

RAPPORT D'ETUDE

Caractérisation des particules PM10 à la MEL
N° 01/2022/SZ/V0

Etude menée en 2019-2020



Auteurs : Shouwen ZHANG

Relecteur : Arabelle PATRON-ANQUEZ, Benoit Rocq

Diffusion : Mars 2023

Avant-propos

Atmo Hauts-de-France est une association de type « loi 1901 » agréée par le Ministère de la Transition Ecologique et Solidaire (décret 2007-397 du 22 mai 2007) au même titre que l'ensemble des structures chargées de la surveillance de la qualité de l'air, formant le réseau national ATMO. Ses missions s'exercent dans le cadre de la loi sur l'air du 30 décembre 1996. Atmo Hauts-de-France est agréée du 1^{er} janvier 2023 au 31 décembre 2025, au titre de l'article L.221-3 du Code de l'environnement.

Conditions de diffusion

Atmo Hauts-de-France communique publiquement sur les informations issues de ses différents travaux et garantit la transparence de l'information sur le résultat de ses travaux. A ce titre, les rapports d'études sont librement disponibles sur le site www.atmo-hdf.fr.

Responsabilités

Les données contenues dans ce document restent la propriété intellectuelle d'Atmo Hauts-de-France. Ces données ne sont pas rediffusées en cas de modification ultérieure. Les résultats sont analysés selon les objectifs de l'étude, le contexte et le cadre réglementaire des différentes phases de mesures, les financements attribués à l'étude et les connaissances métrologiques disponibles.

Avertissement

Atmo Hauts-de-France n'est en aucune façon responsable des interprétations et travaux intellectuels, publications diverses ou de toute œuvre utilisant ses mesures et ses rapports d'études pour lesquels aucun accord préalable n'aurait été donné.

Toute utilisation partielle ou totale de ce document (extrait de texte, graphiques, tableaux, ...) doit faire référence à l'observatoire dans les termes suivants : © **Atmo Hauts-de-France – Rapport N°01/2020/SZ/V0**. En cas de remarques sur les informations ou leurs conditions d'utilisation, prenez contact avec Atmo Hauts-de-France :

- depuis le formulaire de contact disponible à l'adresse <http://www.atmo-hdf.fr/contact.html>
- par mail : contact@atmo-hdf.fr
- par téléphone : 03 59 08 37 30

Réclamations

Les réclamations sur la non-conformité de l'étude doivent être formulées par écrit dans les huit jours de la livraison des résultats. Il appartient au partenaire de fournir toute justification quant à la réalité des vices ou anomalies constatées. Il devra laisser à Atmo Hauts-de-France toute facilité pour procéder à la constatation de ces vices pour y apporter éventuellement remède. En cas de litige, un accord amiable sera privilégié. Dans le cas où une solution n'est pas trouvée la résolution s'effectuera sous l'arbitrage des autorités compétentes.

	Nom	Qualité	Visa
Approbation	Benoit Rocq	Responsable du Service Etudes	

Version du document : V3 basé sur trame vierge : EN-ETU-20

Date d'application : 01/01/2021

Sommaire

Sommaire	3
Annexes	4
Illustrations	5
Tableaux	6
1. Synthèse de l'étude	7
2. Enjeux et objectifs de l'étude	9
3. Introduction : les particules atmosphériques	11
3.1. Granulométrie des particules.....	11
3.2. Origines et composition chimique des particules	11
3.3. Impacts environnementaux et sanitaires	13
4. Matériels et méthodes	14
4.1. Stations de mesure et polluants mesurés.....	14
4.2. Techniques de mesure	15
4.2.1. Mesures en continu	15
4.2.2. Mesures avec analyse différée	15
4.3. Modèle source récepteur	17
5. Contexte environnemental	17
5.1. Émissions connues.....	17
5.1.1. Différence entre émissions et concentrations.....	17
5.1.2. Émissions à proximité des sites de mesure.....	18
5.2. Épisodes de pollution	21
6. Résultats de l'étude	23
6.1. Identification des sources	23
6.1.1. Contribution globale.....	23
6.1.2. Sources identifiées et leur variation saisonnière.....	25
6.1.3. Contribution moyenne saisonnière	33
6.2. Sources géographiques	37
6.2.1. Rose de pollution	37
6.2.2. Rétrotrajectoires.....	42
6.3. Episodes de pollution	45
6.4. Impact du confinement	52
7. Conclusion et perspectives	54

Annexes

Annexe 1 : Glossaire	56
Annexe 2 : Limite de détection	58
Annexe 3 : Modèle source récepteur	58
Principe de la méthode.....	58
Sélection des espèces chimiques.....	58
Prétraitements des données	59
Estimation d'incertitudes.....	59
Définition de contraintes.....	59
Annexe 4 : Analyse du vent et des rétrotrajectoires	60
Méthode d'analyse du vent.....	61
Méthode d'analyse des rétrotrajectoires.....	62
Annexe 5 : Fiche émission PM10 de la Métropole Européenne de Lille (année 2018)	64
Annexe 6 : Validation de méthode	65
Annexe 7 : Profil chimique des facteurs identifiés	66
Annexe 8 : Contribution moyenne des principaux facteurs constitutifs des PM10 à la MEL en 2019-2020 obtenus par la démarche PMF sans aucune contrainte	70
Annexe 9 : Tableau des valeurs réglementaires en air ambiant 2018	71

Illustrations

Figure 1 : Illustration de la taille des particules PM10 et PM2.5. Source : U.S. EPA.....	11
Figure 2 : Principaux polluants atmosphériques (source : Atmo Hauts-de-France).....	12
Figure 3 : Stations de mesures sélectionnées pour cette étude.....	14
Figure 4 : Analyseur TEOM-FDMS. Source : Thermofisher.....	15
Figure 5 : Photos de préleveurs DA80 (intérieur et tête de prélèvement).....	16
Figure 6 : Relation entre les émissions et les concentrations de polluants atmosphériques.....	17
Figure 7 : Carte d'émissions des PM10 par commune à la MEL en 2018.....	18
Figure 8 : Émissions de particules PM10 et leur répartition par secteur d'activité à la MEL.....	19
Figure 9 : Principales ICPE (installations classées pour la protection de l'environnement) situées à proximité du site de mesure MC5 (Lille Fives). Sont identifiées les ICPE classées « SEVESO » (en violet, avec étiquettes indiquant leurs noms), les ICPE soumises à autorisation (en jaune), et les ICPE soumises à enregistrement (en cyan).....	20
Figure 10 : Épisodes de pollution en particules PM10 constatés entre le 01/07/2019 et le 30/06/2020 en région Hauts-de-France.....	22
Figure 11 : huit principales sources influencent les concentrations de PM10	23
Figure 12 : Contribution moyenne des principaux facteurs constitutifs des PM10 à la MEL en 2019-2020 (par analyse PMF).....	24
Figure 13 : Variation saisonnière de la source « combustion de biomasse ».....	25
Figure 14 : Variation saisonnière de la source « Nitrate-rich »	26
Figure 15 : Variation saisonnière de la source « poussières minérales »	27
Figure 16 : Variation saisonnière de la source « sels marins frais ».....	28
Figure 17 : Variation saisonnière de la source « sels marins vieillis ».....	28
Figure 18 : Variation saisonnière de la source « industries ».....	29
Figure 19 : Variation saisonnière de la source « trafic routier primaire »	30
Figure 20 : Variation saisonnière de la source « sulfate-rich ».....	31
Figure 21 : Contribution moyenne des principaux facteurs constitutifs des PM10 à la MEL en été 2019 et été 2020.....	33
Figure 22 : Contribution moyenne des principaux facteurs constitutifs des PM10 à la MEL en automne 2019.....	34
Figure 23 : Contribution moyenne des principaux facteurs constitutifs des PM10 à la MEL en hiver 2019-2020.....	35
Figure 24 : Contribution moyenne des principaux facteurs constitutifs des PM10 à la MEL au printemps 2019-2020.....	35
Figure 25 : Sources géographiques des particules PM10 à la MEL.....	38
Figure 26 : Rose de pollution pour 3 sources locales : combustion de biomasse, trafic routier primaire et industries (échelles variables).....	39

