

Année 2019-2020

Mention : Biodiversité, écologie et évolution (BEE)

Finalité : Écotechnologies et bioremédiation

Mémoire de Stage de master 2

Corrigé d'après retour du Jury le 05/10/2020

Comment aborder de façon intégrative dans le temps et dans l'espace des pollutions industrielles dans les Bouches-du-Rhône et leurs effets sur l'environnement et la santé humaine ?

Présenté par D'AMATO Laetitia



Responsables du stage : Isabelle Laffont-Schwob, Pascale Prudent et Annabelle Austruy

Nom des structures d'accueil : Laboratoire Population Environnement Développement, Laboratoire de Chimie de l'Environnement et Institut Écociroyen pour la Connaissance des Pollutions.

Responsables pédagogiques : B. Talon, C. Fernandez, V. Baldy, I. Laffont-Schwob, M. Deschamps Cottin, A. Millon et R. Gros

Année 2019-2020, Université Aix-Marseille
Mention : Biodiversité, écologie et évolution (BEE)
Finalité : Écotechnologies et bioremédiation

Mémoire de Stage de master 2
Corrigé d'après retour du Jury le 05/10/2020

**Comment aborder de façon intégrative dans le temps et dans
l'espace des pollutions industrielles dans les Bouches-du-Rhône et
leurs effets sur l'environnement et la santé humaine ?**

Présenté par D'AMATO Laetitia

Responsables du stage : Isabelle Laffont-Schwob, Pascale Prudent et Annabelle Austruy

Nom des structures d'accueil : Laboratoire Population Environnement Développement,
Laboratoire de Chimie de l'Environnement et Institut Écociroyen pour la Connaissance des
Pollutions.

Charte relative à la lutte contre le plagiat de d'Aix Marseille Université

Approuvée par le Conseil des Études et de la Vie Universitaire de l'Université d'Aix-Marseille en date du 4 octobre 2012,

Approuvée par le Conseil Scientifique de l'Université d'Aix-Marseille en date du 16 octobre 2012,

Approuvée par le Conseil d'Administration de l'Université d'Aix-Marseille en date du 27 novembre 2012,

Préambule

Afin de garantir la qualité des diplômes délivrés à ses usagers, l'originalité des publications pédagogiques et scientifiques de ses personnels enseignants et/ou chercheurs, et faire respecter les droits de propriété intellectuelle des auteurs, l'Université d'Aix-Marseille est engagée dans la lutte contre le plagiat.

Les travaux réalisés par les usagers et par les personnels de l'Université doivent répondre à l'ambition de produire un savoir inédit et d'offrir une lecture nouvelle et personnelle d'un sujet.

Les travaux concernés par cette obligation sont notamment : les thèses, les mémoires, les articles, les supports de cours, sans que cette liste soit exhaustive.

Article 1

Le plagiat consiste à reproduire un texte, une partie d'un texte, toute production littéraire ou graphique, ou les idées originales d'un auteur, sans lui en reconnaître la paternité.

Tout plagiat, quel qu'en soit le support, constitue une faute.

Le plagiat constitue à la fois la violation la plus grave de l'éthique universitaire et un acte de contrefaçon. C'est un délit au sens de l'article L 335-2 du code de la propriété intellectuelle. En outre, le fait de commettre un plagiat dans un document destiné à être publié constitue une circonstance aggravante.

Article 2

Les usagers et les personnels de l'Université ne doivent pas commettre de plagiat dans leurs travaux.

Article 3

Les reproductions de courts extraits de travaux préexistants en vue d'illustration ou à des fins didactiques sont admises sans nécessité de demander le consentement de l'auteur, uniquement dans le strict respect de l'exception de courte citation.

Dans ce cadre, les usagers et les personnels de l'Université s'engagent, lorsqu'ils reproduisent de courts extraits de tels travaux, à identifier clairement qu'il s'agit d'un emprunt, en apposant des guillemets, et en indiquant le nom de l'auteur et la source de l'extrait.

Article 4

L'Université d'Aix-Marseille est attachée au respect des droits de propriété intellectuelle et se réserve la possibilité de rechercher les tentatives de plagiat, notamment par l'utilisation d'un logiciel adapté.

Article 5

Les cas présumés de plagiat feront l'objet de poursuites engagées par l'Université devant les instances compétentes, et leurs auteurs seront passibles de sanctions disciplinaires. Ces violations des droits de propriété intellectuelle pourront également donner lieu à des poursuites judiciaires.

Je, soussigné-e, D'AMATO Laetitia_____ certifie avoir pris connaissance de la présente charte et l'avoir respectée



Fait à Marseille____ le 28/08/2020____Signature :

REMERCIEMENTS

Je tiens à exprimer ma reconnaissance aux personnes suivantes, grâce auxquelles mon stage de master 2 a pu se dérouler dans les meilleures conditions au vu de la situation de crise sanitaire particulière en cette année 2020.

Je ne remercierai jamais assez mes maitres de stage, Isabelle Laffont-Schwob, du Laboratoire Population Environnement Développement (AMU), Annabelle Austruy de l'Institut Écocitoyen pour la connaissance des pollutions et Pascale Prudent, du Laboratoire de Chimie de l'Environnement (AMU) qui ont formé un trio d'encadrement très opérationnel, motivant, passionné et surtout d'un soutien exceptionnel pendant toute la durée de ce stage. Je les remercie également pour tout le temps qu'elles m'ont accordé et le savoir qu'elles ont partagé. J'ai ainsi pu découvrir 3 structures d'accueil et bénéficier de leurs compétences sur 3 territoires des Bouches-du-Rhône : Fos sur mer, le Bassin minier de Provence et les Calanques de Marseille. Merci à elles d'avoir saisi l'opportunité du déconfinement pour me permettre de faire 2 journées de terrain certes intensives mais grandement enrichissantes et instructives à la découverte des zones industrielles des sites étudiés.

Ce stage a bénéficié de l'aide de l'État gérée par l'Agence nationale de la recherche au titre du LabEx DRIHM, programme « Investissements d'avenir » portant la référence ANR-11-LABX-0010, dans le cadre du projet inter-OHM (Vallée du Rhône, Littoral Méditerranéen, Bassin Minier de Provence) Pomoterri intitulé « Pollutions, mobilisations environnementales et territoires industrialisés : les cas de Fos sur Mer, de Gardanne et du littoral sud marseillais » porté par Juliette Rouchier du Lamsade, Paris-Dauphine. Je remercie particulièrement Juliette Rouchier pour m'avoir soutenue pour réussir à finaliser la convention de stage avec le Lamsade en pleine période de confinement et ainsi pouvoir recevoir la gratification prévue durant mon stage. Merci également de m'avoir permis de présenter l'avancée de mon travail de stage lors du séminaire annuel du projet Pomoterri le 30 juin 2020 et de profiter des interventions passionnantes de tous les participants.

Je remercie les membres du jury d'avoir pris le temps d'évaluer ce mémoire et de m'avoir proposé des corrections que j'ai pu intégrer afin d'améliorer la qualité finale du mémoire.

Merci à tous les membres des 2 laboratoires et de l'Institut que j'ai eu l'opportunité de côtoyer pendant mon stage, certes pendant une courte période en présentiel, le confinement ayant imposé un travail à distance pendant la majeure partie de mon stage.

Je remercie tout spécialement Louis Arreghini, du LPED, pour m'avoir facilité l'accès à la salle mutualisée de géomatique afin de réaliser les cartes indispensables pour mon stage ainsi que Artadji Attoumane et Julien Dario pour leurs précieux conseils en cartographie.

Merci à Martin Hazard, en stage de M2 en sociologie sous l'encadrement de Carole Barthélémy (LPED) pour le projet Pomoterri sur les manifestations environnementales face aux pollutions industrielles sur les mêmes territoires que ceux que j'ai étudié. Nos échanges en venant de 2 domaines disciplinaires différents m'ont apporté une autre vision sur ces territoires.

Enfin je tiens à remercier Romain Hivert, Alice Claude, Charlotte Biryol, Quentin Bremond, Fiona Padilla, Emile Melloul et Hadrien Farge pour leurs conseils, leurs connaissances et leur soutien incroyable tout au long de ce stage.

Table des matières

I. Introduction	1
II. Matériel et Méthodes.....	6
II.1. <i>Présentation des sites étudiés</i>	6
II.2. <i>Contexte historique des zones étudiées</i>	7
II.3. <i>Création d'une base de données des activités industrielles potentiellement polluantes de 1800 - 2020 sur les 3 bassins industriels étudiés</i>	9
II.4. <i>Cartes des activités industrielles polluantes passées et présentes</i>	14
III. Résultats.....	15
III.1. <i>Évolution des types d'activités industrielles du BMP de 1800 à 2020</i>	15
III.2. <i>Représentation du nombre de familles de polluants potentiellement émis par les activités industrielles actuelles (2001-2020) du BMP</i>	19
III.3. <i>Densité de population et polluants potentiellement émis par les activités industrielles sur la période actuelle (2001-2020) dans le BMP</i>	22
III.4. <i>Pollutions industrielles et zones naturelles connexes aux activités émettrices dans le BMP (de 2001 à 2020)</i>	23
IV. Discussion.....	24
IV.1. <i>Évolutions des émissions potentielles de polluants en lien avec l'évolution de l'industrialisation mais aussi des réglementations</i>	25
IV.2. <i>Peut-on identifier des villes potentiellement plus impactées dans le BMP ?</i>	26
IV.3. <i>Peut-on relier les données collectées sur les polluants à une vulnérabilité humaine et/ou environnementale ?</i>	27
V. Conclusions.....	29
VII. Webographie.....	34
VIII. Annexes	35

Table des figures :

Figure 1. Carte des zones réglementaires protégées dans les Bouches-du-Rhône.....	3
Figure 2. Carte des bassins industriels étudiés.....	6
Figure 3. Schéma illustrant le processus de collecte et de traitement des données de l'étude..	9
Figure 4. Cartes des différents types d'activités industrielles dans le Bassin Minier de Provence selon 6 périodes temporelles.....	19
Figure 5. Carte du nombre de familles de polluants potentiellement émis par les activités industrielles dans le Bassin Minier de Provence selon la période de 2001 à 2020 (en haut) associés à 3 zooms correspondants aux villes de Septèmes-les-Vallons, Gardanne et la ZI de Rousset-Peynier.....	21
Figure 6. Carte du nombre de familles de polluants en fonction du nombre d'habitant présents au sein des communes du BMP.....	24
Figure 7. Carte du nombre de familles de polluants en fonction du type d'occupation des sols	25

Table des tableaux :

Tableau 1. Nomenclature des types d'activités industrielles et description de ces dernières...	10
Tableau 2. Description des grandes familles de polluants définie dans l'étude et de leurs potentiels impacts sur l'environnement et la santé humaine.....	12
Tableau 3. Familles de polluants potentiellement associés aux activités industrielles (présence représentée en vert) en fonction des périodes temporelles de présence de ces activités dans le Bassin Minier de Provence (BMP).....	22

Table des annexes :

Annexe 1. Cartes du nombre de familles de polluants potentiellement émis par les activités industrielles dans la ZIP de Fos-sur-Mer selon les 5 périodes temporelles : de 1881-1929 (a), 1930-1965 (b), 1966-1976 (c), 1977-2000 (d) et 2001-2020 (e).....	37
Annexe 2. Cartes du nombre de familles de polluants potentiellement émis par les activités industrielles dans les Calanques Sud de Marseille selon les 6 périodes temporelles : de 1880 à 1881 (a), de 1881 à 1929 (b), de 1930 à 1965 (c), de 1966 à 1976 (d), de 1977 à 2000 (e) et de 2001 à 2020 (f).....	41

I. Introduction

Si les processus industriels existent depuis fort longtemps, ce n'est que vers la moitié du XVIII^e siècle qu'ils ont pris une ampleur considérable dans le monde nécessitant une réflexion sur leurs conséquences à la fois sur l'environnement mais aussi sur la santé humaine (**Batty et Hallberg, 2010**). Cette tendance a été observée en France avec, à partir des années 1770 et 1800, la mécanisation des processus industriels et l'essor de ce secteur économique à l'échelle nationale (**Barles et al., 2009**). Dès lors, deux dynamiques se sont succédées : une vague d'industrialisation puis de désindustrialisation. Concernant la première vague, elle s'est initiée au début du XIX^e siècle avec la première révolution industrielle et s'est poursuivie avec la deuxième révolution industrielle ayant lieu fin du XIX^e, début du XX^e siècle. Néanmoins cette phase d'industrialisation n'est pas linéaire en raison de crises économiques survenant de manière ponctuelle (**Daumalin & Raveux, 2001**). Puis s'amorce alors, vers la deuxième moitié du XX^e siècle, une désindustrialisation progressive conséquence directe du déclin du secteur agricole, de crises économiques majeures comme celle de 2008, ou encore, du développement du secteur tertiaire d'activités de service (**Gros-Balthazard, 2020**).

Le département des Bouches-du-Rhône (B-d-R) s'est ainsi inscrit dans ces dynamiques industrielles. Avant le début du XIX^e siècle, le secteur industriel ne représente qu'une faible part de la production des B-d-R mais va alors connaître d'importants remaniements (**Lambert & Mioche, 2015**). En effet, avec l'apparition de nouvelles techniques, une refonte de la logistique des méthodes de production et la modernisation des structures, le territoire s'est industrialisé de manière fulgurante mais asynchrone dans l'espace (disparité géographique des implantations industrielles) et le temps (**Daumalin & Raveux, 2001, 2006**).

L'implantation des différentes activités industrielles dans le paysage provençal a cadré l'enjeu représenté par les émissions de polluants par ces dites activités dans l'environnement. En référence à la **norme ISO 17402 (2008)**, nous utiliserons le terme de pollution en se limitant aux composés chimiques d'origine industrielle qui génèrent potentiellement des impacts négatifs sur tout ou partie d'un écosystème ou de l'environnement. De fait, certains sites sont encore source de pollutions à cause d'activités industrielles toujours effectives tandis que d'autres présentent des pollutions résiduelles fortes, vestiges d'un passé industriel marqué.

À titre d'exemple, les friches industrielles situées à l'Estaque (Marseille) témoignent d'une succession diversifiée des usages et de leurs impacts environnementaux sur la zone. En effet, ce site a connu une exploitation minière à sa création en 1883 par la société Rio Tinto. Par la suite, l'usine a été revendue à la Société des produits chimiques de Marseille - l'Estaque en 1890 et est devenue une usine chimique de production de soude, d'acides sulfuriques et sulfates. Puis l'acquisition par de nouveaux propriétaires a vu le site se scinder en 2 avec : des activités chimiques d'un côté (fabrication de sulfate de cuivre, sulfure de carbone et acides sulfuriques) et des activités métallurgiques de l'autre (production de plomb, traitement de minerais de cobalt et aurifères, extraction d'arsenic) (**Faget et al., 2015**). Ces successions industrielles n'ont pas été sans conséquences puisqu'une pollution marine, contemporaine aux activités chimiques du site et aux rejets d'acide chlorhydrique, directement en mer, avait été constatée et avait entraîné une diminution drastique des communautés benthiques et une dégradation des herbiers de posidonie, rongés par les acides (**Gourret, 1899**). De plus, une pollution en éléments inorganiques (éléments traces métalliques : plomb, arsenic, cuivre) des sols et sédiments marins est encore aujourd'hui présente, rendant le site interdit d'accès depuis sa fermeture en 2001 (**Mamindy-Pajany et al., 2013**).

Les conséquences environnementales des pollutions engendrées par des activités industrielles sont d'autant plus importantes dans les B-d-R que le département possède un contexte biogéographique particulier et la protection des biotopes et biocénoses y est très présente. Ainsi, de nombreux statuts de protection des habitats naturels sont en vigueur, que ce soient des réserves naturelles nationales (Camargue, Crau), des parcs nationaux (Parc National des Calanques), des zones Natura 2000, du foncier appartenant au Conservatoire du littoral ou des sites classés (Figure 1). Ces mesures attestent de la présence d'habitats remarquables (Zones Humides, Coussouls de Crau...) abritant une diversité faunistique et floristique d'exception et de nombreuses espèces protégées ¹.

Ainsi la question d'une vulnérabilité environnementale de ces zones protégées potentiellement affectées par les diverses sources de pollutions industrielles se pose. Selon **Kaly et al., 1999**, un état peut être « vulnérable sur le plan environnemental si ses écosystèmes, espèces et processus sont susceptibles de subir des pressions anthropiques et naturelles dommageables et que ces pressions sont élevées ». Cette vulnérabilité est un paramètre qui va être intégré dans l'identification d'un risque pour la santé environnementale. La notion de « risque » correspond à la probabilité d'exposition de l'écosystème à la source

d'altération du milieu, qu'elle soit d'origine anthropique ou écologique (**Affre et al., 2015**) croisée à la notion de « résilience » de l'écosystème perturbé, c'est-à-dire le temps nécessaire à l'écosystème pour retrouver un « pseudo état initial stable » similaire à celui antérieur à la perturbation (**Gunderson, 2000**) qui est en lien avec sa vulnérabilité. Enfin, il faut prendre en compte le niveau d'intégrité écologique de l'écosystème avant la perturbation car, de fait, un écosystème déjà dégradé par de précédentes pollutions, par exemple, va être plus vulnérable à des expositions futures (**Kaly et al., 1999**).



Figure 1. Carte des zones réglementaires protégées dans les Bouches-du-Rhône.

