

ARCELORMITTAL, L'INDUSTRIEL QUI NOUS ENFUME

CAMPAGNE DE MESURE DE POLLUTION
DE L'AIR AUX PARTICULES FINES DANS LES
ZONES INDUSTRIELLES DE DUNKERQUE
ET FOS-SUR-MER



Remerciements

Septembre 2025

Autrices, Constance Valade, Isabelle Imhof

Analyse, Jérémy Surcin et Jean-Baptiste Renard (CNRS)

.....

Nous remercions pour leurs relectures et conseils Aurélie Brunstein du Réseau Action Climat, Julien Dron, Philippe Chamaret et Gautier Revenko de l'Institut Ecocitoyen pour la Connaissance des Pollutions de Fos-sur-Mer, la CGT ArcelorMittal de Fos-sur-Mer et Dunkerque ainsi que Patrick Courtin ancien chef de service réanimation et anesthésie de l'hôpital de Martigues et co-fondateur du consortium "Cancers et environnement" sur le territoire de l'Etang de Berre.

.....



PRÉFACE		4
SYNTHÈSE DE L'ÉTUDE		7
RECOMMANDATIONS	<ol style="list-style-type: none"> Réglementer la concentration des particules ultrafines (PUF) Renforcer la recherche et la surveillance en santé environnementale, en soutenant les dispositifs de type instituts écocitoyens Mettre en place une médecine du travail indépendante Former la médecine de ville aux impacts de la pollution de l'air Créer un registre national des cancers Mener une enquête épidémiologique croisée entre Fos-sur-Mer et Dunkerque Décarboner pour lutter contre les impacts sanitaires de l'industrie sidérurgique Orienter la commande publique vers un acier vert et encadrer la consommation d'acier pour réguler les volumes de production En cas d'inaction du privé, reprendre le contrôle des deux principaux sites producteurs d'acier en France 	8
1. CONTEXTE TERRITORIAL	<ul style="list-style-type: none"> Dunkerque et Fos-sur-Mer : deux zones industrielles en pleine mutation Surveillance de la qualité de l'air en zone industrielle Des territoires aux situations sanitaires préoccupantes Des niveaux de prise de conscience et de mobilisation différents face à la pollution atmosphérique 	11
2. L'ACIER : UN SECTEUR INDUSTRIEL AUX MULTIPLES ENJEUX	<ul style="list-style-type: none"> Un secteur hautement émetteur en GES et polluants atmosphériques Décarboner l'acier pour conserver la souveraineté française et réduire son impact sanitaire 	19
3. ARCELORMITTAL : UNE MULTINATIONALE À CONTRE COURANT DES ENJEUX SANITAIRES ET ÉCOLOGIQUES	<ul style="list-style-type: none"> Une stratégie d'entreprise qui vacille entre aides d'Etat et dumping social Des réalités industrielles bien éloignées des exigences réglementaires 	28
4. MESURES DE POLLUTION AUX ABORDS DES USINES D'ARCELORMITTAL	<ul style="list-style-type: none"> Conditions météorologiques Instruments de mesure LOAC2/Livepollution Conditions de mesure Méthodologie Analyse des PM_{2,5} par session <ul style="list-style-type: none"> Campagne de Dunkerque Campagne de Fos-sur-Mer Résultats campagne de Dunkerque <ul style="list-style-type: none"> Bilan des moyennes de PM_{2,5} sur les différentes sessions de mesure Valeur des amplitudes Typologie des particules identifiées pendant les épisodes de pollution Résultats campagne de Fos-sur-Mer <ul style="list-style-type: none"> Bilan des moyennes de PM_{2,5} sur les différentes sessions de mesure Valeur des amplitudes Typologie des particules identifiées pendant les épisodes de pollution Analyse des PM₁ à Dunkerque et Fos-sur-Mer 	32
CONCLUSION	<ul style="list-style-type: none"> Campagne de Dunkerque Campagne de Fos-sur-Mer 	68
BIBLIOGRAPHIE		69

Préface



Ancien chef de service de la réanimation et de l'anesthésie de l'hôpital de Martigues. Co-fondateur du consortium "Cancers et environnement" sur le territoire de l'Etang de Berre, regroupant des chercheurs de différentes structures locales.

PATRICK COURTIN

Selon Santé Publique France, la pollution atmosphérique est responsable de plus de 40 000 décès en France et d'une kyrielle de pathologies environnementales, touchant adultes et enfants. Leur répartition est très hétérogène selon les territoires, et les zones industrielles de Fos-sur-Mer et Dunkerque sont parmi les plus fortement impactées par cette pollution, compte tenu de l'existence d'émissions d'un grand nombre de composés organiques volatils (COV) et de particules fines d'origine industrielle.

L'irritation de la gorge, le nez qui coule, l'inflammation et le dessèchement des yeux sont autant de signes qui peuvent indiquer un pic de pollution qui devrait normalement faire l'objet d'une alerte officielle de la préfecture. Aussi, en août 2020, une cinquantaine d'habitants de Martigues sont descendus dans la rue en soirée pour protester contre un épisode de torchage particulièrement important. Tous rapportaient des symptômes aigus mais, dans le même temps, les services de la préfecture n'avaient identifié aucun épisode de pollution notable. Cet incident a mis en lumière une divergence marquée entre le ressenti des riverains et les déclarations officielles, l'État ne reconnaissant ni incident industriel ni pic de pollution à cette occasion.

Les effets de la pollution de l'air peuvent être immédiatement ressentis comme dans ce cas précis, mais on observe aussi des conséquences à moyen et long terme, notamment par bioaccumulation des polluants dans l'organisme : cancers (adultes et pédi-

atriques), maladies métaboliques (diabète, obésité), troubles de la fertilité... ainsi que des effets à court terme, comme les maladies cardiovasculaires (infarctus, insuffisance cardiaque, accident vasculaire cérébral, hypertension artérielle...), respiratoires (BPCO, asthme, infections respiratoires) ou encore des troubles du neurodéveloppement chez l'enfant, du fait de l'exposition prénatale aux polluants (autisme, troubles de l'attention, hyperactivité...). On estime entre 12 et 20 % de nouveaux cas de maladies respiratoires imputables à la pollution de l'air chaque année chez l'enfant et entre 7 et 13 % de nouveaux cas de maladies respiratoires, cardiovasculaires ou métaboliques chez l'adulte. Force est de constater que le rôle de l'exposition aux polluants chimiques environnementaux dans l'incidence de ces pathologies est très largement sous-estimé dans le débat public et ce, malgré une littérature en santé environnementale de plus en plus fournie. Il est effectivement plus facile de mettre en avant, comme le font les pouvoirs publics et leurs relais, des causes individuelles comportementales et culpabilisantes plutôt que de reconnaître l'existence de facteurs environnementaux qui doivent être pris en compte.

D'autre part, nous respirons un ensemble de polluants différents qui, une fois additionnés, peuvent avoir une toxicité multipliée par 100, même si chaque polluant, capté individuellement, ne dépasse pas les normes sanitaires autorisées. Tant que la science ne saura pas évaluer correctement les effets cocktails de la pollution de l'air sur la santé, on ne saura se protéger efficacement contre celle-ci.

La décarbonation mise en avant par les services publics et les industriels ne concerne que les gaz à effet de serre (CO₂, méthane, oxydes d'azote...) qui ne font pas partie des polluants chimiques les plus toxiques. S'il est urgent de lutter contre le réchauffement climatique, il est aussi urgent de lutter contre les autres polluants chimiques à l'origine de très nombreux décès et pathologies.

Synthèse de l'étude

À Fos-sur-Mer, dans les Bouches-du-Rhône, plusieurs études indépendantes ont mis en lumière une pollution de l'air d'origine industrielle particulièrement préoccupante. Sur le plan environnemental, les travaux de l'Institut Écocitoyen révèlent des concentrations élevées de polluants atmosphériques tels que les particules ultrafines et les métaux lourds. D'un point de vue sanitaire, l'étude EPSEAL alerte sur un excès significatif de pathologies dans la population locale : le taux de diabète et de cancers y est deux fois plus élevé que la moyenne nationale. Ces études ont donné raison aux habitants organisés en collectifs, qui, depuis des années, observent quotidiennement les panaches de fumée s'échappant des installations industrielles et s'inquiètent de la récurrence des maladies chroniques dans leur entourage.

Pourtant, les stations officielles de surveillance de la qualité de l'air ne détectent pas de niveaux de pollution alarmants une fois les données lissées sur l'année. Ce décalage entre les chiffres officiels et la réalité vécue par les riverains soulève une question cruciale : les outils de mesure actuels, ainsi que la réglementation actuelle, sont-

ils capables de refléter fidèlement l'exposition des populations, notamment lors des pics de pollution ?

Dans ce contexte, l'association Respire a lancé une campagne de mesure de pollution autour d'un acteur industriel emblématique : ArcelorMittal. Ce choix ne doit rien au hasard : le numéro 2 mondial de l'acier est l'un des plus gros pollueurs industriels de France et se trouve aujourd'hui au cœur de l'actualité suite à son refus de décarboner significativement sa production à Fos-sur-Mer et Dunkerque, malgré les centaines de millions d'euros d'aides publiques reçues et les milliers d'emplois en jeu. À Dunkerque, où se trouve la plus grosse usine du groupe en Europe, peu d'études indépendantes ont été menées et une forme d'omerta semble régner autour des enjeux de pollution. L'objectif principal de cette étude était donc d'évaluer les concentrations de particules fines $PM_{2,5}$ et des PM_1 à proximité immédiate des usines d'ArcelorMittal, dans les zones industrielles de Dunkerque et Fos-sur-Mer.

Contexte temporel et industriel :

Les mesures de pollution ont été réalisées en avril 2025 dans la zone industrielle de Dunkerque et en juin 2025 dans la zone industrielle de Fos-sur-Mer.

L'activité d'ArcelorMittal sur ces deux sites étant fortement réduite à cette période, l'étude de Respire ne reflète donc pas exactement l'exposition antérieure des riverains à la pollution des aciéries :

À Fos-sur-Mer,

le site fonctionne depuis 2024 avec un seul haut-fourneau, entraînant une baisse estimée de 2 millions de tonnes de fonte produite par an.

À Dunkerque,

le haut-fourneau n°4, le plus grand d'Europe, a été arrêté le 15 avril 2025 pour 75 jours. Pendant cette période, la production de fonte du site a chuté d'environ 66 %.

Méthodologie

À Fos-sur-Mer, deux capteurs LOAC2/LivePollution¹ ont été installés : l'un en amont et l'autre en aval du site ArcelorMittal, afin de mesurer les particules émises en fonction de la direction des vents. Cette double implantation a permis de mieux identifier ce qui est attribuable à la pollution émise par l'usine. À Dunkerque, un seul capteur a été placé à proximité directe d'ArcelorMittal, selon la direction des vents dominants également. Une présence constante sur le terrain a permis de repérer et documenter tous les événements susceptibles d'influencer les valeurs de pollution, comme l'apparition de panaches visibles, les pics de trafic routier etc. Cet inventaire visuel a permis d'attribuer une grande partie des pics de pollution apparus dans l'analyse des mesures aux événements observés. Les unités les plus polluantes des deux usines étaient régulièrement noyées dans d'épaisses fumées tantôt noires, tantôt ocre, ce qui s'est traduit par des épisodes de sur-pollution élevés et réguliers.

Certains points de mesure retenus pour ces sessions reflètent l'exposition réelle du grand public aux polluants atmosphériques. À Dunkerque no-

tamment, le capteur a été positionné sur la digue du Braek, face à l'usine ArcelorMittal, ainsi que dans un parc pour enfants à Grande-Synthe. À Fos-sur-Mer, des mesures ont été réalisées près du canal Arles à Bouc, un lieu très fréquenté par les pêcheurs, mais aussi à la plage du Cavaou directement située en face de l'usine, ainsi qu'à la plage Saint-Gervais voisine de la rue du Capitaine, en plein secteur résidentiel. Ces espaces accueillent en outre des publics particulièrement sensibles à la pollution de l'air, notamment les personnes âgées et les enfants.



Fumées de l'usine ArcelorMittal Dunkerque visibles depuis la digue du Braek

¹ LOAC2/LivePollution (Light Optical Aerosols Counter). Cet instrument permet d'obtenir les concentrations massiques en PM_{2,5}, ainsi qu'une classification des types de particules présentes en fonction de leur nature.

Résultats:

Le capteur qui était positionné dans l'axe des émissions d'ArcelorMittal à Fos-sur-Mer a enregistré des niveaux de pollution extrêmement élevés. Les valeurs de fond, c'est-à-dire le niveau d'exposition moyen auquel on est exposé hors pic de pollution, ont dans **7 cas sur 8 dépassé les seuils journaliers recommandés par l'Organisation mondiale de la santé (OMS) pour les particules fines PM_{2,5}**, notamment dans des lieux publics. **Par exemple, des concentrations moyennes en PM_{2,5} deux fois plus élevées que le seuil de recommandation de l'OMS ont été observées sur la plage du Cavaou à Fos-sur-Mer. Des pics de pollution réguliers ont été relevés, atteignant parfois plus de trois fois les recommandations de l'OMS.** Même en amont des vents dominants, des niveaux préoccupants ont été relevés, ce qui confirme l'existence de multiples sources de pollution locales.

À Dunkerque, les mesures ont été réalisées en présence d'un vent souvent plus fort qu'à Fos-sur-Mer, ce qui pourrait expliquer que les niveaux de pollution relevés soient moins élevés. Malgré cela, les mesures confirment la présence d'une sur-pollution dans l'axe des panaches d'ArcelorMittal. Des pics de pollution réguliers dont la valeur moyenne dépassait le seuil OMS ont été observés dans la zone industrielle et **des concentrations moyennes en PM_{2,5} au-dessus du seuil de l'OMS ont été observées dans un parc pour enfants à Grande-Synthe.**

Par ailleurs, l'étude a montré qu'à proximité immédiate des installations sidérurgiques, **la quantité de particules très fines PM₁ est multipliée par 2 à Fos-sur-Mer et même par 5 à Dunkerque par rapport à la situation de fond.** Ces résultats soulignent l'importance **de mesurer non seulement la masse des particules, mais aussi leur nombre,** pour mieux évaluer l'exposition réelle des popula-

tions. En effet, malgré leur présence importante, ces particules sont très petites et pèsent peu, ce qui les rend souvent indétectables par les appareils de mesure réglementaires, alors qu'elles sont très dangereuses pour la santé.

A Fos-sur-Mer comme à Dunkerque, l'analyse de la composition des particules confirme une présence dominante de poussières contenant du carbone noir caractéristiques d'une activité industrielle intense.

Le comparatif entre les niveaux de pollution de fond et les pics de pollution montre clairement une sur-pollution à Dunkerque et Fos-sur-Mer, liée à la présence des usines dont ArcelorMittal. Ces pics de pollution ont été régulièrement observés près des usines ainsi que dans des lieux publics, surtout quand le capteur était placé dans l'axe du vent et quand ce vent était très faible. Dans ces cas-là, les niveaux de pollution ont parfois atteint des valeurs très élevées. **La dispersion des poussières varie donc selon les conditions météo. À noter que ces mesures n'évaluent pas "l'effet cocktail", qui peut être accentué lorsque les conditions météo facilitent la stagnation des particules.** Or dans ce cas précis, particules, gaz et COV peuvent se combiner dans l'air plus facilement en l'absence de vent, sous l'effet de l'ensoleillement, et entraîner une toxicité accrue.

Contrairement aux capteurs utilisés pour la surveillance réglementaire, ce modèle d'étude ne repose pas sur la modélisation, mais sur des mesures mobiles, réalisées au bon endroit et au bon moment selon les conditions météo. Cela permet de capter efficacement les rejets des usines, qui peuvent être très brefs, mais intenses et passent souvent inaperçus quand les données sont noyées dans des moyennes annuelles.

Recommandations

1. Réglementer la concentration des particules ultrafines (PUF)

RESPONSABILITÉ : UNION EUROPÉENNE

En raison de leur taille extrêmement réduite ($<0,1 \mu\text{m}$), les PUF pénètrent profondément dans l'organisme et sont aujourd'hui considérées comme les plus nocives pour la santé humaine. Elles ont été détectées en très grand nombre dans la zone industrielle de Fos-sur-Mer mais ne font actuellement pas l'objet d'une réglementation spécifique, faute de dispositifs de mesure adaptés et de pression politique suffisante. Mieux connaître la présence et la composition des PUF est un enjeu majeur de santé publique, indispensable pour adapter les politiques de réduction des émissions industrielles et urbaines. Pour avancer en ce sens, **les pouvoirs publics doivent mettre en place une réglementation spécifique sur les PUF, incluant des seuils limites de concentration et d'émission (directive NEC) dans l'atmosphère ainsi que l'obligation de leur surveillance régulière** sur les sites industriels et en zones urbaines. Le Clean Industrial Deal peut également constituer un véhicule législatif pour porter cette réglementation.

2. Renforcer la recherche et la surveillance en santé environnementale, en soutenant les dispositifs de type instituts écocitoyens

RESPONSABILITÉ : COLLECTIVITÉS, ÉTAT ET SOCIÉTÉ CIVILE

L'Institut Écocitoyen pour la Connaissance des Pollutions de Fos-sur-Mer, pionnier en France, a permis de produire des données inédites sur l'exposition des populations aux polluants industriels. Ses travaux ont comblé un vide en matière de connaissance des impacts environnementaux sur la santé humaine, en lien direct avec les préoccupations des habitants. Ce type de structure, alliant expertise scientifique, transparence, et ancrage citoyen, doit être **sanctuarisé et reproduit dans d'autres territoires exposés notamment à Dunkerque**, afin de mieux documenter les effets des pollutions et de guider les politiques publiques de santé.

3. Mettre en place une médecine du travail indépendante

RESPONSABILITÉ : COLLECTIVITÉS, ÉTAT ET SOCIÉTÉ CIVILE

La médecine du travail est souvent dépendante des employeurs comme c'est le cas par exemple à ArcelorMittal, où les médecins du travail sont salariés de l'entreprise. Cela peut limiter la possibilité de documenter objectivement les expositions professionnelles aux polluants et de reconnaître des pathologies comme les maladies respiratoires, cardiovasculaires ou les cancers liés aux conditions de travail dans les usines. **Il est nécessaire de créer une médecine du travail indépendante dans les territoires industriels** comme Dunkerque et Fos-sur-Mer, où les risques sanitaires liés aux pollutions industrielles sont élevés et divers.

4. Former la médecine de ville aux impacts de la pollution de l'air

RESPONSABILITÉ : COLLECTIVITÉS, ÉTAT ET SOCIÉTÉ CIVILE

Les médecins généralistes restent encore insuffisamment formés aux effets sanitaires de la pollution industrielle. Les liens entre pollution de l'air et pathologies chroniques restent mal connus ou sous-estimés, ce qui conduit souvent à des retards de diagnostic et à une sous-déclaration des causes environnementales des maladies. Une formation spécifique permettrait aux médecins de mieux identifier les symptômes liés à l'environnement ou aux expositions professionnelles, et de jouer un rôle de veille sanitaire. Cela permettrait de signaler des pathologies inhabituelles ou des pics de maladies chroniques dans certaines zones résidentielles ou à proximité d'un site industriel, afin d'alerter les autorités et de déclencher des investigations épidémiologiques ciblées. **Renforcer leurs compétences en santé environnementale est donc une condition essentielle pour protéger les populations exposées.**

5. Créer un registre national des cancers

RESPONSABILITÉ : ÉTAT

Le cancer est aujourd'hui la première cause de mortalité en France. Pourtant, notre capacité à comprendre les causes environnementales et sociales de la maladie reste insuffisante. Actuellement, seuls quelques registres de cancers locaux

couvrent environ 20 à 25 % de la population française. Cette couverture très partielle empêche de détecter les "clusters" géographiques de cancers, et **limite la possibilité d'identifier des facteurs environnementaux ou industriels** liés à leur survenue. En juin 2025, une loi instaurant un registre national des cancers a été adoptée par l'Assemblée. Toutefois, cette loi n'explicite pas les conditions concrètes de sa mise en œuvre. L'État s'est engagé publiquement à ce que le registre soit ouvert d'ici la fin de l'année 2025, il est donc indispensable que cet engagement soit respecté.

6. Mener une enquête épidémiologique croisée entre Fos-sur-Mer et Dunkerque

RESPONSABILITÉ : ÉTAT

Il est nécessaire de mener une enquête épidémiologique approfondie entre Fos-sur-Mer et Dunkerque, afin de mieux comprendre l'impact des expositions environnementales sur la santé des habitants. Cette enquête doit porter une attention particulière à la double exposition des personnes qui sont à la fois salariées d'industries polluantes et riveraines de ces mêmes sites. Une collaboration étroite avec la médecine du travail, si possible indépendante des employeurs, est indispensable pour accéder à des données fiables sur les expositions professionnelles. Il est également crucial d'impliquer la médecine généraliste locale, en veillant à ce que ses médecins soient sensibilisés en amont aux enjeux sanitaires propres aux zones industrielles. Une telle démarche renforcerait la qualité scientifique de l'étude tout en assurant une meilleure prise en charge des populations concernées.

7. Décarboner pour lutter contre les impacts sanitaires de l'industrie sidérurgique

RESPONSABILITÉ : ACTEURS PRIVÉS

Afin de conserver la souveraineté française dans le secteur de l'acier, la transition écologique de la sidérurgie doit être enclenchée au plus vite. Le captage et le stockage de CO₂ n'est pas une technologie viable sur le long terme pour décarboner ce secteur, car il ne résout pas le problème sanitaire posé. Aussi, des alternatives existent et peuvent **tenir compte de l'enjeu sanitaire, tout en répondant aux exigences sociales**. Pour cela, un mix des technologies est requis. **La construction de fours électriques EAF (Electric Arc Furnace) est une première réponse.** À cette filière électrique peut s'ajouter **la production de fer pré-réduit dit DRI (Direct Reduced Iron) sur le territoire français à base d'hydrogène** pouvant être vert. À noter que **l'émergence de nouvelles technologies induit forcément l'apparition de nouveaux polluants**, qui doivent donc être étudiés d'avance, afin que toutes les précautions soient prises pour protéger les travailleurs et les riverains.

8. Orienter la commande publique vers un acier vert et encadrer la consommation d'acier pour réguler les volumes de production

RESPONSABILITÉ : UNION EUROPÉENNE, ÉTAT, COLLECTIVITÉS

Décarboner l'acier est une étape nécessaire, mais ce n'est pas suffisant pour respecter les objectifs de l'Accord de Paris². Même "vert", l'acier primaire reste très énergivore, surtout si les volumes de production continuent à augmenter. L'Union Européenne, l'État et les collectivités ont donc un rôle central à jouer en imposant l'usage d'acier décarboné mais aussi d'acier recyclé dans les commandes publiques. L'État et l'Union Européenne doivent également agir **sur l'offre et la demande**. Cela passe notamment par **la réduction de la taille et du poids des véhicules**, qui sont aujourd'hui surdimensionnés, ainsi que par une **incitation à l'éco-conception, basée sur le recyclage** dans les secteurs très consommateurs comme l'automobile, qui consomme 25 % de l'acier primaire produit mondialement. Au-delà de la voiture en elle-même, il faut engager un changement structurel : investir dans des alternatives à la voiture individuelle, comme les transports en commun et la mobilité partagée ou active.

9. En cas d'inaction du privé, reprendre le contrôle des deux principaux sites producteurs d'acier en France

RESPONSABILITÉ : ÉTAT

A l'issue de l'année 2025, le contrat de subventionnement de la décarbonation entre ArcelorMittal Dunkerque et l'ADEME prendra fin. Si aucun travail n'a été engagé à cette date, afin de sauvegarder l'industrie française de l'acier et sécuriser sa transition à horizon 2030, il sera nécessaire de reprendre le contrôle et éventuellement envisager un repreneur apte à décarboner ces installations.

² Réseau Action Climat, Quelle transition écologique pour l'acier en France ?, 2 août 2022

1. Contexte territorial

Dunkerque et Fos-sur-Mer : deux zones industrielles en pleine mutation

Les principales Zone industrialo-portuaire (ZIP), situées à Dunkerque et Fos-sur-Mer sont le résultat d'aménagements du territoire ambitieux menés par l'État dès les années 1960, dans le cadre de la stratégie d'industrialisation de la France. Cette politique volontariste s'est traduite par l'implantation d'activités industrielles lourdes à proximité des ports pour favoriser les importations et exportations, notamment de matières premières.

Les plus gros industriels émetteurs de CO₂ en France se concentrent dans quelques zones industrielles majeures, au premier rang desquelles figurent Dunkerque et Fos-sur-Mer. C'est notamment dans ces zones que se jouent aujourd'hui des transformations profondes, au croisement de la transition énergétique et de la réindustrialisation. Dunkerque et Fos-sur-Mer se trouvent actuellement au cœur de dynamiques inédites et sont en passe de devenir les deux premières Zones Industrielles Bas Carbone (ZIBaC) du pays, grâce à des investissements massifs opérés via le plan France 2030 : 13 milliards d'euros à Dunkerque (30 000 emplois directs et indirects attendus) et 9 milliards à Fos-sur-Mer (15 000 emplois annoncés) ont été injectés. À Dunkerque, l'implantation de gigafactories, la décarbonation des sites existants et la création de deux réacteurs nucléaires participent à faire des Hauts-de-France « la vallée de la batterie française » en devenir. À Fos, des projets de gigafactories photovoltaïques ou encore de production d'hydrogène vert sont attendus, avec l'espoir de transformer la ZIP en véritable pôle de production d'énergies décarbonées.

Si ces annonces occupent le devant de la scène politique et médiatique, elles occultent en grande partie les enjeux sanitaires. En effet, les impacts sur la santé des populations, diffus et étalés dans le temps, sont souvent invisibles et restent largement absents du débat public. Cela témoigne d'un déséquilibre profond dans la manière dont les enjeux industriels, environnementaux et sanitaires sont aujourd'hui pris en compte.

DUNKERQUE

La communauté urbaine de Dunkerque regroupe plus de 35 établissements industriels soumis à la législation des Installations Classées pour la Protection de l'Environnement (ICPE), dont 14 sites classés SEVESO, répartis sur 11 des 16 communes de l'agglomération. Cette zone industrielle est marquée par une forte diversité d'activités : sidérurgie, métallurgie, fonderie, chimie, parachimie, pétrole, agroalimentaire et verrerie y sont représentées. Elle emploie plus de 23 400 salariés, dont 7 718 dans le secteur de la métallurgie et de la transformation des métaux, reflet d'une tradition industrielle profondément ancrée dans le territoire. Aussi, ArcelorMittal et ses 3 200 salariés occupent une place emblématique dans l'économie de la ville. L'usine se trouve à seulement cinq kilomètres du centre-ville de Dunkerque et à moins de 200 mètres des premières habitations de Grande-Synthe. Ces logements ont été bâtis pour accueillir les ouvriers venus travailler dans les complexes sidérurgiques et pétrochimiques en pleine expansion dans les années 1960 et ont engendré la création de nouvelles zones urbaines, aujourd'hui identifiées par le quartier Albeck-Europe-Moulin, qui accueille plus de la moitié de la population municipale. Ce quartier est classé Quartier Prioritaire de la Politique de la Ville (QPV) en raison de sa forte concentration de logements sociaux (95 %) et de son taux de pauvreté particulièrement élevé : 43 % en 2024, un chiffre bien au-dessus de la moyenne nationale qui s'établit autour de 15 % en 2025 selon l'INSEE.