Figure 27 : Rose de pollution pour 3 sources lointaines : sulfate-rich, sels marins frais et sels marins vieillis (échelles variables).....	40
Figure 28 : Rose de pollution pour deux sources mélangées : nitrate-rich et poussières minérales	41
Figure 29 : Carte d'origine géographique de la source Nitrate-rich.....	42
Figure 30 : Carte d'origine géographique de la source Sulfate-rich.....	43
Figure 31 : Carte d'origine géographique des sources Sels marins frais (gauche) et Sels marins vieillis (droite).....	44
Figure 32 : Concentration massique des principaux facteurs des PM10 pour les journées du 03 au 05 décembre 2019.....	45
Figure 33 : Contributions moyennes des principaux facteurs des PM10 le 04/12/2019 et 2019-2020.	46
Figure 34 : Concentrations journalières en PM10 modélisées par la plateforme PREV'AIR du 04/12/2019.....	46
<i>Figure 35 : Concentration massique et contribution moyenne des principaux facteurs des PM10 le 27/03/2020.....</i>	<i>47</i>
Figure 36 : Concentrations journalières en PM10 modélisées par la plateforme PREV'AIR du 27/03/2020.....	48
Figure 37 : Concentration massique et contribution moyenne des principaux facteurs des PM10 le 09/04/2019.....	49
Figure 38 : Concentrations journalières en PM10 modélisées par la plateforme PREV'AIR du 09/04/2020.....	50
Figure 39 : Contribution moyenne des principaux facteurs des PM10 avant le confinement.	52
Figure 40 : Contribution moyenne des principaux facteurs des PM10 pendant le confinement.	53
Figure 41 : Contribution moyenne des principaux facteurs des PM10 après le confinement.	53

Tableaux

Tableau 1 : Laboratoires et méthodes de quantification de la composition chimique des PM10 prélevées sur filtres.....	16
---	----

1. Synthèse de l'étude

Cette étude a été réalisée dans le cadre du programme CARA (caractérisation chimique des particules) d'Atmo Hauts-de-France et financée par la Métropole Européenne de Lille (MEL). Son objectif est de caractériser les particules de taille inférieure à 10 µm (PM10) sur le territoire de la MEL afin de définir les enjeux plus précis du territoire sur la question des particules en lien avec les politiques publiques.

L'étude porte sur les mesures de la période du 1^{er} juillet 2019 au 30 juin 2020 sur la station d'Atmo Hauts-de-France de Lille Fives.

Introduction

Pour les particules ou poussières en suspension (PM), on distingue :

- Les particules primaires, directement émises dans l'atmosphère. Elles sont majoritairement issues de toutes les combustions incomplètes liées aux activités anthropiques. Elles peuvent également être d'origine naturelle (érosion des sols, pollens, feux de forêt, etc.).
- Les particules secondaires, formées dans l'atmosphère par des réactions physico-chimiques d'espèces dites précurseurs.

Identification des sources de Particules PM10 et leur provenance géographique

Grace à l'analyse par un modèle de type source-récepteur, 8 sources de particules PM10 sont identifiées et quantifiées :

- En **automne** et **hiver**, la combustion de biomasse, dont le chauffage au bois, et le trafic routier sont les deux sources principales.
- Au **printemps**, les particules secondaires enrichies en nitrate d'ammonium (Nitrate-rich) sont le constituant dominant. Le nitrate d'ammonium se forme dans l'atmosphère par réaction chimique entre l'ammoniac (NH₃), essentiellement émis lors des épandages d'engrais et les oxydes d'azote (NOx), majoritairement dus aux phénomènes de combustion et notamment des gaz d'échappement du trafic routier.
- En **été**, les PM10 sont dominées par deux sources : les particules secondaires enrichies en sulfate d'ammonium (Sulfate-rich, associé à une masse d'air âgée) et les poussières minérales (sources anthropique et naturelle).

Les origines géographiques (locale, régionale ou lointaine...) des particules PM10 sur le territoire de la MEL ont pu être identifiées par **l'analyse du vent et des trajectoires**.

Les sources principales peuvent être classées en 3 catégories selon leurs distributions spatiales :

- 3 sources locales (la combustion de la biomasse, le trafic routier primaire et les industries)
- 3 sources principalement liées à des processus de transport à longue distance (le Sulfate-rich, les sels marins frais et vieillis). Le sulfate-rich provient principalement de l'est de l'Allemagne. Les sels marins frais proviennent majoritairement de l'océan Atlantique nord et les sels marins vieillis proviennent plutôt de la mer du Nord et de la mer Celtique.
- 2 sources mélangées (à la fois locale et lointaine sans distinction: le Nitrate-rich, et les poussières minérales). Les particules secondaires enrichies en nitrate d'ammonium observées sur le territoire de la MEL sont issues, à la fois, d'une pollution transfrontière de la zone Benelux et de l'Europe de l'Est, et également de la formation secondaire de ce polluant à l'échelle régionale.

Etude de cas

La valeur limite journalière (50 µg/m³ en moyenne journalière) a été dépassée 1 jour à Lille Fives (04/12/2019). L'étude de l'épisode de pollution confirme les résultats obtenus par l'analyse saisonnière. L'épisode hivernal est dominé par les sources locales: la combustion de biomasse et le trafic routier. En revanche, la hausse printanière de la concentration des PM10 (analyse du 27 mars 2020, sans dépassement de la valeur limite journalière) est due à la source secondaire « nitrate-riche », c'est-à-dire une forte contribution des particules secondaires enrichies en nitrate d'ammonium en lien avec les activités d'épandage printanier.

Le confinement lié à la pandémie du COVID-19 au printemps 2020 **montre un impact significatif** sur la source trafic routier (9% en moyenne annuelle contre seulement 1% pendant le confinement). Atmo Hauts-de-France a été sollicité par la MEL pour étudier l'impact du confinement sur la qualité de l'air sur son territoire (<https://www.atmo-hdf.fr/publications/impact-du-confinement-sur-la-qualite-de-lair-de-la-mel-en-2020>).

