



PRESENTATION DE L'INTERPRETATION DE L'ETAT DES MILIEUX

ANCIEN SITE DE LA MADRAGUE - MARSEILLE

Etude dans sa dernière version de mai 2019





1 | STRATÉGIE, MÉTHODOLOGIE, RÉGLEMENTATION





Mission d'Interprétation de l'Etat des Milieux (IEM)

Préfet des Bouches du
Rhône



AP de 2017 prescrivant
la réalisation d'une IEM



Méthodologie conforme à la note ministérielle du 19 avril 2017 relative aux sites et sols pollués



Base normative le document NF X-31-620 : Qualité du sol – prestations de services relatives aux sites et sols pollués



IEM itérative et proportionnée :

⇒ Plusieurs phases d'investigation des milieux ont été réalisées

⇒ Sélection d'outils de diagnostics et d'interprétation innovants (paragénèse métalliques et isotopie), afin de permettre une remontée en paternité des impact, nécessitant l'intervention de chercheurs de l'université et du CNRS



Etude IEM hors site de l'ancienne ICPE



Contexte urbain



- ➔ Site en centre ville (contexte urbain et résidentiel dense)
- ➔ Terrain en friche (mise en sécurité, démolition et désamiantage)



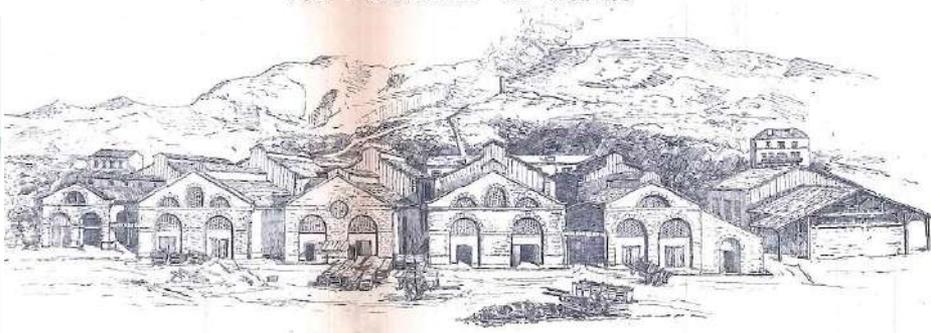
Etude IEM hors site de l'ancienne ICPE



Activités Historiques sur site (2 périodes, 2 typologies d'activités, traceurs, déchets et impacts)

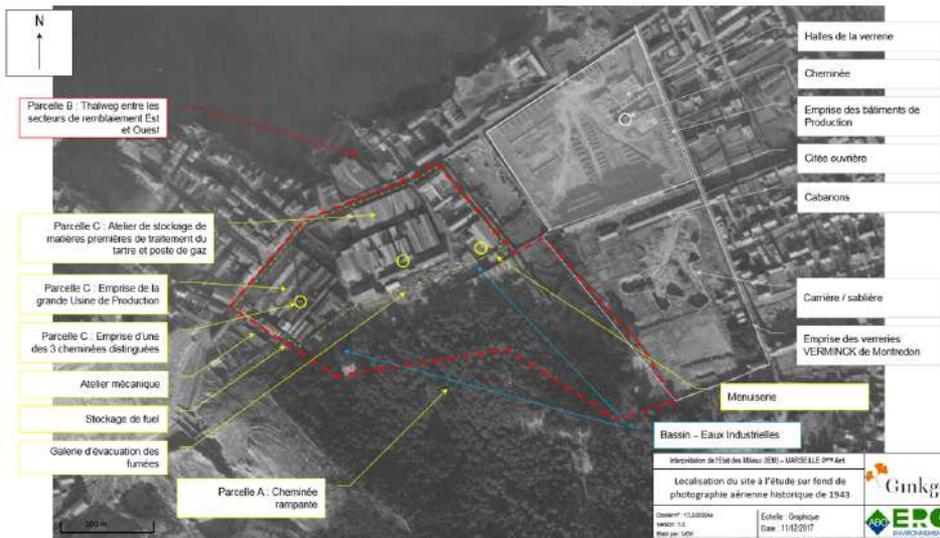
Activité de fonderie Hilarion Roux (1873-1883)
Société Métallurgique de Marseille

VUE D'ENSEMBLE DE L'USINE



1883-1884 : faillite de la banque Roux qui entraîne la cessation d'activité de l'usine

Usine d'acide tartrique et de crème de tartre (1888-2009)



Théodore Mante crée l'usine de Montredon pour la fabrication d'acide tartrique en partie Ouest du site et obtient l'autorisation d'exploiter en date du 13 avril 1888. Cessation d'activités en 2009



Etude IEM hors site d'une ancienne ICPE



Ancien site avec bâtiments, équipements et stockages historiques





Etude IEM hors site d'une ancienne ICPE



Contexte industriel historique - Sources multiples extérieures : contaminations à sources multiples

Usine de soude de Saména
1810-1887

Verrerie de Montredon
1884-1934

Usine de la Madrague de Montredon
de plomb 1873-1884
d'acide sulfurique 1887-2009

Usine de soude de Samnicu
1814-1876
Raffinerie de pétrole 1863-1899

Hauts-fourneaux de Cassis
1856-1857



Usine de plomb de l'Escalette
1851-1924



Usines des Goudes
de soufre 1836-1882
de soude 1825-1856
de plomb 1854-1877



Craiers de l'usine de soufre
des Goudes



Usine de soude de
Callebouge 1849-1884



Enfouisseur de Corbiou
1898 à nos jours



Exutoire sea-line de l'usine d'alumine
de Gardanne
1967 à 2015 : rejet de boues rouges
Depuis fin 2015 : rejet d'effluents liquides



Carrière Solvay à Port-Méou
1895-1982



échelle : 1:32000 de projection UTM

Carte réalisée par Jullie Koutchavak - 2016
Fond cartographique - Service Géopostail



Tissu industriel historique dense



Activités historique dans un périmètre de 1 km autour du site de la Madrague : fonderie (Escalette), fabrication d'acide sulfurique (Saména) et verrerie (Vermnick)

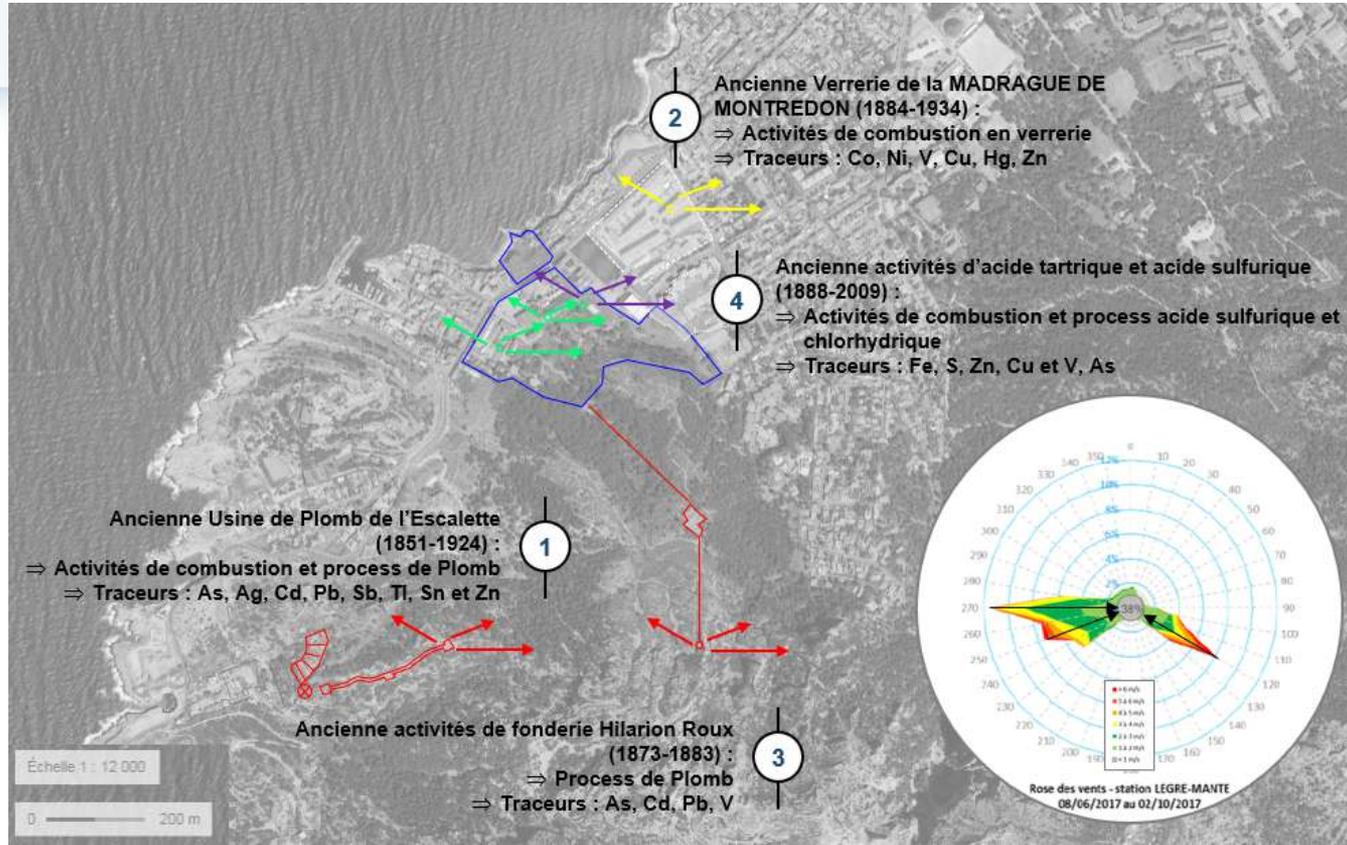
Nombreuses usines avec activités similaires au Site de la Madrague exploitées dans le secteur, notamment la fonderie la plus proche : site de l'Escalette (activité 1851-1924)