FOS-SUR-MER

À ce jour, la Zone Industriolo-Portuaire (ZIP) de Fos-sur-Mer compte plus de 40 sites ICPE, dont 15 sites industriels classés SEVESO situés sur la commune de Fos-sur-Mer. Cette zone industrielle s'étend bien au-delà des frontières de Fos, couvrant environ 10 000 hectares répartis principalement sur les communes de Fos-sur-Mer, Saint-Mitre-les-Remparts, Port-de-Bouc, Martigues et Istres, ce qui en fait la plus grande zone industriolo-portuaire d'Europe. Fos-sur-Mer concentre à elle seule 9 360 emplois industriels, soit 85 % des emplois salariés du secteur marchand non agricole sur la commune³, tandis que l'ensemble de la ZIP regroupe plus de 40 000 salariés, principalement actifs dans la sidérurgie, le raffinage, le stockage de pétrole, la chimie et la fabrication de ciment. La sidérurgie joue un rôle central dans l'économie locale, avec environ 2 500 salariés chez ArcelorMittal Fos, 1 500 emplois indirects, ainsi que 330 emplois directs et 1000 emplois indirects pour Marcegaglia (anciennement Ascometal). Contrairement à Grande-Synthe, la zone résidentielle entourant l'usine ArcelorMittal de Fos-sur-Mer est majoritairement pavillonnaire. Les Quartiers Prioritaires de la Politique de la Ville (QPV) les plus proches se situent dans les communes voisines, à 10–15 km approximativement, notamment à Martigues et Port-de-Bouc. Le territoire jouxtant le cœur de la zone industrielle, en particulier l'usine ArcelorMittal, présente ainsi une sociologie distincte de celle observée à Grande-Synthe.

³ INSEE, Emploi industriel par commune, 2018

Surveillance de la qualité de l'air en zone industrielle

La surveillance de la qualité de l'air est obligatoire depuis 1996 partout en France. Pour ce faire, les Associations Agréées de Surveillance de la Qualité de l'Air (AASQA) mettent en œuvre cette surveillance dans chaque région au moyen d'un réseau de stations de mesure de la pollution. À partir des données de concentration collectées dans chaque station, des données d'émissions inventoriées et de paramètres locaux (environnement, météo, etc), les AASQA modélisent la qualité de l'air sur tous les territoires afin de prévoir la pollution en temps réel sous forme de cartographies accessibles au grand public. Ces cartes s'accompagnent de bilans annuels et d'études propres à chaque région en fonction des problématiques locales.

LES POLLUANTS RÉGLEMENTÉS

Les AASQA ont l'obligation de mesurer les concentrations des polluants réglementés par la France et l'Union Européenne :

- les particules **PM10** et les particules fines **PM2.5**
- les oxydes d'azote (**NOx**) dont le dioxyde d'azote (**NO2**)
- le dioxyde de soufre (**SO2**)
- le monoxyde de carbone (**CO**)
- les composés organiques volatils (**COV**) dont le benzène (**C6H6**)
- l'ozone (**O3**)
- les hydrocarbures aromatiques polycycliques (**HAP**) dont le benzo[a]pyrène
- les métaux lourds : le plomb (**Pb**), l'arsenic (**As**), le cadmium (**Cd**) et le nickel (**Ni**)

À Fos-sur-Mer, l'AASQA AtmoSud est particulièrement active sur des questions liées à la pollution industrielle. Sur les 31 stations que compte la région Provence-Alpes Côte d'Azur (PACA), 2 sont situées à Fos. L'une d'entre elles a notamment été mise en place suite à la mobilisation de syndicats qui souhaitent connaître la composition de l'air respiré dans la zone industrielle, afin de prendre en compte les effets cocktails de la multitude de polluants qui s'y trouvent. Cette station mesure les niveaux de polluants non réglementés tels que les BTEX (benzène, toluène, etc.) et les particules ultrafines (PUF). Dans le Plan de Protection de l'Atmosphère (PPA) Objectif 2025 de la région, des précisions sont données quant aux projets en lien avec la surveillance de la pollution industrielle : surveillance accrue des COV⁴ et des molécules identifiées par l'étude SCENARII⁵. Cette dernière, réalisée en réaction à la publication de l'étude EPSEAL⁶, a en effet permis d'étudier 39 polluants d'intérêt sanitaire typiques des zones industrielles, habituellement non mesurés car non réglementés.

ATMO Hauts-de-France gère un réseau de 41 stations. 6 sont situées sur la Communauté urbaine de Dunkerque dont 3 sous influence industrielle (c'est-à-dire un environnement dominé par les émissions industrielles à Gravelines, Grande-Synthe et Mardyck). Parmi les projets en lien avec la pollution industrielle, ATMO Hauts-de-France travaille actuellement sur la surveillance des particules ultrafines (PUF).

⁴ **Dispositif Réponses**, Réglementation pour réduire les émissions de composés organiques volatils, Mise à jour le 05/02/2025, 14/02/2024, 31/01/2023, 14/02/2022

⁵ **AtmoSud**, Scénarios de réduction des émissions industrielles et impact sur la qualité de l'air à Fos-sur-Mer et dans l'étang de Berre (SCENARII), 2022

⁶ **B. L. Allen, A.K. Cohen, Y. Ferrier, J. Lees**, Fos EPSEAL, Etude participative en santé environnement ancrée localement sur le front industriel de Fos-sur-Mer et Port-Saint-Louis-du-Rhône, Rapport final, Janvier 2017

TABLEAU RÉCAPITULATIF DES VALEURS RÉGLEMENTAIRES (SUR 24H)

	ACTUELLES	APPLICABLES EN 2030	RECOMMANDATIONS DE L'OMS
DIOXYDE D'AZOTE (NO ₂)	pas de norme	50 µg/m ³	25 µg/m ³
PARTICULES PM ₁₀	50 µg/m ³	45 µg/m ³	45 µg/m ³
PARTICULES PM _{2,5}	pas de norme	25 µg/m ³	15 µg/m ³
OZONE O ₃	120 µg/m ³ sur 8 heures à ne pas dépasser plus de 25 jours par an en moyenne sur 3 ans	120 µg/m ³ sur 8 heures à ne pas dépasser plus de 18 jours par an en moyenne sur 3 ans	100 µg/m ³ sur 8 heures à ne pas dépasser plus de 3 jours par an en moyenne sur 3 ans

Dans les deux territoires, les ATMO constatent une baisse globale des polluants ces dix dernières années. À titre d'exemple, entre 2007 et 2017, AtmoSud a observé une diminution de la concentration de 31 % des oxydes d'azotes (NO_x), 41 % sur les particules PM_{2,5} et 79 % sur le dioxyde de soufre (SO₂). Cette baisse s'explique en partie par les évolutions dans la production industrielle et le durcissement de la réglementation des installations classées. Ainsi, lorsque l'on prend les niveaux de concentration des polluants réglementés selon les normes actuelles de l'Union Européenne, on ne note plus de dépassement majeur sur les principaux polluants (particules PM₁₀, particules PM_{2,5} et NO₂). Néanmoins, ce n'est pas nécessairement le cas si l'on tient compte des futures normes applicables à l'Union Européenne en 2030. Par exemple, d'après le Cap territorial 2024, le territoire de Dunkerque est concerné par des dépassements de normes 2030 sur le dioxyde d'azote, les particules PM₁₀ et les PM_{2,5}.

En dépit de l'absence de dépassements réglementaires, trois enjeux sont donc soulevés sur ces territoires :

- la poursuite de la réduction des émissions dans l'objectif de respecter les normes de concentration pour 2030 ;

- l'amélioration de la connaissance des polluants d'intérêt sanitaire non réglementés (par exemple les particules ultrafines détectées en très grande quantité par l'Institut Eco-citoyen à Fos) ;
- l'identification de polluants "traceurs" propres à chaque industrie, qui permettent de suivre et d'imputer les polluants émis à un acteur en particulier.

Les modélisations des AASQA donnent des indications moyennées à partir d'hypothèses, mais dans le cas de ces territoires industrialisés, n'apportent pas de précisions quant aux panaches et pics de pollution. Les données de météo prises en compte dans ces modèles sont estimées à partir de stations qui font une moyenne sur le territoire, sans véritable prise en compte de spécificités ou d'événements très localisés. La justesse de la modélisation dépend également du nombre (le plus grand possible) et de l'emplacement (sous les vents dominants) de stations de mesures. Quant au choix des emplacements, ils peuvent parfois faire l'objet de discussions politiques étant donné l'incidence qu'ils ont sur la qualité de l'air mesurée d'un territoire.

Des territoires aux situations sanitaires préoccupantes

Ces dernières années, les territoires de Fos-sur-Mer et Dunkerque ont fait l'objet d'études dont les constats sont similaires concernant l'état de santé préoccupant de leurs habitants.

À Fos-sur-Mer et dans les territoires alentours, une dizaine d'études en santé environnementale ont démontré la prévalence de maladies et leurs liens avec la pollution atmosphérique depuis les années 1990, listées par un bilan effectué en 2006⁷. Par exemple, l'étude Panoxy-Berre en 1993 a mis en évidence une relation significative positive entre des symptômes bronchiques et ORL de 3 000 enfants de la zone et les taux moyens journaliers de SO₂ et NO₂. Plus récemment, un diagnostic de l'Observatoire Régional de la Santé Paca sur la commune de Port-Saint-Louis a établi une surmortalité prématurée par rapport à la région, notamment pour les pathologies de l'appareil respiratoire et les cancers du poumon chez l'homme. Publiée en 2019, l'étude EPSEAL⁸ a fait date en démontrant pour la première fois que trois villes proches de la zone industrielle, Fos-sur-Mer, Port-Saint-Louis-du-Rhône et Saint-Martin-de-Crau, présentent des prévalences plus élevées pour les pathologies chroniques, les cancers, l'asthme et le diabète de type I par rapport aux moyennes nationales. À ces constats s'ajoute un ensemble d'hypothèses établies avec les habitants du territoire, selon lesquelles ces maladies seraient causées par la surpollution environnementale importante localement. Ainsi, le fait que Fos-sur-Mer et Port-Saint-Louis présentent davantage de prévalences de symptômes chroniques s'expliquerait par la pollution de l'air plus élevée,

les pics de pollution fréquents et le fait que les populations y sont davantage exposées dans un environnement professionnel industriel que les habitants de Saint-Martin. Depuis, l'étude sur la bio-imprégnation humaine INDEX de l'Institut Ecocitoyen a montré une surimprégnation dans le sang et les urines de la population de Fos-sur-Mer pour certains polluants, aggravée par des comportements de consommation de produits locaux (de légumes du jardin notamment).

À Dunkerque, des études existent sur la pollution de l'air locale, sur la perception de la pollution industrielle par les habitants, mais il n'y a pas de recherches en santé environnementale sur les impacts sanitaires de la pollution atmosphérique locale. En revanche, un diagnostic territorial de santé⁹ datant de 2023 a été publié par l'Observatoire local de Santé sur l'état de santé des habitants de deux intercommunalités proches de la zone industrielle : la Communauté urbaine de Dunkerque (CUD) et la Communauté de Communes des Hauts de Flandres (CCHF). L'étude établit une surmortalité de 30 % par rapport au niveau national dans des communes appartenant à la CUD (notamment à Graveline, Grande-Synthe et Dunkerque, toutes trois proches du front industriel). La première cause des décès sont les cancers, bien plus nombreux dans les communes de la CUD que celle de la CCHF.

⁷ Santé Publique France, Rapport d'analyse de l'étude Fos-EPSEAL, 2018

⁸ B. L. Allen, A.K. Cohen, Y. Ferrier, J. Lees, Fos EPSEAL, Etude participative en santé environnement ancrée localement sur le front industriel de Fos-sur-Mer et Port-Saint-Louis-du-Rhône, Rapport final, Janvier 2017

⁹ Observatoire Local de la Santé, Diagnostic territorial de santé sur les territoires de la Communauté Urbaine de Dunkerque et de la Communauté de Communes des Hauts de Flandre, 2023

Si ces constats posés dans les deux territoires sont similaires quant à l'état de santé dégradé par rapport à la moyenne nationale, la responsabilité de la pollution de l'air due à l'activité industrielle n'est pas pour autant reconnue par les autorités publiques et les acteurs privés.

Ainsi, dans son rapport d'analyse de l'étude Fos EPSEAL de 2018, Santé Publique France ne reconnaît pas la méthodologie employée par les auteures de l'étude et considère que les résultats ne permettent pas d'établir un lien scientifique avec la pollution environnementale dues aux usines. En revanche, en reconnaissant que "ce territoire nécessite une grande attention de la part des autorités publiques", le rapport appelle à mener des études spécifiques supplémentaires pour confirmer ou non ses hypothèses.

À Dunkerque, à la différence de Fos où l'étude EPSEAL était totalement indépendante, l'étude de l'Observatoire local de Santé émane indirectement des élus du territoire. Ce diagnostic de santé n'a pas pour but de proposer des hypothèses explicatives de la surmortalité et du nombre important de cas de cancers dans la CUD. En revanche, les facteurs de risques des cancers sont énumérés selon le nombre de cancers qui leur sont attribués en France, avec notamment le tabac en première position avec 19,8 % de cancers attribués puis l'alcool avec 8 %. Les particules fines sont mentionnées en dernier, avec 0,4 % des cancers imputables. L'attention est en particulier portée sur la responsabilité individuelle et les changements de comportement, qui "permettraient de prévenir 40 % des cas de cancers". Cette présentation de la situation sanitaire locale coïncide avec les entretiens menés avec les acteurs locaux, dont plusieurs ont mentionné les facteurs individuels "ta-

bac" et "alcool" comme étant souvent invoqués pour justifier la situation sanitaire. Cette dernière est ainsi considérée comme découlant plutôt de facteurs individuels, tandis que les facteurs environnementaux tels que la pollution industrielle sont peu évoqués.

Dans les deux territoires, les acteurs interrogés et en particulier les syndicats ont fait état de l'importance de la double exposition subie par les travailleurs, au travail et chez eux lorsqu'ils résident à proximité. De ce point de vue, l'étude des maladies professionnelles reconnues ou non reconnues représente un enjeu particulièrement important pour ces territoires. D'après Santé Publique France, si les expositions aux produits cancérigènes sont massives au travail (12 % des salariés sont concernés), les cancers sont pourtant peu reconnus comme maladies professionnelles, lesquelles sont plutôt liées aux troubles musculo-squelettiques et aux problèmes de santé mentale. À Fos-sur-Mer et Dunkerque, des associations spécifiques existent sur la question des maladies liées à l'amiante, qui semblent massives sur ces territoires. Un autre enjeu fréquemment soulevé en entretien a été l'effet "cocktail" (c'est-à-dire le mélange des polluants émis par les différentes industries de la zone), auquel sont particulièrement soumis les travailleurs des zones industrielles. Ainsi, les médecines du travail liées à chaque industrie surveillent les maladies associées aux polluants émis par leurs secteurs en particulier, mais ignorent le cocktail des polluants de la zone dans sa globalité. Le code du travail ne prévoit pas ce cas de figure, qui passe donc sous les radars de la surveillance sanitaire.

Des niveaux de prise de conscience et de mobilisation différents face à la pollution atmosphérique

L'hypothèse de la responsabilité de la pollution industrielle dans la situation sanitaire locale est largement plus reconnue à Fos qu'à Dunkerque. De nombreux médias nationaux s'étant intéressés au sujet de Fos-sur-Mer, plusieurs reportages télévisés ont contribué à rendre le problème public ces dernières années, tandis qu'aucun média grand public ne semble s'être intéressé à la pollution industrielle à Dunkerque.

À Fos, le lien entre la pollution industrielle et les problèmes de santé est clairement établi par les habitants du territoire, comme le démontre l'étude EPSEAL. La population est mobilisée depuis des années contre la pollution industrielle, notamment depuis la mobilisation contre l'installation de l'incinérateur de déchets ménagers de Marseille dans les années 2000¹⁰. L'Association de Défense et de Protection du Littoral du Golfe de Fos (ADPLGF), créée en 2002 pour défendre l'environnement des Fosséens face à des projets d'installations industrielles, est un acteur phare investi localement dans des études de la pollution environnementale, des dispositifs de concertation locaux et des actions en justice. Parmi ces dernières, on compte notamment une plainte contre plusieurs industriels pour "trouble anormal du voisinage" et une plainte contre X "pour mise en danger de la vie d'autrui", déposée par sept associations, environ 200 plaignants et des syndicats. La première a vu les 14 plaignants de Fos et Martigues successivement déboutés¹¹ entre 2022 et 2024, la justice n'ayant pas reconnu le lien établi par EPSEAL¹² entre la pollution indus-

trielle et la situation sanitaire locale. Paradoxalement, la qualité de l'air locale a été reconnue comme étant la conséquence "prévisible et donc normale" du choix de concentrer des industries dans cette zone, et doit donc être considérée comme "ne présentant aucun caractère anormal". La deuxième plainte court toujours et a conduit à la mise en examen d'ArcelorMittal en 2025. En revanche, des recours ont été gagnés pour infractions environnementales par France Nature Environnement¹³. Enfin, il est à noter que des travailleurs du secteur industriel se sont mobilisés à travers la création en 2020 du Comité de surveillance de l'activité industrielle du Golfe de Fos et son Impact Environnemental (CSAIGFIE), visant à rassembler de manière inédite¹⁴ les acteurs syndicaux, politiques, associatifs et de la société civile en une seule instance, pour traiter à la fois d'enjeux socio-économiques, sanitaires et environnementaux.

À Dunkerque, les entretiens menés avec des acteurs locaux n'ont pas permis l'identification d'une mobilisation citoyenne aussi marquée qu'à Fos. L'Association Défense Environnement Littoral Flandres Artois (ADELFA), bien que présente à toutes les instances de concertation existantes, semble moins suivie que l'ADPLGF et moins active sur la question des études et des actions en justice. Les membres de la CGT rencontrés affirment que la société civile était autrefois davantage mobilisée, lorsque l'environnement des habitants était encore plus pollué par les industries qu'il ne l'est actuellement.

¹⁰ B. L. Allen, A. K. Cohen, Y. Ferrier, J. Lees, Fos EPSEAL, Etude participative en santé environnement ancrée localement sur le front industriel de Fos-sur-Mer et Port-Saint-Louis-du-Rhône, Rapport final, Janvier 2017

¹¹ Reporterre, Usines à Fos-sur-Mer : les "sacrifiés de la pollution" se battent en justice, 14 avril 2022, mise à jour le 16 avril 2022

¹² France Nature Environnement, ArcelorMittal méditerranée condamnée : victoire pour la santé et l'environnement, 16 juillet 2021

¹³ Marsactu, A Fos, les plaintes pour trouble du voisinage visant les industriels tombent à l'eau, 10 mai 2023

¹⁴ Fracas Media, ArcelorMittal : quand les ouvriers luttent pour la transition, 26 février 2025

Pour expliquer cette faible mobilisation, la CGT avance l'hypothèse que les travailleurs habitent plus proche des industries. Les riverains y seraient de ce fait beaucoup plus dépendants des usines pour travailler, et donc moins susceptibles de se mobiliser contre leurs employeurs pour obtenir de meilleures conditions de vie.

L'existence de données scientifiques et d'une mobilisation citoyenne à Fos explique que les dispositifs de concertation autour de sa zone industrielle ont été inédits à leur création et vont aujourd'hui au-delà d'autres territoires industriels, tels que Dunkerque. Ainsi, le premier Secrétariat Permanent pour la Prévention des Pollutions et des risques Industriels (SPPPI Paca) de France a été créé par la préfecture dès 1971 pour fournir un outil de dialogue et permettre de prévenir les risques et impacts industriels sur l'environnement. À cette instance s'ajoute un dispositif de concertation inédit, piloté par le SPPPI : "Réponses", récemment mis en place pour "recueillir les attentes et préoccupations des habitants (...) afin d'y apporter des réponses concrètes". C'est aussi dans ce territoire qu'est apparu la première association agréée pour la surveillance de la qualité de l'air, AtmoSud, créée en 1972 sous le nom d'Airfobep¹⁵. Le SPPPI Côte d'Opale à Dunkerque n'a quant à lui été créé qu'en 1990, malgré la présence beaucoup plus ancienne d'usines sur son territoire. L'association de surveillance de la qualité de l'air Atmo Hauts-de-France date quant à elle de 2004, suite à la fusion de plusieurs AASQA dont les existences datent de 1976. Ces instances - SPPPI et ATMO - réunissent en leur sein des représentants de l'État, des collectivités locales, des industriels et des associations.

En 2010, Fos-sur-Mer a en outre bénéficié de la création d'une structure à mi-chemin entre la société civile, la recherche et les institutions : le premier Institut Ecocitoyen, conséquence de la mobilisation citoyenne et à l'initiative des élus de l'époque. L'Institut a depuis réalisé de nom-

breuses études en santé environnementale autour de l'étang de Berre. Son originalité réside dans sa dimension "citoyenne" : le choix des sujets étudiés émane de la demande des habitants. L'émergence de cet acteur a notamment contribué à focaliser l'attention sur la pollution industrielle et à obtenir les études officielles de la part d'AtmoSud. À Dunkerque, dans le cadre du plan de réindustrialisation locale, l'Observatoire local de santé (OLS) a été créé en 2018. Il regroupe des élus du territoire, des professionnels de santé et des chercheurs, avec pour objectif de produire des données scientifiques sur la qualité de l'air et la santé puis d'en informer les habitants.

À l'origine de la création de l'Institut, la Ville de Fos-sur-Mer s'est investie dans la lutte contre la pollution de l'air sur son territoire, comme en témoignent les interventions médiatiques de l'actuel maire René Raimondi. L'élu semble cependant avoir changé de positionnement dernièrement. Ainsi, en 2024, la commune a cessé de financer l'Institut Ecocitoyen, qu'elle subventionnait à hauteur de 30 % de son budget les années passées. D'après le dernier rapport d'activité de l'Institut, ce revirement est symptomatique d'un mouvement de fond chez les décideurs publics parmi lesquels se répand l'idée que "la pollution et son impact sanitaire disparaîtra avec la décarbonation", notamment grâce aux grands projets de mutation industrielle de Fos-sur-Mer ou Dunkerque.

À Dunkerque, les élus qui interviennent dans les médias se montrent optimistes sur la question. Yann Landkocz, chercheur en toxicologie mais également conseiller municipal de Dunkerque, affirme par exemple que l'air de Dunkerque "n'est pas plus pollué qu'ailleurs" et que le climat du littoral permet de disperser efficacement les polluants vers la mer.¹⁶

¹⁵ **Santé Publique France**, Rapport d'analyse de l'étude Fos-EPSEAL, 2018

¹⁶ **La voix du Nord, Arnaud Stoerkler**, En attendant la décarbonation, comment se porte la qualité de l'air à Dunkerque ?, 5 août 2023

2. L'acier: un secteur industriel aux multiples enjeux

Un secteur hautement émetteur en GES et polluants atmosphériques

UN SECTEUR MASSIVEMENT ÉMETTEUR EN GAZ À EFFET DE SERRE

L'acier est un matériau essentiel que l'on retrouve partout : dans la construction, l'automobile et la manufacture, qui représentent respectivement 52 %, 12 % et 16 % de l'utilisation de l'acier dans le monde¹⁷. Parmi les différents types d'industrie, la sidérurgie est le sous-secteur le plus émetteur en gaz à effet de serre¹⁸ : l'Agence Internationale de l'Énergie parle de 9 % du total des émissions de gaz à effet de serre d'origine anthropique dans le monde, ou 11 % du total des émissions de CO₂ mondiales. En France, la production correspond à 15 millions de tonnes d'acier par an qui génèrent 20 mégatonnes de CO₂. Cela représente 25 % des émissions du secteur industriel et 5 % des émissions globales de gaz à effet de serre en France selon l'ADEME. Parmi ces 15 millions de tonnes produites, 10 millions proviennent de la filière dite "haut-fourneau", la plus émettrice en CO₂.

En effet, l'acier peut s'obtenir par plusieurs procédés, dont deux principaux : la filière haut-fourneau et la filière électrique. La première, plus émettrice, équivaut à 1,8 tonnes de CO₂ par tonne d'acier produite tandis que la seconde représente 0,16 tonne de CO₂ par tonne d'acier produite. Ces émissions s'expliquent par sa très forte consommation d'énergie et l'utilisation du charbon : la filière haut-fourneau est le second secteur le plus consommateur de charbon au monde. En France, par exemple, les trois sites à hauts-four-

neaux existants (ArcelorMittal à Dunkerque et à Fos-sur-Mer, Saint-Gobain à Pont-à-Mousson) représentent à eux seuls 54 % de la consommation française en charbon. A la combustion du charbon s'ajoutent les procédés permettant la transformation du charbon en coke et le traitement du minerai de fer, essentiels au fonctionnement du haut-fourneau, qui sont également fortement émetteurs. À contrario, la filière électrique émet 11 fois moins de CO₂.

Ces émissions vont être amenées à augmenter à l'échelle mondiale si on suit la demande croissante en acier dans le monde, correspondant aux besoins de la transition énergétique et aux besoins des pays aux économies émergentes.

DIFFÉRENCIER LES GAZ À EFFET DE SERRE DES POLLUANTS ATMOSPHÉRIQUES

À ces émissions de gaz à effets de serre s'ajoute l'émission de divers polluants dans l'atmosphère qui doivent être bien différenciés. Tandis que les premiers (dioxyde de carbone CO₂, méthane CH₄, etc) contribuent au réchauffement global du climat et continuent d'augmenter d'année en année, les seconds sont définis¹⁹ comme des substances ayant des conséquences négatives sur la santé et l'environnement à une échelle beaucoup plus locale.

¹⁷ World Steel Association, 2024

¹⁸ Jinsoo Kim, Benjamin K. Sovacool, Morgan Bazilian, Steve Griffiths, Junghwan Lee, Minyoung Yang, Jordy Lee, Decarbonizing the iron and steel industry: A systematic review of sociotechnical systems, technological innovations, and policy options, Energy Research & Social Science, Volume 89, 2022,102565, ISSN 2214-6296

¹⁹ Article 2 de la Loi n°96-1236 du 30/12/1996 sur l'Air et l'Utilisation Rationnelle de l'Énergie (Loi LAURE)

Cette définition est importante à poser car la distinction n'est souvent pas faite entre ces deux types de pollution. En effet, les politiques permettant de diminuer les émissions des gaz à effet de serre ne prennent pas toujours en compte la diminution des polluants atmosphériques, alors qu'elles peuvent être traitées ensemble.

À titre d'exemple, dans le cadre des plans de réindustrialisation française en cours à Fos et à Dunkerque, l'angle est mis sur la décarbonation des usines et non sur la diminution de leurs émissions nocives pour la santé. Cependant, en plus d'être extrêmement émissive en CO₂, la sidérurgie émet également de nombreux polluants.

UN SECTEUR À L'ORIGINE DE NOMBREUX POLLUANTS ATMOSPHÉRIQUES

À l'échelle européenne, une enquête du réseau de médias CORRECTIV.Europe²⁰ a permis de mettre en lumière l'impact économique des émissions de polluants atmosphériques industriels : 265 milliards d'euros de coût pour la santé publique en 2017. Les données, issues de l'Agence Européenne pour l'Environnement, concernent 11 600 sites industriels. Un classement des 20 installations les plus polluantes atteste du fardeau représenté par le secteur sidérurgique pour la santé publique, au même titre que les centrales thermiques ou les mines de charbon. Ainsi, dans ce classement, on retrouve les usines sidérurgiques possédées par ArcelorMittal à Dunkerque et à Fos-sur-Mer. En 11^e position, le site de Dunkerque représente 1 641 millions d'euros de coût sanitaire par an tandis qu'à la 18^e position, l'usine de Fos-sur-Mer représente 1 168 millions. Ces coûts sanitaires sont sous-estimés, étant donné que les émissions de particules fines PM_{2,5} ne sont pas prises en compte dans ce classement alors qu'elles sont extrêmement dangereuses pour la santé.

Le site de Dunkerque représente 1 641 millions d'euros de coût sanitaire par an tandis qu'à la 18^e position, l'usine de Fos-sur-Mer représente 1 168 millions d'euros.