Les secteurs prioritaires où agir :

Le chauffage au bois et le trafic routier sont les principaux leviers d'actions pour l'amélioration de la qualité de l'air sur le territoire de la MEL **en période froide** (automne/hiver, voire début de printemps). Ces résultats confirment l'intérêt, à l'échelle de la MEL, de la mise en place de plans de réduction des émissions comme la ZFE pour le trafic routier (zones à faibles émissions) ou encore le renouvellement des appareils de chauffage au bois via la prime Air.

Au **printemps**, les **particules enrichies en nitrate d'ammonium** contribuent largement aux concentrations ; la mise en œuvre d'actions à long terme et à large échelle (de l'échelle locale à nationale française voire européenne) est nécessaire pour réduire les émissions d'ammoniac, afin de diminuer les concentrations en nitrate d'ammonium et donc de particules. Cela implique d'agir de manière pérenne sur certaines pratiques agricoles.

2. Enjeux et objectifs de l'étude

Le programme CARA (caractérisation chimique des particules) a été mis en place en 2008 par le Laboratoire Central de Surveillance de la Qualité de l'Air (LCSQA), afin d'améliorer la compréhension des sources et causes des épisodes de pollution aux PM10, ainsi que des concentrations observées en dehors de ces épisodes. Les objectifs actuels de ce programme sont¹:

- **Déterminer les sources** qui contribuent le plus à la pollution particulaire, tant en « situation normale » que lors des épisodes de pollution, afin d'aider à l'élaboration de plans d'actions adaptés.
- **Apporter un appui technique et scientifique** aux associations agréées pour la surveillance de la qualité de l'air (AASQA) dans la mise en œuvre de campagnes de spéciation chimique des particules sur leurs territoires, y compris par des mesures automatiques.
- **Élaborer des guides méthodologiques et des protocoles d'assurance et de contrôle de qualité** portant sur différentes techniques pertinentes à la spéciation chimique des particules et à l'étude de leurs sources.
- **Assurer un retour d'expérience et une veille scientifique** sur les méthodologies et projets visant l'amélioration des connaissances relatives à la pollution particulaire.
- **Réaliser des études de comparaisons inter-laboratoires** portant sur la mesure des espèces chimiques.
- **Optimiser les modèles de chimie-transport** via une comparaison des mesures aux sorties de ces modèles, afin de permettre une meilleure anticipation des épisodes de pollution particulaire.

Les niveaux de PM10 et PM2.5 sont relativement élevés dans la région Hauts-de-France, une problématique présente sur le territoire depuis plusieurs années.

Depuis 2012, dans le cadre du programme CARA, les particules PM10 sont prélevées sur des filtres en plusieurs points de la région Hauts-de-France. La composition chimique des particules ainsi prélevées est ensuite analysée par différents laboratoires. Les études sur le site de Nogent-sur-Oise pendant la période 2013–2016 et sur 4 sites de la région en 2018 sont déjà publiées^{2,3}.

Afin de mieux connaître la composition chimique des particules PM10 sur le territoire de la Métropole Européenne de Lille et sur la Communauté Urbaine de Dunkerque pendant et en dehors des épisodes de pollution, Atmo Hauts-de-France a effectué une étude dans le cadre du programme CARA (Caractérisation chimique des particules) en 2019-2020. Deux points de prélèvement implantés dans des environnements distincts ont été choisis : Lille (urbain) et Dunkerque (urbain sous influence industrielle). Des prélèvements par filtre, chacun d'une durée de 24 heures, ont été réalisés entre le 1er juillet 2019 et le 30 juin 2020. Une trentaine d'espèces chimiques a été analysée pour chaque filtre : carbone élémentaire (EC) et carbone organique (OC), anions et cations, métaux, traceurs organiques. Les résultats de cette étude sont disponibles sur notre site Internet à l'adresse : https://www.atmo-hdf.fr/joomlatools-files/docman-files/Rapport_et_synthese_etudes/2021/Rapport_CARA_2019_2020.pdf .

¹ Olivier FAVEZ et al., "Bilan Des Travaux 2017 Du Programme CARA," 2018, <https://www.lcsqa.org/system/files/rapport/LCSQA2017-bilan%20prog%20CARA%202017.pdf>.

² Atmo HdF, "Programme CARA Nogent-Sur-Oise 2013-2016," Rapport d'étude (Atmo Hauts-de-France, November 2018), http://www.atmo-hdf.fr/joomlatools-files/docman-files/Rapport_et_synthese_etudes/rapport_complet_nogent_min.pdf.

³ Atmo HdF, "Caractérisation Des Particules PM10 Dans La Région Hauts-de-France," March 2019, https://www.atmo-hdf.fr/joomlatools-files/docman-files/Rapport_et_synthese_etudes/Rapport_CARA_2018_VF.pdf.

La présente étude porte sur la suite du programme CARA d'Atmo Hauts-de-France effectuées en 2019-2020, avec un zoom sur l'agglomération lilloise. Elle est financée par la **Métropole Européenne de Lille (MEL)**.

Sur la base des travaux effectués en 2019 et 2020 et de la première exploitation en 2021, cette étude permet de mieux connaître les sources des particules mesurées sur le territoire de la MEL et leur provenance. Cette étude vise à fournir des éléments de compréhension pour aider les élus dans leurs prises de décision afin de réduire la pollution issue des particules. Les objectifs de cette étude peuvent se décliner de la façon suivante :

- Identifier les **sources principales** des particules PM10 (trafic primaire, chauffage au bois, polluants secondaires...) et leurs **évolutions temporelles** (mensuelles, saisonnières, en cas d'épisode...)
- Permettre de comprendre la **provenance géographique** des particules (locale, régionale ou lointaine)
- **Définir les enjeux plus précis du territoire** sur la question des particules
- **Identifier les leviers d'actions** du territoire sur ce sujet en lien avec les politiques publiques (PPA, PCAET notamment)
- Aider à l'évaluation des actions menées (en lien avec projet **Prime Air, ZFE...**)
- **Avoir un livrable clair et accessible, en adéquation avec les terminologies du PCAET.**

3. Introduction : les particules atmosphériques

Les particules atmosphériques sont constituées de matière solide et/ou liquide en suspension dans l'air. Elles sont généralement composées d'un mélange complexe de substances chimiques organiques et inorganiques. Ces particules en suspension sont souvent désignées par l'abréviation PM qui provient de l'anglais "Particulate Matter".

3.1. Granulométrie des particules

Dans le cadre de l'étude de la qualité de l'air, les particules atmosphériques sont classées en fonction de leur diamètre aérodynamique. L'ensemble des particules dont le diamètre est inférieur à 10 micromètres (μm) est appelé **PM10**. De manière similaire, les termes **PM2.5** et **PM1** désignent les particules dont le diamètre est inférieur à 2.5 et à 1 μm , respectivement. La Figure 1 illustre la taille des particules atmosphériques en les comparant à un cheveu humain (50 à 70 μm).

