

Cartographie et revégétalisation de sols contaminés aux HAPs Phase I

2022

- CARE -



Mathilde Reuillard

mathilde.reuillard@institut-ecocitoyen.fr

04 90 55 49 94 / 06 42 65 45 31

Institut Ecocitoyen pour la Connaissance des Pollutions

RD268 - Centre de vie la Fossette - 13270 Fos-sur-Mer 04.90.55.49.94 – www.institut-ecocitoyen.fr

Le présent rapport est publié sous licence CC-BY-ND

Les données, les interprétations et les images présentes dans ce rapport sont la propriété de l'Institut Écocitoyen pour la Connaissance des Pollutions, libres d'accès et d'utilisation à condition de citer les références du rapport et d'indiquer la source des données, photos, et graphiques ("Institut Écocitoyen pour la Connaissance des Pollutions").

Il ne sera pas apporté de modifications à la version originale du rapport à des fins de diffusion. L'Institut Écocitoyen pour la Connaissance des Pollutions ne pourra être tenu responsable de toute interprétation réalisée par un tiers et qui n'est pas explicitement détaillée dans ce rapport.

Pour citer ce rapport :

[Mathilde Reuillard. Cartographie et revégétalisation de sols contaminés aux HAPs – CARE Phase I. Institut Écocitoyen pour la Connaissance des Pollutions, 2022.](#)

Table des matières

I. Introduction.....	4
II. Plan et méthode d'échantillonnage.....	4
II.1 Sols.....	5
II.1.1 Plan d'échantillonnage.....	5
II.1.2 Méthode.....	5
II.2 Lichens.....	6
II.2.1 Plan d'échantillonnage.....	6
II.2.2 Méthode.....	7
II.2.3 Données supplémentaires.....	7
II.3 Analyses chimiques.....	7
III. Résultats.....	8
III.1 Sols.....	8
III.2 Biosurveillance par les lichens.....	11
IV. Discussion.....	12
IV.1 <i>Contaminations des sols</i>	12
IV.1.1 Presqu'île du Mazet.....	12
IV.1.2 Canal Saint-Louis.....	13
IV.1.3 Centre-ville.....	14
IV.2 Exposition atmosphérique en HAPs.....	15
IV.3 Recommandations.....	15
V. Conclusion.....	16
VI. Perspectives.....	16
VII. Références bibliographiques.....	18
Annexe 1 : Coordonnées GPS des points de prélèvements.....	20
Annexe 2 : Concentrations en métaux mesurées dans les lichens.....	21
Annexe 3 : Concentrations en dioxines et furanes mesurées dans les lichens.....	22
Annexe 4 : Concentrations en levoglucosan mesurées dans les lichens.....	23

I. Introduction

Lors de précédents travaux, l'IECP a mis en évidence une exposition marquée aux Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAPs) atmosphériques au sein de la ville de Port-Saint-Louis-du-Rhône. Parmi ces travaux, le projet HAPSI (2019-2021) a permis d'identifier diverses sources d'apports atmosphériques à l'origine de cette exposition, notamment les activités portuaires et industrielles, le chauffage au bois et les envois de poussières de sols contaminés, héritage d'un passé industriel marqué. Les zones les plus exposées sont le centre-ville, le Canal Saint-Louis et la Presqu'île du Mazet.

Le projet CARE « Cartographie et REvégétalisation des sols contaminés aux HAPs » a fait suite à cette étude. Dans le cadre de ce projet, plusieurs volets d'actions ont été proposés par l'IECP pour compléter l'état des connaissances sur la contamination des sols en HAPs et apporter des solutions permettant de réduire les envois de poussières de sols contaminés et donc limiter l'exposition de la ville aux HAPs.

D'une part, une cartographie de la contamination des sols selon un maillage centré sur le centre-ville, le Canal-Saint-Louis et la Presqu'île du Mazet, a été réalisée. Elle permet d'apprécier plus précisément le gradient de contamination en HAPs et d'identifier les zones les plus exposées, qui nécessiteront un effort particulier dans les mesures de prévention mises en place.

D'autre part, des essais de revégétalisation des parcs urbains et des zones en friches de la ville, à l'origine d'un apport de HAPs via les envois de poussières de sols, sont envisagés afin de réduire cette source d'émissions. Leur efficacité sera évaluée à partir des mesures d'empoussièrement des zones revégétalisées, complétées par un suivi de la dégradation des HAPs dans le sol.

Ce rapport présente les résultats de la première phase du projet CARE, axés sur la cartographie précise de la contamination des sols en HAPs de la ville et sur les mesures de biosurveillance atmosphérique.

II. Plan et méthode d'échantillonnage

Afin de compléter les observations réalisées lors du projet HAPSI, 10 nouveaux points de prélèvements de sols ont été choisis selon un maillage axé sur le centre-ville, le Canal Saint-Louis et la Presqu'île du Mazet (Tableau 1 et Figure 1, sites 11 à 20).

Les coordonnées GPS des sites sont présentées dans l'Annexe 1.

Tableau 1: Liste des points de prélèvements et types d'échantillonnages associés (projets HAPSIS et CARE)

Points de prélèvements	Sols		Lichens		Points de prélèvements	Sols		Lichens	
	HAPSIS (2020)	CARE (2022)	HAPSIS (2020)	CARE (2022)		HAPSIS (2020)	CARE (2022)	HAPSIS (2020)	CARE (2022)
1	X		X	X	11		X		
2	X		X		12		X		X
3	X		X	X	13		X		X
4	X		X		14		X		
5	X		X	X	15		X		
6	X		X		16		X		
7	X		X		17		X		
8	X				18		X		
9	X			X	19		X		
10	X			X	20		X		

II.1 Sols

II.1.1 Plan d'échantillonnage

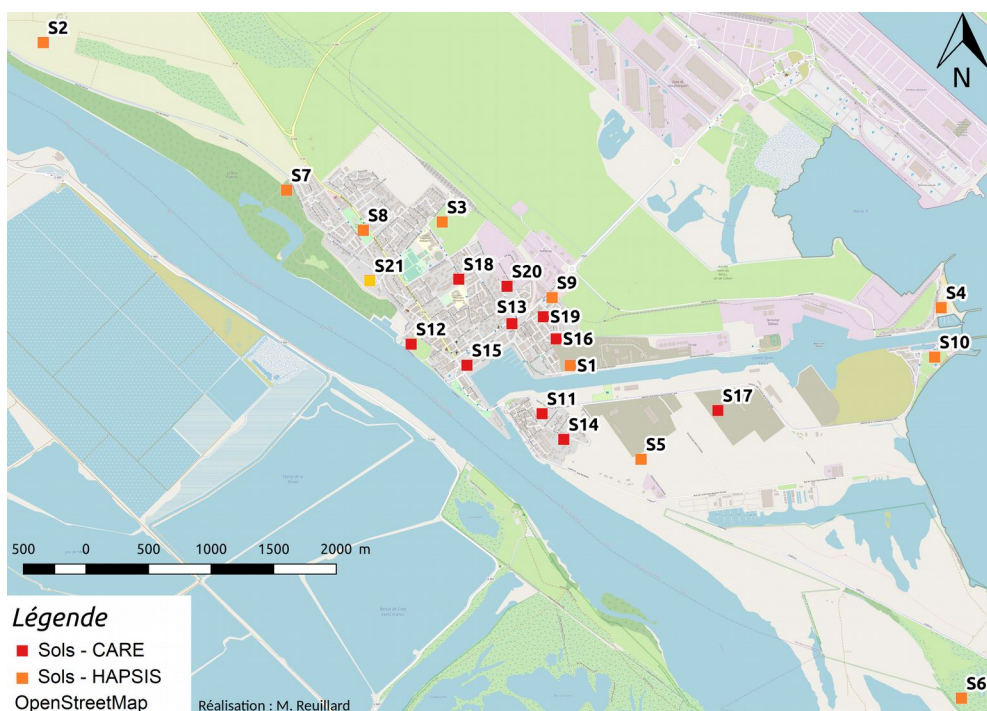


Figure 1: Localisation des points de prélèvements de sols (projets HAPSIS et CARE)

Pour les prélèvements de sols, 10 nouvelles mesures se sont ajoutées à celles déjà réalisées en 2020 (sites 11 à 20) (Tableau 1 et Figure 1).