Etude IEM hors site d'une ancienne ICPE



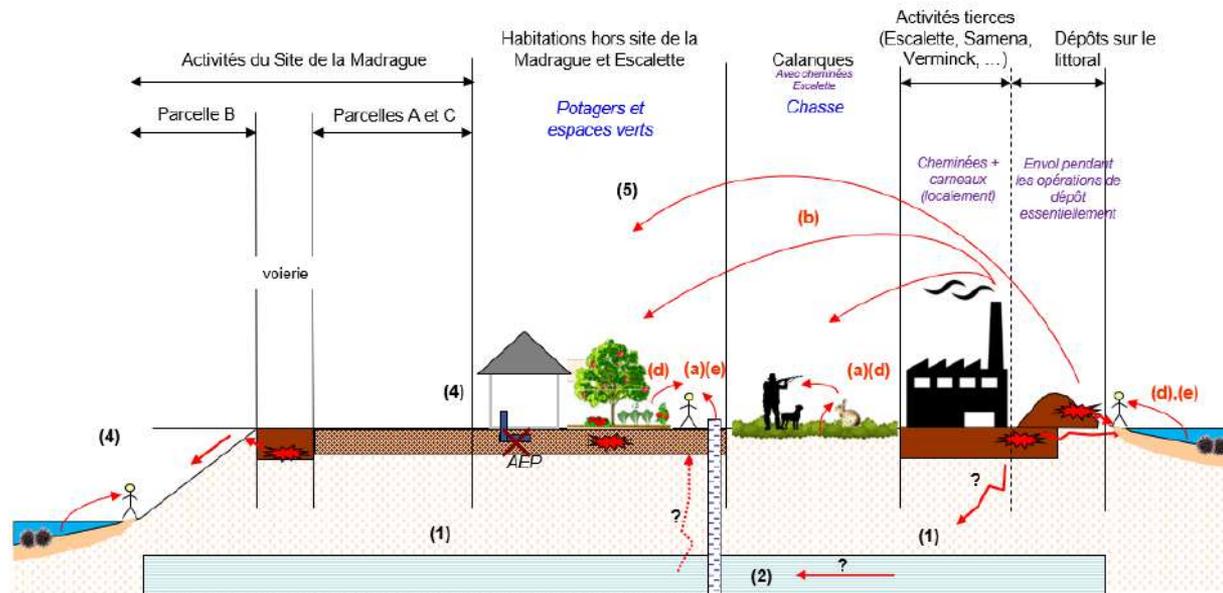
Contexte industriel historique - Sources multiples extérieures





- SCHEMA CONCEPTUEL D'EXPOSITION -

SITUATION PASSEE PENDANT LES ACTIVITES DE PLOMB ESCALETTE (1851 A 1873)



VOIES D'EXPOSITION :

- (a) Contact cutané et ingestion de sol
- (b) Inhalation de substances volatiles issues des sols
- (c) Inhalation de substances issues des eaux souterraines
- (d) Ingestion d'aliments contaminés
- (e) Ingestion d'eau contaminée / contact cutané

VOIES DE TRANSFERT :

- 1) Par imiltration dans les sols
- 2) Par transfert par les eaux souterraines
- 3) Par relation nappe-rivière
- 4) Par ruissellement
- 5) Par envoi et retombées

→ Activités de traitement du Plomb

CIBLE :

Population

SOURCE :

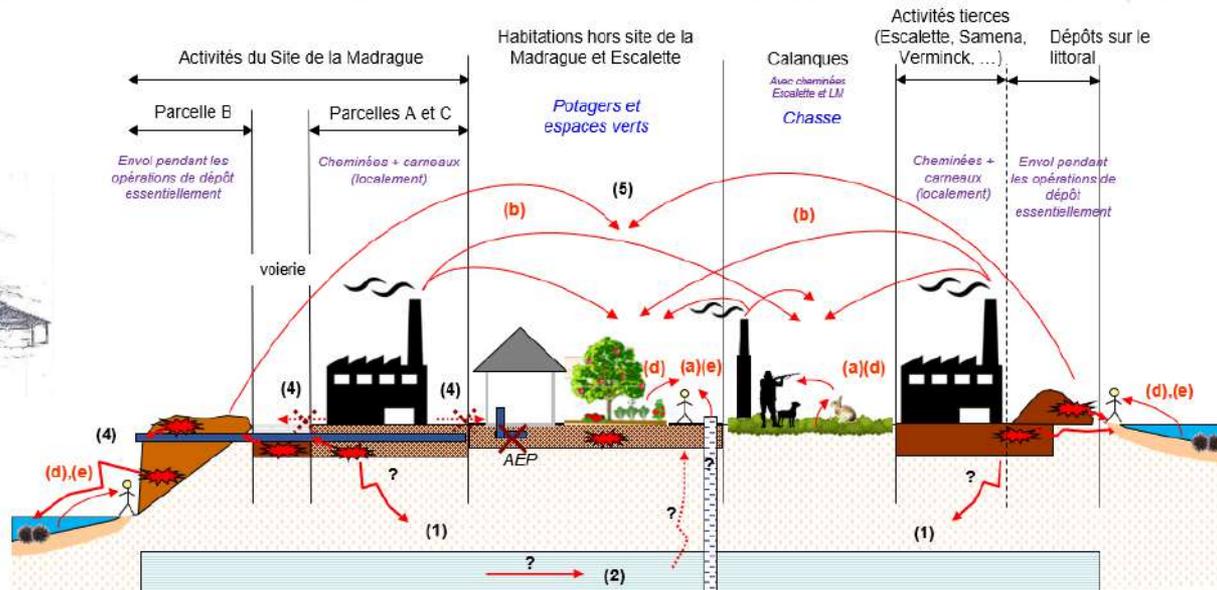
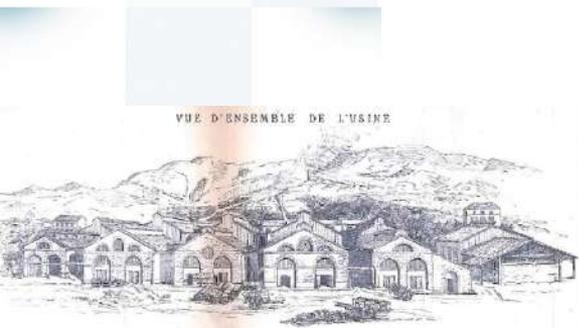
- Source potentielle secondaire de contamination
- Cas inexistant pour le site étudié
- Exposition limitée

AUTRES :

- Remblais au droit et origine Escalette
- Crasiers de matériaux issus activités Site de la Madrague
- Remblais potentiels (jardins, ...) - origine potentielle Site de la Madrague, Escalette ou autres industries
- Terrain naturel (calcaire)
- Nappe d'eaux souterraines
- Captage d'eaux souterraines



SITUATION PASSEE PENDANT LES ACTIVITES DE PLOMB DU SITE DE LA MADRAGUE ET ESCALETTE (1873 A 1884)

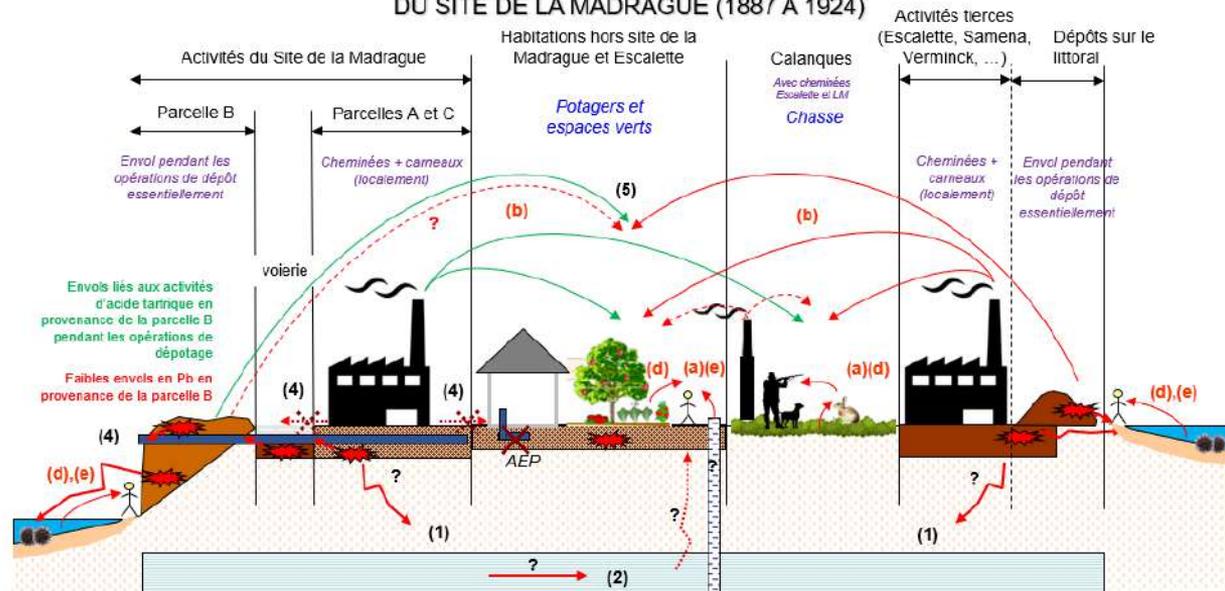


VOIES D'EXPOSITION :	VOIES DE TRANSFERT :	CIBLE :	AUTRES :
(a) Contact cutané et ingestion de sol	1) Par infiltration dans les sols	Population	Remblais au droit et origine Escalette
(b) Inhalation de substances volatiles issues des sols	2) Par transfert par les eaux souterraines		Craissier de matériaux issus activités Site de la Madrague
(c) Inhalation de substances issues des eaux souterraines	3) Par relation nappe-rivière		Remblais potentiels (jardins, ...) - origine potentielle Site de la Madrague, Escalette ou autres industries
(d) Ingestion d'aliments contaminés	4) Par ruissellement	SOURCE :	Terrain naturel (calcaire)
(e) Ingestion d'eau contaminée / contact cutané	5) Par envoi et retombées	Source potentielle secondaire de contamination	Nappe d'eaux souterraines
	→ Activités de traitement du Plomb	Cas inexistant pour le site étudié	Captage d'eaux souterraines
		Exposition limitée	