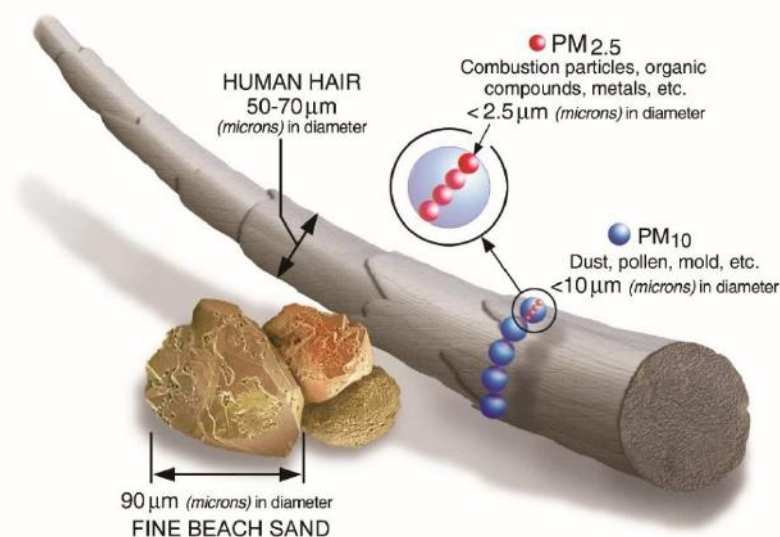


Figure 1 : Illustration de la taille des particules PM10 et PM2.5. Source : U.S. EPA⁴

3.2. Origines et composition chimique des particules

Les particules atmosphériques sont émises par des sources naturelles ainsi que par des sources anthropiques. Les particules naturelles proviennent principalement des éruptions volcaniques, des activités sismiques, des embruns marins, du transport par le vent de poussières du désert, de l'érosion des sols, des feux de forêts, et de la végétation (e.g. pollens). Les principales sources anthropiques sont le trafic routier (échappement et hors échappement), les autres transports motorisés (transport aérien, ferroviaire, maritime et fluvial, etc.), la

⁴ https://www.epa.gov/sites/production/files/2016-09/pm2.5_scale_graphic-color_2.jpg, consulté le 23/11/2018.

production et la distribution d'énergie, le chauffage résidentiel (notamment au bois), certaines activités industrielles et agricoles, le traitement des déchets, et les activités de construction.

Deux catégories de particules sont à distinguer (Figure 2) selon leurs processus de formation :

- Les **particules primaires**, qui sont émises directement dans l'atmosphère par différentes sources anthropiques et naturelles.
- Les **particules secondaires**, qui sont formées dans l'atmosphère par des réactions physico-chimiques à partir de précurseurs gazeux (e.g. SO_2 , NO_x , NH_3 , composés organiques volatils).



Figure 2 : Principaux polluants atmosphériques (source : Atmo Hauts-de-France)

La composition chimique des particules varie fortement en fonction de leurs processus de formation et de leur vie dans l'atmosphère. Les particules sont généralement composées d'un mélange de :

- **Matière organique (OM)**. La matière organique est la fraction qui contient l'ensemble des composés organiques. Le carbone contenu dans cette matière organique est appelé **carbone organique (OC)**. Il peut être émis directement dans l'atmosphère (OC primaire), et aussi être formé par condensation ou nucléation de composés organiques volatils (OC secondaire).
- **Carbone suie (ou black carbon, noté BC)**. Le carbone suie est un polluant primaire, formé par la combustion incomplète de combustibles carbonés (combustibles fossiles, biocarburants, biomasse, etc.).
- **Ions inorganiques (nitrates, sulfates, carbonates, chlorures, ammonium, etc.)**. Ils peuvent être émis directement dans l'atmosphère (ex. NaCl provenant des embruns marins) ou être formés à partir de précurseurs gazeux (ex. le nitrate est formé à partir de NO_x gazeux).
- **Éléments métalliques**. Ils peuvent être émis par des sources naturelles (ex. Ca, Al, Fe provenant de la croûte terrestre), ainsi que par des sources anthropiques (ex. As, Cd, Pb émis par certains processus industriels).

3.3. Impacts environnementaux et sanitaires

L'exposition aux particules est associée à des maladies respiratoires et cardiovasculaires⁵ et à un risque accru de développer un cancer. Ces effets peuvent être exacerbés pour certaines populations considérées comme sensibles (jeunes enfants, personnes âgées, personnes asthmatiques, etc.).

L'influence des particules sur le climat est complexe. Les particules peuvent influencer le climat de manière directe en interagissant avec les rayonnements solaires et terrestres. Elles peuvent également influencer le climat de manière plus indirecte, par exemple en participant à la formation de nuages. Certains composés, principalement le carbone élémentaire, ont un effet réchauffant sur le climat. En revanche, dans leur ensemble, les particules ont un effet refroidissant. L'incertitude sur ces estimations est élevée⁶.

⁵ C. Arden Pope and Douglas W. Dockery, "Health Effects of Fine Particulate Air Pollution: Lines That Connect," *Journal of the Air & Waste Management Association* 56, no. 6 (June 1, 2006): 709–42, <https://doi.org/10.1080/10473289.2006.10464485>.

⁶ T. F. Stocker et al., 2013: Technical Summary. Dans: *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [T.F. Stocker, D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex, P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

4. Matériels et méthodes

4.1. Stations de mesure et polluants mesurés

Lille est la préfecture du département du Nord. Cette ville est située à une dizaine de kilomètres de la frontière franco-belge. La Métropole Européenne de Lille (MEL) est constituée de Lille et de 94 autres communes, formant ainsi une agglomération de 1 146 200 habitants. La densité moyenne de population à Lille est de 6 684 hab/km², pour une superficie d'environ 35 km². La station de Lille Fives est une station urbaine qui mesure la pollution de fond. Elle mesure les polluants réglementés suivants NO, NO₂, ozone, PM_{2.5}, et PM₁₀. Elle mesure également le carbone suie (black carbone, non réglementé). Cette station a été fermée définitivement en fin 2021 à la demande de la Ville de Lille dans le cadre d'un projet d'aménagement du quartier.

Cette étude porte sur les mesures de PM₁₀ effectuées entre le **1^{er} juillet 2019 et le 30 juin 2020**.



Figure 3 : Stations de mesures sélectionnées pour cette étude

4.2. Techniques de mesure

Du 1^{er} juillet 2019 au 30 juin 2020, les particules PM10 ont été mesurées de deux manières différentes. Les deux techniques de mesure utilisées (**mesures en continu** et **mesures avec analyse différée**) sont décrites ci-dessous.