La nature des polluants émis varie selon le fonctionnement des usines, qui découle de la filière sidérurgique utilisée. Comme mentionné précédemment, il existe actuellement deux filières principales, dont la différence tient à la qualité des aciers obtenus. Si la filière haut-fourneau permet d'obtenir de l'acier "vierge" avec des propriétés très précises, la composition de l'acier produit par la filière électrique à partir de ferraille recyclée ne permet pas d'obtenir un acier de même consistance.

La filière haut-fourneau est majoritaire, elle représente 65 % de la production mondiale d'acier en 2010 tandis que la filière électrique représente 30 %. En France, deux-tiers de l'acier est produit via des hauts-fourneaux (3 sites) tandis que le tiers restant provient de fours à arc électrique (16 sites). Ces deux tiers de la production française proviennent des sites d'ArcelorMittal, présents à Fos-sur-Mer et à Dunkerque.

Chaque manœuvre de manutention de matières premières, en particulier du charbon, est responsable de l'émission de polluants. Viennent ensuite la combustion des matières, puis le traitement du produit et des déchets obtenus.

²⁰ Correctiv, Industrial air pollution costs Europe 265 billion euros in one year, 26 Octobre 2023

Les torchages et mises en chandelle (procédés qui consistent à brûler les gaz résiduaux dégagés par les processus chimiques) sont également d'autres sources d'émissions. Ces gaz, issus de chaque étape de production, peuvent être réutilisés pour auto-alimenter les installations ou stockés dans des gazomètres. Ils peuvent aussi être vendus pour produire de l'énergie pour un acteur tiers, comme c'est le cas pour la Communauté d'agglomération de Dunkerque ou la centrale Engie CyCoFos à Fos. Toutefois, en cas d'incidents (par exemple, une panne d'électricité, qui empêche le système de redistribution de gaz de fonctionner), les gaz produits génèrent une surpression des équipements, pouvant aller jusqu'à leur explosion²¹. Pour des raisons de sécurité, il est alors nécessaire de se débarrasser de l'excédent en le brûlant via les torches ou les chandelles. Supposément accidentels, les torchages peuvent toutefois être planifiés, lors de phases d'arrêt ou de redémarrage des installations, pendant lesquelles le gaz ne peut pas être récupéré. Le brûlage de ces gaz vise à réduire les émissions de polluants par la combustion. Lorsque celle-ci est incomplète, elle génère une fumée noire et des particules de carbone ou suies qui sont des particules ultrafines

(PUF). Les émissions de torche peuvent se composer de NO_x, SO₂, COV, CO, CO₂ et les mises en chandelles de HCN, NO₂, HCl et SO₂²². Il existe peu de réglementations relatives aux émissions des torches dans la législation nationale et européenne. Les conditions sont donc définies localement par arrêté préfectoral, ce qui conduit parfois à des autorisations hors situation d'incidents et induit des usages abusifs. Par ailleurs, pour ces raisons de sécurité, aucune valeur limite d'émission n'encadre le torchage.

DIFFÉRENTES ÉTAPES ÉMETTRICES	POLLUANTS	DIFFÉRENTES ÉTAPES ÉMETTRICES	POLLUANTS
FILIÈRE HAUT-FOURNEAU		FILIÈRE ÉLECTRIQUE	
Manutention des matières premières : <i>déchargement, stockage, broyage, transport des matières</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Émissions "diffuses" de particules PM₁₀ - COV (Benzène C₆H₆) 	- Four à Arc Électrique : <i>le four à arc électrique utilise l'électricité pour faire fondre directement de la ferraille et la recycler en acier</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Poussières (PM₁₀ et PM_{2,5}) provenant des déchets (scories) - Poussières d'oxyde de fer et de métaux lourds et composés organiques (COV) tels que les polluants organiques persistants (PCB et PCDD/F) - Gaz (CO₂, CO, NO_x, HF, SO₂) - Dioxines et furanes - Métaux lourds - HAP - Polluants organiques persistants (PCB)

²¹ France Nature Environnement, *Kit d'outils sur les torchages*, Avril 2023

²² DREAL PACA, *Rapport de l'inspection des installations classées, Visite d'inspection du 14/09/2023*, 7 Novembre 2023

DIFFÉRENTES ÉTAPES ÉMETTRICES	POLLUANTS	DIFFÉRENTES ÉTAPES ÉMETTRICES	POLLUANTS
FILIÈRE HAUT-FOURNEAU		FILIÈRE ÉLECTRIQUE	
Agglomération : <i>traitement du minerai de fer par brûlage afin de pouvoir l'utiliser dans le haut-fourneau, c'est l'unité la plus émettrice en poussières dans le cas d'usines intégrées</i>	<i>Représente 50 % des émissions de particules fines PM_{2,5} des sites sidérurgiques intégrés</i> - Métaux lourds (Plomb Pb, Mercure Hg, Cadmium Cd, Arsenic As, Manganèse Mn, Cuivre Cu, Nickel Ni) - Gaz (SO ₂ , HCl, HF, CO ₂ , CO, NO _x , CH ₄) - Dioxines et furanes - HAP (Naphtalène C ₁₀ H ₈ , Benzo(a)pyrène C ₂₀ H ₁₂) - Polluants organiques persistants (ex. PCB et les PCDD/F)		
Cokerie : <i>transforme le charbon en coke pour l'utiliser dans le haut-fourneau. Se compose d'une ou plusieurs batteries de fours à coke et d'une unité de traitement des gaz de procédé, où les émissions de gaz dans l'air sont les plus importantes. Cette unité est responsable de nuisances olfactives facilement perceptibles</i>	- Gaz (CO ₂ , CH ₄ , SO ₂ , CO, NO _x , HCN) et poussières (PM ₁₀ , PM _{2,5}) provenant de la combustion - Métaux lourds (Plomb Pb, Mercure Hg, Cadmium Cd, Arsenic As, Manganèse Mn, Cuivre Cu, Nickel Ni) - Emissions diffuses (COV : benzène C ₆ H ₆ , NH ₃ , BTX) - HAP (phénol, Naphtalène C ₁₀ H ₈ , Benzo(a)pyrène C ₂₀ H ₁₂)		
Haut-Fourneau : <i>le minerai de fer aggloméré est transformé en fonte au contact du coke, qui permet à la fois de fournir la chaleur et de provoquer une réaction chimique ("la réduction") nécessaires à la production de fonte. Il émet des nuisances olfactives</i>	- Poussières (PM _{2,5}) - Production de déchets (scories) émettent des gaz (SO ₂ , H ₂ S) - Gaz (SO ₂ , NO _x)		
Acierie : <i>pour obtenir de l'acier, la fonte est réoxygénée et mélangée à de la ferraille dans le convertisseur. Différents ferro-alliages peuvent être ajoutés pour obtenir différents types d'acier.</i>	Particules fines PM _{2,5}		
Laminage et finissage : <i>découpage du métal une fois solidifié</i>	- Poussières - SO ₂ , NO _x		

Sources: **European Commission, R. Remus, M. A. Aguadoa Monsonet, S. Roudier, L. Delgado Sancho, Best Available Techniques (BAT) Reference Document for Iron and Steel Production, 2013**
UK Government, Guidance Ferrous and non-ferrous metals : pollution inventory reporting, Mis à jour 29 Novembre 2024
Confédération Générale du Travail, Livret de 43 propositions, 2019

Pour finir, les installations industrielles n'émettent pas seulement des polluants via des cheminées, mais également de manière "diffuse", ce que l'INERIS définit par "des émissions non canalisées, non maîtrisées". Les acteurs interrogés à Fos et à Dunkerque en ont fait mention en évoquant de nombreuses fuites dues à l'ancienneté des installations industrielles. Ces émissions diffuses peuvent représenter une proportion très importante, voire majoritaire, des émissions totales et ainsi avoir un impact significatif sur l'environnement et la santé. Plusieurs causes en sont à l'origine : des défauts d'étanchéité d'installations (par exemple des portes de fours à coke), du stockage et des procédés de traitement (par exemple du charbon), de la manutention des matières premières (opérations de chargement, déchargement), d'opérations d'arrêts ou de redémarrage non routinières d'installations ou de la manipulation de déchets. Du fait de leur diversité et des nombreuses causes possibles d'émissions, ces flux sont très difficiles à quantifier. En sidérurgie, la cokerie est particulièrement émettrice de polluants diffus, phénomène empiré par un état de vétusté et des sous-investissements dans la maintenance des équipements.

À Fos-sur-Mer, une étude spécifique sur les PM_{2,5} menée par l'Institut Écocitoyen²³ a permis de connaître le type de particules fines émises par la sidérurgie à l'échelle locale, notamment par ArcelorMittal.

L'approche utilisée consistait à comparer la composition chimique de l'air entre deux stations de mesure : l'une située en amont des installations industrielles, l'autre en aval. Les analyses révèlent que les particules émises par les procédés sidérurgiques contiennent principalement du carbone organique, du carbone élémentaire, des ions et divers métaux. Parmi les éléments détectés, le fer est majoritaire dans les opérations de fusion du métal, de transformation du minerai de fer et de stockage de laitier, suivi de l'aluminium, du manganèse et du zinc. La transformation du minerai de fer, qui regroupe les unités de cokerie, d'agglomération et de haut-fourneau, se distingue par une forte émission d'hydrocarbures aromatiques polycycliques, composés potentiellement cancérigènes présents dans la matière organique. La transformation du minerai de fer émet également une proportion non négligeable d'hydrocarbures aromatiques polycycliques contenant du soufre, qui pourraient constituer de bons indicateurs spécifiques de la pollution issue des industries sidérurgiques.

²³ Sylvestre, A., Mizzi, A., Mathiot, S., Masson, F., Jaffrezo, J. L., Dron, J., ... & Marchand, N., Comprehensive chemical characterization of industrial PM_{2,5} from steel industry activities. Atmospheric Environment, 152, 180-190, 2017

CONSÉQUENCES SANITAIRES RELATIVES À CHAQUE POLLUANT SIDÉRURGIQUE

Dioxyde de soufre SO₂	<ul style="list-style-type: none"> • Irritation des muqueuses, de la peau et des voies respiratoires supérieures • Effets bronchospastiques chez l'asthmatique • Symptômes respiratoires aigus chez l'adulte (toux, gêne respiratoire) • Altération de la fonction respiratoire chez l'enfant (baisse de la capacité respiratoire, excès de toux ou de crise d'asthme)
Particules et particules fines (PM₁₀, PM_{2,5})	<p><i>Plus elles sont fines, plus les particules pénètrent profondément dans l'organisme (les plus grosses sont retenues par les voies aériennes supérieures tandis que les plus petites pénètrent dans les alvéoles pulmonaires)</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • Irritation des voies respiratoires inférieures • Altération de la fonction respiratoire dans son ensemble • À long terme, risque de bronchite chronique, de maladie cardiorespiratoire et de cancer pulmonaire • Présomptions d'effets cancérogènes
Composés Organiques Volatils (benzène)	<ul style="list-style-type: none"> • Irritation des muqueuses • Diminution de la capacité respiratoire • Risques d'effets mutagènes et cancérogènes
Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (benzo-a-pyrène)	<ul style="list-style-type: none"> • Irritation des muqueuses • Cancérogène
Métaux lourds réglementés (arsenic, cadmium, nickel, plomb)	<p><i>L'inhalation même en faible quantité peut conduire à des niveaux de concentrations toxiques à court et long terme :</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • Intoxications rénales (cadmium) • Attaque du système nerveux (plomb) • Effets cancérogènes (arsenic, nickel, cadmium)
Oxydes d'azote NO_x (NO, NO₂)	<p><i>Le NO₂ provoque :</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • Irritation des muqueuses • Exacerbation de l'asthme et des bronchites chroniques • Altération du développement de la capacité pulmonaire des jeunes enfants • Maladies cardiovasculaires

Sources: Plan de Protection de l'Atmosphère Nord - Pas de Calais 2014

Décarboner l'acier pour conserver la souveraineté française et réduire son impact sanitaire

UN ENVIRONNEMENT COMMERCIAL ET RÉGLEMENTAIRE CONTRAINT À COURT ET LONG TERME

Depuis le début du XXI^{ème} siècle, les acteurs européens de la sidérurgie voient la forte progression de concurrents internationaux, tels que les producteurs d'acier chinois. À titre d'exemple, en 2024, la Chine a exporté 118 millions de tonnes d'acier par an (soit le double de 2020) tandis que la France n'en produit que 15 millions à l'année. L'Europe a quant à elle produit 126 millions de tonnes en 2023 d'après Eurofer. Cette surproduction chinoise entraîne ainsi la baisse des prix mondiaux, là où la production européenne est beaucoup moins compétitive du fait des prix de l'énergie notamment, qui ont fortement augmenté depuis la guerre en Ukraine. En 2017, la balance commerciale européenne de l'acier est devenue négative du fait de l'import massif d'acier chinois à bas coût en Europe. En parallèle, les marchés se réduisent. Cette contraction s'explique notamment par l'arrivée de Donald Trump au pouvoir, qui a relevé les droits de douane sur l'acier importé aux États-Unis — un pays qui reçoit 14 % des exportations européennes d'acier. À cela s'ajoute la crise que traversent les deux principaux secteurs consommateurs en Europe : l'automobile et la construction.

La production d'acier est donc menacée en Europe, où elle a atteint son niveau historiquement le plus bas, avec une disparition d'environ 100 000 emplois en dix ans d'après Worldsteel. Les usines fonctionnent au ralenti, à 60 % de leurs capacités

faute de demande. Par exemple, la Grande-Bretagne, qui était le premier producteur mondial au début de l'industrialisation au XIX^e siècle, a failli perdre son dernier haut-fourneau au printemps dernier, avant que le gouvernement ne reprenne en urgence l'entreprise British Steel pour éviter sa fermeture.

Parallèlement, les enjeux du dérèglement climatique obligent l'industrie à décarboner ses activités. Dans le cadre de l'objectif intermédiaire "Fit for 55" du Pacte Vert, la Commission européenne a fixé en 2021 un objectif drastique de réduction des émissions de gaz à effet de serre d'ici 2030, avec une baisse de 55 % par rapport aux niveaux de 2019 pour tenir la limitation en-dessous de 2°C. L'urgence à agir a de nouveau été rappelée le mois dernier dans les médias, lorsque des auteurs du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) ont affirmé pour la première fois que l'objectif de limitation à 1,5°C ne sera pas atteint en raison d'une baisse des émissions insuffisamment rapide. Dans ce contexte, la baisse des émissions industrielles n'a rien d'évident. Il est pourtant vital que la sidérurgie fasse sa transition : si la totalité des actifs sidérurgiques carbonés en cours d'exploitation dans le monde continuaient à fonctionner sur toute leur durée de vie, leurs émissions cumulées pourraient atteindre 65GtCO₂ en 2060²⁴ ; ce qui est massif par rapport au budget carbone global restant, tous secteurs économiques confondus (440GtCO₂).

²⁴ CarbonBrief, Guest post: These 553 steel plants are responsible for 9% of global CO2 emissions, 29 juin 2021

Le principal levier pour faire advenir cette transition est le Système européen d'échange de quotas d'émissions de gaz à effet de serre (SEQE-UE) créé en 2005. Il vise à faire baisser les émissions grâce à la fixation d'un plafond global d'émissions divisé en quotas (droits à polluer) entre les différents acteurs pollueurs, en permettant aux acteurs qui émettent trop de racheter des quotas aux acteurs qui en ont en surplus. La distribution de quotas gratuits aux pollueurs a cependant limité son impact. La réforme de ce système doit permettre de supprimer progressivement les quotas gratuits, tandis que le prix du quota est amené à augmenter dans les prochaines années, ce qui pèsera davantage sur les coûts des acteurs et rendra leur transition plus évidente. Cette réforme sera complétée en 2026 par le Mécanisme d'Ajustement Carbone aux Frontières, qui vise à rétablir la compétitivité des produits bas-carbone européens face aux produits extra-européens non soumis au marché carbone.

LA DÉCARBONATION DE L'ACIER : UN ENJEU DE SOUVERAINETÉ ET UN ENJEU SANITAIRE

La production d'acier, concentrée sur les sites de l'entreprise ArcelorMittal à Fos-sur-Mer et Dunkerque en France, est indispensable à la souveraineté économique française et européenne. Le secteur approvisionne des industries stratégiques telles que l'automobile, la défense, mais aussi toutes les technologies permettant la transition énergétique. Ainsi, sans industrie sidérurgique française, les ambitions de réindustrialisation décarbonée de la France dépendront largement de puissances étrangères. Or, après 2030, le prix atteint par le quota d'émission du dioxyde de carbone rendra la production d'acier carboné trop

chère pour les producteurs européens. C'est particulièrement le cas pour les sites sidérurgiques anciens dont les infrastructures ne sont pas du tout adaptées à ces normes et menacées d'obsolescence dans un avenir proche si aucun investissement n'y est fait. Ainsi, plusieurs haut-fourneaux à Fos et Dunkerque sont actuellement à l'arrêt et tous risquent de l'être d'ici 2030.

L'enjeu de la qualité de l'air n'apparaît cependant pas dans les objectifs de décarbonation industrielle. Les solutions les plus fréquemment avancées correspondent à la filtration de l'air (via des filtres à poussière qui aspirent et stockent les poussières plutôt que de la rejeter dans l'environnement), à la réutilisation ou élimination des gaz, et à des bonnes pratiques pour le stockage des matériaux émetteurs de poussières (confinement ou utilisation de l'eau pour éviter leur envol). Des processus de surveillance des fumées sont mis en place, avec par exemple des caméras de vidéo-surveillance. Enfin, les installations de la cokerie peuvent être régulièrement modernisées pour éviter les émissions diffuses. Ces mesures nécessitent des investissements et une maintenance régulière et ne sont pas infaillibles, c'est par exemple le cas des filtres à poussière qui peuvent relâcher toute la poussière en cas de panne. **La qualité de l'air gagne à être abordée sous un angle plus systémique, en envisageant la décarbonation des activités comme une solution aux enjeux environnementaux et sanitaires.** Pour ce faire, il existe plusieurs technologies, parmi lesquelles le développement de la filière électrique pour recycler l'acier, l'usage d'hydrogène vert pour décarboner la filière haut-fourneau ou la capture et le stockage des émissions de CO₂.

Actuellement, la filière électrique est la moins carbonée, car les fours électriques (Electric Arc Furnace) utilisent de l'électricité et produisent l'acier à partir de ferraille recyclée. Du point de vue sanitaire, cette filière est intéressante, car elle permet d'éviter les émissions de polluants de l'agglomération, de la cokerie et des hauts-fourneaux.

Une deuxième voie consiste à décarboner la filière haut-fourneau (Blast Furnace-Basic Oxygen Furnace) en remplaçant le coke par d'autres intrants pour pouvoir pré-réduire le minerai de fer sous formes de briquettes appelées Direct Reduced Iron (DRI). Cette pré-réduction s'obtient par différents moyens. Dans sa version la plus commune, le DRI est obtenu grâce au remplacement du coke par du gaz naturel, qui émet moins de CO₂. Une autre manière de réduire le minerai consiste à utiliser de l'hydrogène "vert" (produit avec de l'électricité obtenue via une source d'énergie renouvelable) qui ne produit ainsi aucune émission de gaz à effet de serre. Une fois obtenu, ce matériau peut être fondu directement dans un four électrique (EAF) de la filière électrique et mélangé à de la ferraille recyclée. **La combinaison du DRI et de la filière électrique correspond à la voie "DRI-EAF", qui est particulièrement intéressante pour conserver des emplois et préserver la souveraineté française.** En effet, les fours électriques à eux seuls représentent moins d'emplois que la filière DRI-EAF dans son ensemble (les briquettes de DRI peuvent être importées de l'étranger, mais peuvent être produites dans de moins bonnes conditions sociales et environnementales). Dans son Plan d'action, la Commission européenne encourage cette filière via l'introduction de critères dans les marchés publics et le financement de la recherche et du déploiement de ce type de projet. La transformation de cette filière a l'avantage de permettre la production d'acier vierge non recy-

clé, tout en se passant des émissions de l'agglomération, de la cokerie et des hauts-fourneaux.

À ces deux filières s'ajoutent fréquemment les technologies visant à capturer et stocker le CO₂ (Carbone Capture and Storage) émis lors de la production traditionnelle de l'acier. Toutefois, ce procédé n'est pas intéressant du point de vue sanitaire, car il ne permet pas de traiter les polluants qui continuent à être émis par la filière haut-fourneau et n'est économiquement pas viable en France, étant donné la vétusté des hauts-fourneaux.

3. ArcelorMittal: une multinationale à contre courant des enjeux sanitaires et écologiques

Une stratégie d'entreprise qui vacille entre aides d'Etat et dumping social

Né d'une fusion entre le groupe européen Arcelor et le groupe indien Mittal Steel en 2006, ArcelorMittal est présent dans plus de 60 pays, ce qui lui permet de contrôler l'ensemble de sa chaîne de valeur (extraction minière, fabrication, finition et ventes sur plusieurs continents...) et fait de lui un acteur stratégique du commerce mondial de l'acier. Avec 54 milliards d'euros de chiffre d'affaires et 1,17 milliard d'euros de bénéfices nets en 2024, le numéro 2 mondial du secteur présente une structure financière saine, ainsi qu'une bonne capacité d'investissement, qui se traduit par un engagement ambitieux d'atteindre la neutralité carbone en 2050. La structure actionnariale internationale du groupe, ainsi que sa gouvernance répartie entre l'Europe, l'Inde et les États-Unis, l'amènent à évoluer dans un cadre fortement influencé par des logiques économiques globales.

Dans ce contexte, les décisions stratégiques (investissements, fermetures de sites, délocalisations, etc.) répondent principalement à des impératifs de performance économique, ce qui peut parfois limiter la prise en compte de certains enjeux locaux ou environnementaux. À cet effet, malgré des engagements RSE ambitieux sur ses émissions de CO₂, les résultats restent pour l'instant en deçà des objectifs affichés. Selon l'ONG Steelwatch, les émissions de gaz à effet de serre de l'entreprise n'ont baissé que de 5,4 % à l'échelle mondiale et de 5,0 %²⁵ en Europe au cours des cinq dernières années, alors que l'entreprise vise une réduction de 25 % à l'échelle mondiale et de

35 % en Europe d'ici 2030.

ArcelorMittal est également l'une des entreprises du secteur ayant le plus profité du système européen d'échanges de quotas carbone en termes de valeur financière. Le géant de l'acier a reçu l'équivalent de plus de 3,8 milliards d'euros de droits à polluer gratuits en 2023 (environ 140 % de ses émissions réelles)²⁶. Aussi, les bénéfices exceptionnels dégagés via la revente de quotas carbone au fil des années sont nettement supérieurs aux montants réellement investis pour la transition énergétique. **Seuls 800 millions de dollars ont été injectés dans la décarbonation entre 2021 et 2024**, selon ses rapports annuels, ce qui représente **16 % des 5 milliards²⁷ de dollars d'investissement initialement prévus dans la décarbonation** au cours de cette décennie en vue d'atteindre son objectif de réduction des émissions d'ici 2030.

Par rapport à certains concurrents (les allemands SHS et Salzgitter ont déjà des unités DRI en construction), son engagement reste faible, voire inexistant en Europe. En effet, depuis 20 ans, les usines françaises, allemandes, belges, italiennes et espagnoles de l'aciériste souffrent d'un désinvestissement massif qui menace la compétitivité européenne sur le marché de l'acier. Malgré un soutien financier considérable octroyé par l'Union Européenne et ses États membres pour la décarbonation des usines, la durée de vie des hauts-fourneaux est régulièrement prolongée à

²⁵ SteelWatch. *Backtracking on Climate Action: ArcelorMittal Corporate Climate Assessment 2025*

²⁶ Carbon Market Watch & WWF *A Clean Industrial Revolution in Europe: How the EU Carbon Market can accelerate Decarbonisation by making Polluters Pay*, février 2025

²⁷ SteelWatch. *Backtracking on Climate Action: ArcelorMittal Corporate Climate Assessment 2025*

travers des opérations de relining, contribuant ainsi à retarder le développement de l'acier décarboné. L'absence de travaux malgré les nombreuses aides européennes allouées à la reconversion des sites de production d'ArcelorMittal montre à quel point la politique d'investissement interne répond aux exigences de rentabilité à court terme. Plutôt que de moderniser ses usines, le groupe privilégie ainsi la survie d'un système de production basé sur les énergies fossiles :

- Malgré une subvention de 1,3 milliard d'euros pour la décarbonation des usines de Brême et de Eisenhüttenstadt en Allemagne, ArcelorMittal a annoncé en juin 2025 le refus d'entériner leur décarbonation tout en lançant par la même occasion le relining d'un haut-fourneau à Bremen ;
- L'Espagne a engagé 460 millions d'euros pour décarboner partiellement l'aciérie de Gijón, un projet gelé par ArcelorMittal depuis juin 2025 ;
- En dépit d'un soutien de 880 millions d'euros pour la décarbonation du site de Gand en Belgique, l'un des hauts-fourneaux qui devait être mis hors service d'ici 2030 a été rééquipé en 2021, repoussant son exploitation de 15 à 20 ans. Parallèlement, l'entreprise a annoncé mettre en pause le projet de construction d'un four DRI en mars 2025.

Ces financements publics ont non seulement vocation à atteindre la neutralité carbone en 2050 mais ont aussi pour objectif de sauvegarder l'industrie européenne et ses emplois. Sur ce point, l'industriel a déclenché une forte mobilisation politique en 2025 en France. **L'annonce d'un vaste plan social prévoyant la suppression de 636 postes (pour partie délocalisés en Inde) répartis sur sept sites du nord de la France, dont Dunkerque**, a en effet cristallisé les tensions entre le géant de l'acier et le monde politique. Nombre

d'élus à gauche comme à droite ont sommé l'État de réagir, allant jusqu'à évoquer une nationalisation si le maintien des emplois n'était pas garanti. Quelques jours après l'annonce du plan social, l'entreprise a déclaré vouloir investir 1,2 milliard d'euros dans un four électrique à Dunkerque, un projet de décarbonation revu à la baisse par rapport aux ambitions initiales de l'entreprise et soumis à plusieurs conditions (réforme du Mécanisme d'Adjustement Carbone aux Frontières, mise en place de quotas d'importation, etc). ArcelorMittal se permet aujourd'hui de supprimer massivement des emplois tout en posant ses propres conditions à l'État et à l'Union européenne pour engager la décarbonation de son activité, alors même que l'entreprise bénéficie depuis des années d'un soutien public constant, sous forme d'aides financières et de crédits d'impôt comme en témoigne l'enquête menée par Disclose²⁸ :

- Plus de 392 millions € d'aides publiques ont été versées par l'État entre 2013 et 2024, incluant subventions, prêts à taux préférentiel, 192 millions € de crédits d'impôt, 100 millions € d'aides à l'électricité, 4,5 millions € de l'ADEME en 2018, et 56 millions € pour la modernisation des installations ;
- En 2023, ArcelorMittal France a reçu près de 300 millions €²⁹ d'aides publiques supplémentaires ;
- De plus, une aide exceptionnelle de 850 millions € a été annoncée en janvier 2024 pour la décarbonation des sites de Fos et Dunkerque, devant aboutir à la mise en service d'un four à arc électrique à Fos-sur-Mer ainsi qu'une unité DRI et deux fours électriques à Dunkerque dès 2027. ArcelorMittal n'a cependant pas encore lancé les travaux attendus, préférant investir à court terme dans son haut-fourneau n°4 à Dunkerque, pourtant destiné à être remplacé par des technologies bas carbone³⁰.