– SCHEMA CONCEPTUEL D'EXPOSITION –

SITUATION PASSEE PENDANT LES ACTIVITES DE PLOMB ESCALETTE ET ACIDE TARTRIQUE DU SITE DE LA MADRAGUE (1887 A 1924)



VOIES D'EXPOSITION :

- (a) Contact cutané et ingestion de sol
- (b) Inhalation de substances volatiles issues des sols
- (c) Inhalation de substances issues des eaux scuterraines
- (d) Ingestion d'aliments contaminés
- (e) Ingestion d'eau contaminée / contact cutané

VOIES DE TRANSFERT :

- 1) Par infiltration dans les sols
- 2) Par transfert par les eaux souterraines
- 3) Par relation nappe-rivière
- 4) Par ruissellement
- 5) Par envoi et retombées

- Activités de traitement du Plomb
- Activités de fabrication d'acide tartrique & d'acide sulfurique

CIBLE :

- Population

SOURCE :

- Source potentielle secondaire de contamination
- Cas inexistant pour le site étudié
- Exposition limitée

AUTRES :

- Remblais au droit et origine Escalette
- Crassier de matériaux issus activités Site de la Madrague
- Remblais potentiels (jardins, ...) - origine potentielle Site de la Madrague, Escalette ou autres industries
- Terrain naturel (calcaire)
- Nappe d'eaux souterraines
- Captage d'eaux souterraines

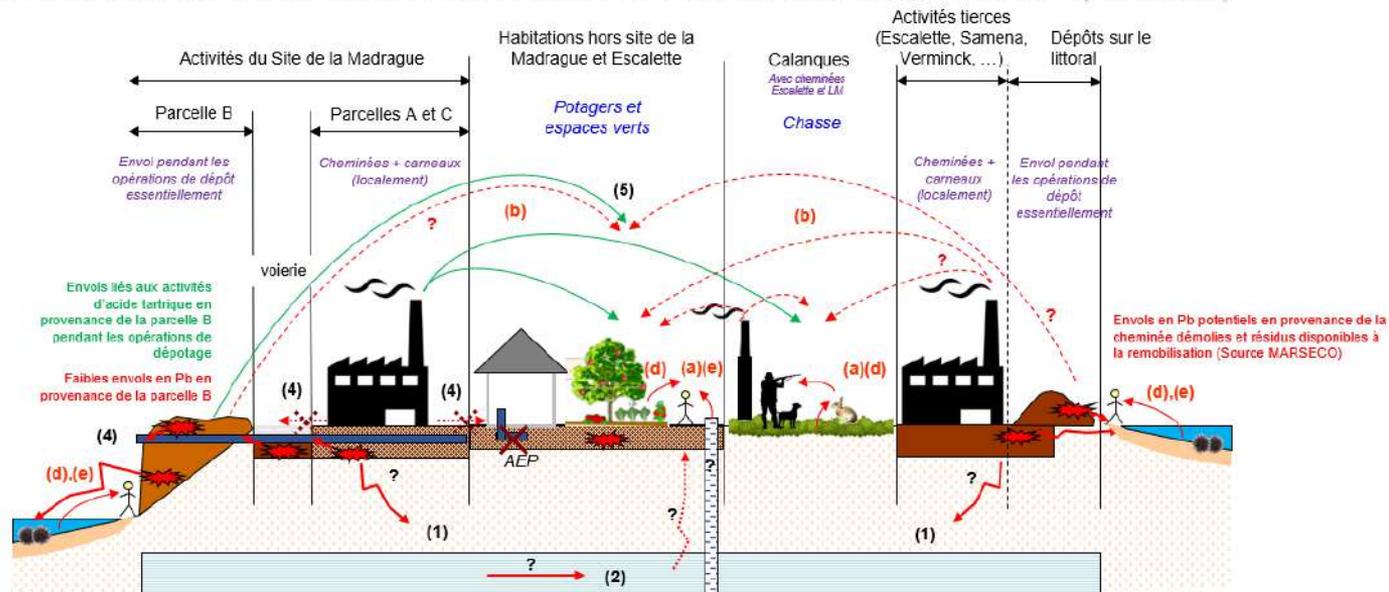




– SCHEMA CONCEPTUEL D'EXPOSITION –



SITUATION PASSEE PENDANT LES ACTIVITES ACIDE TARTRIQUE DU SITE DE LA MADRAGUE (1924 A 2009)



VOIES D'EXPOSITION :

- (a) Contact cutané et ingestion de sol
- (b) Inhalation de substances volatiles issues des sols
- (c) Inhalation de substances issues des eaux souterraines
- (d) Ingestion d'aliments contaminés
- (e) Ingestion d'eau contaminée / contact cutané

VOIES DE TRANSFERT :

- 1) Par infiltration dans les sols
- 2) Par transfert par les eaux souterraines
- 3) Par relation nappe-rivière
- 4) Par ruissellement
- 5) Par envoi et retombées
- Activités de traitement du Plomb
- Activités de fabrication d'acide tartrique & d'acide sulfurique

CIBLE :

Population

SOURCE :

- Source potentielle secondaire de contamination
- Cae inexistant pour le site étudié
- Exposition limitée

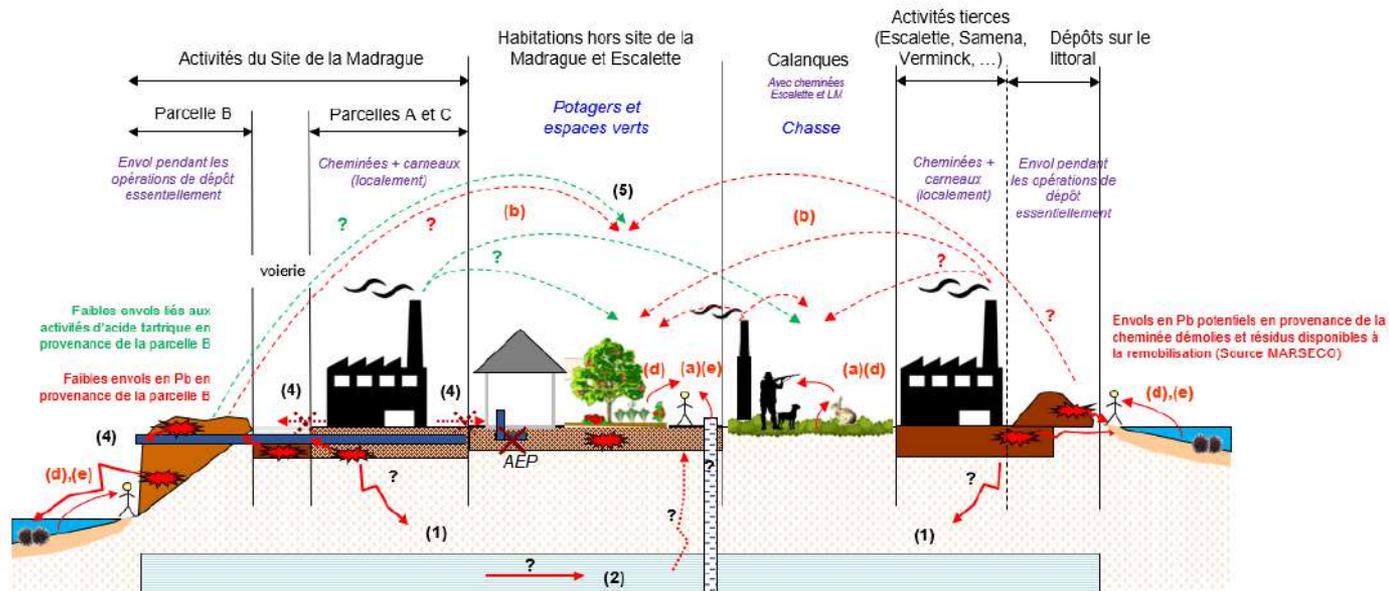
AUTRES :

- Remblais au droit et origine Escalette
- Crassier de matériaux issus activités Site de la Madrague
- Remblais potentiels (Jardins, ...) - origine potentielle Site de la Madrague, Escalette ou autres industries
- Terrain naturel (calcaire)
- Nappe d'eaux souterraines
- Captage d'eaux souterraines





– SCHEMA CONCEPTUEL D'EXPOSITION –
SITUATION ACTUELLE – FIN DES ACTIVITES (A PARTIR DE 2009)



VOIES D'EXPOSITION :	VOIES DE TRANSFERT :	CIBLE :	AUTRES :
(a) Contact cutané et ingestion de sol	1) Par infiltration dans les sols	Population	Remblais au droit et origine Escalette
(b) Inhalation de substances volatiles issues des sols	2) Par transfert par les eaux souterraines		Crassier de matériaux issus activités Site de la Madrague
(c) Inhalation de substances issues des eaux souterraines	3) Par relation nappe-rivière		Remblais potentiels (Jardins, ...) - origine potentielle Site de la Madrague, Escalette ou autres industries
(d) Ingestion d'aliments contaminés	4) Par ruissellement		Terrain naturel (calcaire)
(e) Ingestion d'eau contaminée / contact cutané	5) Par envol et retombées		Nappe d'eaux souterraines
	→ Activités de traitement du Plomb		
	→ Activités de fabrication d'acide tartrique & d'acide sulfurique		
		Source potentielle secondaire de contamination	
		Cas inexistant pour le site étudié	
		Exposition limitée	
			Captage d'eaux souterraines