4.2.1. Mesures en continu

La concentration massique des PM10 (sans distinction de leur composition) est mesurée en continu par un analyseur TEOM-FDMS (Figure 4). Cet appareil permet d'obtenir des concentrations avec un pas de temps de 15 min. Les données exploitées dans le présent rapport sont en revanche les moyennes horaires, les moyennes journalières et mensuelles et sont calculées à partir de ces données quart-horaires. La méthode de mesure utilisée (conforme à la norme NF EN 16450) est équivalente à la méthode de référence par pesée gravimétrique (norme NF EN 12341).



Figure 4 : Analyseur TEOM-FDMS. Source : Thermofisher⁷

4.2.2. Mesures avec analyse différée

Les PM10 sont prélevées sur des filtres en quartz par un préleveur haut débit DA80 (débit = 30 L/min, photos sur la Figure 5). Les prélèvements durent chacun 24 heures et sont effectués tous les jours de minuit à minuit (temps universel – TU). Les filtres ainsi obtenus peuvent être poinçonnés et chaque poinçon est envoyé à un laboratoire qui analyse la composition chimique des particules prélevées sur le filtre. Les laboratoires et méthodes de quantification choisis pour chaque famille de composés à analyser sont listés dans le Tableau 1. Les concentrations ainsi mesurées sont des concentrations moyennes journalières.

Les filtres à analyser par les laboratoires sont sélectionnés selon les critères suivants :

⁷ Source : <https://www.thermofisher.com/order/catalog/product/TEOM1405F>

- Un filtre sur six (i.e. un jour de prélèvement sur six) est systématiquement analysé. Un filtre sur trois a été systématiquement analysé pendant le confinement en lien avec la crise sanitaire Covid19 entre mars - juin 2020.
- Si la concentration massique journalière des PM10 telle que mesurée par TEOM-FDMS est supérieure à 40 µg/m³, alors les filtres de cette journée sont analysés.



Figure 5 : Photos de préleveurs DA80 (intérieur et tête de prélèvement)

A noter que les ions et les sucres sont analysés par LSCE (Laboratoire des Sciences du Climat et de l'Environnement) pour les prélèvements en 2019 et par l'INERIS (Institut national de l'environnement industriel et des risques) pour les prélèvements en 2020. Parmi les sucres, il y a 9 espèces qui sont analysées en 2019. Par contre, seulement 3 espèces sont analysées en 2020, en lien avec les laboratoires partenaires.

Tableau 1 : Laboratoires et méthodes de quantification de la composition chimique des PM10 prélevées sur filtres

Espèces mesurées	Méthode(s)	Laboratoire
OC/EC	TOT (analyse thermo-optique en transmission)	LASAIR/Airparif
Ions	IC (Chromatographie ionique)	LSCE (Laboratoire des Sciences du Climat et de l'Environnement) /INERIS (Institut national de l'environnement industriel et des risques)
Métaux	ICP-MS (inductively coupled plasma mass spectrometry) et ICP-AES (inductively coupled atomic emission spectrometry)	Institut Mines Telecom Lille-Douai
Sucres	HPLC-PAD (high performance liquid chromatography coupled to a pulsed amperometric detection)	LSCE/INERIS

4.3. Modèle source récepteur

Le modèle PMF (Positive Matrix Factorization) est une méthode d'analyse factorielle multivariée qui permet d'identifier et de répartir les sources de polluants atmosphériques, à partir de la concentration des espèces chimiques observées.

Le principe de la méthode PMF, les espèces chimiques retenues, le pré-traitement des données, les incertitudes et les contraintes appliquées ainsi que la méthode d'analyse des vents et des rétrotrajectoires sont décrits en Annexe 2-4.

5. Contexte environnemental

5.1. Émissions connues

5.1.1. Différence entre émissions et concentrations

Les émissions de polluants sont les quantités de polluants directement rejetées dans l'atmosphère par les activités humaines ou par des sources naturelles (voir section 3). Les émissions de polluants s'expriment en masse de polluant émise par unité de temps, généralement en tonnes par an.

Les émissions de polluants sont à ne pas confondre avec les concentrations atmosphériques de polluants. Ces concentrations caractérisent la qualité de l'air que l'on respire, et s'expriment souvent en microgrammes de polluant par mètre cube d'air ($\mu\text{g}/\text{m}^3$). Elles sont influencées non seulement par les quantités de polluants émises, mais également par les phénomènes atmosphériques qui influencent le devenir de ces espèces chimiques dans l'air. En effet, une fois émis dans l'atmosphère, les polluants peuvent être dispersés et transportés par des masses d'air, peuvent réagir entre eux pour former d'autres polluants (ou des espèces moins polluantes), et peuvent être déposés sur le sol et dans l'eau. La Figure 6 illustre la relation entre émissions et concentrations de polluants.

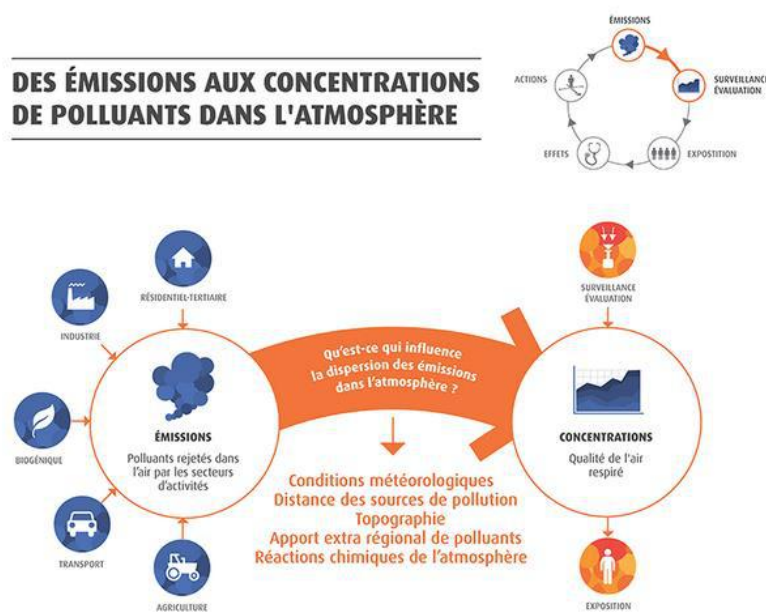


Figure 6 : Relation entre les émissions et les concentrations de polluants atmosphériques

5.1.2. Émissions à proximité des sites de mesure

D'après la dernière version d'inventaire A2018_M2020_V4 d'Atmo Hauts-de-France, les émissions des PM10 réparties par commune sur le territoire de la MEL pour l'année 2018 sont présentées sur la Figure 7.

