM21.

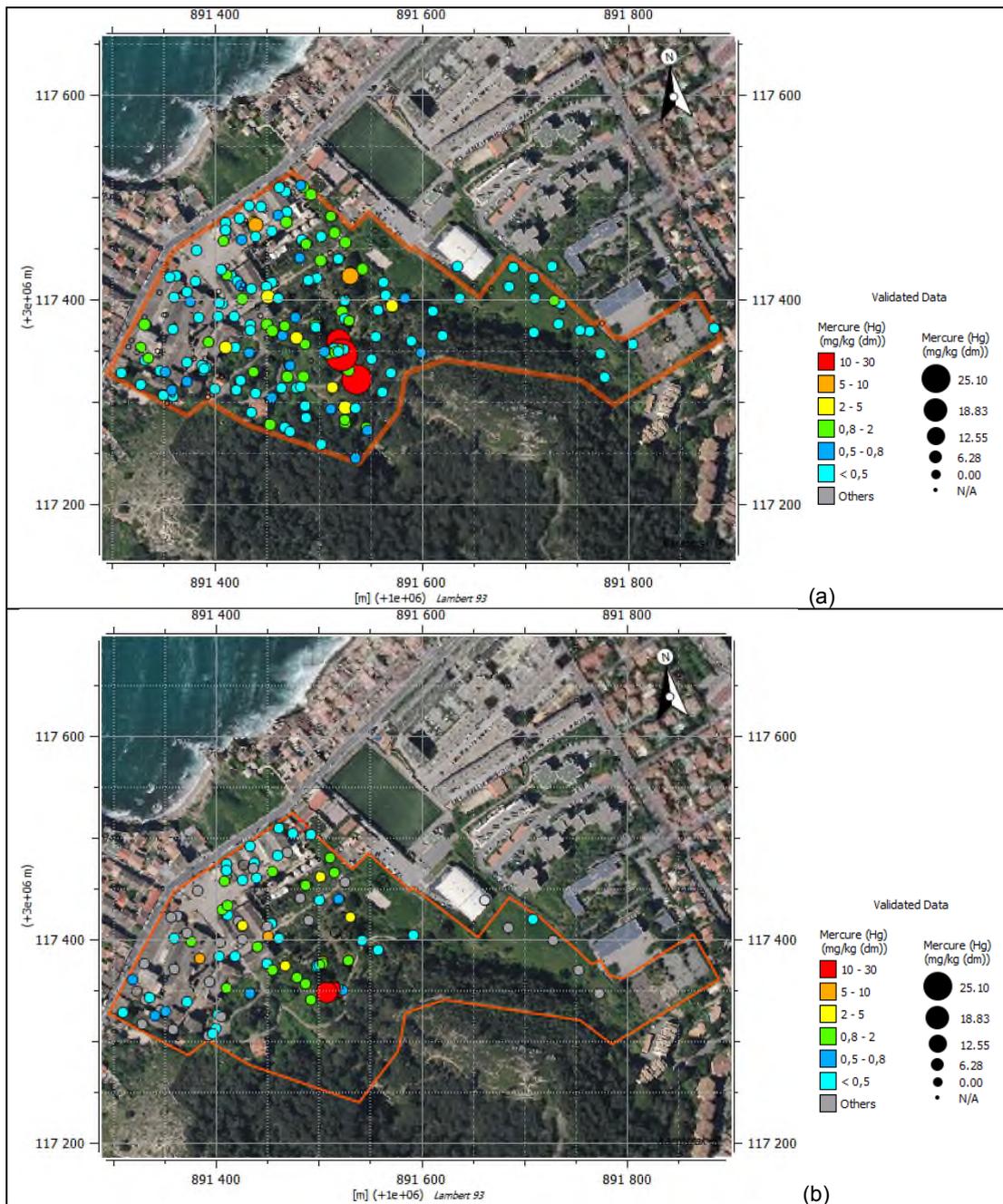


Figure 20 : Cartographies des teneurs en Hg dans les sols de surface (a) et en profondeur (b)

Le bilan massique pour le mercure est présenté dans le graphique ci-dessous.

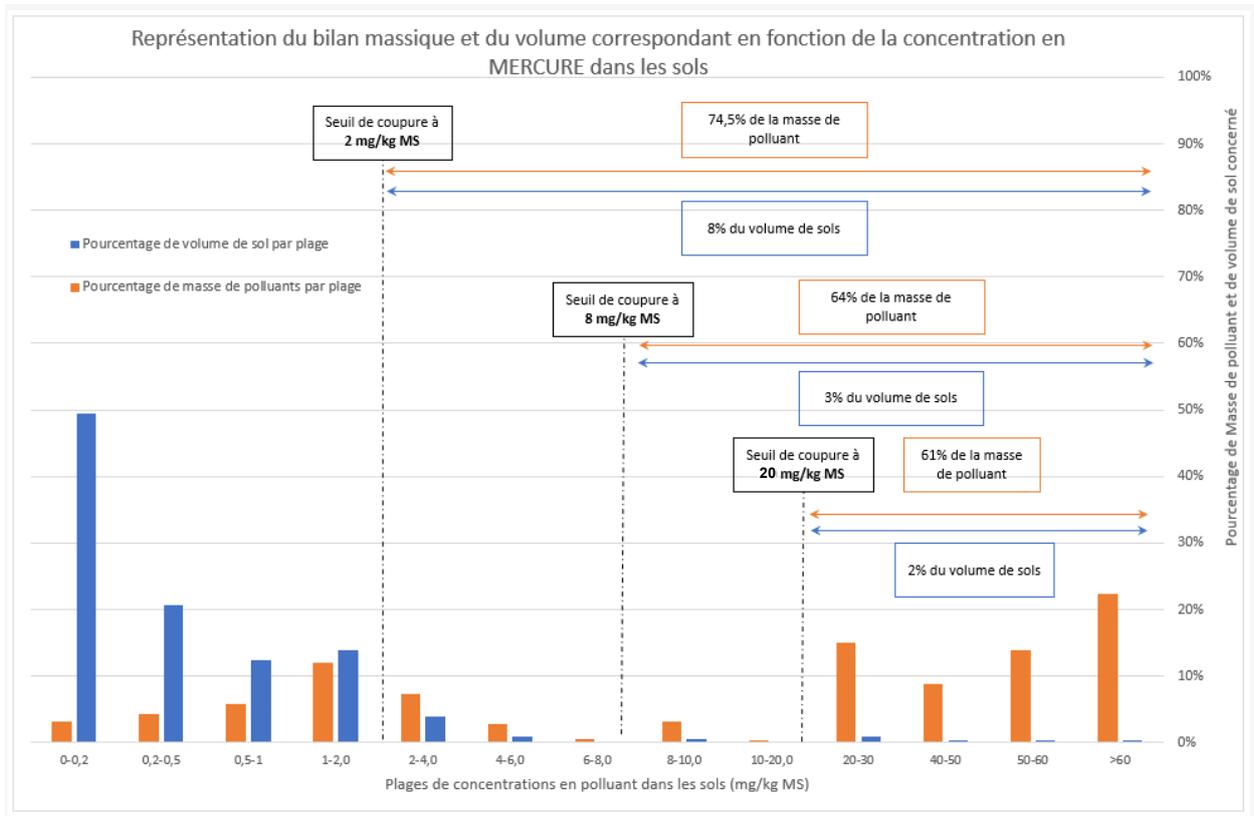


Figure 21 : Évolution du pourcentage de volume de sol et du pourcentage de la masse de polluant contenue dans chaque plage de concentration en Mercure dans les sols

La figure 21 ci-dessus met en évidence que :

- 75% de la masse de polluant est contenue dans 8% de volume de sol
- 61% de la masse de polluant est contenue dans 2% de volume de sol

Le traitement d'un volume limité de sol pollué, permet de traiter les 3/5 de la masse de polluant,

Au-dessus du seuil de 20 mg/kg MS, le pourcentage de masse de polluant est 10 fois supérieur à celui du volume de sol.

Compte tenu des volumes mis en jeu et du projet d'aménagement, retenir le seuil de coupure de 20 mg/kg MS est pertinent.

Les zones concernées sont en cohérentes avec les analyses précédentes : les sols de surface des sondages TM18 et TM21, ainsi que les sols en profondeur des sondages SD8, SD9, SD12, SD13 et PMA.

Le projet d'aménagement ne comprend pas d'opération de terrassements spécifiques au niveau des zones identifiées comme concentrées en mercure, dans les sols en profondeur et particulièrement aux profondeurs de localisation des anomalies.

Pour le mercure, les volumes de terres polluées sont limités et peu accessibles (dans les sols en profondeur jusqu'à 3.9 m par rapport au niveau actuel) et situés au voisinage de la cheminée rampante sur son linéaire enterré. Les anomalies enregistrées en profondeur sont potentiellement représentatives d'une qualité chimique des sols profonds plus étendue (potentiellement sur le linéaire au voisinage de la cheminée enterrée).

La solution d'excavation et d'évacuation des matériaux vers des filières de gestion appropriées n'est pas retenue d'office. Le présent Plan de Gestion traite de ces anomalies dans les sols en profondeur spécifiquement.

Les pollutions concentrées des sols pollués de surface des secteurs T18 et T21 seront excavées et évacuées en filière autorisée, conformément à la méthodologie (volume limité et accessible).

❖ **LE PLOMB ET L'ARSENIC :**

Pour les deux éléments As et Pb, l'approche cartographique et de bilan massique, sur la base des sondages réalisées, sans raisonnement à l'échelle des parcelles A et C, ne semble pas la plus pertinente.

Les résultats de l'ensemble des investigations de terrain réalisées sur le site ont été utilisés afin d'établir des cartographies d'extrapolation en 2 dimensions de la qualité chimique connue dans les sols en As et en Pb (sur les 2 premiers mètres de sol).

Cette approche est rigoureuse compte tenu de la densité de sondages sur les parcelles A et C, bien que la pertinence d'une extrapolation de concentrations en ETM puisse être discutée.

Sur la base des niveaux de concentration observés, plusieurs gammes ont été définies afin de dresser une représentation cartographique de la contamination en Pb et en As. On se référera au diagnostic de l'état des milieux reporté en annexe A1 pour disposer du détail des valeurs de références retenues.

Gamme de concentration (Pb en mg/kg MS)	Précisions	Gamme de concentration (As en mg/kg MS)	Précisions
Pb		As	
< 50	Seuil ASPITET	< 12	Seuil ELT
50 – 170	Seuil ELT	12 – 25	Seuil ASPITET
170 – 300	Seuil HCSP	25 – 100	-
300 – 1 000	Analyse des histogrammes (Annexe A1, figure 34), marquage généralisé à 1000 mg/kg MS	100 – 300	
1 000 – 4 000	Seuil approchant la gamme de concentration 3	300 – 500	
4000- 10 000	-	500 – 1 000	
> 10 000		1000 – 1 400	Seuil approchant la gamme de concentration 3
-		1 400 – 5 000	-
	> 5 000		

Ces cartographies sont présentées respectivement pour le Plomb et l'arsenic en figures 22 et 23 pages suivantes.

Le bilan des surfaces extrapolées par gamme de concentration dans les 2 premiers horizons de sols (de 0 à 2 m de profondeur) est présenté dans le tableau suivant.

Gamme de concentration (Pb en mg/kg MS)	Surface Horizon 1 (m ²)	Surface Horizon 2 (m ²)	Gamme de concentration (As en mg/kg MS)	Surface Horizon 1 (m ²)	Surface Horizon 2 (m ²)
Pb			As		
< 50	925	8 875	< 12	5 075	9 400
50 – 170	10275	2 675	12 – 25	7 825	3 425
170 – 300	3775	3 050	25 – 100	34 350	51 125
300 – 1 000	21100	46 300	100 – 300	27 250	11 600
1 000 – 4 000	33400	15 100	300 – 500	925	400
4000- 10 000	6475	50	500 – 1 000	500	100
> 10 000	100	0	1000 – 1 400	125	0
			1 400 – 5 000	0	0
			> 5 000	0	0
TOTAUX	76050	76050	TOTAUX	76050	76050

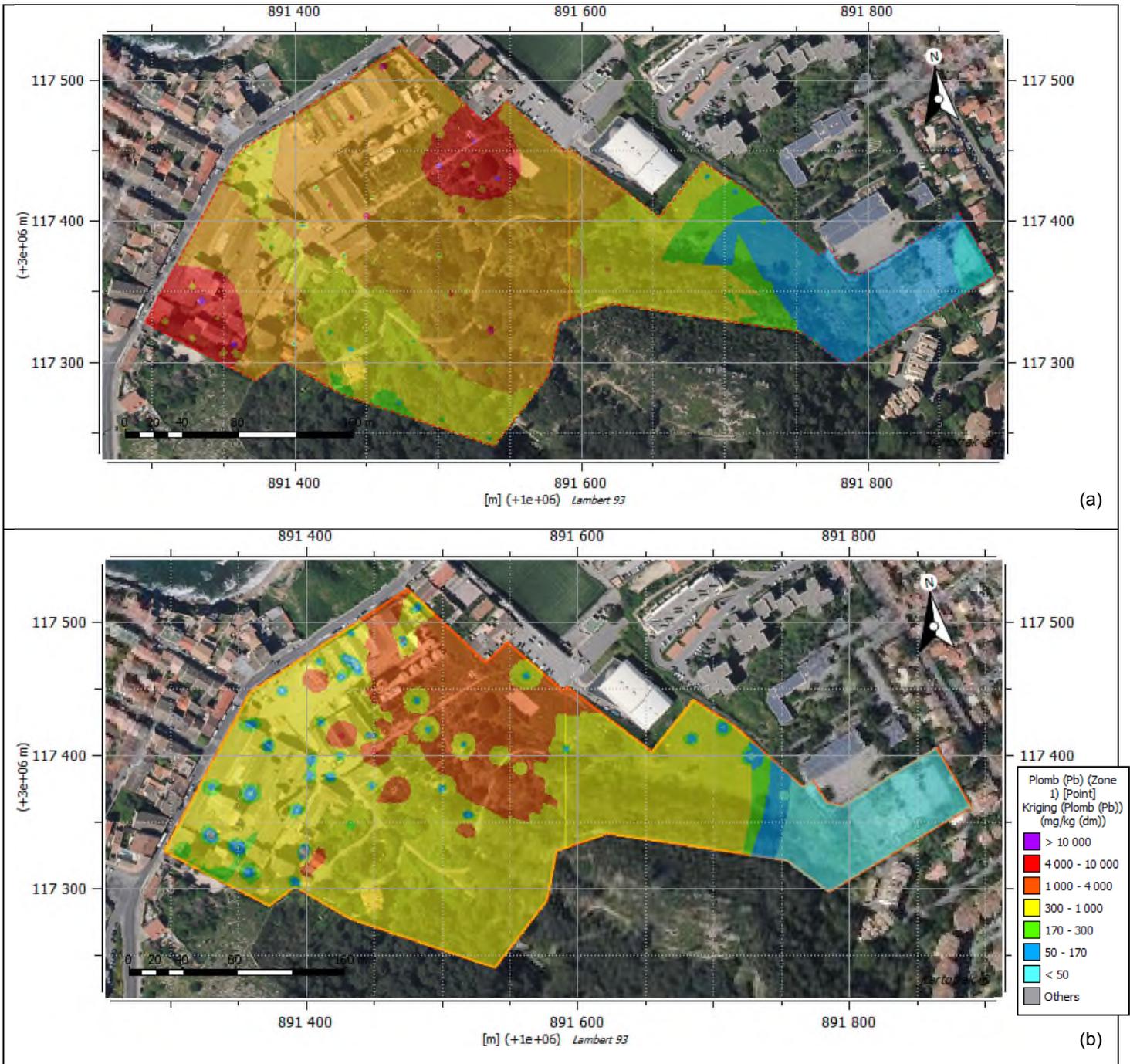


Figure 22 : Cartographies d'extrapolation de la qualité chimique en Pb dans les 2 premiers horizons de sols des parcelles A et C (Horizon 1 de surface (a) et Horizon 2 profond (b))

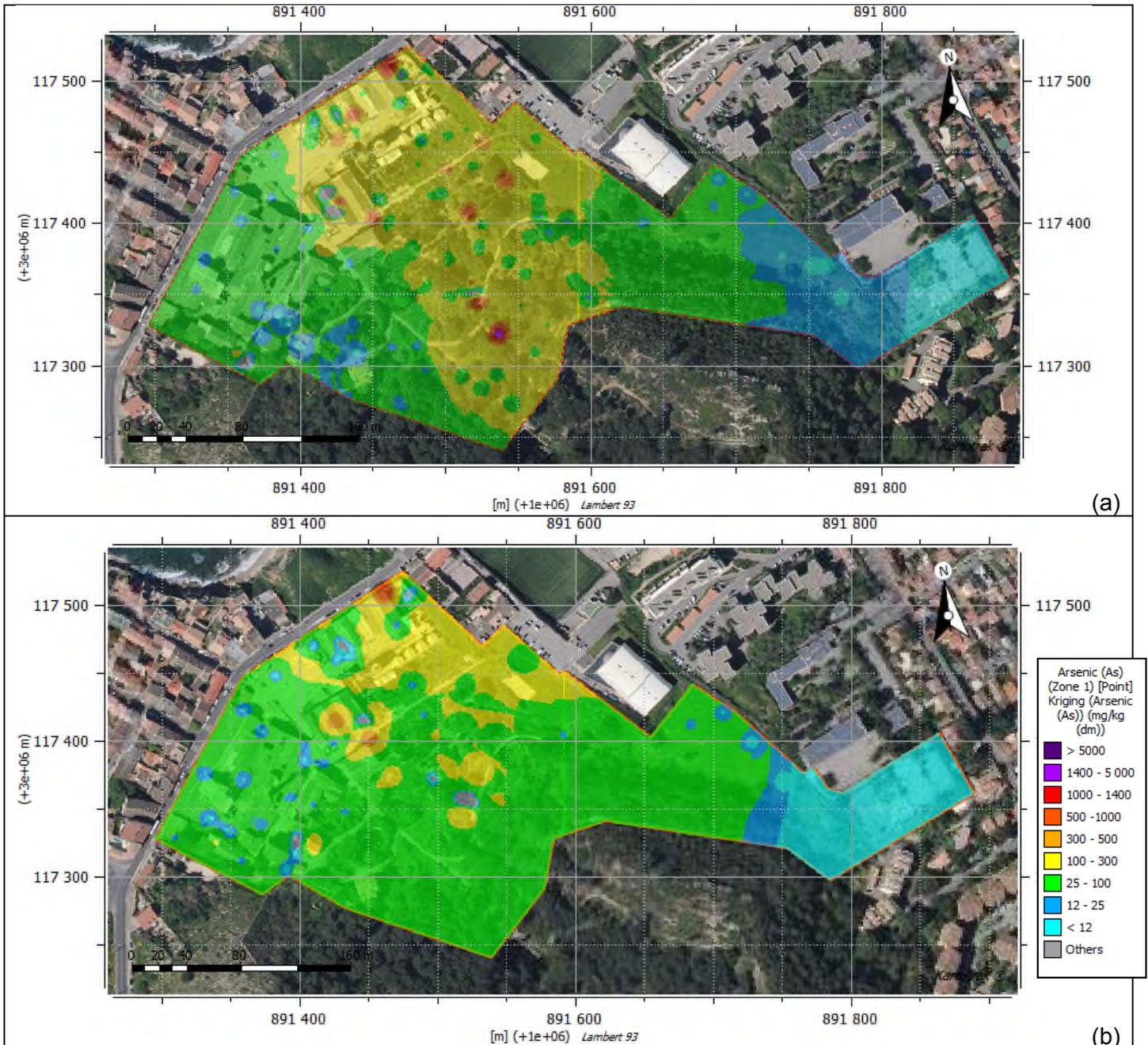


Figure 23 : Cartographies d'extrapolation de la qualité chimique en As dans les 2 premiers horizons de sols des parcelles A et C (Horizon 1 de surface (a) et Horizon 2 profond (b))

Pour le plomb :

Les extrapolations (par une méthode de krigeage³) dans les sols de surface et en profondeur mettent en évidence une pollution diffuse des sols sur les 2 premiers mètres en Plomb. Selon cette approche, le caractère de seuil de la gamme de concentration 3 est confirmé cartographiquement.

Pour l'arsenic :

Les extrapolations dans les sols de surface et en profondeur mettent en évidence une pollution diffuse en Arsenic sur les 2 premiers mètres de sol. Pour l'arsenic, les zones concernées par des anomalies supérieures à la gamme de concentration 3, sont ponctuelles sur les deux premiers mètres. .

³ Le krigeage est une méthode d'interpolation applicable à des données spatiales. Elle s'appuie sur la géostatistique linéaire, notamment le variogramme. La géostatistique permet de modéliser la structure du phénomène régionalisé étudié à l'aide d'outils simples (covariance et/ou variogramme) et de résoudre efficacement les problèmes d'interpolation.

Notons que, dans les sols de surface particulièrement, la répartition des concentrations supérieures à 1000 mg/kg MS en Pb est cohérente avec celle des concentrations supérieures à 100 mg/kg MS en As, selon une bande Nord-Sud de 3 ha environ qui recoupe les sources potentielles de pollution suivantes :

- Activités historiques de traitement du plomb :
 - o Anciens ateliers (fusion de minerais de plomb, four à coupellation, désargentation du plomb, grillage des masses, chaudronnerie et fonderie),
 - o Zones de dépôts de plomb marchand et de charbon,
 - o Fours à griller le minerai de plomb
 - o Carneaux
- Activités historiques d'acide tartrique et d'acide sulfurique :
 - o Ancienne fabrique d'acide sulfurique
 - o Petite usine et Halle attaque acide,
 - o Silo de tartre de calcium et station de traitement des eaux

Remarque : le travail d'extrapolation des teneurs en As et en Pb n'a pas pu être réalisé dans les horizons sous-jacents car la densité d'information n'apparaît pas suffisante (moins d'analyses disponibles dans les sols à plus de 2 m de profondeur). Ainsi, certaines teneurs profondes ne sont pas prises en compte dans l'analyse cartographique précédente.

L'analyse de la qualité chimique des sols en métaux a été complétée, pour le traceur Plomb, par une étude des pourcentages d'effectif par gamme de concentration, en fonction de la nature des sols (prise en compte des « Remblais » et du « TN »). Cette analyse est présentée en figures 24 et 25 suivantes.

Cette analyse a été réalisée pour le Plomb car il présente un impact plus étendu dans les sols et constitue le traceur ETM le plus représentatif des impacts liés aux activités historiques.

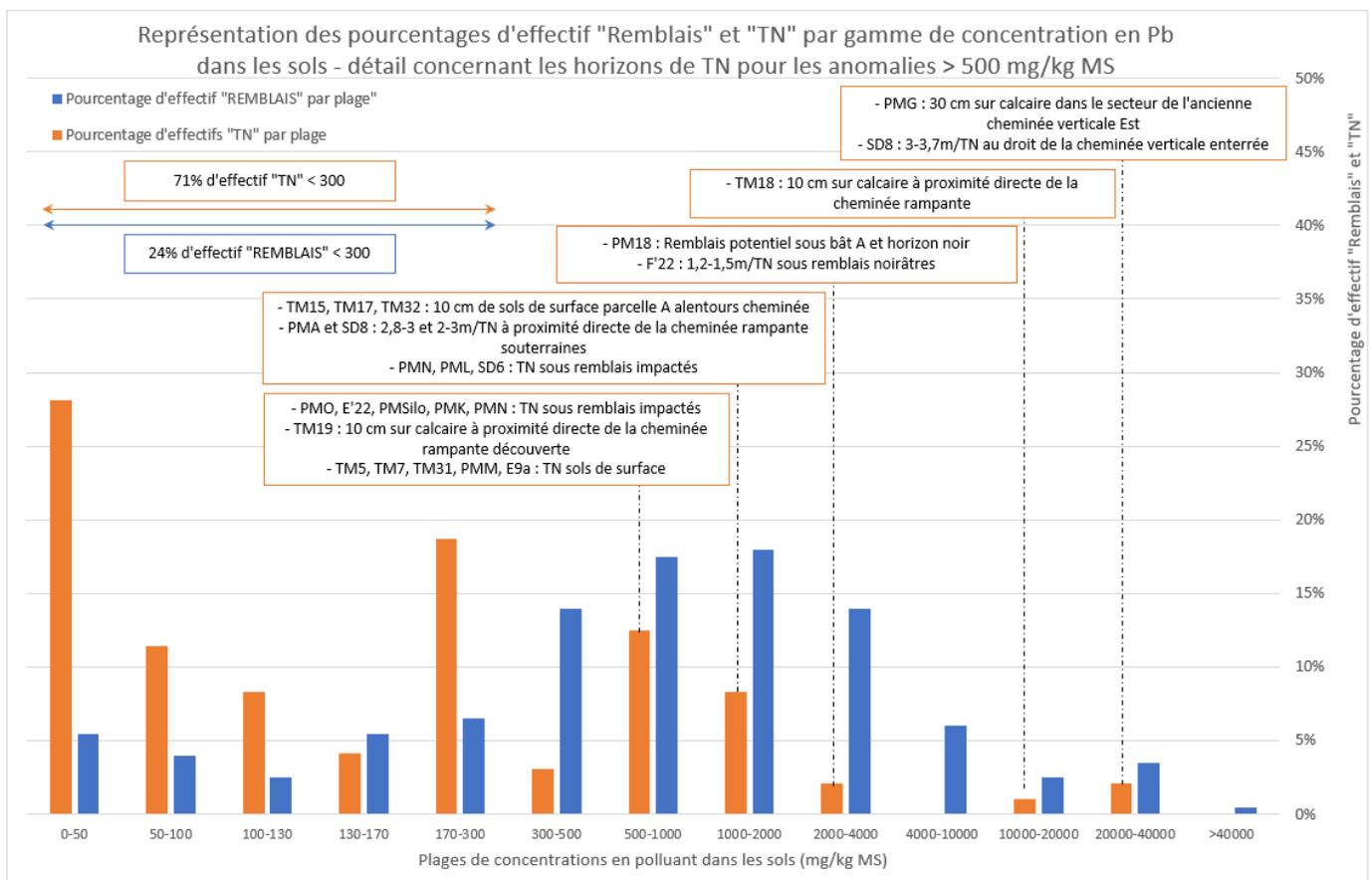


Figure 24 : Représentation des pourcentages d'effectif « Remblais » et « TN » par gamme de concentration en Pb dans les sols – Commentaires concernant les horizons de « TN » pour les anomalies supérieures à 500 mg/kg MS de Pb

Il apparaît à la lecture de ce graphique que les plus fortes anomalies enregistrées concernent d'une manière prépondérante des remblais de surface, mais également en profondeur.