²⁸ Disclose, ArcelorMittal : un champion des émissions de CO2 biberonné aux aides publiques, 30 mars 2023

²⁹ Public Sénat, « Il est très difficile d'avoir un modèle économique qui tienne la route sans aucune aide, témoigne le président d'ArcelorMittal France » 26 juin 2025

³⁰ Francebleu, ArcelorMittal rénove son haut-fourneau de Dunkerque et tente de rassurer sur l'avenir, 19 juin 2025

ArcelorMittal a touché des centaines de millions d'euros d'argent public en France sans garantir l'emploi ou l'amélioration des procédés de production permettant une réelle diminution de son impact environnemental et sanitaire. Plusieurs syndicats (CFDT, CFE-CGC, CGT) dénoncent

à ce titre un rapport de force déséquilibré entre l'Union Européenne, l'État et ArcelorMittal, qui exercerait une forme de chantage pour financer la rénovation de ses infrastructures et protéger ses parts de marché sur le vieux continent.

Des réalités industrielles bien éloignées des exigences réglementaires

Au-delà de ses plans sociaux controversés, ArcelorMittal a été impliqué ces dernières années dans plusieurs affaires judiciaires pour non-respect de la réglementation. Le cas des déversements illégaux d'acide à Florange illustre comment un industriel peut contourner ses obligations environnementales sans réelles conséquences. Dès 2015, la DREAL Grand-Est avait constaté des rejets d'acide sulfurique dans la Fensch, liés à la cokerie de Serémange-Erzange. Malgré une mise en demeure en 2016, les fuites ont persisté jusqu'à leur dénonciation publique par un chauffeur intérimaire en 2019. Une enquête a été ouverte, mais ArcelorMittal a finalement été relaxé et les poursuites abandonnées en 2021, sans aucune sanction ni indemnisation.

Le scandale de Florange n'est pourtant pas un cas isolé et s'inscrit dans une longue série d'abus en partie expliqués par l'état de vétusté avancé des appareils de production. L'entreprise a déjà été épinglée à plusieurs reprises pour des dépassements de seuils de pollution de l'air, notamment par la DREAL PACA qui a constaté 36 épisodes de pollution atmosphérique de 2013 à 2018³¹ sur l'usine de Fos-sur-Mer, pour des rejets de benzène (jusqu'à 10 fois la limite autorisée), d'oxydes d'azote et de poussières. Entre 2014 et 2021, le site de Fos-sur-Mer a fait l'objet de 4 arrêtés de

mise en demeure concernant les rejets de polluants atmosphériques, pour finalement écoper d'une amende de 15 000 € ainsi que d'une astreinte de 1 500 €/jour jusqu'à la complète mise en conformité du site. En 2020, soit 3 ans après le dernier arrêté de mise en demeure³² ayant fait l'objet d'une première condamnation, l'État inflige une nouvelle amende à l'industriel pour des dépassements toujours significatifs de poussières, en violation de ce même arrêté.

Ce type de sanction est rare et moyennement efficace, puisqu'il a fallu pas moins de 6 ans avant que la mise en conformité de l'usine de Fos soit effective grâce à un investissement dans des procédés de réduction des poussières. D'autre part, le cas de Fos-sur-Mer reste singulier, dans la mesure où les sanctions qui ont suivi ont largement été soutenues par la mobilisation citoyenne, notamment par la voix de France Nature Environnement (FNE Provence Alpes Côte d'Azur et FNE Bouches-du-Rhône) qui a assigné en justice l'industriel pour les 36 infractions environnementales relevées par la DREAL³³. Les 30 000 euros d'amende dus à l'issue de ce procès n'ont pour autant pas empêché l'industriel de réitérer. En effet, en 2023, France Nature Environnement a de nouveau saisi la justice pour des dépassements de seuil de pollution à Fos-sur-Mer (en 2022 les rejets de

³¹ France Nature Environnement, *Fos-sur-Mer : nous assignons en justice ArcelorMittal pour 36 infractions à l'environnement*, 18 décembre 2018

³² Marsactu, *ArcelorMittal dépasse les seuils de pollution 240 jours par an malgré les millions de l'État*, 10 mars 2023

³³ France Nature Environnement, *« ArcelorMittal Méditerranée condamnée : victoire pour la santé et l'environnement »*, 29 septembre 2022

particules fines de l'usine ont été relevés au-dessus des normes pendant 240 jours³⁴), mais aussi à Dunkerque, dont le site a fait l'objet de 7 mises en demeure entre 2021 et 2022 pour non-respect des règles de prévention de la pollution de l'air. Tant que les sanctions restent faibles par rapport aux coûts de mise aux normes, il peut être plus rentable de payer les sanctions que de rénover des équipements datant des années 1960 à 1980, dont la modernisation coûterait plusieurs millions d'euros.

Ces assignations en justice s'appuient sur des éléments concrets issus des inspections d'autorités publiques. Cependant, l'évolution du nombre de contrôles réalisés chaque année par l'inspection des ICPE est jugée inquiétante selon la Commission d'enquête sénatoriale chargée d'évaluer la gestion des conséquences de l'incendie de l'usine Lubrizol (les contrôles ont diminué de 28 % entre 2003 et 2018)³⁵. De plus, ces rapports représentent seulement une partie de la surveillance réelle des usines, l'essentiel des données de polluants émis étant collecté par les industriels eux-mêmes. Or, dans un rapport publié en février 2024³⁶, la Cour des comptes critique l'efficacité de ces autocontrôles. Elle souligne que ce système présente un risque de sous-déclaration des polluants et dénonce le manque de moyens des services publics pour vérifier ces déclarations, ainsi que des sanctions trop faibles en cas de non-respect des normes. Cette position trouve un écho concret dans une affaire judiciaire récente puisque la CGT et la CFDT ArcelorMittal Fos ont déposé en 2018 une plainte pour soupçon de falsification de données environnementales. Selon les syndicats, certaines données de surveillance, notamment sur les rejets atmosphériques, auraient été altérées ou sous-estimées avant transmission à

l'État. Cette plainte, initiée par un collectif d'organisations et d'habitants, visait également des infractions pour "Mise en danger de la vie d'autrui" et atteintes au Code de l'environnement.

³⁴ **Marsactu**, *ArcelorMittal dépasse les seuils de pollution 240 jours par an malgré les millions de l'État*, 10 mars 2023

³⁵ **Sénat**, *Risques industriels : prévenir et prévoir pour ne plus subir, rapport d'une commission d'enquête, n° 480 (2019-2020), tome I*, 2 juin 2020.

³⁶ **Cour des comptes**, *La gestion des risques liés aux installations classées pour la protection de l'environnement dans le domaine industriel, rapport public annuel*, février 2024

4. Mesures de pollution aux abords des usines d'Arcelormittal

Au printemps 2025, l'association Respire a mené une enquête de terrain afin de mieux comprendre la pollution de l'air ambiant dans les environs des zones industrielles de Dunkerque et de Fos-sur-Mer, avec une attention particulière portée sur les émissions atmosphériques de l'entreprise ArcelorMittal. Deux campagnes de mesure de pollution de l'air ont permis de quantifier les niveaux de particules fines $PM_{2,5}$ et de PM_1 aux abords des usines sidérurgiques de la multinationale, afin d'estimer l'influence de ses rejets industriels sur la qualité de l'air local.

Pour rappel, les particules fines $PM_{2,5}$ (diamètre inférieur à 2,5 micromètres) et PM_1 (diamètre inférieur à 1 micromètre) présentent des risques sanitaires importants. En raison de leur petite taille, elles peuvent pénétrer profondément dans les voies respiratoires, entraînant des maladies respiratoires, cardiovasculaires et aggravant des pathologies préexistantes comme l'asthme.

L'objectif de ces campagnes est de faire des "instantanés" sur les niveaux de pollution, c'est-à-dire regarder les différentes valeurs dans et en dehors du panache à différents endroits et pour quelques moments donnés. **Cette démarche, avec la possibilité de déplacer les capteurs en fonction des conditions météorologiques, permet de mettre en évidence des phénomènes qui pourront nécessiter ultérieurement des études sur de plus longues périodes de temps.**

Conditions météorologiques

Les conditions météorologiques influencent directement la dispersion, l'accumulation et le transport des particules fines dans l'air. Plus particulièrement, la vitesse et la direction du vent sont des facteurs clés pour interpréter correctement les concentrations mesurées. Pour garantir la fiabilité des mesures, les campagnes à Dunkerque et Fos-sur-Mer ont donc été réalisées en surveillant en continu les conditions météorologiques. Les données météorologiques utilisées proviennent des stations certifiées par Météo-France les plus proches : celle du Sémaphore de Dunkerque et celle d'Istres. Lorsque les stations étaient absentes à proximité des sites de mesure, nous avons complété les observations avec les données ERA5. Ce jeu de données, produit par le Centre Européen pour les Prévisions Météorologiques, combine observation et modélisation pour fournir des informations fiables sur la vitesse et la direction du vent.

Il convient de souligner que ces mesures peuvent être influencées par des variations ponctuelles, telles que des rafales de vent, liées à des phénomènes locaux comme les vents thermiques (dus aux différences de température terre/mer) ou aux rapides variations météorologiques à grande échelle. Sur le terrain, les variations locales ont aussi été prises en compte, car elles peuvent modifier rapidement la dispersion des polluants et fausser temporairement les relevés. De plus, les fluctuations observées peuvent être proches de la marge d'incertitude des instruments utilisés. Une vigilance particulière a donc été apportée à l'analyse des données afin d'assurer la robustesse des résultats obtenus.

Instrument de mesure LOAC2/Livepollution

Les mesures ont été réalisées à l'aide de deux compteurs d'aérosols LOAC2/LivePollution (Light Optical Aerosols Counter). Cet instrument permet d'obtenir les concentrations massiques en PM_{2,5}, ainsi qu'une classification des types de particules présentes en fonction de leur nature. Il utilise une technologie de comptage optique pour détecter et analyser les particules de tailles variées, allant de 0,15 à 50 µm. La précision des mesures est inférieure à 2 µg/m³. Ce dispositif est aussi capable de différencier les particules en fonction de leur typologie (liquide, salée, minérale, carbonée). Tout au long de ce rapport, les deux dispositifs de mesure LOAC2/LivePollution sont désignés respectivement comme **LOAC 1** et **LOAC 2** afin de faciliter leur distinction dans l'analyse.



FIGURE 1 : Dispositif portable LOAC2/LivePollution pour la surveillance des concentrations en particules fines

Conditions de mesure

Les campagnes de mesure se sont déroulées respectivement :

- Du 14 au 18 avril 2025 à Dunkerque ;
- Du 9 au 13 juin 2025 à Fos-sur-Mer.

Pour garantir la fiabilité et la représentativité des données, un protocole strict a été appliqué lors de cette campagne de mesure. Un système portable a été spécialement développé avec une valise de transport afin d'être déployé sur le terrain (Figure 1). L'ensemble est alimenté par une batterie automobile 12V, assurant une autonomie suffisante pour les opérations de mesure en site isolé.

Afin de minimiser les biais de mesure, les emplacements choisis présentent des caractéristiques favorables : **zones dégagées**, avec peu ou pas d'obstacles naturels (forêts, reliefs importants) ou anthropiques (bâtiements élevés) à proximité. De plus, une attention particulière a été portée à l'éloignement des sources de pollution extérieures de la cible de l'étude, notamment le trafic routier dense ou les activités industrielles autres que la sidérurgie, afin de limiter la contamination externe des mesures.

Les figures ci-dessous (figure 2 et figure 3), permettent de visualiser la répartition géographique des points de mesure en lien avec la position de la station météorologique, accompagnées d'un tableau récapitulatif des dates et des créneaux horaires de prélèvement (tables 1 et 2).

À Fos-sur-Mer, l'appareil LOAC supplémentaire a été positionné dans la direction opposée au vent dominant, permettant ainsi de comparer les concentrations mesurées en amont et en aval des sources. Cette comparaison est particulièrement intéressante, car elle aide à distinguer l'impact direct des émissions industrielles et les variations naturelles de la qualité de l'air. Les mesures ont été effectuées au même moment et sur la même durée que celles de l'autre LOAC.



FIGURE 2 : répartition géographique des points de mesure et de la station météorologique à Dunkerque

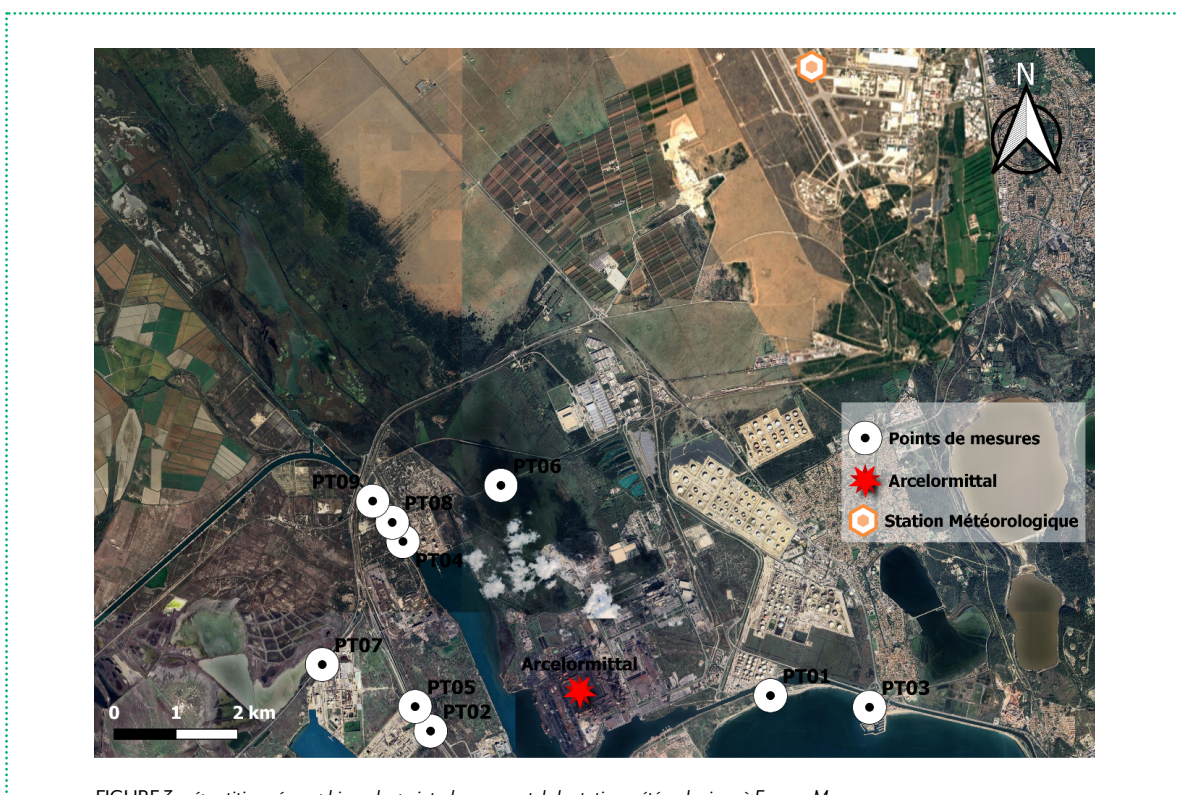


FIGURE 3 : répartition géographique des points de mesure et de la station météorologique à Fos-sur-Mer

Points de mesures	Date	Période	Lieu	Latitude	Longitude
Session 1 (PT01)	14/04/2025	Fin d'après-midi et soirée	Digue	51.0493362	2.2929866
Session 2 (PT02)	15/04/2025	Milieu d'après-midi	Square pour enfants	51.0356315	2.3056775
Session 3 (PT03)	15/04/2025	Fin d'après-midi	Zone Industrielle	51.0265412	2.2668867
Session 4 (PT04)	16/04/2025	Début de nuit	Digue	51.0492920	2.2947820
Session 5 (PT05)	16/04/2025	Début d'après-midi	Digue	51.0504191	2.3009762
Session 6 (PT06)	17/04/2025	Toute la nuit	Digue	51.0490502	2.2885013
Session 7 (PT07)	17/04/2025	Fin de matinée	Square pour enfants	51.0357304	2.3057362
Session 8 (PT08)	17/04/2025	Début d'après-midi	Zone Industrielle	51.026541	2.266887
Session 09 (PT09)	17/04/2025	Début de nuit	Digue	51.0465823	2.2790415
Session 10 (PT10)	18/04/2025	Toute la matinée	Digue	51.0488194	2.2906943

TABLE 1 : dates, créneaux horaires et coordonnées GPS de prélèvement à Dunkerque

Points de mesures	Date	Période	Lieu	Latitude	Longitude
Session 1 (PT01 et PT09)	09 et 10/06/2025	Soirée	Plage et canal	43.4318953 (PT1) et 43.4600079 (PT09)	4.9204705 (PT1) et 4.8410101 (PT09)
Session 2 (PT01 et PT02)	10/06/2025	Matinée	Plage et zone industrielle	43.4318953 (PT1) et 43.4267624 (PT02)	4.9204705 (PT1) et 4.8525818 (PT02)
Session 3 (PT07 et PT03)	11/06/2025	Nuit	Plage et zone industrielle	43.4363797 (PT07) et 43.4302068 (PT03)	4.8309337 (PT07) et 4.9402532 (PT03)
Session 4 (PT04 et PT01)	11/06/2025	Matinée	Canal et plage	43.4541592 (PT04) et 43.4318953 (PT01)	4.8470675 (PT04) et 4.9204705 (PT01)
Session 5 (PT03 et PT05)	11 et 12/06/2025	Soirée et nuit	Plage et zone industrielle	43.4302068 (PT03) et 43.4303030 (PT05)	4.9402532 (PT03) et 4.8494825 (PT05)
Session 6 (PT06 et PT01)	12/06/2025	Soirée	Zone industrielle et plage	43.4622736 (PT06) et 43.4318953 (PT01)	4.8666309 (PT06) et 4.9204705 (PT01)
Session 7 (PT04 et PT03)	12 et 13/06/2025	Nuit	Zone industrielle et plage	43.4541592 (PT04) et 43.4302068 (PT03)	4.8470675 (PT04) et 4.9402532 (PT03)
Session 8 (PT08 et PT03)	13/06/2025	Matinée	Canal et plage	43.4569242 (PT08) et 43.4302068 (PT03)	4.8449171 (PT08) et 4.9402532 (PT03)

TABLE 2 : dates, créneaux horaires et coordonnées GPS de prélèvement à Fos-sur-Mer

Les périodes de mesure ont été choisies par temps sec, sans perturbations météorologiques majeures (comme la pluie ou un vent trop fort), afin d'assurer des conditions optimales pour l'interprétation des données (tables 3 et 4). Les mesures ont été réalisées durant plusieurs heures, dans la direction du vent dominant et face aux sources de pollution industrielle, afin de collecter un volume de données suffisant et d'évaluer précisément les rejets.

Points de Mesure	Date	Vitesse du vent moyen (Km/h)	Rafale maximum de vent (Km/h)	Direction du vent
Session 1	14/04/2025	16,8 ± 4,5	30,4 ± 5	Sud à Sud-Est
Session 2	15/04/2025	10 ± 1,7	14,3 ± 3,5	Nord à Nord-Est
Session 3	15/04/2025	14,5 ± 4,9	22,5 ± 6,4	Nord-Est
Session 4	16/04/2025	16 ± 2	27,7 ± 2,1	Sud à Sud-Ouest
Session 5	16/04/2025	19,5 ± 3,5	37 ± 4,2	Sud-Ouest
Session 6	17/04/2025	8,2 ± 1,5	12,8 ± 0,7	Sud-Est à Sud
Session 7	17/04/2025	5 ± 1,4	9 ± 1,4	Ouest à Nord-Est
Session 8	17/04/2025	11,5 ± 3	16,5 ± 2,1	Nord
Session 9	18/04/2025	12 ± 3,5	18,3 ± 0,6	Est à Sud-Est
Session 10	18/04/2025	13,5 ± 1,9	20 ± 0,8	Sud-Est

TABLE 3 : conditions de vent pendant les périodes d'acquisition (station météorologique du Sémaphore de Dunkerque)

Points de mesure	Date	Vitesse du vent moyen (Km/h)	Rafale maximum de vent (Km/h)	Direction du vent
Session 1	09 et 10/06/2025	11,7 ± 0,8	23 ± 1,3	Nord-Ouest
Session 2	10/06/2025	10,4 ± 5,4	27 ± 9,1	Sud-Ouest à Ouest
Session 3	11/06/2025	6,8 ± 1,1	12,4 ± 2,5	Nord-Ouest à Ouest
Session 4	11/06/2025	14 ± 8,5	32 ± 15,6	Sud à Sud-Est
Session 5	11 et 12/06/2025	12,8 ± 1,9	25,8 ± 2,6	Sud-Est à Est
Session 6	12/06/2025	8 ± 0,0	16 ± 1,7	Sud-Est
Session 7	12 et 13/06/2025	5,5 ± 3,5	10,5 ± 6,4	Sud-Est à Nord
Session 8	13/06/2025	12 ± 0,0	31 ± 0,0	Sud

TABLE 4 : conditions de vent pendant les périodes d'acquisition (station météorologique d'Istres près de Fos-sur-Mer)

Méthodologie

Chaque période de mesure a été définie en tenant compte à la fois de la vitesse et de la direction du vent. Par exemple, pour la session du 14 avril 2025 (PT01) à Dunkerque, les mesures ont été effectuées depuis la digue, en raison de vents faibles à modérés soufflant en rafales depuis le sud/sud-est, dans l'axe d'ArcelorMittal. La même méthodologie a été appliquée systématiquement pour chaque période de mesure.

À Fos-sur-Mer, pour la première session démarrée le 9 juin 2025, les mesures ont été effectuées depuis la Plage du Cavaou (PT01) et d'autres mesures ont été réalisées à l'opposé, près du canal Arles à Bouc (PT09), en raison de vents faibles en rafale de secteur Nord-Ouest, orientés dans l'axe d'ArcelorMittal.

Sur les deux territoires, une procédure standardisée a été appliquée afin de distinguer les épisodes de concentration significative. La première étape consiste à estimer la valeur de fond locale, en éliminant les valeurs extrêmes susceptibles de biaiser la moyenne globale. Pour ce faire, seules les valeurs inférieures à la moyenne brute de la série sur la période considérée sont conservées, puis une moyenne de fond est calculée à partir de ces données filtrées, visibles sur la figure 4 (trait pointillé rouge pour le LOAC 1) et sur la figure 5 (trait pointillé en gras rouge pour le LOAC 1 et violet pour le LOAC 2).

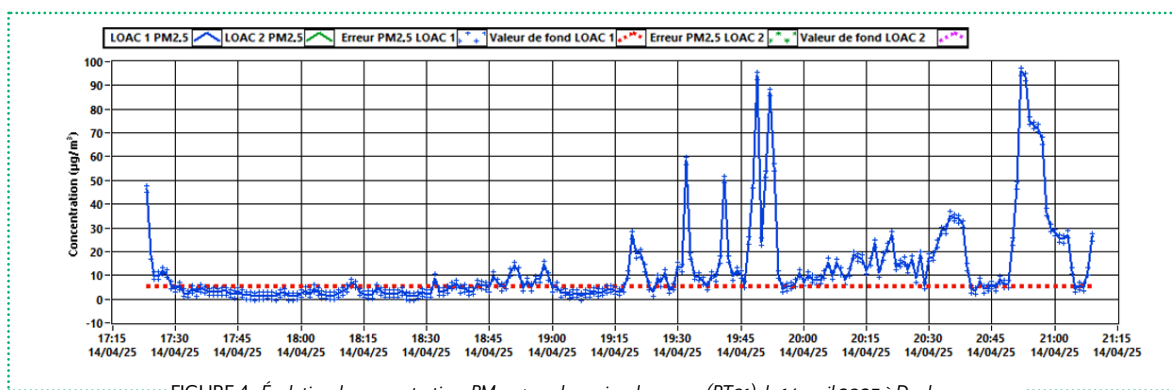


FIGURE 4 : Évolution des concentrations $PM_{2,5}$ pour la session de mesure (PT01) du 14 avril 2025 à Dunkerque

La figure 5 montre les mesures des deux appareils LOAC2/LivePollution (LOAC 1 en bleu et LOAC 2 en vert) pour la session n°1 : le LOAC 1 au point PT01, situé sur la plage du Cavaou, et le LOAC 2 au point PT09, au niveau du canal d'Arles à Bouc.

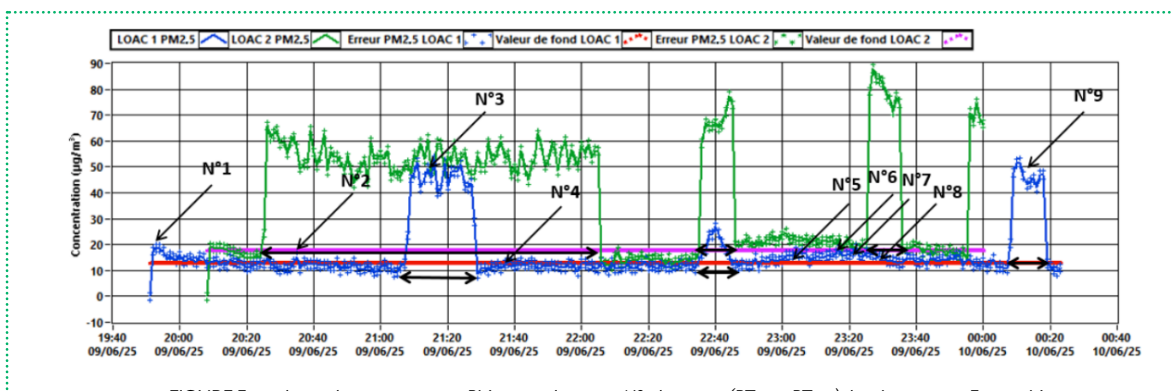


FIGURE 5 : évolution des concentrations $PM_{2,5}$ pour la session N°1 de mesure (PT01 et PT09) du 9 juin 2025 à Fos-sur-Mer

L'amplitude des pics est ensuite déterminée en prenant comme référence cette valeur de fond. L'amplitude correspond à la différence entre la concentration maximale observée lors d'un pic et la valeur de fond. Pour chaque événement identifié, les paramètres suivants sont extraits : l'amplitude du pic, ainsi que la concentration moyenne des pics pendant la durée de l'épisode. Cette méthode permet d'isoler et de caractériser de manière robuste les épisodes de pollution transitoires. Les tables 5 et 6 ci-dessous illustrent un exemple des valeurs d'amplitude pour le LOAC 1 au point N°1 (PTO1).

	Valeur de l'amplitude PM _{2,5} (µg/m ³)	Valeur moyenne des pics de pollution (µg/m ³)
Pic N°1	41,3	32,5
Pic N°2	9	14,1
Pic N°3	9,5	14,6
Pic N°4	21,8	19,6
Pic N°5	53,1	25,8
Pic N°6	45,3	27,9
Pic N°7	88,9	55,2
Pic N°8	21,8	18
Pic N°9	30,2	26,5
Pic N°10	90,7	51,5
Moyenne	41,2 ± 22,7	28,6 ± 10,7

TABLE 5 : valeur PM_{2,5} des amplitudes des événements sur la période de mesure au PTO1 de Dunkerque

	Valeur de l'amplitude PM _{2,5} (µg/m ³)	Valeur moyenne des pics de pollution (µg/m ³)
Pic N°1	6	18,1
Pic N°2	5,8	18
Pic N°3	40,1	44
Pic N°4	14,1	22,2
Pic N°5	4,4	17,2
Pic N°6	5,2	18
Pic N°7	5,7	17,7
Pic N°8	4,2	16,9
Pic N°9	39,1	44,2
Moyenne	13,8 ± 11,5	24,1 ± 9

TABLE 6 : valeur PM_{2,5} des amplitudes des événements sur la période de mesure au PTO1 de Fos

À Fos-sur-Mer, l'utilisation d'un second LOAC a permis d'effectuer une comparaison entre les deux appareils de mesure. Les résultats de cette comparaison pour la première session de mesure apparaissent ci-dessous.