A noter que le site 21 correspond à une mesure réalisée dans le cadre des travaux de l'IECP sur les jardins partagés du Poti'Rhône à Port-Saint-Louis-du-Rhône (2015-2018).

II.1.2 Méthode

Les échantillons de sols ont été prélevés les 22/11/2021 et 06/12/2021.

Pour chaque station, au sein d'une zone de 10*10 m délimitée préalablement, 9 prélèvements de sols ont été réalisés (Figure 2). Chaque point correspond à un échantillonnage de sols en surface (0-15 cm) effectué à l'aide d'une tarière manuelle. Ces 9 prélèvements ont ensuite été réunis dans un échantillon composite. Ensuite, ces échantillons composites ont été triés (retrait des éléments grossiers et impuretés), quartés, lyophilisés, et tamisés à 2 mm ; avant d'être envoyés dans différents laboratoires pour les analyses des HAPs et des paramètres physico-chimiques (pH, carbone organique, azote total, CEC, granulométrie et salinité).

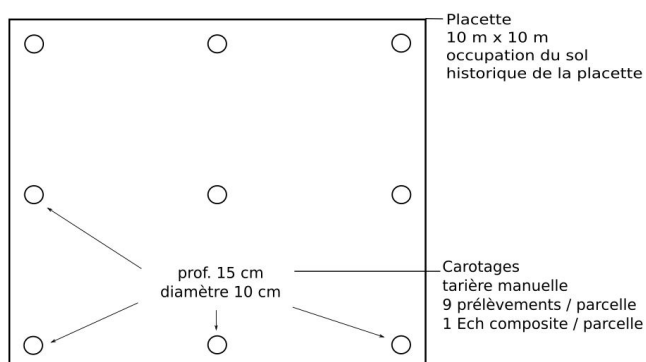


Figure 2: Schéma de la méthode de prélèvement des sols

II.2 Lichens

II.2.1 Plan d'échantillonnage

Pour les prélèvements de lichens, 7 mesures ont été effectuées : 3 sur des sites déjà étudiés en 2020 (sites 1, 3 et 5) et 4 sur de nouveaux sites (sites 9, 10, 12 et 13) (Tableau 1 et Figure 3).

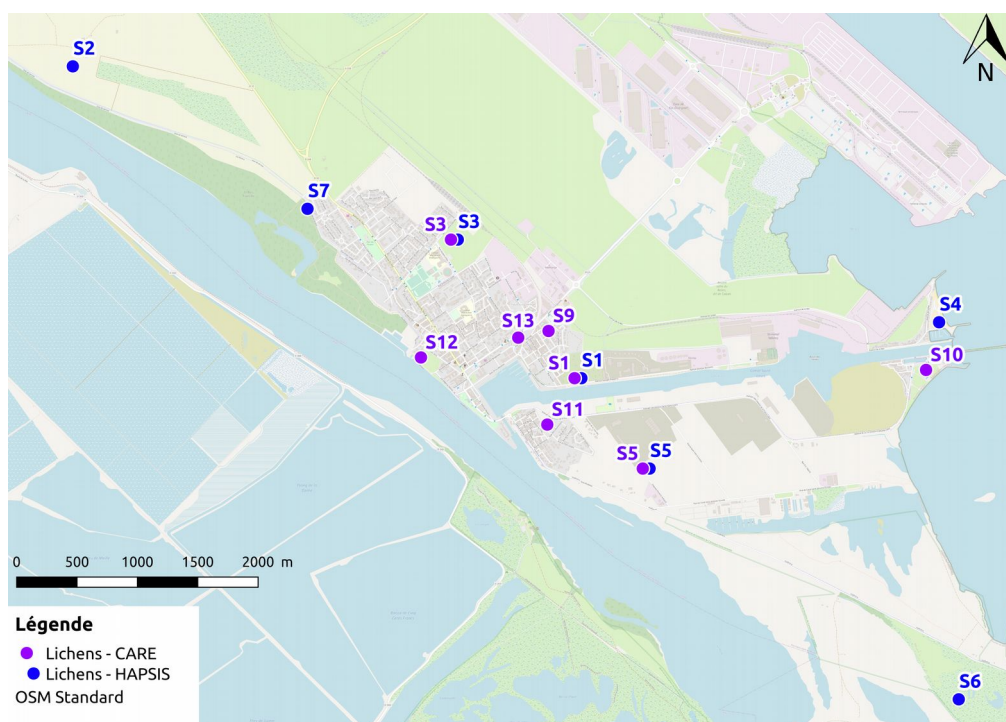


Figure 3: Localisation des points de prélèvements de lichens (projets HAPSI et CARE)

II.2.2 Méthode

Les échantillons de lichens ont été prélevés les 7/10/2021 et 13/10/2021.

Pour chaque station, des thalles de *Xanthoria parietina* ont été récoltés sur différents troncs d'arbres feuillus à l'aide d'un couteau en céramique. Une fois au laboratoire, les échantillons ont été triés afin d'enlever les poussières, débris de végétaux et espèces non souhaitées. Ils ont ensuite été lyophilisés et broyés avant d'être envoyés au laboratoire pour les analyses HAPs.

II.2.3 Données supplémentaires

Pour les lichens de 8 sites (1, 3, 5, 9, 10, 11, 12 et 13) en plus des HAPs, les concentrations de 3 familles de polluants ont été mesurées. Il s'agit des concentrations en métaux (Al, Fe, As, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Mn, Mo, Ni, Pb, Sb, Sn, Ti, Tl, V, Zn), dioxines-furanes et lévoglucosan. Les résultats obtenus ont été présentés en annexe afin de pouvoir les comparer avec ceux obtenus pour les HAPs (Annexes 2, 3 et 4).

II.3 Analyses chimiques

A ce jour, environ 130 HAPs ont été identifiés et 16 sont retenus comme prioritaires par l'agence environnementale américaine (US-EPA) en raison de leur potentielle toxicité. Les analyses effectuées portent sur ces 16 HAPs (Tableau 2) qui sont les plus fréquemment recherchés et analysés dans les études de risque pour l'environnement (Rollin *et al.*, 2005 ; Girard *et al.*, 2011).