En ce qui concerne spécifiquement les échantillons de « terrain naturel », la figure 24 page précédente met en évidence que :

- 71% des effectifs de terrain naturel présentent des teneurs en Pb inférieures à 300 mg/kg MS (contre 24% dans les remblais).
- Les teneurs supérieures à 500 mg/kg MS sont majoritairement retrouvées :
 - o Dans les sols de surface à proximité de la cheminée rampante sur son linéaire aérien, ainsi que ponctuellement dans les sols de surface du secteur Sud de la parcelle A et à proximité de l'ancienne cheminée verticale ;
 - o Dans les sols en profondeur à proximité de la cheminée rampante sur son linéaire enterré, ainsi que ponctuellement sous des horizons de remblais impactés.

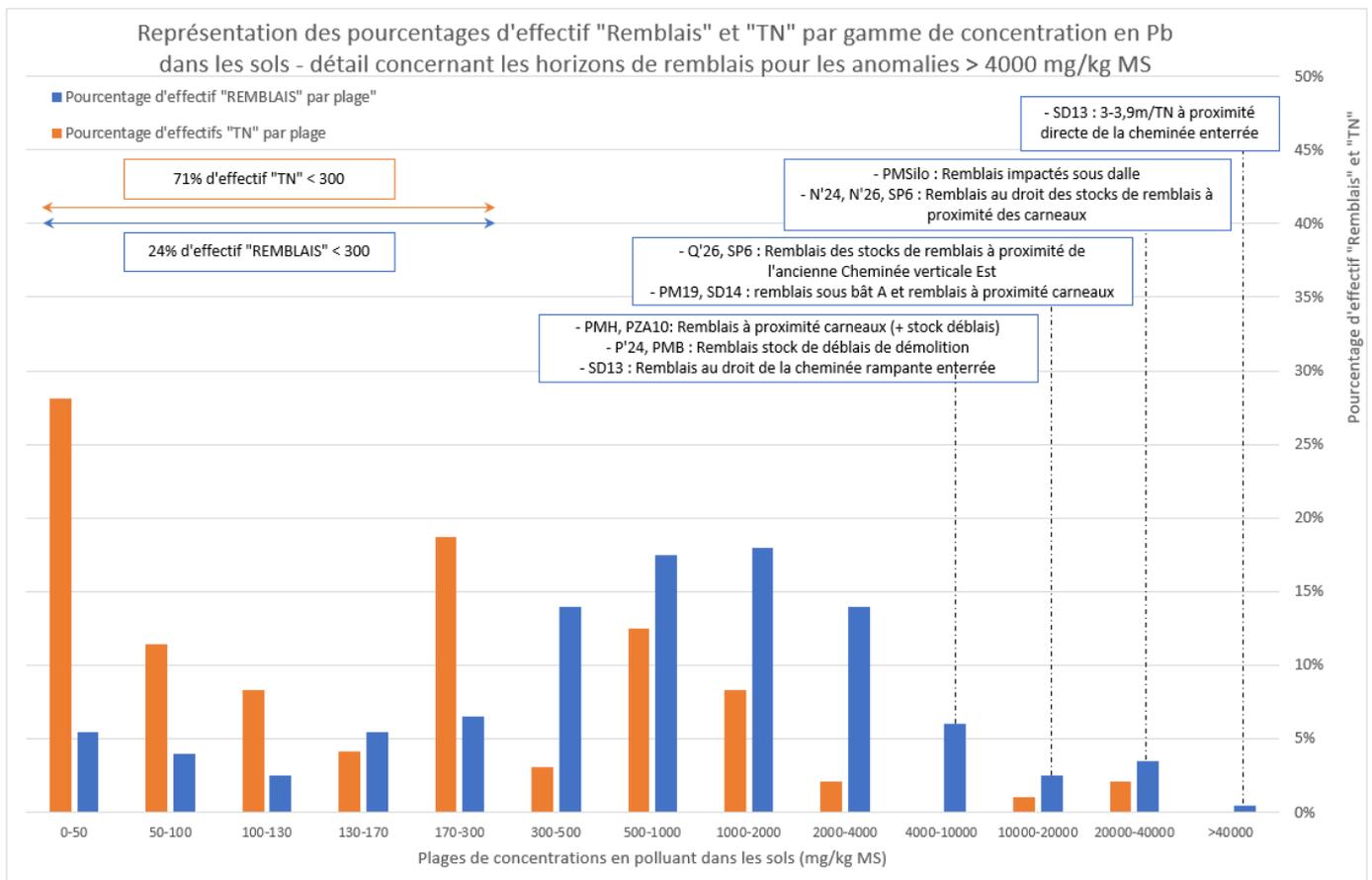


Figure 25 : Représentation des pourcentages d'effectif « Remblais » et « TN » par gamme de concentration en Pb dans les sols – Commentaires concernant les horizons de « Remblais » pour les anomalies supérieures à 4000 mg/kg MS de Pb

En ce qui concerne spécifiquement les échantillons de « Remblais » présentant les plus importantes concentrations en Plomb, la figure 25 ci-dessus met en évidence que :

- Environ ¼ des effectifs de remblais présentent des teneurs en Pb supérieures à 300 mg/kg MS
- Les teneurs supérieures à 4000 mg/kg MS sont majoritairement retrouvées dans les sols de surface et en profondeur à proximité et au droit :
 - o De la cheminée rampante sur son linéaire enterré
 - o Des carneaux bas
 - o De l'ancienne cheminée verticale Est
 - o Des déblais de démolition
 - o Ainsi que dans les sols de surface sous les bâtiments (remblaiement du site pour l'aménagement de la plateforme industrielles avec des remblais d'origine et de qualité non connue – potentiellement en provenance de sites industriels en activité avant 1875).

Un bilan massique pour le Pb et l'As, sur les deux premiers mètres de sols, reporté en figures 26 et 27 suivantes, a été établi. On se reportera au paragraphe 4.2.4 pour disposer de la méthodologie d'estimation du bilan massique et de ses limites⁴.

- **Concernant le Pb :**

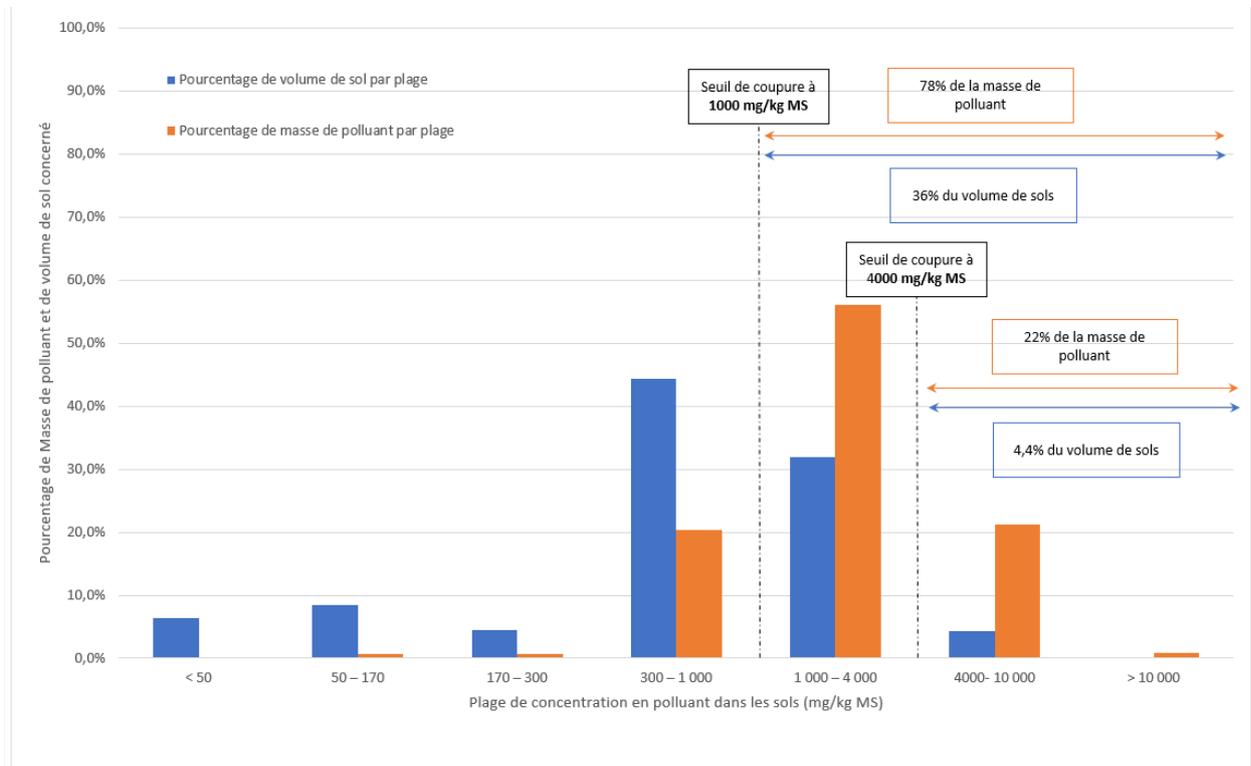


Figure 26 : Évolution du pourcentage de volume de sol et du pourcentage de la masse de polluant contenue dans chaque plage de concentration en Plomb dans les sols

La figure 26 ci-dessus met en évidence que :

- 78% de la masse de polluant est contenu dans 36% de volume de sol
- 22% de la masse de polluant est contenu dans 4.4% de volume de sol

Ainsi, pour la gestion des ¾ de la masse de polluant, il faut envisager le traitement d'un volume de sol de plus de 55 000 m³.

On note que c'est au-dessus du seuil de 1000 mg/kg MS, que le pourcentage de masse de polluant est supérieur à celui du volume de sol (facteur 1.5) et que ce volume de sol correspondant est conséquent avec plus de 55 000 m³ de matériaux. Par ailleurs, la prise en compte du seuil de 4000 mg/kg MS met également en jeu un volume important de matériaux d'environ 6 600 m³.

Compte tenu des volumes mis en jeu et du projet d'aménagement, retenir le seuil de coupure de 1000 mg/kg MS semble peu réaliste vis-à-vis du projet de requalification de la friche, bien qu'il soit en cohérence avec les approches statistique et cartographique précédentes.

⁴ Remarque : dans la limite des investigations réalisées, des hypothèses considérées et des paramètres de krigeage utilisés (simulation d'un milieu isotrope) les volumes présentés dans cette étude sont des estimations qui peuvent s'avérer majorantes ou à l'inverse inférieures à la réalité des terrains

- **Concernant l'As :**

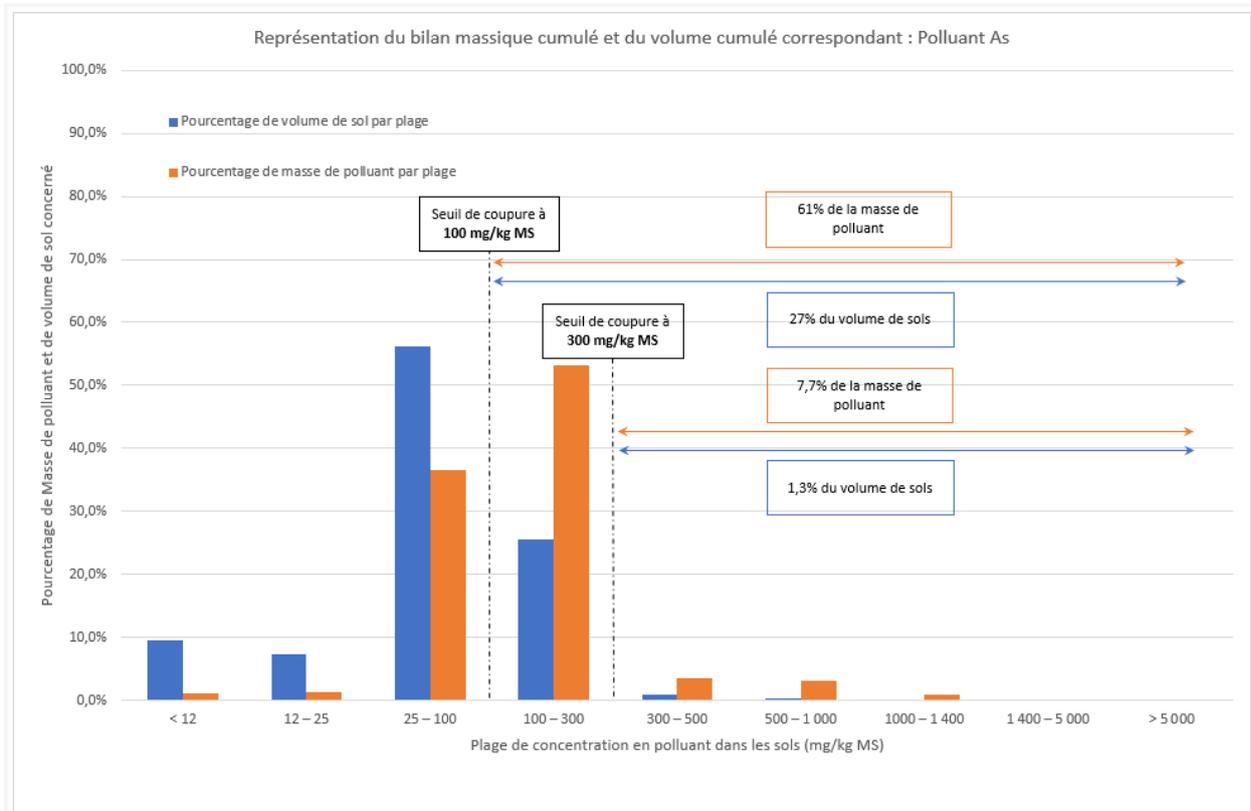


Figure 27 : Évolution du pourcentage de volume de sol et du pourcentage de la masse de polluant contenue dans chaque plage de concentration en Plomb dans les sols

La figure 27 ci-dessus met en évidence que :

- 61% de la masse de polluant est contenu dans 27% de volume de sol

Ainsi, pour la gestion des 3/5 de la masse de polluant, il faut envisager le traitement d'un volume de sol de plus de 40 000 m³.

On note que c'est au-dessus du seuil de 100 mg/kg MS, que le pourcentage de masse de polluant est supérieur à celui du volume de sol (facteur 2) et que le volume de sol correspondant est conséquent avec plus de 40 000 m³ de matériaux.

A l'instar de l'analyse sur le Pb, retenir le seuil de coupure de 100 mg/kg MS pour l'As semble peu réaliste vis-à-vis du projet de requalification de la friche, bien qu'il soit en cohérence avec les approches statistique et cartographique précédentes.

Remarque : les autres ETM sont des « accompagnants » des traceurs arsenic et plomb, retrouvés selon une logique de distribution identique et d'une manière prépondérante au droit des sources Pb et As, leur analyse n'est donc pas poussée plus avant. En effet, la gestion des anomalies en As et Pb revient à retirer la majeure partie des anomalies dans les sols en autres ETM.

4.3.3 Détail de l'estimation des volumes des zones sources pour les ETM

Au regard des résultats des investigations, l'emprise des zones sources concentrées pour les ETM est présentée dans le tableau 11 suivant. Elle intègre les sols présentant des dépassements du seuil retenu pour le mercure et des seuils de 1000 et 4000 mg/kg MS pour le Plomb ainsi que de 100 et 500 mg/kg MS pour l'Arsenic.

Tableau 11 : Estimation de l'emprise et des volumes des zones sources concentrées

Polluants	Sondage	Surface (m ²) estimation	Prof. m/TN	Volume (m ³) estimation basse	Volume (m ³) estimation haute
Hg	Zone PMA et SD9				
	PMA (1 - 2) avec 53.3 PMA (2,8 - 3) avec 27.5 SD9 (0 - 1) avec 25.1	50-100	3	150	300
	Zone SD8, SD12 et SD13				
	SD8 (3 - 3,7) avec 47.9 SD12 (2 - 3) avec 24.8 SD13 (3 - 3,9) avec 95.1	70-100	2-4	140	400
	Zones TM18 et TM21				
	TM18 (0 - 0,1) avec 23.8 TM21 (0 - 0,1) avec 17.4	100-200	0.1-0.3	10	60
Pb	Seuils de 1000 et 4000				
	Estimation sur la base de l'extrapolation des teneurs en Pb dans les 2 premiers horizons de sols des parcelles A et C	6 600 à 40 000 (*)	1-2	6 625	55 125
As	Seuils de 100 et 500				
	Estimation sur la base de l'extrapolation des teneurs en As dans les 2 premiers horizons de sols des parcelles A et C	625 à 28 800 (*)	1-2	725	40 900

(*) Les écarts sur les volumes sont liés aux valeurs seuils considérées qui induisent des écarts importants de volumes correspondants, comme mis en évidence dans le paragraphe 4.3.2 précédent.

4.3.4 Intégration de la contrainte financière

Les coûts de gestion constituent une dimension essentielle pour la réhabilitation d'un site pollué.

Il est ainsi nécessaire de confronter les seuils de définition de pollution concentrée proposés au cout de la réhabilitation.

Ci-dessous, il est proposé un comparatif basé sur le scénario simplifié d'excavation, transport et évacuation hors site des matériaux pollués en Plomb (hors contraintes particulières de terrassement, géotechniques, de délai,...).

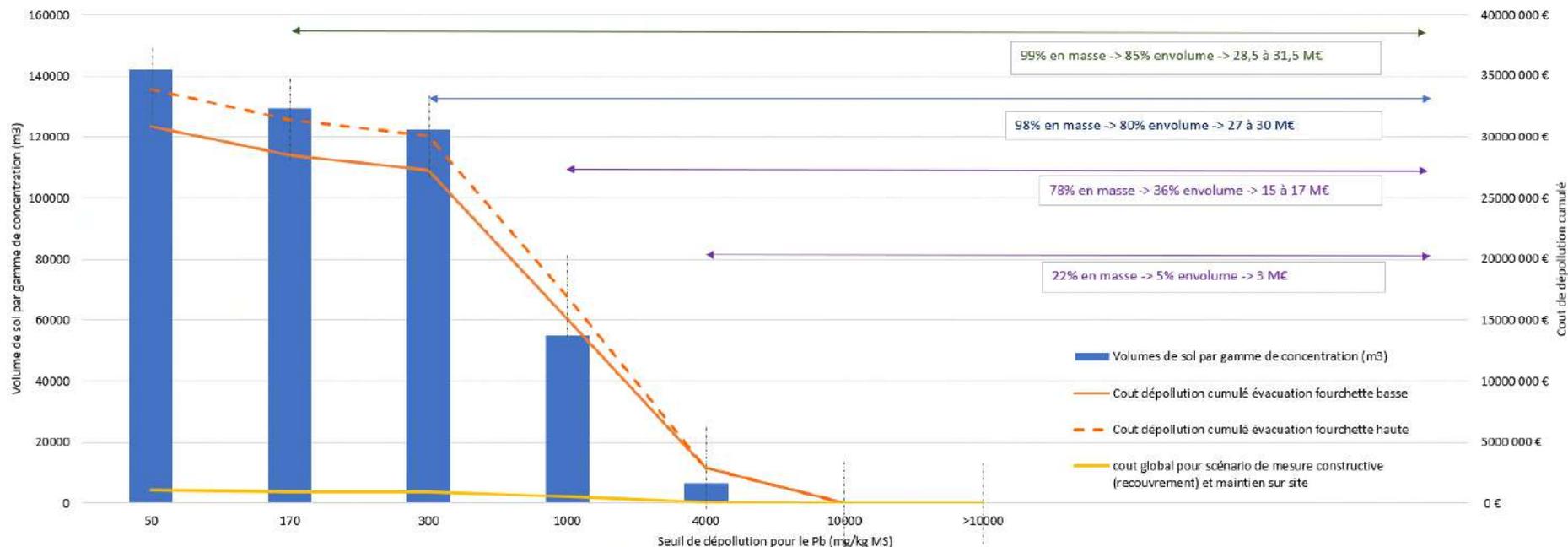


Figure 28 : volumes de sol et coûts de réhabilitation associés en fonction des gammes de concentration

L'interprétation de ce graphique aboutit aux conclusions suivantes :

- Le fait d'envisager une réhabilitation à 100% du volume de sol et de la masse en polluant sur les 2 premiers mètres de sol des parcelles A et C conduit à traiter a minima 140 000 m³ de matériaux pour un montant de l'ordre de 33 à 36 millions d'euros.
- Le fait d'envisager une réhabilitation à 78% (seuil de 1000 mg/kg MS), sur les 2 premiers mètres de sol des parcelles A et C, conduit à traiter a minima 55 000 m³ pour un montant de l'ordre de 15 à 17 millions d'euros.
- Le fait d'envisager une réhabilitation à 22% (seuil de 4000 mg/kg MS), sur les 2 premiers mètres de sol des parcelles A et C, conduit à traiter a minima 6700 m³ pour un montant de près de 3 millions d'euros.

Compte tenu des montants de coûts de gestion, ce scénario est comparé à une alternative de maintien sur site des anomalies en ETM (courbe jaune sur le graphique ci-dessus), hors mercure, qui pourrait être retenue, au regard :

- Des résultats d'analyse sur éluat qui mettent en évidence que les métaux lourds restent peu mobiles (hors antimoine et ponctuellement le sélénium), qu'ils n'impactent pas la qualité des eaux souterraines (sur la base des prélèvements et analyses précédemment réalisés sur le seul ouvrage fonctionnel sur le site) et l'absence d'utilisation de cette eau sur le site et en aval hydraulique du site compte tenu du caractère saumâtre des eaux (biseau salin).
- Du projet d'aménagement qui prévoit le recouvrement de l'intégralité de la parcelle C et la parcelle A en partie Nord, limitant l'infiltration des eaux météoriques et supprimant le contact direct.

Cette alternative tient compte du recouvrement des surfaces impactées et des servitudes associées ; le montant estimé serait de plus de 1 million d'euros.

Enfin et pour rester dans l'esprit et les préconisations de la méthodologie nationale rappelons que si les substances en cause sont uniquement des substances métalliques, non volatiles et non susceptibles d'être solubilisées, alors des mesures de gestion simples telles que le recouvrement des terres polluées par des épaisseurs suffisantes et justifiées de terres non polluées peuvent apparaître adaptées dès lors que la mémoire de ces pollutions est conservée.

Cette mesure de gestion est en cohérence avec le projet d'aménagement du site sur l'emprise de la parcelle C au droit de laquelle les sols de surface seront revêtus.

La parcelle A constitue en revanche un espace intermédiaire, entre la zone anciennement industrielle et l'espace naturelle des Calanques. Sur ce secteur, il est recommandé de travailler les mesures de gestion selon une approche, basée sur la qualité des sols de surface, le projet d'aménagement et la configuration du secteur proche de l'espace naturel des Calanques.

Cette analyse conduit à décomposer la parcelle A en trois secteurs comme décrits ci-dessous :

- Secteur de la Maison de maître, du bassin et des espaces verts attenants : la qualité des sols de surface extérieurs sur ce secteur, qui sera aménagé pour un usage de logement, nécessite la mise en place de mesures de gestion. Bien que le maintien du couvert végétal soit à privilégier (car il permet de limiter l'envol de poussières), les mesures de gestion sur ce secteur devront consister en un recouvrement des sols (au regard de la proximité avec l'habitation).
- Secteur au Nord du chemin, sur lequel est prévu l'aménagement de l'ensemble de bâtiments C et qui est également le siège d'une partie du stock de remblais (issus des opérations historiques de terrassements et de démolition) : les sols de surface sur ce secteur témoignent d'un impact en métaux lourds lié au stockage sur site des matériaux issus des démolitions et terrassements historiques⁵. De la même manière que pour le secteur de la Maison de Maître, bien que le maintien du couvert végétal soit à privilégier car il permet de limiter l'envol de poussières, les mesures de gestion sur ce secteur devront consister en un recouvrement des sols (au regard de la proximité avec l'habitation).
- Secteur Sud du chemin jusqu'au canal de Marseille, correspondant à un espace de végétation spontanée, assimilable à la configuration de l'espace naturel des Calanques : les sols de surface sur ce secteur témoignent ponctuellement d'un impact en métaux lourds. Toutefois, la situation sur ce secteur, plus éloigné des futurs logements, est assimilée à un prolongement du contexte retrouvé dans les Calanques et nous proposons une mesure de gestion cohérente avec les futurs usages de promenade du secteur et les actions en cours sur l'espace naturel du Massif (opérations de phytostabilisation).