Source : Les espaces protégés / Atlas du 21^e s. (Édition Spéciale Bouches-du-Rhône) Nathan (AFDEC)

Cependant, la santé environnementale s'est historiquement focalisée sur la façon dont la santé humaine était impactée par l'environnement. Cette notion incorpore donc les différents aspects ayant attiré à la santé humaine (maladies, infections...) déterminés par différents types de facteurs environnementaux : par exemple les pollutions d'origines anthropiques (pollutions de l'air, pollutions des sols...), les problèmes de santé publique (maladies infectieuses, chroniques...) ou encore l'amélioration du cadre de vie (**Van Steenberghe & Doumont, 2005 ; Brown, 2004**). De nos jours, de nombreuses maladies zoonotiques (transmission animal-humain) sont directement liées aux pressions anthropiques exercées sur les milieux naturels (**Wilcox & Colwell, 2005**). C'est dans l'optique de comprendre l'écologie

de chaque maladie zoonotique émergente que l'approche « One Health » est née en 2003 (**Mackenzie & Jeggo, 2019**). Ce concept vise ainsi à considérer les actions, les réponses et les conséquences des interactions humain-écosystèmes, dans une approche collaborative et multidisciplinaire, afin d'évaluer les risques et permettre la mise en place de moyens de contrôles (**Bhatia, 2019**).

La présente étude a donc pour but de faire un diagnostic diachronique des pollutions industrielles à l'échelle des Bouches-du-Rhône (B-d-R) de façon intégrative et sans déconnecter les bassins géographiques concernés afin de mieux estimer l'impact de ces pollutions industrielles passées et présentes. L'objectif final est de disposer d'un outil d'aide à la décision pour mieux appréhender la vulnérabilité environnementale autour des sites industriels des B-d-R et ainsi pouvoir proposer des outils de gestion adaptés visant à atténuer les effets des pollutions industrielles sur la santé environnementale et humaine. Notre hypothèse est qu'une représentation cartographique de l'étendue et de la diversité des polluants émis par les industries dans les B-d-R organisée par période de temps lié aux vagues d'industrialisation et de désindustrialisation du territoire, pourra permettre une lecture intégrative et spatialisée de ces paramètres et faciliter le « porter à connaissance » de ces informations et ainsi en faire un outil pour mieux gérer ces pollutions. Ainsi, nous avons souhaité répondre à plusieurs questions : Est-il possible de représenter par cartographie, de façon intégrative, la diversité des industries sur un territoire ainsi que les pollutions majoritaires émises ? Peut-on ainsi mieux mettre en évidence les compartiments environnementaux potentiellement impactés par ces polluants et leur diversité ? Est-il également possible de représenter par cartographie la vulnérabilité humaine et environnementale en lien avec ses pollutions industrielles ? Cette étude a donc pour objectif d'essayer de répondre à ces questionnements via une cartographie des emprises au sol des industries par périodes de temps depuis la révolution industrielle et la connaissance des types de polluants émis au travers d'une analyse bibliographique ayant donné lieu à la création d'une base de données.

Ce travail est mis en perspective avec les densités de populations humaines et les types d'habitats protégés pouvant permettre d'établir un diagnostic sur des vulnérabilités humaines et environnementales. L'étude a porté sur deux grands bassins industriels des B-d-R : celui concernant l'Observatoire Homme et Milieu du Bassin Minier de Provence (l'OHM BMP) regroupant 17 communes auquel il est apparu cohérent d'ajouter la commune de Septèmes-

les-Vallons et celui concernant l'Observatoire Homme et Milieu Littoral Méditerranéen couvrant les Calanques-Sud de Marseille (de Mont-Rose à Callelongue) et la Zone Industriale-Portuaire (ZIP) de Fos-sur-Mer. Toutefois, dans une volonté de concision dans le cadre du mémoire de stage, seuls les cas de l'OHM BMP (territoire avec une grande diversité d'activités industrielles potentiellement polluantes et prenant place dans la période de temps définie de 1800 à nos jours) et de Septèmes-les-Vallons seront exposés dans les résultats et discussion de cette étude.

II. Matériel et Méthodes

II.1. Présentation des sites étudiés

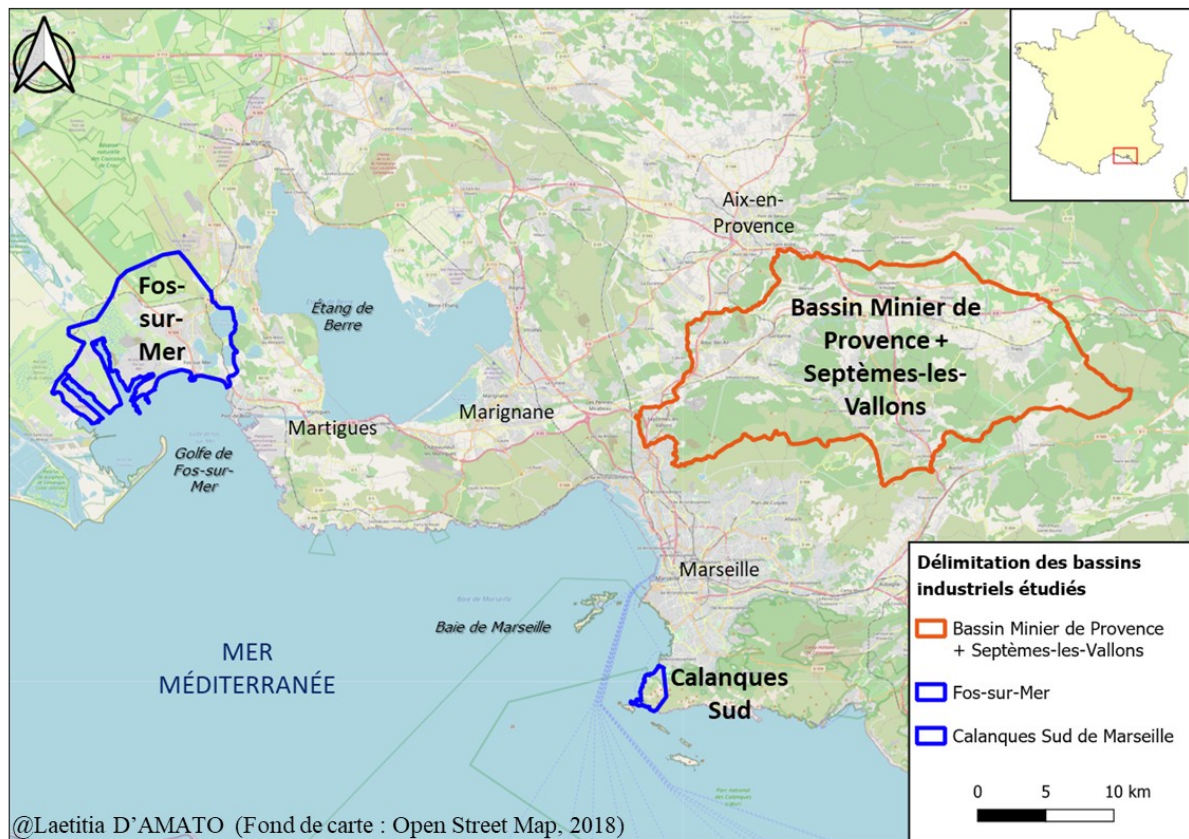


Figure 2. Carte des bassins industriels étudiés (Fond de carte : Open Street Map, 2018)

Cette étude se focalise sur 2 zones marquées par des activités industrielles importantes (Figure 2) : l'Observatoire Homme et Milieu du Bassin Minier de Provence (OHM BMP) et l'Observatoire Homme et Milieu du Littoral Méditerranéen avec la zone des Calanques-Sud de Marseille (de Mont-Rose à Callelongue) et Fos-Sur-Mer. Les OHM ont été développés par le CNRS en 2007 afin de promouvoir une interdisciplinarité dans l'étude de phénomènes considérés comme « perturbateurs » de systèmes déjà existants et ainsi d'observer les impacts futurs de ces phénomènes. De manière concrète, ces OHM permettent l'acquisition de connaissances (collectes de données, expertises...) sur les interactions entre les humains et leurs milieux, dans des zones le plus souvent fortement anthropisées où divers enjeux se croisent suite à une rupture imposée par l'évènement perturbateur (Chenorkian, 2014).

Pour exemple, au sein de l'OHM BMP sont menées des études concernant les impacts économiques, sociaux et environnementaux engendrés par l'arrêt de l'activité minière

d'extraction du lignite en 2003, cette activité ayant été très structurante dans la dynamique locale tout au long de sa mise en œuvre (**Chenorkian, 2012**).

II.2. Contexte historique des zones étudiées

La zone des Calanques Sud de Marseille est marquée par un passif industriel fort lié à l'implantation, au début du XIX^e siècle, d'usines chimiques de production de soude, de soufre et d'acide sulfurique (des Goudes à Callelongue), d'usines métallurgiques de traitement du plomb argentifère (à Montredon, Les Goudes et l'Escalette), de fours à chaux (à Saména) et d'une usine de production d'acide tartrique (Montredon). Ces activités se sont pérennisées jusqu'au milieu du XIX^e siècle, voire au début du XX^e siècle et du XXI^e siècle notamment dans l'usine de l'Escalette et le site de Legré-Mante à Montredon. L'impact de ces industries sur l'environnement immédiat est considérable : présence de crassiers constitués de scories issues des procédés métallurgiques (riches en plomb et arsenic) le long du pourtour littoral (**Heckenroth et al. 2017**). Cette pollution est engendrée par les activités passées mais a également un impact actuel, notamment au travers de l'envol des particules contaminées par les vents dominants et le lessivage des sols, créant ainsi une pollution diffuse dans le massif de Marseillevyre (**Laffont-Schwob, 2016**). Bien que la zone soit devenue partie intégrante du Parc National des Calanques lors de sa création en 2012, cette pollution passée et présente entraîne des enjeux autant environnementaux (milieu sensible avec la présence d'espèces protégées tel que l'Astragale de Marseille : *Astragalus tragacantha* L., 1753) que de santé humaine, ce territoire étant intégré à la ville de Marseille avec un bassin de population relativement conséquent à proximité des anciens sites industriels (**Véla et al. 2001 ; Lasalle, 2007**).

Le Bassin Minier de Provence connaît, lui, une exploitation du lignite avant le début du XIX^e siècle mais cette activité minière a connu un essor particulièrement fulgurant dès la fin du Premier Empire. Les méthodes d'extraction au début des années 1800 sont rudimentaires : des « descenderies », qui sont des puits inclinés à 45 °, permettent l'extraction non loin de la surface d'un lignite qui est donc de moindre qualité. La production reste ainsi faible tout comme la demande qui s'oriente plutôt vers d'autres types de charbons, certes plus chers mais possédant un meilleur pouvoir calorifique que le lignite comme la houille par exemple. Néanmoins, à partir des années 1830-1840, l'utilisation de la machine à vapeur se démocratise dans les différents secteurs industriels et les marchés s'ouvrent : la demande en lignite

augmente en réponse aux besoins d'alimentation de ces nouvelles machines. En parallèle, les exploitations minières se dotent également de cette technologie ce qui permet une « modernisation » des méthodes d'exploitation en créant des puits verticaux allouant l'accès à un produit extrait plus en profondeur et donc de meilleure qualité (**Daumalin & Raveux, 2006**). Cette activité minière a donc été l'une des plus structurantes (à noter également l'importance de l'industrie chimique) dans la dynamique économique, sociale et environnementale locale jusqu'à la fermeture des derniers puits miniers en 2003 (**Chenorkian, 2012 ; Autran et al. 2014**). D'autres activités industrielles ont succédé dans la dynamique socio-économique de la zone, qui s'est totalement restructurée : les cimenteries, l'énergie (Centrale Thermique de Gardanne-Meyreuil), l'industrie de l'alumine (Altéo), la plasturgie et l'électronique (Zone Industrielle de Rousset-Peynier)... Ainsi, cet héritage industriel passé et actuel a engendré de nombreuses pollutions d'origines anthropiques et de différents types : atmosphériques (particules), des sols (formations de terrils miniers), des eaux (déversements, ruissellements...). Ces dernières seront décrites plus en détail ci-après dans l'étude.

Concernant l'installation de la Zone Industriale-Portuaire (ZIP) de Fos-sur-Mer, elle a eu lieu à la fin des années 1960 et fait partie d'une des plus grandes d'Europe (10 000 ha environ). Sa création fait suite à une décision de l'État Français qui voulait concurrencer le premier port industriel de Rotterdam avec ce projet d'envergure (**Castel & Cézanne-Bert, 2013**). Cette ZIP voit ces activités s'axer autour d'usines principalement chimiques, pétrochimiques et sidérurgiques mais aussi autour de grands espaces de stockages et différents terminaux portuaires (méthaniers, minéraliers, conteneurs et pétroliers) permettant l'accueil de supertankers et autres navires de grande envergure (**Junqua et al. 2005**). La problématique des pollutions engendrées par ces industries a tout de suite été posée et de nombreux organismes et associations se sont créés pour défendre le littoral et préserver l'environnement (ADPLGF, Gipreb, Institut Ecocitoyen pour la Connaissance des Pollutions) et effectuer un suivi des émissions polluantes de la zone (Citepa, AtmoSud, AirPaca, SPPPI-PACA...). De nombreux travaux sur les impacts environnementaux de la ZIP de Fos ont ainsi été menés depuis plusieurs années et ont mis en évidence des altérations des différents compartiments de l'environnement (air, eau, sol) (**Ratier et al., 2018 ; Austruy et al., 2019 ; Dron et al., 2019**).

II.3. Création d'une base de données des activités industrielles potentiellement polluantes de 1800 – 2020 sur les 3 bassins industriels étudiés

Une base de données listant les différents sites industriels potentiellement pollués des 3 bassins d'études a été créée. Elle prend en compte des données issues de « l'Inventaire Historique des Sites Industriels et Activités de Service » (BASIAS) et du site internet de BASOL, qui listent les sites et sols pollués ou potentiellement pollués appelant une action des pouvoirs publics, à titre préventif ou curatif. Les données fournies dans ces 3 bassins ont été intégralement vérifiées, notamment les coordonnées de géolocalisation des sites industriels via l'utilisation de Géoportail permettant la vérification de la concordance des parcelles cadastrales (Figure 3 Étape 1). La nouvelle base de données ainsi obtenue est définie selon divers paramètres, pour un site industriel donné (Figure 3 Étape 2).

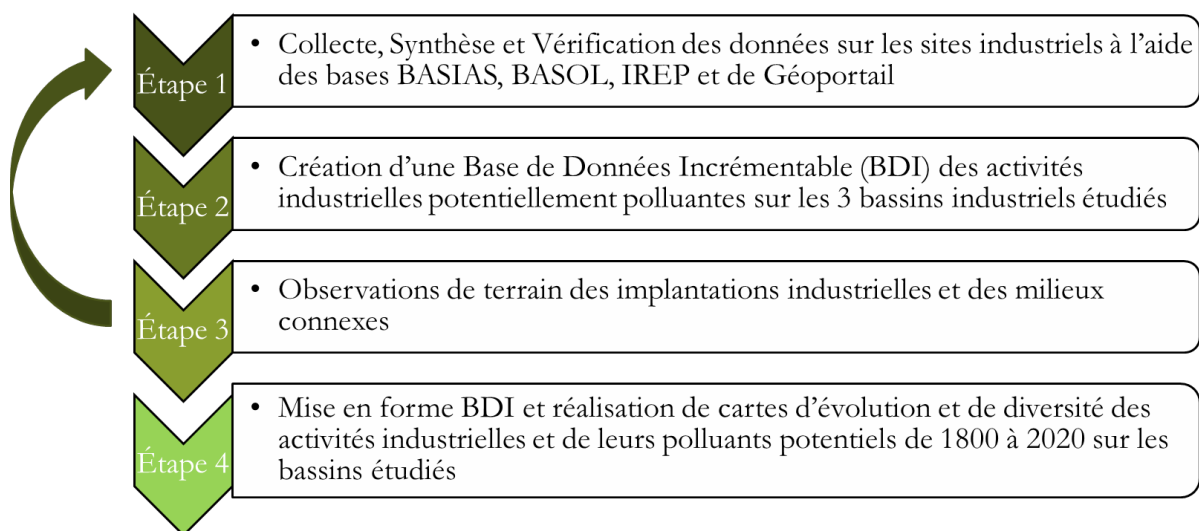


Figure 3. Schéma illustrant le processus de collecte et de traitement des données de l'étude.

Tout d'abord, des paramètres permettant une caractérisation globale du site renseignent sur les successions industrielles, les dates de début et de fin de l'activité, la situation actuelle de l'activité (si le site est en activité, à l'arrêt ou en cours de reconversion), les informations relatives à sa géolocalisation (point longitude/latitude ; données cadastrales) et son emprise au sol (prenant en compte la superficie totale des parcelles cadastrales occupées par le site industriel).

Ensuite, pour permettre l'analyse spatialisée de l'industrialisation de ces territoires et leurs impacts, le choix a été fait de regrouper les activités industrielles en types (métallurgique,

chimique, énergétique, plasturgie, électronique...) (Tableau 1) et les polluants potentiellement émis par ces activités, en principales grandes familles de polluants (Tableau 2).

Tableau 1. Nomenclature des types d'activités industrielles et description de ces dernières.