Emissions des PM10 réparties par communes sur le territoire en 2018 (en tonnes)

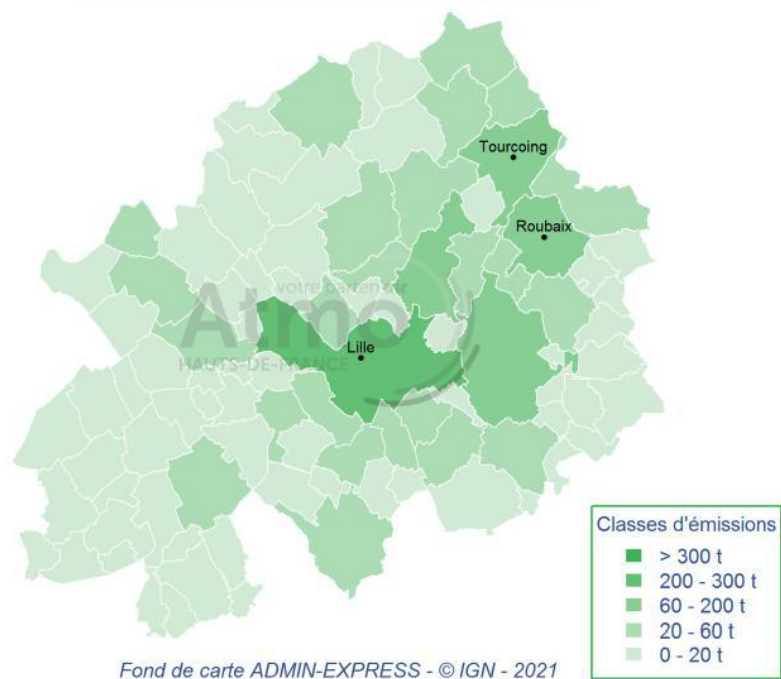


Figure 7 : Carte d'émissions des PM10 par commune à la MEL en 2018

Quelques chiffres clés sur les émissions des PM10 à la MEL :

- La MEL représente **6.95 %** des PM10 régionales
- La densité d'émissions par habitant est de 1.7 kg par habitant, soit **2.8 fois moins** qu'en région
- La densité d'émissions par km² est de 2963.3 kg par km², soit **3.3 fois plus** qu'en région
- **Lille-Centre** émet plus de particules PM10 que les autres communes (> 300 t/an)

Les émissions des PM10 de la MEL présentées ci-dessus sont expliquées par le regroupement en **4 grands secteurs d'émissions** : Transports ; Agriculture et autres ; Résidentiel – Tertiaire et Industrie, déchets, énergie, construction.

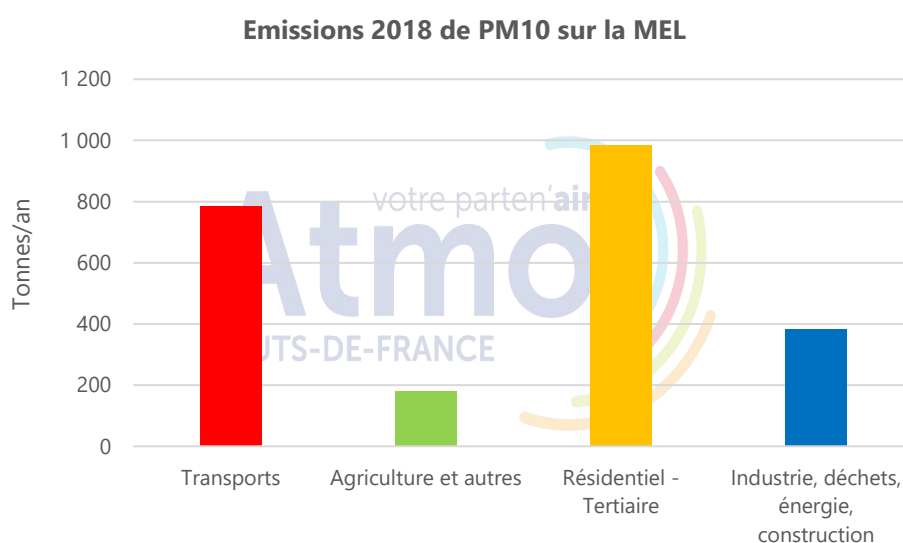
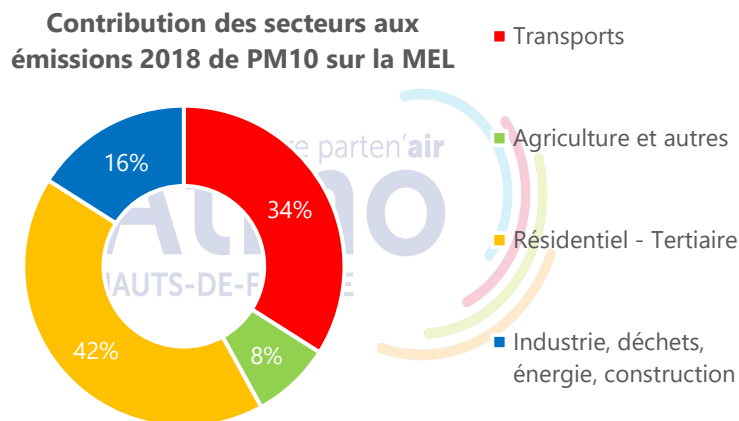


Figure 8 : Émissions de particules PM10 et leur répartition par secteur d'activité à la MEL
 Les données d'émissions ont été extraites de la version A2018_M2020_V4 de l'inventaire d'Atmo Hauts-de-France

Le secteur **résidentiel-tertiaire** est le premier contributeur d'émissions de PM10 à la MEL, qui émet à la hauteur de **42%** (986 tonnes/an). Le **secteur des transports** prend la 2^{ème} place et il représente **34%** d'émissions de PM10 pour la MEL (784 tonnes/an).

Les émissions industrielles contribuent à hauteur de **16%** des émissions de PM10 pour la MEL (384 tonnes/an). Enfin, le **secteur agricole** ne contribue que faiblement aux émissions de PM10 avec **8%** (181 tonnes/an), pour le territoire de la MEL.

En résumé, les deux grands secteurs **résidentiel-tertiaire** et **transports** contribuent jusqu'à **76%** des émissions primaires de PM10 du territoire de la MEL. Les plans d'actions et les mesures à mettre en place sur ces deux secteurs sont nécessaires pour permettre de diminuer d'abord les émissions primaires et éventuellement les polluants secondaires.

Les sites industriels, les principaux axes routiers, les zones densément habitées, et les espaces plus ruraux situés autour de sites de mesure étudiés ici sont présentés sur la figure ci-dessous.

La station de Lille Fives est située dans un quartier résidentiel et commercial de Lille, à l'est de la route nationale N356. Relativement peu d'industries se trouvent à proximité de ce site de mesure.