Notons que ces deux derniers secteurs sont le siège des anomalies en mercure dans les sols de surface qui feront l'objet d'opération de purge, ainsi que du tracé souterrain de la cheminée rampante.

C'est en se basant sur les précédentes approches (statistiques, graphiques et financières), ainsi que le projet développé, que sont retenues les mesures de gestion « équilibrées » pour les sources concentrées en métaux lourds⁶. Ces mesures, en accord avec le périmètre de reconversion, consistent en la mise en œuvre de recouvrements des sols de surface et de traitements in-situ par phytostabilisation (dans le secteur Sud de la parcelle A).

Pour rappel, les sources concentrées organiques sur site seront purgées et gérées en filière(s) autorisée(s).

4.3.5 Caractérisation de la mobilité : localisation et quantification des pollutions dans les gaz des sols et les eaux souterraines

Conformément à la méthodologie nationale, les bilans massiques sur les sols doivent être mis en relation avec les milieux « gaz du sol » et « eaux souterraines » dans le cas de polluants volatils ou lorsqu'ils contribuent à dégrader les eaux souterraines.

Sur la base des investigations réalisées⁷, les eaux souterraines (quand les piézomètres se sont avérés non sec) ne présentaient pas d'anomalie en polluants organiques, comme en ETM. Ces résultats sont en cohérence avec les faibles impacts en polluants organiques dans les sols et le fait que les ETM sont peu à pas mobiles dans les sols.

Les investigations réalisées en 2018⁷ ont mis en évidence la présence ponctuelle de composés organiques volatils (HCT, BTEX, HAP et COHV) dans les gaz du sol, avec des teneurs faibles à modérées. Dans ce cadre, il n'apparaît pas pertinent de traiter plus avant les résultats de gaz des sols, en termes de « caractérisation de la mobilité ».

Nota : Une EQRS spécifique a été réalisée dans le cadre du présent Plan de Gestion (reportée en chapitre 5 suivant) et l'état de qualité des gaz des sols sera conforté par une 2^{ème} campagne de prélèvement.

⁵ Démolitions et terrassements historiques des sources potentielles de pollution (comme les fours et les cheminées verticales), ainsi que les remblais de la parcelle C pour l'aménagement de la STEP

⁶ Sources concentrées en métaux lourds non concomitantes à une source concentrée en polluants organiques, cyanures ou mercure

⁷ Présentées dans le rapport de diagnostic reporté en annexe A1 du présent Plan de Gestion

4.4 Identification des sources de pollution concentrée sur la parcelle B

On se reportera au chapitre 8 du rapport de diagnostic reporté en annexe A1 pour disposer de la présentation du crassier constituant la parcelle B.

La parcelle B est le siège d'un crassier d'un volume de 41 600 m³ environ de déchets qui ont été entreposés dans le cadre des activités industrielles historiques, activité de stockage pour laquelle l'exploitant historique disposait d'une autorisation administrative pendant les premières activités de fonderie et jusqu'aux dernières activités de production d'acide tartrique.

Les sondages carottés réalisés sur l'emprise du crassier et les résultats des analyses des matériaux constitutifs du crassier mettent évidence que :

- Le crassier est constitué de principalement 4 types de matériaux :
 - o des remblais de démolition (sablo-limoneux à cailloutis calcaires) avec des déchets ou débris anthropiques (plastiques, béton, enrobé, verres, briques, etc),
 - o des remblais de nature « chimique » (sablo-limoneux) avec des zones carbonatées blanchâtres présentant localement des coloration vertes ou lit de vin et des fragments gris bleutés,
 - o des remblais d'origine « industrielle métallique » caractérisés par des scories plus ou moins grosses dans une matrice sableuse noire, des fragments vert à noir vitreux et des fragments métalliques fondus,
 - o du terrain naturel : un horizon de type sablo-gréseux présentant des cailloutis calcaires, qui repose sur le substratum calcaire sain ou fracturé
- Les successions lithologiques sont de configuration spatiale variable en épaisseur comme en extension latérale. De plus, les remblais de nature « chimique » au sein de l'important volume de remblais de démolition ne sont pas clairement individualisé physiquement mais répartis d'une manière très hétérogène au sein du volume (pas de « couche de matériaux a proprement parlé, mais une répartition plus lenticulaire au sein de la masse de déchets).
- Les remblais présentent des anomalies en ETM particulièrement au sein de l'horizon profond de remblais « métalliques ». En revanche, les données disponibles témoignent que les métaux ne sont pas ou peu lixiviables, à l'exception de l'antimoine et du sélénium.
- Des cyanures ont également été enregistrés d'une manière ponctuelle dans des horizons de matériaux à faciès « chimique »

Il apparait une importante hétérogénéité des remblais avec une qualité chimique fortement hétérogène ne permettant pas une définition rigoureuse par classe des pollutions concentrées.

Notons que le volume de 41600 m³ de déchets a été déterminé sur la base des sondages carottés réalisés au droit de la parcelle B, au moyen d'une modélisation des horizons et une estimation des cubatures au moyen du logiciel « COVADIS ». On se reportera à l'annexe A3 pour disposer des cartographies en plan et coupes de la parcelle B ainsi que de la synthèse des cubatures induite.

Le crassier de la parcelle B est constitué d'environ 84% de matériaux en nature de remblais de démolition avec remblais « chimiques » mélangés et 16% du volume de déchets serait constitué de remblais « Industrie métallique » liés aux premières activités historiques de fonderie au droit du site.

Dans ce cadre, l'approche cartographique revient à la simulation 3D du crassier qui a été réalisée et présentée dans le cadre du diagnostic par type de matériaux. En revanche, sur la base des données existantes et compte tenu du caractère de « déchets » des matériaux stockés, la réalisation d'une approche statistique n'a que peu de sens. Nous étudierons la parcelle B au travers d'une approche essentiellement financière.

Des aménagements et des mesures de gestion devront permettre de garantir l'absence de voie de transfert au sable de la plage et milieu marin et le projet d'aménagement permettra de mettre en sécurité mécanique le crassier et des constructions avoisinantes.

4.5 Identification des autres sources liées aux anciennes activités industrielles

Parmi les installations, équipement et infrastructures liées aux anciennes activités encore présentes sur site, la cheminée verticale sur site et la cheminée horizontale, sur ses deux tronçons hors site, constituent des éléments majeurs à étudier et à retenir en tant que source. Notons par ailleurs, qu'au regard du caractère patrimoniale de ses infrastructures, une solution de suppression de ces sources ne peut être envisagée et des mesures spécifiques propres au site et intégrant la problématique générale doivent être envisagées.

Le cas particulier des carneaux bas actuellement enterrés doit également être retenu comme source, à l'instar de la cheminée rampante sur son linéaire enterré au droit de la parcelle A.

5. EVALUATION QUANTITATIVE DES RISQUES SANITAIRES (EQRS) ET SCHEMA CONCEPTUEL D'EXPOSITION CONSTATÉ

Les investigations réalisées par ERG Environnement dans le cadre de la mission de diagnostic complémentaire ont mis en évidence la présence de composés organiques volatils (HCT, BTEX, HAP et COHV) dans les gaz du sol, ce qui conduit à envisager les risques liés à l'exposition par inhalation de composés volatils à l'intérieur des futurs bâtiments.

Conformément à la méthodologie décrite dans les textes d'avril 2017 (mise à jour de la circulaire de février 2007), la réalisation d'une Evaluation Quantitative des Risques Sanitaires est donc nécessaire afin de statuer sur la compatibilité du site avec son usage et son aménagement projetés.

5.1 Évaluation Quantitative des risques Sanitaires pour la voie d'exposition par inhalation

L'EQRS spécifique a été établie et on se reportera à l'annexe A4 pour disposer du détail de la méthodologie, du scénario d'aménagement étudié, de l'identification du danger, du choix des VTR, de l'évaluation des expositions, de la modélisation du transfert des substances volatiles et de la quantification des risques avec étude d'incertitude.

L'EQRS a été réalisée dans une démarche sécuritaire sur la base des teneurs maximales enregistrées dans les gaz des sols selon le scénario d'exposition le plus contraignant de bâtiment de plain-pied à usage de logement.

Par ailleurs, l'usage résidentiel suppose la présence d'adultes et d'enfants sur le site, ce qui nécessite de prendre en compte ces deux types de populations. Pour cela, nous avons considéré une cible mixte qui passe de l'âge enfant à l'âge adulte, avec une durée d'exposition totale plutôt majorante de 40 ans. Le budget espace-temps le plus majorant été retenu avec une exposition 20h par jour, 351 jours/an sur 40 ans.

Par ailleurs, il a été tenu compte que les caractéristiques du projet d'aménagement permettent d'écarter les voies d'exposition suivantes :

- Contact direct avec les sols, en raison de la mise en place d'un recouvrement de surface prévu sur l'ensemble des parcelles C, B et A pour partie (*) (dalle béton au droit des bâtiments, enrobé au droit des zones de voirie et parking, et 30 cm de terre végétale d'apport au droit des espaces verts créés) ;
- Ingestion d'eau potable : les réseaux d'adduction d'eau seront mis en place dans des sols non impactés ou dans un lit de matériaux d'apports sains ;
- Ingestion d'aliments auto-produits, une restriction d'autoproduction hors sols uniquement sur l'emprise du projet (bac, pour que les végétaux soient déconnectés des sols en place).

Par conséquent, seule la voie d'exposition par inhalation de composés volatils issus des sols et/ou des eaux souterraines a été retenue comme pertinente (voir le schéma conceptuel d'exposition).

Si l'on se réfère à l'évaluation de risques sanitaires reportée en annexe A4, on peut, donc, considérer que l'état des milieux est compatible avec les usages futurs (adultes et enfants résidents) pour l'exposition par inhalation.

(*) Le risque par contact direct doit être retenu dans le secteur Sud de la parcelle A qui correspond à un espace de végétation spontanée, assimilable à la configuration de l'espace naturel des Calanques. La situation sur ce secteur, plus éloigné des futurs logements, est assimilée à un prolongement du contexte retrouvé dans les Calanques et nous proposons une mesure de gestion cohérente avec les futurs usages de promenade du secteur et les actions en cours sur l'espace naturel du Massif (opérations de phytostabilisation). L'accès au secteur Sud de la parcelle A sera limité par une clôture pendant la phase de pilote et d'évaluation de la performance de la technique de phytostabilisation.

5.2 Schéma conceptuel d'exposition constaté

Par ailleurs, l'ensemble des informations recueillies (résultats analytiques, observations organoleptiques et mesures in situ) a permis de définir le schéma conceptuel d'exposition constatée qui intègre les informations recueillies et les voies de transfert avérées (Cf. tableau 12 page suivante)

En cas de modification d'usage du site, le présent schéma conceptuel d'exposition devra être adapté en conséquence, afin de mettre en place un plan de gestion en adéquation avec le nouvel aménagement proposé pour le site.

MILIEU D'EXPOSITION POTENTIEL	PRINCIPALES VOIES D'EXPOSITION A ENVISAGER	PRINCIPAUX TRANSFERT(S) A ENVISAGER	CIBLE POTENTIELLE SUR SITE	MILIEUX CONTAMINES : POLLUANTS MAJORITAIRES	APPROCHE RISQUE
Intérieur des futurs bâtiments	Inhalation de substances volatiles issues des sols et/ou des eaux souterraines à travers la dalle béton	Du sol vers l'air ambiant des bâtiments	Futurs habitants et usagers (adultes et enfants)	GAZ DES SOLS	Absence de risque : Composés volatils présents dans les gaz des sols dans des teneurs modérées à faibles Compatibilité de l'état des milieux avec l'usage projeté validé par une EQRS dédiée (Chapitre 5)
	Transfert dans la canalisation enterrée d'alimentation en cas de parcours du réseau au travers d'une zone de sols souillés	Ingestion d'eau contaminée / contact cutané		EAU DE CONSOMMATION	Risque à écarter par des mesures simples de gestion : Canalisations AEP à implanter dans des sols sains en cas de pollution avérée
Futures zones extérieurs découvertes (espaces verts)	Ingestion directe de sol / poussières	Contact direct		SOLS	Présence d'anomalies ponctuelles en composés organiques et en métaux lourds dont les mesures de gestion à mettre en œuvre sont détaillées dans le chapitre 6 du présent PG
	Absorption cutanée de sol / poussières			SOLS	
	Ingestion d'aliments d'origine végétale produits sur le site Des jardins privatifs et espaces verts collectifs sont prévus par le projet	Du sol vers des aliments d'origine végétale sur le site		GAZ DES SOLS	
Futures zones extérieures recouvertes (voirie, parkings)	Inhalation de substances volatiles issues du sol et/ou des eaux souterraines	Volatilisation des composés potentiellement présents dans les sols et/ou les eaux souterraines		EAUX SUPERFICIELLES	Sans objet : Aucun usage actuel ou projeté n'est identifié
Eaux superficielles	Aucun usage des eaux superficielles n'est prévu par le projet	Du sol vers les eaux superficielles		EAUX SOUTERRAINES	Sans objet : Le projet ne prévoit pas d'usage des eaux souterraines
Eaux souterraines	Aucun usage des eaux souterraines n'est prévu par le projet	Du sol vers les eaux souterraines	PLAGE et MER	Le transfert d'ETM depuis le crassier vers la plage et la mer doivent être limités au maximum par des mesures spécifiques en cohérence avec le projet d'aménagement, détaillées dans le chapitre 6 du présent PG	
Parcelle B spécifiquement Milieu marin	Activités récréatives et baignade interdites en contre-bas du crassier	Du crassier vers la mer	Pas d'usagers – plage et baignade interdite		

Tableau 12 : Pertinence des différentes voies d'expositions sur site

6. EVALUATION DES MESURES DE GESTION

L'étude des mesures de gestion est basée sur les documents suivants :

- La note ministérielle d'avril 2017 mettant à jour le cadre général de la politique nationale en matière de gestion des sites et sols pollués définie dans la note du 8 février 2007,
- Le guide ADEME « Elaboration des Bilans Coûts-Avantages adaptés au contexte des gestion en Sites et Sols Pollués » en date de mars 2017,
- Le rapport de l'UPDS intitulé « Travaux du GT Pollution concentrée », d'avril 2016, disponible sur le site de l'UPDS,
- Le guide établi par le BRGM « définir une stratégie de dépollution : approche basée sur la masse de polluant et la capacité de relargage » référencé BRGM/RP-64350-FR de février 2016,
- Le guide établi par le BRGM « quelles techniques pour quels traitements – analyse coûts – bénéfiques » référencé BRGM/RP-58609-FR de juin 2010.

6.1 Préambule - contexte spécifique du site

Compte tenu de la synthèse des milieux et de l'analyse du caractère de source présenté dans le chapitre 4 précédent, et au regard du projet de requalification des parcelles A, C et B, un volume important de déblais va être généré par le projet d'aménagement et nous proposons dans ce cadre de traiter :

- en premier lieu des mesures de gestion des futurs déblais dans le contexte spécifique du site,
- dans un second temps, des mesures de gestion pour les sources résiduelles.

Nous attirons l'attention sur le contexte spécifique du site, les contraintes et les éventuelles nuisances, qui ont été prises en compte, pour l'analyse de la gestion des futurs déblais générés par le projet d'aménagement :

- Limitation au maximum du trafic routier conformément aux attentes de la Collectivités, en cohérence avec l'application de mesures de gestion durables
- Impossibilité d'exportation de matériaux par voie maritime, directement depuis le site (les données bathymétriques collectées révèlent de hauts fonds dans ce secteur, incompatibles avec le chargement en bateau des terres qui seront extraites lors des travaux de terrassement).

Les solutions de gestion des déblais « on-site » seront privilégiées pour minimiser au maximum les exportations de matériaux et le transfert de la pollution. Les solutions « on-site » seront adaptées selon la qualité chimique des futurs déblais, en privilégiant donc les solutions de réemploi, confinement, stabilisation/solidification et pythostabilisation sur site.

Notons enfin, que dans le but d'être en conformité avec la méthodologie nationale une solution alternative de gestion de la totalité des matériaux en filière(s) autorisée(s) hors site a également été étudiée.

Suite à la mise en œuvre des mesures de gestion des déblais qui seront générés par le projet, une analyse des sources encore en place est réalisée. Cette analyse et les mesures de gestion proposées tiennent compte des sources concentrées retenues (en chapitre 4), des infrastructures (dont certaines à caractère patrimonial), ainsi que des mesures de gestion actuellement en cours sur l'emprise du Parc des Calanques⁸.

⁸ Travaux en cours concernant les impacts en ETM dans les sols de surface, en lien avec les activités historiques de l'Escalette

6.2 Méthodologie générale

6.2.1 Objectifs des mesures de gestion

Le plan de gestion a pour objectif premier de maîtriser les sources et leurs impacts. La maîtrise des sources est un aspect fondamental du plan de gestion car elle participe aux deux démarches globales :

- De réduction des émissions de substances responsables d'exposition chimique,
- D'amélioration continue des milieux.

Le processus de plan de gestion est généralement progressif, itératif, évolutif et interactif, Il n'est en aucun cas définitivement figé, il doit être élaboré, avec bon sens, sur la base d'un projet d'aménagement, dans une perspective de développement durable et de bilan environnemental global.

Les possibilités de suppression de la source de pollution sont étudiées, car sans maîtrise des sources de pollution, il n'est économiquement ou techniquement pas possible de chercher à maîtriser les impacts. Ainsi lorsque des pollutions concentrées et généralement circonscrites à des zones limitées sont identifiées, la priorité consistera à les extraire.

Il apparaît cependant nécessaire, quand la suppression totale des sources de pollution n'est pas possible – après avoir réalisé une démarche « coûts/avantage » et passé en revue les meilleures techniques disponibles à un cout raisonnable – de garantir que les impacts provenant des sources résiduelles sont effectivement maîtrisés et acceptables tant pour les populations que pour l'environnement.

La stratégie des mesures de gestion est présentée par la figure suivante :

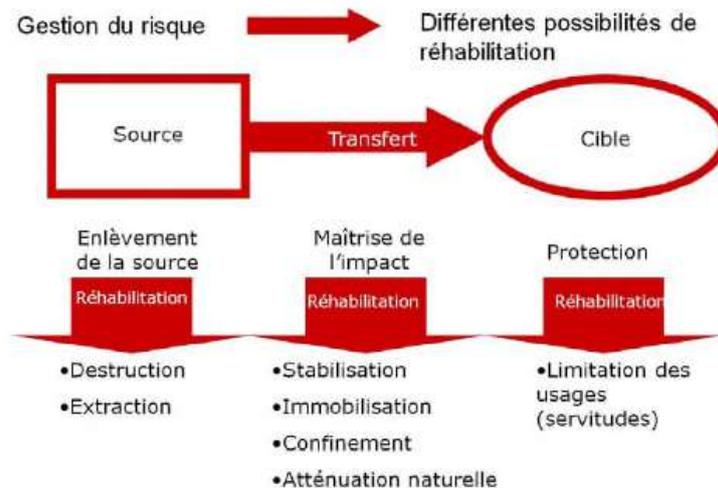


Figure 1 : Stratégie des mesures de gestion d'un site pollué (Nathanail et al., 2002)

Figure 29 : Stratégie des mesures de gestion (source rapport BRGM/RP-57708-FR)

6.2.2 Présélection des techniques de dépollution en fonction des substances rencontrées

Les différentes techniques de dépollution peuvent être classées en fonction de la nature des procédés employés, à savoir :

- les procédés physiques : le principe consiste à utiliser des fluides (eau ou gaz), présents dans le sol ou injectés, comme vecteur pour transporter la pollution vers des points d'extraction ou pour l'immobiliser,
- les procédés chimiques : ils utilisent les propriétés chimiques des polluants pour, à l'aide de réactions appropriées, les inerte, les détruire ou les séparer du milieu pollué,
- les procédés biologiques : ils consistent à utiliser des micro-organismes, le plus souvent des bactéries, pour favoriser la dégradation totale ou partielle des polluants, Certains bioprocédés permettent aussi de fixer ou solubiliser certains polluants,
- les procédés thermiques : ils utilisent la chaleur pour détruire le polluant, l'isoler, ou le rendre inerte.

La figure 30 page suivante présente les techniques de dépollution envisageables pour le cas d'une pollution est associée aux métaux lourds, ainsi que dans une moindre mesure aux hydrocarbures, HAP et cyanures.

Réhabilitation potentielle	Milieu concerné	COV	Hydrocarbures halogénés	Hydrocarbures non halogénés	HAP	PCB	Dioxines et furannes	Pesticides et herbicides
Confinement								
Confinement – couverture	S	+	+	+	+	+	+	+
Confinement hydraulique	W	+	+	+	+	+	+	+
Confinement vertical	S, W	+	+	+	+	+	+	+
Excavation et enfouissement	S	+	+	+	+	+	+	+
Procédés biologiques								
Atténuation naturelle	W	+	+	+	+	-	-	+
Biotertre	S	-	-	+	+	-	-	+
Bioventing	S	+	+	+	+	-	-	+
Biosparging	S, W	+	+	+	+	-	-	+
Landfarming	S	+	-	+	+	-	-	+
Traitement sous forme de boue	S	+	+	+	+	-	?	+
Andain	S	+	-	+	+	-	-	+
Procédés chimiques								
Oxydation chimique	S, W	+	+	+	+	-	-	+
Déhalogénéation chimique	S	+	+	-	-	+	+	-
Lavage chimique	S	+	+	+	+	-	-	-
Extraction par solvants	S	+	+	+	+	+	+	+
Amendements en surface	S	-	-	-	-	-	-	-
Procédés physiques								
Extraction multiphase	S, W	+	+	+	-	-	-	-
Air sparging	W	+	+	+	-	-	-	-
Venting	S	+	+	+	-	-	-	-
Barrière perméable réactive	W	+	+	+	+	+	+	+
Lavage	S	-	+	+	+	+	+	+
Procédés de solidification et de stabilisation								
Liants hydrauliques (ciment...)	S	-	-	?	+	+	+	?
Vitrification	S	+	+	+	+	+	+	+
Procédés thermiques								
Incinération	S	+	+	+	+	+	+	+
Désorption thermique	S	+	+	+	+	+	+	+

+ : envisageable ; - : non envisageable ; S : zone non saturée et sédiments ; W : zone saturée et eaux superficielles

Réhabilitation potentielle	Milieu concerné	Métaux lourds	Non métaux	Amiante	Cyanures	Explosifs
Confinement						
Confinement – couverture	S	+	+	+	+	+
Confinement hydraulique	W	+	+	+	+	+
Confinement vertical	S, W	+	+	+	+	+
Excavation et enfouissement	S	+	+	+	+	+
Procédés biologiques						
Atténuation naturelle	W	+	+	-	-	+
Biotertre	S	-	-	-	-	+
Bioventing	S	-	-	-	-	-
Biosparging	S, W	-	-	-	-	-
Landfarming	S	-	-	-	-	+
Traitement sous forme de boue	S	-	-	-	+	+
Andain	S	-	-	-	-	+
Procédés chimiques						
Oxydation chimique	S, W	-	+	-	-	-
Déhalogénéation chimique	S	-	-	-	-	-
Lavage chimique	S	+	-	-	-	-
Extraction par solvants	S	-	-	-	-	+
Amendements en surface	S	+	+	-	-	-
Procédés physiques						
Extraction multiphase	S, W	-	-	-	-	-
Air sparging	W	-	-	-	-	-
Venting	S	-	-	-	-	-
Barrière perméable réactive	W	+	+	-	+	+
Lavage	S	+	+	-	+	-
Procédés de solidification et de stabilisation						
Liants hydrauliques (ciment...)	S	+	+	+	?	-
Vitrification	S	+	+	+	+	+
Procédés thermiques						
Incinération	S	+	+	+	+	+
Désorption thermique	S	+	-	-	+	-

+ : envisageable ; - : non envisageable ; S : zone non saturée et sédiments ; W : zone saturée et eaux superficielles

Figure 30 : Présélection des techniques de dépollution (source rapport BRGM/RP-57708-FR)

6.2.3 Présélection des techniques de dépollution en fonction du lieu de traitement

Il existe trois grandes familles de traitement de sols pollués.

❖ **TRAITEMENT « IN SITU » :**

Il s'agit de traiter les sols pollués en place, sans aucuns travaux de terrassement. Ces procédés in-situ permettent de détruire les polluants organiques biodégradables localisés dans la zone insaturée (phase pure, adsorbée, gazeuse et dissoute dans l'eau interstitielle). Les polluants doivent être biodégradables. Au regard de la qualité des milieux, des polluants mis en jeux et des volumes associés, ce type de traitement semble adapté au contexte du site à l'étude au niveau du secteur sud de la parcelle A (espace de végétation spontanée, assimilable à la configuration de l'espace naturel des Calanques).

❖ **TRAITEMENT « ON SITE » :**

Cette technique, consistant à excaver les sols pollués et à les traiter sur site, est adaptée au contexte du site.