Types d'activités industrielles (+ acronyme dans l'étude)	Descriptif de l'activité
AGROCHIMIE	Fabrication et/ou stockage de pesticides et d'autres produits agrochimiques (phytosanitaires, fongicides, insecticides, ...)
CAOUTCHOUC PLASTURGIE	Fabrication de matières plastiques de base et de caoutchouc synthétique
CARTONNERIE	Fabrication de pâte à papier, de papier et de carton
CENTRALE ENROBAGE (CENTRALE_ENROB)	Fabrication, fusion, dépôts de goudron, bitume, asphalte, brai
CHIMIQUE	Fabrication de produits chimiques organiques ou inorganiques de base ou à usage industriel
CHIM STOCK	Stockage de produits chimiques (minéraux, organiques, notamment ceux qui ne sont pas associés à leur fabrication, ...)
CIMENTERIE	Fabrication de ciment, chaux et plâtre (centrale à béton)
DECHETTERIE	Collecte et stockage des déchets non dangereux dont les ordures ménagères
ELECTRONIQUE	Fabrication, réparation et recharge de piles et d'accumulateurs électriques; Fabrication de produits informatiques et électroniques (composants ou cartes électroniques)
ENERGIE	Production et distribution d'électricité (centrale électrique thermique ou hydraulique et transformateurs PCB ou pyralène), de gaz, de vapeur et d'air conditionné
EQUARISSAGE	Usine d'incinération d'animaux
EXTRACTION GRAV/SAB/ ARG/KAOLIN	Exploitation de gravières et sablières, extraction d'argiles, kaolin, de pierres ornementales et de construction (carrières), de calcaire industriel, de gypse de craie et d'ardoise
FABRICATION ENCRE	Fabrication de colorants et de pigments et d'encres
GAZ STOCK	Dépôt ou stockage de gaz (hors fabrication)
GENIE INDUSTRIEL (GENIE_IND)	Génie civil, construction d'ouvrage, de bâtiment, (couverture, tunnel, canalisation, ligne électrique, étanchéité, route, voie ferrée, canal, levage, montage) et fabrication d'éléments en métal pour la construction (portes, poutres, grillage, treillage)
INCINERATION DECHETS	Usine d'incinération et atelier de combustion de déchets (indépendants ou associés aux cimenteries)
METALLURGIE	Métallurgie du plomb, du cuivre, du zinc, de l'étain ou de l'aluminium (production et première transformation) et d'autres métaux non ferreux: broyage et traitement des minerais et Fonderies
MET STOCK	Stockage ou dépôts de résidus issus de l'activité métallurgique
MINIERE	Extraction de houille, de lignite ou de tourbe
MIN STOCK	Stockage de produits issus de la mine (charbon, résidus miniers...), terrils et/ou crassiers de mines
RAFFINERIE	Raffinage, distillation et rectification du pétrole et/ou stockage d'huile minérales
RAF STOCK	Stockage et dépôts de produits pétroliers

SANTE	Fabrication de produits pharmaceutiques de base
SAVONNERIE	Fabrication de savon, de produits d'entretien, détergents et de parfums
SIDERURGIE ACIERIE (SID_ACIERIE)	Fonderie d'acier et fabrication d'autres produits de première transformation de l'acier (profilage, laminage, tréfilage, étirage)
TUILERIES	Fabrication d'autres produits en céramique et en porcelaine (domestique, sanitaire, isolant, réfractaire, faïence, porcelaine)
TRAITEMENT BOIS	Sciage, rabotage, imprégnation du bois ou application de vernis
TRAVAIL METAUX	Chaudronnerie, coutellerie, tonnellerie et traitement et revêtement des métaux (traitement de surface, sablage et métallisation, traitement électrolytique, application de vernis et peintures)
VRAC STOCK	Stockage ou dépôts de produits en vrac

Source : Callier *et al.*, 2018

Les grandes familles de polluants ont été définies notamment à l'aide de la nomenclature des polluants disponible sur le site de l'IREP (Registre Français des rejets et des transferts de polluants)². Ces grandes familles sont donc celles des métaux et métalloïdes (ETMM), des hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP), des polychlorobiphényles (PCB), des polybromodiphényléthers (PBDE), des oxydes, des polychlorodibenzo-dioxines et polychlorodibenzo-furanes (PCDD-F), des pesticides, des composés organiques volatiles non méthaniques COVNM, des particules ultra fines (PUF) et des particules sédimentables (PS).

Enfin les paramètres permettant d'évaluer les impacts de ces polluants ont été renseignés : il s'agit des types d'habitats naturels adjacents, de la taille des bassins de populations humaines connexes aux zones industrielles et des voies de contaminations des polluants.

Cet énorme travail de collecte, synthèse et vérification de données ayant permis la création de cette nouvelle base de données s'est accompagné d'observations directes sur le terrain lors de la visite des 3 zones pour mieux appréhender la diversité et les spécificités des sites industriels, caractériser les milieux et bassins de population présents (*Figure 3* Étape 3).

Des limites ont pu être observées quant à la création de cette base de données. En effet, de nombreuses données étaient erronées ou manquantes sur les plateformes d'informations consultées. Ainsi un important travail de vérification a été mené. Toutefois, certaines données sont restées manquantes comme les dates de fin d'activités de certains sites industriels par exemple. Il est possible que ces données n'aient pas encore pu être numérisées ou alors sont-elles peut-être uniquement présentes dans les archives municipales des communes concernées.

Tableau 2. Description des grandes familles de polluants définie dans l'étude et de leurs potentiels impacts sur l'environnement et la santé humaine.

Grandes familles de polluants	Définitions	Impacts potentiels environnementaux	Impacts potentiels sur la santé humaine
Métaux et métalloïdes	Cette famille regroupe les éléments traces métalliques et métalloïdes qui sont présents dans la croûte terrestre à des concentrations inférieures à 0,1 % soit 1000 mg.kg ⁻¹ (ex: plomb, arsenic, cadmium, ...)	Du fait de leur biopersistance, ils peuvent engendrer des pollutions (suivant leur concentration et leur forme) de l'air, l'eau et les sols et potentiellement passer dans la chaîne trophique	Une potentielle intoxication au plomb peut engendrer un saturnisme via d'anciennes tuyauteries et peintures au plomb dans les logements insalubres ou l'intoxication en cas ingestion ou d'inhalation de poussières de sol pollué
			Une exposition chronique à l'arsenic entraîne des pathologies cutanées (cancéreuses ou non), des cancers du poumon et de la vessie (même à des niveaux faibles d'exposition, inférieurs à 50 µg.L ⁻¹), des maladies cardio-vasculaires ou de diabète de type 2 (en cas d'exposition à de très fortes doses)
Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP)	Ce sont des molécules formées de plusieurs noyaux benzéniques formant des cycles aromatiques issus d'apports naturels (HAPs pyrolytiques et diagénétiques) ou anthropiques (HAPs pyrolytiques ou pétrogéniques)	Pollution de l'air, des sols et dans une moindre mesure de l'eau (composés peu solubles dans l'eau)	Le benzo-[a]-pyrène (BaP) est particulièrement toxique avec une action cancérogène à faibles doses. La plupart des HAPs présentent des propriétés mutagènes et cancérogènes. Certains peuvent également affecter la reproduction ou le développement foetal. La toxicité dépend fortement de la molécule et de la dose considérée.
Polychlorobiphényles (PCB)	Composés aromatiques organochlorés utilisés notamment dans les transformateurs électriques comme isolants	Du fait de leur faible solubilité dans l'eau, les PCB contaminent les chaînes trophiques et, plus particulièrement, les maillons terminaux de la chaîne par phénomène de bioamplification	Risques de cancers et symptômes cutanés, digestifs, bronchitiques et hépatiques parfois létaux suivant le niveau d'exposition.
Polybromodiphényléthers (PBDE)	Composés chimiques d'origine humaine utilisés comme retardateurs de flammes dans de nombreux produits	Les PBDE, tout comme les PCB, vont par retombées atmosphériques contaminer le milieu aquatique, les sols et la chaîne trophique.	Non renseigné .
Oxydes	Ce sont des composés volatiles regroupant principalement les oxydes d'azotes (NO _x), dioxyde de soufre (SO ₂) et monoxyde de carbone (CO)	Pollution de l'air principalement sous forme gazeuse (dioxyde d'azote : NO ₂)	Augmentation de la fréquence et aggravation de symptômes respiratoires comme l'asthme (NO ₂ et SO ₂) et les maladies cardiovasculaires préexistantes. Décès anticipés chez des personnes âgées ou fragiles. L'intoxication au monoxyde de carbone (CO)

			peut provoquer des troubles cardiaques, des nausées, des vertiges, des troubles de la vigilance et des maux de tête.
Polychloro-dibenzo-dioxines et furanes (PCDD-F)	Composés organochlorés d'origine principalement anthropique formés essentiellement par des phénomènes de combustion	Potentielle influence sur le système endocrinien chez l'animal et contamination de l'air de l'eau et des sols via les émissions industrielles	Potentielle influence sur le système endocrinien de l'humain, excès de décès par cancers
Pesticides	Les pesticides sont des produits organiques, voire minéraux, de familles chimiques très diverses. Leurs propriétés toxiques permettent de les utiliser pour la prévention, le contrôle ou l'élimination d'organismes jugés indésirables, qu'il s'agisse de plantes, d'animaux, de champignons ou de bactéries	Pollution de l'eau : Présence dans eaux superficielles et souterraines et les sols.	Les conséquences sanitaires sont liées en grande partie aux potentialités cancérogènes à long terme de ces substances. Les métabolites des pesticides peuvent être plus dangereux que la matière active elle-même.
Composés Organiques Volatiles Non Méthaniques (COVNM)	Ce sont des composés contenant du carbone et présentant une pression de vapeur supérieure à 0,13 kPa. Également présents dans des combustibles et dans des fumées, ils regroupent les alcanes et les BTEX (benzène, toluène, éthylbenzènes et xylènes)	Pollution de l'air principalement	Gravité des effets différente suivant les composés : action cancérogène, mutagène, irritations cutanées, troubles potentiels digestifs, rénaux, cardiaques, hépatiques et du système nerveux.
Particules fines et ultrafines (PM10, PM2,5 et PUF)	Ce sont des particules solides classées par taille pour en définir la toxicité potentielle. Elles peuvent atteindre les régions bronchiolaires et alvéolaires et plus les particules sont fines, plus le temps de séjour dans les poumons est long.	Pollution de l'air	Exposition chronique augmente le risque de décès à long termes. Risque accru de décès de cancers des poumons. Augmentation de troubles respiratoires (toux, bronchites...). Effets néfastes sur le système cardio-vasculaire.
Particules Sédimentables (PS)	Ce sont des particules comprises entre 10 à 100 µm, retombant assez rapidement.	Pollution des sols et de l'atmosphère	Exposition par ingestion, l'impact sanitaire semble modéré en comparaison des PM et PUF.

Sources: Badol, 2005; Barriuso *et al.*, 1996; Bocquier *et al.*, 2005; Gramaglia & Babut, 2014; Horri, 2018; Lamprea, 2009 et Noack *et al.*, 2012

II.4. Cartes des activités industrielles polluantes passées et présentes

Divers traitements cartographiques via le logiciel QGIS (Version 3.10.8) ont été menés. Un fond de carte Open Street Map (2018) a été utilisé pour l'ensemble des cartes. Ces dernières ont permis de représenter pour chacune des zones étudiées et sur différentes périodes de temps les types d'activités industrielles présentes et le nombre de familles de polluants potentiellement émis par ces activités. Cela permet donc la mise en évidence d'une variabilité parmi les types de polluants émis dans l'environnement au cours du temps et par zone étudiée.

Ainsi, différentes périodes temporelles ont été choisies afin de rendre compte de l'évolution des industries dans le BMP, Fos-sur-Mer et les Calanques-Sud de Marseille :

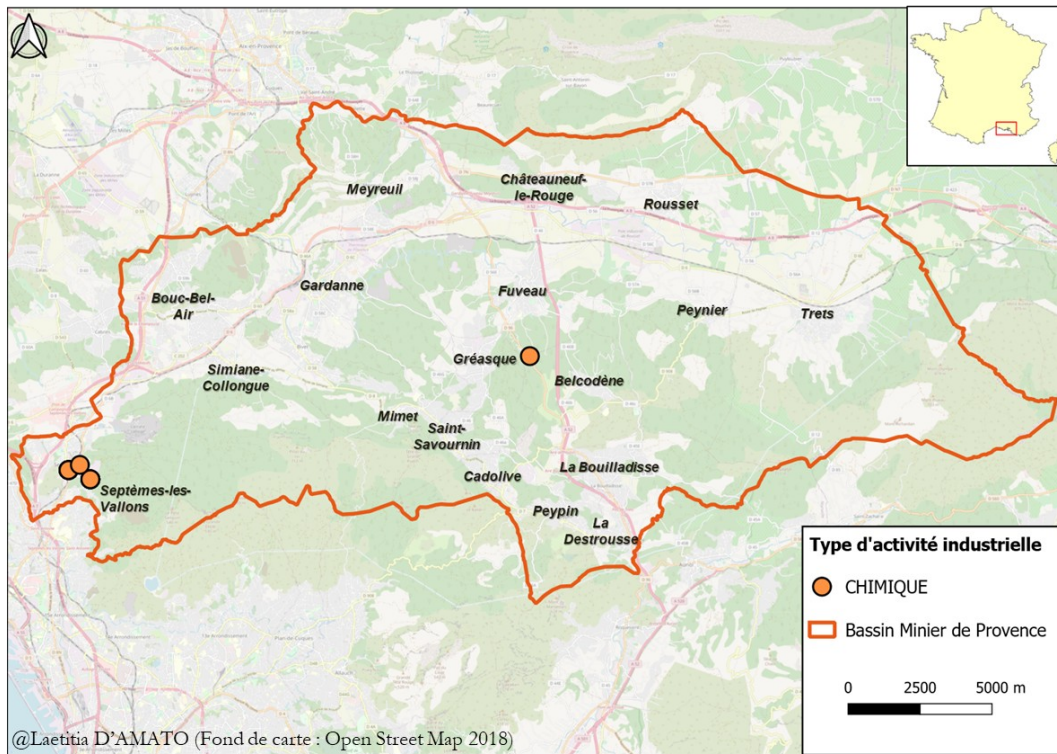
- De 1800 à 1880 période au cours de laquelle la première révolution industrielle prend place avec tous les changements socio-économiques et environnementaux engendrés (**Daumalin & Raveux, 2001**).
- De 1881 à 1929 où de grands choix politiques ont menés au crash boursier de Wall Street, qui va, en conséquence, entraîner une période d'instabilité dans tous les secteurs et particulièrement celui de l'industrie (**Irwin, 2010**).
- De 1930 à 1965 qui voit l'installation de la ZIP de Fos-sur-Mer et de celle de Dunkerque (**Daviet & Robert, 2012**).
- De 1966 à 1976 où de nouvelles réglementations environnementales sont instaurées dont la loi relative à la protection de la nature de 1976.
- De 1977 à 2000 qui marque le mouvement de mondialisation et une transition industrielle en Europe (**Daviet & Robert, 2012**).
- De 2001 à nos jours en 2020, caractérisé par l'essor du secteur numérique mais aussi par les nouveaux objectifs de développement durable notamment.

Les résultats présentés dans ce rapport ne concerneront que la zone du BMP, les cartes relatives à la ZIP de Fos et aux Calanques sud de Marseille étant présentées en annexes mais non commentées.