Tableau 2 : Description des 16 HAPs définis comme prioritaires par l'EPA et analysés dans cette étude

Nom	Symbole	Nombre de cycles	Formule chimique
Naphtalène	Nap	2	C ₁₀ H ₈
Acénaphtylène	Acy	3	C ₁₂ H ₈
Acénaphène	Ace		C ₁₂ H ₁₀
Fluorène	Fle		C ₁₃ H ₁₀
Anthracène	Ant		C ₁₄ H ₁₀
Phénanthrène	Phe		C ₁₄ H ₁₀
Fluoranthène	FIA	4	C ₁₆ H ₁₀
Pyrène	Pyr		C ₁₆ H ₁₀
Benzo(a)anthracène	BaA		C ₁₈ H ₁₂
Chrysène	Chr		C ₁₈ H ₁₂
Benzo(a)pyrène	BaP	5	C ₂₀ H ₁₂
Benzo(b)fluoranthène	BbF		C ₂₀ H ₁₂
Dibenzo(ah)anthracène	DBA		C ₂₂ H ₁₄
Benzo(k)fluoranthène	BkF		C ₂₀ H ₁₂
Benzo(ghi)pérylène	Bpe	6	C ₂₀ H ₁₂
Indeno(1,2,3-cd)pyrène	lpy		C ₂₂ H ₁₂

Après le pré-traitement des échantillons, les analyses des HAPs contenus dans les échantillons de lichens et de sols ont été réalisées au Laboratoire de Chimie analytique de la Faculté de la Timone. Une extraction solide/liquide à haute pression et haute température (ASE 350 Dionex) a été réalisée sur les matrices sols et lichens. Un étalon interne (anthracène d10) a été ajouté à la prise d'essai avant l'extraction afin de compenser les incertitudes expérimentales et analytiques. Pour les sols, la prise d'essai a été mélangée à de la terre de diatomée afin d'augmenter l'efficacité d'extraction. L'extraction a été réalisée à 100 °C, 100 bars avec un mélange dichlorométhane/acétone (1:1) pour les sols. Pour les lichens, le dichlorométhane seul a été choisi comme solvant d'extraction. Une étape de purification sur cartouche de silice a été ajoutée pour la matrice lichénique afin d'éliminer les composés polaires et améliorer la sensibilité analytique. Les extraits récupérés ont été concentrés et transférés dans l'hexane pour atteindre un volume final de 500 µL puis ils ont été filtrés sur filtre PTFE 0,45 µm.

Les analyses chimiques ont été réalisées par chromatographie gazeuse (Trace GC Thermo) couplée à un spectromètre de masse triple quadripôles (XLS Quantum Thermo) en mode « fullscan » pour avoir le spectre de masse complet et en mode « SIM (Single Ion Monitoring) » pour la quantification.

III. Résultats

III.1 Sols

Les concentrations en HAPs trouvées dans les sols lors de deux campagnes d'échantillonnages (Tableau 3) ont permis de réaliser une cartographie de contamination des sols (Figure 4).

Tableau 3 : Concentrations totales des 16 HAPs relevées dans les sols

	Site 1	Site 2	Site 3	Site 4	Site 5	Site 6	Site 7
[HAP]* (µg/kg)	30 747	402	3 270	693	10 902	3 144	559
	Site 8	Site 9	Site 10	Site 11	Site 12	Site 13	Site 14
[HAP]* (µg/kg)	2 746	14 531	1 255	8269	5532	35 459	2 981
	Site 15	Site 16	Site 17	Site 18	Site 19	Site 20	Site 21
[HAP]* (µg/kg)	1 077	15 208	88 481	12 440	6 251	9 419	5 035

(*) Les concentrations en HAPs totaux mesurées ici correspondent aux cumuls des concentrations des 16 HAPs classés comme polluants prioritaires par l'Agence de protection de l'environnement des Etats-Unis (US-EPA).

Tous les sols de la ville contiennent des HAPs mais les concentrations retrouvées sont très hétérogènes, elles varient entre 402 µg/kg (site 2) et 88 481 µg/kg (site 17) (Tableau 2 et Figure 4). A noter que les concentrations habituellement retrouvées dans les sols français sont comprises entre 100 et 1 000 µg/kg (INERIS, 2005), les résultats obtenus dans les sols de Port-Saint-Louis-du-Rhône sont donc relativement élevés.

Dans le détail, les secteurs les plus impactés par une pollution des sols en HAPs sont l'est et le sud du centre-ville, regroupant les quartiers Faubourg Hardon et Foch. En effet, les niveaux relevés dans ces

secteurs mettent en évidence une pollution ponctuelle historique, consécutive à l'activité industrielle passée.

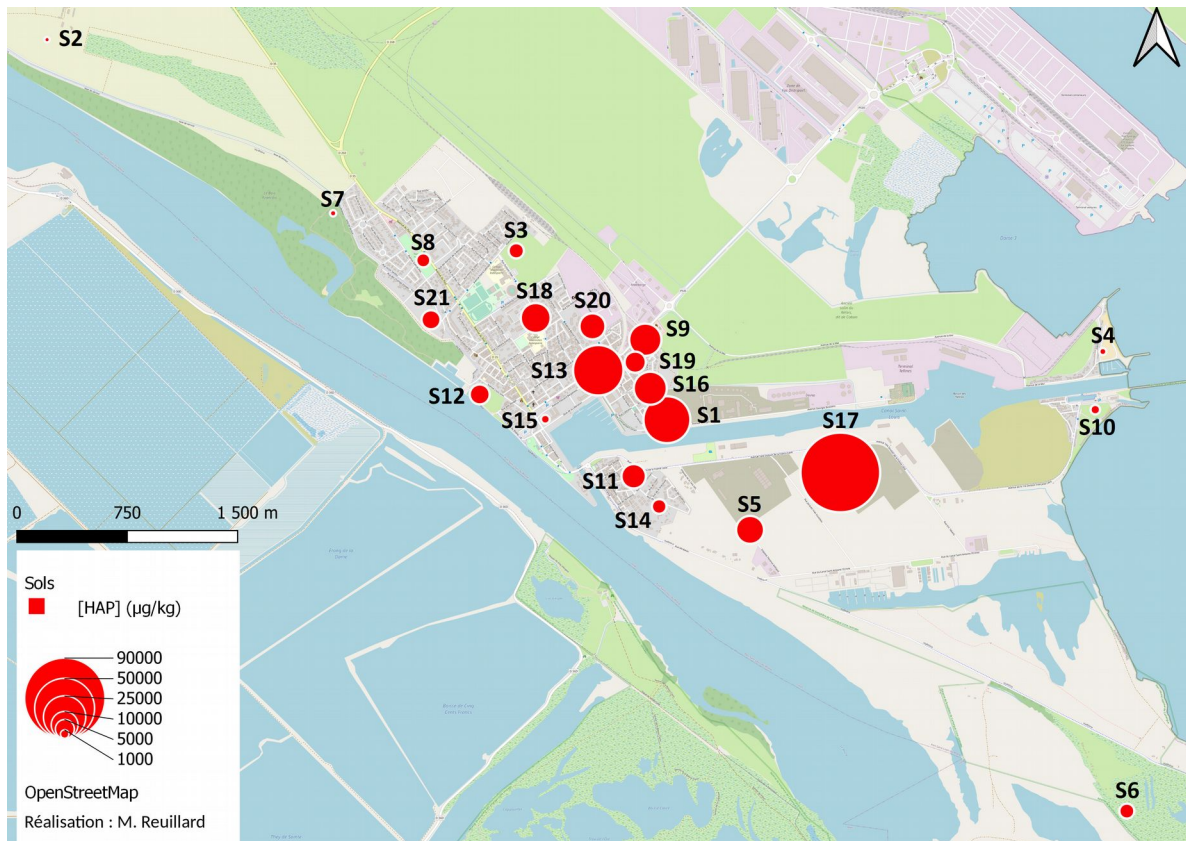


Figure 4: Concentrations totales des 16 HAPs mesurées dans les sols (projets HAPGIS et CARE)

La Figure 5 présente les profils des congénères HAPs trouvés dans les sols prélevés dans le cadre du projet CARE. Les distributions des congénères HAPs montrent une dominance des HAPs lourds (supérieurs à 5 cycles) dans les sols les plus contaminés, soit les sites 13, 16 et 17, et dans une moindre mesure les sites 18, 19 et 20. Ces résultats semblent confirmer la présence d'une pollution historique sur ces sites. En effet, les processus de vieillissement tels que la lixiviation (solubilisation), l'évaporation, la volatilisation et la biodégradation peuvent modifier la distribution des HAPs (Wilcke, 2000). Ainsi les HAPs de faible poids moléculaire sont plus volatils et plus sensibles à la dégradation microbienne, leurs concentrations ont donc tendance à diminuer avec le temps.