LOAC 1 – Point PTO1 (entre la plage du Cavaou et l'usine ArcelorMittal) : le capteur LOAC 1, positionné entre la plage et l'usine ArcelorMittal, a enregistré un épisode de pollution entre 21h05 et 21h15, attribué à un panache de pollution visible sur le terrain (courbe en bleu, figure 5 ci-dessus). Un événement de torchage a ensuite été clairement identifié autour de 22h40, confirmé par des observations de terrain effectuées entre 22h35 et 22h45. Vers minuit, une nouvelle élévation des concentrations a été observée, coïncidant avec un embouteillage de camions citernes (figure 6), également rapporté lors des observations de terrain. Sur l'ensemble de la session, la concentration moyenne en particules fines $PM_{2,5}$ mesurée par LOAC 1 est de $16,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Les pics de pollution ont atteint une concentration moyenne de $24,1 \pm 9 \mu\text{g}/\text{m}^3$, tandis que la valeur de fond a été estimée à $12,7 \pm 1,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$, soit un différentiel moyen de $11,4 \pm 5,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

LOAC 2 – Point PTO9 (à proximité du canal, secteur sud) : le capteur LOAC 2, installé à proximité du canal, ne présente pas de sources industrielles immédiates dans l'axe du vent dominant (nord-ouest). Cependant, plusieurs installations industrielles (Air Liquide, Ascometal, ArcelorMittal) sont visibles depuis le site, en direction sud. Une période prolongée de pollution continue a été enregistrée, avec des concentrations similaires à celles observées par le LOAC 1, atteignant des valeurs proches de $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Plusieurs pics majeurs ont dépassé les $70 \mu\text{g}/\text{m}^3$, et la concentration moyenne sur la période atteint $39,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$. La concentration moyenne de fond est estimée à $16,5 \pm 12,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$, tandis que les pics de pollution présentent une concentration moyenne très élevée de $61,7 \pm 23 \mu\text{g}/\text{m}^3$. La session a duré 232 minutes, dont 125 minutes (soit 54 % du temps) ont été marquées par une exposition à des concentrations élevées en particules fines.

L'écart entre les concentrations lors des pics de pollution et la pollution de fond est nettement plus marqué pour le LOAC 2 ($33,2 \pm 2,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$) que pour le LOAC 1 ($11,4 \pm 5,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$), traduisant une exposition plus intense et plus prolongée aux émissions locales au point PTO9. De plus, la concentration moyenne de fond mesurée par le LOAC 2 ($51,0 \pm 1,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$) est plus élevée que celle du LOAC 1 ($24,1 \pm 9 \mu\text{g}/\text{m}^3$), indiquant une pollution ambiante de fond plus persistante dans le secteur du canal. Ces résultats soulignent des **contrastes significatifs entre les deux sites**, reflétant des dynamiques locales d'émissions différentes, probablement influencées par la configuration industrielle, le trafic et les conditions de dispersion atmosphérique.

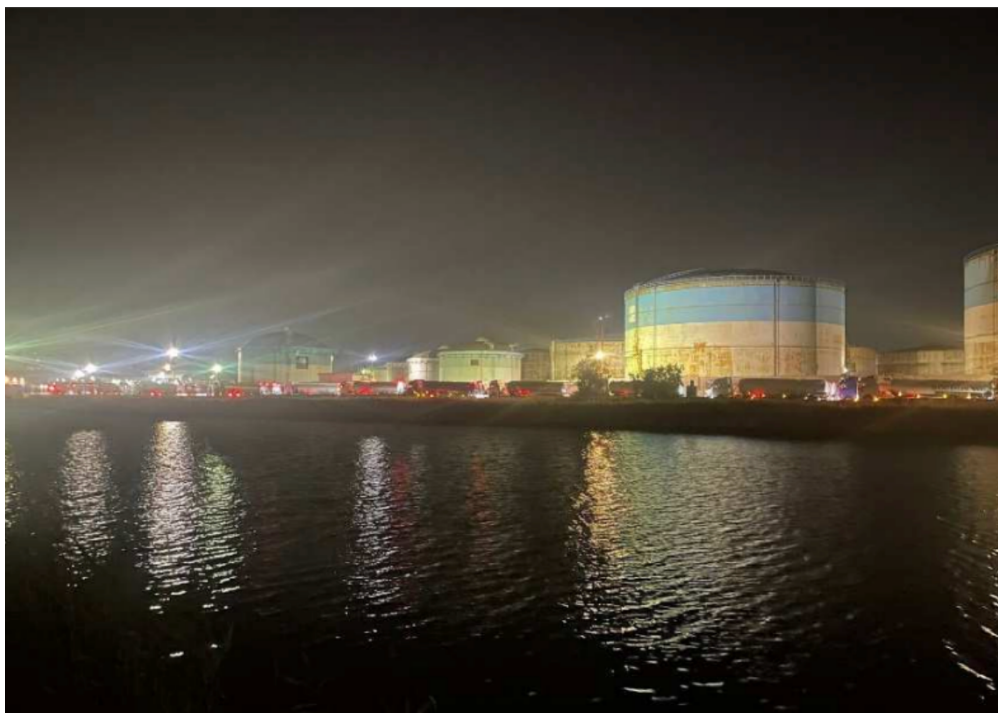


FIGURE 6 : embouteillage de camions citernes à proximité du site d'ArcelorMittal près du point PTO1, plage du Cavaou à Fos

Concernant l'analyse de la typologie des particules, celle-ci a été systématiquement réalisée pour chaque période de pic de pollution des deux territoires. Lors de la session n°1 (PTO1) du 14 avril 2025 (site PTO1) à Dunkerque, une prédominance de minéral optiquement absorbant a été observée. Il peut s'agir d'un mélange de poussières et de carbone organique. Ce type de particules, généralement associé à des poussières contenant des oxydes métalliques ou à des produits de combustion industrielle, peut s'expliquer par la configuration locale, le dispositif de mesure étant positionné dans l'axe du vent dominant depuis la zone industrielle, en particulier depuis le site ArcelorMittal, vers le capteur. Lors de la session n°1 (PTO1 et PTO9) du 9 juin 2025 à Fos-sur-Mer, une prédominance de carbone noir a été observée. Ce type de particules est principalement issu de la combustion de combustibles fossiles (diesel, fioul, charbon), et ses sources typiques incluent le trafic routier, les installations industrielles et les incendies.

Analyse des PM_{2,5} par session

CAMPAGNE DE DUNKERQUE

Lors de la **session PTO2**, aucun pic net de concentration n'a été observé. En revanche, les niveaux de PM_{2,5} sont demeurés élevés et relativement stables sur l'ensemble de la période de mesure. Les conditions météorologiques étaient caractérisées par un vent de surface très faible, proche de 10 km/h, avec une légère intensification en fin de session. Quelques fluctuations de concentrations ont été enregistrées en lien avec ces faibles mouvements d'air, mais sans apparition de pics significatifs. La mesure a été effectuée à proximité immédiate d'un square pour enfants (figure 8), soulignant l'importance sanitaire d'une telle exposition dans une zone fréquentée par des populations sensibles. La concentration moyenne de PM_{2,5} s'élève à 18,6 µg/m³, avec une valeur moyenne de 21,8 ± 2 µg/m³ durant la phase de pollution définie ici comme la période au-dessus de la valeur de fond. La pollution de fond a été estimée à 12,3 ± 4,6 µg/m³. La session a duré 85 minutes, dont 45 minutes (soit environ 51 % du temps total) ont été marquées par une exposition à une concentration soutenue en particules fines. La typologie des particules prélevées durant cette session révèle la présence dominante de minéral absorbant optique, indiquant probablement un impact direct des panaches émis par les activités industrielles (ArcelorMittal), situées dans l'axe du vent durant la période de mesure.

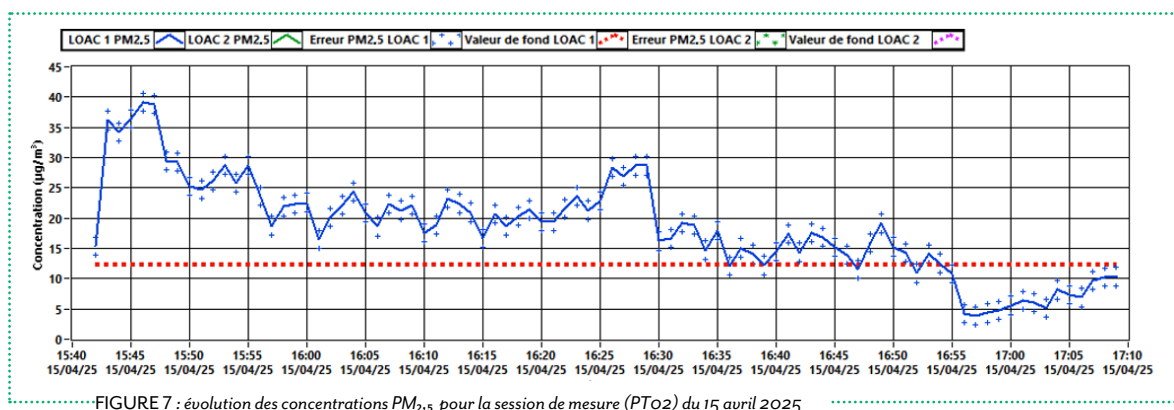


FIGURE 8 : zone de l'espace naturel sensible des Salines de Fort-Mardyck, près du square pour enfants (PTO2)

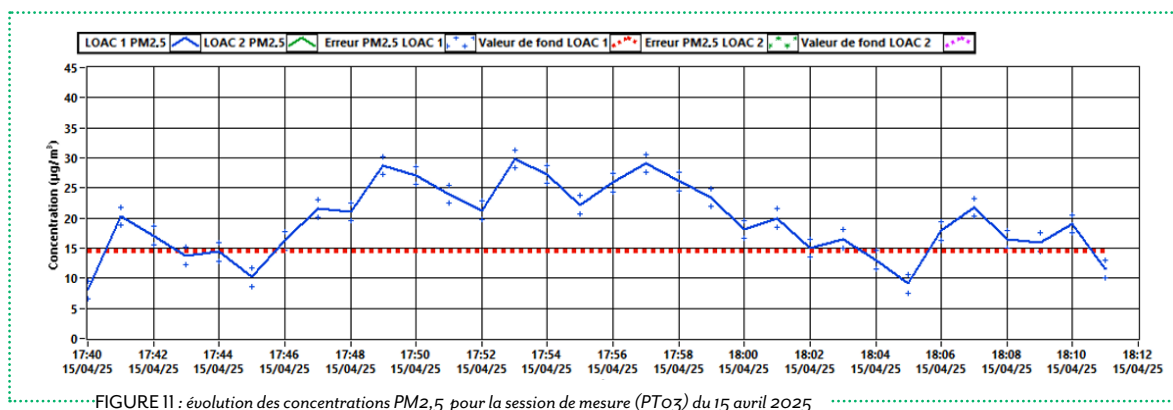
Une autre **session de mesure (PTO3)** a été réalisée en fin d'après-midi, cette fois au sein de la zone industrielle, à une distance d'environ 1,2 km d'ArcelorMittal. L'environnement immédiat était marqué par un dépôt très important de poussière noire visible sur les grillages (figure 9), tandis que plusieurs installations industrielles étaient actives au moment des mesures : deux cheminées allumées laissant apparaître des flammes et trois cheminées émettant des panaches visibles, dont l'une a été identifiée comme appartenant à la cokerie d'ArcelorMittal (figure 10) située à 2,2 km dans l'axe du vent. Bien qu'aucun pic de concentration significatif n'ait été observé, les enregistrements révèlent une période prolongée de pollution forte, marquée par des niveaux élevés de particules fines (figure 11). La concentration moyenne de $PM_{2,5}$ durant cette phase s'élève à $24,4 \pm 3,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$, ce qui constitue un niveau préoccupant. Sur les 32 minutes de mesure, 16 minutes (soit 50 % du temps) ont été caractérisées par une exposition soutenue à une pollution élevée. La typologie des particules identifiées indique une prédominance de minéral absorbant optique, traduisant un impact direct des activités industrielles. La session a été interrompue par l'arrivée de précipitations, qui ont modifié les conditions atmosphériques et perturbé la continuité de l'enregistrement.



FIGURE 9 : dépôt de poussières noires sur le grillage, au point de mesure PTO3



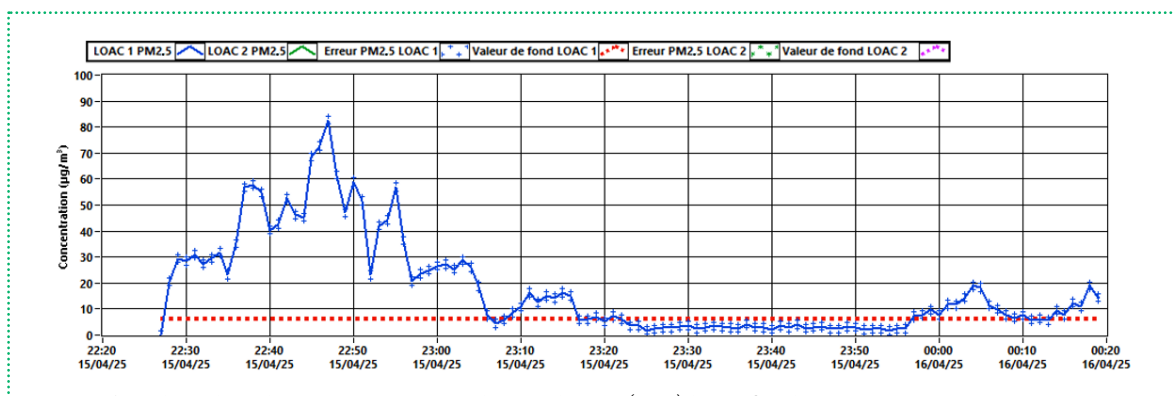
FIGURE 10 : panaches de fumée visibles sur le terrain, au point de mesure PTO3



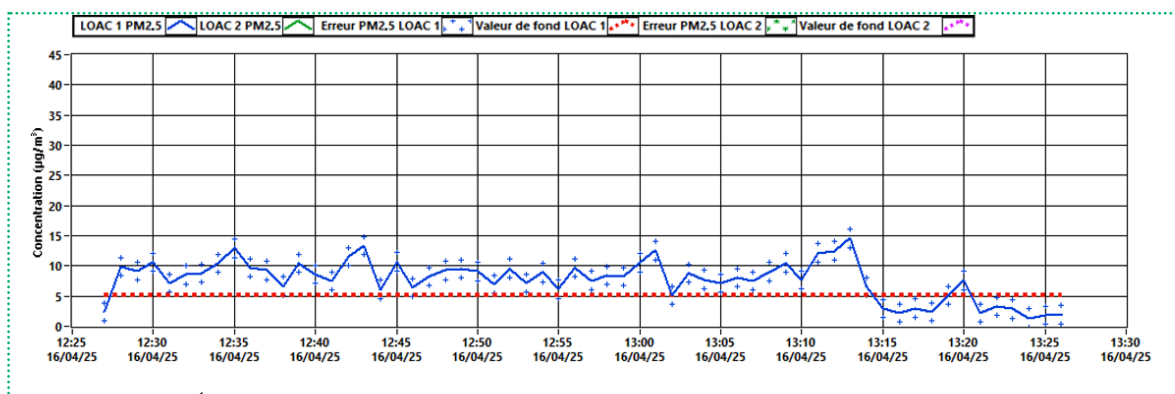
La session au point de mesure PTO4 a été réalisée dans la nuit du 15 au 16 avril 2025, depuis la digue, avec une orientation initiale du vent au sud, évoluant progressivement vers le sud-ouest en fin de mesure ce qui plaçait le site d'échantillonnage directement sous l'influence de la zone industrielle, et plus spécifiquement de la cokerie. Sur le terrain, des observations visuelles ont confirmé une forte activité industrielle : un panache dense de fumée blanche a été émis peu après l'allumage d'une cheminée, accompagné d'une flamme importante (figure 12). La cokerie était alors partiellement noyée dans une nappe de fumée continue, traduisant une charge de pollution locale significative (figure 13). Le capteur LOAC2/LivePollution était positionné directement sous le panache de cette installation. Les mesures indiquent une concentration moyenne des pics de $PM_{2,5}$ de $23,5 \pm 8,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Sur l'ensemble de la session, 41 minutes soit environ 37 % du temps total de mesure, ont été marquées par des niveaux élevés de particules fines, bien supérieurs à la pollution de fond. À partir de 23h20, un renforcement du vent a été observé, ce qui a coïncidé avec une diminution progressive des concentrations, suggérant une meilleure dispersion des polluants dans l'atmosphère (figure 13). Enfin, l'analyse typologique des particules révèle une nouvelle fois une dominance de minéral absorbant optique, traduisant probablement une contribution directe des émissions industrielles situées dans l'axe du vent.



FIGURE 12 : panaches de fumée (gauche) et brouillard de fumée (droite), au point de mesure PTO4

FIGURE 13 : évolution des concentrations $PM_{2,5}$ pour la session de mesure (PTO4) du 15 et 16 avril 2025

La période de mesure au point PTO5, réalisée depuis la digue, s'est déroulée sous un vent de surface modéré accompagné de rafales atteignant jusqu'à 40 km/h. Aucun pic de pollution important n'a été observé durant cette période (figure 14). La concentration moyenne de fond en $PM_{2,5}$ s'établit à $5,1 \pm 2,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$, un niveau faible comparable à celui d'autres phases peu exposées. Ce cas illustre clairement l'effet dispersif d'un vent soutenu, limitant efficacement l'accumulation de particules dans l'atmosphère. La typologie a révélé une prévalence de particules minérales absorbantes, indiquant une probable influence directe des poussières issues des infrastructures avoisinantes.

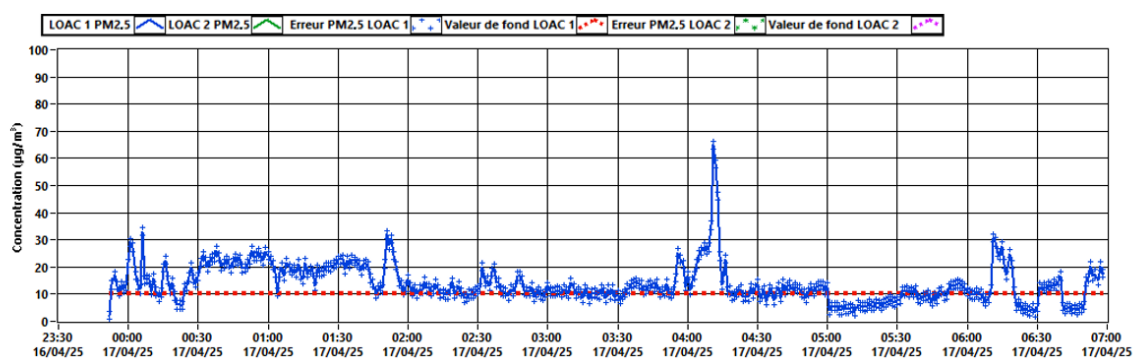
FIGURE 14 : Évolution des concentrations $PM_{2,5}$ pour la session de mesure (PTO5) du 16 avril 2025

La session au point de mesure PTO6 a été marquée par une très longue période de mesure continue tout au long de la nuit sur la digue. Le vent est resté relativement constant, avec une vitesse stable autour de 8 km/h et une direction peu variable, favorisant l'accumulation locale des émissions.

Sur le terrain, un brouillard industriel dense a recouvert la digue, révélant successivement des émissions de fumées blanches puis jaunes issues de la cokerie en activité (Figure 15). L'analyse des données met en évidence plusieurs pics et périodes prolongées de pollution. Sur l'ensemble de la session, 29 % du temps a été marqué par des concentrations élevées, avec une valeur moyenne d'amplitude de $15,8 \pm 7,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en $PM_{2,5}$ (Figure 16). La typologie des particules prélevées durant ces phases confirme la présence de minéral absorbant optique, indicateur probable d'un apport direct des émissions industrielles situées dans l'axe du vent.



FIGURE 15 : brouillard de fumée (gauche) et panaches de fumée (droite) sur le terrain, au point de mesure PTO6

FIGURE 16 : évolution des concentrations $PM_{2,5}$ pour la session de mesure (PTO6) du 16 avril et 17 avril 2025 durant toute la nuit

La session de mesure PTO7 a été réalisée dans des conditions de vent très faible en surface, à proximité du square pour enfants. Contrairement aux prévisions météorologiques qui annonçaient un vent de secteur nord à nord-est, les observations sur le terrain ont montré un vent oscillant entre l'ouest et le nord-est en fin de mesure. Les panaches visibles étaient orientés au sud et sud-est, à l'opposé du capteur, ce qui a limité l'exposition directe aux émissions industrielles. Cette configuration s'oppose à celle de la session PTO2, menée au même endroit le 15 avril 2025, où le capteur était situé dans l'axe du vent dominant, conduisant à l'enregistrement de concentrations nettement plus élevées sur l'ensemble de la période. Lors de la session PTO7, la concentration moyenne en $PM_{2,5}$ mesurée est de $7,4 \pm 1,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$, avec une valeur de fond de $6,3 \pm 1,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$, traduisant une faible variabilité et une quasi-absence de pics significatifs (figure 17). L'écart moyen entre les pics de pollution et la valeur de fond reste limité à $3,6 \pm 1,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$, principalement lié aux effets ponctuels de quelques mouvements d'air. La typologie des particules révèle la présence de gouttelettes d'eau, suggérant un transport atmosphérique plus dispersé et des particules fortement hydratées, à l'opposé des particules minérales absorbantes identifiées lors de la session de mesure PTO2.

Comparativement, la session PTO2 présente une valeur de fond près de 1,5 fois plus élevée ($9,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ contre $6,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$) et des pics de pollution environ 2,2 fois plus importants en moyenne ($21,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ contre $9,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$), illustrant l'impact déterminant de la direction du vent sur l'exposition locale. Cette comparaison montre que, malgré des vitesses de vent similaires, la direction du vent est un facteur déterminant dans l'exposition aux panaches industriels, en particulier pour les populations résidentes ou les enfants fréquentant cette zone en cas de vent de nord à nord-est.

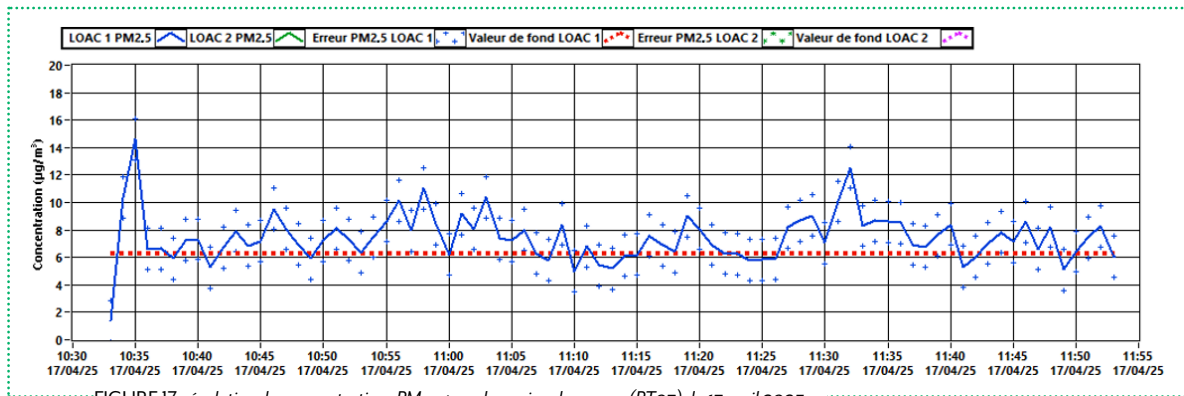


FIGURE 17 : évolution des concentrations $\text{PM}_{2,5}$ pour la session de mesure (PTO7) du 17 avril 2025

La session de mesure PTO8, réalisée au même emplacement que le point PTO3, s'est déroulée avec une vitesse de vent moyenne proche de celle du 15 avril. Toutefois, la direction du vent, majoritairement orientée au nord, diffère de celle observée lors du PTO3 (nord-est), plaçant cette fois le site dans l'axe du canal de Bourbourg, un secteur sans présence industrielle, plus ouvert et propice à la dispersion des particules. En conséquence, la pollution de fond mesurée au PTO8 était 1,8 fois moins élevée, les pics de pollution 2,1 fois moins marqués, et les amplitudes moyennes 2,1 fois plus faibles que lors de PTO3 (figure 18). Les niveaux de concentration aux $\text{PM}_{2,5}$ restent modérés avec une moyenne de fond de $8,2 \pm 1,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$. La direction du vent, conjuguée à l'effet ventilant naturel du canal, a joué un rôle déterminant dans la dispersion des particules. Les faibles fluctuations observées s'expliquent principalement par des variations locales de la vitesse et de l'orientation du vent pouvant provenir des entreprises voisines. Lors de cette session, les particules détectées étaient principalement constituées de composés minéraux absorbants comme précédemment.

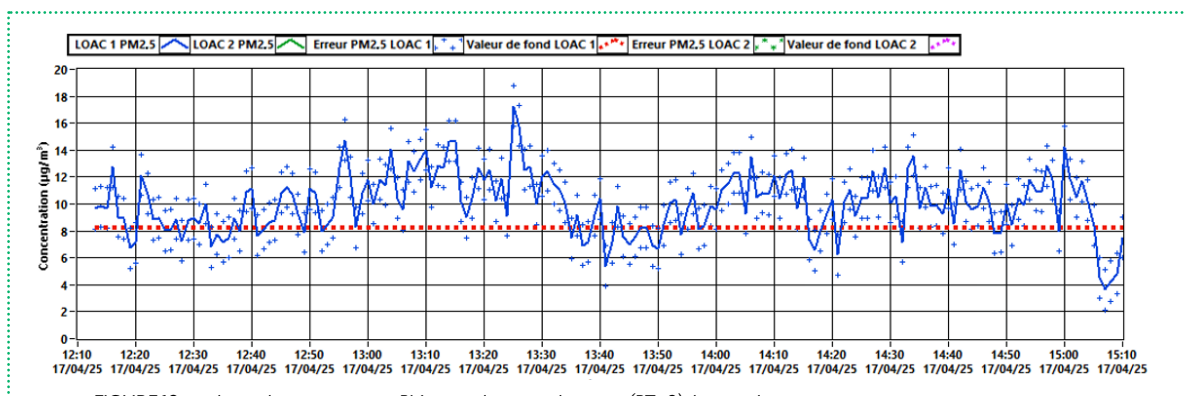


FIGURE 18 : évolution des concentrations $\text{PM}_{2,5}$ pour la session de mesure (PTO8) du 17 avril 2025

Lors de la session **PT09** sur la digue, de nombreux pics de pollution ont été observés (Figure 19). Le vent est resté faible à modéré, avec quelques rafales, et sa direction dominante de l'est tournant au sud-est en fin de période est restée globalement alignée avec l'axe de la zone industrielle environnante. La concentration moyenne de fond en $PM_{2,5}$ était relativement élevée, atteignant $9,9 \pm 3,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$, tandis que la moyenne des pics s'élevait à $21,3 \pm 3,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$. La typologie restait composée de particules minérales absorbantes.