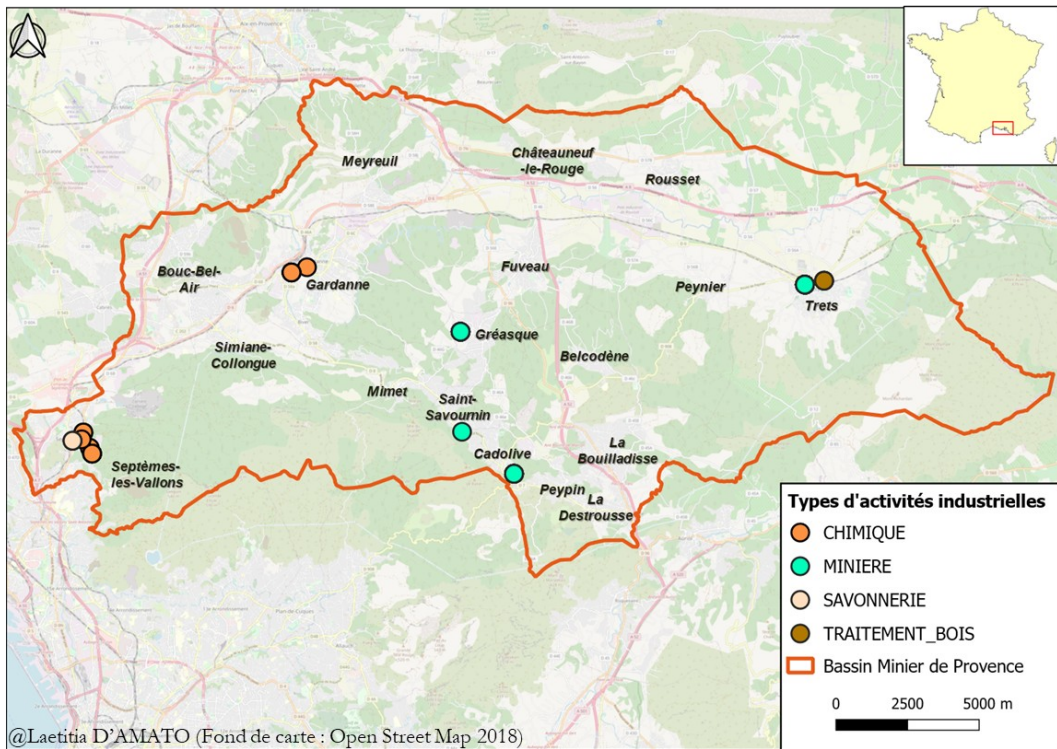
III. Résultats

III.1. Évolution des types d'activités industrielles du BMP de 1800 à 2020

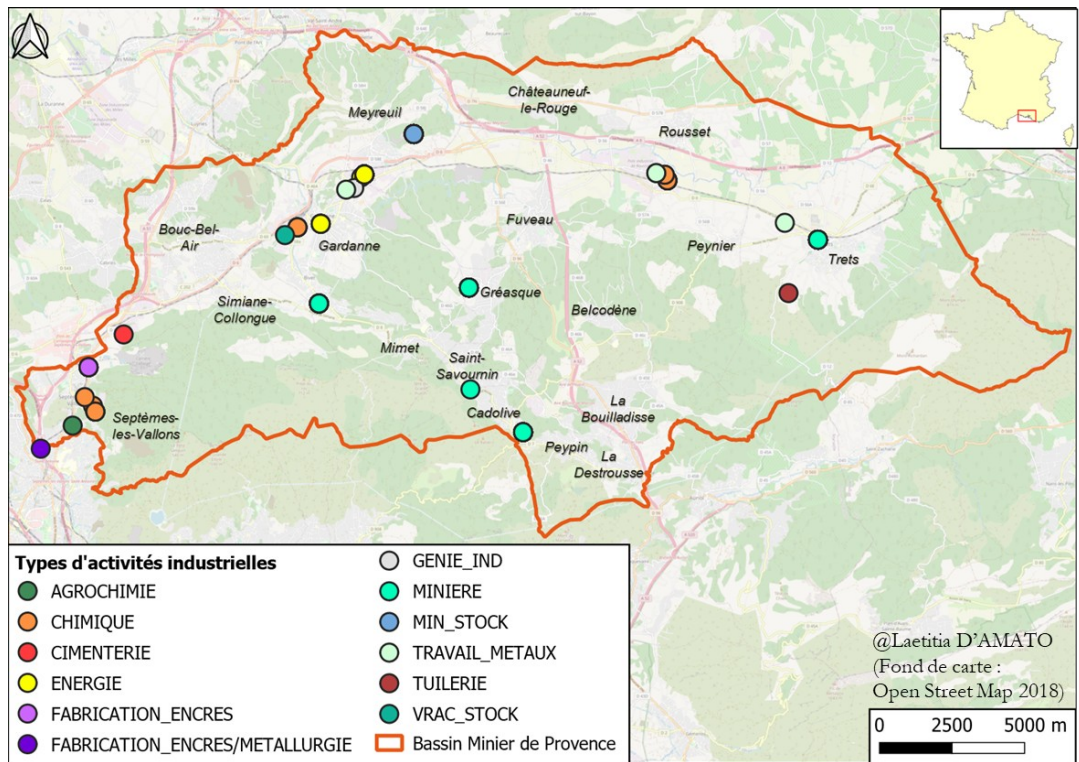
La succession des types d'activités industrielles au sein du BMP permet d'observer une tendance évolutive dans la dynamique du bassin industriel. En effet, de 1800 à 1880, seule l'industrie chimique est implantée à Septèmes-les-Vallons (Figure 4, a). Par la suite, de 1881 à 1965, les secteurs industriels prédominants sont ceux de la chimie et de l'extraction minière car ils comptent le plus d'industries présentes sur le territoire lors de cette période (Figure 4, b et c). Puis, il semble s'opérer une transition dans le tissu industriel durant la période de 1966 à 1976 avec une nette diminution, voire quasi-disparition de l'activité minière au profit de l'émergence de nouvelles activités telles que les activités de fabrication de caoutchouc et la plasturgie ou encore l'implantation de centrales d'enrobage et de sites de production d'énergie notamment avec la création de la Centrale Thermique de Gardanne-Meyreuil (Figure 4, d). Enfin, de 1977 à nos jours, une diversification progressive et importante des activités industrielles a lieu, en comparaison des activités sur les périodes temporelles précédentes (de 1800 à 1976) et se localisent principalement dans 3 villes du BMP : Septèmes-les-Vallons, Gardanne et Rousset-Peynier (Figure 4, e et f). Les secteurs de l'électronique et du caoutchouc/plasturgie, comptent maintenant parmi les plus importants notamment au niveau de la ZI de Rousset-Peynier. À noter également que l'industrie chimique s'est maintenue depuis les années 1800 et reste un secteur industriel majeur dans la dynamique industrielle du BMP (Figure 4 et Tableau 3). À l'inverse, le secteur minier a totalement périclité et il ne reste que peu de sites sur la période de 1977 à nos jours (Figure 4, e et f).



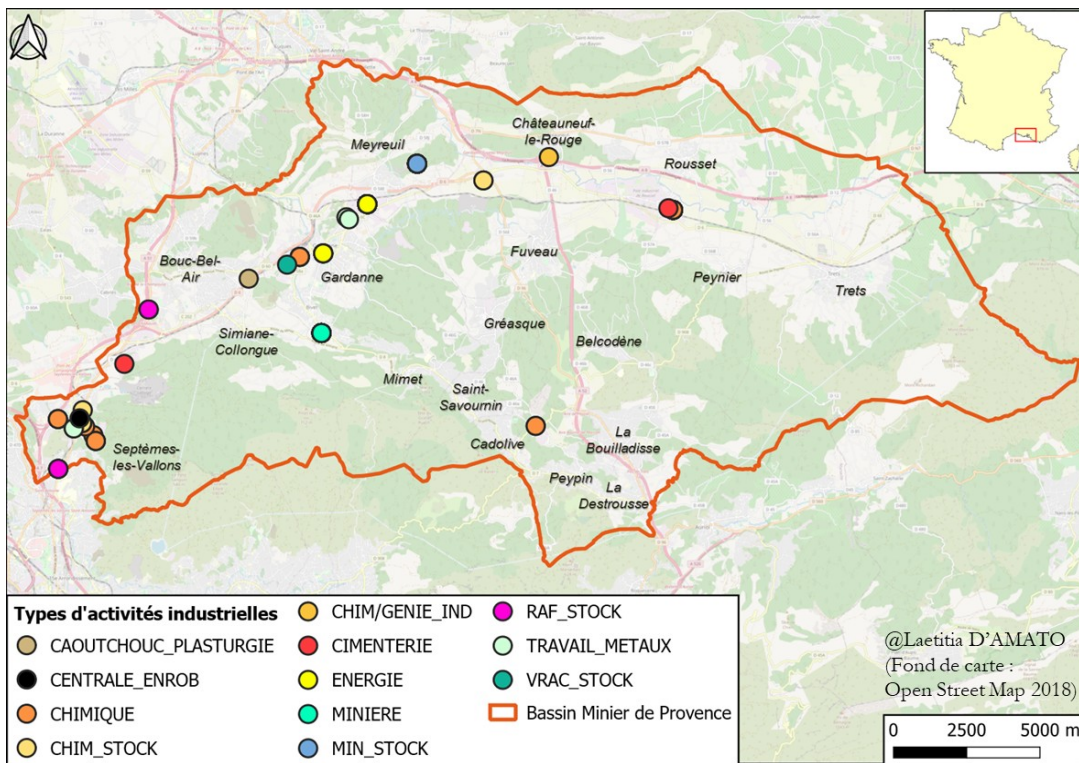
a)



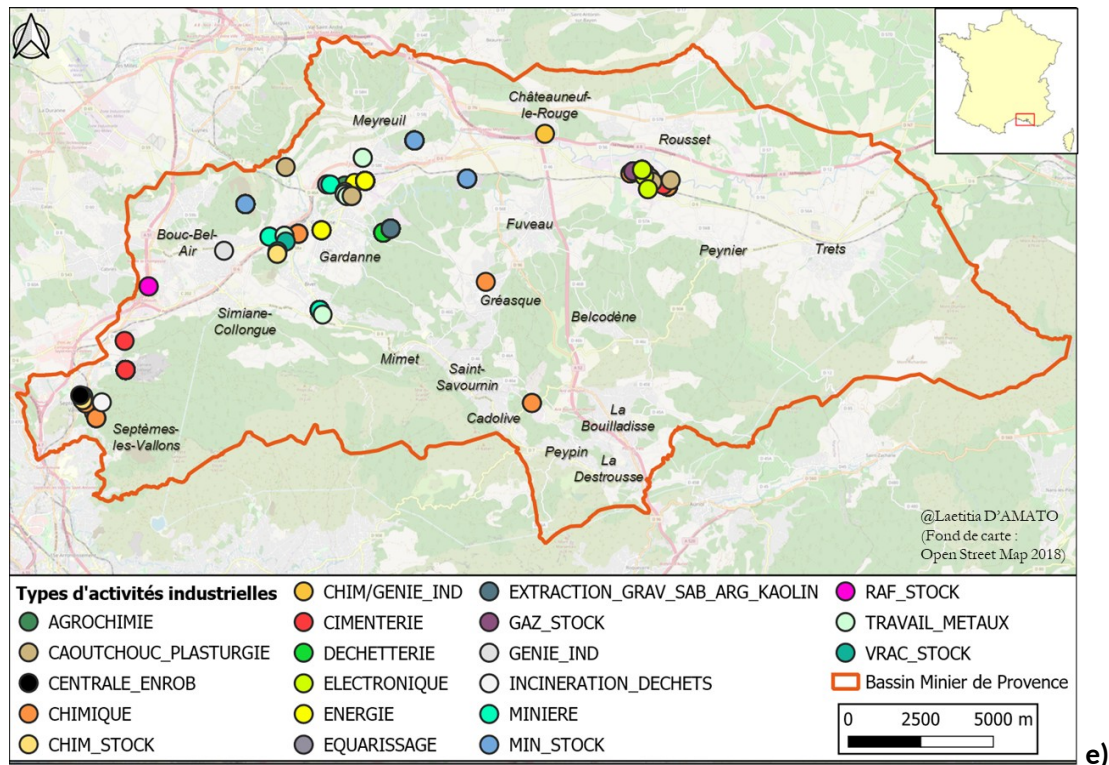
b)



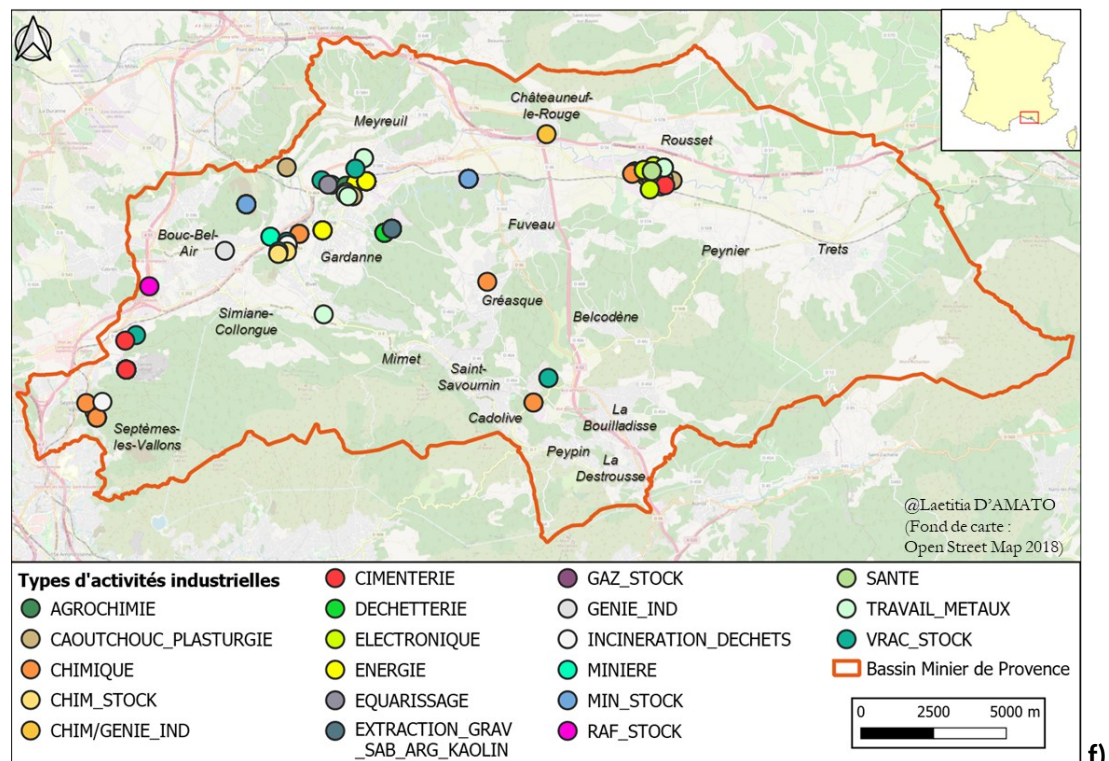
c)



d)



e)



f)

Figure 4. Cartes des différents types d'activités industrielles dans le Bassin Minier de Provence selon 6 périodes temporelles : de 1800 à 1880 (a) ; de 1881 à 1929 (b) ; de 1930 à 1965 (c) ; de 1966 à 1976 (d) ; de 1977 à 2000 (e) et de 2001 à 2020 (f). (Fond de carte : Open Street Map, 2018).

La présence d'une barre de séparation « / » entre deux types d'activités pour certaines légendes signifie qu'il y a eu une succession des deux types d'activités dans la même période temporelle pour le ou les sites industriels concernés.

III.2. Représentation du nombre de familles de polluants potentiellement émis par les activités industrielles actuelles (2001-2020) du BMP

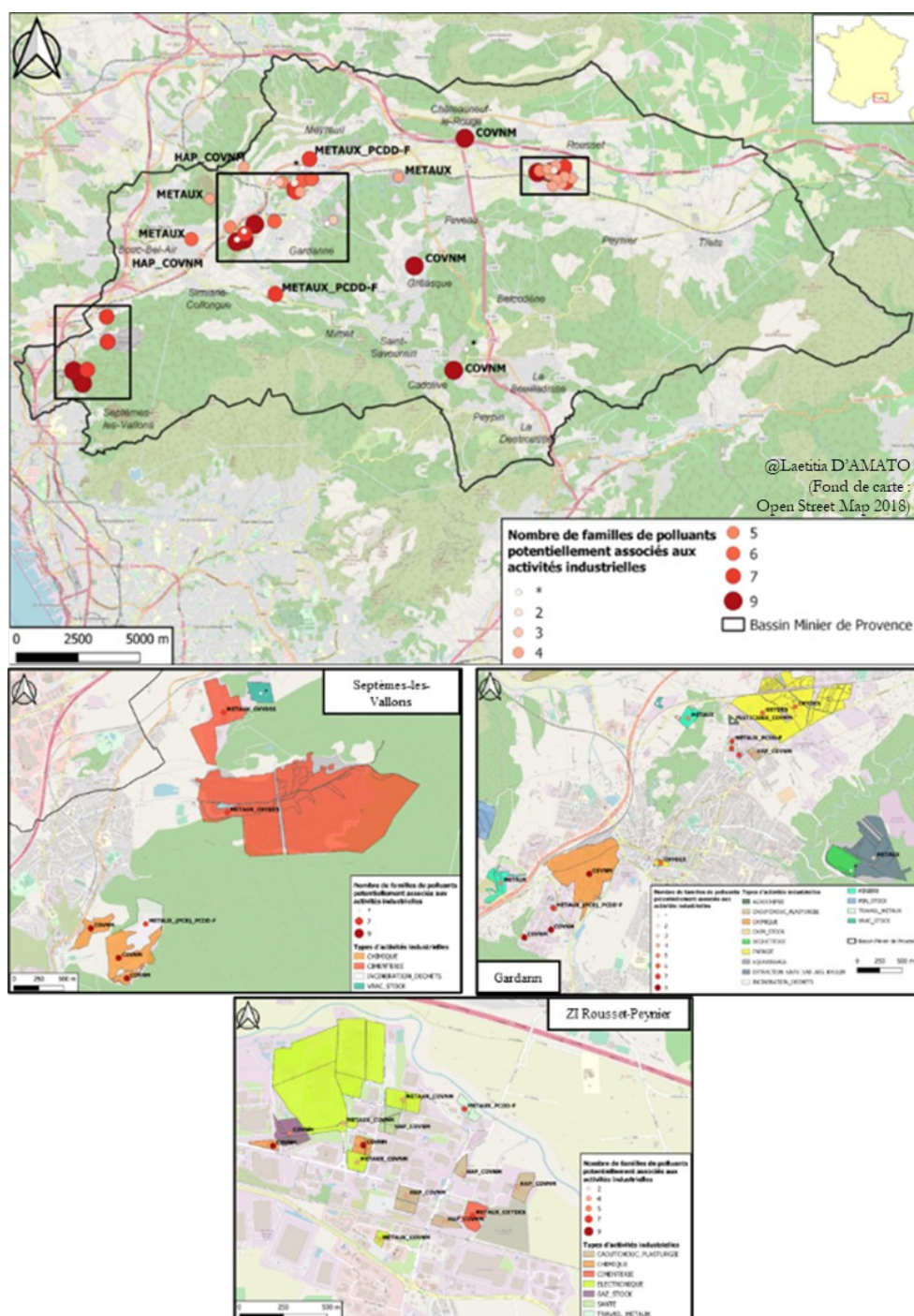


Figure 5. Carte du nombre de familles de polluants potentiellement émis par les activités industrielles dans le Bassin Minier de Provence selon la période de 2001 à 2020 (en haut) associés à 3 zooms correspondants aux villes de Septèmes-les-Vallons, Gardanne et la ZI de Rousset-Peynier. (Fond de carte : Open Street Map, 2018).

Le symbole * pour les activités de déchetterie et les stockages de vracs signifie que le nombre de familles de polluants potentiellement émis par ces activités dépend du type de dépôts effectués. Les appellations de familles de polluants en gras (ex : METAUX) à côté des points indiquent que ces dites familles sont majoritairement émises.

À l'échelle du Bassin Minier de Provence, l'industrie chimique est l'activité ayant le nombre de familles de polluants associés le plus élevé : 9 familles en tout (Figure 5, Tableau 3). Elle est suivie par les activités de cimenteries, d'incinération de déchets, de génie industriel et de travail des métaux qui émettent potentiellement 7 familles de polluants. Les principaux polluants associés aux activités industrielles sont les composés organiques volatils non méthaniques (COVNM) puisqu'ils sont présents dans les émissions de 16 types d'activités industrielles sur les 20 recensés pour la période actuelle (2001-2020) et sont considérés comme « polluants majoritaires » pour 12 activités (Tableau 3). Viennent ensuite les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) et les polychlorodibenzo-dioxines et polychlorodibenzo-furanes (PCDD-F), avec respectivement : 14 et 11 types d'activités industrielles potentiellement émettrices. Les HAP et PCDD-F sont les polluants majoritairement émis dans respectivement 10 et 2 types d'industries (Tableau 3).