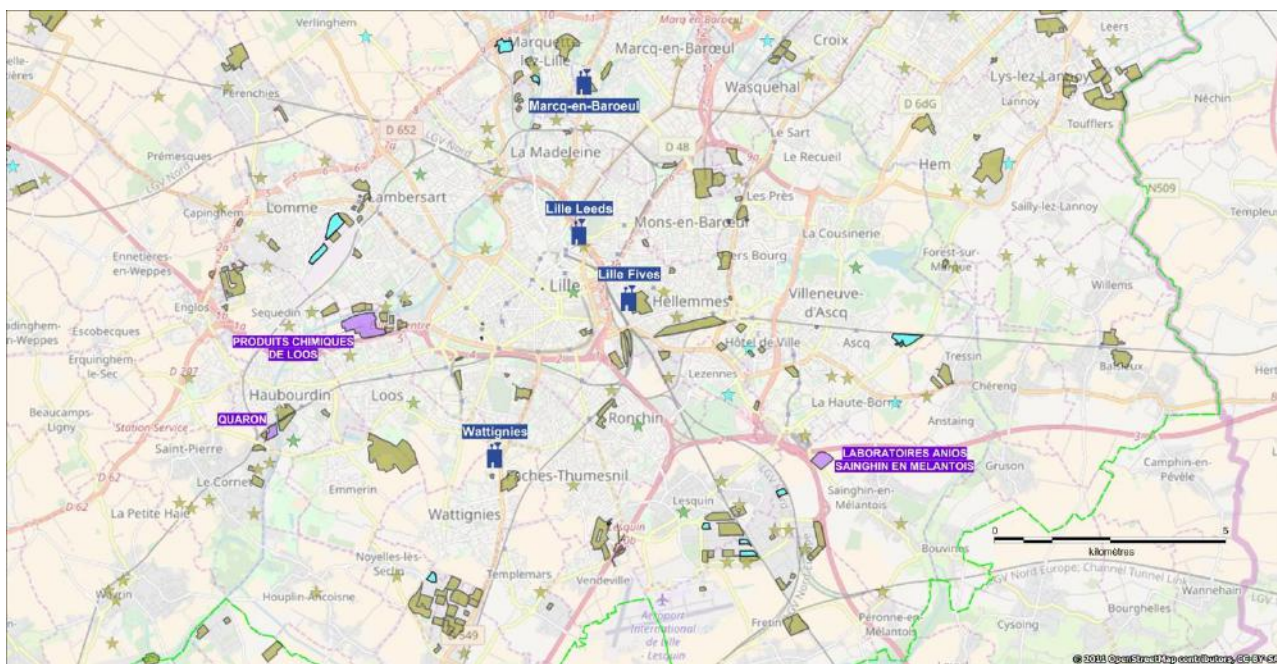


Figure 9 : Principales ICPE (installations classées pour la protection de l'environnement) situées à proximité du site de mesure MC5 (Lille Fives). Sont identifiées les ICPE classées « SEVESO » (en violet, avec étiquettes indiquant leurs noms), les ICPE soumises à autorisation (en jaune), et les ICPE soumises à enregistrement (en cyan)

5.2. Épisodes de pollution

Un épisode de pollution correspond à une période où les concentrations de polluants dans l'air ne respectent pas ou risquent de ne pas respecter les niveaux réglementaires, selon des critères prédéfinis (pourcentage de surface de la zone ou pourcentage de population impactés, niveau réglementaire franchi, durée de l'épisode, etc.).

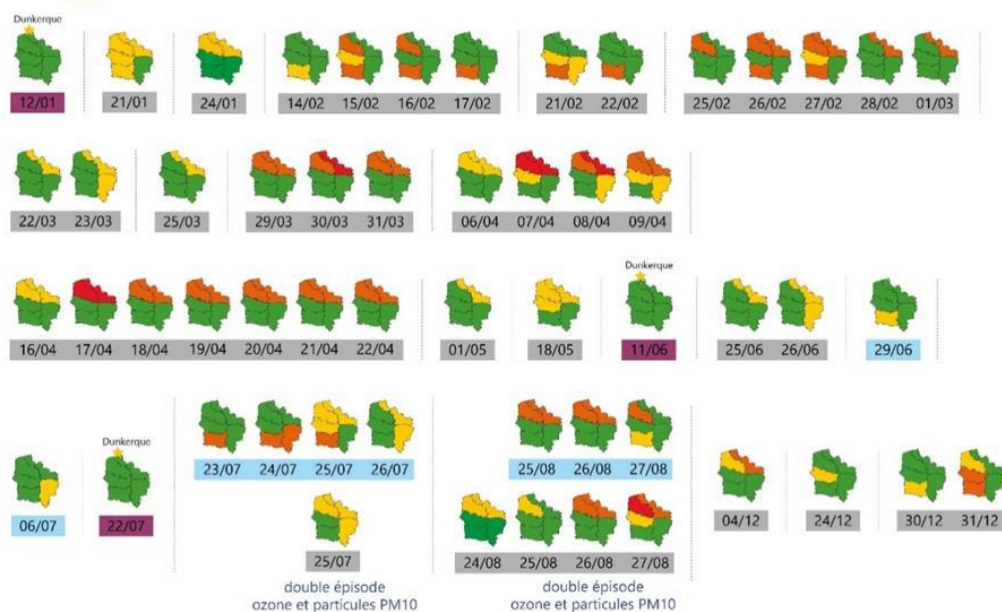
Deux seuils réglementaires sont définis⁸ :

- Le **seuil d'information et de recommandation** (IR) est « *un niveau au-delà duquel une exposition de courte durée présente un risque pour la santé humaine de groupes particulièrement sensibles au sein de la population et qui rend nécessaires l'émission d'informations immédiates et adéquates à destination de ces groupes et des recommandations pour réduire certaines émissions* ».
- Le **seuil d'alerte** est « *un niveau au-delà duquel une exposition de courte durée présente un risque pour la santé de l'ensemble de la population ou de dégradation de l'environnement, justifiant l'intervention de mesures d'urgence* ».

Le seuil d'information et de recommandation pour les PM10 est de 50 µg/m³ en moyenne journalière. Le seuil d'alerte est de 80 µg/m³, en moyenne journalière également. La Figure 10 liste les épisodes de pollution en PM10 qui ont été constatés en région Hauts-de-France sur la période d'étude.

⁸ Article R221-1 du Code de l'environnement (Modifié par Décret n°2010-1250 du 21 octobre 2010 - art. 1).

2019 23 épisodes de pollution (51 jours) dans les 5 départements des Hauts-de-France



2020 6 épisodes de pollution (12 jours) du 1^{er} janvier au 30 juin 2020

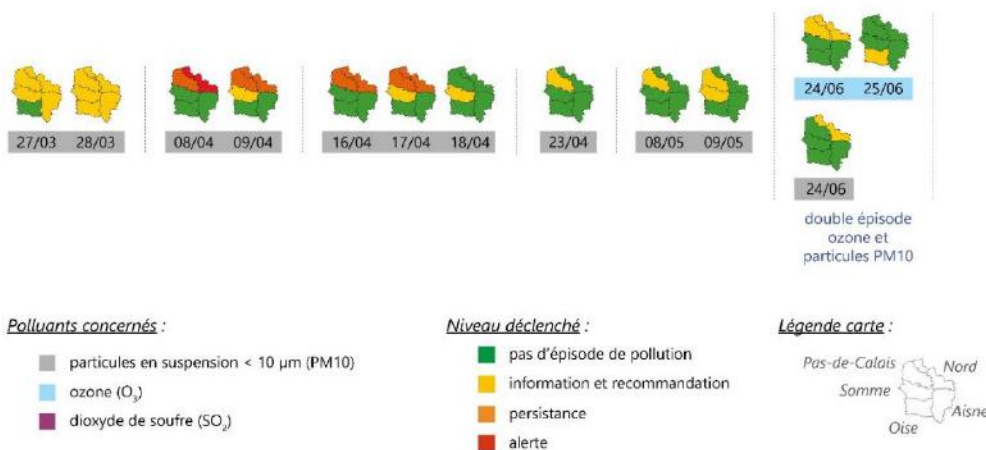


Figure 10 : Épisodes de pollution en particules PM10 constatés entre le 01/07/2019 et le 30/06/2020 en région Hauts-de-France

Source : <https://www.atmo-hdf.fr/acceder-aux-donnees/episodes-de-pollution/historique-des-alertes.html>

Au total, sur la période étudiée, on compte **11 épisodes** et **20 jours de pollution** en particules PM10. A noter que 4 épisodes sont des **double épisodes particules-ozone**. La station étudiée (MC5) a mesuré **1 dépassement à Lille : le 04/12/2019**.