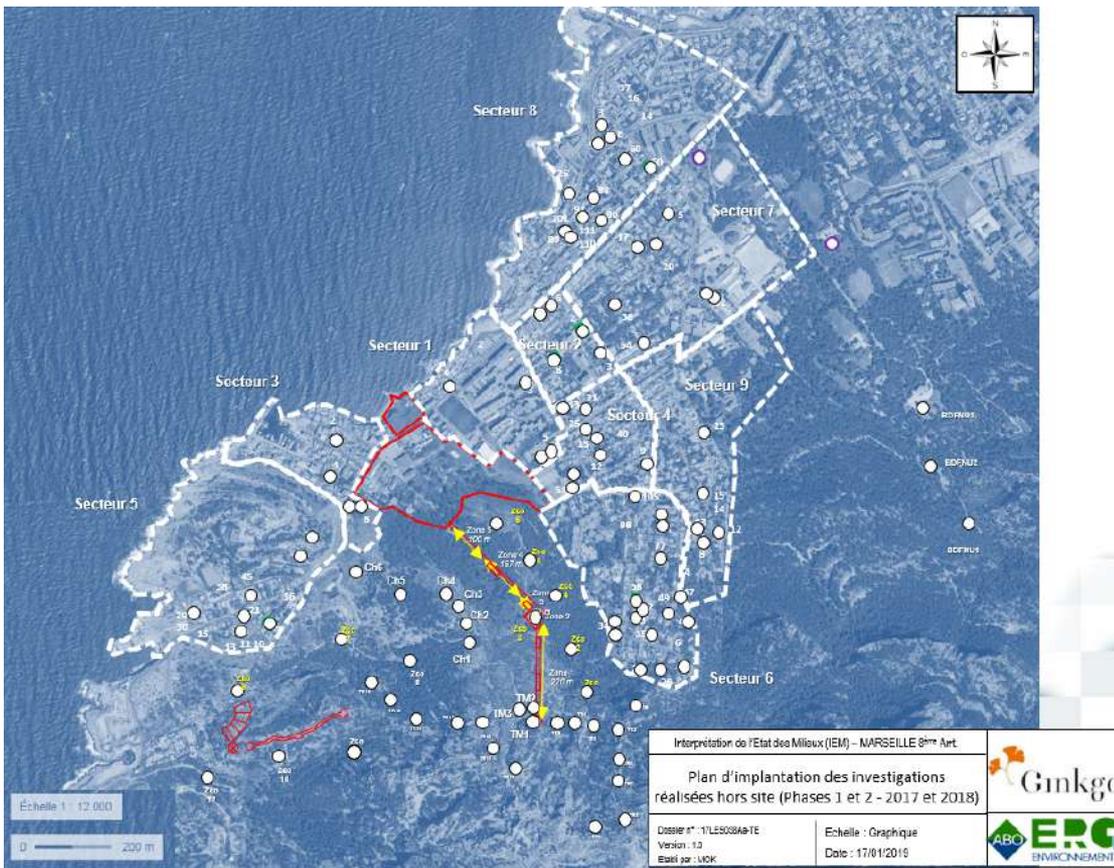
Investigations hors site et au niveau des sources (cheminées)

Investigations sur les Sols

Autres milieux investigués :

⇒ Milieu marin (eau de mer, sédiments et oursins)

⇒ Poussières (étude ATMOSUD)





IEM - Utilisation d'outils innovants – remontée en paternité (traçage de source)



Analyse de la situation



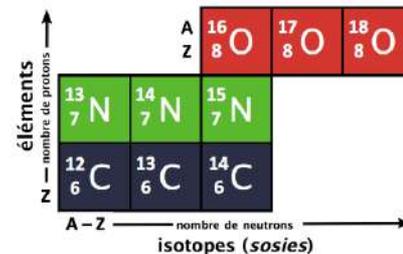
Combinaison des méthodes d'analyses (spectro IR, CPG, CPL, biochimie, isotopie) et d'interprétation (comparaison chromatographique, comparaison ratios isotopes) / origine, impact, devenir d'une pollution (remontée en paternité)



Analyse isotopique



Utilisation des Isotopes du Plomb pour le traçage de source en contexte de sources multiples et complexes





2 | DÉTERMINATION DU BRUIT DE FOND





Détermination du Bruit de fond



Valeurs de comparaison des teneurs en métaux dans les sols

- ➔ Objectif : replacer dans leur contexte les teneurs mesurées lors du diagnostic en ayant recours à des valeurs de comparaison.
- ➔ Détermination de l'Environnement Local Témoin (ELT) pour chaque métal selon 2 catégories « sols urbains ne présentant pas d'indice de modification anthropique » et « sols présentant des remblais ou indice d'activité anthropique » :
 - ⇒ Le rapport d'étude INERIS DRC-15-151883-01265B du 05/04/2017 « Utilisation de l'environnement local témoin »
 - ⇒ la norme NF EN ISO 19258 de septembre 2018
- ➔ Valeurs de comparaison retenues : ELT, ASPITET (conforme à la méthodologie nationale), RMQS (à titre indicatif) et seuil du HCSP pour le Plomb.

Nota : les résultats de l'étude MARSECO n'ont en revanche pas été retenus au titre de valeurs de comparaison (fortes anomalies).