La diversité actuelle d'activités industrielles très localisées au sein du BMP entraîne la concentration d'une grande diversité de polluants au niveau des zones concernées (Figure 5). Pour Septèmes-les Vallons, les activités chimiques et de cimenteries ont relargué le plus de familles de polluants dont majoritairement des COVNM, des métaux et des oxydes (Tableau 3). Concernant Gardanne, ce sont également les activités chimiques mais aussi énergétiques et de traitement des métaux qui ont émis le plus de polluants notamment des COVNM, ETMM, oxydes et PCDD-F. Enfin, dans la zone industrielle de Rousset-Peynier se retrouve principalement des émissions potentielles de COVNM, ETMM et HAP issus des activités électroniques, de caoutchouc/plasturgie mais aussi chimiques (Figures 4, f et 5).

Certains types d'activités sont présentes sur une seule des 6 périodes temporelles définies dans l'étude. C'est le cas pour les activités de fabrication d'encres (1930-1965), de la santé (2001-2020), de la savonnerie (1881-1929), de tuileries (1930-1965) et de traitement du bois (1881-1929) (Tableau 3). Puisque ces activités ont été moins pérennes, il est à supposer qu'elles auront des impacts, certes, mais ponctuels (limités dans l'espace et le temps) comparés aux autres activités encore présentes. À contrario, d'autres types d'activités ont connu une certaine stabilité comme, par exemple, l'industrie chimique présente dans les périodes comprises entre 1800 et 2020 ou encore l'industrie minière entre 1881 et 2020 (malgré un déclin de cette dernière dès la période de 1966-1976) (Figure 4 et Tableau 3). Des pollutions chroniques dues aux émissions répétées ou continues de polluants issus de ces activités industrielles sont donc plus attendues en conséquence de leur maintien dans le temps.

Tableau 3. Familles de polluants potentiellement associés aux activités industrielles (présence représentée en vert) en fonction des périodes temporelles de présence de ces activités dans le Bassin Minier de Provence (BMP).

Activités industrielles	Périodes temporelles	Grandes familles de polluants										Nombre de familles de polluants potentiellement émis	Polluants majoritaires émis	
		Métaux	HAP	PCB (1930-2020)	PBDE	Oxydes	PCDD-F	Pesticides	COVNM	PUF (PM1)	PS			
AGROCHIMIE	1930-1965												2	PESTICIDES COVNM
	1977-2020													
CAOUTCHOUC PLASTURGIE	1966-2020												4	HAP COVNM
CENTRALE ENROBAGE	1966-2000												3	HAP COVNM
CHIMIQUE	1800-2020												9	COVNM
CHIM STOCK	1966-2020												9	COVNM
CIMENTERIE	1930-2020												7	METAUX OXYDES
DECHETTERIE	1977-2020												*	*
ELECTRONIQUE	1977-2020												4	METAUX COVNM
ENERGIE	1930-2020												6	OXYDES
EQUARISSAGE	1977-2020												3	HAP COVNM
EXTRACTION GRAV/SAB/ ARG/KAOLIN	1977-2020												3	METAUX
FABRICATION ENCRES	1930-1965												3	HAP OXYDES
GAZ STOCK	1977-2020												5	COVNM
GENIE INDUSTRIEL	1930-1965												7	METAUX
	1977-2020													
INCINERATION DECHETS	1977-2020												7	METAUX (PCB) PCDD-F
MINIERE	1881-2020												5	METAUX
MIN STOCK	1930-2020												4	METAUX
RAF STOCK	1966-2020												2	HAP COVNM
SANTE	2001-2020												2	HAP COVNM
SAVONNERIE	1881-1929												3	COVNM
TUILERIES	1930-1965												3	METAUX
TRAITEMENT BOIS	1881-1929												4	METAUX COVNM
TRAVAIL METAUX	1930-2020												7	METAUX PCDD-F
VRAC STOCK	1930-2020												*	*

Source = Citepa 2020; CHIM STOCK = Stockages de produits chimiques ; GRAV/SAB/ARG/KAOLIN = Gravier, sablières, argiles et kaolin ; GAZ STOCK = Stockages de gaz ; MIN STOCK = Stockages de produits issus de la mine ; RAF STOCK = Stockages de produits pétroliers ; VRAC STOCK = Stockages de produits de vrac ; HAP = Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques ; PCB = Polychlorobiphényle ; PBDE = Polybromodiphényléthers ; PCDD-F = Polychloro-dibenzo dioxines et Polychloro-dibenzo furanes ; COVNM = Composés Organiques Volatils Non Méthaniques ; PUF = Particules Ultra Fines ; PS = Particules Sédimentables ; * = nombre de familles de polluants potentiellement émis par ces activités dépend du type de dépôts effectués. En VERT = Familles de polluants émis en fonction du type d'activité industrielle.

III.3. Densité de population et polluants potentiellement émis par les activités industrielles sur la période actuelle (2001-2020) dans le BMP

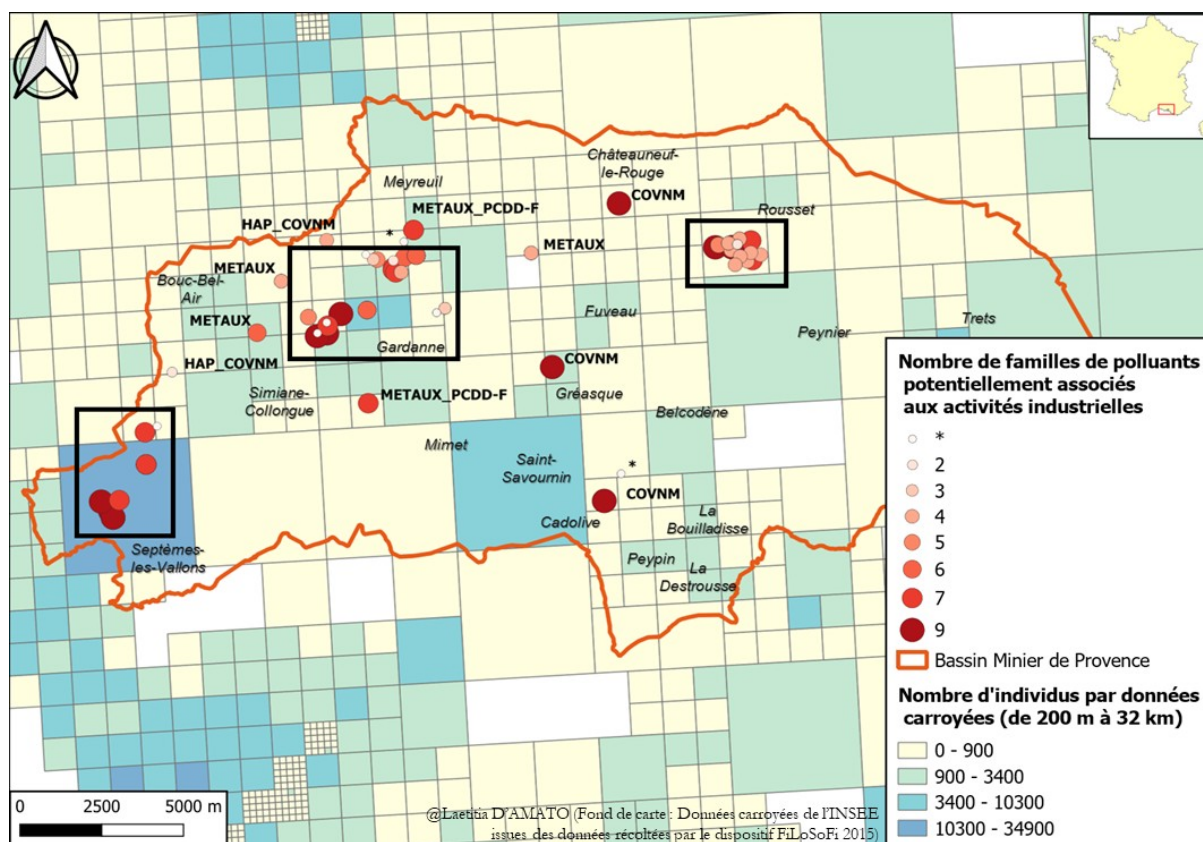


Figure 6. Carte du nombre de familles de polluants en fonction du nombre d'habitants présents au sein des communes du BMP (Fond de carte : données carroyées de l'INSEE issues des données récoltées par le dispositif FiLoSoFi 2015). Le symbole * signifie que le nombre de familles de polluants potentiellement émis dépend du type de dépôts effectués par l'activité. Les appellations de familles de polluants en gras (ex : METAUX) à côté des points indiquent que ces dites familles sont majoritairement émises.

La mise en perspective du nombre d'habitants dans le BMP, associé aux données de localisation du nombre de familles de polluants potentiellement émis par les activités industrielles, renseigne sur les impacts potentiels de ces polluants sur les populations locales. En effet, 2 des 3 zones où la concentration de polluants potentiellement émis est la plus importante présentent une densité de population très élevée avec un nombre d'habitant compris entre 10300 et 34900 pour Septèmes-les-Vallons et entre 6800 et 20600 pour Gardanne (Figure 6). À contrario, la ZI de Rousset-Peynier se situe dans une zone avec une faible densité de population puisque le nombre d'habitants s'élève à maximum 900 individus

(Figure 6). Ainsi, les pollutions potentielles de cette zone seront probablement impactantes mais à de plus faibles niveaux comparé aux zones de Septèmes et Gardanne, au regard du nombre d'habitants potentiellement exposés.

III.4. Pollutions industrielles et zones naturelles connexes aux activités émettrices dans le BMP (de 2001 à 2020).

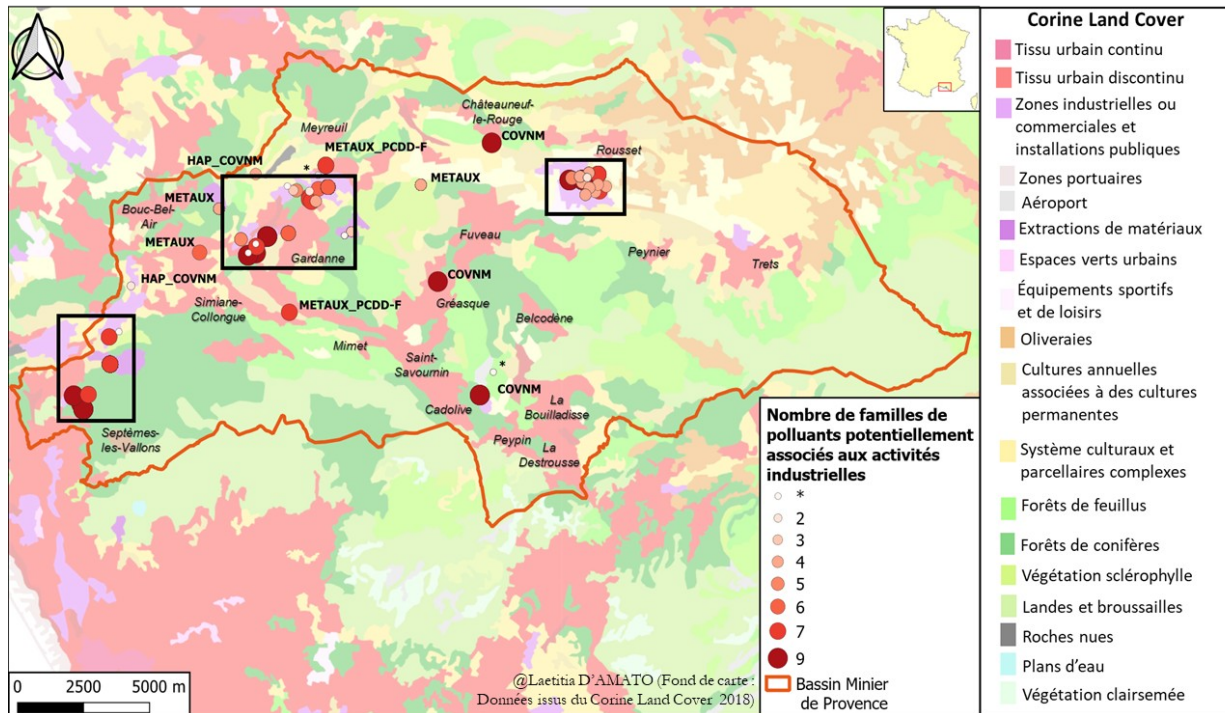


Figure 7. Carte du nombre de familles de polluants en fonction du type d'occupation des sols (Fond de carte : données issus du Corine Land Cover 2018). Le symbole * signifie que le nombre de familles de polluants potentiellement émis dépend du type de dépôts effectués par l'activité. Les appellations de familles de polluants en gras (ex : METAUX) à côté des points indiquent que ces dites familles sont majoritairement émises.

Les zones naturelles jouxtant les 3 zones de fortes concentrations de polluants potentiellement émis par des activités industrielles sont formées principalement de forêts (conifères ou feuillus) et de zones agricoles de cultures annuelles ou permanentes. A Septèmes-les-Vallons, les forêts sont les milieux naturels les plus proches des activités industrielles et donc les premières exposées aux pollutions potentielles (Figure 7). Pour Gardanne, le tissu urbain et les zones dites industrielles sont étendues sur la commune entraînant des impacts plus probables des polluants industriels sur les populations urbaines bien que les zones de cultures

et forêts limitrophes sont tout autant exposées (Figure 6 et 7). Enfin, concernant la ZI de Rousset-Peynier, l'occupation des sols au voisinage de la zone est principalement agricole (Figure 7).

Un travail similaire de cartographies des types d'activités industrielles passées et présentes (de 1800 à 2000) associés au nombre de familles de polluants potentiels émis a été réalisé sur les deux autres zones industrielles de l'étude, à savoir les Calanques Sud et Fos-sur-Mer, et sont présentées en Annexes.

IV. Discussion

L'un des principaux objectifs de cette étude était de représenter visuellement, de façon intégrative, la diversité des industries dans le temps sur les 3 principaux bassins industriels des B-D-R ainsi que les pollutions majoritaires potentiellement émises afin d'en faire un outil d'aide à la décision pour réduire l'exposition humaine et environnementale. Comme précisé précédemment, ce rapport se focalise sur le BMP.

Une représentation des activités industrielles du BMP au cours des 6 périodes de temps définies a été réalisée (Figure 4). Celle-ci permet non seulement de mettre en évidence les différentes transitions temporelles dans les dynamiques des activités qui avaient déjà été traitées par ailleurs (**Daumalin & Raveux, 2006**) mais, de surcroît, d'observer l'étalement spatial et la diversité industrielle et les polluants émis à l'échelle du BMP, ce qui apporte une vision spatio-temporelle intégrative. Un important travail de vérification des données de recensement des sites industriels du BMP a été réalisé. Toutefois, il est important de prendre en compte la présence d'informations parcellaires voire manquantes en fonction des sources disponibles. Elles sont dues au fait que les renseignements des sources consultées n'étaient pas toujours à jour (ex : BASIAS), notamment dans le cas de sites industriels très anciens. Ainsi, l'expertise d'historiens pourrait permettre de collecter des informations complémentaires pour affiner cette représentation de la dynamique industrielle à la fois temporelle et spatiale dans le BMP et plus généralement sur les bassins industriels des B-D-R.

IV.1. Évolutions des émissions potentielles de polluants en lien avec l'évolution de l'industrialisation mais aussi des réglementations

Le nombre de familles de polluants potentiellement émis par les activités industrielles a été défini suivant les émissions liées aux procédés des activités industrielles, mais sans prendre en compte les potentielles mesures mises en place par les industries visant à limiter les émissions industrielles des polluants. En effet, une diminution importante en concentration des émissions industrielles polluantes s'observe depuis les années 1970 (loi de la protection de la nature de 1976) avec l'évolution de la réglementation, la mise en place de seuils d'émissions des polluants et la prise de conscience des impacts environnementaux. À titre d'exemple, les émissions de boues rouges de l'usine d'alumine de Gardanne n'ont plus pu être déversées dans

le canyon de Cassidaigne, leur toxicité ayant pu être démontrée (**Fontanier et al., 2012**). Cependant, une dérogation permet toujours de déverser un effluent traité et devront cesser dans un avenir proche. Ainsi, bien que la diversité des grandes familles de polluants potentiellement émises reste importante au cours du temps, les concentrations émises suivent une tendance à la baisse. Par exemple, la réduction de l'utilisation des PCB a abouti à une réduction de leur concentration dans les milieux grâce au plan national de décontamination et d'élimination des appareils contenant des PCB et PCT en 2003.

Par exemple dans les Bouches-du-Rhône, une diminution des émissions de dioxines et furanes de 80 % a été constatée depuis la mise en place de mesures dans les années 1990 pour les activités de l'incinération des ordures ménagères, de la sidérurgie et de la métallurgie. (**Bocquier et al., 2005**). De 2007 à 2016, une réduction de 43 % des émissions d'oxydes d'azote (NOx), de 71 % des émissions de dioxyde de soufre (SO₂) et de 50 % des émissions de COVNM a été enregistrée au niveau du secteur industriel des Bouches-du-Rhône (**Le Berre et al. 2018**). Les procédés de réduction des émissions polluantes atmosphériques mis en place par les industries sont nombreux et de différentes natures : traitement des fumées contaminées par voie humide (lavage au lait de chaux) permettant leur dépoussiérage et neutralisation suivi par un traitement de l'effluent aqueux produit, ou par voie sèche (électrofiltres et charbon actif, torchères...) pour permettre l'élimination des particules et des gaz polluants, voir la combustion de ces gaz (**Marsteau, 2005**). Ainsi il faut interpréter avec précaution ces évolutions spatio-temporelles en prenant en compte non seulement les changements d'activités industriels mais aussi le levier que représente l'évolution réglementaire.

IV.2. Peut-on identifier des villes potentiellement plus impactées dans le BMP ?