❖ **TRAITEMENT « HORS SITE » :**

Cette technique consistant à excaver les sols pollués et les orienter en centres de traitement agréés, est adaptée au contexte du site.

6.2.4 Présélection des techniques de dépollution en fonction des contraintes du site

L'applicabilité et la pertinence des techniques de pollution doivent également être considérées en fonction d'un ensemble de contraintes propres au site telles que :

- Les niveaux de concentration et la répartition spatiale des polluants,
- Les caractéristiques géologiques et hydrogéologiques (profondeur nappe, perméabilité, teneur en matière organique...),
- L'aménagement actuel du site et les contraintes spatiales de chantier,
- Le projet de revalorisation du site (contraintes temporelles),
- Le rendement environnemental et éco-bilan,
- Les risques de nuisances,
- Les contraintes d'acceptation sociétales.

Le tableau 13 page suivante synthétise l'applicabilité et la pertinence des techniques de pollution en fonction des 4 grands procédés employés :

Tableau 13 : Présélection des techniques de dépollution en fonction des contraintes et caractéristiques du site

Type de procédé	Technique	Applicabilité théorique	Pertinence
1-méthodes physiques par évacuation de la pollution	Excavation et traitement on site ou hors site <i>La technique consiste à excaver les zones sources et évacuer ces sols vers la filière de traitement adaptée (ou traiter les sols par une unité de traitement sur site)</i>	OUI	+++ (solution très contrainte par le contexte routier dans le quartier de Montredon)
1-méthodes physiques par piégeage de la pollution (in situ)	Confinement par couverture <i>Le but de l'isolation de surface est multiple :</i> - Empêcher ou limiter la percolation des eaux de pluie à travers la zone saturée, puis l'infiltration des eaux souillées vers les eaux souterraines - Supprimer le risque de contact direct et le risque d'envol de poussières - Limiter les flux de gaz vers l'air ambiant	Un recouvrement est déjà prévu sur la majeure partie du site (parcelle C et B et A pour partie)	++ Adaptée pour le site à l'étude au regard de l'analyse des sources pour les ETM. Non adapté pour la gestion des sources HCT, HAP et cyanures
	Confinement vertical <i>Le confinement vertical consiste à mettre en place une barrière entourant la source de pollution</i> <i>Le confinement consiste à :</i> - isoler les contaminants de façon à prévenir d'une manière pérenne leur propagation, - contrôler, c'est-à-dire s'assurer du maintien des mesures mises en place, - suivre et s'assurer de l'efficacité de ces mesures	NON	--- Pas de présence de nappe d'eau en grand avérée au droit du site et seuls prélèvements d'eaux souterraines réalisés exempts de pollution
	Confinement on site : « mise en tombeau » sur site ou encapsulation <i>Il consiste à maintenir les eaux souterraines polluées dans un espace prédéfini afin de ne pas générer de pollution en aval ; il ne s'agit ainsi pas d'un traitement en tant que tel. Ce confinement peut être réalisé de manière active (par pompage) ou de manière passive (via des tranchées drainantes)</i>	OUI Adapté à la pollution diffuse marquée en ETM	+++ Le bilan déblais remblais de l'opération permet d'envisager au regard des possibilités de réemploi et des contrainte le confinement de certain lot de matériaux non inertes, voir impactés en ETM
	Solidification/stabilisation <i>La solidification/stabilisation in situ consiste à étancher un sol perméable par remplissage des vides au moyen de produits liquides (coulis à base de liants hydraulique) qui se solidifient dans le temps.</i> <i>Les produits d'injection sont mis en place dans le sol par l'intermédiaire de forages avec contrôles informatiques de l'injection,</i> <i>La technique particulière de de soil mixing consiste à mélanger mécaniquement par l'intermédiaire de tarières ou d'outils spéciaux le sol et un liant au moyen de procédé permettant simultanément une désagrégation du sol sans extraction, une injection d'un liant à basse pression et un mélange (malaxage) avec le terai</i>	OUI Adapté à la pollution diffuse marquée en ETM	+++ Selon la qualité chimique des matériaux, une solidification stabilisation permettra le maintien sur site de certain lot de matériaux en nature de résidus de fonderie ou particulièrement marqués chimiquement
2-méthodes chimiques (in situ)	- Lavage in-situ <i>Ce procédé consiste à lessiver les sols (zones saturées et non saturé) par injection d'eau (et agents mobilisateurs en solution) en amont ou au droit de la source de pollution. Par la suite les eaux polluées sont pompées, traitées en surface puis rejetées dans les réseaux d'eaux usées/pluviales, les eaux superficielles ou dans certains cas réinjectés en nappe</i>	NON Peu de retour d'expérience sur ces techniques	-
	- Oxydation ou réduction chimique in situ L'oxydation est une réaction électrochimique, dans laquelle un composé perd un ou plusieurs électrons. Le type d'oxydant choisi dépend des caractéristiques environnementales (géologie, hydrogéologie, géochimie) ainsi que des caractéristiques de la source de pollution et/ou du panache (type de polluants, distribution). Les oxydants sont principalement utilisés sous forme liquide (permanganate, persulfate de sodium, peroxyde d'hydrogène ...); seul l'ozone est utilisé sous forme gazeuse. Les modalités d'injection influencent fortement les résultats de la dépollution ; le résultat sera d'autant meilleur que le contact entre le polluant et l'oxydant est étroit		
3-méthodes thermiques (in situ)	- Désorption thermique in situ <i>La désorption thermique in situ, issue de l'amélioration du procédé de venting, consiste à appliquer de la chaleur pour extraire du sol par volatilisation les polluants volatils et semi-volatils</i>	NON	NON Techniques peu éprouvées en France avec des problèmes d'hétérogénéité des traitements qui peuvent compliquer leur mise en œuvre – efficacité non garantie dans des délais raisonnables Contraintes d'application en milieu urbain dense Coût généralement prohibitif Efficacité trop incertaine du fait de la présence de fractions lourdes
	- Vitrification in situ <i>Ce procédé consiste à solidifier/stabiliser les sols par élévation de la température afin de le transformer en un matériau fondu qui se vitrifie en refroidissant</i>	NON	
4-méthodes biologiques (on site)	- Phytotraitement – Landfarming Planté (utilisation des plantes pour traiter les sols impactés en hydrocarbures) - Bioterre <i>Processus consistant à mettre des sols en tas en vue d'un traitement biologique (sols pollués font l'objet d'un amendement et les conditions dans le bio terre sont contrôlées (aération, ajouts de nutriments, ...))</i>	NON NON	Solution de Landfarming planté au niveau des sources résiduelles, n'apparaît pas pertinente au regard des volumes concernés ; la technique est par ailleurs peu éprouvée pour les HAP. Le biotertes est en revanche non retenu car peu adapté à la cubature de sols impactés
	- Phytostabilisation (utilisation des plantes pour traiter les sols de subsurface par dégradation, transformation, volatilisation ou stabilisation) - Atténuation Naturelle contrôlée <i>Processus se produisant naturellement dans les sols et les eaux souterraines, sans intervention humaine, visant à réduire la masse, la toxicité, la mobilité, le volume ou la concentration des contaminants dans ces milieux. Les processus pris en considération sont : la dispersion, la dilution, la volatilisation, l'adsorption, les mécanismes de stabilisation ou de destruction des polluants, qu'ils soient physiques, chimiques ou biologiques</i>	OUI OUI	En lien avec les études actuellement en cours sur le Massifs des calanques et les mesures de gestion de l'impact en ETM dans les sols de surface en lien avec les activités historiques de l'Escalette

pertinence : + faible, ++ moyenne, +++ forte

Ainsi au regard des caractéristiques du site et de la pollution, les types de mesures de gestion envisageables pour le traitement des pollutions concentrées sont l'excavation et le traitement des terres hors site ou sur site en association, des traitement in situ.

6.3 Mesures de Gestion des futurs déblais et bilan cout-avantage

On rappelle qu'à ce jour, le projet d'aménagement est en phase d'Avant-Projet. L'objectif principal de cette analyse est de donner des premières orientations, sur la base des investigations réalisées et des plans de projet établies à ce jour. Celles-ci seront amenées à être complétées en fonction de l'évolution du projet.

Ce paragraphe présente donc les mesures de gestion des futurs déblais, basée sur :

- le projet d'aménagement générique reporté en annexe A5 .
- la note de calcul des ventilations en déblais – remblais par secteurs d'aménagement

Toute évolution du projet nécessitera l'actualisation des volumes de déblais à gérer ainsi que les couts associés.

Les analyses réalisées et spécifiques à la gestion des déblais ont révélé une incompatibilité avec une mise en décharge d'inertes classiques (si l'on se réfère aux seuils limites fixés par l'arrêté du 12/12/14), pour une partie des matériaux qui pourront être éliminés en ISDI aménagée, ISDND, cimenterie, ISDD voir ISDD avec stabilisation.

Notons que proportionnellement à la surface du projet et aux volumes de déblais générés à ce stade, peu d'analyse de l'ensemble des paramètres de l'arrêté du 12/12/2014 sont disponibles. Un maillage plus fin pourra être réalisé dans le cadre d'études complémentaires préliminaires qui permettront de confirmer les hypothèses de ventilation retenue dans le cadre du Plan de Gestion.

6.3.1 Estimation des volumes générés par le projet

6.3.1.1 Documents ayant servi à l'estimation des volumes de déblais / remblais

Les estimations des volumes ont été établies sur la base des documents fournis par l'équipe projet, reportées en annexe A5 du présent rapport.

6.3.1.2 Méthodologie appliquée pour l'estimation des volumes de déblais / remblais

L'estimation des volumes de déblais / remblais a été réalisée par le cabinet PI Conseil au moyen du logiciel de modélisation et estimation des cubatures « COVADIS ». Sur la base de la sectorisation élémentaire retenue par PI Conseil, pour laquelle nous disposons de cubatures projet en déblais-remblais, nous avons procédé à un recollement des sondages et des zones principales de déblais par secteur (sur la base des plans topographiques actuel et projet).

Compte tenu de l'hétérogénéité des sondages et des informations sur la qualité chimique, un rapprochement et des hypothèses de pourcentage de contribution de signature chimique, par rapport au volume total de déblais, ont été faites.

6.3.1.3 Limites des estimations des volumes de déblais / remblais

L'évaluation des surfaces de terres impactées a été effectuée sur la base d'un rapprochement avec des figures géométriques simples. Cette estimation ne tient pas compte, notamment, de la dispersion anisotropique de la pollution dans les sols et du caractère discontinu de la technique de prélèvement. En effet, il ne peut être préjugé du comportement de la contamination entre deux sondages distants, même de quelques mètres, l'un de l'autre.

Les profondeurs atteintes par les sondages et les analyses non systématiques n'offrait pas les données suffisantes pour caractériser finement les déblais générés sur toute l'emprise du projet. Ces surfaces sont donc extrapolées sur la base de l'orientation des zones attenantes. De ce fait, les volumes estimés ici et leur orientation pourront varier dans une large mesure lors de la phase travaux.

De plus, les orientations probables qui ont été présentées dans notre étude seront soumises à l'acceptation *in fine* des exploitants de filière(s).

L'évaluation quantitative des volumes de terres impactées a été effectuée sur la base du maillage des sondages réalisés sur site et de la profondeur de prélèvement des échantillons analysés.

Sont considérés comme non inertes les déblais dont au moins une analyse sur les sols n'est pas conforme aux seuils définis par l'arrêté du 12/12/2014 (avec pondération possible).

Les volumes s'entendent matériaux en place et ne tiennent pas compte du phénomène de foisonnement des terres lors de leurs excavations. Rappelons enfin qu'il s'agit d'une estimation réalisée à partir de surfaces déduites sur plan.

Remarque : *au droit de certains sondages, des indices organoleptiques de terrain (terres noires) ont été mis en évidence (cf. paragraphes 4 à 13, sous paragraphes « principales observations de terrain »). Les centres d'acceptation seront susceptibles de demander des analyses complémentaires au droit de ces mailles et un déclassement de certaines mailles pourra être envisagé.*

6.3.2 Présentation de la synthèse des cubatures et des orientations

Les volumes de déblais et remblais obtenus selon la méthodologie détaillée au paragraphe précédent sont présentés dans les tableaux reportés en annexe A6. Nous noterons que ces tableaux précisent pour chaque secteur les sondages retenus et la connaissance de la qualité chimique associée permettant de justifier des hypothèses de répartition en filières retenues.

En première approche, la synthèse des ventilations de déblais/remblais estimée est de :

Parcelle	Volume total de déblais	Volume orientable en ISDI	Volume orientable en ISDI+	Volume orientable en ISDND	Volume orientable en Biocentre	Volume orientable en ISDD	Volume orientable en ISDD + stabilisation	Volume total de Remblais du Projet
HYPOTHESE 1								
B Total déchets	41600	1228,5	1228,5	5265		17901	15977	-
B Projet	14700	2860	670	4240		3380	3550	5800
A et C	24700	1030	10580	12080	70	1050	-	21600
HYPOTHESE 2								
B Total déchets	41600	0	1228,5	6493,5		14952,6	18925,4	-
B Projet	14700	2500	600	4200		3600	3800	5800
A et C	24700	780	6300	9570	70	7980		21600

Le détail de l'estimation des orientations et des pourcentages de contribution est présenté dans le tableau de détail reporté en annexe A6.

L'hypothèse 2 présentée tient compte d'une ventilation des pourcentages de signature chimique par secteur moins favorable que la première estimation.

6.3.3 Présentation des techniques de dépollution applicables à la gestion des futurs déblais et bilan cout-avantage

6.3.3.1 Types de traitement retenu

Compte tenu de la nature de la contamination mise en exergue dans les sols du site et des volumes de matériaux à gérer dans le cadre de l'aménagement, les différents modes de gestion ou d'élimination envisageables en fonction de la nature des polluants et tenant compte des contraintes du site, sont les suivants :

- Optimisation des volumes de matériaux impactés par tri granulométrique sur site

L'optimisation par criblage concassage des déblais consiste en la réduction du volume de matériaux pollués, la pollution étant réputée sur les fractions fines de sols.

En revanche, cette technique ne peut être retenue dans le contexte du site sans prise en compte de l'utilisation d'un espace de confinement avec traitement des poussières (de type tente ou confinement dans un des bâtiments existant). En effet, dans le contexte urbain dense et au regard des chroniques de vents sur le secteur des risques d'impact en phase de terrassement et de mouvements de matériaux doivent être intégrés au dimensionnement des travaux de dépollution. Ce prétraitement sur site permettra en outre d'envisager l'utilisation de filière comme la cimenterie ou encore de retenir des solutions de stabilisation/solidification on site.

- Traitement hors site

Le traitement de sols est privilégié par rapport à l'envoi des matériaux en installation de stockage de déchets car il permet le traitement des matériaux, plutôt que leur simple stockage. Au regard des filières présentes localement, on retiendra selon les types de matériaux les filières ISDI+, ISDND, ISDD, ISDD + Stabilisation, ainsi que la filière cimenterie qui permet de recycler les déblais hors site.

Les AP des filières retenues au stade du Plan de Gestion et qui devront faire l'objet d'une validation in fine sont reportés en annexe A7 ; cette annexe comprend également la fiche de détail des critères imposés pour l'orientation de matériaux dans la cimenterie la plus proche géographiquement.

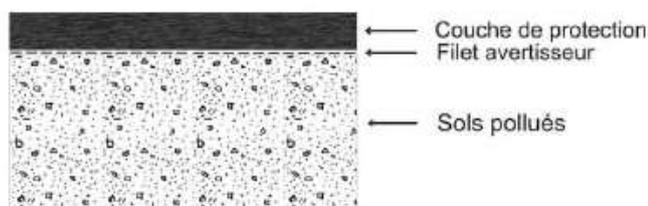
- Traitement on site

Au regard des contraintes existantes dans le secteur urbain dense et des couts de gestion des matériaux hors site, on retiendra un scénario de gestion intégrant plusieurs types de techniques adaptées selon la signature chimique retrouvées sur site et la nature des matériaux :

- Confinement par recouvrement :

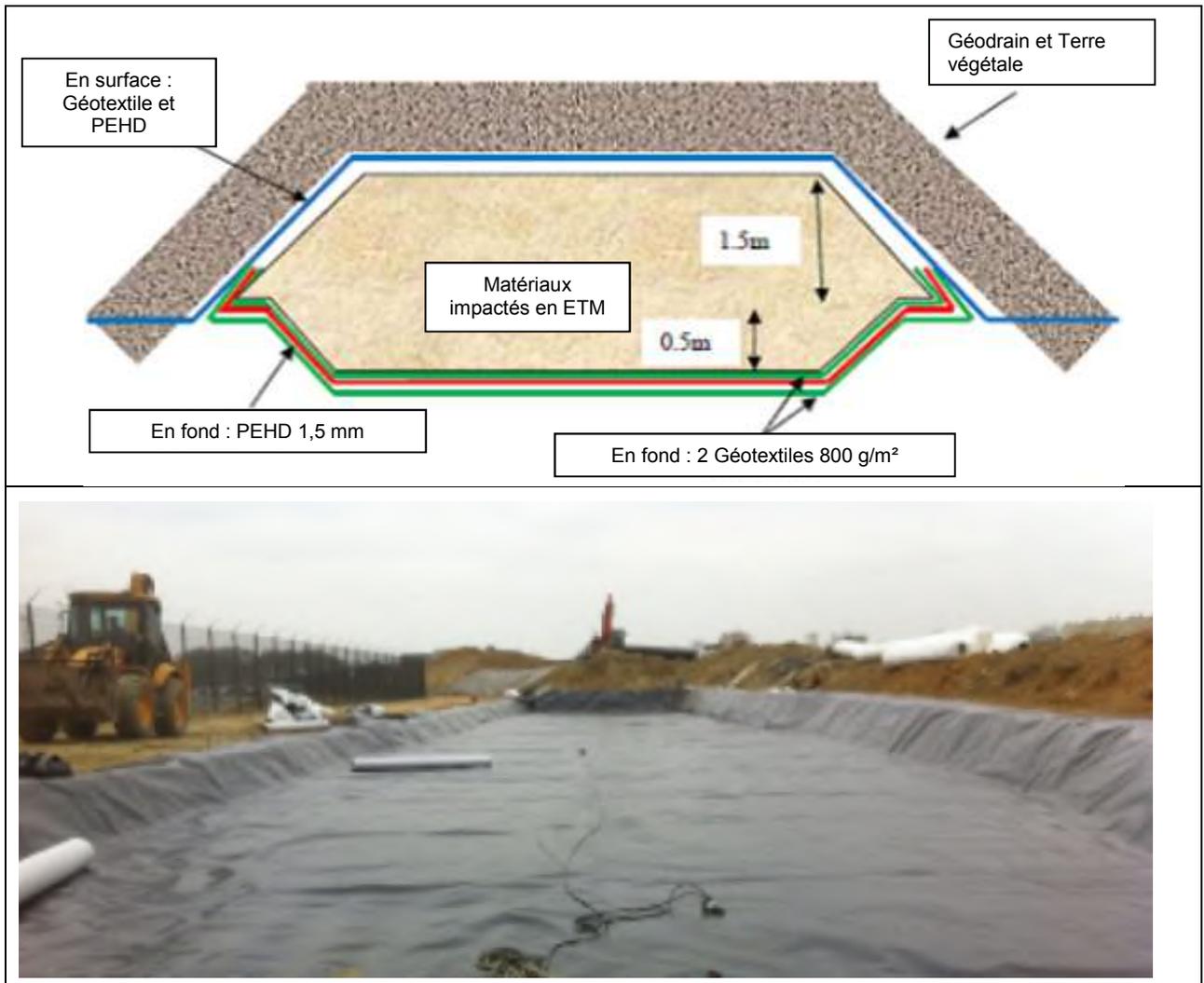
Cette technique pourra consister, sur les secteurs non concernés par des recouvrements projetés, de type dalle béton ou enrobé et en l'absence d'impact aux eaux souterraines au droit du site, en une couverture pour prévenir le contact direct l'ingestion et le réenvol de poussières (cf. schéma ci-dessous).

Couverture pour prévenir le contact direct l'ingestion et le réenvol de poussières

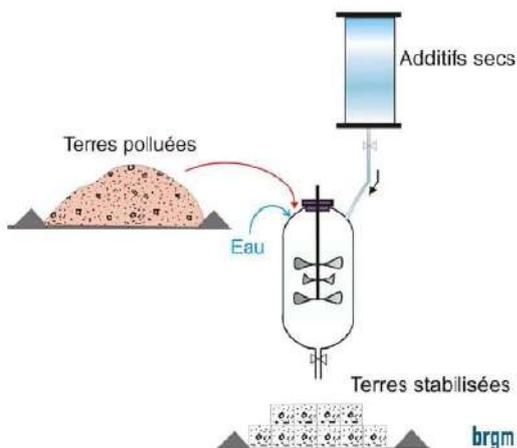


- Confinement sur site (encapsulation)

Cette technique consiste en enfermer physiquement sur site les sols par un dispositif de parois, couverture et fonds très peu perméables. Les matériaux ciblés ne comprennent pas d'anomalies en polluants volatils afin d'éviter la nécessité de gestion des volatils par la mise en place d'événements au sein des confinements.



o Solidification/stabilisation



Cette technique a pour but de piéger les polluants afin de réduire leur mobilité. Les polluants sont soit, liés physiquement, soit inclus dans une matrice stabilisée, soit liées chimiquement. Dans le cas présent de cocktail de polluants des formulations couplant plusieurs liaisons devront être envisagées.

Ce processus vise à réduire la masse, la toxicité, la mobilité, le volume ou la concentration des contaminants dans les milieux. Les processus pris en considération sont la dispersion.

Notons que la nature et la qualité chimique de certains futurs déblais nécessitera potentiellement, pour un maintien sur site et un réemploi, la mise en œuvre d'opérations de stabilisation/solidification. Ce type de traitement des futurs déblais permettra la création de volumes finis indurés. Ces volumes indurés pourraient être adaptés, selon les formulations, à une mise en œuvre dans la cheminée

rampante, ce qui permettrait, non seulement, la stabilisation d'un volume de déblais d'environ 1500 m³, mais également la mise en sécurité de la cheminée rampante (vis-à-vis des encroutements existants en parois intérieures de la cheminée, mais également vis-à-vis de l'intégrité même de l'ouvrage patrimonial à long terme). La mise en sécurité des carreaux bas par cette méthode de stabilisation/solidification est également envisagée à ce stade.

Notons que, compte tenu de la présence dans les futurs déblais d'arsenic et/ou de plomb et/ou de mercure et/ou de cyanures, des tests pilote en laboratoire devront être réalisés afin de valider, pour chaque type de matériaux et signature chimique, la faisabilité et la formulation adaptée, ainsi que la consistance optimale du coulis avec liant, pour permettre spécifiquement une mise en œuvre homogène et conforme au sein de la cheminée rampante.

Remarque : La traitabilité des futurs déblais, le test pilote de formulation et la faisabilité de la mise en œuvre devra faire l'objet d'études dédiées dans le cadre du PCT.

A ce stade, la méthodologie envisagée tient compte d'une mise en œuvre des matériaux par écoulement gravitaire (depuis des accès à créer régulièrement au sommet de la cheminée) avec un système de banche en bas de chacun des deux tronçons de cheminée, pour créer une butée pour la première phase d'injection et de remplissage.

Des matériaux stabilisés pourront également être réemployés sur site au niveau des carreaux bas, dont le sommet pourrait être terrassé dans le cadre du projet d'aménagement du bâtiment C1. De la même manière que pour la cheminée verticale, l'injection de matériaux stabilisés et solidifiés permettra un confinement des encroutements qui seront laissés en place.

- Traitement in situ

- o Phytostabilisation / Atténuation naturelle contrôlée

Cette technique de traitement a été retenue spécifiquement pour la gestion à moyen et long terme des pollutions dans les sols de surface au niveau du Massif des Calanques, en cohérence avec les mesures de gestion actuellement en cours sur l'emprise du Parc des Calanques, en ce qui concerne les impacts en ETM dans les sols de surface, en lien avec les activités historiques de l'Escalette.



La technique de phytostabilisation consiste à réduire la mobilité des polluants essentiellement métalliques (par adsorption, précipitation et maintien physique (confinement)) et par là-même à prévenir leur migration (biodisponibilité, lessivage, réenvols, ...). Rappelons que les sols phytostabilisés ne seront pas dépollués.

Elle a été sélectionnée parmi les techniques de phytoremédiation, en raison des tests de phytostabilisation actuellement en cours dans le parc des Calanques par l'IMBE et des échanges que l'équipe projet a pu avoir avec l'équipe de scientifiques travaillant sur le sujet depuis de nombreuses années (Projet Marseco entre autres).

Des techniques de phytostabilisation des métaux pourront être mises en œuvre dans le secteur Sud de la parcelle A, mais également sur le linéaire de la cheminée rampante ainsi qu'en pied de cheminée verticale haute (hors site).