3 | QUALITÉ DES MILIEUX





3.1 | QUALITÉ DES SOLS CHEZ LES RIVERAINS

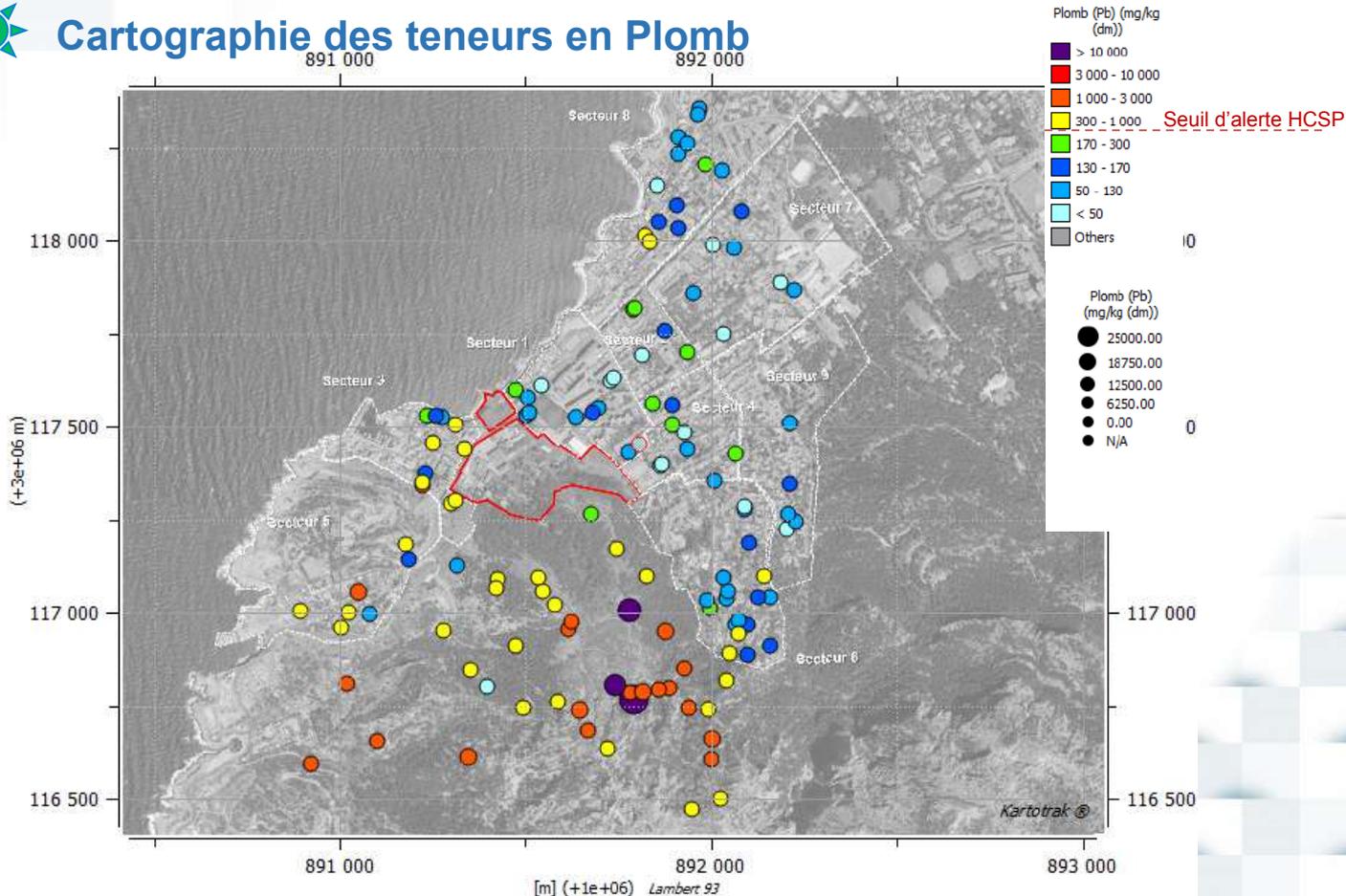




IEM – Qualité des sols chez les riverains



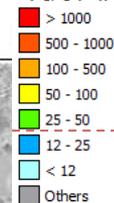
Cartographie des teneurs en Plomb





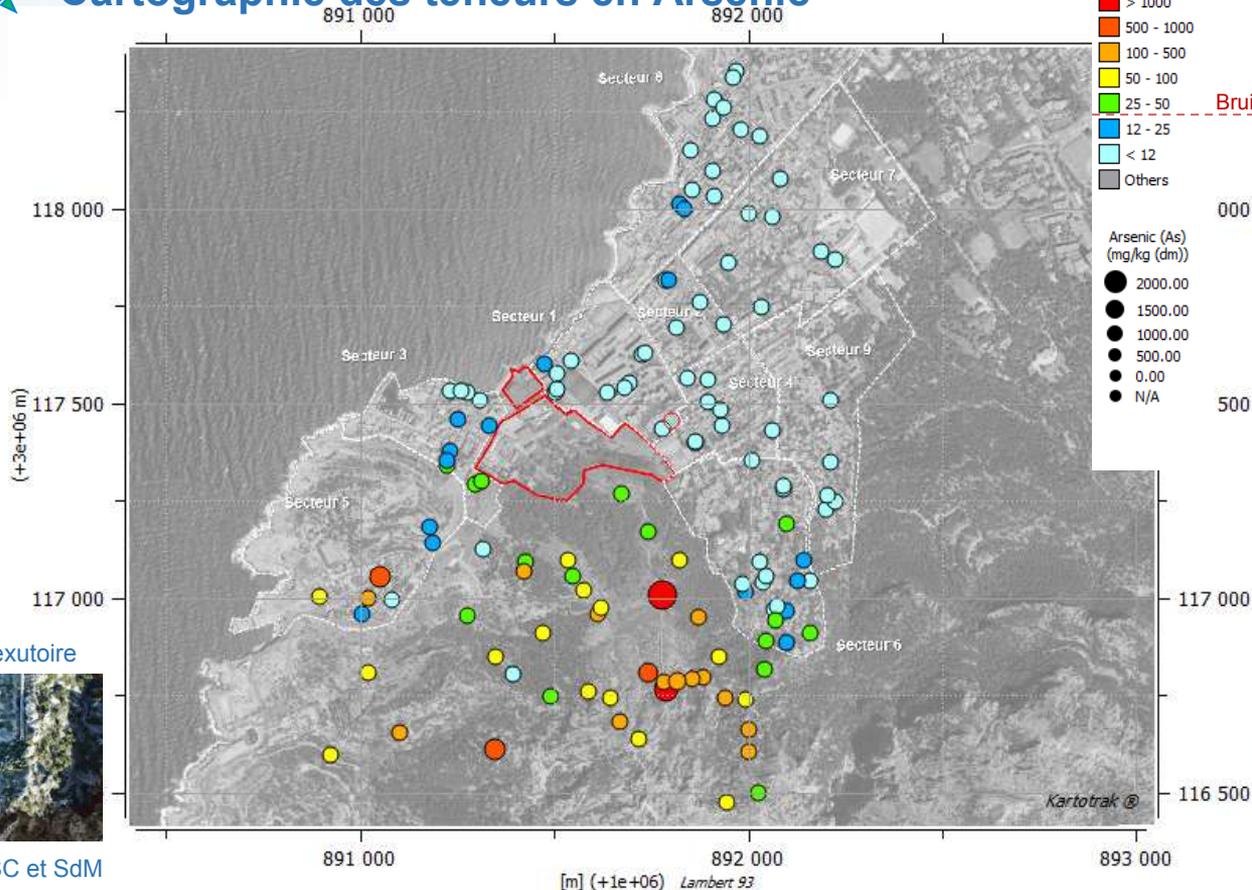
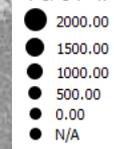
Cartographie des teneurs en Arsenic

Arsenic (As)
(mg/kg (dm))



Bruit de fond

Arsenic (As)
(mg/kg (dm))



Vue des Carneaux Hauts



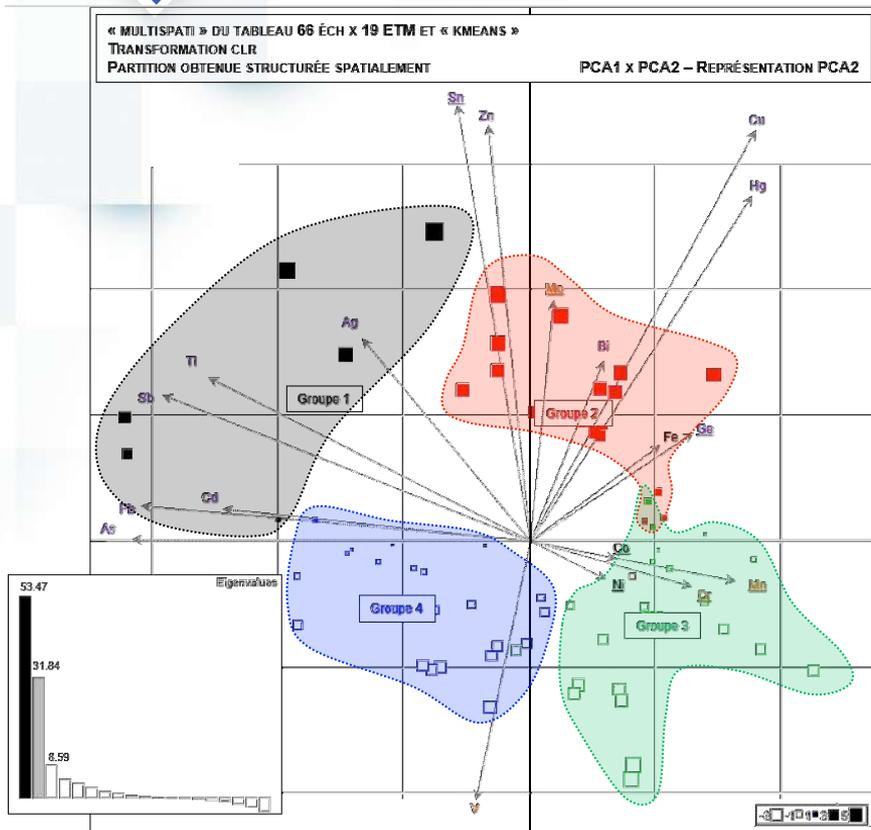
Vue de la cheminée rampante et de son exutoire



Vue des cheminées rampantes et exutoires ESC et SdM



ACP « Multispati » 66 échantillons x 19 ETM



➔ Les diagrammes de corrélation entre variables projetées expliquent plus de 85 % de la variance de la population analysée

➔ Partition structurée spatialement selon 4 groupes



ACP « Multispati » 66 échantillons x 19 ETM

Groupe	Commentaire	Corrélation	Opposition
Groupe 1	Signature proche avec la source ESC avec dans le groupe 50% du Secteur S5 (seuls riverains du groupe) Signature proche avec la source du Site de la Madraque et prélèvements de signature mixte ESC/Site de la Madraque, avec dans le groupe 43% du Secteur S5 (seuls riverains du groupe)	As, Ag, Cd, Pb, Sb, Tl, Sn et Zn	Co, Mn, Ni
Groupe 4	Groupe comprenant 4 secteurs de riverains avec un ratio de 1/3 de remblais avec indice de démolition dans les sols de surface, non cohérent géographiquement. Signature anciennes activités locales avec cheminées associées à des fours à charbon	As, Cd, Pb, V	Fe, Ge, Hg, Zn
Groupe 3	Groupe 100 % riverains, non cohérent géographiquement qui serait le reflet d'une signature de remblais hétérogènes (61% des sols de surface de riverains) et/ou d'un bruit de fond industriel (signature de mélange d'activités anthropiques historiques divers)	Cr, Fe, Ge, Mn, Ni, Co, V	Ag, Bi, Cd, Cu, Pb, Sb, Sn, Zn
Groupe 2		Cu, Hg, Sn, Zn	As, Pb, Sb, Tl

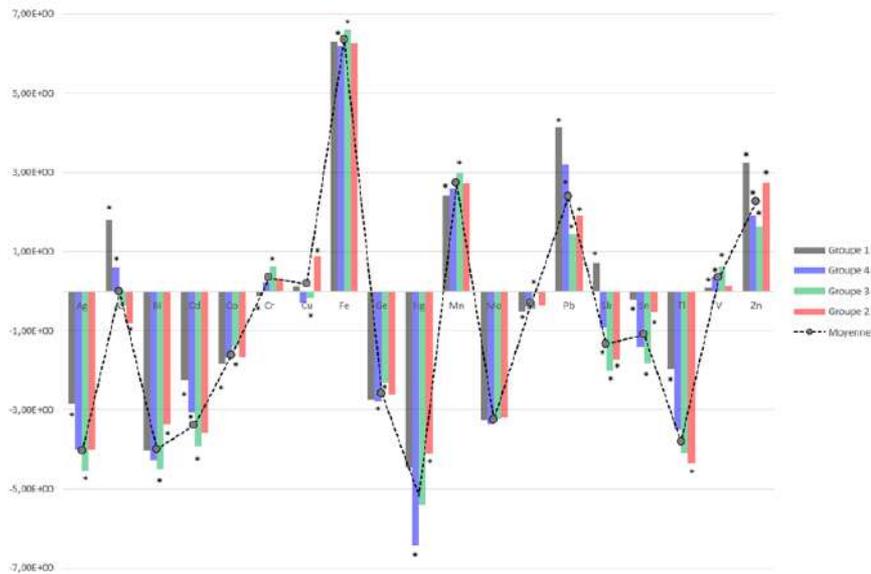
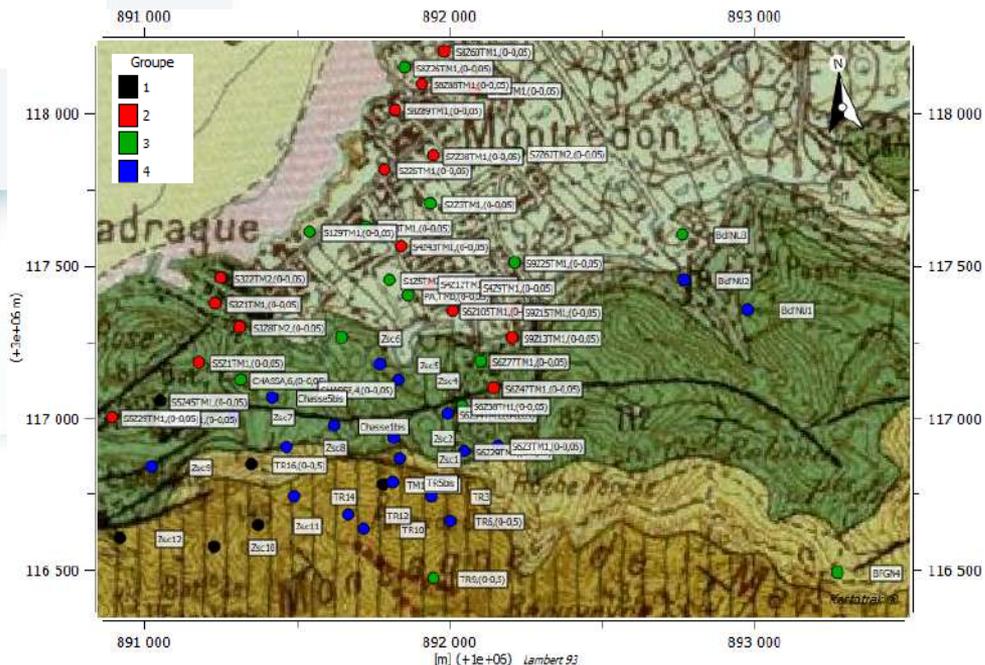