La représentation du nombre de familles de polluants potentiellement émis a permis de mettre en évidence que 3 zones au sein du BMP concentrent les plus fortes expositions aux polluants industriels : Septèmes-les-Vallons, Gardanne et la ZI de Rousset-Peynier. Cette Carte permet donc une bonne représentation des sites sources de pollutions. Néanmoins, les polluants ne sont pas statiques et présentent, suivant leurs propriétés physico-chimiques, une capacité de dispersion sur de plus ou moins longues distances (**Marçais, 2017**). Différents modes de transferts des polluants existent entre les différents compartiments air-eau-sol. Au niveau du compartiment atmosphérique, les vents dominants et les conditions météorologiques sont

d'importants vecteurs de dispersion des polluants (**Marçais, 2017 ; Diaf et al. 2003**). Plus les polluants sont volatils et présentent des temps de résidence long dans l'atmosphère, plus leur portée de contamination est élevée. C'est notamment le cas pour certains HAP et les COVNM qui sont 2 des 3 familles de polluants récurrentes dans les émissions des activités du BMP. Ainsi, dans l'atmosphère, les HAP peuvent être présents sous forme gazeuse ou particulaire, leur répartition dépendant majoritairement de la pression de vapeur saturante des composés puisqu'elle rend compte de leur volatilité (**Goriaux, 2006**). Les composés de faibles masses moléculaires, qui ont une pression de vapeur saturante plus importante (**Allen, 1997**), se trouvent plutôt sous forme gazeuse. A l'inverse, les HAP lourds seront prioritairement adsorbés sur la phase particulaire (**Air Paris, 2013**). Aussi, plus les particules sont lourdes, plus elles auront tendance à se déposer à proximité de la source et auront un temps de présence dans l'atmosphère relativement court. En revanche, les particules les plus fines et les HAP sous forme gazeuse peuvent être transportés sur de longues distances. La répartition des HAP dans l'atmosphère renseigne donc sur leurs origines et la distance à la source (**Atmo Nord-Pas-de-Calais, 2016**).

De plus, les reliefs et la végétation dominante peuvent jouer sur la dispersion des polluants. Cela a précédemment été mis en exergue autour du site de Gardanne avec des effets barrières liés aux bosquets de pins d'Alep et avec la dispersion des polluants liés à la fois aux vents dominants et au relief (**Noack et al., 2012**) comme cela également été démontré sur le site de l'Escalette dans les Calanques (**Heckenroth et al. 2016**).

Cette dispersion atmosphérique des polluants entraîne ainsi une contamination du compartiment sol mais aussi des cours d'eau du fait des retombées atmosphériques des composés gazeux (entraînés par la pluie) et des particules polluantes (**Lamprea, 2009**). Les phénomènes de lessivage, de lixiviation ou encore les rejets d'effluents industriels sont autant de facteurs de dispersion à prendre en compte. Dans les systèmes aquatiques, le comportement des polluants varie suivant leurs propriétés physico-chimiques : la solubilité des polluants dans l'eau renseigne sur leur biodisponibilité, c'est-à-dire leur capacité à être absorbés par les organismes vivants, contrairement à leur forme particulaire, sous laquelle ils auront tendance à sédimenter et à se retrouver piégés dans la matrice des sédiments du cours d'eau.

La contamination des sols est plus complexe à appréhender de par l'hétérogénéité de sa composition qui dépend de ses propriétés et ses divers compartiments : eau, air, biota, matière organique, etc...

Ainsi, ce travail met en évidence des sources multiples de polluants dans le BMP impactant les différents compartiments environnementaux, une modélisation du comportement de dispersion des polluants, prenant en compte les modalités décrites ci-dessus, permettrait une visualisation de l'étendue des pollutions engendrées à l'échelle du territoire par les activités industrielles et renseignerait sur les surfaces impactées.

IV.3. Peut-on relier les données collectées sur les polluants à une vulnérabilité humaine et/ou environnementale ?

À partir de leur source d'émission, les polluants se dispersent dans l'environnement en fonction de leurs propriétés physico-chimiques, de leur comportement dans les différents milieux, de leur capacité à séjourner dans ces milieux mais aussi à s'accumuler ou à se transformer dans les organismes vivants (**Lohmann et al., 2007**). Le BMP est principalement constitué de zones forestières et de zones agricoles qui ont peu à peu été grignotées par l'avancée de l'urbanisation et l'implantation des nombreuses activités industrielles depuis la première révolution industrielle du début du XIX^e siècle (**Reis et al. 2014a**). Les zones industrielles sont souvent adjacentes à des milieux naturels plus ou moins anthropisés et on note la présence de cours d'eau à proximité. Ainsi, on peut supposer une exposition accrue de ces milieux aux polluants émis par les industries. Cependant, vu la diversité des familles de polluants potentiellement présentes et la diversité des polluants au sein de chacune de ces familles, l'évaluation de l'écotoxicité de ces polluants *in natura* paraît très complexe. En effet, la toxicologie a été développée par polluant en suivant des relations dose-effet mais les avancées en écotoxicologie démontrent la complexité des interactions entre polluants pouvant potentiellement aboutir à des effets néfastes synergiques. D'autre part, certaines industries sont au cœur des zones urbanisées générant potentiellement un risque d'exposition des populations humaines. L'étude de **Reis et al. (2014a)** indique un risque pour la santé des enfants lié à l'exposition au plomb environnemental dans la partie ouest du BMP. D'autre part, les fractions biodisponibles les plus élevées ont été détectées dans les poussières collectées près des centrales à charbon (**Reis et al., 2014b**). La prise en compte de la densité humaine croisée à la diversité des polluants émis par les industries a permis d'approcher une

forme de vulnérabilité pour les humains à cette pollution. Cependant, pour une évaluation plus fine du risque, il serait souhaitable également de traiter les données par tranches d'âge (enfants de moins de 5 ans, personnes âgées).

V. Conclusions

Ce travail interroge la capacité à intégrer les données de pollutions industrielles à l'échelle d'un territoire départemental pour mieux évaluer les vulnérabilités humaines et environnementales. Ce mémoire se focalise sur les résultats obtenus dans le Bassin Minier de Provence. Les Cartes temporelles montrent une diversification progressive et importante des activités industrielles au cours du temps avec cependant la permanence de la présence d'une industrie chimique et la disparition de l'industrie minière. COVNM, ETMM et HAP sont les 3 familles de polluants émises de façon récurrente. Il apparaît que Septèmes-les-Vallons et Gardanne sont parmi les 3 zones identifiées comme présentant les diversités de polluants potentiellement émis les plus importantes mais avec une densité de population très élevée impliquant un plus grand risque d'exposition humaine aux polluants. L'analyse de l'occupation des sols montre une proximité de ces zones avec des zones forestières et/ou agricoles qui peuvent être potentiellement impactées par ces polluants. Ce travail préliminaire va ainsi permettre de définir des indices de vulnérabilité à l'échelle du territoire étudié afin de permettre une priorisation des actions à mener pour limiter les impacts des pollutions industrielles.

VI. Bibliographie

Affre, L., Dumas, P-J., Dumas, E., Laffont-Schwob, I. & Tatoni, T., (2015). Regard écologique sur le recul stratégique : atouts et risques pour la diversité végétale péri-urbaine marseillaise. In *VertigO - la revue électronique en sciences de l'environnement*.

Air Paris. 07/2013. Pollution atmosphérique au benzo(a)pyrène et hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) : cas de la région Île de France (consulté le 06/04/2020) Disponible sur : https://www.airparif.asso.fr/_pdf/publications/bilan-hap-130702.pdf

Allen, J. O. (1997). Atmospheric partitioning of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH) and oxygenated PAH (Doctoral dissertation, Massachusetts Institute of Technology), 346pp.

Atmo Nord-Pas-de-Calais. (2016 , June). Etude sur les HAP : bilan 2014 et évolution depuis 2010 (consulté le 14/06/2020)

Austruy A., Yung L., Ambrosi J.P., Girardclos O., Keller C., Angeletti B., Dron J., Chamaret, P., Chalot, M., (2019). Evaluation of historical atmospheric pollution in an industrial area by dendrochemical approaches. *Chemosphere*, 220, 116-126.

Autran, J., Lochard, T. & Monteau, R. (2014). L'exploitation dans le bassin minier de Provence : quartiers, puits et galeries, 89pp.

Badol, C. (2005). Caractérisation des Composés Organiques Volatils dans une atmosphère urbaine sous influence industrielle: de l'identification à la contribution des sources. Thèse de doctorat à Lille, 374pp.

Barriuso, E., Calvet, R., Schiavon, M., & Soulas, G. (1996). Les pesticides et les polluants organiques des sols. In *Etude et gestion des sols*, 3(4), 279-296.

Batty, LC., & Hallberg, KB. (éditeurs). (2010). Écologie de la pollution industrielle . In *La presse de l'Université de Cambridge*, 372pp.

Barles, S., Guillerme, A. & Lestel L. (2009). Pollution industrielle et réglementation des manufactures et ateliers en France au XIXe siècle : les textes fondateurs. In *Documents pour l'histoire des techniques*, (17), 174-218.

Bhatia R. (2019). Implementation framework for One Health approach. In *Indian Journal of Medical Research*.;149 (3): 329-331.

Bocquier, A., Mayer, L., Michel, E., Sabatier, L., Verger, P., Viau, A., (2005) - Tableau de bord régional santé-environnement. *Santé Environnement*, 242pp.

Brown J, V. (2004). Environmental Health Science in the Classroom. In *Environmental Health Perspective*, (14), 112, A814-A819

Callier, L., Koch-Mathian, J.Y., Albinet, R. & Maton D. (2018). Inventaire Historique des sites industriels (IHR/IHU) et BASIAS : Bilan des actions du BRGM sur la période 2015-2016-2017. BRGM/RP-67571-FR, 79pp.

Castel S. & Cézanne-Bert P. (2013). Un territoire d'expérimentation pour la concertation sur les risques industriels : le bassin de Fos-sur-Mer et l'Étang de Berre. *La Portée De La Concertation*, 49-90

Chenorkian, R. (2012). Les Observatoires Hommes-Milieux: un nouveau dispositif pour une approche intégrante des interactions environnements-sociétés et de leurs dynamiques. *Sud-Ouest européen. Revue géographique des Pyrénées et du Sud-Ouest*, (33), 3-10.

Chenorkian, R. (2014). Chapitre 1. Éléments constitutifs des Observatoires hommes-milieux, origine et évolutions. In *Les interactions hommes-milieux*, Editions Quæ, 23-38

Daumalin, X. & Raveux, O. (2001). Marseille (1831-1865) – Une révolution industrielle entre Europe du Nord et Méditerranée In *Annales. Histoire, Sciences Sociales*, (56), No. 1, 153-176. Éditions de l'EHESS.

Daumalin, X. & Raveux, O. (2006). L'industrialisation du bassin minier des Bouches-du-Rhône (1805-1883). *Collection Le temps de l'histoire*, 75-89.

Daviet, S. & Robert, S. (2012). Faut-il bannir l'industrie des territoires méditerranéens ? : Analyser la place de l'industrie dans la durabilité des territoires. In *Mésini B. (dir), Aménagement durable des territoires méditerranéens, Espaces et développement durable*, Presses Universitaires de Provence, 93-110

Diaf, N., Bouchaour, M., Merad, L., & Benyoucef, B. (2003). Paramètres influençant la dispersion des polluants gazeux. *Laboratoire De Matériaux & Energies Renouvelables, Facultés Des Sciences, Université De Tlemcen Rev. Energ. Ren.: ICPWE (2003)*, 139-142.

Dron, J., Revenko, G., Chamaret, P., Chaspoul, F., Wafo, E. & Harmelin-Vivien M. (2019). « Contaminant Signatures and Stable Isotope Values Qualify European Conger (Conger Conger) as a Pertinent Bioindicator to Identify Marine Contaminant Sources and Pathways ». *Ecological Indicators* 107 (décembre): 105562

Faget, D., Centemeri, L. & Daumalin, X. (2015). Stratégies de communication et émergence de nouvelles expertises: les pollutions industrielles de l'usine marseillaise Rio Tinto à l'Estaque (1882–1914). In *Centemeri L. et Daumalin X.(dir.), Pollutions industrielles et espaces méditerranéens XVIIIe-XXIe siècle*, 149-164.

Fontanier M.-C. Fabri, R. Buscail, L. Biscara, K. Koho, G.J. Reichart, D. Cossa, S. Galaup, G. Chabaud & L. Pigot (2012). Deep-sea foraminifera from the Cassidaigne Canyon

(NW Mediterranean): Assessing the environmental impact of bauxite red mud disposal. In *Marine Pollution Bulletin* 64, 1895–1910.

Goriaux, M. (2006). Etude des artefacts de prélèvement et de la distribution gaz-particules des HAP (Doctoral dissertation). Université de Provence - Aix-Marseille I, 192pp.

Gourret P. (1899). L'influence des jets en mer sur la faune marine. In *Paris*, Challamel éditeur, p. 16

Gramaglia, C. & Babut, M. (2014). L'expertise à l'épreuve d'une controverse environnementale et sanitaire : la production des savoirs et des ignorances à propos des PCB du Rhône (France). In *La revue électronique en sciences de l'environnement*, 14 (2).

Gros-Balthazard, M. (2020). Les trajectoires des territoires industriels français: Expansion, industrialisation, mutation, rétraction. In *Revue d'Economie Regionale Urbaine*, (3), 369-407.

Gunderson, L. H. (2000). Ecological resilience—in theory and application. In *Annual review of ecology and systematics*, 31(1), 425-439.

Heckenroth, A., Rabier, J., Dutoit, T., Torre, F., Prudent, P., Laffont-Schwob, I. (2016). Selection of native plants with phytoremediation potential for highly contaminated Mediterranean soil restoration: tools for a non-destructive and integrative approach. *J. Environ. Manage.* 183, 850–863

Heckenroth, A., Rabier, J., Monsara, P., Pecheux, L. L. M., Prudent, P., Sastre-Conde, M. I. & Laffont-Schwob, I. (2017). Mise en place d'une approche intégrée pour la restauration écologique des milieux pollués du Parc national des Calanques. In *Naturae*, Publications scientifiques du Muséum, 2017, 9, 1-14.

Horri, K. (2018). Effets d'une exposition alimentaire chronique à un mélange environnemental de PCB et PBDE sur les traits d'histoire de vie, la bioénergétique et la dynamique des populations de poissons. *Ecotoxicologie*. Normandie Université, 251pp.

Irwin, D.A. (2010). La France a-t-elle causé la grande dépression ? *Revue française d'économie*, XXV, 3-10.

Junqua, G., Moine, H., Bouzidi, Y., Abriak, N. E. & Damidot, D. (2005). L'écologie industrielle, outil de l'intelligence économique et territoriale. In *Conférence Internationale d'Ingénierie Urbaine e technologies innovantes pour les infrastructures et l'habitat*, 385-393

Kaly, U., Briguglio, L., McLeod, H., Schmall, S., Pratt, C. & Pal, R. (1999). Environmental Vulnerability Index (EVI) to summarise national environmental vulnerability profiles. SOPAC Technical Report (No.275). New Zealand.

Laffont-Schwob, I., Heckenroth, A., Rabier, J., Masotti, V., Oursel, B. & Prudent, P. (2016). Diffuse and widespread modern-day pollution. In *Daumalin X. et Laffont-Schwob I. (dir.) REF2C (Ed.), Pollution of Marseille's Industrial Calanques: The Impact of the Past on the Present*, 204–249.

Lambert, O. & Mioche, P. (2015). Présentations de l'industrie en région PACA et histoire économique de la Provence : quels miroirs ? In *Revue Provence historique*, T. LXV, Fascicule 258, 259-281, e-ISSN-2557-2105

Lamprea, K. (2009) Caractérisation et origine des métaux traces, hydrocarbures aromatiques polycycliques et pesticides transportés par les retombées atmosphériques et les eaux de ruissellement dans les bassins versants séparatifs péri-urbains. Ingénierie de l'environnement. Ecole Centrale de Nantes (ECN), 296pp.

Lasalle, J. L. (2007). Présence de plomb et d'arsenic sur le littoral sud de Marseille: une étude de santé (juillet 2005). *INVS report*. 41pp.

Le Berre, L., Mercier, S. & Villetard, X. (2018) Évaluation du Plan de Protection de l'Atmosphère des Bouches-du-Rhône 2013-2018. *AtmoSud*, 60pp.

Lohmann, R., Breivik, K., Dachs, J. & Muir, D. (2007). Global fate of POPs: current and future research directions. In *Environmental pollution*, 150(1), 150-165.

Mackenzie, JS. & Jeggo, M. (2019). The One Health Approach - Why Is It So Important? In *Tropical Medicine and Infectious Disease*.;4 (2): 88

Mamindy-Pajany, Y., Bataillard, P., Séby, F., Crouzet, C., Moulin, A., Guezennec, A-G., Hurel, C., Marmier, N. & Battaglia-Brunet, F., (2013). Arsenic in Marina Sediments from the Mediterranean Coast: Speciation in the Solid Phase and Occurrence of Thioarsenates. In *Soil and Sediment Contamination: An International Journal*, 22:8, 984-1002

Marçais, J. (2017). Transferts des polluants organiques persistants de l'atmosphère aux milieux aquatiques de montagne. Thèse de doctorat à l'Université Grenoble Alpes Français. 243pp.

Marsteau, S. (2005). Traitement des gaz dangereux captés sur les lieux de travail. In *Les procédés de traitement*, ED4260.

Noack, Y., Robert, S., Bley, D., Lozano, P., Gille, G. & Capezza, S. (2012). Étude et évaluation multidisciplinaire de la pollution atmosphérique particulaire en milieu périurbain : le projet PACTES-BMP. Méthodologie et premiers résultats », In *Sud-Ouest européen*, (33), 77-88.

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): 8364-76.