L'équipe projet prévoit pour le dimensionnement de la technique, sa mise en œuvre et son **contrôle, de missionner le laboratoire de recherche de l'IMBE pour garantir la cohérence des mesures de gestion dans le Parc des Calanques et en limite sur l'emprise de la parcelle A, avec les actions en cours**

6.3.3.2 Intégration des contraintes du site pour dimensionnement des scénarios de gestion étudiés

Sur l'ensemble du site (Parcelles A, B et C), les contraintes à intégrer et mesures de gestion spécifiques à prévoir sont les suivantes :

- **RISQUES « POUSSIERE » LIES AUX TERRASSEMENTS, AUX OPERATIONS DE CRIBLAGE ET AU STOCKAGE DES TERRES CRIBLEES**

La gestion des poussières et la mise en sécurité de la population vis-à-vis du risque d'exposition par envol des poussières pendant les phases de travaux a été intégrée au dimensionnement des scénarios. En effet, les travaux sont susceptibles de générer des poussières au regard du régime des vents, avec des épisodes de vitesse particulièrement en ce qui concerne le Mistral.

Nous proposons après analyse des mesures de gestion pouvant être mises en œuvre de retenir la méthodologie de bon sens envisagée dans le cadre du Plan de Gestion de 2011 sur le site, qui consiste en un phasage des travaux sur les différentes parcelles en fonction des régimes de vents : lorsque le vent soufflera à une vitesse supérieure à 70 km/h (cf.Etude Valgo), les travaux de terrassement ne pourront pas être réalisés sur les zones impactées par des métaux de manière à prévenir l'envol de matériaux vers les habitations voisines, particulièrement au niveau de la parcelle B.

En effet, les relevés ayant servis à établir cette prescription, proviennent de la station de contrôle située à Marseille et ne sont donc pas spécifiques à cette zone (notons que Marseille est concernée par 100 jours de vent présentant une vitesse supérieure à 57 km/h, par an). Or le terrain se trouve au pied d'un versant du massif de Marseilleveyre qui présente une pente abrupte avec un sommet culminant à cet endroit à 320 m. Cette topographie provoque des brises thermiques orientées sud/sud est durant la journée (le vent monte le long du sommet), dont l'orientation s'inverse lorsque la température décroît en fin de journée (orientation Nord/nord-ouest). Pendant l'hiver, le Mistral rencontre une zone d'accélération à travers le massif des monts de Marseilleveyre, et un couloir favorable en fin de parcours dans l'axe du port de la Madrague.

Le régime des vents sur la zone de la Madrague nécessite l'apport de moyens compensatoires sur le site :

- Le **phasage par zones successives du chantier**, zones qui, une fois rendues compatibles, seront recouvertes d'une couverture de surface pour les constructions (concassé, bâtiments, parkings, voies d'accès...), prévient la création d'une zone décapée de 5 hectares en « un seul tenant », ce qui serait le cas si la dépollution était menée en une seule phase. Le chantier devra donc se dérouler par phases successives, et en tout état de cause les travaux devront se déployer selon la logique ci-après précisée, selon que le calcaire est affleurant ou que le terrassement nécessite des extractions en profondeur.
 - si le terrassement est réalisé sur une zone à calcaire affleurant, les matériaux seront extraits jusqu'au calcaire, au fur et à mesure de l'avancée des excavations.
 - si le terrassement est réalisé sur une zone présentant une épaisseur importante de terres impactées, l'excavation se fera verticalement, puis s'étendra horizontalement à partir du moment où la hauteur complète des matériaux aura été retirée sur un périmètre donné (au maximum 100 m²). En aucun cas, il ne sera procédé à des retraits de terre par couches successives, de la surface jusqu'aux matériaux sains en profondeur, et ce de manière à ne pas créer d'importantes surfaces à l'air libre, susceptibles de devenir des sources conséquentes d'émission de poussières

Sur l'emprise du crassier les **cadences de terrassement** retenues n'excèdent donc pas les 250 m³/jour afin d'intégrer les impossibilités de terrassement en période de vent supérieur à 70 km/h (soit terrassement 1 jour/3).

- Utilisation d'une brumisation avec adjonction d'agents tensio-actifs dédiés permettant la « fixation » sur les zones terrassées du crassier des poussières, au préalable des périodes d'arrêt de terrassement (épisodes de vents et fins de semaine non travaillées)
- Opérations de terrassements, criblage et réemploi en flux tendu selon le phasage afin de limiter au maximum le stockage de matériaux sur site, particulièrement les fractions fines réputées polluées et présentant une forte propension à l'envol
- Afin de s'affranchir du risque lié aux opérations de criblage sur site, une mesure de gestion consistant en la **mise en place d'une tente de confinement** est retenue à ce stade de l'étude. Une solution alternative confinement dans le bâtiment 1 existant pourra également être étudiée
- La **brumisation** devra être réalisée avec un minimum d'eau de sorte à ne pas générer d'écoulements importants autour des zones de terrassement.
- Le **convoyage des matériaux issus des terrassements sur le crassier**, par le biais du tunnel existant sous la voirie entre la parcelle B et la parcelle C au moyen d'un système de convoi dédié

- qui débouchera directement dans la tente de confinement sur site pour criblage (ou dans le bâtiment 1 si cette solution dans le bâtiment s'avère faisable).
- Les opérations de **nettoyage systématique des roues des engins** permettront de limiter la dispersion des poussières et de la boue éventuelle. Par ailleurs, le **balayage régulier** de la voirie limitera le risque d'empoussièrement du domaine public ainsi que de présence de boue hors site en période de pluie.
- Nécessité d'instaurer pendant toute la durée des travaux une surveillance environnementale de la qualité de l'air ambiant au moyen non seulement de prélèvements de poussières (jauge OWEN et plaquettes de dépôts), mais également de PM_{2,5} qui sont susceptibles d'être générées lors des opérations de terrassement.

Au regard de la sensibilité du contexte urbain dense et des enjeux sanitaires le Maître d'Ouvrage prévoit de s'adjoindre les services de ATMOSUD pour le dimensionnement de la surveillance (méthodologie, positionnement, périodicité, points d'arrêt, actions correctives, ...) au stade Projet ainsi que pour la réalisation de la surveillance en phase travaux.

- **RISQUES « RUISSELLEMENT » EN CAS D'ÉPISODE PLUVIEUX**

- Le terrassement des matériaux et leur gestion sur site et hors site, peut être à l'origine d'un risque d'entraînement de poussières et de terres polluées, par ruissellement de surface, en cas de pluie. Ce risque sera accru par la modification des caractéristiques d'absorption de l'eau du site, les terres limono-sableuses ayant été retirées, pour laisser apparaître le substratum crayeux. Dans ces conditions, les eaux susceptibles d'atteindre le milieu naturel après ruissellement, seraient chargées de matières en suspension contenant des métaux et des métalloïdes (colloïdes).

Compte tenu des connexions de certains réseaux avec le milieu naturel et d'un possible débordement en surverse vers la mer en cas d'orage intense, des mesures de gestion dédiées doivent être étudiées. La solution retenue dans le cadre du Plan de Gestion 2011 apparaît pertinente mais doit être dimensionner finement et adaptée au projet actuel. En revanche le principe de récupération des eaux par un système de cunette étanche en pied de crassier avec regard et pompe de relevage au travers du système de convoie (utilisation du tunnel) apparaît pertinent. L'objectif est de recycler les eaux stockées dans les formulations de stabilisation et de traiter les surplus par décantation ou traitement sur site et contrôle avant rejet. La solution d'utilisation des bassins existant sur le site doit être étudiée finement dans le cadre de la mission de dimensionnement de MOE au stade de l'AVP et du PRO.

Au stade du Plan de Gestion une gestion des eaux par un système de récupération relevage, traitement par décantation en bassin et rejet a été retenue. Une partie des eaux pourra être injectée dans le process de stabilisation solidification. La nécessité d'une solution de plus grande ampleur n'a pas été étudiée dans le détail à ce stade et donc non chiffrée.

6.3.4 Scénario de gestion retenus

Au regard des éléments développés, les 2 scénarios de gestion suivants ont été retenus et étudiés :

- Scénario 1 : excavation (intégrant les mesures de gestion détaillées dans le paragraphe précédent), tri granulométrique sous confinement et orientation en filière de traitement adaptée des matériaux criblés,
- Scénario 2 : excavation (intégrant les mesures de gestion détaillées dans le paragraphe précédent), tri granulométrique sous confinement et gestion on site selon le descriptif des traitements et confinement retenus en paragraphe 6.3.3.1.

De plus, une étude spécifique du cas particulier du crassier de la parcelle B a été réalisée selon une hypothèse alternative de gestion de 100% des déchets constitutifs du crassier sur la parcelle B a également été étudié par soucis de complétude.

6.3.5 Pollutions résiduelles et risques sanitaires ou environnementaux

Les mesures de gestion retenues dans le cadre des scénarios étudiés intègrent le maintien sur site d'une pollution. Cette pollution ne doit pas impacter les milieux ni générer un risque sanitaire.

Sur le site, les risques d'exposition par contact direct seront supprimés par recouvrement ou encapsulation et maintien du couvert végétal (pour limiter les envols de poussières) dans le secteur Sud de la parcelle A (voué à un usage de

promenade), associé à des opérations de phytostabilisation, en cohérence avec les actions en cours dans le Parc des Calanques (voir clôture et sanctuarisation du secteur Sud, pendant la phase de pilote et d'évaluation de la performance de la technique de phytostabilisation).

Concernant les sources liées aux infrastructures industrielles enterrées sur les parcelles C et A, l'analyse des mesures idoines pour leur gestion nécessite des investigations complémentaires dédiées, mais nous notons que ces sources ne génèrent pas de risques par inhalation (pas de détection de cyanures, ni de mercure volatil), ni par contact direct pour les futurs usagers (caractère enterré des structures). Par ailleurs l'impact à l'environnement lié au maintien éventuel de ces sources sur site sera vérifié dans le cadre des études complémentaires ; à ce stade, sur la base des données existantes, le caractère lixiviable des ETM est faible et la gestion des eaux de ruissellement sur les parties aménagées permettra de limiter les infiltrations d'eaux dans les sols.

Les conclusions de l'EQRS permettent de statuer sur la compatibilité de l'état des gaz des sols avec les usages projetés au droit de chaque futur bâtiment.

Par ailleurs, au niveau de la parcelle B, le projet d'aménagement intégrera la mise en place d'un système de confinement des déchets laissés en place (selon le projet de maintien des 2/3 du volume de déchets) qui seront recouverts et encapsulés. Par ailleurs, un système dédié permettra la gestion des eaux de ruissellement qui seront prises en charge et ne pourront être en contact avec les remblais résiduels laissés en place (et potentiellement impacter les milieux (plage et milieu marin)).

Enfin le risque d'exposition par envol de poussières depuis les parcelles B et C, ainsi que le secteur Nord de la parcelle A, sera supprimé par le recouvrement de l'intégralité des parcelles (par dalle béton au droit des futurs bâtiments, enrobé au niveau des voies de circulation et parking aérien, 30 cm de terre végétale au droit des futurs espaces verts à usage d'ornementation et espaces non revêtus).

Concernant le secteur Sud de la parcelle A, le risque d'envol de poussières sera limité par le maintien du couvert végétal et le traitement de phytostabilisation. La pertinence de réaliser des prélèvements et analyses de poussières en provenance de ce secteur pourra être discutée à l'issue des travaux d'aménagement.

6.3.6 Sélection des dispositions constructives et identification des restrictions d'usage

6.3.6.1 Sélection des dispositions constructives

Rappelons que la méthodologie française vise en premier lieu à favoriser le traitement des sources.

Toutefois, au regard des analyses technico-économiques présentées dans le présent Plan de Gestion, le traitement de toute la pollution n'apparaît pas recevable dans les conditions techniques et économiques actuellement développées sur le site. C'est dans ce cadre que des dispositions constructives et des restrictions d'usage sont intégrées au scénario de gestion, afin d'agir sur les transferts et les voies d'exposition.

La principale mesure de gestion constructive retenue consiste au recouvrement de l'intégralité de la surface des parcelles B et C à l'étude, ainsi que la parcelle A sur son emprise Nord⁹. Cette mesure, étant intégrée au projet d'aménagement, elle ne fera pas l'objet d'une analyse selon un BCA spécifique. Par ailleurs, au niveau de la parcelle B, les aménagements devront permettre de garantir le confinement des déchets qui seront laissés en place et supprimer toute voie de transfert au sable de la plage et milieu marin et le projet d'aménagement permettra de mettre en sécurité mécanique le crassier et les constructions avoisinantes. Un système de confinement dédié devra être étudié dans le cadre de l'étude de conception.

Aucune autre mesure constructive n'est prévue au regard de la qualité des gaz des sols connue et des conclusions de l'ARR. Ce point sera confirmé par la seconde campagne de prélèvement des gaz des sols au droit du site.

⁹ Cette emprise intègre le Secteur de la Maison de maître, du bassin et des espaces verts attenants, ainsi que le Secteur au Nord du chemin, sur lequel est prévu l'aménagement de l'ensemble de bâtiments C et qui est également le siège d'une partie du stock de remblais (issus des opérations historiques de terrassements et de démolition). Le Secteur Sud du chemin jusqu'au canal de Marseille (correspondant à un espace de végétation spontanée, assimilable à la configuration de l'espace naturel des Calanques) n'est pas intégré (proposition d'une mesure de gestion cohérente avec les futurs usages de promenade et actions en cours sur l'espace naturel du Massif (opérations de phytostabilisation))

6.3.6.2 Identification des restrictions d'usage adaptées aux enjeux

Rappelons que les restrictions d'usage servent à « informer sur les risques résiduels, encadrer les usages (notamment la réalisation de travaux ultérieurs comme par exemple l'intervention sur des canalisations), et pérenniser la conservation des informations sur l'état environnemental du site ».

Conformément aux préconisations du guide de la DGPR, la restriction d'usage retenue est la SUP car elle doit être favorisée et rien ne s'oppose à sa mise en œuvre (critère délai, nombre de propriétaire, acceptation du projet par le(s) propriétaire(s) et l'existence ou non d'un exploitant défaillant).

Un dossier de SUP sera mis en œuvre dans le cadre des deux scénarios de gestion étudiés. Les restrictions porteront sur les usages et activités possibles et préciseront que tout autre usage selon les secteurs sera soumis à études complémentaires préalables. Les objets sur lesquels elles porteront consisteront notamment en :

- **L'interdiction de réaliser toute activité qui pourrait endommager un confinement mis en œuvre sur site,**
- **Le maintien de la pérennité du complexe de couverture,**
- **L'interdiction de mettre en place des jardins potagers sur site en pleine terre (seuls des cultures en bac déconnectés des sols du site pourront être mises en œuvre,**
- **L'installation des canalisations d'eau potable en dehors des zones impactées ; le cas échéant, elles devront être métalliques et mises en place dans une tranchée de matériaux d'apport chimiquement inertes,**

6.3.6.3 Impact juridique des dispositions constructives / restrictions d'usage

Dans le cadre des deux scénarios de gestion, le propriétaire de la SFPTM et des parcelles A, B et C conserve la responsabilité inerrante à celle d'un ancien exploitant. En tant que propriétaire, aucune rémunération liée à la dépréciation des terrains qui pourraient résulter de la mise en place de restrictions d'usage par des servitudes d'utilités publiques ou de droit privé n'est à prévoir.

On se reportera au paragraphe 6.5 pour disposer d'un aide-mémoire pour l'identification des principaux enjeux juridiques (non exhaustif) issu du guide méthodologique ADEME pour l'élaboration du BCA en date de mars 2017.

6.3.7 Critères de comparaison retenus

5 familles de critères sont considérées :

- Critères techniques et normatifs
- Critères économiques
- Critères environnementaux
- Critères socio-politiques
- Critères juridiques et réglementaires

Les sous critères sont listés dans le Tableau 14 qui détaille également l'appréciation qualitative des avantages et inconvénients des scénarios retenus en fonction de ces critères.

Une note est attribuée pour chaque scénario étudié et pour chacun des sous-critères entre 1 et 5.

De plus une pondération a été définie pour chacun des sous-critères en collaboration avec le MOA en fonction des enjeux du projet entre 1 (faible enjeu) et 5 (fort enjeu).

Ainsi la note globale retenue peut varier entre 66 (somme des pondérations) et 330 (note maximale).

6.3.8 Hypothèses d'estimation des coûts

Les hypothèses d'estimation des coûts sont détaillées dans le tableau de synthèse des coûts par scénario tenant compte des 2 hypothèses de ventilation présentées en paragraphe 6.3.2..

Les hypothèses d'entrées suivantes ont été retenues pour l'estimation des coûts de gestion :

- Densité = 1,8
- Criblage/concassage sous tente (matériaux des parcelles A et C) : 89 €/m³
- Convoyage/criblage/concassage sous tente (matériaux de la parcelle B) : 114€/m³
- Stabilisation y compris toupie + bras : 170 €/m³
- Confinement étanche : 47 €/m³
- Remise en place sous voirie / remblaiement brut y compris reprise sur stock : 20 €/m³
- Transport et traitement en ISDI+ : 69.3 €/m³
- Transport et traitement en ISDND : 178.20 €/m³
- Transport et traitement en Biocentre : 128.70 €/m³
- Transport et traitement en ISDD : 257.40 €/m³
- Transport et traitement en ISDD+Stabilisation : 507.60 €/m³

Ces coûts ont été établis sur la base de consultation d'entreprises de dépollution (coût moyen retenu) et, dans le cas du traitement in situ, sur la base des coûts fournis par le guide établi par le BRGM « quelles techniques pour quels traitements – analyse coûts – bénéfiques » référencé BRGM/RP-58609-FR de juin 2010.

6.3.8.1 Scénario 1

Le montant globale de gestion de 11 000 à 12 000 k€H.T. respectivement pour les hypothèses 1 et 2 sur le scénario 1, ci-dessus n'intègre pas à ce stade :

- Les coûts de terrassement et particulièrement au niveau de la parcelle B, qui peuvent être estimés en première approche à 1 000 k€H.T.
- Les coûts de pulvérisation avec agent tensio-actif dédié, qui peuvent être estimé sur la base de 40 000 m³ de matériaux à terrasser à environ 200 k€H.T.
- Les coûts de système de collecte et de gestion des eaux selon un scénario simplifié ne tenant pas compte d'un bassin de décantation de grande ampleur, estimé à 100 k€H.T.
- Les coûts d'apport de matériaux rendu nécessaire au regard des besoins en déblais pour la réalisation du projet d'aménagement (le scénario 1 ne retenant pas de réemploi de matériaux sur site mais l'exportation des déblais)
- Les études complémentaires et MOE conception et travaux
- Le dossier d'instauration des servitudes

Le montant global de gestion intégrant ces postes et un pourcentage d'incertitude de 10% est de :

- 12 000 à 13 300 k€H.T. pour l'Hypothèse 1 su Scénario 1
- 13 000 à 14 400 k€H.T. pour l'Hypothèse 2 du Scénario 1

6.3.8.2 Scenario 2

La synthèse des cubatures, des mesures de gestion et coûts associés sur la base du scenario 2, selon l'Hypothèse de ventilation N°1 a permis d'estimer un budget de :

- Un montant globale de gestion de 5 800 k€H.T. qui n'intègre pas à ce stade : les coûts de terrassement (estimés en première approche à 1 000 k€H.T.), les coûts de pulvérisation avec agent tensio-actif dédié (estimé à environ 200 k€H.T.), les coûts de système de collecte et de gestion des eaux selon un scenario simplifié ne tenant pas compte d'un bassin de décantation de grande ampleur (estimé à 100 k€H.T.), les études complémentaires et MOE conception et travaux et le dossier d'instauration des servitudes
- Le montant global de gestion intégrant les estimations en première approche ci-dessus et un pourcentage d'incertitude de 10% est de : 7 100 à 7 800 k€H.T.

La synthèse des cubatures, des mesures de gestion et coûts associés sur la base du scenario 2, selon l'Hypothèse de ventilation N°2 a permis d'estimer un budget de :

- Un montant globale de gestion de 6 900 k€H.T. qui n'intègre pas à ce stade : les coûts de terrassement (estimés en première approche à 1 000 k€H.T.), les coûts de pulvérisation avec agent tensio-actif dédié (estimé à environ 200 k€H.T.), les coûts de système de collecte et de gestion des eaux selon un scenario simplifié ne tenant pas compte d'un bassin de décantation de grande ampleur (estimé à 100 k€H.T.), les études complémentaires et MOE conception et travaux et le dossier d'instauration des servitudes
- Le montant global de gestion intégrant les estimations en première approche ci-dessus et un pourcentage d'incertitude de 10% est de : 8 200 à 9 000 k€H.T.

L'étude de la parcelle B selon une approche financière, permet de mettre en évidence que la gestion du volume global de déchets, de 41 600 m³, nécessiterait un coût de gestion en filière(s) autorisée(s) de 15 000 à 16 000 k€H.T. (hors terrassement et mesures de gestion des eaux et poussières). Au regard du projet de réhabilitation de la parcelle B, la solution de gestion de l'intégralité du volume de déchet ne constitue pas une solution réaliste de dépollution. En effet, l'équilibre de l'opération de requalification de la parcelle B est trouvé en purgeant 1/3 du volume du crassier, en intégrant les contraintes urbanistiques et les attentes de la Collectivité (création d'aménagements publics et limitation des trafics en phase travaux),

Nous noterons en outre que le volume de matériaux qui sera purgé depuis la parcelle B correspond à plus de 95% à des remblais de type « démolition » mélangés à des remblais « chimiques », dont la signature peut comprendre des ETM et des cyanures mais à des teneurs moins importantes que les matériaux enfouis plus profondément, non terrassés dans le cadre du projet de requalification retenu.

6.3.8.3 Cas particulier du crassier de la parcelle B

Une hypothèse alternative de gestion de 100% des déchets constitutifs du crassier sur la parcelle B a également été étudié, conformément à la méthodologie nationale : la gestion des 41 600 m³ de déchets, nécessiterait un coût de gestion en filière(s) autorisée(s) de 15 000 à 16 000 k€H.T. (hors terrassement et mesures de gestion des eaux et poussières). Au regard du projet de réhabilitation de la parcelle B, la solution de gestion de l'intégralité du volume de déchet ne constitue pas une solution réaliste de dépollution. En effet, l'équilibre de l'opération de requalification de la parcelle B est trouvé en purgeant 1/3 du volume du crassier, en intégrant les contraintes urbanistiques et des attentes de la Collectivité (création d'aménagements publics et limitation des trafics en phase travaux).

6.3.9 Bilan Coûts-Avantages (BCA)

L'analyse des scenarios 1 et 2 a été réalisée sur la base d'un Bilan coûts-avantages par une analyse multicritères (conforme au guide ADEME de mars 2017). L'analyse multicritères (AMC) permet de comparer plusieurs scénarios de gestion de façon quantitative, par le biais de sous-critères pondérés et de notations des scénarios, en tenant compte des 5 familles de critères de notation retenues.