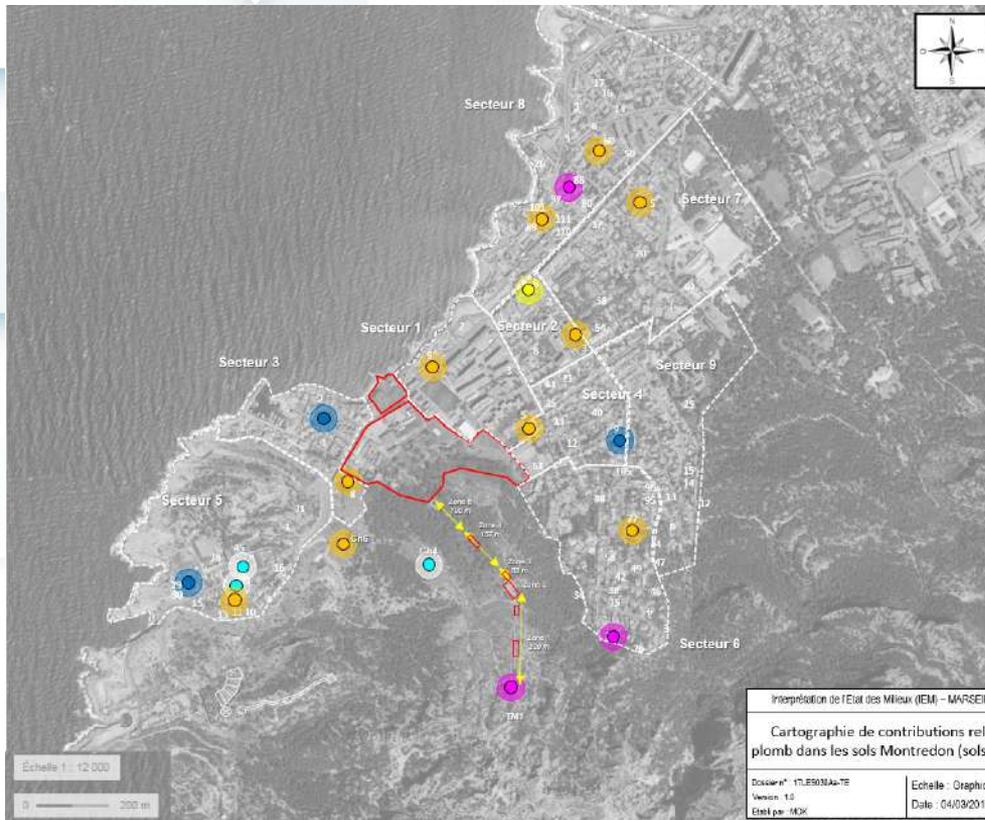
Figure 67 – 19ETM - Histogramme de la signature en 19ETM (teneurs moyennes normalisées par éléments) pour chaque groupe avec comparaison à la moyenne générale



IEM – Traitement des analyse isotopiques



Traçage de source – Contribution en Pb des sources SdM et ESC dans les sols de Montredon



Influence par retombées dans un rayon limité à proximité des cheminées



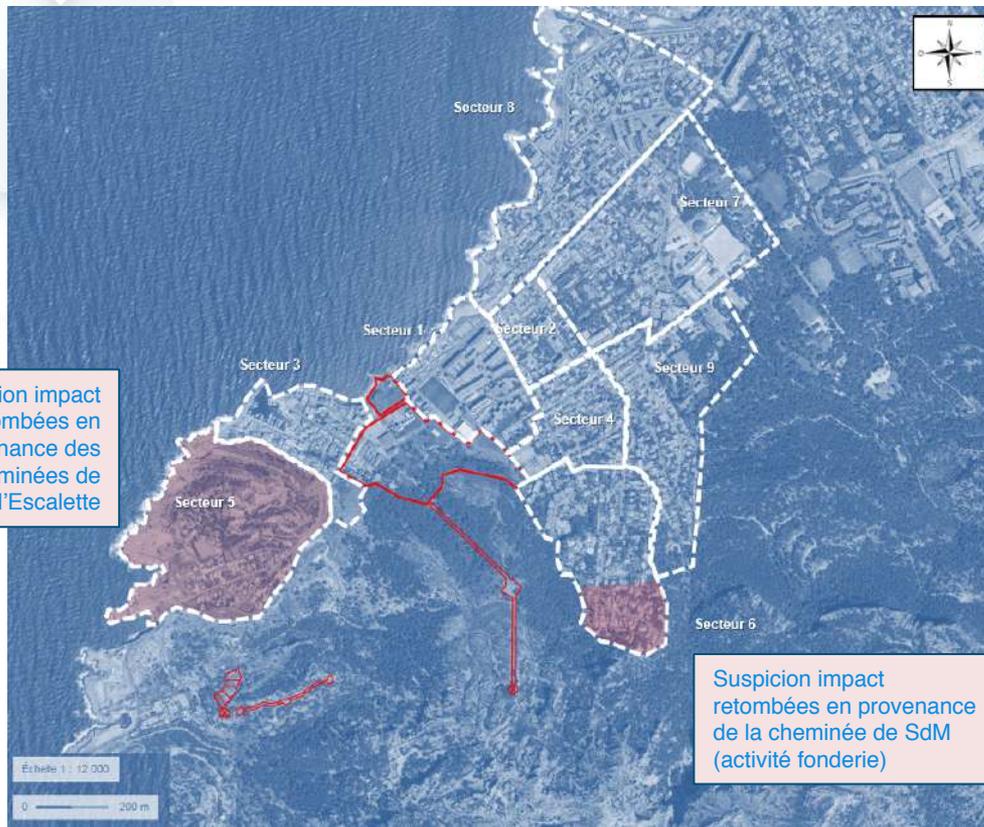
Plus de cohérence géographique dès qu'on s'éloigne : en raison de l'hétérogénéité des sols à l'échelle des parcelles de riverains (nature variée (remblais) et remaniée) et/ou de l'existence d'autres sources



IEM – Synthèse du traçage de source



Conclusion : périmètres impactés par les anciennes activités SdM



Suspicion impact retombées en provenance des cheminées de l'Escalette

Suspicion impact retombées en provenance de la cheminée de SdM (activité fonderie)



Quelque soit la méthodologie de traitement des données isotopiques, 2 secteurs fortement marqués ESC et SdM



Les outils de forensie s'accordent sur ce point et permettent de rendre robuste les conclusions et le périmètre de responsabilité défini



Vue des cheminées rampantes et exutoires ESC et SdM



3.2 | QUALITÉ DES SOLS DANS LES CALANQUES

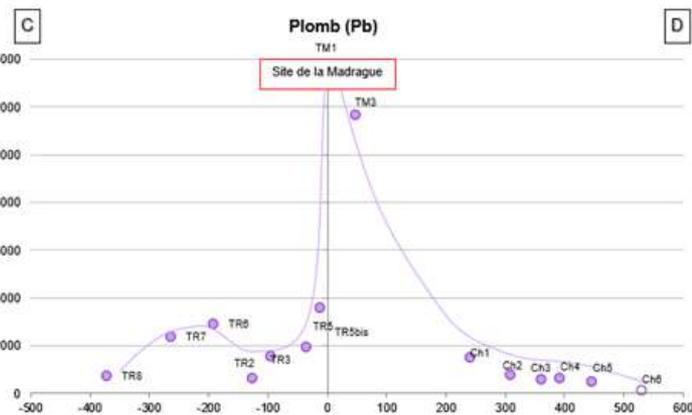
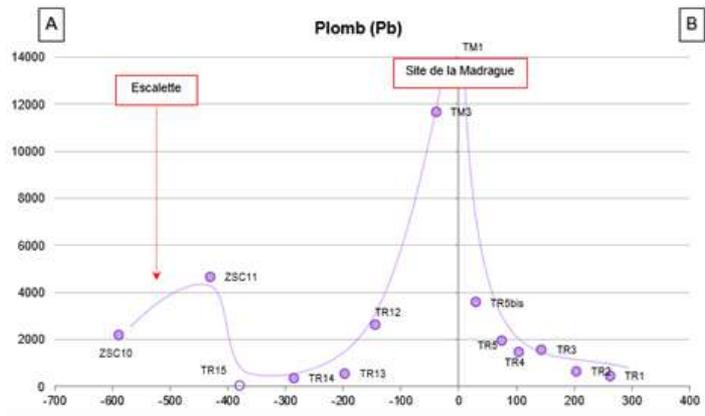
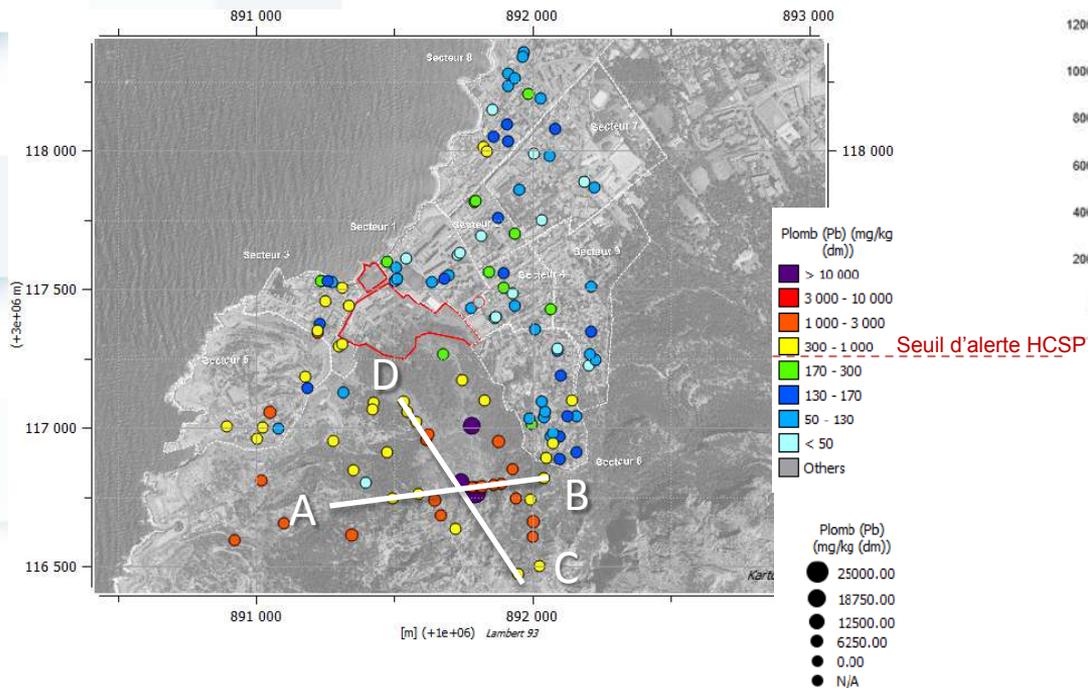