Les profils congénères des sites 11, 12, 14 et 15 présentent, eux, une plus grande proportion de HAPs dit légers (inférieur à 3 cycles) et des teneurs plus faibles, inférieures à 5000 µg/kg, ce qui semble indiquer une pollution diffuse de ces sols par des apports atmosphériques récents.

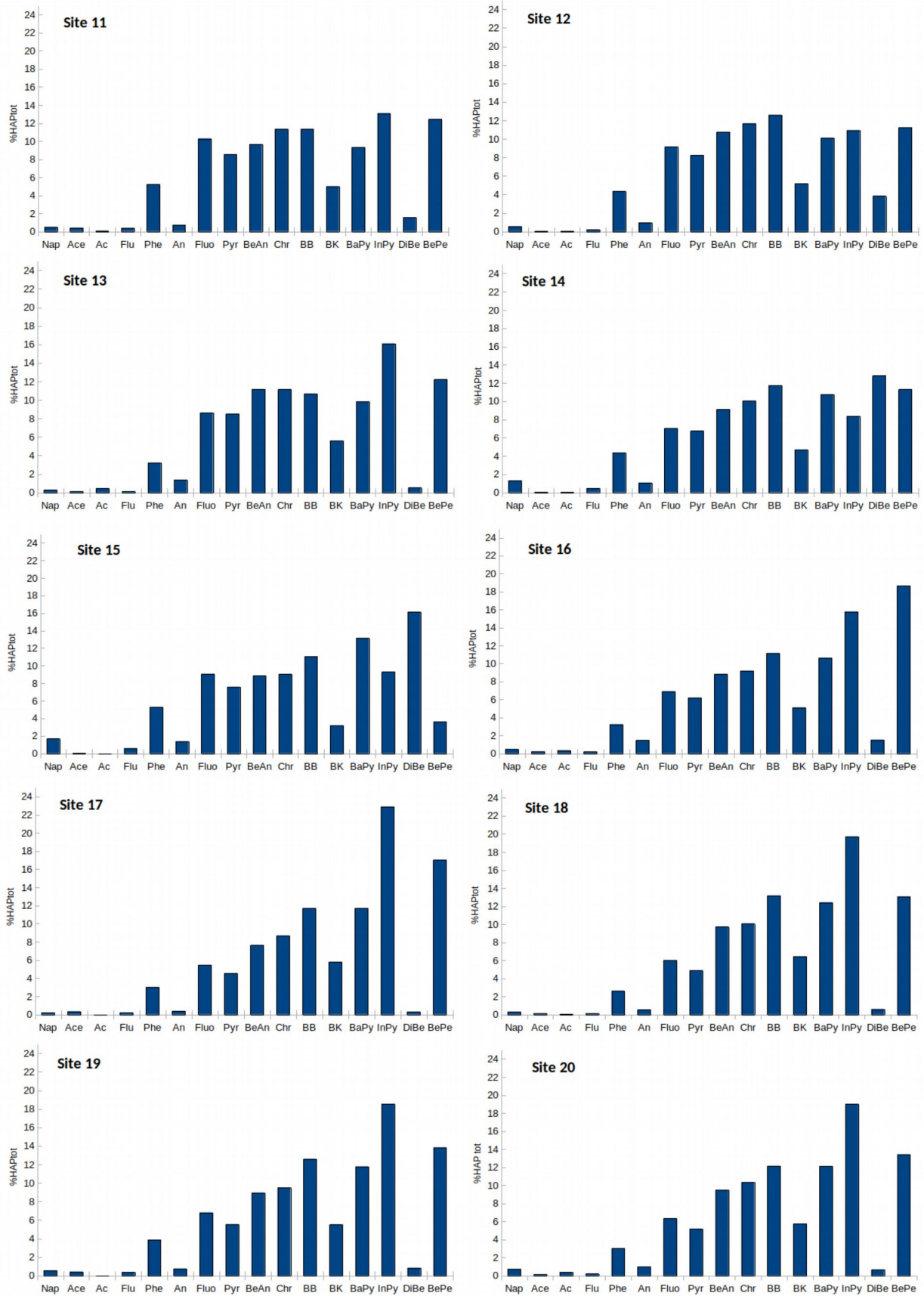


Figure 5: Profils des congénères HAPs enregistrés dans les différents sols prélevés dans le cadre du programme CARE

III.2 Biosurveillance par les lichens

Des prélèvements de thalles de *X.parietina* ont permis de mesurer les concentrations de 16 HAPs bioaccumulés dans les lichens et ce, lors de trois campagnes d'échantillonnage (Figure 6).

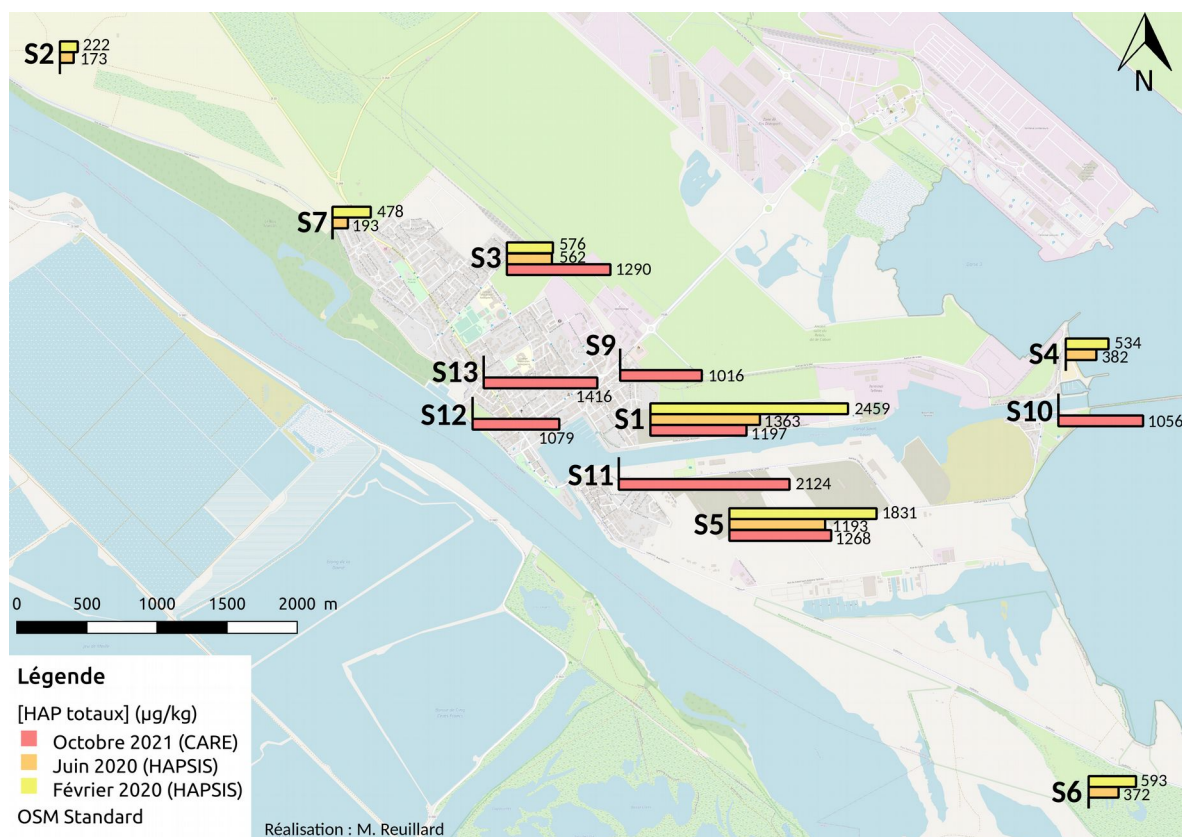


Figure 6: Concentrations totales des 16 HAPs mesurées dans les thalles de *X.parietina* (projets HAPSIS et CARE)

Les résultats obtenus témoignent d'une exposition atmosphérique aux HAPs sur la ville, qui se traduit par des teneurs élevées de HAPs dans les lichens, et ce lors des trois périodes étudiées.