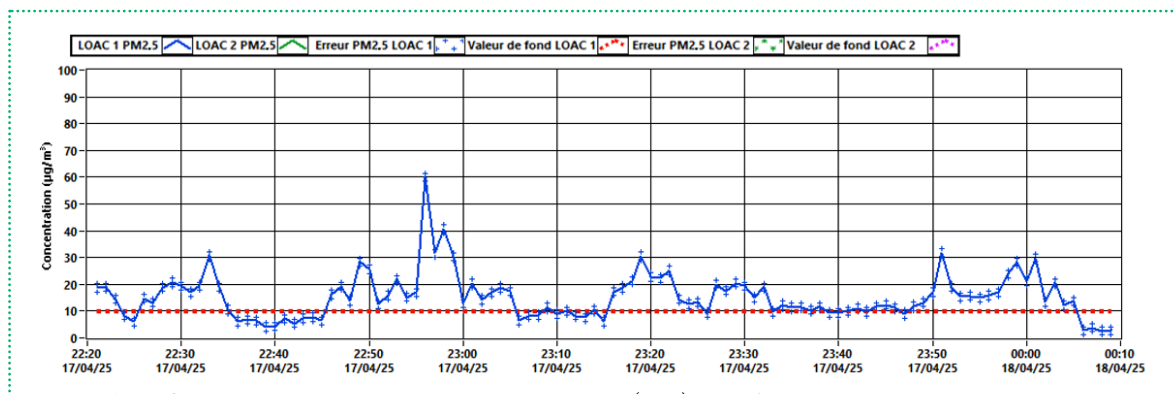


FIGURE 19 : évolution des concentrations $PM_{2,5}$ pour la session de mesure (PT09) du 17 et 18 avril 2025

La dernière **session de mesure, réalisée au point PT10**, s'est déroulée sous un vent de sud-est, toujours orienté dans l'axe de la zone industrielle. Les vents en surface sont restés faibles, mais les rafales ont atteint jusqu'à 20 km/h, se renforçant en fin de campagne, ce qui a probablement limité l'intensité des pics de pollution. Durant cette session matinale, de nombreux passages de camions ont été observés, certains procédant au déversement de bennes à proximité immédiate du canal, générant des panaches visibles de poussière. De fortes concentrations de particules étaient perceptibles visuellement au niveau du quai, dans la zone de déchargement. Un smog était également observable au-dessus de la zone industrielle, depuis la route d'accès. Quelques panaches noirs et fumées blanches ont ponctuellement été repérés. Malgré cette activité, aucun pic de pollution majeur n'a été enregistré. Les variations mesurées semblaient davantage liées à l'intensité fluctuante de l'activité industrielle et au renforcement progressif du vent. La valeur moyenne de fond mesurée est de $3,5 \pm 0,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$, avec une valeur moyenne des pics de pollution à $7 \pm 1,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$, soit des niveaux nettement plus faibles que ceux enregistrés lors des sessions précédentes sur la digue (Figure 20). Ce niveau modéré pourrait s'expliquer à la fois par une activité industrielle potentiellement réduite en matinée, les autres sessions ayant été réalisées en après-midi, soirée ou nuit et par une meilleure dispersion atmosphérique due aux rafales plus marquées. L'analyse de la typologie des particules mesurées met en évidence deux phases distinctes. Entre 8h56 et 9h46, les particules détectées sont majoritairement de type minéral absorbant optique, ce qui correspond aux premières observations de terrain, notamment à la présence de panaches noirs et de fumées blanches signalées (figure 21). À partir de 9h46 jusqu'à 11h46, la typologie évolue vers des gouttelettes d'eau, signe d'un transport par l'air plus étendu et de particules hydratées. Cette transition coïncide avec l'intensification des rafales de vent en fin de matinée, favorisant la dispersion des polluants. Par ailleurs, bien que de nombreux camions aient continué à déverser des matériaux sur le quai, les poussières générées semblent avoir été partiellement déviées en aval, en raison du changement de direction du vent, réduisant leur impact direct sur les mesures du LOAC2/LivePollution.

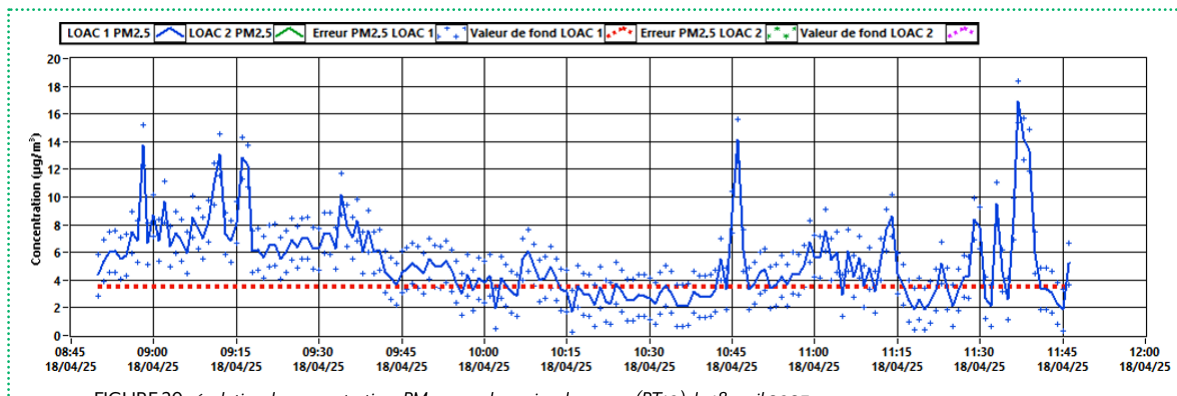


FIGURE 20 : évolution des concentrations PM_{2.5} pour la session de mesure (PT10) du 18 avril 2025



FIGURE 21 : panache de la tour d'extinction ainsi qu'un panache de poussière issus des camions bennes

CAMPAGNE DE FOS-SUR-MER

Lors de la **seconde session de mesure à Fos**, les relevés ont été effectués au cours de la matinée. Les conditions météorologiques étaient caractérisées par des vents faibles, tant en moyenne qu'en rafales, avec une direction dominante allant du sud-ouest à l'ouest. Les mesures du LOAC 1 (courbe bleue, figure 22) ont été réalisées au point PT01, à la Plage du Cavaou, identique à celui utilisé lors de la session n°1 du 9 juin 2025. Ce site, situé entre le littoral, les installations d'ArcelorMittal et des cuves pétrochimiques, était modérément fréquenté le jour de la session de mesure. Dès le début des mesures, un premier pic de pollution est observé, avec un smog clairement visible depuis la plage, émanant du site industriel. À 11h04, un panache dense (figure 23) de fumées grises et blanches est observé, bien identifiable sur la courbe. Un nouveau panache blanc est visible à 11h46, émis par la même cheminée, suivi d'un panache ocre. Enfin, à 12h26, un panache ocre accompagné de fumée blanche est détecté, au même emplacement que précédemment, et également identifiable dans les données.

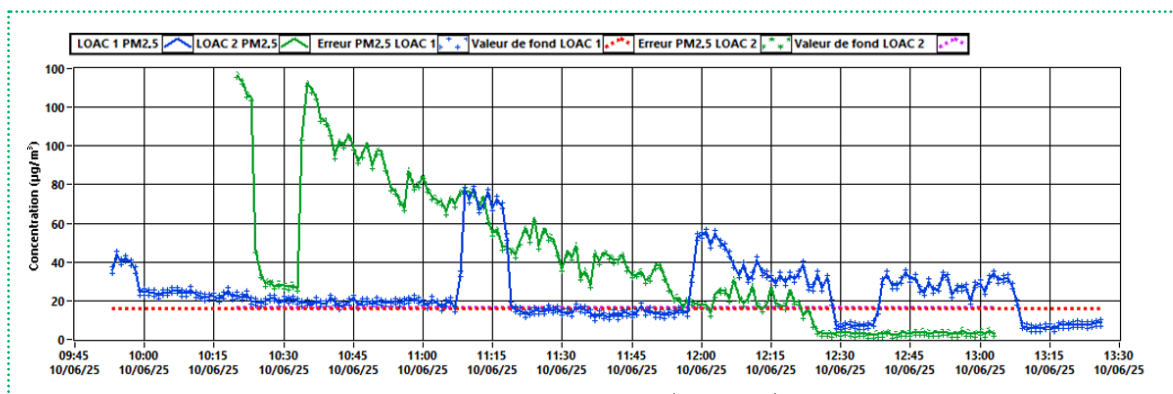


FIGURE 22 : évolution des concentrations $PM_{2,5}$ pour la session de mesure N°2 (PT01 et PT02) du 10 juin 2025



FIGURE 23 : panaches blancs et ocres provenant du site d'ArcelorMittal près du point PT01, Plage du Cavaou, le 10 juin 2025, LOAC 1

Les concentrations moyennes mesurées en $PM_{2,5}$ sur cette période s'élèvent à $24,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$, avec une concentration de fond de $15,7 \pm 5,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$, et une concentration moyenne des pics de pollution de $32,3 \pm 6,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$, soit un différentiel de $16,6 \pm 6,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$. L'analyse de la typologie des particules indique une prédominance de carbone noir, suggérant un impact direct des émissions issues des activités industrielles et notamment ArcelorMittal, situées dans l'axe du vent lors des phases de direction ouest.

Sur cette même session, le LOAC 2 a été déployé au point PTO2 (courbe verte, Figure 22), entre une route et une voie ferrée. Sur cette période, la concentration moyenne en $PM_{2,5}$ atteint $21,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$, avec une concentration de fond de $16,5 \pm 12,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Les pics de pollution atteignent une valeur moyenne de $61,7 \pm 23 \mu\text{g}/\text{m}^3$, soit un différentiel très marqué de $45,2 \pm 17,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$. La courbe présente une décroissance progressive des concentrations, témoignant du passage d'un panache de pollution conséquent issu de la zone industrielle à l'ouest. Ce comportement traduit une dispersion lente des polluants dans l'atmosphère, probablement en raison de conditions peu favorables à la dilution (vents faibles et stratification stable de l'air). Comme pour le LOAC 1, la typologie des particules mesurées indique une prédominance de carbone noir, renforçant l'hypothèse d'une origine industrielle. L'analyse comparative révèle que le LOAC 2 a enregistré des pics de pollution nettement plus élevés que le LOAC 1 ($61,7 \pm 23 \mu\text{g}/\text{m}^3$ contre $32,3 \pm 6,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$) et un différentiel pic/fond près de trois fois supérieur ($45,2$ contre $16,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Cela suggère une exposition plus intense et plus marquée aux émissions localisées dans l'environnement immédiat du point PTO2.

Au PTO1, entre la session n°2 qui présente des conditions similaires à la session n°1 en termes de durée et d'intensité du vent, seule la direction du vent a changé (sud-ouest à ouest pour la session n°2, contre nord-ouest lors de la session n°1). Cette seule modification de direction a entraîné :

- Une élévation de la concentration de fond de $3,0 \pm 3,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$;
- Une augmentation des valeurs moyennes des pics de $8,2 \pm 8,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$;
- Un temps d'exposition à de fortes concentrations de particules fines, porté à 38 % contre 21 % lors de la session précédente.

Ces résultats démontrent que la direction du vent constitue un facteur déterminant dans l'exposition aux polluants particuliers, en influençant directement le transport des panaches industriels vers les points de mesure. La session n°2 au point PTO1 met en évidence une exposition plus soutenue à la pollution, malgré des conditions météorologiques globalement comparables à celles du 9 juin.

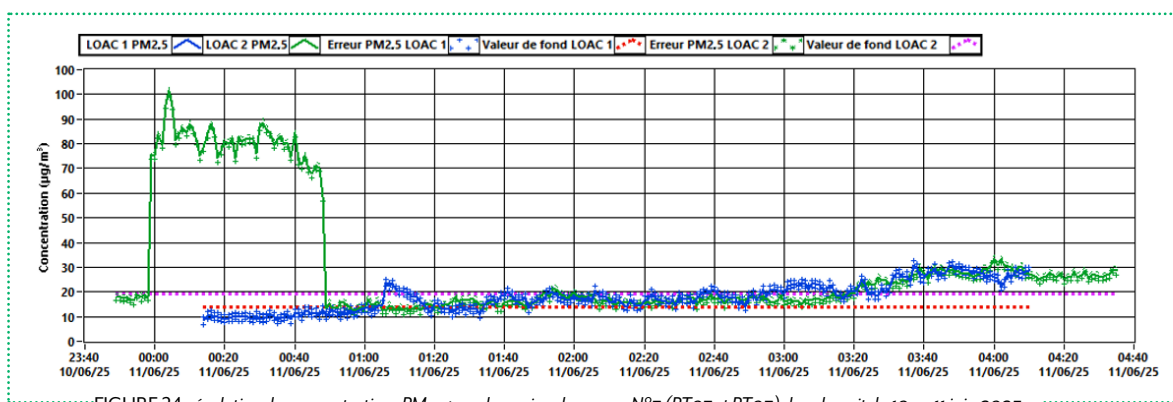
La troisième session de mesure a été réalisée de nuit, dans des conditions météorologiques caractérisées par des vents très faibles en surface de secteur Nord-Ouest à Ouest, similaires à celles observées lors de la session N°2. Le capteur LOAC 1 a été positionné en bord de route (PTO7), à l'ouest-nord-ouest du complexe ArcelorMittal et en amont d'une usine Lafarge, dans l'axe dominant du vent. Sur l'ensemble de la période de mesure, la concentration moyenne en particules fines $PM_{2,5}$ était de $17,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$. La pollution de fond a été estimée à $13,6 \pm 2,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$, tandis que les pics de pollution ont atteint en moyenne $19,7 \pm 1,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$, soit un différentiel modéré de $6,1 \pm 2,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$. La courbe de concentration montre une relative stabilité tout au long de la mesure, avec une légère tendance à la hausse en fin de session. Cette augmentation, observée après 3h30 du matin, correspond à une période d'intensification de la pollution. L'analyse de la typologie particulaire révèle une dominance du carbone noir, indiquant une influence des sources

de combustion et des activités industrielles. On note également la présence de gouttelettes d'eau, ce qui peut s'expliquer par la proximité d'étendues d'eau à l'ouest (notamment l'étang du Caban) combinée à une hausse de l'humidité relative durant la nuit.

Sur la même session, le capteur LOAC 2 a été installé à la plage de Saint-Gervais au point PTO3, dans l'axe du vent par rapport au site industriel ArcelorMittal et à proximité immédiate de la mer. La concentration moyenne de $PM_{2,5}$ mesurée au cours de la session est de $30,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$. La pollution de fond est estimée à $19,4 \pm 5,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$, tandis que les pics atteignent en moyenne $56,1 \pm 24,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$, avec un maximum ponctuel supérieur à $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Le différentiel entre les concentrations de fond et les pics est donc très élevé, atteignant $36,7 \pm 14,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$, en raison de l'intensité marquée de l'épisode de pollution observé en début de session. La typologie des particules met en évidence une présence prédominante de carbone noir, mais également une quantité importante de particules salines. Cette présence de sel s'explique par la localisation du capteur sur le littoral, exposé directement aux embruns marins dans l'axe du vent, ce qui favorise le transport de particules marines dans l'air ambiant.

Une comparaison entre les deux capteurs montre des dynamiques différentes, bien que les deux sites aient enregistré une augmentation des concentrations de $PM_{2,5}$ vers 3h30 du matin. Cette augmentation simultanée pourrait être expliquée par la stabilité atmosphérique accrue en fin de nuit et la hausse progressive de l'humidité relative qui favorise la condensation dans l'air ambiant. L'humidité relative a en effet augmenté régulièrement au cours de la session, passant d'environ 45-50 % vers 23h à 64-72 % à 3h, pour atteindre jusqu'à 78 % à 4h. La moyenne d'humidité sur la période est de 69 %, ce qui peut contribuer à l'apparition de microgouttelettes détectées dans l'atmosphère.

De manière générale, le site LOAC 2, situé en bord de mer dans l'axe des émissions industrielles, présente des niveaux de pollution significativement plus élevés que le site LOAC 1, situé en amont. L'influence directe des panaches, la proximité de la mer et l'exposition à des particules marines expliquent en partie ces écarts.



La session n°4 s'est déroulée en fin de matinée, sous un vent globalement faible, avec des rafales modérées pouvant atteindre jusqu'à 30 km/h. Ces conditions de vent instables sont particulièrement intéressantes, car elles peuvent entraîner une dispersion irrégulière des polluants, compliquant l'interprétation des panaches émis par les sources industrielles. En effet, lorsque le vent change de direction, il peut transporter temporairement les panaches vers des zones habituellement en amont, ou provoquer des phénomènes de recirculation locale.

Le capteur LOAC 1 a été installé au point PTO4, situé en bordure du Canal d'Arles à Bouc, au nord-ouest du site industriel ArcelorMittal. Ce site est généralement en amont des vents dominants par vent d'ouest à sud-ouest. Ces observations sont corrélées à une décroissance progressive des concentrations en particules fines tout au long de la session, ce qui suggère un événement émissif marqué au début, suivi d'une dilution progressive dans l'atmosphère. La concentration moyenne de fond pour cette session est relativement élevée, atteignant $24,1 \pm 2,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$, et les pics de pollution atteignent en moyenne $30,1 \pm 1,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Ces niveaux traduisent une pollution atmosphérique non négligeable dans un secteur supposé être en amont, ce qui peut s'expliquer par l'instabilité directionnelle du vent ayant permis aux panaches de polluants d'atteindre ce point.

Dans le même temps, le capteur LOAC 2 a été positionné sur la plage du Cavaou, située au sud-est du site industriel, dans l'axe des vents dominants lors de cette session. Cette position est donc exposée directement aux émissions potentielles en cas de panache actif. Sur la période de mesure, la concentration moyenne de fond atteint $30,8 \pm 2,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$, indiquant probablement un contexte déjà pollué. Des pics à $35,5 \pm 1,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ont été observés, avec plusieurs pointes proches de $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$, témoignant d'un niveau de pollution particulièrement élevé durant cette tranche horaire.

Deux observations visuelles majeures ont été réalisées. À 11h08, un panache gris s'est élevé depuis les installations industrielles et à 11h25 une fumée rougeâtre a été observée émanant d'un bâtiment du site (figure 25).

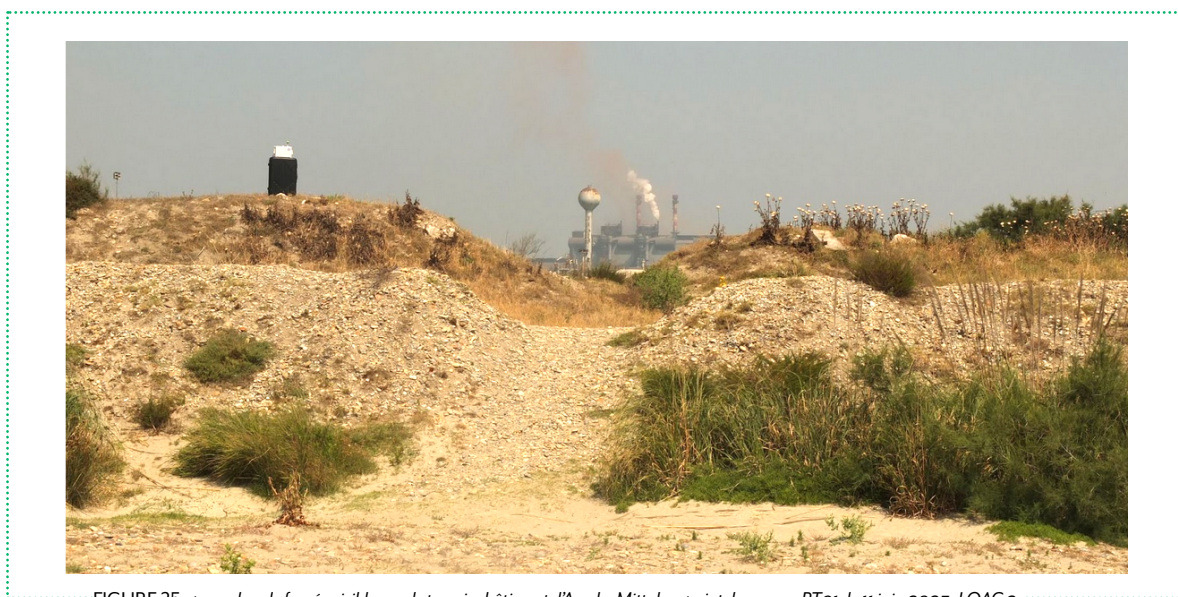


FIGURE 25 : panaches de fumée visibles sur le terrain, bâtiment d'ArcelorMittal au point de mesure PTO1, le 11 juin 2025, LOAC 2

Le site où se trouve le LOAC 2 (Plage du Cavaou), situé sous le vent, enregistre des concentrations de fond et de pics plus élevées (respectivement $30,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ et $35,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$) que le site LOAC 1 (Canal d'Arles à Bouc), en position habituellement en amont ($24,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ et $30,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Toutefois, la présence de panaches visibles sur le site d'ArcelorMittal et le caractère changeant du vent ont pu transporter temporairement des polluants vers le nord-ouest, expliquant les concentrations non négligeables mesurées au PTO4.

Cette session illustre bien comment des conditions de vent variable, même avec des vitesses modestes, peuvent induire une dispersion complexe des polluants, affectant à la fois les zones sous le vent et en amont.

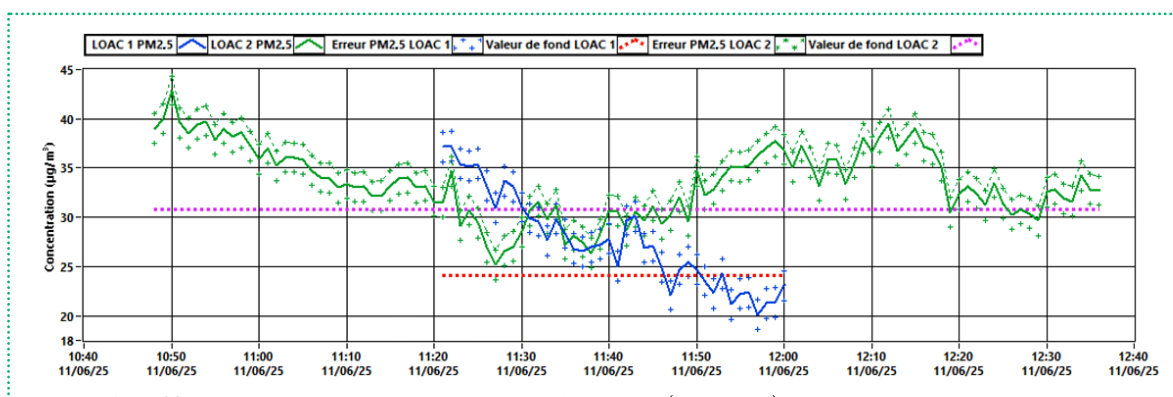


FIGURE 26 : évolution des concentrations $PM_{2,5}$ pour la session de mesure N°4 (PTO4 et PTO1), 11 juin 2025

La session de mesure 5 s'est déroulée en début de nuit dans un contexte météorologique caractérisé par un vent de surface globalement faible, avec néanmoins des rafales atteignant jusqu'à 30 km/h en début de soirée. Ce régime de vent s'est ensuite stabilisé autour de 20 km/h au cours de la nuit, favorisant une dispersion partielle et intermittente des polluants atmosphériques. Un élément notable de cette session réside dans l'orientation différente du vent, soufflant du sud-est à l'est. Cette direction s'oppose aux régimes dominants observés lors des précédentes sessions (principalement ouest-sud-ouest à nord-ouest). Ce changement modifie l'exposition relative des points de mesure vis-à-vis de la source d'émission industrielle, en particulier le site d'ArcelorMittal. Le capteur LOAC 1 a été positionné au point PTO3, sur la plage de Saint-Gervais, situé en amont de la direction du vent durant cette session. Il s'agit d'une situation inverse à celle rencontrée lors des précédentes sessions de mesure, où ce point se trouvait régulièrement sous le vent direct du site industriel. Les résultats montrent une évolution très stable des concentrations de particules durant toute la période de mesure. Ce comportement est typique d'une situation de fond, peu influencée par des apports ponctuels de pollution. Un unique pic notable a été observé vers 23h20, atteignant une concentration de $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$, possiblement lié à une brève variation locale des conditions de dispersion. La concentration moyenne globale est de $15,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ sur l'ensemble de la session, avec une concentration moyenne de fond de $13,5 \pm 1,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ et pour finir, une concentration moyenne des pics de $16,2 \pm 1,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ proche de la situation de fond, ce qui confirme cette stabilité des concentrations sur cette période. La typologie des particules révèle une faible proportion de carbone noir et une forte prédominance de gouttelettes d'eau, ce qui est cohérent avec la localisation géographique du site (bord de mer, proximité d'étangs) et la direction du vent soufflant depuis des zones humides ou marines. Le capteur LOAC 2 était placé au point PTO5 (proximité voie ferrée, face au site industriel), situé sous le vent direct du site ArcelorMittal pour cette session, en raison de la direction sud-est à est du vent. Contraire-

ment à LOAC 1, les mesures effectuées à ce point montrent une forte variabilité des concentrations avec de longues séquences de pollution intense, atteignant des valeurs supérieures à $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$, ainsi que des périodes plus courtes de baisse des concentrations (jusqu'à $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$), probablement liées à quelques épisodes dispersifs provoqués par les rafales de vent. Les résultats quantitatifs de cette session sont une valeur de concentration moyenne globale de $54,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$, une concentration moyenne de fond de $21,1 \pm 2,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$, une concentration moyenne des pics de $84,0 \pm 0,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ et un écart moyen important entre pics et fond : $62,9 \pm 1,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$. La typologie des particules détectées indique une forte prédominance de carbone noir, suggérant une origine liée à des processus de combustion industrielle. Cette signature est compatible avec les émissions du site ArcelorMittal situé en face, sous le vent.

La comparaison entre les deux points de mesure met en évidence un contraste marqué en termes de niveaux de pollution et de typologie des particules. Cette session illustre de manière probante l'influence majeure de la direction du vent sur la répartition spatiale des polluants et l'importance de mesures synchronisées à différents points pour caractériser de façon robuste l'impact environnemental d'une installation industrielle.