IEM – Qualité des sols dans les Calanques



Présentation de teneurs en Plomb et répartition selon les transects réalisés





3.3 | MILIEU MARIN (EAU, SÉDIMENTS ET OURSINS)





Investigations réalisées et synthèse des résultats



Qualité de l'eau de mer :

- Léger impact pour le plomb, qui s'atténue du bord vers le large.
- Potentiel transfert depuis le crassier présent en bord de mer (érosion du crassier par les vagues), la station du Site de la Madrague se situant en face du crassier. En revanche toute notion d'impact à la qualité de l'eau de mer est à relativiser au regard des teneurs en plomb qui restent faibles



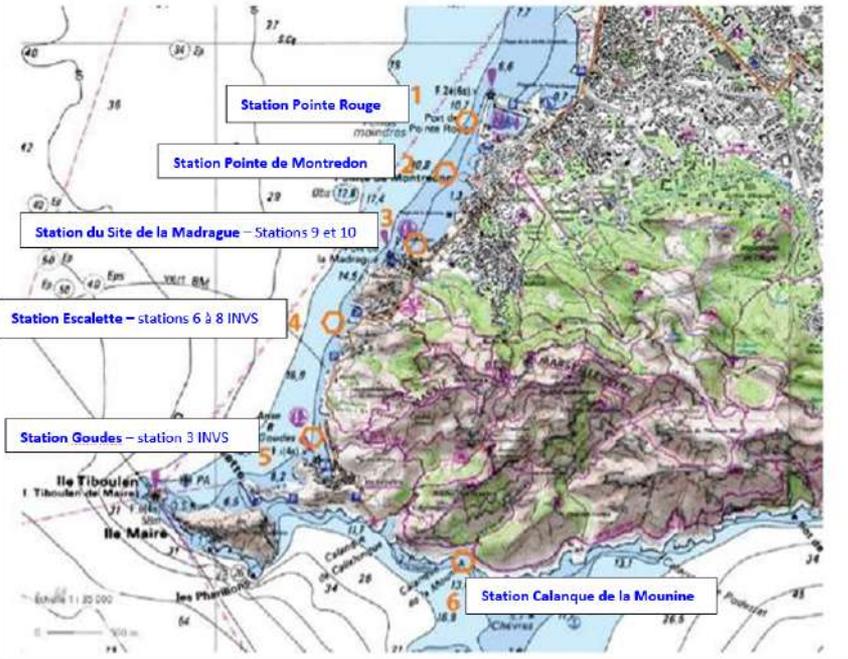
Qualité des sédiments :

- Absence d'impact au niveau du Site de la Madrague en métaux lourds. Il en est de même pour les 5 autres stations à l'exception de la station de l'Escalette (arsenic, cadmium, plomb et zinc),



Qualité des oursins :

- Absence d'impact au niveau de la station du Site de la Madrague (teneurs en métaux comparables, voire inférieures à celles mesurées au niveau des 5 autres stations de prélèvement sur le littoral de la Pointe Rouge aux Goudes).



Impact du Site de la Madrague sur le milieu marin modéré à faible confirmant la faible mobilité des métaux au droit du crassier



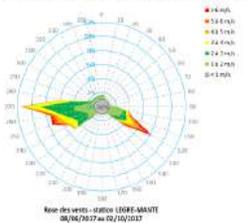
4 | ETUDE ATMOSUD





Investigations réalisées et synthèse des résultats PM10

Figure 4 : Rose des vents période du 08/06/2017 – 02/10/2017

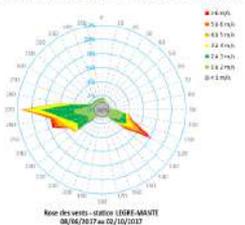


- ➔ Les concentrations mesurées en **PM10** mettent en évidence que le site n'est pas influencé par la source du trafic automobile et s'apparente à un site de typologie urbaine de fond.
- ➔ La composition en métaux lourds de ces particules diffère de celle du site urbain de fond de référence : les particules présentent des teneurs supérieures en antimoine (Sb), étain (Sn) et zinc (Zn) témoignant de l'activité passée du site.
- ➔ Néanmoins cette **influence n'est pas significative**, en effet les concentrations en particules inhalables ainsi que leur teneur en métaux ne sont pas atypiques : bien que les teneurs de certains métaux soient supérieures au site témoin sur certaines mesures, les niveaux et la composition en métaux restent comparables aux valeurs trouvées dans la littérature



Investigations réalisées et synthèse des résultats particules sédimentables

Figure 4 : Rose des vents période du 08/06/2017 – 02/10/2017





5 | ETUDE DE RISQUES SANITAIRES



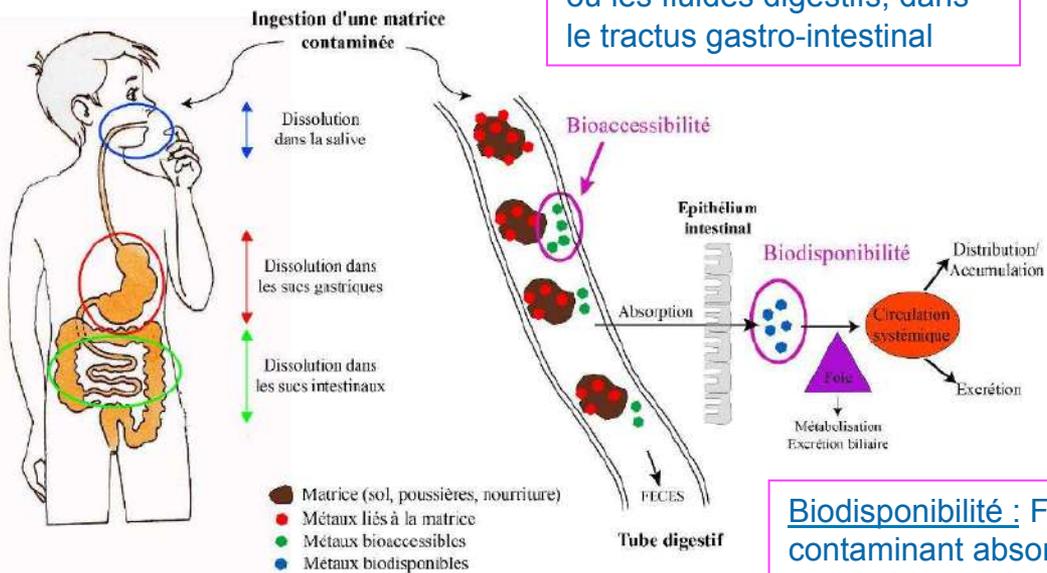


IEM – Utilisation d'outils innovants (sanitaire)



Biodisponibilité et Bioaccessibilité pour l'Arsenic, le plomb et le cadmium uniquement

Bioaccessibilité : Fraction mise en solution par la salive ou les fluides digestifs, dans le tractus gastro-intestinal



Estimation plus réaliste de l'exposition

Seule la fraction extraite de la matrice ingérée et absorbée par l'organisme est susceptible de générer un effet toxique

Biodisponibilité : Fraction du contaminant absorbé atteignant la circulation systémique



Synthèse de l'ERS pour l'exposition Riverains

➔ Exposition majoritaire par ingestion de sols

➔ Calculs de risques pour les Teneurs maximales en Métaux :

Teneurs max en Cd, Cu et Zn
compatibles avec usage constaté

Teneurs max en Pb et As
non compatibles avec usage constaté

**Teneurs inférieures aux seuils de
références en Pb et As**
compatibles avec usage constaté



Synthèse de l'ERS pour l'exposition Calanques

➔ Usage Promenade - Exposition par ingestion de sols pour les enfants, adolescent et adultes

➔ Risques acceptables dans le périmètre de 300 m autour de la cheminée verticale haute