Cependant, ce phénomène a été plus accentué en hiver (en jaune sur la carte), où les mesures en HAPs ont été les plus élevées, excepté pour le site 3. Cette différence saisonnière d'exposition peut s'expliquer par les modifications des paramètres météorologiques qui favorisent l'accumulation des polluants dans l'atmosphère, mais aussi par l'augmentation des émissions de HAPs en hiver due aux émissions domestiques, notamment au chauffage au bois.

Par ailleurs, on peut remarquer que la répartition des concentrations entre les sites est très hétérogène. Elles ont varié entre 222 µg/kg (S2) et 2459 µg/kg (S1) lors de la campagne de février 2020, entre 173 µg/kg (S2) et 1363 µg/kg (S1) lors de celle de juin 2020, et entre 1016 µg/kg (S9) et 2124 µg/kg (S11) pour celle d'octobre 2021. Dans l'ensemble, les mesures réalisées ici sont supérieures aux niveaux relevés dans le reste du territoire métropolitain ou sur d'autres zones industrielles en Europe (Ratier *et al.*, Dron *et al.*, 2021), et confirme l'exposition atmosphérique en HAPs de la ville de Port-Saint-Louis-du-Rhône.

IV. Discussion

IV.1 Contaminations des sols

Les zones les plus exposées sont le pourtour du Canal Saint-Louis, la Presqu'île du Mazet et le centre-ville, notamment les faubourgs Hardon, Vauban et Venise ainsi que Malebarge (Figure 4). Ces secteurs correspondent aux zones anciennement industrialisées de la ville .

Les historiques des sites ayant les concentrations en HAPs les plus élevées dans les sols sont présentés ci-dessous, avec leurs usages actuels et passés. Ces historiques industriels permettent de mettre en avant les pollutions ponctuelles, considérées comme l'une des principales sources de contamination de l'air et des sols (Reuillard et Austruy, 2020).

IV.1.1 Presqu'île du Mazet

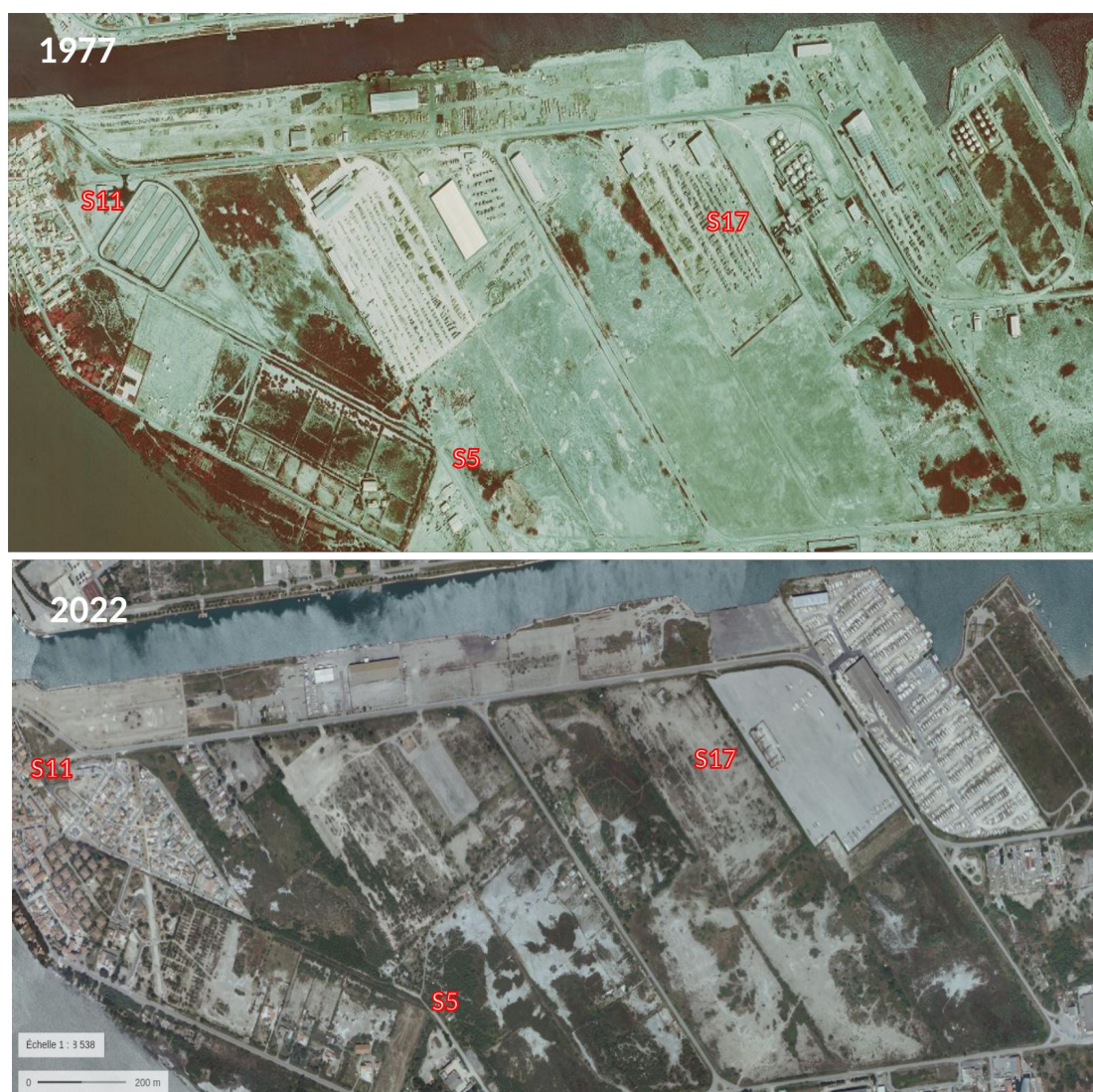


Figure 7: Photo aérienne de la Presqu'île du Mazet et du port pétrolier réalisée en 1977 et 2022 et position des sites 5, 11 et 17 (Source : IGN)

Trois sites ont été échantillonnés dans ce secteur, ils sont listés ci-dessous avec leur utilisation actuelle :

- **Site 5** ([HAPs] = 10 902 µg/kg) : Terrain privé servant de pâturage continu pour chevaux
- **Site 11** ([HAPs] = 8 269 µg/kg) : Aire de jeux et terrain de sport à proximité d'une zone résidentielle
- **Site 17** ([HAPs] = 88 481 µg/kg) : Port à sec

Le site 17 est le site le plus contaminé de la presqu'île du Mazet. Il s'agit d'un ancien site industriel qui a connu différents types d'activités. De 1972 à 2005 la parcelle était occupée par le port pétrolier de Givors qui servait à entreposer, conditionner et formuler des produits pétroliers et chimiques divers (Figure 7). De 2005 à 2011, le terrain a appartenu à Total additifs et carburant spéciaux et servait au stockage de liquide inflammables spéciaux pour la compétition automobile. La contamination élevée en HAPs relevée sur ce site est donc consécutive au stockage de produits pétroliers et nécessite une action de dépollution en vue de la réhabilitation de ces parcelles. Les sites 5 et 11, qui n'ont pas accueilli d'activités polluantes à leur surface, semblent avoir été contaminés par pollution diffuse suite aux envols de poussières de sols contaminés, aux émissions et aux déplacements d'engins.