Tableau 14 : Bilan Coûts – Avantages (BCA) - GESTION DES FUTURS DEBLAIS GENERES PAR LES OPERATIONS D'AMENAGEMENT DU SITE

Famille de critères	Critères	Pondération retenue entre 1 (faible enjeu) et 5 (fort enjeu)	GESTION DES FUTURS DEBLAIS GENERES PAR LES OPERATIONS D'AMENAGEMENT DU SITE		GESTION DES FUTURS DEBLAIS GENERES PAR LES OPERATIONS D'AMENAGEMENT DU SITE	
			Scenario 1 : excavation (intégrant les mesures de gestion détaillées dans les paragraphes précédents), tri granulométrique sous tente et orientation en filière(s) de traitement adaptée(s) des matériaux criblés	Scenario 2 : excavation (intégrant les mesures de gestion détaillées dans le paragraphe précédent), tri granulométrique sous tente et gestion on site selon le descriptif des traitements retenus en paragraphe 6.3.3.1.	Evaluation du scénario	Justification
-1- Critères techniques, normatifs et organisationnels	1.1 Adéquation avec la typologie des polluants, les milieux impactés, l'accessibilité du site, ...	5	5	Suppression des concentrations diffuses et concentrées et évacuation hors site en filière(s) autorisée(s) de plus de 35 000 m3 de matériaux non inertes. Traitement par phytostabilisation des sols de surface dans la partie Sud de la parcelle A	4	Excavation des concentrations diffuses et concentrées et réemploi sur site selon la qualité chimique après traitement par stabilisation/solidification, confinement en encapsulation, recouvrement, Solution permettant le maintien sur site dans les zones de réemploi de plus de 70% des matériaux extraits et évacuation en ISDI+ et ISDND de moins de 8000 m3 de matériaux sur les 40 000 m3 de matériaux à terrasser pour l'aménagement du site Traitement par phytostabilisation des sols de surface dans la partie Sud de la parcelle A
	1.2 Nécessité de mettre en œuvre des études complémentaires selon la technique envisagée (dimensionnement, essais pilotes,...)	1	3	Des études dédiées de dimensionnement seront nécessaires pour les deux solutions de gestion concernant la méthodologie de terrassement, gestion des poussières, ... Sur ce scenario, des études de tri analytique fin des futurs déblais devront être réalisées pour fiabiliser les volumes, optimiser les orientations et les coûts de gestion La faisabilité également de trafic sur le réseau routier existant devra également être étudiée finement	2	Des études dédiées de dimensionnement seront nécessaires pour les deux solutions de gestion concernant la méthodologie de terrassement, gestion des poussières, ... Sur ce scenario, des essais pilotes doivent être réalisés sur les différentes signatures chimiques pour les opérations de stabilisation/solidification, des tri analytiques fin doivent également être entrepris pour fiabiliser les volumes et dimensionnement des mesures de réemploi La faisabilité également de trafic sur le réseau routier existant devra également être étudiée finement
	1.3 Abattement prévisionnel / rendement	4	4	Le scénario permet de traiter la totalité des volumes envisagés Les rendements seront affectés de la même manière sur les deux scenarios par les contraintes météorologiques et les nuisances potentielles	2	Le scénario permet de mettre en sécurité la totalité des volumes envisagés et de traiter les volumes de matériaux les plus « pulvérulants » et/ou les plus impactés (qui seront en priorité traités par stabilisation/solidification) Les mesures de confinement et recouvrement ne sont pas des mesures de dépollution en revanche Les rendements seront affectés de la même manière sur les deux scenarios par les contraintes météorologiques et les nuisances potentielles
	1.4 Temps disponible / durée du traitement	4	2	Solution soumise à un délai de travaux pouvant atteindre plus de 8 mois en fonction des conditions climatiques au regard de la limitation des terrassements en période de vent Les opérations de terrassement seront réalisées par phasage	2	Solution soumise à un délai de travaux pouvant atteindre plus de 8 mois en fonction des conditions climatiques au regard de la limitation des terrassements en période de vent Les opérations de traitement et réemploi des matériaux seront réalisées en flux tendu selon le phasage de chantier
	1.5 Impact résiduel Suivi des travaux / surveillance	4	4	Suppression des concentrations diffuses et concentrées – compatibilité sanitaire vérifiée avec l'usage projeté Suivi des travaux pour validation de la purge des zones de pollution concentrées + réception pour ARR et servitudes éventuelles	2	Excavation des concentrations diffuses et concentrées et réemploi sur site selon la qualité chimique après traitement par stabilisation/solidification, confinement en encapsulation, recouvrement, Suivi des travaux pour validation des opérations de traitement, confinement et réemploi + validation de la purge des zones de pollution concentrées + réception pour ARR et servitudes éventuelles
-2- Critères économiques	2.1 Coûts induits par les travaux de dépollution	5	1	Suppression des concentrations diffuses et concentrées et évacuation hors site en filière(s) autorisée(s) de plus de 35 000 m3 de matériaux non inertes (y compris criblage, tri sous tente). <i>Ce coût ne tient pas compte des besoins en remblais du projet qui nécessiteront des apports extérieurs</i> TOTAL : 12 000 à 14 400 K€ H.T.	5	Excavation des concentrations diffuses et concentrées et réemploi sur site selon la qualité chimique après traitement par stabilisation/solidification, confinement en encapsulation, recouvrement, ... (y compris criblage, tri sous tente) TOTAL : 7 100 à 9 000 K€ H.T.
	2.2 Coût des suivis ultérieurs, des restrictions d'usage, des dispositions constructives et de leur maintenance	4	4	Les coûts de suivis ultérieurs sur ce scénario concernent les opérations de phytostabilisation au Sud de la parcelle A, estimés en première approche à 150 K€H.T. à ce stade du Plan de Gestion, mais également les servitudes/conservations en mémoire et entretien maintenance des zones de confinement	2	Les coûts de suivis ultérieurs sur ce scénario concernent les opérations de phytostabilisation au Sud de la parcelle A, estimés en première approche à 150 K€H.T. à ce stade du Plan de Gestion, mais également les servitudes/conservations en mémoire et entretien maintenance des zones de confinement
-3- Critères environnementaux	3.1 Empreinte carbone / énergie / économie circulaire	4	1	Bilan carbone clairement très défavorable avec l'évacuation par camions de terres polluées hors site	4	Bilan carbone peu favorable : moins de trafic, et utilisation de peu d'énergie pour le traitement par solidification/stabilisation et le positionnement dans la cheminée rampante, les parkings aériens et éventuellement la zone de carreaux, comme pour le confinement ou encore les recouvrements
	3.2 Déchets générés/recyclage	4	1	Les déblais qui seront générés par les travaux de terrassement seront gérés comme des déchets en filière(s) autorisée(s)	4	La majeure partie des déblais et particulièrement les matériaux susceptibles de générer le plus de nuisances en cas d'évacuation hors site seront traités par stabilisation/solidification pour assurer le confinement des encroulements de la cheminée rampante patrimoniale ainsi que le maintien de son intégrité. Les matériaux seront réemployés sur site pour limiter les évacuations et recycler les matériaux afin de limiter les apports de matériaux de remblais
	3.3 Impact de la pollution résiduelle sur l'environnement	5	3	La pollution résiduelle essentiellement métallique sera recouverte sur site ou phytostabilisée	2	La pollution résiduelle essentiellement métallique sera solidifiée/stabilisée, recouverte ou encapsulée sur site ou phytostabilisée

Famille de critères	Critères	Pondération retenue entre 1 (faible enjeu) et 5 (fort enjeu)	GESTION DES FUTURS DEBLAIS GENERES PAR LES OPERATIONS D'AMENAGEMENT DU SITE		GESTION DES FUTURS DEBLAIS GENERES PAR LES OPERATIONS D'AMENAGEMENT DU SITE	
			Evaluation du scénario	Justification	Evaluation du scénario	Justification
-3- Critères environnementaux	3.4 Hygiène et sécurité sur site et hors site : envois de poussières, transport de terres, impacts sur les milieux	5	2	Par rapport au scénario 2, le transport de terres sera bien plus important hors site, avec des poussières à gérer dans ce cadre Pour les poussières sur site, les scénarios sont globalement équivalents	2	Par rapport au scénario 2, le transport de terres sera bien moins important hors site Pour les poussières sur site, les scénarios sont globalement équivalents, comme pour l'impact aux milieux au regard des mesures de confinement retenues
	4.1 Nuisances du chantier (visuelles, sonores, olfactives, ...)	5	1	Emission de poussières, bruit par rapport au voisinage.	1	Emission de poussières, bruit par rapport au voisinage.
-4- Critères socio-politiques et environnementaux	4.2 Augmentation du trafic	5	1	Très important trafic hors site (évacuation de 35 000 m3 de matériaux et importation de 20 000 m3 de remblais)	3	Trafic hors site moins important
	4.3 Acceptabilité du projet (usage futur, servitudes éventuelles, teneurs résiduelles, ...)	4	1	L'acceptabilité du projet dans son ensemble reste identique sur les 2 scénarios, mais le fait que les matériaux soient exportés pour traitement hors site pose d'importantes difficultés d'acceptation et ne sont pas en cohérence avec les attentes de la Collectivité	3	L'acceptabilité du projet dans son ensemble reste identique sur les 2 scénarios, mais le fait que le confinement, le recouvrement et la phytostabilisation ne constituent pas des opérations de dépollution peut induire des difficultés de l'ordre de l'acceptation sociétale.
	4.4 Bénéfices du chantier (création d'emploi, amélioration du cadre de vie, valorisation, mise en sécurité, ...)	4	2	Les bénéfices en général restent similaires sur les 2 scénarios, En terme de création d'emploi, le scénario 1 nécessite moins de personnel et d'opérations sur site (compensés par des transports). En terme de mise en sécurité, le projet permet de couper la voie de transfert du crassier vers les milieux et de garantir la stabilité mécanique de ce dernier. Des actions spécifiques supplémentaires devront être mises en œuvre pour la mise en sécurité de la cheminée rampante	4	Les bénéfices en général restent similaires sur les 2 scénarios, En terme de création d'emploi, le scénario 2 nécessite plus de personnel et d'opérations sur site. En terme de mise en sécurité, le projet permet de couper la voie de transfert du crassier vers les milieux et de garantir la stabilité mécanique de ce dernier. Il permet également le confinement de la cheminée rampante patrimoniale ainsi que des carneaux (au moyen des matériaux présentant une forte propension à l'envol
-5- Critères juridiques et réglementaires	5.1 Contraintes résiduelles (restriction d'usage, surveillance, ...)	3	3	La portée des restrictions d'usage est similaire sur les deux scénarios en ce qui concerne les pollutions résiduelles sur site dans les sols en place. Un dossier de SUP devra être établi et la mise en place d'une surveillance pourra être envisagée en fin de travaux sur une période d'une année afin de valider l'efficacité du confinement du crassier notamment.	2	La portée des restrictions d'usage est similaire sur les deux scénarios en ce qui concerne les pollutions résiduelles sur site dans les sols en place. Ce scénario nécessitera en plus la conservation en mémoire des zones de confinement et des secteurs stabilisés Un dossier de SUP devra être établi et la mise en place d'une surveillance pourra être envisagée en fin de travaux sur une période d'une année afin de valider l'efficacité du confinement du crassier notamment.
CUMUL DES NOTES :			153	Dans le cas du scénario 1	185	Dans le cas du scénario 2

L'analyse multicritères aboutit à un score global, notablement plus élevé pour le scénario 2 (avec 185 contre 153 pour le scénario 1), traduisant un niveau d'adéquation avec le contexte de gestion plus important pour le scénario 2 de gestion. Toutefois, afin d'apporter un regard critique sur l'issue de l'analyse multicritères, des tests de sensibilité ont été réalisés, sur les pondérations ainsi que les notations attribuées par sous-critères.

6.3.10 Test de sensibilité

Toute démarche comparative peut présenter un caractère subjectif. Le BCA ayant été réalisé par analyse multicritères, ce caractère subjectif s'exprime au travers de l'attribution des notes et des pondérations ; la subjectivité peut être amplifiée par les incertitudes associées aux critères considérés. L'un des intérêts majeurs de l'approche multicritères est la possibilité de réaliser des tests de sensibilité qui permettent d'apprécier dans quelle mesure les éléments les plus incertains/discutés influent sur l'issue du BCA.

Un calcul d'incertitude en travaillant sur les pondérations a été réalisé à l'aide du logiciel Crystal Ball en utilisant les lois de distribution indiquées dans le Tableau 15 suivant, afin de déterminer les intervalles de confiance (plages de variations possibles) des résultats.

Tableau 15 : Hypothèses prises en compte pour l'étude d'incertitude

Paramètre	Loi de distribution	Valeur retenue dans le BCA	Valeur minimale	Valeur maximale
1.1 - Adéquation avec la typologie des polluants, les milieux impactés, l'accessibilité du site, ...	Uniforme	5	2	5
1.3 - Abattement prévisionnel / rendement	Uniforme	4	2	5
1.4 - Temps disponible / durée du traitement	Uniforme	4	2	5
1.5 - Impact résiduel. Suivi des travaux / surveillance	Uniforme	4	2	5
2.1 - Coûts induits par les travaux de dépollution	Uniforme	5	2	5
2.2 - Cout des suivis ultérieurs, des restrictions d'usage, des dispositions constructives et de leur maintenance	Uniforme	4	2	5
3.1 - Empreinte carbone / énergie / économie circulaire	Uniforme	4	2	5
3.2 - Déchets générés/recyclage	Uniforme	4	2	5
3.3 - Impact de la pollution résiduelle sur l'environnement	Uniforme	5	2	5
3.4 - Hygiène et sécurité sur site et hors site : envols de poussières, transport de terres, impacts sur les milieux	Uniforme	5	2	5
4.1 - Nuisances du chantier (visuelles, sonores, olfactives, ...)	Uniforme	5	2	5
4.2 - Augmentation du trafic	Uniforme	5	2	5
4.3 - Acceptabilité du projet (usage futur, servitudes éventuelles, teneurs résiduelles, ...)	Uniforme	4	2	5
4.4 - Bénéfices du chantier (création d'emploi, amélioration du cadre de vie, valorisation, mise en sécurité, ...)	Uniforme	4	2	5

Un seul type de loi de distribution a été choisi. Avec une loi uniforme, toutes les valeurs comprises entre les valeurs minimale et maximale ont les mêmes chances de se produire, ce qui est le cas en ce qui concerne les pondérations (contrairement à une loi triangulaire où les valeurs proches du minimum et du maximum ont une probabilité moindre de se produire que celles qui se rapprochent de la valeur la plus probable).

Pour l'ensemble des paramètres de pondération « 4 » ou « 5 » dans le BCA, une plage de variation systématique de 2 à 5 est proposée par ERG ENVIRONNEMENT.

Le calcul d'incertitude réalisé avec Crystal Ball en utilisant ces données d'entrée fournit les valeurs moyennes et extrêmes présentées dans le Tableau 16 suivant.

Tableau 16 : Résultats de l'analyse de sensibilité sur les notes des scenario 1 et 2 (SC1 et SC2)

	Valeur minimale	Quantile 10 %	Quantile 30 %	Valeur médiane	Quantile 70 %	Quantile 90 %	Valeur maximale
SC1	97,90	112,99	118,82	124,02	128,70	135,35	150,54
SC2	118,24	134,16	142,74	148,04	153,11	161,36	178,28

Ainsi, même en faisant varier les pondérations d'une manière extrême, pour tous les paramètres pris en compte dans l'étude d'incertitude, le classement des deux scenarios n'évolue pas avec, pour les valeurs minimales ou maximales, une note toujours plus importante pour le scenario SC2.

L'analyse de sensibilité permet d'identifier les paramètres qui ont le plus d'influence sur les résultats du BCA. L'ensemble des résultats de l'analyse de sensibilité des variables d'entrée est présenté dans le Tableau 17 suivant.

Il est important de préciser que cette analyse de sensibilité ne porte que sur les paramètres pour lesquels une loi de distribution a été entrée dans le logiciel Crystal Ball.

Tableau 17 : Contribution des différents paramètres à la variance (prise en compte des contributions > 4,7%)

Paramètre	Contribution à la variance	
	SC1	SC2
1.1 - Adéquation avec la typologie des polluants, les milieux impactés, l'accessibilité du site, ...	28,9%	12,5%
1.3 - Abattement prévisionnel / rendement	15,5%	-
1.5 - Impact résiduel. Suivi des travaux / surveillance	15,9%	-
2.1 - Coûts induits par les travaux de dépollution	-	15,6%
2.2 - Cout des suivis ultérieurs, des restrictions d'usage, des dispositions constructives et de leur maintenance	10,2%	-
3.1 - Empreinte carbone / énergie / économie circulaire	-	10,9%
3.2 - Déchets générés/recyclage	-	13,2%
3.3 - Impact de la pollution résiduelle sur l'environnement	8,8%	-
3.4 - Hygiène et sécurité sur site et hors site : envois de poussières, transport de terres, impacts sur les milieux	4,8%	4,7%
4.1 - Nuisances du chantier (visuelles, sonores, olfactives, ...)	-	9%
4.4 - Bénéfices du chantier (création d'emploi, amélioration du cadre de vie, valorisation, mise en sécurité, ...)	6,3%	14,3%

L'analyse de sensibilité réalisée à l'aide du logiciel Crystal Ball révèle que les paramètres les plus sensibles (c'est-à-dire ceux qui influencent le plus le résultat) ne sont pas les mêmes pour SC1 et SC2. A titre de comparaison, on peut noter que :

- La note SC1 est influencée d'une manière prépondérante par les paramètres 1.1, 1.3 et 1.5 ayant attrait aux critères techniques, normatifs et organisationnels (avec des contributions à la variance de 15,5 à 28,9%). Le paramètre complémentaire qui influence à plus de 10% la variance est le 2.2.
- La note SC2 est pour sa part influencée d'une manière plus équilibrée (avec des contributions à la variance de 10,9 à 15,6%) par les paramètres 1.1, 2.1, 3.1, 3.2 et 4.4 qui couvrent la quasi-totalité des critères : critères techniques, normatifs et organisationnels, critères économiques, critères environnementaux et critères socio-politiques et environnementaux.

Sur les paramètres influençant pour chaque scenario, les notes attribuées dans l'AMC sont comprises entre 4/5 et 5/5.

Le test de sensibilité a été complété par une étude de la sensibilité de la notation, focalisée sur les notes pouvant être soumises à discussion sur le SC2 (qui présentent la meilleure note selon les premières notations de l'AMC et l'étude d'incertitude) ; la variante de notation suivante a été étudiée :

Paramètre	Notation initiale SC2	Variante à l'étude SC2
1.1 - Adéquation avec la typologie des polluants, les milieux impactés, l'accessibilité du site, ...	4/5	2/5
<i>L'adéquation avec la typologie des polluants n'est pas discutée, en revanche les solutions de confinement et réemploi ne constituent pas des opérations de dépollution. De ce point de vue la notation de 4/5 initiale peu apparaitre trop optimiste, même si la stabilisation/solidification sera adaptée aux cocktail de polluants à traiter</i>		
1.5 - Impact résiduel. Suivi des travaux / surveillance	2/5	1/5
<i>Compte tenu des mesures de gestion retenues sur le scénario 2, il peut apparait trop favorable de ne pas retenir la note de 1 sur ce sous-critère, même si les voies de transfert seront toutes supprimées.</i>		
2.1 - Coûts induits par les travaux de dépollution	5/5	5/5
<i>Compte tenu de l'écart de budget entre les deux scenarios et des montants en jeux, ce sous-critères bien qu'identifié comme influençant notablement la variance ne sera pas revu dans cette analyse de sensibilité sur la notation.</i>		
3.2 - Déchets générés/recyclage	4/5	3/5
<i>Les mesures de gestion retenues dans le cadre du scénario 2 peuvent être assimilées à un recyclage par réemploi des déblais sur site (afin de combler les besoins en remblais sur site). Toutefois, la notation de 4/5 peut apparait favorable au regard de la note de 1 imposé au scénario 1 qui consiste en l'élimination en filière(s) autorisée(s) hors site de l'intégralité des déblais générés. Une solution de recyclage des futurs déblais devra être étudiée dans le cadre du PCT sur la base des sous-maillages des futurs déblais afin de vérifier la possibilité de gestion de certains lots de déchets en cimenterie.</i>		
3.3 - Impact de la pollution résiduelle sur l'environnement	2/5	1/5
<i>Compte tenu du maintien sur site de lots de déblais dans le cadre du scénario 2, la notation de 2 peut-être discutable et une note minimale de 1 a été imposée dans le cadre de cette simulation</i>		
4.3 - Acceptabilité du projet (usage futur, servitudes éventuelles, teneurs résiduelles, ...)	3/5	3/5
<i>Les notations proposées tiennent compte des 2 scenario l'un par rapport à l'autre. Sur cette base la note de 2 initialement imposée était justifié par le scenario inacceptable pour la Collectivité d'exportation de l'intégralité des déblais. Toutefois le traitement sur site, le confinement et le réemploi de matériaux sur site peut s'avérer difficilement acceptable et la note de 3 critiquable. Toutefois, au regard des exigences de non exportation des matériaux hors site par voie routière ou maritime, le scenario de gestion on site ont été naturellement privilégiée. Nous proposons de maintenir la note de 3 dans ce cadre.</i>		
4.4 - Bénéfices du chantier (création d'emploi, amélioration du cadre de vie, valorisation, mise en sécurité, ...)	4/5	3/5
<i>Les bénéfices du chantier sur le scénario 2 qui ont motivé la notation de 4/5 sont proches des bénéfices sur le scénario 1 et l'écart de 2 points entre les 2 scenario peut être critiqué.</i>		

Le score global du scénario 2, présentant dans l'AMC du BCA la meilleure note, a été réestimé et reste supérieur à la note sur le scénario 1 avec un écart de 10 points.

Notons que le BCA est adaptable au fil de la réalisation des études et sera notamment mis à jour lors de l'établissement du plan de conception des travaux (PCT), qui a ce stade n'est pas intégré dans le présent plan de gestion.

A titre d'illustration sont proposés en figures 31 et 32, pages suivantes les schémas de principe de gestion du scénario 2 qui présente le plus important niveau d'adéquation avec le contexte de gestion.

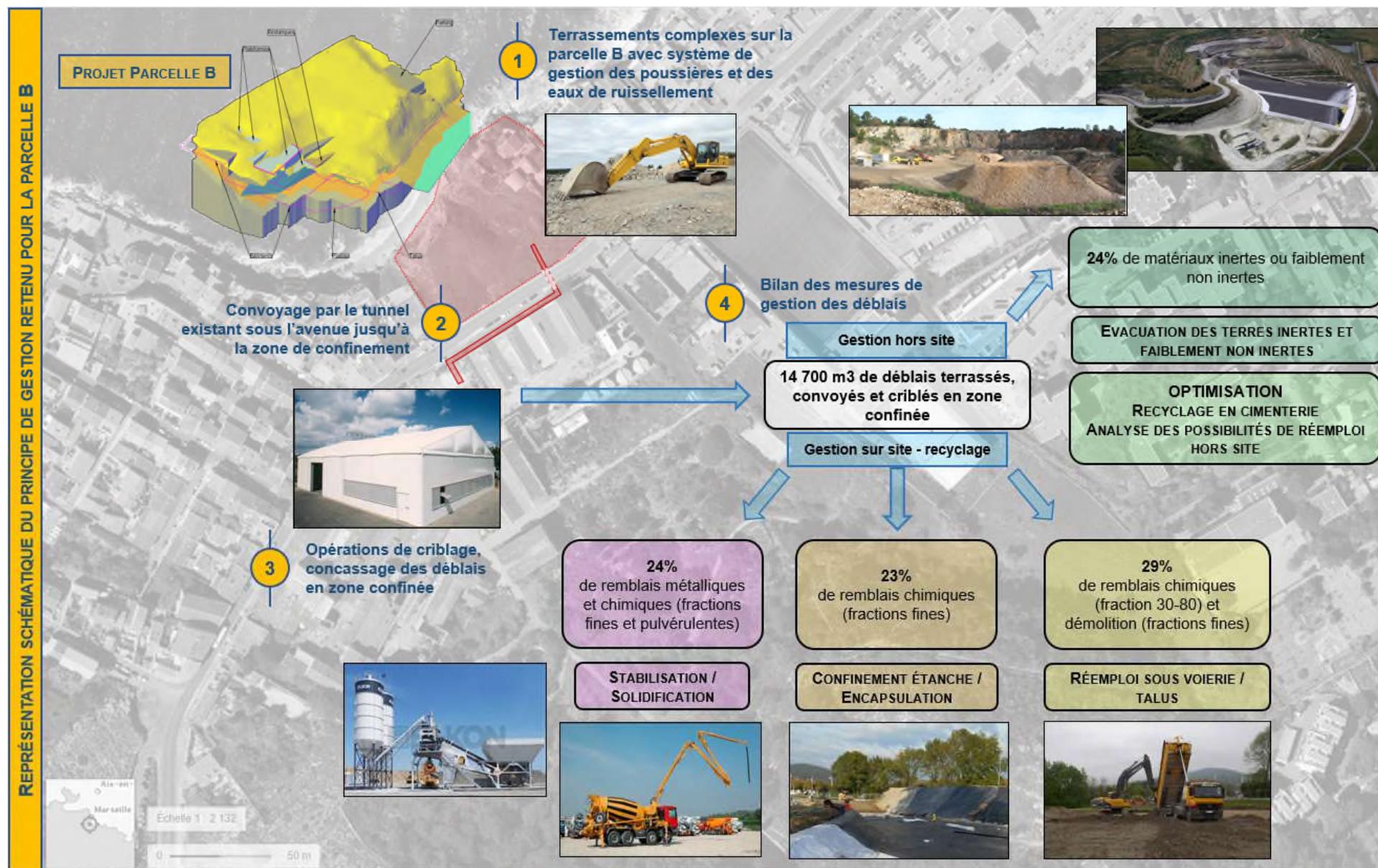


Figure 31 – Représentation Schématique du principe de Gestion retenu pour la Parcelle B dans le cadre du Scenarion N°2

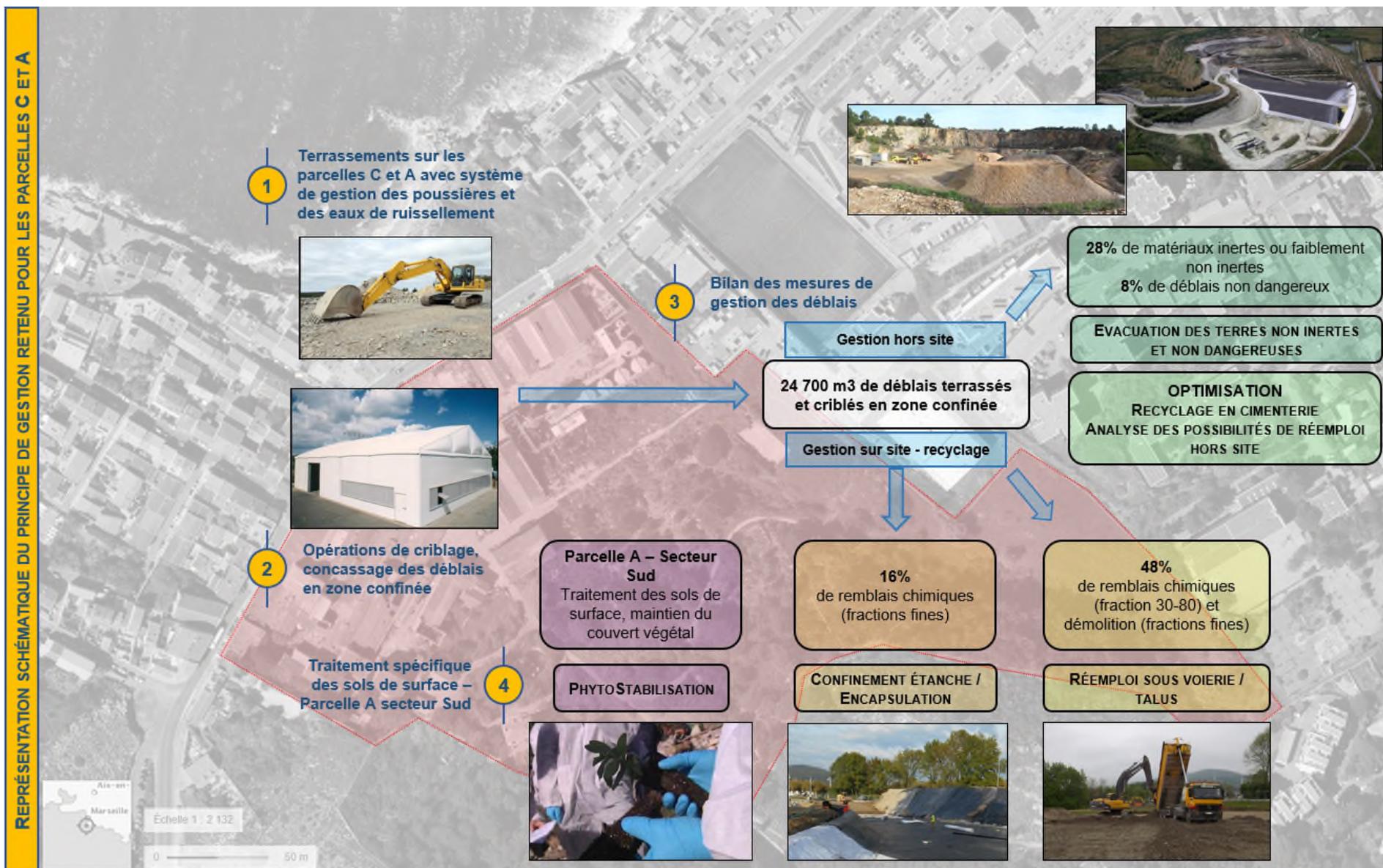


Figure 32 – Représentation Schématique du principe de Gestion retenu pour les Parcelles C et A dans le cadre du Scenario N°2

6.4 Mesures de Gestion des sources concentrées encore en place

6.4.1 Mesures de Gestion des sources sols encore en place après gestion des futurs déblais

Conformément à la méthodologie nationale, le plan de gestion doit être d'une ampleur proportionnée aux pollutions et à leur étendue. Ainsi, lorsque les volumes de terres polluées en cause sont limités et accessibles, les terres sont excavées et évacuées vers des filières de gestion appropriées sans engager d'études plus poussées qui devraient aboutir finalement à cette option de gestion. Dans ce cas précis, le bilan coût-avantage n'est pas nécessaire et le plan de gestion se limite à décrire les actions engagées. Une purge et une gestion en filière autorisée des matériaux impactés sera donc retenue comme gestion des zones sources qu'il est prévu de terrasser dans le cadre du projet d'aménagement (T8, S2-LM, T11) ainsi que des zones sources dans les sols de surface au niveau de :

- E9 (intégrant E9b et E9c) impactés en HCT
- SD1 impacté en CNT
- TM18 et TM21 impactés en Hg.