Fréquentation inférieure ou égale à 11
jours par an



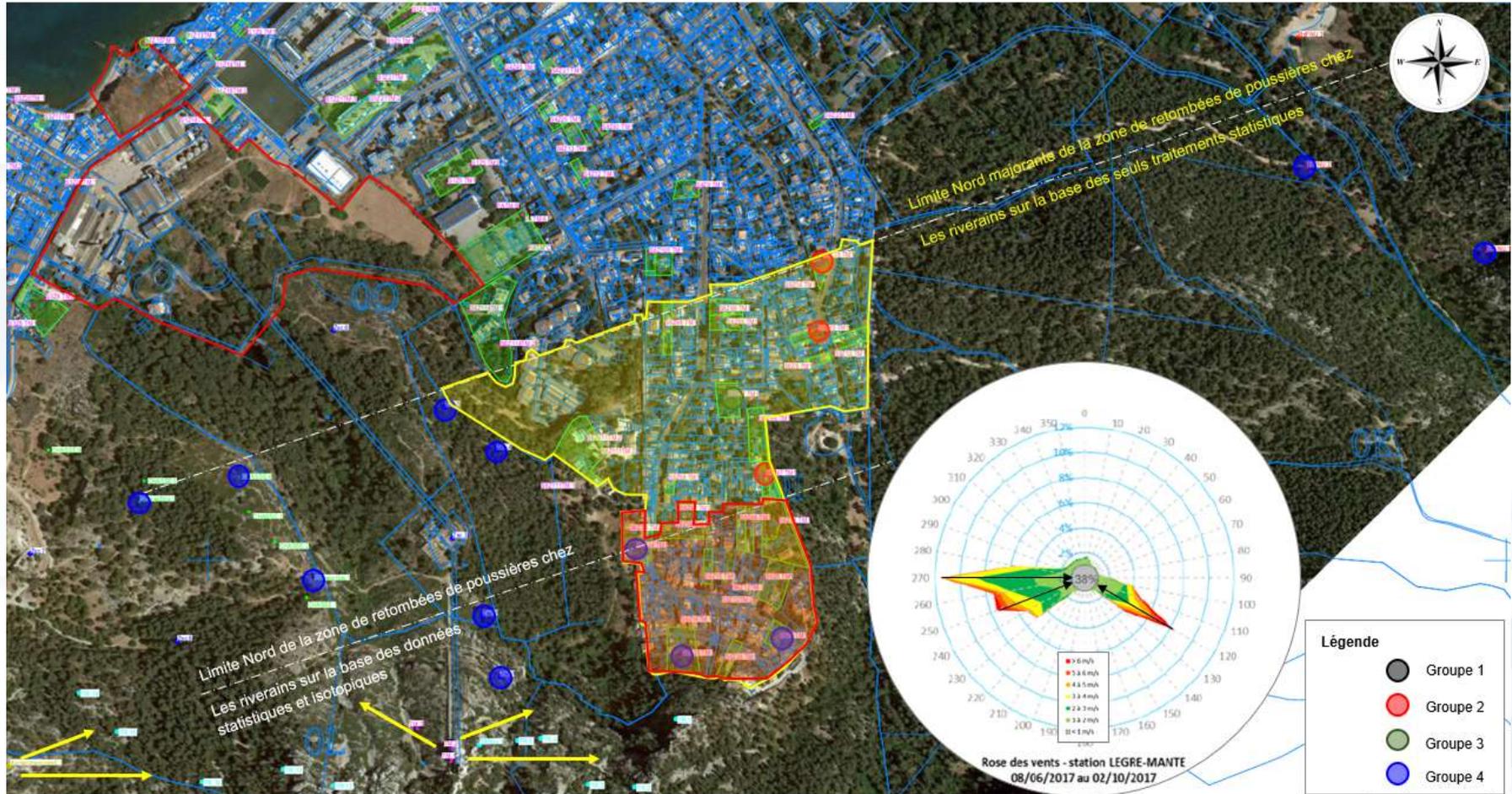
Ramené à 16 jours/an sur la base des
teneurs moyennes dans les sols de surface



6 | SYNTHÈSE SUR LES SOLS HORS SITE



IEM – Synthèse sur les sols hors site





7 | ETUDES COMPLÉMENTAIRES PRÉVUES





Investigations Complémentaires

Retombées de poussières
Nouvelle campagnes ATMOSUD



Campagne élargie pour confirmer l'absence d'impact et disposer d'un état initial avant travaux (juillet 2019)



Plan de Gestion hors site

Parcelles concernées par un impact en Plomb et/ou Arsenic



Définition des mesures de Gestion pour rendre compatible l'état des milieux avec les usages constatés

- Parcelles dans la zone d'influence de la cheminées haute du SdM
- Parcelles sous influence de l'Escalette
- Parcelles avec indices de remblais anthropiques

- Gestion intégrée dans un schéma global de réhabilitation à l'échelle de toute la zone géographique et dans le cadre d'une stratégie globale
- Mesures simples et de bon sens à étudier au cas par cas
- Campagne de dépistage du saturnisme chez l'enfant est recommandée par mesure conservatoire, sur l'ensemble du quartier à l'étude ainsi que dans les secteurs d'impact du périmètre Escalette



8

MESURES DE GESTION RECOMMANDÉES





8.1 | CHEMINÉE HAUTE & CHEMINÉE RAMPANTE





Cheminée haute et Cheminée rampante

Qualité dégradée des sols à l'échelle
du Parc des Calanques



Action globale à l'échelle du Parc en concertation

Préconisation de Mesure de mise en sécurité



La mise en place d'un **poste de secours pompier avancé** sur le secteur pour le risque incendie (à intégrer dans le projet d'aménagement en cours d'élaboration)



La **matérialisation, signalisation et sanctuarisation d'une zone d'exclusion aux randonneurs** de 300 m autour de la cheminée verticale haute et d'une bande de 100 m de part et d'autre de la cheminée rampante.

Par mesure de précaution, une **interdiction des activités de cueillette** sur le périmètre **ainsi que de chasse** doit être également matérialisée et signalée (à étendre à l'ensemble des Calanques ?)

Nota : Se rapprocher du Projet ECCOREV (Etude interdisciplinaire préliminaire pour l'évaluation des risques croisés sur un territoire contaminé en métaux et métalloïdes du Parc national des Calanques) doit se focaliser sur le site de l'Escalette, pour approfondir la compréhension de sa vulnérabilité dans le cadre des changements climatiques. Il s'agit de mettre en œuvre une démarche multifactorielle qui permettrait de définir et proposer des modalités de gestion durable des sols contaminés par la pollution diffuse, tout en favorisant la biodiversité locale spontanée.



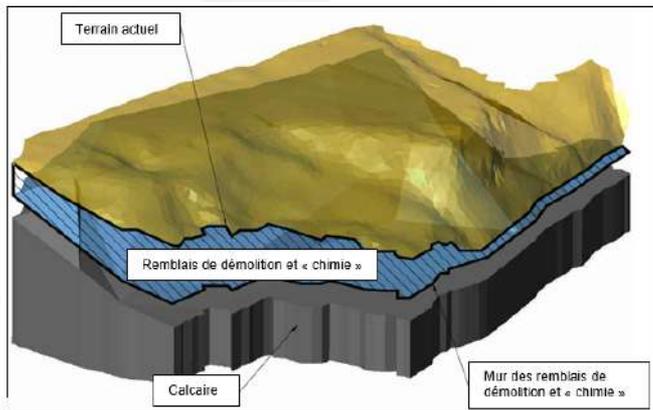
8.2 | PARCELLE B - CRASSIER





Parcelle B

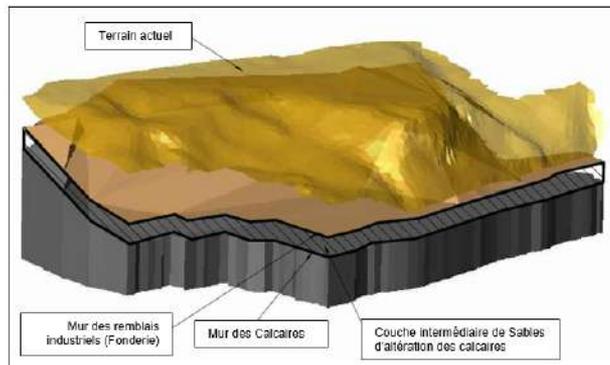
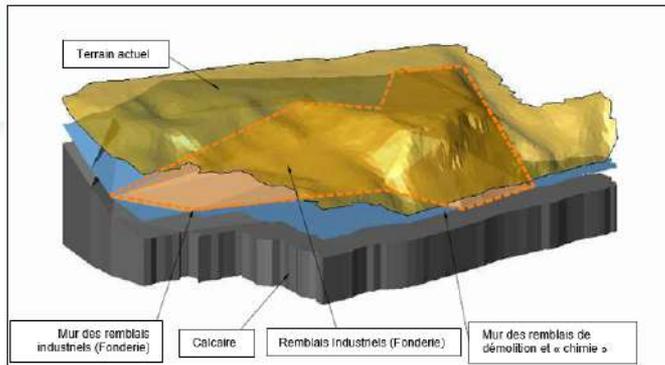
Mise en œuvre d'un Plan de Gestion



Différentes mesures de gestion doivent être étudiées au travers d'un bilan couts / avantages afin de définir les mesures de gestion les plus appropriées (volumes, contraintes géotechniques et environnementales)



Transfert limité de contaminant dans l'environnement, en direction des parcelles voisines lors de certains épisodes de vents importants dans un rayon de 150m, et également en direction de la mer suite à l'érosion liée aux vagues





8.3 | SITE DE L'ESCALETTE





Site de l'Escalette

Contexte de requalification du Site de
la Madrague



Etude pour s'assurer de l'impact actuel du site de l'Escalette sur
son environnement



Vérifier la contribution actuelle éventuelle du Site sur l'environnement

Le cas échéant,



Mise en œuvre des mesures de gestion afin de garantir

- la maîtrise des sources
- la suppression des voies de transfert (a minima recouvrement et confinement des secteurs concernés par des envols de poussières)



INTERPRETATION DE L'ETAT DES MILIEUX

ANCIEN SITE DE LA MADRAGUE - MARSEILLE

Merci de Votre attention