IV.1.2 Canal Saint-Louis

Deux sites ont été échantillonnés dans ce secteur, ils sont listés ci-dessous avec leur utilisation actuelle :

- **Site 1** ([HAPs] = 30 747 µg/kg) : Friche industrielle
- **Site 16** ([HAPs] = 15 208 µg/kg) : Zone résidentielle

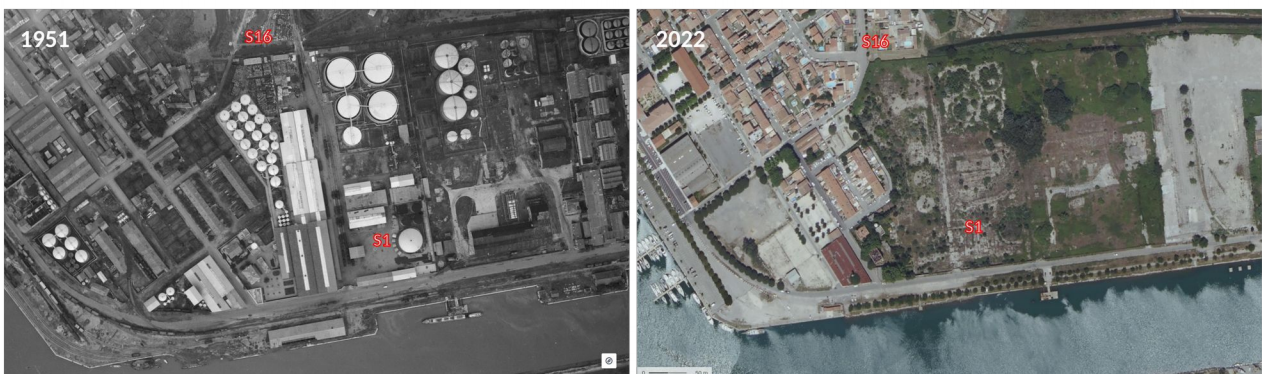


Figure 8: Photo aérienne des bords du Canal Saint-Louis réalisée en 1951 et 2022 et position des sites 1 et 16
(Source : IGN)

Le **site 1** est maintenu en état de friche industrielle suite à l'arrêt de l'activité de l'usine Arthur Armand qui était une usine de raffinage et/ou de stockage d'huiles minérales, dont les dates d'activité ne sont pas renseignées. Ce site a aussi accueilli la société Frahuil qui exploitait un stockage de produits pétroliers et d'huiles d'origine végétales (Figure 8). Le **site 16** ne présente pas d'activité industrielle répertoriée.

De plus, les **sites 1 et 16** sont à proximité des anciennes usines de :

- Esso Standard (fabrication et dépôts de goudrons, bitume, brai et asphalte)

- DEULEP et LBC (stockage de produits inflammables et d'alcools)
- Petronaphte (stockage de produits pétroliers)

Une contamination en HAP élevée est enregistrée sur le site 1. Des travaux de réhabilitation y ont été réalisés, mais ne sont pas suffisants pour permettre n'importe quel type d'usage, notamment un usage résidentiel (BASOL, 2022). Ainsi un arrêté préfectoral imposant des restrictions d'usage a été signé le 21 avril 2015, avec des restrictions concernant le sol, le sous-sol et la nappe.

Le site 16, dont les teneurs en HAPs sont moins élevées que sur le site 1, a pu être impacté par les activités industrielles présentes à proximité.

Or, la contamination de ces deux sites en HAPs pourraient avoir une répercussion sur l'exposition atmosphérique de ce secteur puisque des niveaux élevés ont aussi été rencontrés dans les lichens prélevés sur le site 1.

IV.1.3 Centre-ville

Cinq sites ont été échantillonnés dans ce secteur, ils sont listés ci-dessous avec leur utilisation actuelle et localisés dans la Figure 9 :

- **Site 9** ([HAPs] = 14 531 µg/kg) : Centre de création artistique - Lieu d'accueil du public
- Site 13 ([HAPs] = 35 459 µg/kg) : Terrain en friche
- **Site 18** ([HAPs] = 12 440 µg/kg) : Médiathèque
- Site 19 ([HAPs] = 6 251 µg/kg) : Terrain résidentielle proche école maternelle Danielle Casanova
- **Site 20** ([HAPs] = 9 419 µg/kg) : Zone résidentielle

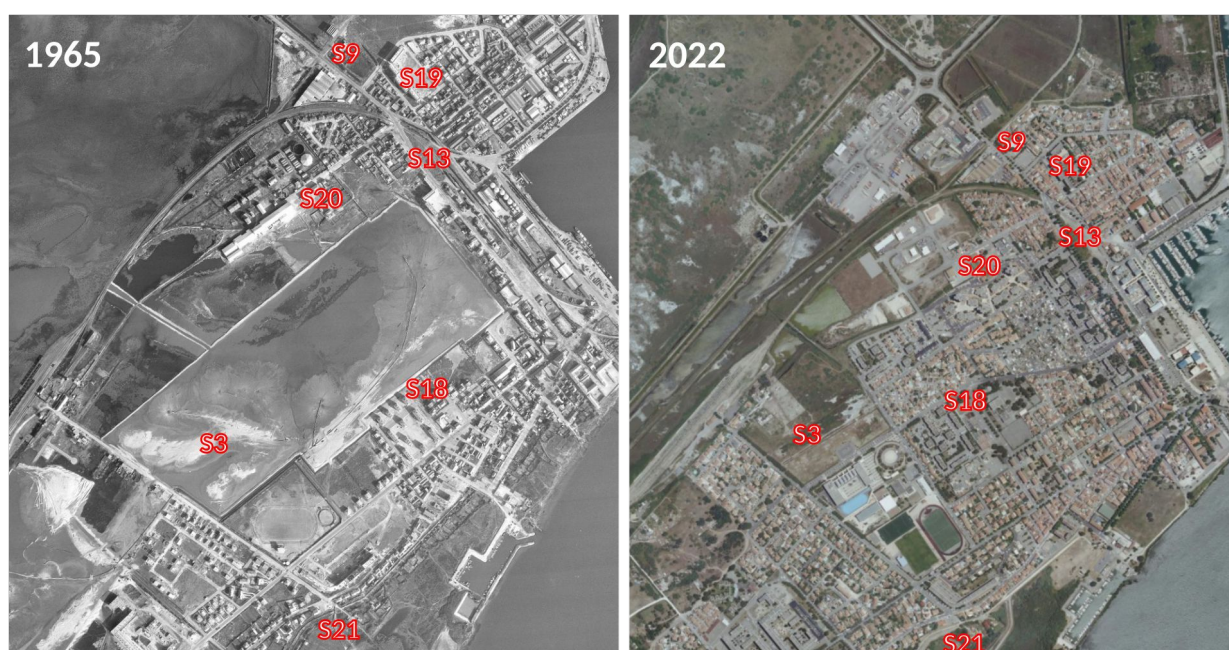


Figure 9: Photo aérienne du centre ville de Port-saint-Louis-du-Rhône en 1947 et 2022 et position des différents sites échantillonnés dans le centre-ville (Source : IGN)

Le **site 20** est une zone résidentielle construite sur l'ancien terrain industriel de la Société chimique de Gerland. Il s'agissait d'une usine de distillation de goudrons en activité jusqu'en 1962 (Figure 9).

Le **site 13** est une ancienne gare de triage, dont le terrain est aujourd'hui non exploité. Des concentrations en HAPs élevées sont enregistrées en surface traduisant d'une source potentielle de contamination atmosphérique par envol de poussières de sols contaminés. Ce site nécessiterait un diagnostic détaillé de l'état des sols et une éventuelle action pour réduire sa contamination de surface et/ou limiter son impact environnemental.