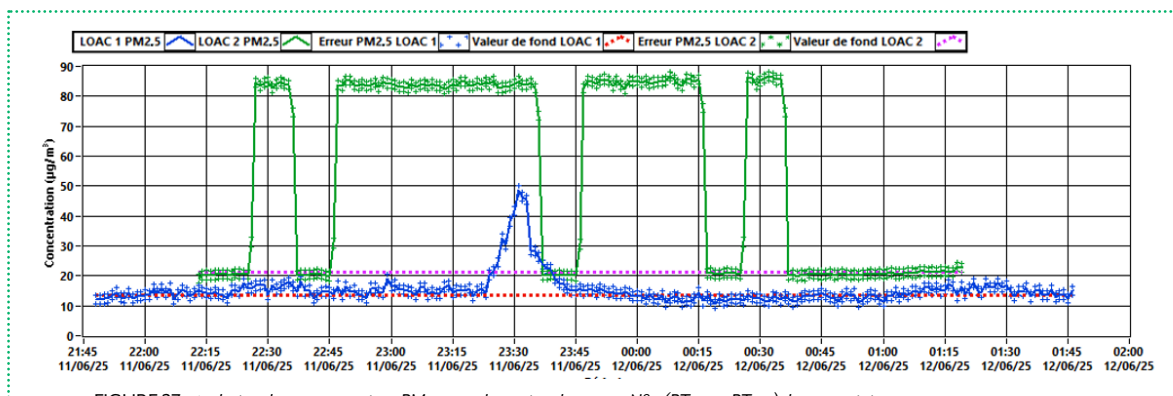


FIGURE 27 : évolution des concentrations $\text{PM}_{2,5}$ pour la session de mesure N°5 (PT03 et PT05) du 11 et 12 juin 2025

La session 6 s'est déroulée en soirée, sous des conditions météorologiques marquées par un vent faible, tant en surface qu'en rafale, de direction sud-est sur l'ensemble de la période de mesure. Les niveaux d'humidité relevés étaient élevés, oscillant entre 68 % et 76 % à la station météo de l'aérodrome d'Istres, avec des données ERA5 indiquant une humidité relative atteignant 90 %. Ces conditions sont typiques d'un environnement humide, avec une masse d'air provenant de la mer. Le capteur LOAC 1 était positionné au point PT06 (zone naturelle, au nord d'ArcelorMittal), dans une zone naturelle située à environ 4 km au nord du site industriel ArcelorMittal, dans l'axe du vent dominant. Les mesures ont révélé une pollution modérée, avec une augmentation des concentrations au début de la période de mesure. Quelques fluctuations et pics ponctuels ont été enregistrés, en lien avec des panaches visibles sur le terrain, comme illustré sur la figure 25. La concentration moyenne en particules fines $\text{PM}_{2,5}$ mesurée sur la période est de $6,8 \pm 1,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$. La concentration de fond, représentant les niveaux les plus bas enregistrés hors pics, s'élève à $5,7 \pm 0,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Les pics de concentration atteignent en moyenne $7,7 \pm 0,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$, soit un écart moyen entre les pics et le fond de $2,0 \pm 0,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$. La typologie des particules identifiées est dominée par des gouttelettes d'eau, ce qui est cohérent avec les conditions hygrométriques élevées de

la session. Le capteur LOAC 2 était positionné au point PTO1, sur la Plage du Cavaou, en amont du flux de vent dominant. Le vent provenait directement de la mer. Les concentrations mesurées à ce point étaient globalement plus élevées que celles enregistrées au point PTO6, avec cependant une variabilité relativement faible sur la période. La concentration moyenne en $PM_{2,5}$ enregistrée au point de mesure LOAC 2 est de $9,7 \pm 1,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$. La concentration moyenne de fond est estimée à $8,7 \pm 0,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$, tandis que la concentration moyenne des pics atteint $10,5 \pm 0,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$. L'écart moyen entre les pics et la concentration de fond est ainsi de $1,8 \pm 0,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Comme pour le LOAC 1, la typologie des particules est dominée par des

gouttelettes d'eau, indiquant une forte influence maritime. Une comparaison des deux points de mesure montre des niveaux de pollution relativement faibles et stables pour cette session. Cependant, le LOAC 2, situé en bord de mer, présente des concentrations moyennes légèrement supérieures à celles de LOAC 1, bien qu'il soit positionné en amont des sources industrielles. Cette situation peut s'expliquer par la présence de sel marin et de particules sensibles à l'humidité, caractéristiques des milieux côtiers, contribuant à une charge en particules légèrement plus élevée. Toutefois, ces particules sont d'origine naturelle et peu chargées en carbone noir, contrairement aux panaches industriels.

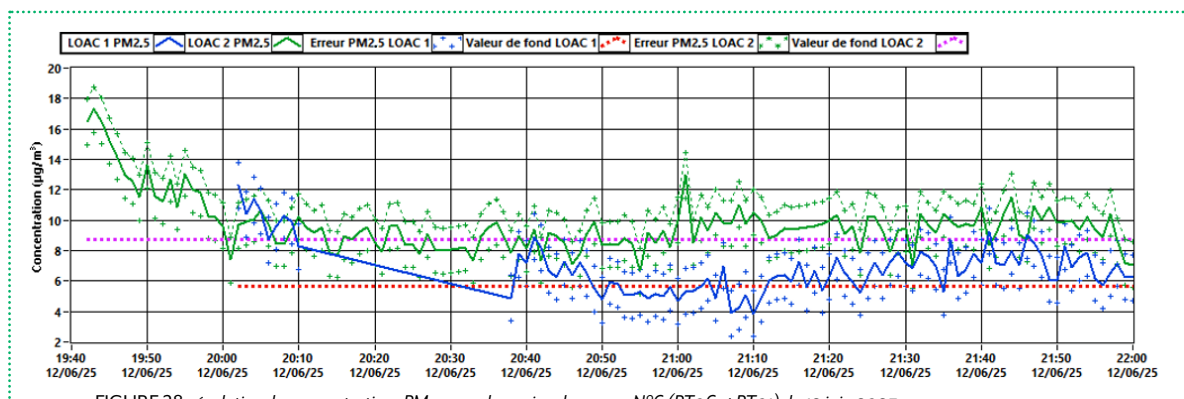


FIGURE 28 : évolution des concentrations $PM_{2,5}$ pour la session de mesure N°6 (PTO6 et PTO1) du 12 juin 2025



FIGURE 29 : panache blanc visible sur le terrain au point PTO6 dans une zone naturelle, LOAC 1

La septième session de mesure a été réalisée en début de nuit, dans des conditions météorologiques caractérisées par des vents très faibles en surface. Le vent a initialement soufflé du sud-est avant de s'orienter progressivement vers le nord en fin de session. Le taux d'humidité relative était particulièrement élevé, atteignant environ 90 %, ce qui témoigne d'une atmosphère très humide. Le capteur LOAC 1 a été positionné au point PTO4, situé à proximité du Canal d'Arles à Bouc, dans l'axe du vent dominant. L'analyse typologique des particules indique une prédominance de carbone noir associée à une présence significative de gouttelettes d'eau, suggérant un mélange entre émissions anthropiques et humidité ambiante. Cette composition est compatible avec les conditions météorologiques observées et la proximité de sources potentielles d'émissions. Le LOAC 2 a été installé au point PTO3, en bord de mer, sur la plage de Saint-Gervais, en amont du vent dominant. La typologie des particules est ici dominée par le carbone noir, avec une proportion plus faible de particules hydrophiles. Les niveaux de pollution mesurés au cours de cette session n°7 sont globalement similaires à ceux observés lors de la session n°6.

Les concentrations moyennes de particules fines ($PM_{2,5}$) restent modérées sur l'ensemble des sites de mesure. Au point PTO4 (LOAC 1), la concentration moyenne de $PM_{2,5}$ s'élève à $9,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$, avec une concentration moyenne de fond estimée à $8,1 \pm 0,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Au point PTO3 (LOAC 2), les concentrations sont légèrement plus élevées, avec une valeur moyenne de $10,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$, et une concentration de fond de $9,2 \pm 0,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

La faible variabilité entre les valeurs de fond et les moyennes générales témoigne d'une atmosphère globalement stable, bien que quelques fluctuations ponctuelles aient été observées. Celles-ci sont vraisemblablement liées à des variations environnementales locales (changements de direction du vent, effets thermiques nocturnes).

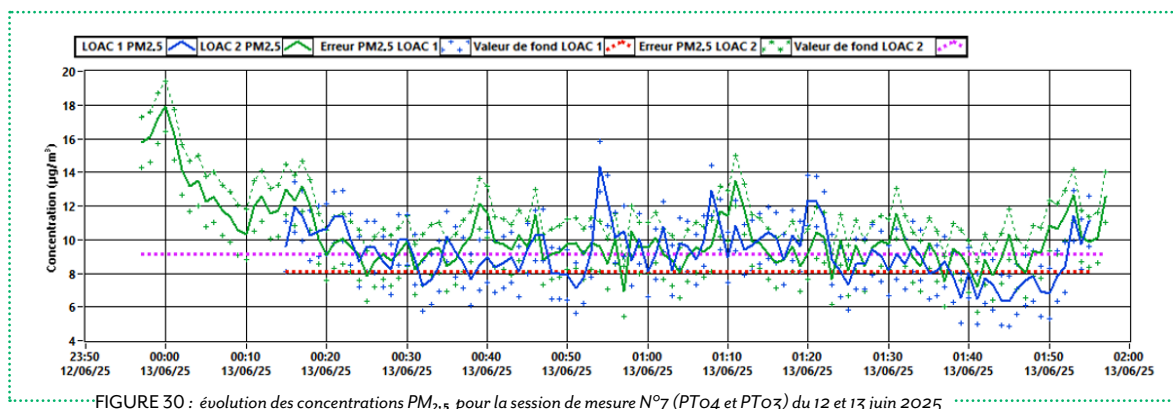
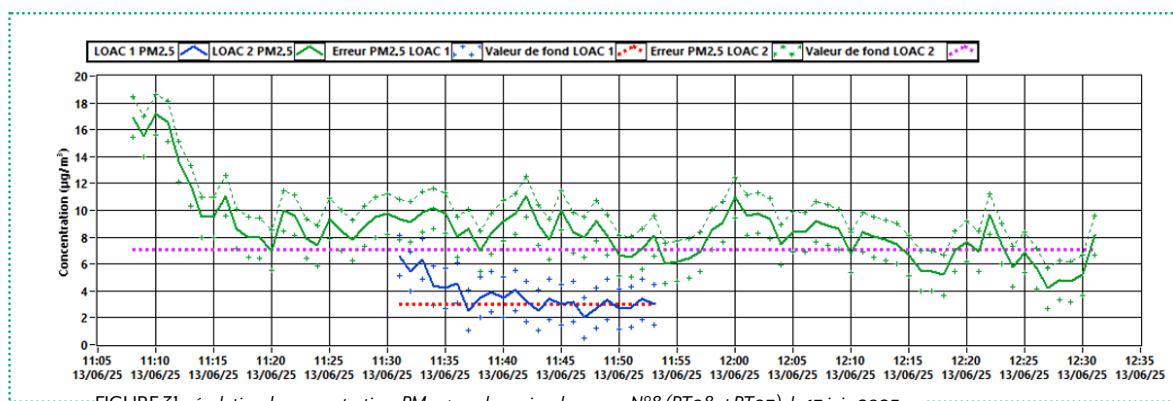


FIGURE 30 : évolution des concentrations $PM_{2,5}$ pour la session de mesure N°7 (PTO4 et PTO3) du 12 et 13 juin 2025

Cette dernière session de mesure a été réalisée dans des conditions météorologiques caractérisées par un vent faible en surface, devenant plus modéré en fin de période, avec des rafales atteignant ponctuellement 30 km/h en provenance du sud. Le capteur LOAC 1, installé au point PTO8 (près du canal d'Arles à Bouc), était situé dans l'axe du vent dominant. Les mesures ont montré une bonne stabilité des concentrations sur l'ensemble de la période, sans variations notables. Le capteur LOAC 2, positionné au point PTO3 (plage de Saint-Gervais), se trouvait en amont du flux principal. Une phase de pollution a été observée en début de session, avec un pic de concentration atteignant $17 \mu\text{g}/\text{m}^3$, suivi de quelques hausses plus modérées autour de $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Dans l'ensemble, les concentrations relevées au cours de cette session sont relativement faibles pour les deux sites. Cette situation peut être attribuée à un

vent plus soutenu favorisant la dispersion, mais également à la nature maritime des masses d'air, souvent moins chargées en particules anthropiques. Les valeurs moyennes de fond observées confirment cette tendance. Au point PTO8, les mesures réalisées avec le LOAC 1 indiquent une concentration moyenne de fond de $3,0 \pm 0,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$, tandis qu'au point PTO3, en bord de mer, le LOAC 2 enregistre une valeur plus élevée de $7,1 \pm 1,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Concernant les valeurs moyennes des pics, le LOAC 1 a enregistré une concentration de $4,4 \pm 0,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$, tandis que le LOAC 2 présente une valeur plus élevée avec $9,8 \pm 0,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Le site en bord de mer (PTO3), présente une concentration de fond légèrement plus élevée avec une typologie de carbone noir principalement. Cet écart peut s'expliquer par une plus forte influence des activités humaines locales au niveau du site côtier.



Résultats campagne de Dunkerque

BILAN DES MOYENNES DE PM_{2,5}

SUR LES DIFFÉRENTES SESSIONS DE MESURE

Le tableau ci-dessous (table 7) présente, pour chaque session, les concentrations moyennes en PM_{2,5} mesurées sur l'ensemble de la période, ainsi que les valeurs moyennes observées spécifiquement pendant les pics de concentration ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) à Dunkerque. Cette distinction permet de quantifier l'écart entre la concentration de fond représentative du niveau de pollution ambiant hors événements et celle mesurée lors des épisodes de pollution. Cette approche permet de mieux comprendre la pollution effectivement respirée par les riverains situés à proximité de la zone industrielle, notamment lorsque les vents sont faibles et orientés directement vers ces zones d'habitation.

La sur-pollution est le calcul de l'écart entre la concentration PM_{2,5} pendant les pics de pollution et la pollution de fond. Une sur-pollution positive indique une accumulation de pollution spécifique à la zone de mesure.

Point de Mesure	Lieux	Moyenne concentration PM _{2,5} de fond ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Valeur moyenne des pics de pollution ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Sur-pollution ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Session 1 (PT01)	Digue	5,1 ± 3,2	28,6 ± 10,7	23,5 ± 7
Session 2 (PT02)	Square pour enfants	12,3 ± 4,6	21,8 ± 2	9,5 ± 3,3
Session 3 (PT03)	Zone Industrielle	14,5 ± 3,3	24,4 ± 3,4	9,9 ± 3,4
Session 4 (PT04)	Digue	6,3 ± 4,2	23,5 ± 8,5	17,2 ± 6,4
Session 5 (PT05)	Digue	5,1 ± 2,3	10,1 ± 1,2	5 ± 1,75
Session 6 (PT06)	Digue	10 ± 2,7	20,7 ± 3,4	10,7 ± 3,1
Session 7 (PT07)	Square pour enfants	6,3 ± 1,5	9,9 ± 1,1	3,6 ± 1,3
Session 8 (PT08)	Zone Industrielle	8,2 ± 1,4	11,4 ± 0,7	3,2 ± 1,1
Session 09 (PT09)	Digue	9,9 ± 3,5	21,3 ± 2	11,4 ± 3,4
Session 10 (PT10)	Digue	3,5 ± 0,9	7 ± 1,3	3,5 ± 1,1
Moyenne		8,1 ± 2,8	17,9 ± 3,6	9,8 ± 3,2

TABLE 7 : synthèse des concentrations de PM_{2,5} par point de mesure : moyennes de fond, pics de pollution et écarts observés

L'analyse de ces données (table 7) issues des différentes sessions de mesure à Dunkerque révèle des niveaux de pollution aux particules fines PM_{2,5} globalement élevés, avec une moyenne de fond de $8,1 \pm 2,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ et des pics moyens atteignant $17,9 \pm 3,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$, dépassant nettement les recommandations de l'OMS (pour référence, le seuil de l'OMS pour la concentration moyenne journalière de PM_{2,5} est de $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ et $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ pour le seuil annuel). A noter que les mesures étant sur quelques heures, il n'est pas réellement possible d'établir des moyennes journalières qui pourraient être comparées aux recommandations de l'OMS. Néanmoins, en faisant l'hypothèse que la pollution au sein du panache est relativement constante au cours de la journée, on peut extrapoler ces temps de mesure à une journée. Les concentrations les plus fortes sont observées en zone industrielle (jusqu'à $14,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de fond), mais certains points sur la digue affichent aussi des pics très marqués (jusqu'à $28,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ à PT02). L'écart entre fond et pics, en moyenne de $9,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$, reflète l'impact significatif des activités ponctuelles (trafic, déchargement de matériaux etc...) et des conditions météo sur l'intensité de la pollution.

Les résultats estimés sur la digue dans l'axe d'ArcelorMittal indiquent une moyenne en concentration de fond de $6,7 \pm 2,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$, une valeur moyenne des pics de pollution de $18,5 \pm 4,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ et une sur-pollution de $11,8 \pm 3,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$, ce qui est significatif.

Un changement de direction du vent peut modifier la trajectoire des polluants et exposer certaines zones à des niveaux de pollution plus élevés. C'est le cas du square pour enfants, où l'on observe un passage d'une sur-pollution de $9,5 \pm 3,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ lors de la session PTO3 à seulement $3,6 \pm 1,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en PTO8 soit 2,6 fois moins en raison d'un changement de direction du vent.

VALEUR DES AMPLITUDES

Le tableau ci-dessous (table 8), présente pour chaque session de mesure la valeur moyenne des amplitudes de concentration en particules fines $\text{PM}_{2,5}$ (en $\mu\text{g}/\text{m}^3$). Concernant les valeurs sur la digue dans l'axe d'ArcelorMittal, la valeur moyenne des amplitudes est de $18,6 \pm 11 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Point de Mesure	Lieux	Valeur moyenne des amplitudes ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Session 1 (PT01)	Digue	$41,2 \pm 22,7$
Session 2 (PT02)	Square pour enfants	$12,3 \pm 5,3$
Session 3 (PT03)	Zone Industrielle	$8,5 \pm 3,5$
Session 4 (PT04)	Digue	$27,9 \pm 24,2$
Session 5 (PT05)	Digue	$5,6 \pm 1,5$
Session 6 (PT06)	Digue	$15,8 \pm 7,2$
Session 7 (PT07)	Square pour enfants	$3,4 \pm 1,8$
Session 8 (PT08)	Zone Industrielle	$4 \pm 1,2$
Session 09 (PT09)	Digue	$15,8 \pm 7,6$
Session 10 (PT10)	Digue	$5,5 \pm 3,1$
Moyenne		$14 \pm 7,8$

TABLE 8 : valeur des amplitudes à Dunkerque

Les valeurs moyennes ont ensuite été calculées pour ces pics. Les données présentées illustrent des variations notables des niveaux de sur-pollution.

La session PTO1 (digue) enregistre l'amplitude moyenne la plus élevée $41,2 \pm 22,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$, tandis que la session PTO7 (square pour enfants) montre des niveaux de pollution plus faibles $3,4 \pm 1,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Toutefois, ce contraste est particulièrement intéressant lorsqu'on le compare à la session PTO2, également effectuée au square pour enfants, mais avec une direction de vent différente : les amplitudes y atteignent $12,3 \pm 5,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$, soit des niveaux près de 3,6 fois plus élevés que lors de PTO8.

La moyenne globale des amplitudes $14 \pm 7,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ reste importante, mais masque des contrastes marqués entre sessions. Ainsi, les épisodes de pollution durant la session PTO2 dépassent le seuil journalier d'exposition recommandé par l'OMS de $26,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$, et ceux de la session PTO4 de $12,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$. À l'inverse, plusieurs sessions comme PTO7 ou PTO8 restent largement en dessous de ce seuil.

La moyenne globale des amplitudes $14 \pm 7,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ reste importante, mais masque des contrastes marqués entre sessions. Ainsi, les épisodes de pollution durant la session PTO2 dépassent le seuil journalier d'exposition recommandé par l'OMS de $26,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$, et ceux de la session PTO4 de $12,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$. À l'inverse, plusieurs sessions comme PTO7 ou PTO8 restent largement en dessous de ce seuil.

TYPOLOGIE DES PARTICULES IDENTIFIÉES

PENDANT LES ÉPISODES DE POLLUTION

Afin de mieux comprendre l'origine et la nature des épisodes de pollution relevés au cours des différentes sessions, une analyse de la typologie des particules a été réalisée par le LOAC2/LivePollution. Celle-ci permet d'identifier la spéciation des particules pour chaque session de mesures (table 9).

Point de Mesure	Lieux	Typologie observée sous les pics de pollution
Session 1 (PT01)	Digue	minéral absorbant optique
Session 2 (PT02)	square pour enfants	minéral absorbant optique
Session 3 (PT03)	Zone Industrielle	minéral absorbant optique
Session 4 (PT04)	Digue	minéral absorbant optique
Session 5 (PT05)	Digue	minéral absorbant optique
Session 6 (PT06)	Digue	minéral absorbant optique
Session 7 (PT07)	square pour enfants	gouttelettes d'eau
Session 8 (PT08)	Zone Industrielle	minéral absorbant optique
Session 09 (PT09)	Digue	minéral absorbant optique
Session 10 (PT10)	Digue	minéral absorbant optique / gouttelettes d'eau

TABLE 9 : typologie des particules identifiées pendant les épisodes de pollution à Dunkerque

Sur l'ensemble des sessions de mesure, la majorité des épisodes de pollution sont dominés par des particules de type "minéral absorbant optique". Cette typologie est caractéristique de particules solides, ici probablement liées aux activités humaines (trafic routier et l'industrie) ou à la remise en suspension de poussières par le vent. À l'inverse, les gouttelettes d'eau, observées uniquement lors des sessions PTO8 (square pour enfants) et partiellement lors de PT10 (digue), reflètent une typologie de particules liée à des phénomènes atmosphériques (humidité, brouillard, condensation).

Résultats campagne de Fos-sur-Mer

BILAN DES MOYENNES DE PM_{2,5}

SUR LES DIFFÉRENTES SESSIONS DE MESURE

Les tableaux ci-dessous présentent, pour chaque session, les concentrations moyennes en PM_{2,5} mesurées sur l'ensemble de la période, ainsi que les valeurs moyennes observées spécifiquement pendant les pics de concentration ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) pour le LOAC 1 (Table 10) et le LOAC 2 (Table 11) à Fos-sur-Mer.

Bien que les mesures n'aient pas été réalisées directement dans les zones d'habitation, certains points de prélèvement, comme le site PT03 situé près de la plage de Saint-Gervais, se trouvent en périphérie immédiate de zones urbaines. Ces données permettent ainsi d'estimer l'exposition potentielle des riverains dans des configurations atmosphériques représentatives.

Point de Mesure LOAC 1	Lieux	Moyenne concentration PM2.5 de fond ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Valeur moyenne des pics de pollution ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Sur-pollution ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Session 1 (PT01)	Plage du Cavaou	12,7 ± 1,8	24,1 ± 9	11,4 ± 5,4
Session 2 (PT01)	Plage du Cavaou	15,7 ± 5,4	32,3 ± 7,7	16,6 ± 6,7
Session 3 (PT07)	Bord de route	13,6 ± 2,9	19,7 ± 1,5	6,1 ± 2,2
Session 4 (PT04)	Canal Arles à Bouc	24,1 ± 2,3	30,1 ± 1,6	6 ± 2
Session 5 (PT03)	Plage de Saint-Gervais	13,5 ± 1,2	16,2 ± 1,4	2,7 ± 1,3
Session 6 (PT06)	Zone Naturelle	5,7 ± 0,7	7,7 ± 0,6	2 ± 0,7
Session 7 (PT04)	Canal Arles à Bouc	8,1 ± 0,8	10,3 ± 0,6	2,2 ± 0,7
Session 8 (PT08)	Canal Arles à Bouc	3 ± 0,4	4,4 ± 0,6	1,4 ± 0,5
Moyenne		12,1 ± 1,9	18,1 ± 2,9	6 ± 2,4

TABLE 10 : synthèse des concentrations de PM_{2,5} par point de mesure : moyennes de fond, pics de pollution et écarts observés pour le LOAC 1

L'analyse des données pour le LOAC 1 ci-dessus (Table 10), issues des différentes sessions de mesure révèle des niveaux de pollution aux particules fines PM_{2,5} globalement élevés, avec une moyenne de fond de $12,1 \pm 1,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ et des pics moyens atteignant $18,1 \pm 2,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$, dépassant nettement les recommandations de l'OMS.

Les concentrations les plus fortes sont observées en zone industrielle (jusqu'à $24,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de fond), mais certains points comme dans la zone naturelle (PT06) affichent une valeur plus faible avec $5,7 \pm 0,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ due à leur éloignement des principales usines. L'écart entre fond et pics, en moyenne de $6 \pm 2,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$, reflète l'impact significatif des activités ponctuelles (trafic, déchargement de matériaux etc...) et des conditions météo sur l'intensité de la pollution.

Point de Mesure LOAC 2	Lieux	Moyenne concentration PM2.5 de fond ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Valeur moyenne des pics de pollution ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Sur-pollution ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Session 1 (PT09)	Canal Arles à Bouc	$17,8 \pm 3,2$	$51 \pm 1,4$	$33,2 \pm 2,3$
Session 2 (PT02)	Route et chemin de fer	$16,5 \pm 12,7$	$61,7 \pm 23$	$45,2 \pm 17,9$
Session 3 (PT03)	Plage de Saint-Gervais	$19,4 \pm 5,1$	$56,1 \pm 24,5$	$36,7 \pm 14,8$
Session 4 (PT01)	Plage du Cavaou	$30,8 \pm 2,1$	$35,5 \pm 1,3$	$4,7 \pm 1,7$
Session 5 (PT05)	Route et chemin de fer	$21,1 \pm 2,3$	$84 \pm 0,6$	$62,9 \pm 1,5$
Session 6 (PT01)	Plage du Cavaou	$8,7 \pm 0,8$	$10,5 \pm 0,5$	$1,8 \pm 0,7$
Session 7 (PT03)	Plage de Saint-Gervais	$9,2 \pm 0,7$	$11,4 \pm 0,8$	$2,2 \pm 0,8$
Session 8 (PT03)	Plage de Saint-Gervais	$7,1 \pm 1,2$	$9,8 \pm 0,8$	$2,8 \pm 1,2$
Moyenne		$16,3 \pm 3,5$	$40 \pm 6,6$	$23,7 \pm 5,1$

TABLE II : synthèse des concentrations de PM2,5 par point de mesure : moyennes de fond, pics de pollution et écarts observés pour le LOAC 2

Concernant les mesures enregistrées par le capteur LOAC 2 (table 11), une concentration moyenne de fond élevée a été observée, atteignant $16,3 \pm 3,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Les pics de pollution relevés sont encore plus marqués, avec une valeur moyenne de $40,0 \pm 6,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

L'écart entre les pics et le fond, soit une sur-pollution de $23,7 \pm 5,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$, traduit l'influence notable d'émissions. Ces niveaux de concentration dépassent largement les seuils recommandés par l'Organisation mondiale de la Santé (OMS), soulignant le caractère préoccupant de la qualité de l'air.

La comparaison des résultats entre les deux capteurs révèle des écarts significatifs dans l'intensité de la pollution particulaire. **Le LOAC 1 enregistre des niveaux de fond modérément élevés $12,1 \pm 1,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ avec des pics atteignant $18,1 \pm 2,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$, ce qui reflète l'influence directe de la zone industrielle et des conditions locales.**

À l'inverse, le LOAC 2 présente des concentrations globalement plus élevées, notamment des pics moyens bien plus marqués, $40 \pm 6,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ et un différentiel fond-pics important $23,7 \pm 5,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$, indiquant une exposition plus prononcée à des sources d'émissions ponctuelles. Ces écarts suggèrent que le site du LOAC 2 est davantage soumis à des variations rapides liées à l'activité humaine ou aux conditions environnementales locales (zone dégagée ou pas, à proximité de la côte ou dans les terres etc).

Pour l'estimation de la pollution d'ArcelorMittal, seuls les points 1, 2, 3, 5 et 7 ont été retenus, car ils sont directement exposés au vent dominant et moins influencés par d'autres sources industrielles. Les autres points ont été écartés en raison d'un risque de contamination par d'autres entreprises dans l'axe du vent rendant l'analyse moins fiable.

Lorsque l'on considère les points de mesure alignés dans l'axe d'ArcelorMittal et exposés au vent dominant, à savoir les sessions 2 (PT01), 3 (PT03) et 5 (PT05), les résultats montrent une concentration moyenne de fond de $18,7 \pm 4,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$, une valeur moyenne des pics de pollution de $57,5 \pm 10,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$, et donc une sur-pollution moyenne estimée à $38,8 \pm 7,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$, ce qui témoigne d'un impact significatif des émissions industrielles dans cette direction.

Quand la direction du vent change, certaines zones peuvent se retrouver plus exposées à la pollution. Un exemple représentatif a été observé lors de la session 2 effectuée au point PT01, situé sur la plage du Cavaou, à environ 1,4 km de la commune de Fos-sur-Mer. En prenant en compte la vitesse et, surtout la direction du vent, il a été possible d'estimer approximativement l'impact de la pollution issue de la zone industrielle sur la commune. Une sur-pollution de $16,6 \pm 6,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ a ainsi été relevée (table 10).