Reis, A. P., Patinha, C., Noack, Y., Robert, S., Dias, A. C. & Da Silva, E. F. (2014a). Assessing the human health risk for aluminium, zinc and lead in outdoor dusts collected in recreational sites used by children at an industrial area in the western part of the Bassin Minier de Provence, France. In *Journal of African Earth Sciences*, (99), 724-734.

Reis A. P., Patinha C., Noack Y., Robert S., Dias A.C. (2014b). Assessing human exposure to aluminium, chromium and vanadium through outdoor dust ingestion in the Bassin Minier de Provence, France, *Environ Geochem Health* 36(2), 303–317

Van Steenberghe, E. & Doumont, D. (2005). L'éducation relative à la santé environnementale en milieu communautaire. Un nouveau champ en émergence? Dossiers techniques : Environmental Health Perspectives, [http://www.espace-ressources.uqam.ca/images/Documents/Recherche/Monographies/E.VANSTEENERGHE\(2005\).pdf](http://www.espace-ressources.uqam.ca/images/Documents/Recherche/Monographies/E.VANSTEENERGHE(2005).pdf) (consulté le 25/08/2020).

Véla, E., Pavon, D., Giraud, R., Destefano, M. & Saatkamp, A. (2001). Liste des plantes vasculaires du site classé des Calanques (Marseille, Cassis, Bouches-du-Rhône). *Bulletin de la Société linnéenne de Provence*, (52), 139-148.

Wilcox, B.A. & Colwell, R.R. (2005). Emerging and Reemerging Infectious Diseases: Biocomplexity as an Interdisciplinary Paradigm. In *EcoHealth* (2), 244 -257

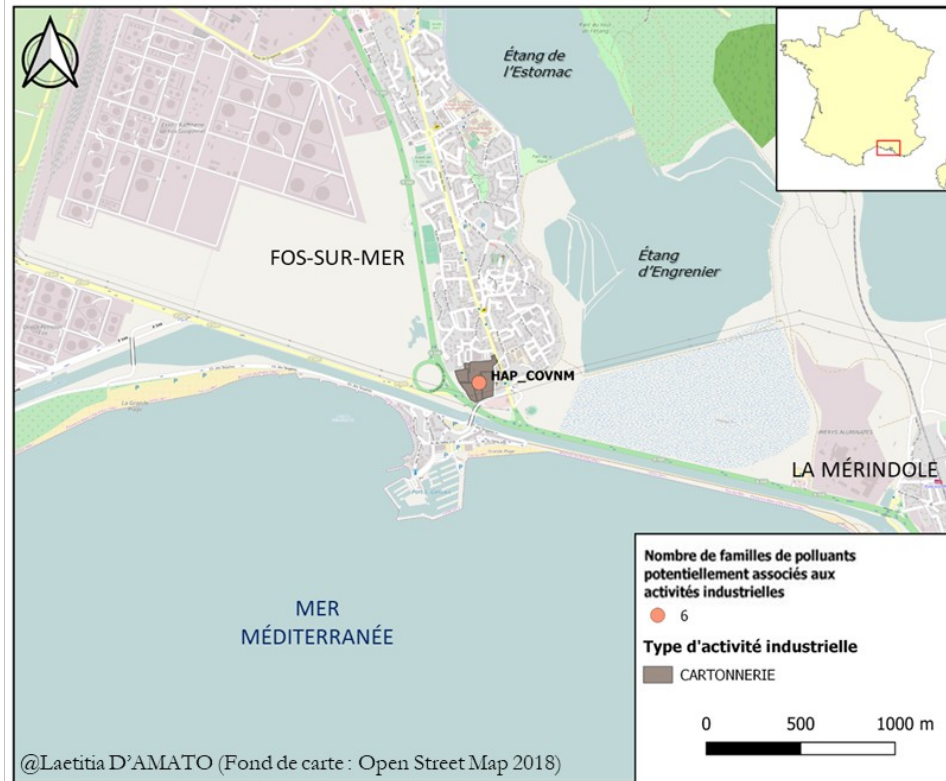
VII. Webographie

¹Directive 92/43/CEE du Conseil du 21 mai 1992 concernant la conservation des habitats naturels ainsi que de la faune et de la flore sauvages (modifiée par la Directive 97/62/CEE du Conseil du 27 octobre 1997, le Règlement (CE) n° 1882/2003 du Parlement et du Conseil du 29 septembre 2003, la Directive 2006/105/CE du 20 novembre 2006 et la Directive 2013/17/UE du 13 mai 2013)

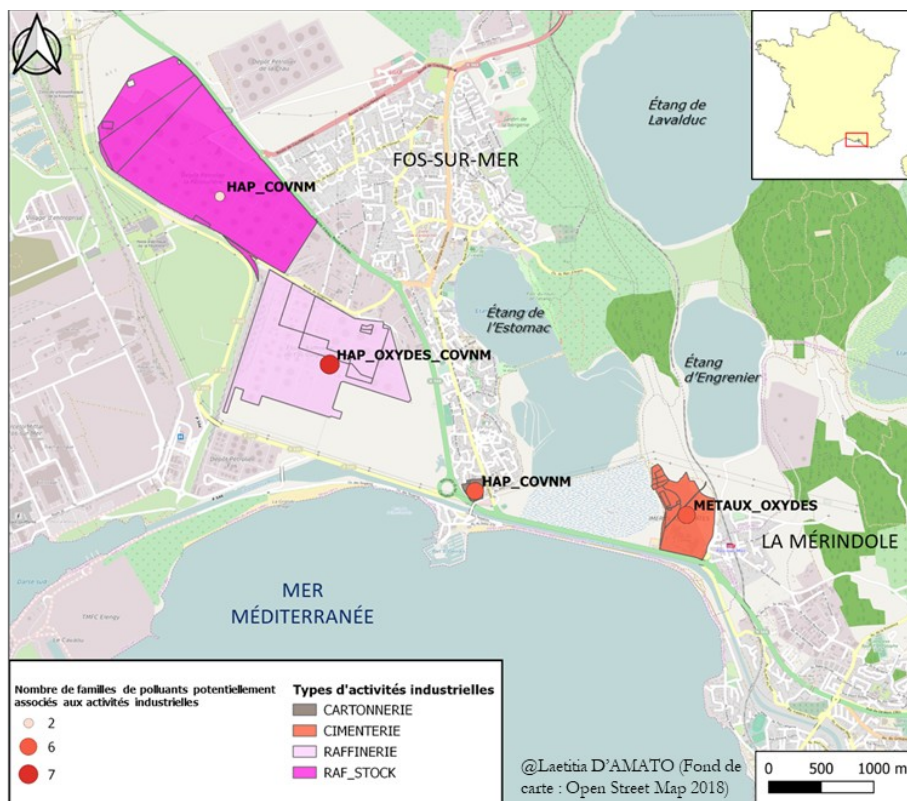
²<https://www.georisques.gouv.fr/risques/registre-des-emissions-polluantes>

VIII. Annexes

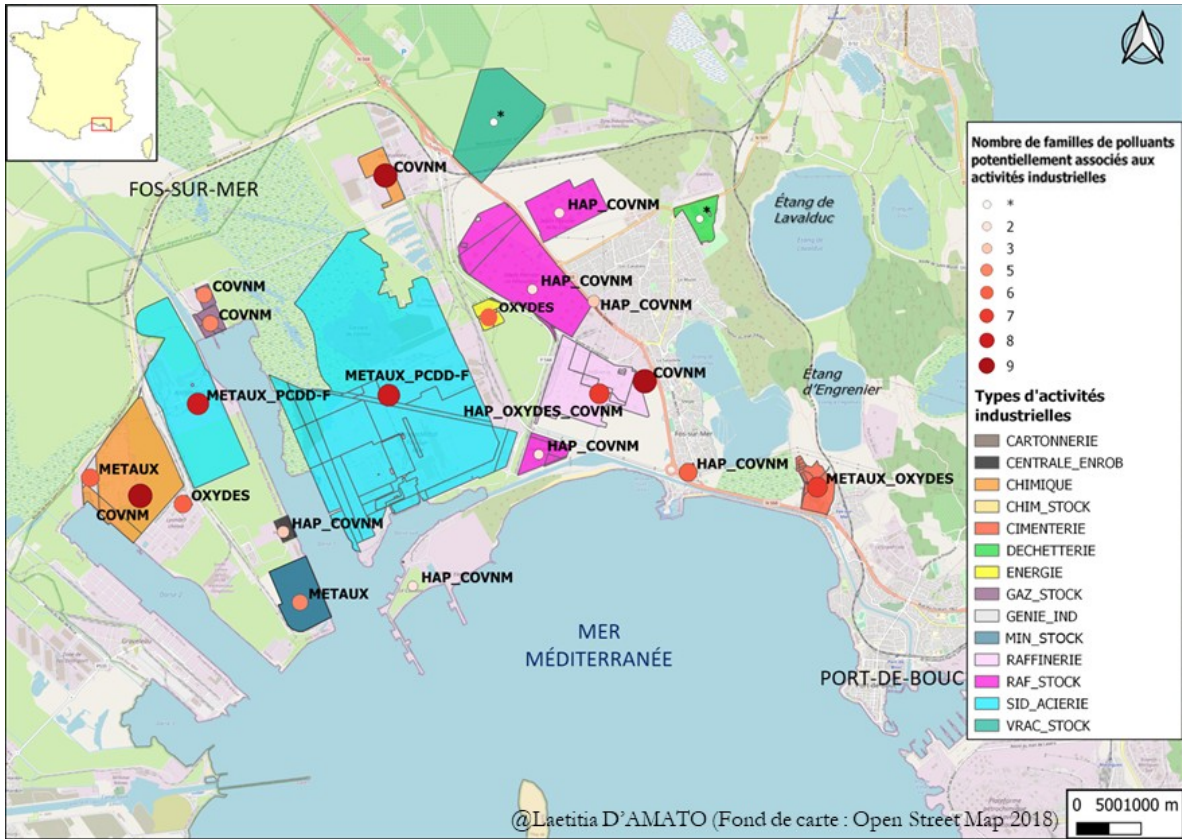
Annexe 1. Zone Industriolo-portuaire de Fos-sur-Mer



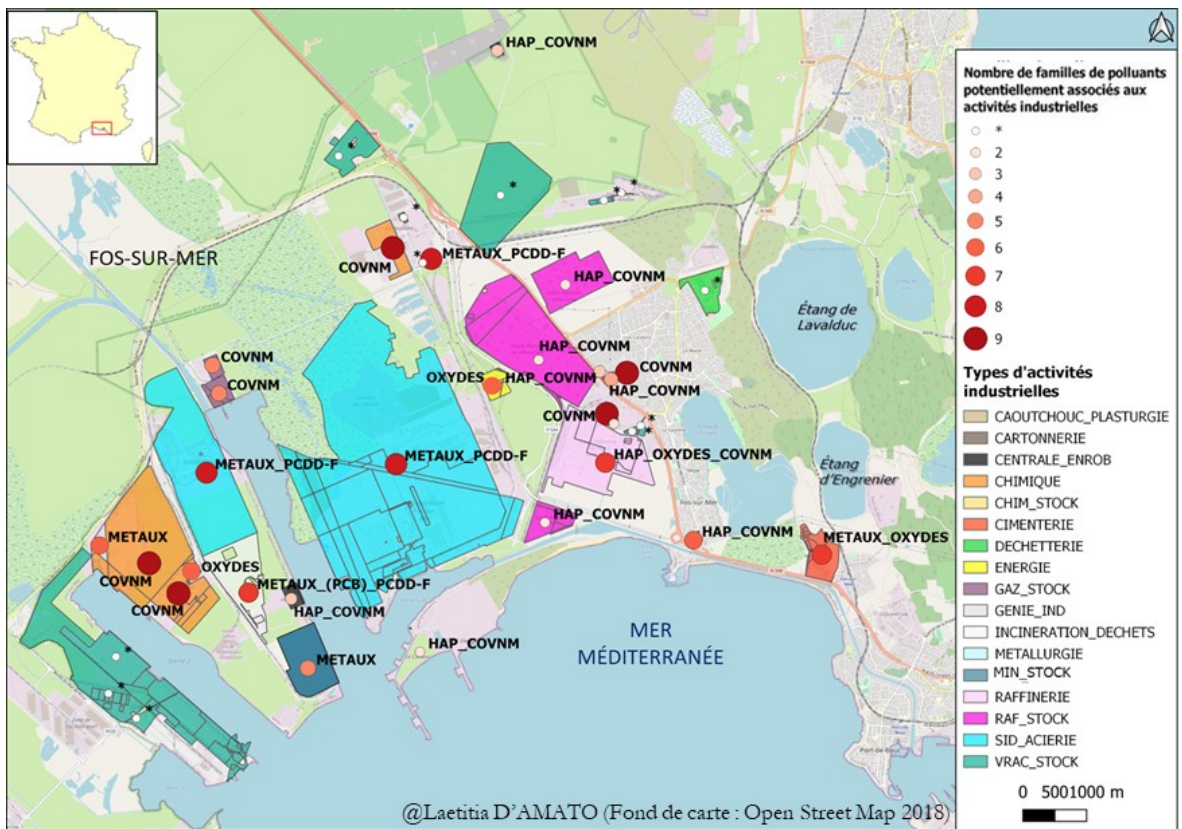
a)



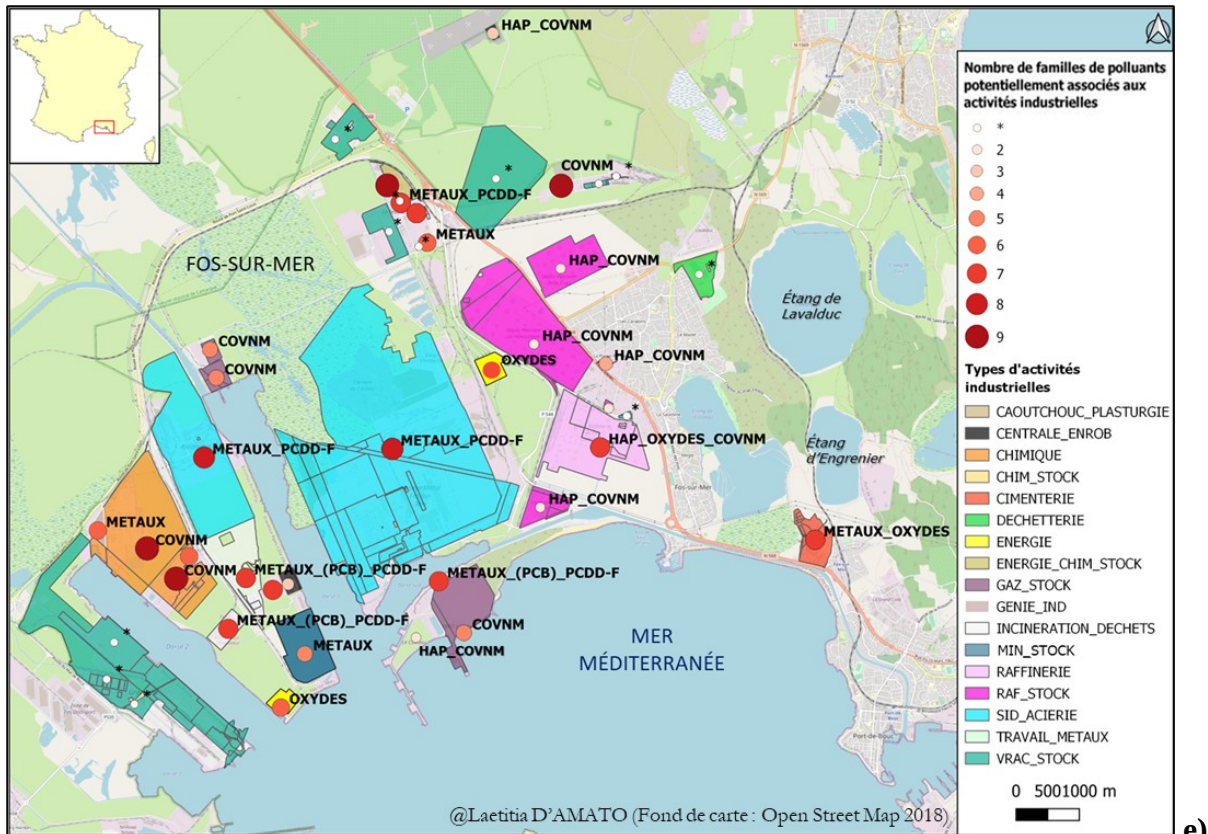
b)



c)



d)