Les niveaux relevés dans ce secteur sont plus modérés que sur la Presqu'île du Mazet et le bord du Canal Saint-Louis. Cependant, l'état des sols nécessite des précautions et des recommandations sur leur utilisation afin de limiter l'exposition par ingestion de poussières de sols, notamment pour les établissements et zones d'accueil du public (site 9, 18 et 19) et plus spécifiquement des enfants.

IV.2 Exposition atmosphérique en HAPs

Les mesures de biosurveillance atmosphérique permettent de constater que les zones les plus exposées aux HAPs atmosphériques sont la Presqu'île du Mazet, le Canal Saint-Louis et le centre-ville, ce qui correspond aux zones identifiées comme présentant les plus fortes contaminations de sol. Cela renforce donc l'hypothèse que les envols de poussières de sols contaminés constituent une source importante de HAPs dans l'atmosphère au sein de la ville.

A cela s'ajoute l'impact, d'une part, des émissions domestiques sur les niveaux de HAPs atmosphériques avec des concentrations plus élevées relevées à l'hiver 2020, d'autre part, des émissions issues des activités industrielles et portuaires de la ZIP de Fos-sur-Mer, caractérisées notamment par les niveaux élevés observés dans les lichens du site 10.

IV.3 Recommandations

La présence de ces contaminants dans l'environnement représente un risque sanitaire puisque certains HAPs sont reconnus comme étant cancérigènes, il est donc important d'informer et sensibiliser les populations. Une liste de préconisations est ainsi proposée dans ce rapport pour adapter les comportements et limiter l'exposition.

En effet, différentes utilisations du sol peuvent entraîner une exposition supplémentaire aux contaminants présents dans les sols. Dans le cas des HAPs, le transfert sol-plante est faible. Cependant les travaux de jardinage peuvent remettre ces polluants en suspension et donc favoriser l'exposition par voie aérienne. Il est donc préférable de prévoir des protections pour la peau et les voies respiratoires, ainsi que d'arroser le sols avant de le manipuler afin de limiter les envols de poussières. Cela est également valable pour les différents travaux en extérieur tels que ceux de terrassement et d'excavation des sols.

Par ailleurs, les jeux pour enfants doivent de préférence ne pas se faire sur des sols nus. Il est également conseillé de se couper les ongles et de se laver soigneusement les mains après avoir joué ou travaillé en extérieur.

Enfin, les travaux d'entretiens des espaces verts doivent prendre en compte ce risque d'exposition dans le cadre de leur mission. Il est important de maintenir des équipements de protection de la peau (gants, habits destinés seulement aux travaux extérieurs), des voies respiratoires (masque de poussières FFP1 ou 2) et d'adapter les outils utilisés pour limiter les envols de poussières avec notamment l'interdiction de l'utilisation de souffleur pour nettoyer les rues des feuilles mortes et autres déchets végétaux.

Un ensemble de recommandations sera formulé l'an prochain dans le cadre du rapport final du projet CARE.

V. Conclusion

La cartographie de la contamination des sols a permis de consolider les données sanitaires et environnementales de la ville. Dans l'ensemble, l'état des sols de Port-Saint-Louis-du-Rhône est dégradé et il y a une contamination générale des sols aux HAPs. Les zones les plus exposées sont celles ayant un passé industriel, à savoir la Presqu'île du Mazet, le Canal-Saint-Louis et le centre-ville. En effet, ce sont dans ces zones que sont enregistrées les concentrations en HAPs les plus importantes dans les sols, mais également dans les lichens, appuyant ainsi l'hypothèse d'une remise en suspension de poussières de sols contaminés historiquement.

Or, la présence de HAPs dans l'environnement représente un risque sanitaire. Il est donc important de sensibiliser les populations, tout en réfléchissant à des solutions de réduction de l'exposition et d'amélioration de l'état des sols.

VI. Perspectives

La deuxième phase du projet CARE a permis de mettre en place des tests de revégétalisation sur une parcelle en friche et polluée en surface. Il s'agit de la parcelle cadastrale n°500, qui a été mise à disposition via l'établissement d'une convention par Mr Guedj, le propriétaire du site. Cette revégétalisation sera accompagnée d'un suivi en vue d'apprécier les effets de différents couverts végétaux sur les envols de poussières de sols contaminés et sur la dégradation des HAPs dans les sols.

Ainsi, à la suite de cette deuxième phase, le couvert végétal le plus adapté aux sols pollués de la commune aura été déterminé. Il sera donc intéressant d'essayer de le mettre en place à plus grande échelle, notamment sur les terrains en friche du centre-ville, où d'importantes concentrations en HAPs ont été trouvées. L'installation de ces couverts pourra ainsi limiter l'exposition des habitants avant d'éventuels travaux de réhabilitation.

Par ailleurs, plusieurs organismes pourraient être contactés afin de trouver des solutions pérennes aux problématiques de pollution des sols de Port-Saint-Louis-du-Rhône. Par exemple l'ADEME PACA, qui propose des appels à projets dans le cadre du Fonds Friches pour accompagner les territoires dans le recyclage foncier des friches.

La ville peut également envisager d'intégrer l'association AMARIS qui regroupe plus de 100 collectivités locales et EPCI exposées à des risques majeurs (environnementaux, technologiques ...). Celle-ci apporte informations, conseils et expertise aux collectivités dans la gestion des risques majeurs et des pollutions chimiques.

VII. Références bibliographiques

AFNOR, 2013. Norme NF X43-904 portant sur la biosurveillance passive de la qualité de l'air à l'aide des lichens autochtones, de la récolte à la préparation des échantillons. 17 p.

Austruy, A., Dron, J., Charbonnier, E., Babaguela, N., Miche, H., Keller, C., Chamaret, P. 2016. *Teneurs naturelles et apports anthropiques en éléments traces dans les sols à l'ouest de l'étang de Berre*. Étude et gestion des sols, 23, 125-141.

Austruy, A., Roulier, M. 2016. *Qualité des sols et végétaux produits sur le Territoire Istres-Ouest-Provence: Évaluation des risques environnementaux et sanitaires*. Rapport d'étude, Institut Ecocitoyen pour la Connaissance des Pollutions, 66 p.

Austruy, A., Roulier, M., Angeletti, B., Dron, J., Dauphin, C.E., Ambrosi, J.P., Keller, C., Chamaret, P., 2021. *Concentrations and transportation of metal and organochlorine pollutants in vegetables and risk assessment of human exposure in rural, urban and industrial environments (Bouches-du-Rhône, France)*. Environ. Sc. Pollut. Res., DOI: [10.1007/s11356-021-14604-z](https://doi.org/10.1007/s11356-021-14604-z).

BASIAS, 1998. *Fiche détaillée PAC1301933* : Arthur Armand. <https://fiches-risques.brgm.fr/georisques/basias-detaillee/PAC1301933> Consulté le 27/03/2020.

Dron, J., Austruy, A., Agnan, Y., Ratier, A., Chamaret, P., 2016. *Utilisation de la biosurveillance lichénique sur la zone industrialo-portuaire de Fos-sur-Mer: retour sur trois ans de suivi à l'échelle d'un territoire intercommunal*. 2268-3798.

Dron, J., Ratier, A., Austruy, A., Revenko, G., Chaspoul, F., Wafo, E., 2021. *Effects of meteorological conditions and topography on the bioaccumulation of PAHs and metal elements by native lichen (Xanthoria parietina)*. J. Environ. Sc., 109, 193-205. <https://doi.org/10.1016/j.jes.2021.03.045>

Grand Port Maritime de Marseille. *Présentation du port*. <https://www.marseille-port.fr/fr/Page/16404> Consulté le 14/05/2020.

Mairie de Port-Saint-Louis-du-Rhône. (2020). *100 ans d'histoire*. <http://www.portsaintlouis.fr/100-ans-d-histoire> Consulté le 18/08/2020.