VALEUR DES AMPLITUDES

Les tableaux ci-dessous (table 12 et 13), présente, pour chaque session de mesure, la valeur moyenne des amplitudes de concentration en particules fines $\text{PM}_{2,5}$ (en $\mu\text{g}/\text{m}^3$), pour les deux appareils de mesure LOAC2/LivePollution, LOAC 1 et LOAC 2. Les données présentées illustrent des variations notables des niveaux de sur-pollution. Précédemment, l'analyse a révélé que les mesures réalisées avec le LOAC 2 présentent des concentrations globalement plus élevées que celles enregistrées par le LOAC 1.

La session n°2 au point PT01 avec le LOAC 1 (Table 12) affiche l'amplitude moyenne la plus élevée, soit $21,2 \pm 12,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$. À l'inverse, les sessions 6 et 7 présentent des niveaux de pollution beaucoup plus faibles, autour de $3 \mu\text{g}/\text{m}^3$, avec des pics plutôt brefs.

Point de Mesure LOAC 1	Lieux	Valeur moyenne des amplitudes ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Session 1 (PT01)	Plage du Cavaou	$13,8 \pm 11,5$
Session 2 (PT01)	Plage du Cavaou	$21,2 \pm 12,1$
Session 3 (PT07)	Bord de route	$7,4 \pm 2,5$
Session 4 (PT04)	Canal Arles à Bouc	$23,7 \pm 7$
Session 5 (PT03)	Plage de Saint-Gervais	$4,3 \pm 2,6$
Session 6 (PT06)	Zone Naturelle	$2,5 \pm 1$
Session 7 (PT04)	Canal Arles à Bouc	$2,8 \pm 1,1$
Session 8 (PT08)	Canal Arles à Bouc	$1,9 \pm 1,2$
Moyenne	$9,7 \pm 4,9$	$4,9 \pm 4,5$

TABLE 12 : Valeur des amplitudes des événements LOAC 1 à Fos-sur-Mer

Point de Mesure LOAC 2	Lieux	Valeur moyenne des amplitudes ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Session 1 (PT09)	Canal Arles à Bouc	$58,7 \pm 6,3$
Session 2 (PT02)	Route et chemin de fer	$58,7 \pm 39,6$
Session 3 (PT03)	Plage de Saint-Gervais	48 ± 34
Session 4 (PT01)	Plage du Cavaou	$6 \pm 2,8$
Session 5 (PT05)	Route et chemin de fer	$64,8 \pm 0,8$
Session 6 (PT01)	Plage du Cavaou	$2,2 \pm 1$
Session 7 (PT03)	Plage de Saint-Gervais	$3 \pm 1,5$
Session 8 (PT03)	Plage de Saint-Gervais	$3,4 \pm 1,4$
Moyenne		$30,6 \pm 10,9$

TABLE 13 : Valeur des amplitudes des événements LOAC 2 à Fos-sur-Mer

Concernant les données du LOAC 2 (table 13), deux sessions se distinguent par des amplitudes très élevées : $58,7 \pm 6,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ pour la session 1 et $58,7 \pm 39,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ pour la session 2. La moyenne globale des amplitudes s'élève à $9,7 \pm 4,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ pour le LOAC 1 et $30,6 \pm 10,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ pour le LOAC 2. Ces valeurs importantes masquent toutefois des écarts marqués entre les différentes sessions. **Sur les 8 sessions réalisées, 16 mesures ont été effectuées, dont 7 présentent des valeurs supérieures à la limite journalière recommandée par l'OMS (table 10 et 11).**

Concernant les mesures effectuées dans l'axe d'ArcelorMittal, et en reprenant les sessions et points situés dans l'axe du vent mentionnés précédemment, la valeur moyenne des amplitudes est de $42,2 \pm 15,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

TYPOLOGIE DES PARTICULES IDENTIFIÉES

PENDANT LES ÉPISODES DE POLLUTION

Afin de mieux comprendre l'origine et la nature des épisodes de pollution relevés au cours des différentes sessions, une analyse de la typologie des particules a été réalisée par les deux appareils LOAC2/LivePollution, LOAC 1 et LOAC 2. Celle-ci permet d'identifier la nature des particules. On retrouve ci-dessous la typologie prédominante telle que mesurée par l'appareil pour chaque session de mesure (table 14 et 15).

Point de Mesure LOAC 1	Lieux	Typologie observée sous les pics de pollution
Session 1 (PT01)	Plage du Cavaou	Carbone noir
Session 2 (PT01)	Plage du Cavaou	Carbone noir
Session 3 (PT07)	Bord de route	Carbone noir + eau
Session 4 (PT04)	Canal Arles à Bouc	Carbone noir + eau
Session 5 (PT03)	Plage de Saint-Gervais	Carbone noir + eau
Session 6 (PT06)	Zone Naturelle	Eau
Session 7 (PT04)	Canal Arles à Bouc	Carbone noir + eau
Session 8 (PT08)	Canal Arles à Bouc	Carbone noir + eau

TABLE 14 : Typologie des particules identifiées pendant les épisodes de pollution, LOAC 1

Point de Mesure LOAC 2	Lieux	Typologie observée sous les pics de pollution
Session 1 (PT09)	Canal Arles à Bouc	Carbone noir
Session 2 (PT02)	Route et chemin de fer	Carbone noir
Session 3 (PT03)	Plage de Saint-Gervais	Carbone noir + sel
Session 4 (PT01)	Plage du Cavaou	Carbone noir + sel
Session 5 (PT05)	Route et chemin de fer	Carbone noir
Session 6 (PT01)	Plage du Cavaou	Eau
Session 7 (PT03)	Plage de Saint-Gervais	Carbone noir
Session 8 (PT03)	Plage de Saint-Gervais	Carbone noir

TABLE 15 : Typologie des particules identifiées pendant les épisodes de pollution, LOAC 2

Sur l'ensemble des sessions de mesure réalisées avec les capteurs LOAC2/LivePollution, LOAC 1 et LOAC 2, **la majorité des épisodes de pollution est dominée par des particules identifiées comme du carbone noir**. À l'inverse, la présence de gouttelettes d'eau, détectées uniquement lors de certaines sessions, reflète une signature typologique propre à des phénomènes atmosphériques comme la condensation, le brouillard ou une humidité relative élevée, sans lien direct avec une émission polluante locale. Par ailleurs, certaines sessions ont révélé une typologie de particules compatible avec la présence de sel marin en zone littorale et sous vents marins dominants.

Analyse des PM₁ à Fos-sur-Mer et Dunkerque

La mesure des particules inférieures à 1 µm (que l'on appelle les particules submicroniques ou particules très fines) est d'intérêt majeur car ce sont les plus dangereuses pour la santé humaine. Elles peuvent pénétrer très profondément dans le corps et atteindre tous les organes. Ces particules sont tellement fines que leur masse devient négligeable ; ainsi les études pour les détecter doivent plutôt provenir de compteurs d'aérosols qui permettent d'accéder à leur concentration en nombre par unité de volume (cm³ ou m³).

Le compteur d'aérosol LOAC2/LivePollution utilisé lors des campagnes de mesure permet d'obtenir la concentration en particules supérieures à 0,15 µm pour 19 gammes. 7 gammes de tailles sont disponibles dans la zone 0,15 - 1 µm. Les figures 32 et 33 présentent les granulométries, c'est-à-dire le nombre de particules par gamme de taille divisé par la largeur de la gamme de taille, pour les mesures effectuées à Dunkerque et à Fos-sur-Mer. Deux courbes sont fournies à chaque fois : celle de la moyenne des mesures en situation de fond, c'est-à-dire en dehors du panache de pollution, et celle de la moyenne des mesures au sein du panache. De manière classique, plus les particules sont petites plus elles sont nombreuses (le maximum de concentration est attendu en-dessous de 0,1 µm mais n'est pas accessible avec ce principe de mesures). Les courbes pour le fond et le panache tendent à se rapprocher au fur et à mesure que la taille des particules augmente au-delà de quelques µm. Ceci indique que la **proportion de particules très fines par rapport aux grosses particules est nettement plus élevée dans le panache qu'en dehors, et donc que le panache est principalement composé de ces particules très fines**.

Le nombre total de particules détectées est de l'ordre de 500 particules par cm³ supérieures à 0,15 µm (500 millions particules par m³) en situation de fond, et est largement supérieur à 1000 particules par cm³ (un milliard de particules par m³) dans le panache. Même en situation de fond, ces valeurs sont élevées : on attendrait plutôt des valeurs inférieures à 100 particules par cm³ dans un air peu pollué.

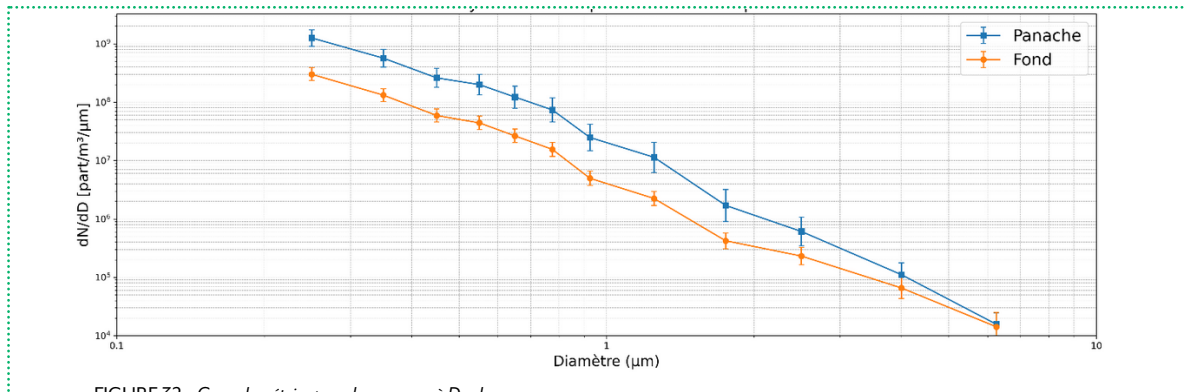


FIGURE 32 : Granulométries pour les mesures à Dunkerque

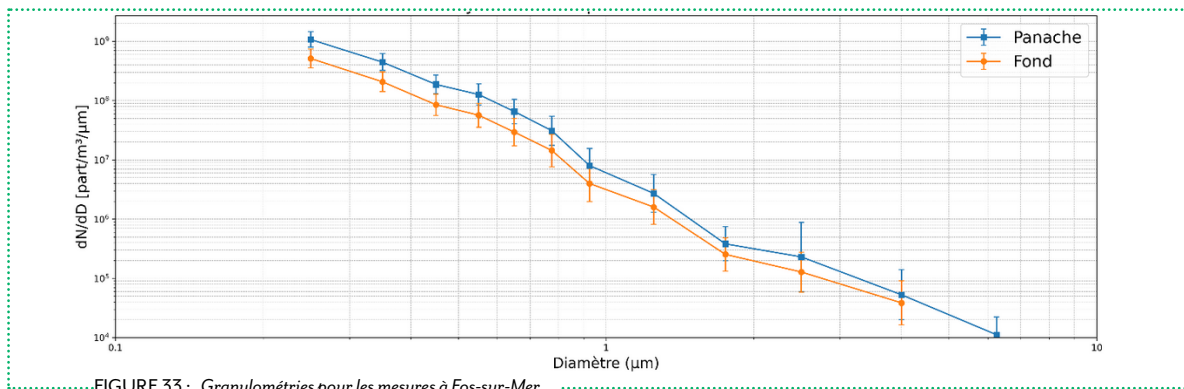


FIGURE 33 : Granulométries pour les mesures à Fos-sur-Mer.

Afin d'évaluer le facteur d'augmentation du nombre de particules dans le panache, les rapports entre les courbes des granulométries dans le panache et celles de fond ont été calculés (Figure 34). Aussi, l'effet de la décroissance du rapport lorsque les particules sont de tailles supérieures à quelques µm a été retrouvé. **Pour Fos-sur-Mer, au moins deux fois plus de particules très fines dans le panache qu'en situation de fond ont été observées. Pour Dunkerque, jusqu'à 5 fois plus de particules très fines dans le panache qu'en dehors ont été obtenues.** Ces forts excès se produisant pour les plus petites particules, leur contribution à l'augmentation des concentrations massiques en PM_{2,5} peut ne pas être majoritaire et donc ne pas être aisément détectée. Ceci montre la nécessité d'effectuer des mesures en nombre en plus de celles en concentrations massiques qui sont pour l'instant le seul indicateur reconnu pour la pollution aux particules fines.

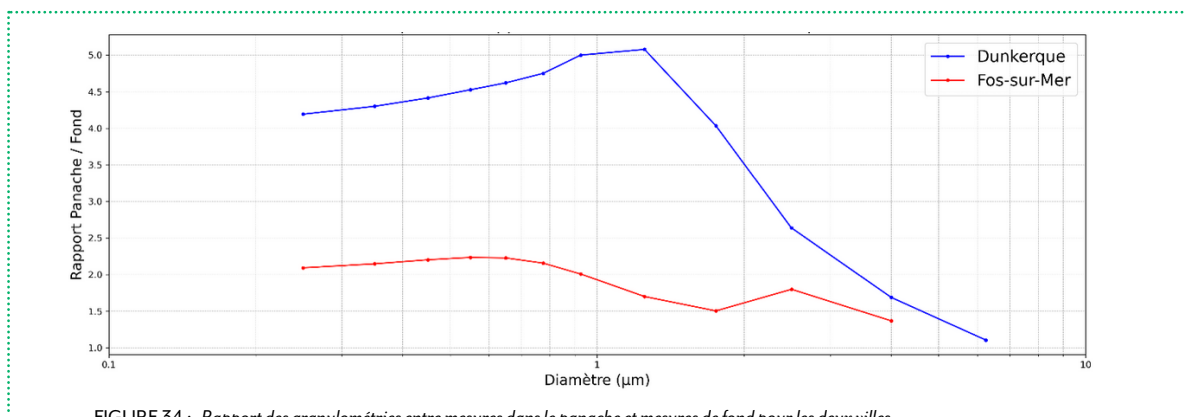


FIGURE 34 : Rapport des granulométries entre mesures dans le panache et mesures de fond pour les deux villes.

Conclusion

Campagne de Dunkerque

L'ensemble des données recueillies lors des différentes sessions de mesure à Dunkerque met en évidence **une pollution aux particules fines $PM_{2,5}$ souvent supérieure aux recommandations de l'OMS**, tant en moyennes qu'en pics ponctuels. Ces dépassements sont particulièrement marqués en zone industrielle, mais également observés sur la digue ou dans des lieux sensibles comme le square pour enfants.

À Dunkerque, il y a au moins **5 fois plus de très petites particules** dans le panache qu'en situation de fond.

Le LOAC fournit une indication typologique de la nature globale des particules, qui se révèle être majoritairement des aérosols d'origine anthropique, de type **minéral absorbant optique**, susceptibles d'être nocifs pour la santé en raison de leur composition.

Campagne de Fos-sur-Mer

L'ensemble des campagnes de mesure réalisées avec les capteurs LOAC2/LivePollution, LOAC 1 et LOAC 2 à Fos-sur-Mer a permis de **caractériser finement les niveaux de pollution particulaire ($PM_{2,5}$) autour de Fos-sur-Mer**, en distinguant les effets des sources dans la zone industrielle. Les analyses montrent des concentrations significativement plus élevées pour le LOAC 2, en lien avec son positionnement plus exposé, notamment dans l'axe des émissions de l'aciérie ArcelorMittal. **Les valeurs de fond et de pics dépassent fréquemment les recommandations journalières de l'OMS**, mettant en évidence une sur-pollution marquée par rapport à la pollution de fond, jusqu'à $38,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ dans certaines configurations. Même dans des zones en amont du vent dominant, des niveaux préoccupants sont relevés, suggérant la persistance des masses d'air polluées.

En typologie, **le carbone noir domine largement**, confirmant une origine anthropique probablement d'origine industrielle.

Ces résultats confirment **l'influence significative des activités industrielles sur la qualité de l'air à Fos-sur-Mer**, tout en révélant la complexité des dynamiques locales de dispersion, de stagnation et d'accumulation des polluants. **L'analyse croisée des concentrations, de la direction des vents et de la typologie des particules** fournit des informations pertinentes pour comprendre les épisodes de pollution, et souligne la nécessité d'un suivi renforcé dans cette zone sensible.

Les résultats de cette étude permettent de formuler l'hypothèse que **les émissions industrielles issues du site ArcelorMittal Fos sont significativement impliquées dans la pollution aux particules fines (PM_{2,5})** observée dans la zone étudiée. Cette hypothèse repose à la fois sur des observations de terrain, notamment la présence visible de panaches de fumée émanant du site, leur évolution géographique en fonction des vents et sur la typologie des particules relevées, généralement caractéristique d'une activité industrielle.

Ce constat fait écho aux résultats de l'étude approfondie³⁷ menée par l'Institut Écociroyen de Fos-sur-Mer sur l'origine des PM_{2,5} dans la zone industrielle, qui a identifié plus finement la pollution attribuable aux différentes unités de production de l'usine ArcelorMittal à Fos. Une sur-pollution de 7 à 9 µg/m³ de PM_{2,5} liée aux émissions des installations de type aciérie et cokerie/hauts-fourneaux/agglomération a en effet été observée. Les terminaux minéraliers et les zones de stockage de déchets seraient quant à eux responsables d'apports massifs en particules fines, atteignant jusqu'à 50 µg/m³. Toutefois, il est important de noter que ces chiffres sont basés sur des mesures de masse, principalement sensibles aux particules de plus grande taille. L'étude met ainsi en évidence **un rejet important de particules ultra-fines (PUF) causé par l'aciérie, la cokerie, le haut-fourneau ainsi que l'unité d'agglomération.**

Ce résultat est cohérent avec nos propres observations, qui montrent également une concentration élevée de particules de très petite taille. En effet, à Fos-sur-Mer, il y a au moins 2 fois plus de très petites particules dans le panache qu'en situation de fond. Ces particules, bien que peu visibles sont souvent négligées dans les mesures classiques basées sur la masse (comme les PM_{2,5}), sont émises en très grand nombre et peuvent pénétrer très profondément dans les voies respiratoires, posant ainsi un risque majeur pour la santé. Il est donc crucial d'assurer leur suivi en nombre et de réglementer les émissions de particules ultrafines pour protéger les travailleurs et les riverains des zones industrielles.

Pour conclure, à Fos comme à Dunkerque, ces premières études ont montré la nécessité de suivre les niveaux de pollution au sein des panaches sur de longues périodes de temps, afin d'établir les niveaux moyens de pollution qui sont respirés par les habitants situés sous le vent des panaches.

³⁷ Sylvestre, A., Mizzi, A., Mathiot, S., Masson, F., Jaffrezo, J. L., Dron, J., ... & Marchand, N., Comprehensive chemical characterization of industrial PM_{2,5} from steel industry activities, 2017 avec "Comprehensive chemical characterization of industrial PM_{2,5} from steel industry activities"

Bibliographie

Réseau Action Climat,

Quelle transition écologique pour l'acier en France ?, 2 août 2022

URL : <https://reseauactionclimat.org/quelle-transition-ecologique-pour-lacier-en-france/>

Greenpeace, Wenjie Liu, Jiangbei Hao, Ada Kong,

Breaking The Mold: The Role of Automakers In Steel Decarbonisation, Mai 2023,

URL : https://www.greenpeace.org/static/planet4-eastasia-stateless/2023/05/e45b70a3-auto_steel_report_2023_-greenpeace.pdf

INSEE,

Emploi industriel par commune, 2018

B. L. Allen, A.K. Cohen, Y. Ferrier, J. Lees,

Fos EPSEAL, Etude participative en santé environnement ancrée localement sur le front industriel de Fos-sur-Mer et Port-Saint-Louis-du-Rhône, Rapport final, Janvier 2017,

URL : <https://fosepseal.hypotheses.org/files/2023/07/rapport-FOS-EPSEAL.pdf>

Observatoire Local de la Santé,

Diagnostic territorial de santé sur les territoires de la Communauté Urbaine de Dunkerque et de la Communauté de Communes des Hauts de Flandre, 2023

Santé Publique France, Rapport d'analyse de l'étude Fos-EPSEAL, 2018,

URL : <https://www.santepubliquefrance.fr/docs/rapport-d-analyse-de-l-etude-fos-epseal>

Santé Publique France,

Rapport d'analyse de l'étude Fos-EPSEAL, 2018,

URL : <https://www.santepubliquefrance.fr/docs/rapport-d-analyse-de-l-etude-fos-epseal>

Reporterre,

Usines à Fos-sur-Mer : les "sacrifiés de la pollution" se battent en justice, 14 avril 2022, mise à jour le 16 avril 2022,

URL : <https://reporterre.net/Usines-a-Fos-sur-Mer-les-sacrifies-de-la-pollution-se-battent-en-justice>

Marsactu,

A Fos, les plaintes pour trouble du voisinage visant les industriels tombent à l'eau, 10 mai 2023,

URL : <https://marsactu.fr/bref/a-fos-les-plaintes-pour-trouble-du-voisinage-visant-des-industriels-tombent-a-leau/>

France Nature Environnement,

ArcelorMittal méditerranée condamnée : victoire pour la santé et l'environnement, 16 juillet 2021,

URL : <https://fne.asso.fr/actualites/arcelormittal-mediterranee-condamnee-victoire-pour-la-sante-et-l-environnement>

Fracas Media,

ArcelorMittal : quand les ouvriers luttent pour la transition, 26 février 2025,

URL : <https://fracas.media/2025/02/26/arcelormittal-quand-les-ouvriers-luttent-pour-la-transition/#3764b7fb-6954-4ad6-afa5-5ba382af50be>

La voix du Nord, Arnaud Stoerkler,

En attendant la décarbonation, comment se porte la qualité de l'air à Dunkerque ?, 5 août 2023,

URL : <https://lpca.univ-littoral.fr/wp-content/uploads/2023/09/Article-VdN-aout-2023.pdf>

AtmoSud,

Scénarios de réduction des émissions industrielles et impact sur la qualité de l'air à Fos-sur-Mer et dans l'étang de Berre, 2022.

URL : www.atmosud.org

Dispositif Réponses,

Réglementation pour réduire les émissions de composés organiques volatils, Mise à jour le 05/02/2025, 14/02/2024, 31/01/2023, 14/02/2022, URL : https://www.dispositif-reponses.org/attentes-et-actions/actions-1?detail=3597&arko_default_5dd6bfacbc38--ficheFocus=

Jinsoo Kim, Benjamin K. Sovacool, Morgan Bazilian, Steve Griffiths, Junghwan Lee, Minyoung Yang, Jordy Lee,

Decarbonizing the iron and steel industry: A systematic review of sociotechnical systems, technological innovations, and policy options, *Energy Research & Social Science*, Volume 89, 2022, 102565, ISSN 2214-6296,

URL : <https://doi.org/10.1016/j.erss.2022.102565>.

Correctiv,

Industrial air pollution costs Europe 265 billion euros in one year, 26 Octobre 2023,

URL : <https://correctiv.org/en/europe/2023/10/26/industrial-air-pollution-costs-europe-265-billion-euros-in-one-year/>

European Commission, R. Remus, M. A. Aguadoa Monsonet, S. Roudier, L. Delgado Sancho,

Best Available Techniques (BAT) Reference Document for Iron and Steel Production, 2013,

URL : https://eippcb.jrc.ec.europa.eu/sites/default/files/2019-11/IS_Adopted_03_2012.pdf

UK Government,

Guidance Ferrous and non-ferrous metals : pollution inventory reporting, Mis à jour 29 Novembre 2024,

URL : <https://www.gov.uk/government/publications/pollution-inventory-reporting-guidance-notes/ferrous-and-non-ferrous-metals-pollution-inventory-reporting?utm>

Confédération Générale du Travail,

Livret de 43 propositions, 2019,

URL : <https://www.lamarseillaise.fr/environnement/pollution-a-fos-la-cgt-d-arcelor-presente-ses-43-propositions-a-la-population-FGLM079408>

France Nature Environnement,
Kit d'outils sur les torchages, Avril 2023

DREAL PACA,
Rapport de l'inspection des installations classées, Visite d'inspection du 14/09/2023, 7 Novembre 2023,
URL : <https://www.georisques.gouv.fr>

Sylvestre, A., Mizzi, A., Mathiot, S., Masson, F., Jaffrezo, J. L., Dron, J., ... & Marchand, N.
2017. Comprehensive chemical characterization of industrial PM_{2.5} from steel industry activities,
URL : [https://www.institut-ecocitoyen.fr/publication/3/AIR%20-%202016%20-%20Sources%20\[these%20-%20Sylvestre\].pdf](https://www.institut-ecocitoyen.fr/publication/3/AIR%20-%202016%20-%20Sources%20[these%20-%20Sylvestre].pdf)

CarbonBrief,
Guest post: These 553 steel plants are responsible for 9% of global CO₂ emissions, 29 juin 2021,
URL : <https://www.carbonbrief.org/guest-post-these-553-steel-plants-are-responsible-for-9-of-global-co2-emissions/>

SteelWatch,
Backtracking on Climate Action – ArcelorMittal Corporate Climate Assessment 2025 Update, 6 mai 2025

Carbon Market Watch & WWF.
A Clean Industrial Revolution in Europe: How the EU Carbon Market can accelerate Decarbonisation by making Polluters Pay, février 2025

France Nature Environnement,
Fos-sur-Mer : nous assignons en justice ArcelorMittal pour 36 infractions à l'environnement, 18 décembre 2018
URL : <https://fne.asso.fr/communiqu-presse/fos-sur-mer-nous-assignons-en-justice-arcelormittal-pour-36-infractions-a-l>

Marsactu,
ArcelorMittal dépasse les seuils de pollution 240 jours par an malgré les millions de l'État, 10 mars 2023
URL : <https://marsactu.fr/arcelormittal-depasse-les-seuils-de-pollution-240-jours-par-an-malgre-les-millions-de-letat/>

France Nature Environnement,
ArcelorMittal Méditerranée condamnée : victoire pour la santé et l'environnement, 29 septembre 2022
URL : <https://fne.asso.fr/actualites/arcelormittal-mediterranee-condamnee-victoire-pour-la-sante-et-l-environnement>

Marsactu,

ArcelorMittal dépasse les seuils de pollution 240 jours par an malgré les millions de l'État, 10 mars 2023
URL : <https://marsactu.fr/arcelormittal-depasse-les-seuils-de-pollution-240-jours-par-an-malgre-les-millions-de-letat/>.

Disclose,

ArcelorMittal : un champion des émissions de CO2 biberonné aux aides publiques, 30 mars 2023, URL : <https://disclose.ngo/fr/article/arcelormittal-un-champion-des-emissions-de-co2-biberonne-aux-aides-publiques>

Sénat,

Risques industriels : prévenir et prévoir pour ne plus subir, rapport d'une commission d'enquête, n° 480 (2019-2020), tome I, 2 juin 2020.

Francebleu,

ArcelorMittal rénove son haut-fourneau de Dunkerque et tente de réassurer sur l'avenir, 19 juin 2025,
URL : <https://www.francebleu.fr/emissions/l-info-d-ici-ici-nord/arcelormittal-renove-son-haut-fourneau-de-dunkerque-et-tente-de-rassurer-sur-l-avenir-8917863>

Cour des comptes,

La gestion des risques liés aux installations classées pour la protection de l'environnement dans le domaine industriel, rapport public annuel, février 2024

Sylvestre, A., Mizzi, A., Mathiot, S., Masson, F., Jaffrezo, J. L., Dron, J., ... & Marchand, N.,

Comprehensive chemical characterization of industrial PM_{2.5} from steel industry activities, 2017 (avec la mm mise en forme que les autres)



Respire

Association nationale
pour l'amélioration
de la qualité de l'air

Respire

Maison de la vie associative et citoyenne du 9e
54 rue Jean-Baptiste Pigalle, 75009 Paris

www.respire-asso.org
contact@respire-asso.org

 [@association_respire](https://www.instagram.com/association_respire)

 [@respireasso](https://twitter.com/respireasso)

 [@AssociationRespire](https://www.facebook.com/AssociationRespire)