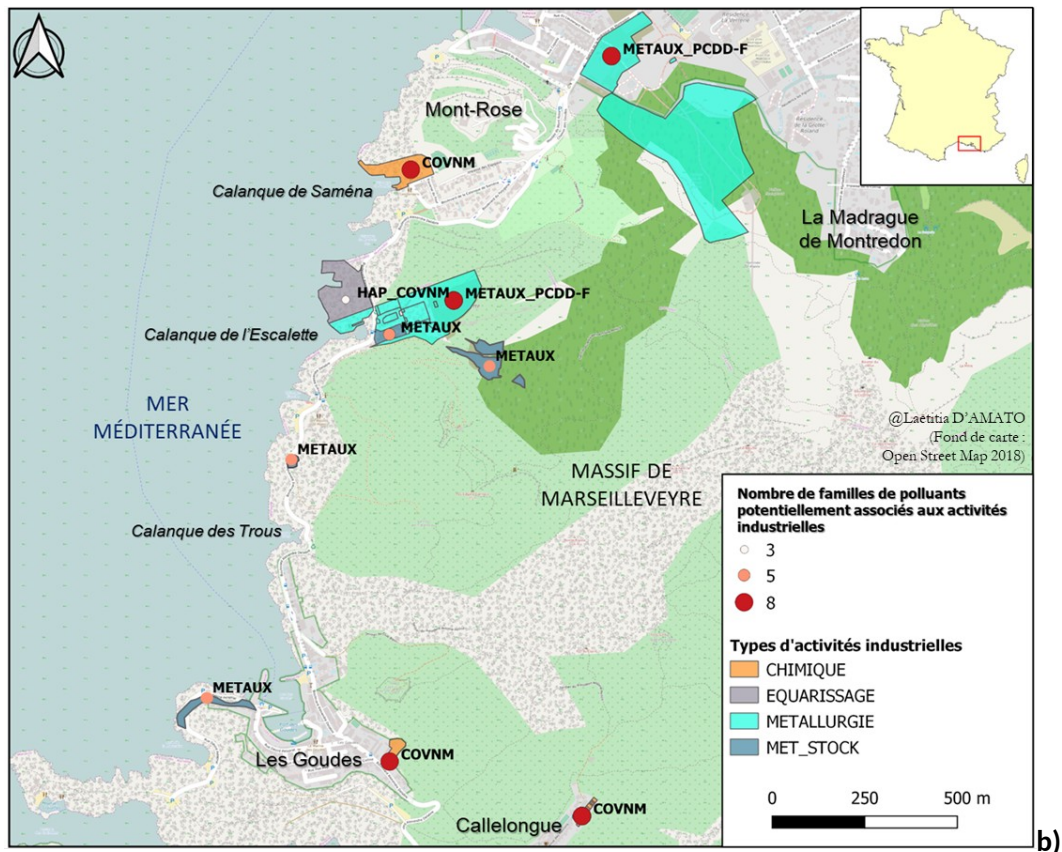
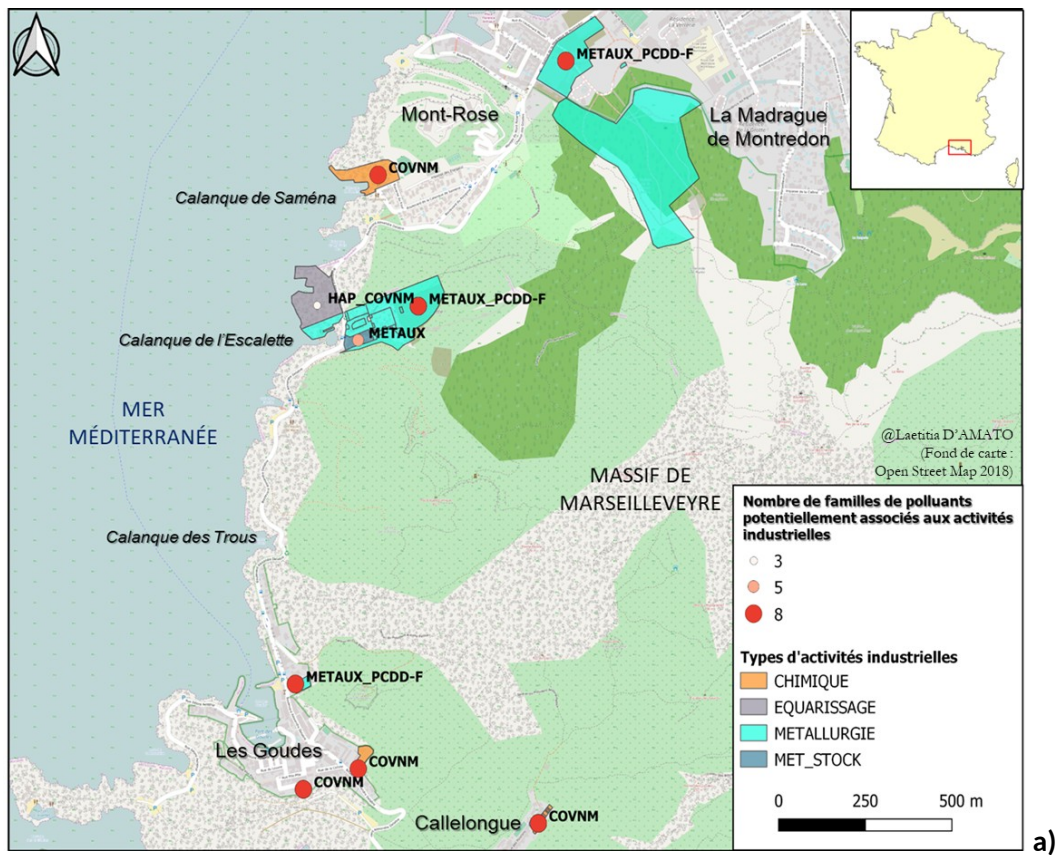


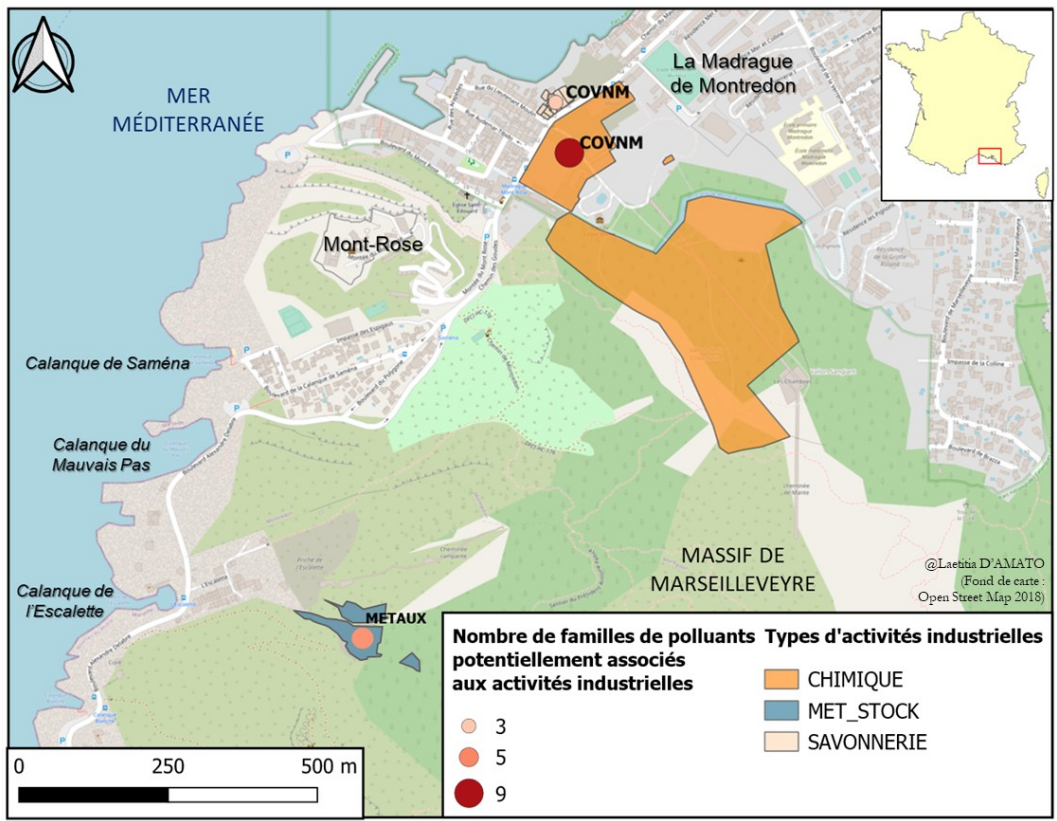
e)

Cartes du nombre de familles de polluants potentiellement émis par les activités industrielles dans la ZIP de Fos-sur-Mer selon les 5 périodes temporelles de 1881-1929 (a), 1930-1965 (b), 1966-1976 (c), 1977-2000 (d) et 2001-2020 (e). (Fond de Carte : Open Street Map, 2018).

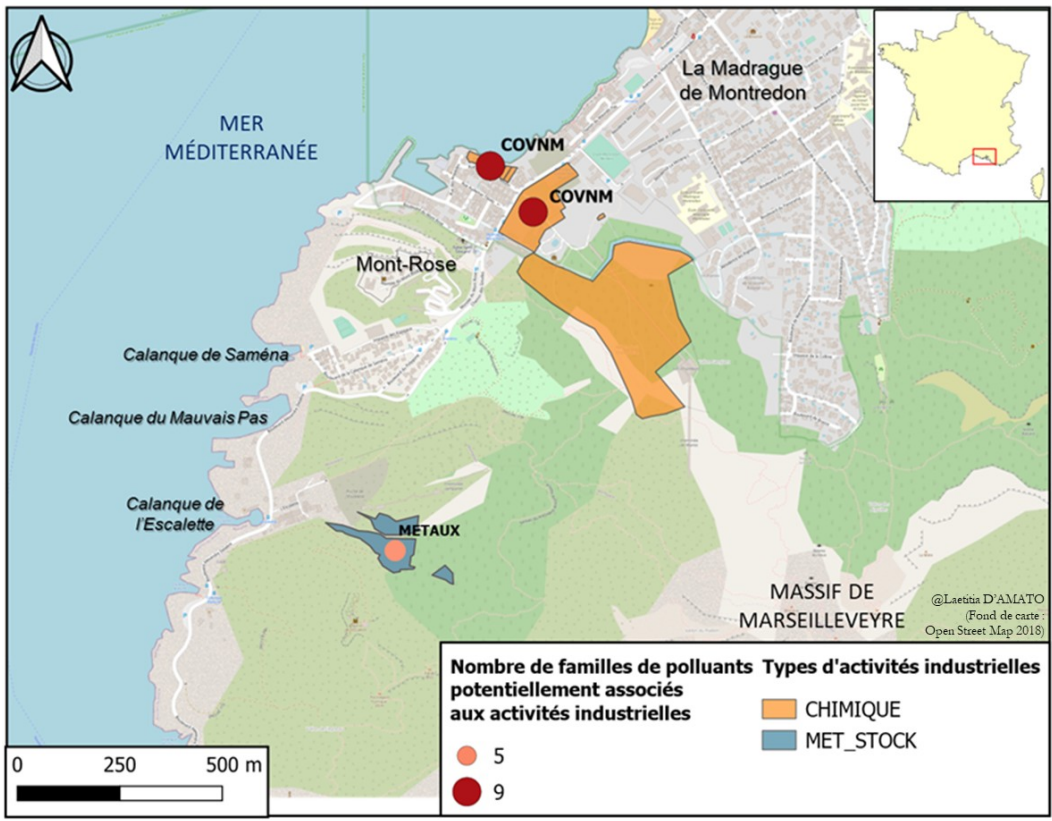
Le symbole * pour les activités de déchetterie et les stockages de vracs signifie que le nombre de familles de polluants potentiellement émis par ces activités dépend du type de dépôts effectués. Les appellations de familles de polluants en gras (ex : METAUX) à côté des points indiquent que ces dites familles sont majoritairement émises.

Annexe 2. Calanques Sud de Marseille

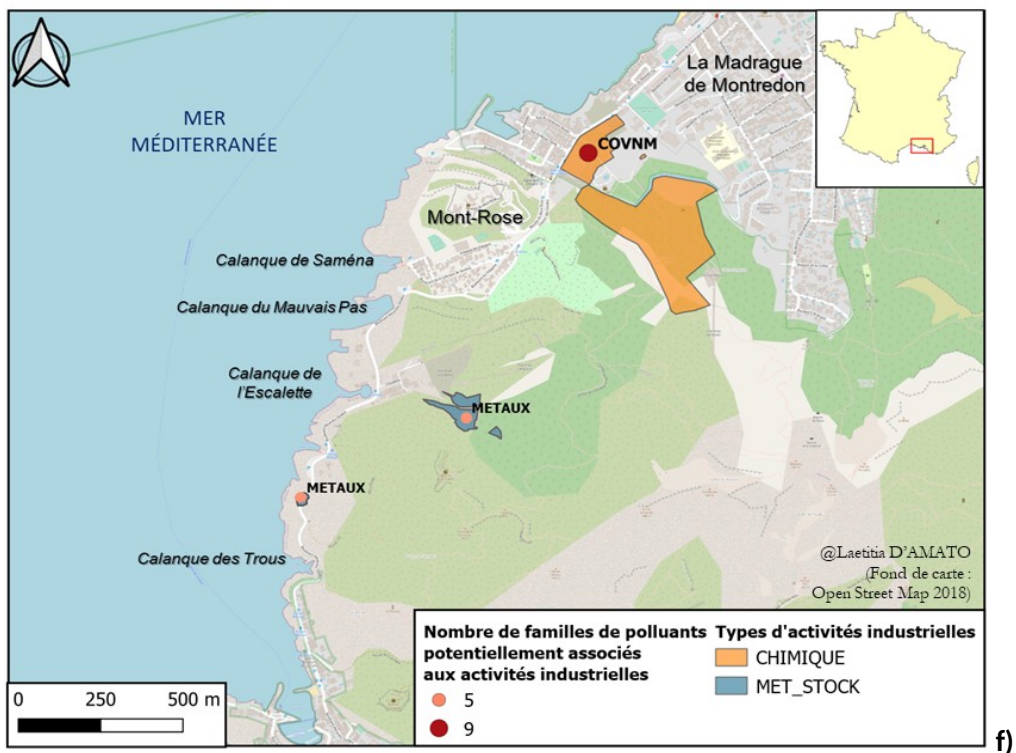
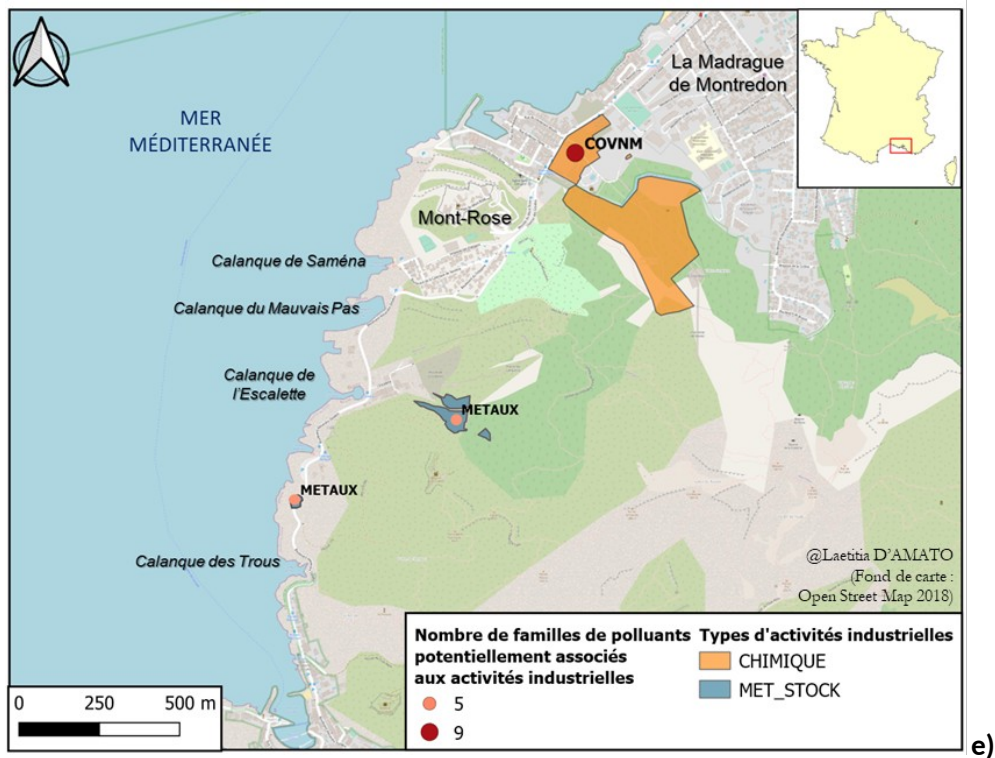




c)



d)



Cartes du nombre de familles de polluants potentiellement émis par les activités industrielles dans les Calanques Sud de Marseille selon les 6 périodes temporelles : de 1880 à 1881 (a), de 1881 à 1929 (b), de 1930 à 1965 (c), de 1966 à 1976 (d), de 1977 à 2000 (e) et de 2001 à 2020 (f). (Fond de Carte : Open Street Map, 2018). Les appellations de familles de polluants en gras (ex : METAUX) à côté des points indiquent que ces dites familles sont majoritairement émises.

Résumé

Les pollutions émises par les activités industrielles présentes et passées impactent durablement la santé humaine et environnementale. Cependant, la plupart des études sont réalisées à des échelles de l'espèce-modèle au mésocosme. Ce travail interroge la capacité à intégrer les données de pollutions industrielles à l'échelle d'un territoire pour mieux évaluer les vulnérabilités humaines et environnementales. Les Cartes temporelles réalisées sur le bassin minier de Provence montrent une diversification progressive et importante des activités industrielles au cours du temps avec cependant la permanence d'une industrie chimique et la disparition de l'industrie minière. COVNM, ETMM et HAP sont les trois familles de polluants principalement émises. Septèmes-les-Vallons et Gardanne présentent les concentrations de polluants potentiellement émis les plus importantes concomitamment avec une densité de population très élevée. L'analyse de l'occupation des sols montre enfin une proximité de ces zones avec des zones forestières et/ou agricoles qui peuvent être potentiellement impactées par ces polluants.

Mots-clefs : Analyse temporelle, pollution industrielle, représentation spatiale, vulnérabilité.

Abstract

Pollution emitted by present and past industrial activities has a lasting impact on human and environmental health. However, most studies are performed at scales from model species to mesocosm. This work questions the ability to integrate industrial pollution data at the scale of a territory to better assess human and environmental vulnerabilities. The temporal mappings carried out in the Bassin minier de Provence show a gradual and significant diversification of industrial activities over time with, however, the permanence of a chemical industry and the disappearance of the mining industry. NMVOC, TMM and PAH are the three families of pollutants mainly emitted. Septèmes-les-Vallons and Gardanne have the highest concentrations of potentially emitted pollutants concomitantly with a very high population density. The analysis of land use shows the proximity of these areas to forest and / or agricultural areas that can potentially be impacted by these pollutants.

Keywords: Industrial pollution, Spatial representation, Temporal analysis, Vulnerability