Ratier, A., Dron, J., Revenko, G., Austruy, A., Dauphin, C. E., Chaspoul, F., Wafo, E., 2018. *Characterization of atmospheric emission sources in lichen from metal and organic contaminant patterns*. Environmental Science and Pollution Research, 25(9), 8364-8376.

Sylvestre A, Mizzi A, Mathiot S, Masson F, Jaffrezo JL, Dron J, Mesbah B, Wortham H, Marchand N (2017) Comprehensive chemical characterization of industrial PM 2.5 from steel industry activities. Atmos. Environ., 152, 180–190. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2016.12.032>.

Van Haluwyn C, Cuny D, Garrec J-P., 2011. *Introduction générale – Définitions, concepts et enjeux généraux de la biosurveillance de la qualité de l'air*. Pollution Atmosphérique, Numéro spécial : 7-13.

Annexe 1 : Coordonnées GPS des points de prélèvements

Tableau 4 : Coordonnées GPS des sites de prélèvements

	Latitude	Longitude
S1	43.386736	4.815435
S2	43.409873	4.7634729
S3	43.397018	4.802804
S4	43.390886	4.85198
S5	43.380027	4.822405
S6	43.362897	4.8539911
S7	43.399304	4.7874521
S8	43.396439	4.7950111
S9	43.391606	4.813623
S10	43.387346	4.8513459
S11	43.383292	4.812647
S12	43.388274	4.799741
S13	43.389745	4.809678
S14	43.381451	4.814786
S15	43.386763	4.805242
S16	43.388651	4.814039
S17	43.383522	4.829974
S18	43.392930	4.804434
S19	43.390238	4.812774
S20	43.392419	4.809192
S21	43.392820	4.795658

Annexe 2 : Concentrations en métaux mesurées dans les lichens

Ces concentrations ont été mesurées dans des thalles de *X. Parietina* prélevés lors de la campagne lichens de 2021 menée par l'IECP et financée par la Métropole Aix-Marseille-Provence et la ville de Fos-sur-Mer.

Tableau 5 : Concentrations des ETM dans les thalles de *X.Parietina* prélevés à Port-Saint-Louis-du-Rhône en 2021

[HAP] (µg/kg)	V	Cr	Co	Ni	Cu	Zn	As	Cd	Pb	Ti
S1	14	72	1,51	6,36	15	48	1,89	0,13	17	100
S3	7,60	18,9	0,94	3,97	11,0	35,0	1,31	0,30	4,2	62
S5	12,2	43,5	1,62	5,63	14,5	55	1,5	0,32	8,29	93
S9	18,6	171	1,52	6,62	22,9	91	1,5	0,19	20	121
S10	15	31	1,61	6,67	18,4	76	1,83	0,24	8,55	110
S11	12,5	35	1,53	5,79	19,5	96	3,98	0,46	17	83
S12	14,6	59,4	1,64	5,97	200	93	1,46	0,24	26,7	133
S13	14,3	52	1,74	6,5	22,1	62	1,91	0,11	9,9	111

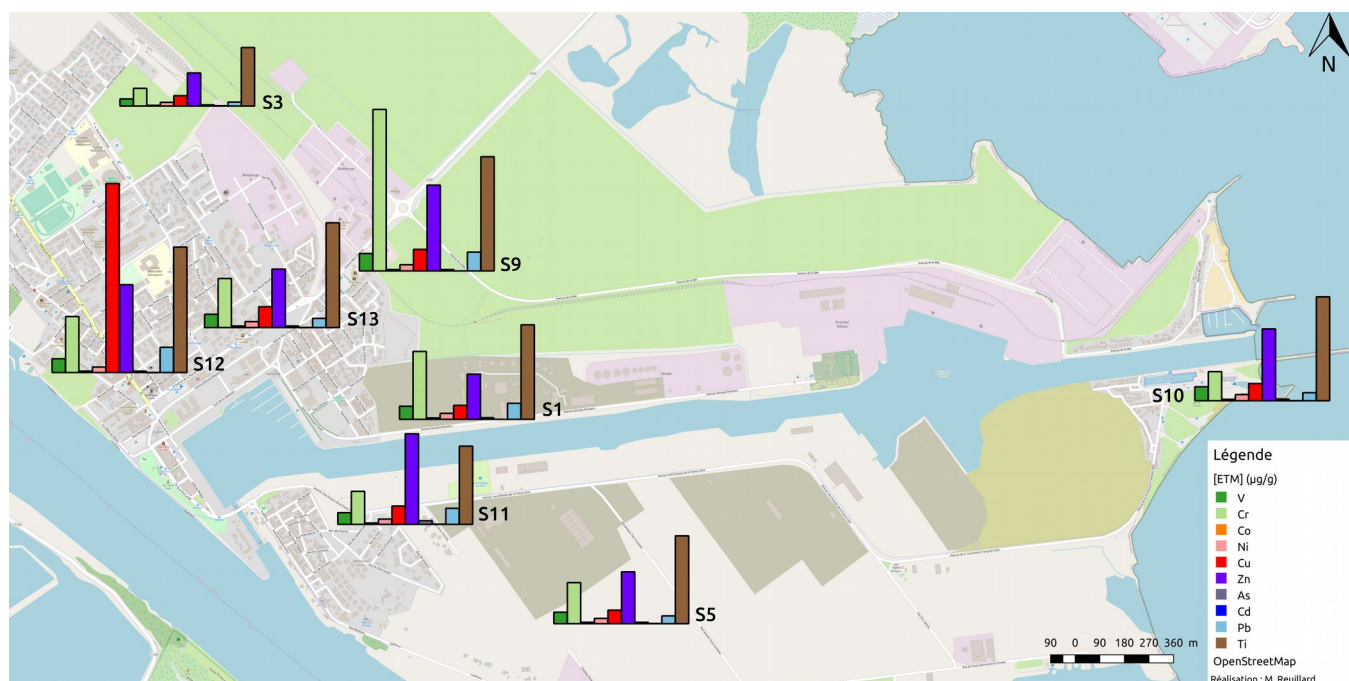


Figure 10 : Répartition des concentrations des ETM dans les thalles de *X.Parietina* prélevés à Port-Saint-Louis-du-Rhône en 2021

Annexe 3 : Concentrations en dioxines et furanes mesurées dans les lichens

Ces concentrations ont été mesurées dans des thalles de *X. Parietina* prélevés lors de la campagne lichens de 2021 de l'IECP.

Tableau 6 : Quantités équivalentes toxiques trouvées dans les thalles de *X.Parietina* prélevés à Port-Saint-Louis-du-Rhône en 2021

	S1	S3	S5	S9	S10	S11	S12	S13
TEQ (pg/g)	0,88	1,51	NA	NA	0,16	0,06	NA	NA

Ces quantités d'équivalents toxiques (TEQ) correspondent aux concentrations de polluants trouvées, pondérées par leurs facteurs d'équivalents toxiques (TEF). Cela permet de connaître la toxicité relative du mélange de dioxines dosé sur chaque site, par rapport au congénère de référence, le plus toxique, la TCDD.



Figure 11 : Répartition des concentrations des dioxines et furanes dans les thalles de *X.Parietina* prélevés à Port-Saint-Louis-du-Rhône en 2021

Annexe 4 : Concentrations en levoglucosan mesurées dans les lichens

Ces concentrations ont été mesurées dans des thalles de *X. Parietina* prélevés lors de la campagne lichens de 2021 de l'IECP.

Tableau 7 : Concentrations de levoglucosan trouvées dans les thalles de *X.Parietina* prélevés à Port-Saint-Louis-du-Rhône en 2021

	S1	S3	S5	S9	S10	S11	S12	S13
Levoglucosan (µg/g)	0,83	0,58	0,78	0,78	0,46	0,83	0,73	0,78