Le coût de gestion en filières autorisées de ces zones source (hors terrassement et MOE travaux), basés sur les dimensionnements estimés en paragraphe 4.2.5 est estimé à un coût de gestion de 19 à 38 k€H.T..

Concernant les CNT et les CNI, les volumes de terres polluées en cause sont localisés à proximité directe des carreaux bas dont l'emprise précise a été repositionné rappelons-le sur la base des plans historiques disponibles. Dans ce cadre et au regard du caractère hétérogène des remblais dans ce secteur, les anomalies enregistrées en profondeur sont potentiellement non limitées spatialement.

Sur cette base, il apparaît plus pertinent d'étudier les mesures de gestion des anomalies en cyanures dans les sols en profondeur dans le cadre de l'analyse des mesures de gestion et de mise en sécurité de la zone source des carreaux bas potentiellement à l'origine des anomalies en cyanures enregistrées dans les sols profonds.

Concernant le Hg, les volumes de terres polluées en cause semblent limités mais peu accessibles (dans les sols en profondeur jusqu'à 3.9 m par rapport au niveau actuel), c'est pourquoi une solution d'excavation et d'évacuation des matériaux vers des filières de gestion appropriées n'est pas retenue d'office.

Notons par ailleurs que ces anomalies ont été enregistrées exclusivement au voisinage de la cheminée rampante sur son linéaire enterré. Dans ce cadre les anomalies enregistrées en profondeur sont potentiellement représentatives d'une qualité chimique des sols profonds plus étendue (potentiellement sur le linéaire au voisinage de la cheminée enterrée).

Sur cette base et à l'instar de l'analyse conjointe des cyanures profonds avec les carreaux bas, il apparaît plus pertinent d'étudier les mesures de gestion des anomalies en mercure dans les sols en profondeur dans le cadre de l'analyse des mesures de gestion et de mise en sécurité de la zone source de la cheminée rampante sur son linéaire enterré (potentiellement à l'origine d'anomalies dans les sols profonds au voisinage de la cheminée enterrée).

6.4.2 Sources liées aux anciennes activités historiques : Anciens carreaux bas partiellement enfouis et cheminées

Concernant la source cheminée verticale sur site, il est proposé d'en murer l'accès. La solution technique pour le nettoyage des encroutements intérieurs sur parois de la cheminée n'a pas été étudiée en l'absence de voie de transfert depuis la cheminée verticale. En revanche l'intégrité de la structure devra être garantie pendant les phases de travaux et des études dédiées doivent être réalisées en phase de conception.

Concernant la source cheminée horizontale sur son tronçon enterré sur site, des investigations complémentaires ciblées sur l'ouvrage devront être réalisées, dans le cadre du PCT.

En effet, en fonction de son état, des mesures spécifiques de gestion pourront être envisagées (comme des injections dans les vides existants par exemple afin d'inertiser les structures), aucun aménagement n'étant prévu au droit du linéaire souterrain de la cheminée rampante. Les investigations préconisées consistent en des campagnes de prospections géophysiques, voir des investigations de découverte de l'ouvrage à la pelle mécanique. Par ailleurs, des analyses du caractère lixiviable particulièrement de la source en mercure dans les sols devront également être réalisées afin de permettre d'étudier les solutions de gestion, dans une démarche de validation de l'absence d'impact aux milieux, et selon une démarche conforme de BCA.

Sur la base des investigations réalisées au niveau de la cheminée rampante sur son linéaire aérien, des opérations de démolition et extraction de la cheminée sur son linéaire souterrain ne sont pas recommandées au regard du caractère peu lixiviable des substances en présence et de la propension à l'envol potentiel des encroutements de parois en cas de démolition pour extraction. Les investigations complémentaires et particulièrement la validation du caractère non lixiviable des anomalies connues au droit et aux abords de la cheminée rampante sur son linéaire enterré, permettront l'analyse des mesures de gestion idoines, qui comprendront une solution d'injection dans les vides de la cheminée et une solution de maintien sur site avec l'instauration de servitudes et de conservation en mémoire. La faisabilité des solutions envisagées devra faire l'objet d'études dédiées dans le cadre du PCT.

Concernant la source carneaux, des investigations complémentaires ciblées sur l'ouvrage devront être réalisées, dans le cadre du PCT. De la même manière, les investigations préconisées consistent en des campagnes de prospections géophysiques, voir des investigations de découverte de l'ouvrage à la pelle mécanique. Par ailleurs, des analyses du caractère lixiviable particulièrement de la source en CNt et CNi dans les sols devront également être réalisées afin de permettre d'étudier les solutions de gestion, dans une démarche de validation de l'absence d'impact aux milieux, et selon une démarche conforme de BCA. Il conviendra en outre de réaliser des investigations géotechniques complémentaires, un bâtiment projeté étant implanté en partie au droit des carneaux.

Sur la base des investigations réalisées au niveau de la zone de carneaux, des opérations de démolition et extraction ne sont pas recommandées au regard du caractère peu lixiviable des substances en présence et de la propension à l'envol potentiel des encroutements de parois en cas de démolition pour extraction. Les investigations complémentaires et particulièrement la validation du caractère non lixiviable des anomalies connues au droit et aux abords des carneaux, permettront l'analyse des mesures de gestion idoines, qui comprendront une solution d'injection dans les vides des carneaux et une solution de maintien sur site avec l'instauration de servitudes et de conservation en mémoire. La faisabilité des solutions envisagées devra faire l'objet d'études dédiées dans le cadre du PCT.

6.5 Rappel de la réglementation sur les contraintes juridiques

Le tableau suivant, issu du guide méthodologique ADEME de mars 2017 « élaboration des bilans coûts-avantages adaptés aux contextes des gestion des sites et sols pollués », constitue un aide-mémoire pour l'identification des principaux enjeux juridiques (non exhaustif).

Thématique	Implications possibles pour le MO et/ou le responsable juridique de la pollution
Hygiène Sécurité Environnement (HSE)	Le MO conserve une part de responsabilité juridique relative aux éventuelles problématiques HSE en lien avec la réhabilitation entreprise au droit du site.
Autorisations administratives	La mise en œuvre de certaines techniques de dépollution requiert l'obtention préalable d'autorisations administratives.
Loi sur l'eau	Dans les contextes hors ICPE, il convient de vérifier les rubriques de l'article R214-1 du code de l'environnement pour déterminer si un dossier « loi sur l'eau » doit être établi. Dans le contexte d'un site ICPE, le cas échéant, un porté à connaissance ICPE devra être transmis à l'administration en lieu et place du « dossier loi sur l'eau » (conformément à l'article L214-1). Dans le cas d'une pollution accidentelle, il n'est par ailleurs pas nécessaire d'établir un « dossier loi sur l'eau ». Le préfet doit néanmoins être informé (conformément à l'article R214-44 du code de l'environnement).
Déchets	Le MO conserve la responsabilité des déchets générés sur le site d'étude jusqu'à leur revalorisation ou élimination finale selon des filières adaptées.
Pollutions résiduelles	Le responsable de la pollution au sens juridique (propriétaire, exploitant, MO...) conserve une responsabilité juridique à long terme dans le cas où une pollution résiduelle est laissée en place sur site après la réhabilitation. Des surveillances ultérieures pourront être nécessaires. Il sera alors du ressort du responsable de la pollution d'en assurer (y compris financièrement) l'organisation régulière.
Restrictions d'usage	La mise en place de restrictions peut engendrer un coût lié à la dépréciation des terrains. Dans certains cas, le responsable de la pollution devra indemniser les propriétaires concernés par la mise en place d'une restriction d'usage les concernant.

7. ANALYSE DES RISQUES RÉSIDUELS

L'analyse des risques Résiduels sur la base de la connaissance de l'état des milieux connue à ce stade permet de mettre en évidence une compatibilité de l'état des milieux avec les usages projetés pour le risque par inhalation dans les bâtiments de plain-pied projetés au droit des parcelles A et C.

Une campagne complémentaire de contrôle des gaz du sol est préconisée, conformément au guide des bonnes pratiques, au regard de la variabilité de ce milieu, afin de valider l'état du milieu est l'analyse des risques.

Par ailleurs, la mise en place des mesures de gestion et dispositions constructives retenues à ce stade dans le cadre des deux scénarios de gestion retenus permettra de supprimer les voies de transfert et d'exposition, il s'agit principalement de :

- La mise en place de recouvrement de surface et encapsulation sur l'ensemble des parcelles C, B et A sur son secteur Nord, pour supprimer le risque d'exposition par contact direct des futurs usagers du site ;
- Le maintien du couvert végétal (pour limiter les envols de poussières) dans le secteur Sud de la parcelle A, qui correspond à un espace de végétation spontanée, assimilable à la configuration de l'espace naturel des Calanques, plus éloigné des futurs logements et à usage futur de promenade. Des opérations de traitement par phytostabilisation sont prévues¹¹ sur ce secteur Sud
- Le confinement de la masse de déchets résiduelles qu'il est prévu de laisser en place dans le cadre des opérations d'aménagement sur la parcelle B, afin de supprimer les voies de transfert au sable de la plage et au milieu marin
- L'aménagement, dans des sols non impactés ou dans un lit de matériaux d'apports sains, des réseaux d'adduction d'eau pour supprimer tout risque d'ingestion d'eau potable pour les futurs usagers du site ;
- La restriction de l'usage potager à des cultures hors sols uniquement sur l'emprise du projet (autoproduction autorisée exclusivement en bac déconnectés des sols en place).
- Le confinement des encroutements dans la cheminée rampante aérienne (remplissage de la cheminée par coulis (solidification/stabilisation de déblais impactés) qui permet de supprimer le risque par contact direct des promeneurs dans les Calanques (seule solution permettant de garantir l'absence d'intrusion dans les cheminées)

Remarque : La mise en place de traitement par phytostabilisation dans les sols de surface à proximité du linéaire de la cheminée rampante et au pied de la cheminée haute, est également prévu, afin de permettre de réduire la mobilité des polluants métalliques, en cohérence avec les actions en cours.

¹¹ Actions sur le secteur Sud de la parcelle A, en cohérence avec les actions en cours dans le Parc des Calanques. L'accès au secteur Sud de la parcelle A sera limité par une clôture pendant la phase de pilote et d'évaluation de la performance de la technique de phytostabilisation.

8. MESURES MINIMALES DE GESTION ET ETUDES COMPLEMENTAIRES

8.1 Dispositions de gestion minimales à mettre en œuvre

Afin de supprimer le contact direct avec les sols pour les futurs usagers du site (présence de métaux lourds dans les sols de surface), il conviendra de mettre en place des mesures de gestion simples, de bon sens. Ces mesures sont posées comme hypothèses pour l'analyse des risques sanitaires et sont décrites ci-dessous :

- Un **recouvrement de l'ensemble des parcelles B, C et A sur le secteur nord**, en fonction du projet, par :
 - un recouvrement pérenne des surfaces extérieures (bitume, béton...),
 - des bâtiments (dalle béton) ;
 - 30 cm minimum de terres saines au droit des espaces verts collectifs et des zones non couvertes par des revêtements (hors secteur Sud (du chemin jusqu'au canal de Marseille, correspondant à un espace de végétation spontanée, assimilable à la configuration de l'espace naturel des Calanques) de la parcelle A)

Cette disposition est déjà prévue dans le cadre du projet d'aménagement.

- **Une gestion des canalisations d'eau potable**

Conformément aux bonnes pratiques, les canalisations d'eau potable devront préférentiellement être installées en dehors des zones impactées. Si elles devaient être mises en place au droit de zones impactées, elles devront être métalliques ou mises en place dans une tranchée de matériaux propres rapportés (sablon).

Cette disposition est déjà prévue dans le cadre du projet d'aménagement.

8.2 Études complémentaires et Plan de conception de Travaux

8.2.1 Investigations complémentaires des sols

8.2.1.1 Sources cheminée horizontale sur son tronçon enterré sur site et carneaux bas

Des investigations complémentaires ciblées sur les ouvrages devront être réalisées, dans le cadre du PCT.

En effet, en fonction de leur état, des mesures spécifiques de gestion pourront être envisagées (comme des injections dans les vides existants par exemple afin d'inertiser les structures), aucun aménagement n'étant prévu au droit du linéaire souterrain de la cheminée rampante. Les investigations préconisées consistent en des campagnes de prospections géophysiques, voir des investigations de découverte des ouvrages à la pelle mécanique. Par ailleurs, des analyses du caractère lixiviable particulièrement de la source en mercure dans les sols au niveau de la cheminée et de la source en CNT et CNI dans les sols à proximité des carneaux devront également être réalisées afin de permettre d'étudier les solutions de gestion, dans une démarche de validation de l'absence d'impact aux milieux, et selon une démarche conforme de BCA. Il conviendra en outre de réaliser des investigations géotechniques complémentaires, un bâtiment projeté étant implanté en partie au droit des carneaux.

Sur la base des investigations réalisées au niveau des structures historiques, des opérations de démolition et extraction de la cheminée sur son linéaire souterrain, comme des carneaux enfouis ne sont pas recommandées au regard du caractère peu lixiviable des substances en présence et de la propension à l'envol potentiel des encroulements de parois en cas de démolition pour extraction. Les investigations complémentaires et particulièrement la validation du caractère non lixiviable des anomalies connues au droit et aux abords des structures historiques, permettront l'analyse des mesures de gestion idoines, qui comprendront une solution d'injection dans les vides de la cheminée et une solution de maintien sur site avec l'instauration de servitudes et de conservation en mémoire. La faisabilité des solutions envisagées devra faire l'objet d'études dédiées dans le cadre du PCT.

8.2.1.2 Zones de terrassement et d'aménagement en général dans le cadre du projet à l'étude

Dans le cadre de la gestion des futurs déblais, un tri préalable complémentaire est recommandé préalablement aux travaux afin de fiabiliser les volumes, optimiser les orientations et les dimensionner les mesures de gestion.

Par ailleurs, au regard des contraintes d'accès à certains secteurs du site, des contraintes d'intervention et de l'échelle d'étude (maillage), certaines zones n'ont pu être investiguées (notamment la zone du parc à cuve). Des investigations complémentaires sont préconisées au niveau de ces secteurs afin de réduire les incertitudes associées.

8.2.2 Investigations complémentaires des gaz des sols

Une campagne complémentaire de contrôle des gaz du sol est préconisée, conformément au guide des bonnes pratiques, au regard de la variabilité de ce milieu.

8.2.3 Essais de faisabilité

Dans le cas du traitement par stabilisation/solidification des essais pilotes devront être réalisées pour dimensionner et valider l'efficacité de la technique retenue selon les signatures chimiques par lot de matériaux (missions **B111**-Essais de laboratoire et **B112**-Essais en pilote de la norme NF X 31-620).

Des études spécifiques d'évaluation de la faisabilité pour la mise en œuvre des opérations de phytostabilisation sur le site seront réalisées par les équipes scientifiques de l'IMBE (tests pilote, dimensionnement, ...).

8.2.4 Études de conception

Le Plan de Gestion vise à définir les mesures de gestion et dispositions constructives à mettre en place afin de gérer les sources de pollution et de garantir la compatibilité sanitaire et environnementale des sols du site avec le projet d'aménagement envisagé. Il ne peut, toutefois, se substituer, à une conception fine des travaux de réhabilitation.

Nous soulignerons particulièrement la nécessité de réaliser les études de stabilité des ouvrages historiques pour étude de la faisabilité des mesures de gestion envisagées (stabilisation/solidification par injection), procéder à leur dimensionnement. Il en est de même concernant le dimensionnement du système de gestion des eaux météoriques en phase chantier (avec analyse cas par cas au titre de la loi sur l'eau), de la méthodologie de terrassement, de brumisation, de la mesure de gestion des poussières sous tente ou dans le bâtiment 1, du système de gestion des poussières, des phasages induit, ...

Enfin, la communication et la concertation avec les riverains, la collectivité et les services de l'Etat étape par étape, garantira l'acceptation sociétale des travaux.

8.2.5 Analyse des Risques Résiduels

Une analyse des risques résiduels devra valider la compatibilité du site avec son usage à l'issue des travaux sur la base des concentrations mesurées de manière résiduelle dans les sols et éventuellement dans les gaz des sols en fonction des résultats de la deuxième campagne ainsi qu'en cas de découverte lors des travaux d'aménagement.

8.2.6 Axes d'optimisation

Au regard des enjeux financiers, il apparaît nécessaire de poursuivre la réflexion sur les axes d'optimisation des mesures de gestion des pollutions concentrées et des futurs déblais :

- Optimisation du réemploi sur site
Le projet permet actuellement un réemploi de matériaux, mais les volumes de déblais excédentaires restent importants. Une amélioration de la balance déblais/remblais est ainsi à l'étude.
- Réemploi hors site
La possibilité de réemploi hors site peut être étudiée à condition qu'un site d'accueil localisé à faible distance, nécessitant l'utilisation de matériaux dans le cadre de son projet d'aménagement ou de sa mise en sécurité et répondant aux guides de réemploi puisse être trouvé.
Au regard du contexte du site, des solutions de mise en sécurité pourraient être étudiées particulièrement au niveau de l'ancien site industriel de l'Escalette et stockages de déchets existants localement.

Le « Guide de valorisation hors site des terres excavées issues de sites et sols potentiellement pollués dans des projets d'aménagement » dans sa dernière version de novembre 2017 sera mis en application pour l'analyse des possibilités de valorisation hors site des terres excavées dans une optique de développement durable, de protection des populations et de l'environnement.

9. SYNTHÈSE, CONCLUSIONS ET PRECONISATIONS

La SFPT MANTE, a sollicité ERG ENVIRONNEMENT pour la réalisation pour la réalisation d'un Plan de Gestion (PG) au droit des parcelles A, B et C de l'ancien site LEGRE MANTE, localisées dans le 8^{ème} arrondissement de la ville de MARSEILLE (13).

Le présent Plan de Gestion est indissociable du diagnostic complémentaire réalisé au droit des parcelles A, B et C du site de l'ancienne usine (objet d'un rapport distinct référencé 17LES038Aa/ENV/MOK/BT/42333, reporté en annexe A1), le diagnostic complémentaire ayant été réalisé afin de synthétiser et de compléter les données existantes sur le site dans le but d'élaborer un Plan de Gestion (PG) du site, en adéquation avec le projet d'aménagement considéré.

Cette mission s'inscrit dans le cadre d'une requalification de l'ancien site industriel pour l'aménagement d'un ensemble immobilier, ainsi que pour la gestion du crassier existant aujourd'hui rattaché à l'usine.

Le périmètre de la mission d'ERG ENVIRONNEMENT répond aux exigences de l'Administration dans l'Art. 1.1 du projet d'arrêté préfectoral transmis le 04/07/2017.

La méthode d'étude s'appuie, point par point, sur les préconisations des textes du Ministère de l'Environnement relatifs aux Modalités de gestion et de réaménagement des sites pollués établis en avril 2017.

9.1 Synthèse du Plan de Gestion

9.1.1 Contexte et synthèse des données de diagnostic

L'ancien site ICPE, localisé sur la frange littorale du sud de la commune de Marseille, dans le quartier de la Madrague de Montredon, s'étend sur une superficie d'environ 8,5 ha décomposé en 3 parcelles (du sud au nord) :

- Parcelle A : 5 ha environ de terrain soit « naturel » (parties sommitales du site) soit ayant fait l'objet d'une exploitation industrielle ancienne (des infrastructures de l'ancienne cheminée et les carneaux de la fonderie historique sont toujours en place) ;
- Parcelle C : 2,7 ha environ ayant fait l'objet d'une exploitation industrielle récente (bâtiments, voiries et installations de traitement des eaux usées du site) ;

Nous notons que la délimitation entre les parcelles A et C apparait peu pertinente au regard des opérations de démolition, de terrassement et de stockage de matériaux sur la parcelle référencée A, qui présente dans ce cadre une situation des milieux assimilable à celle de la parcelle C sur son secteur Nord et un espace de végétation spontanée, assimilable à un prolongement du contexte retrouvé dans les Calanques sur son emprise Sud.

- Parcelle B : de l'autre côté de l'avenue de la Madrague par rapport au site industriel, 0,7 ha environ de terrain remblayé en surplomb de la mer.

Rappelons que la parcelle B est le siège d'un crassier d'un volume de 40 000 m³ environ de déchets qui ont été entreposés dans le cadre des activités industrielles historiques, activité de stockage pour laquelle l'exploitant historique disposait d'une autorisation administrative pendant les premières activités de fonderie et jusqu'aux dernières activités de production d'acide tartrique. De la même manière, sur la parcelle C, des opérations de démolitions récentes ont été pratiquées, sous le contrôle de l'administration pour la mise en place d'une STEP. Une très grande quantité de déblais de terrassement et de matériaux de démolition d'anciennes infrastructures de l'usine a été constitué dans ce cadre, après avoir revêtu le terrain d'un complexe géosynthétique.

Cette étude s'inscrit dans le cadre du projet de réaménagement entrepris par la société SFPT MANTE qui est en cours d'élaboration. Les grands principes retenus au stade du Plan de Gestion, tiennent compte, au niveau des parcelles A et C, de la conservation de certains éléments « patrimoniaux » (cheminées rampante, cheminée verticale, façade), la création de niveaux de sous-sol à usage de parking, la construction ou conservation de bâtiments de plain-pied, l'aménagement des espaces extérieurs en espaces verts ou placettes. L'aménagement de la parcelle B comprend la création d'un parking public au sein du massif de déchet, qui sera remodelé avec une descente en restanques jusqu'au bord de mer et deux bâtiments de faible dimension sur le secteur Est (en forme de « L »). Le crassier sera mis en sécurité mécanique (y compris avoisinants) et confiné par les aménagements.

Au regard de la topographie des parcelles A et C, de la nature même de la parcelle B et du projet d'aménagement sur les parcelles à l'étude, la requalification sera à l'origine d'un important volume de déblais, de matériaux divers de nature et qualité chimique variées, qu'il sera nécessaire de gérer (approximativement 40 000 m³). Notons par ailleurs, dans ce contexte, qu'un volume conséquent de remblais apparait également nécessaire pour la création des infrastructures, voies lourdes et aménagements paysagers (de type place, cours, espaces verts paysagers, ...).

On retiendra les points principaux suivants :

- Concernant la parcelle B :
 - o Le crassier Ouest est constitué d'un empilement de résidus témoignant des différentes activités du site avec de la base vers le sommet : des remblais de type industriel (associé au procédé d'affinage de métaux) puis de nature chimique (associé à l'activité d'acide tartrique), ces derniers étant mélangés à des déchets de démolition issus de l'usine.
 - o Le crassier Est qui comprend uniquement des dépôts récents de nature chimique (associé à l'activité d'acide tartrique), mélangés à des déchets de démolition issus de l'usine sur des épaisseurs plus modérées
- Concernant les parcelles A et C :
 - o Un marquage des sols par les ETM avec particulièrement un impact diffus et concentré en Pb et en As sur l'ensemble du site. Quelques anomalies ponctuelles en mercure ont été enregistrées dans les sols en profondeur aux abords de la cheminée rampante sur son linéaire enterré et au niveau de sols de surface dans le même secteur.
 - o Des concentrations en cyanures totaux supérieures à 10 mg/kg MS ont été enregistrées uniquement au droit du stockage historique de ferrocyanures dans le bâtiment 1 ainsi qu'à proximité des carneaux bas.
 - o Les HCT et HAP sont présents d'une manière ponctuelle et localisée dans les sols. Les teneurs qui se singularisent du bruit de fond sur ces deux familles de polluants ne sont pas associées à des anomalies dans les gaz des sols.
 - o Un transfert limité des composés volatils vers les gaz du sol avec absence de détection de cyanures ni de mercure volatils.
 - o Une EQRS, conforme à la méthodologie nationale, a été réalisée sur la base des teneurs maximales enregistrées dans les gaz des sols, selon le scénario d'exposition le plus contraignant de bâtiment de plain-pied à usage de logement. En retenant une cible mixte qui passe de l'âge enfant à l'âge adulte, selon une exposition 20h par jour, 351 jours/an sur 40 ans, l'état des milieux apparaît compatible avec les usages futurs (adultes et enfants résidants) pour l'exposition par inhalation dans les futurs bâtiments de plain-pied.
- Le site est également le siège d'infrastructures liées aux anciennes activités : la cheminée verticale sur site et la cheminée horizontale, sur ses linéaires enterré et aérien, ainsi que les carneaux bas.

9.1.2 Identification des sources de pollution concentrées sur l'emprise de l'ancienne ICPE

La caractérisation et l'identification des pollutions concentrées a été réalisée selon la méthodologie d'avril 2017, basée sur l'interprétation des constats de terrain et la mise en œuvre d'approches statistique, cartographique et bilan massique.

Cette méthodologie a permis de retenir sur les parcelles A et C :

- La présence de débris de démolition (fours, cheminée verticale historique) et de matériaux de type mâchefers dans les remblais des parcelles A et C. Rappelons dans ce cadre qu'une très grande quantité de déblais ont été extraits directement au droit de la zone d'activités historiques en 2002 et mis en stock en partie Nord de parcelle A à proximité des carneaux bas¹².
- La présence de zones source concentrées dans les sols de surface en HCT, en HAP, en Cyanures totaux et en mercure dont la gestion proportionnée (volumes limités et accessibles) consistera, conformément à la méthodologie nationale, en une purge et évacuation en filière(s) autorisée(s), sans analyse plus lourde de la situation (200 m3 de matériaux pour un coût de gestion d'environ 40 k€ H.T.).
- La présence de zones source concentrées dans les sols en profondeur en Cyanures totaux et libres au niveau de la zone des carneaux bas, ainsi qu'en mercure au niveau du linéaire enterré de la cheminée rampante. La gestion de ces sources (potentiellement non limitées et peu accessibles) par une solution d'excavation et d'évacuation des matériaux d'office n'est pas pertinente. Les mesures de gestion idoines seront dans ce cadre étudiées en globalité avec les zones sources associées (carneaux bas et cheminée rampantes enterrés).
- La présence de pollution concentrée en ETM et particulièrement en Pb et en As dans les sols en surface comme en profondeur sur l'emprise des parcelles C et A (hors pointe Sud-Est). En se basant sur les approches statistiques, graphiques, financières, le projet développé et particulièrement le périmètre de reconversion, les mesures de gestion de type extraction/évacuation ou traitement n'apparaissent pas réalistes. L'équilibre du projet de réhabilitation concernant les anomalies en ETM dans les sols est trouvé avec la mise en œuvre de mesures constructives et de traitements par phytostabilisation dans le secteur Sud de la parcelle A.

La cheminée verticale existante, la cheminée rampante sur site sur les linéaires enterré et aérien, ainsi que les carneaux bas constituent des sources de pollution pour lesquelles des mesures de gestion doivent être étudiées.

¹² Le stockage de déblais de terrassement et de matériaux de démolition d'anciennes infrastructures de l'usine a été constitué dans le cadre des travaux de réalisation de l'actuelle station de traitement des eaux usées du site, après avoir revêtu le terrain d'un complexe géosynthétique.

En ce qui concerne la Parcelle B, elle est le siège d'un crassier d'un volume de 41 600 m³ environ de déchets qui ont été entreposés dans le cadre des activités industrielles historiques. Il apparaît une importante hétérogénéité des remblais avec une qualité chimique également fortement hétérogène, ne permettant pas une définition rigoureuse par classe des pollutions concentrées. Sur la base des données existantes et compte tenu du caractère de « déchets » des matériaux stockés, la réalisation d'une approche statistique n'a que peu de sens c'est pourquoi la parcelle B a été étudiée au travers d'une approche essentiellement financière.

9.1.3 Évaluation des mesures de Gestion

Le contexte spécifique du site et les contraintes qui ont été prises en compte, pour l'analyse de la gestion des futurs déblais générés par le projet d'aménagement consiste en :

- La limitation au maximum du trafic routier conformément aux attentes de la Collectivités, en cohérence avec l'application de mesures de gestion durables
- L'impossibilité d'exportation de matériaux par voie maritime, directement depuis le site (les données bathymétriques collectées révèlent de hauts fonds dans ce secteur, incompatibles avec le chargement en bateau des terres qui seront extraites lors des travaux de terrassement).

Les solutions de gestion des déblais « sur site » ont été privilégiées pour minimiser au maximum les exportations de matériaux.

Les solutions « sur site » retenues, parmi les procédés physiques, chimiques, biologiques et thermiques existants et éprouvés, consistent en des solutions de réemploi, confinement, stabilisation/solidification et/ou pythostabilisation sur site, sélectionnées en fonction de la qualité mécanique et chimique des sols en place connue, des futurs déblais et des structures existantes.

L'objectif principal de cette analyse est de donner des premières orientations, sur la base des investigations réalisées et des plans de projet retenus au stade d'Avant-Projet. Celles-ci seront amenées à être complétées en fonction de l'évolution du projet.

L'estimation des volumes de déblais / remblais, transmis par l'équipe projet, met en évidence :

- un volume de 14700 m³ de déblais prévu sur la parcelle B (soit 1/3 du volume du crassier), avec un besoin en remblais pour l'aménagement de la même parcelle de 5800 m³.
- Sur les parcelles A et C, le volume total de matériaux terrassés est estimé à 24700 m³ avec un volume de remblaiement de 21600 m³¹³.

Sur la base des données disponibles (qualité chimique, granulométrie, ...) 2 hypothèses (plus ou moins majorantes) de répartition des cubatures et orientations ont été bâties.

Par ailleurs les 2 scenario de gestion ont tenu compte des attentes des riverains en terme de limitation du trafic, mais également des contraintes du site et risques potentiels liés aux opérations d'aménagement :

- Au regard du Risque « Poussières » lié au terrassement, les mesures suivantes sont retenues : mise en place de phasage de chantier, méthodologie de terrassement en fonction de la vitesse du vent, utilisation de brumisation avec agents tensio-actifs spécifiques, opérations de criblage en milieu confiné (tente de confinement), convoyage des matériaux de la parcelle B par le tunnel existant jusqu'à la zone confinée, nettoyage systématique des roues des engins et balayage régulier, surveillance environnementale de la qualité de l'air au moyen de prélèvements de poussières (jauges OWEN et plaquettes de dépôts), mais également de PM_{2,5} susceptibles d'être générées lors des opérations de terrassement. Le Maître d'Ouvrage prévoit d'être assisté par ATMOSUD pour le dimensionnement de la surveillance ainsi que sa réalisation en phase travaux
- Au regard du Risque « Ruissellement » en cas d'épisode pluvieux, les mesures suivantes sont retenues : Gestion des eaux par un système de récupération dédié, Traitement par décantation en bassin(s) (existant(s) sur site) et recyclage des eaux stockées ou rejet avec contrôle préalable.

Sur cette base les 2 scenarios retenus et étudiés selon la démarche de Bilan « coûts-avantages » sont :

- Scénario 1 : excavation (intégrant les mesures de gestion détaillées dans le paragraphe précédent), tri granulométrique sous tente et orientation en filière de traitement adaptée des matériaux criblés, dont le coût de gestion a été estimé sur la base des hypothèses et selon les limites détaillées dans le paragraphe 6.3.8 à une enveloppe de 12 à 14,4 M€H.T.
- Scénario 2 : excavation (intégrant les mesures de gestion détaillées dans le paragraphe précédent), tri granulométrique sous tente et gestion on site selon le descriptif des traitements et confinement retenus en paragraphe 6.3.3.1., dont le coût de gestion a été estimé sur la base des hypothèses et selon les limites détaillées dans le paragraphe 6.3.8 à une enveloppe de 8,2 à 9 M€H.T.

¹³ Ce dernier volume de remblaiement intègre, outre les besoins en remblais pour l'aménagement, les volumes de source à mettre en sécurité avec la prise en compte de 1500 m³ dans la cheminée rampante et 750 m³ dans les carreaux bas.

De plus, une étude spécifique du cas particulier du crassier de la parcelle B a été réalisée selon une hypothèse alternative de gestion de 100% des déchets constitutifs du crassier sur la parcelle B a également été étudié : la gestion des 41 600 m³ de déchets, nécessiterait un coût de gestion en filière(s) autorisée(s) de 15 000 à 16 000 k€H.T. (hors terrassement et mesures de gestion des eaux et poussières). Au regard du projet de réhabilitation de la parcelle B, la solution de gestion de l'intégralité du volume de déchet ne constitue pas une solution réaliste de dépollution. En effet, l'équilibre de l'opération de requalification de la parcelle B est trouvé en purgeant 1/3 du volume du crassier, en intégrant les contraintes urbanistiques et des attentes de la Collectivité (création d'aménagements publics et limitation des trafics en phase travaux).

L'analyse des scénarios a été réalisée sur la base d'un Bilan coûts-avantages par une analyse multicritères (conforme au guide ADEME de mars 2017). L'analyse multicritères (AMC) permet de comparer plusieurs scénarios de gestion de façon quantitative, par le biais de critères pondérés et de notations des scénarios, en tenant compte des 5 familles de critères de notation retenues (critères techniques et normatifs, critères économiques, critère environnementaux, critères socio-politiques et critères juridiques et réglementaires).

L'analyse multicritères aboutit à un score global plus élevé pour le scénario 2, traduisant un niveau d'adéquation avec le contexte de gestion plus important, ce qui a été conforté par les tests de sensibilité qui ont été réalisés sur les pondérations ainsi que les notations attribuées par sous-critères.

9.14 Analyse des Risques Résiduels

L'analyse des risques Résiduels sur la base de la connaissance de l'état des milieux à ce stade permet de mettre en évidence une compatibilité de l'état des milieux avec les usages projetés pour le risque par inhalation dans des bâtiments de plain-pied au droit des parcelles A et C.

Par ailleurs, la mise en place des mesures de gestion et dispositions constructives retenues à ce stade dans le cadre des deux scénarios de gestion étudiés permettra de supprimer les voies de transfert et d'exposition, il s'agit principalement de :

- La mise en place de recouvrement de surface et encapsulation sur l'ensemble des parcelles C, B et A sur son secteur Nord, pour supprimer le risque d'exposition par contact direct des futurs usagers du site ;
- Le maintien du couvert végétal (pour limiter les envols de poussières) dans le secteur Sud de la parcelle A, qui correspond à un espace de végétation spontanée, assimilable à la configuration de l'espace naturel des Calanques, plus éloigné des futurs logements et à usage futur de promenade. Des opérations de traitement par phytostabilisation sont prévues¹⁴ sur ce secteur Sud
- Le confinement de la masse de déchets résiduelles qu'il est prévu de laisser en place dans le cadre des opérations d'aménagement sur la parcelle B, afin de supprimer les voies de transfert au sable de la plage et au milieu marin
- L'aménagement, dans des sols non impactés ou dans un lit de matériaux d'apports sains, des réseaux d'adduction d'eau pour supprimer tout risque d'ingestion d'eau potable pour les futurs usagers du site ;
- La restriction de l'usage potager à des cultures hors sols uniquement sur l'emprise du projet (autoproduction autorisée exclusivement en bac déconnectés des sols en place).
- Le confinement des encroutements dans la cheminée rampante aérienne (remplissage de la cheminée par coulis (solidification/stabilisation de déblais impactés) qui permet de supprimer le risque par contact direct des promeneurs dans les Calanques (seule solution permettant de garantir l'absence d'intrusion dans les cheminées)

Remarque : La mise en place de traitement par phytostabilisation dans les sols de surface à proximité du linéaire de la cheminée rampante et au pied de la cheminée haute, est également prévu, afin de permettre de réduire la mobilité des polluants métalliques, en cohérence avec les actions en cours.

Conformément aux préconisations du guide de la DGPR, un dossier de Servitudes d'Utilités Publiques sera mis en œuvre dans le cadre des deux scénarios de gestion étudiés. Les restrictions porteront sur les usages et activités possibles et préciseront que tout autre usage selon les secteurs sera soumis à études complémentaires préalables. Les objets sur lesquels elles porteront consisteront notamment en :

- L'interdiction de réaliser toute activité qui pourrait endommager un confinement mis en œuvre sur site,
- L'obligation de mettre en place une couverture par des matériaux d'apport sains (ne présentant pas de risque pour la santé des futurs usagers), d'implanter et d'entretenir un couvert végétal,
- L'interdiction de mettre en place des jardins potagers sur site en pleine terre (seuls des cultures en bac déconnectés des sols du site pourront être mises en œuvre,
- L'installation des canalisations d'eau potable en dehors des zones impactées ; le cas échéant, elles devront être métalliques et mises en place dans une tranchée de matériaux d'apport chimiquement inertes,

¹⁴ Actions sur le secteur Sud de la parcelle A, en cohérence avec les actions en cours dans le Parc des Calanques. L'accès au secteur Sud de la parcelle A sera limité par une clôture pendant la phase de pilote et d'évaluation de la performance de la technique de phytostabilisation.

9.2 Conclusions

C'est sur la base de l'ensemble des investigations réalisées sur le site et du projet de requalification, que l'évaluation des mesures de gestion a pu être établie. Cette évaluation tient compte, des aspects techniques, financiers, mais également du contexte local, des contraintes urbanistiques et des attentes de la Collectivité (limitation de la surface bâtie, création d'aménagements publics, limitation des trafics en phase travaux, chantier durable).

Sur cette base, les mesures de gestion retenues permettent la mise en sécurité des parcelles (vis-à-vis de l'environnement et des futurs usagers sur site et riverains hors site) et l'équilibre de l'opération de requalification. Elles consistent en :

- La mise en œuvre d'une manière privilégiée de mesures de gestion « sur site », permettant de limiter le trafic et les nuisances induites,
- L'extraction et l'évacuation en filière(s) autorisée(s) des pollutions concentrées identifiées dans les sols de surface en hydrocarbures, cyanures et mercure
- Parcelle B :
 - o Le terrassement de 1/3 du volume du crassier sur la parcelle B (correspond à plus de 95% à des remblais issus des activités les plus récentes) et la gestion de 76% du volume terrassé sur site (traitement par stabilisation/solidification et réemploi sous confinement).
 - o Confinement des 2/3 du volume résiduel de déchets laissés en place et gestion des eaux de ruissellement pour limiter la voie de transfert aux milieux
 - o Mise en sécurité mécanique du secteur et des constructions avoisinantes
- Parcelles C et A sur le secteur Nord :
 - o Le terrassement de 24700 m3 de matériaux pour l'aménagement et le reprofilage du terrain, correspondant essentiellement à des matériaux compris dans les 2 premiers mètres de sol, dont 64% des matériaux seront gérés sur site (recyclage des déblais réemployés et confinés).
 - o Recouvrement de l'intégralité des sols de surface sur les parcelles C et A sur le secteur Nord
- Parcelle A sur le secteur Sud :
 - o Pas d'opérations de terrassement prévues pour l'aménagement et le reprofilage du terrain, hors purge ponctuelles de pollutions concentrées dans les sols de surface.
 - o Maintien du couvert végétal (pour limiter les envois de poussières) sur le secteur éloigné des futurs habitations et voué à un usage de promenade. Réalisation d'opérations de phytostabilisation en cohérence avec les actions en cours dans le Parc des Calanques. L'accès au secteur Sud de la parcelle A sera limité par une clôture pendant la phase de pilote et d'évaluation de la performance de la technique de phytostabilisation.
- Cheminée rampante : confinement des encroutements par injection des matériaux traités par stabilisation/solidification, permettant de supprimer le risque par contact direct des promeneurs dans les Calanques (seule solution permettant de garantir l'absence d'intrusion dans les cheminées)
- Mise en place de servitudes et de restrictions d'usages sur les différentes parcelles en fonction des mesures de gestions retenues.

Notons que des études complémentaires de conception (détaillées dans le paragraphe de préconisations ci-dessous) sont nécessaires afin de valider la traitabilité et la faisabilité des techniques retenues (stabilisation/solidification et phytostabilisation), de définir les mesures de gestion idoines au niveau de la cheminée rampante sur son linéaire enterré ainsi que des carneaux bas enterrés, et enfin, d'étudier la stabilité des ouvrages historiques, le dimensionnement du système de gestion des eaux météoriques en phase chantier, la méthodologie de terrassement et de brumisation, la solution de gestion des poussières sous tente ou dans le bâtiment 1, le système de gestion des poussières, les phasages induits, ...:

Enfin, et avant toute validation définitive, la communication et la concertation avec les riverains, la collectivité et les services de l'État, étape par étape, garantira la bonne prise en compte des attentes et l'acceptation sociétale des travaux et aménagements à vocation public et privé.

9.3 Préconisations

9.3.1 Etudes complémentaires et Plan de Conception de travaux

9.3.1.1 Sources cheminée horizontale sur son tronçon enterré sur site et cameaux bas

Des investigations complémentaires ciblées sur les ouvrages devront être réalisées, dans le cadre du PCT.

Sur la base des investigations complémentaires qui seront réalisées (campagnes de prospections géophysiques, voir des investigations de découverte des ouvrages à la pelle mécanique) au niveau des structures historiques, des mesures de gestion seront étudiées. Des opérations de démolition et extraction de la cheminée sur son linéaire souterrain, comme des cameaux enfouis ne sont pas recommandées au regard du caractère peu lixiviable des substances en présence, de la forte propension à l'envol potentiel des encroutements de parois en cas de démolition pour extraction (dans le contexte urbain dense, soumis au vent compte tenu du niveau de concentration en ETM des encroutements). Les investigations complémentaires et particulièrement la validation du caractère peu à pas lixiviable des anomalies connues au droit et aux abords des structures historiques, permettront l'analyse des mesures de gestion idoines, qui comprendront une solution d'injection dans les vides de la cheminée et une solution de maintien sur site avec l'instauration de servitudes et de conservation en mémoire. La faisabilité des solutions envisagées devra faire l'objet d'études dédiées dans le cadre du PCT.

9.3.1.2 Zones de terrassement et d'aménagement en général dans le cadre du projet à l'étude

Dans le cadre de la gestion des futurs déblais, un tri préalable complémentaire est recommandé préalablement aux travaux afin de fiabiliser les volumes, optimiser les orientations et les dimensionner les mesures de gestion.

Par ailleurs, au regard des contraintes d'accès à certains secteurs du site, des contraintes d'intervention et de l'échelle d'étude (maillage), certaines zones n'ont pu être investiguées (notamment la zone du parc à cuve). Des investigations complémentaires sont préconisées au niveau de ces secteurs afin de réduire les incertitudes associées.

Une campagne complémentaire de contrôle des gaz du sol est préconisée, conformément au guide des bonnes pratiques, au regard de la variabilité de ce milieu, afin de valider l'état du milieu est l'analyse des risques.

Géotechnique et géophysique sur la zone des remblais parcelle A nord

9.3.2 Essais de faisabilité

Dans le cas du traitement par stabilisation/solidification des essais pilotes devront être réalisées pour dimensionner et valider l'efficacité de la technique retenue selon les signatures chimiques par lot de matériaux. Ces essais seront intégrés au Plan de conception de travaux.

De la même manière, des études spécifiques d'évaluation de la faisabilité pour la mise en œuvre des opérations de phytostabilisation sur le site seront réalisées par les équipes scientifiques de l'IMBE (tests pilote, dimensionnement, ...). En fonction de la temporalité d'étude, les résultats pourront être intégrés dans le Plan de Conception de travaux ou dans les études de conception détaillées.

9.3.3 Études de conception

Le Plan de Gestion vise à définir les mesures de gestion et dispositions constructives à mettre en place afin de gérer les sources de pollution et de garantir la compatibilité sanitaire et environnementale des sols du site avec le projet d'aménagement envisagé. Il ne peut, toutefois, se substituer, à une conception fine des travaux de réhabilitation.

Nous soulignerons particulièrement la nécessité de réaliser les études de stabilité des ouvrages historiques pour étude de la faisabilité des mesures de gestion envisagées (stabilisation/solidification par injection), procéder à leur dimensionnement. Il en est de même concernant le dimensionnement du système de gestion des eaux météoriques en phase chantier (avec analyse cas par cas au titre de la loi sur l'eau), de la méthodologie de terrassement, de brumisation, de la mesure de gestion des poussières sous tente ou dans le bâtiment 1, du système de gestion des poussières, des phasages induit, ...

Enfin, la communication et la concertation avec les riverains, la collectivité et les services de l'Etat étape par étape, garantira la bonne prise en compte des attentes et l'acceptation sociétale des travaux et aménagements à vocation public et privé.

9.3.4 Analyse des Risques Résiduels

Une analyse des risques résiduels devra confirmer la compatibilité du site avec son usage à l'issue des travaux sur la base des concentrations mesurées de manière résiduelle dans les sols et éventuellement dans les gaz des sols en fonction des résultats de la deuxième campagne ainsi qu'en cas de découverte lors des travaux d'aménagement.

9.3.5 Axes d'optimisation

Au regard des enjeux financiers, il apparaît nécessaire de poursuivre la réflexion sur les axes d'optimisation des mesures de gestion des pollutions concentrées et des futurs déblais :

- Optimisation du réemploi sur site
Le projet permet actuellement un réemploi de matériaux, mais les volumes de déblais excédentaires restent importants. Une amélioration de la balance déblais/remblais est ainsi à l'étude.
- Réemploi hors site
La possibilité de réemploi hors site peut être étudiée à condition qu'un site d'accueil localisé à faible distance, nécessitant l'utilisation de matériaux dans le cadre de son projet d'aménagement ou de sa mise en sécurité et répondant aux guides de réemploi puisse être trouvé.
Au regard du contexte du site, des solutions de mise en sécurité pourraient être étudié particulièrement au niveau de l'ancien site industriel de l'Escalette et stockages de déchets existants localement.

9.4 Limite de l'étude

La présente étude a été réalisée dans la limite des investigations réalisées jusqu'à présent. Les hypothèses d'estimation des cubatures sont basées sur les ventilations en déblais et remblais transmises par l'équipe projet. Les mesures de gestion constituent des principes qui seront validés et dimensionnés dans le détail au travers des études de conception.

La présente étude n'est valable que pour les aménagements et usages pris en compte. Le schéma conceptuel d'exposition devra être adapté en conséquence afin de réaliser une nouvelle étude de risques, et de mettre en place un plan de gestion en adéquation avec le nouvel aménagement proposé pour le site, si une modification de son usage et/ou de sa configuration (par rapport à l'usage tel qu'il a été pris en compte dans le présent rapport) était envisagée.

L'étude et les conclusions sont élaborées en l'état actuel des données réglementaires et des valeurs de bruit de fond (valeurs de comparaison), scientifiques (valeurs toxicologiques de référence) et techniques (méthodes de prélèvements et d'analyses notamment). Elles reposent donc sur les connaissances disponibles au moment de la rédaction de la présente étude.

Marie-Odile KHIAT - PAUL
Chef de Projet

A N N E X E S

A1. RAPPORT DE DIAGNOSTIC COMPLEMENTAIRE (référéncé 17LES038Aa/ENV/MOK /BT/42333)

A2. CONSTATS DE TERRAIN DE 2018

A3. CARTOGRAPHIES EN PLAN ET COUPES DE LA PARCELLE B ET SYNTHESE DES CUBATURES

A4. EVALUATION QUANTITATIVES DES RISQUES SANITAIRES (EQRS)

A5. PROJET D'AMENAGEMENT RETENU DANS LE CADRE DU PLAN DE GESTION

A6. SYNTHESE DES CUBATURES ET DES ORIENTATIONS

A7. ARRETES PREFECTORAUX DES FILIERES RETENUES AU STADE DU PLAN DEGESTION

A8. CONDITIONS GENERALES DE VENTE

A1	RAPPORT DE DIAGNOSTIC COMPLEMENTAIRE (référéncé 17LES038Aa/ENV/MOK/BT/42333)
-----------	---