6. Résultats de l'étude

6.1. Identification des sources

Dans cette section, **8 sources identifiées** par le modèle PMF sont présentées en détail. Leur empreinte chimique (profil) pour chaque source est montrée dans l'Annexe 7. La variation saisonnière sera également discutée. L'analyse de la saisonnalité est définie comme suivant : été 2019 (juillet et août 2019), automne 2019 (septembre, octobre et novembre 2019), hiver 2019-2020 (décembre 2019, janvier et février 2020), printemps 2020 (mars, avril et mai 2020) et été 2020 (juin 2020).

Les deux étés (2019 et 2020) ne sont pas identiques à cause de la période de prélèvement différente. L'été 2020 contient qu'un seul mois de données, donc les résultats obtenus pour cette période restent indicatifs.

6.1.1. Contribution globale

La contribution moyenne des principaux facteurs constitutifs des PM10 sur le territoire de la MEL en 2019-2020 est présentée dans la Figure 12.

Sur le territoire de la MEL, **huit principales sources** influencent les concentrations de PM10 dans l'air pour la période d'étude, dont 5 sources primaires et 3 sources secondaires.



Figure 11 : huit principales sources influencent les concentrations de PM10

Le facteur secondaire « **nitrate-rich** » et les **poussières minérales** sont les deux sources les plus importantes, avec **20%** de contribution chacun. Le facteur « **sulfate-rich** », également une source secondaire, représente **15%** des particules PM10 mesurées.

Les sels marins frais et vieilles, quant à eux, contribuent ensemble à **20 %** des particules PM10 en moyenne annuelle.

La combustion de biomasse, correspondant principalement au chauffage au bois résidentiel, représente **13%** des particules PM10.

Le **trafic routier primaire** et **les industries** contribuent respectivement à **9%** et **3%** des PM10.

La description de chaque source et leur variation saisonnière sont présentées dans la section suivante.

Répartition des sources sur la MEL entre 2019-2020

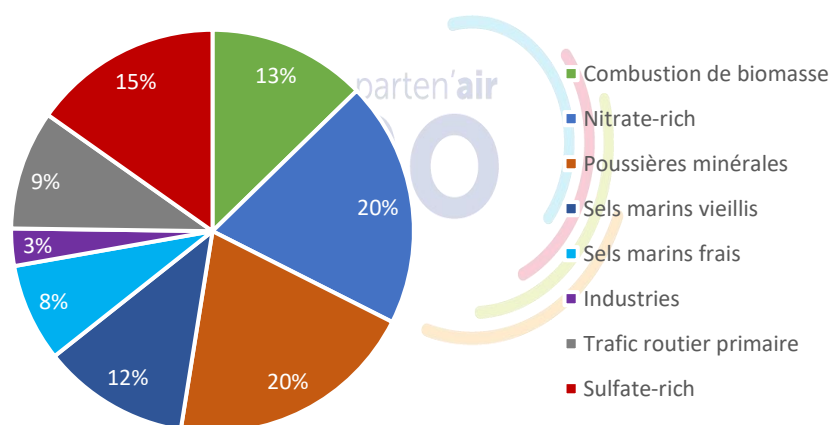


Figure 12 : Contribution moyenne des principaux facteurs constitutifs des PM10 sur le territoire de la MEL en 2019-2020 (par analyse PMF)

6.1.2. Sources identifiées et leur variation saisonnière

☐ Combustion de biomasse

Cette **source primaire** est caractérisée par la présence significative de traceur « **lévoglucozan** » avec des proportions importantes de **carbone organique (OC)**, de **carbone élémentaire (EC)** et de **potassium (K⁺)**.

La combustion de biomasse, correspond principalement **au chauffage au bois résidentiel** sur le territoire de la MEL. Mais elle peut également être émise par les feux de forêts ou la combustion de déchets verts.

Sa concentration est plus élevée en période froide : automne 2019 (3.4 µg/m³) et hiver 2019-2020 (4.7 µg/m³). Son niveau est négligeable au cours des deux étés (proche de 0).

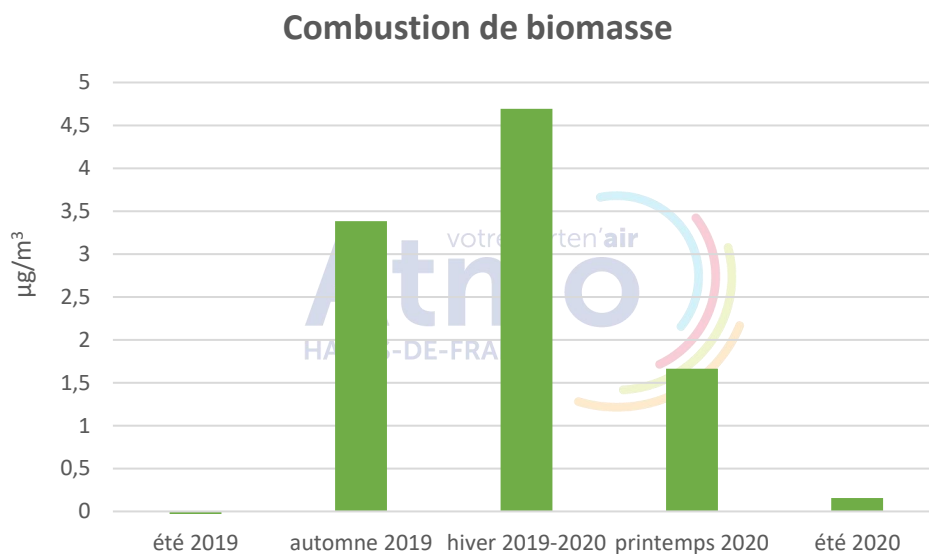


Figure 13 : Variation saisonnière de la source « combustion de biomasse »

Ce qu'il faut retenir pour la combustion de biomasse

- Source primaire
- Concentration élevée en hiver : 4.7 µg/m³ en **moyenne**
- Poursuivre les actions visant le renouvellement des appareils de chauffage au bois
- Pas/peu de contribution en été

☐ Nitrate-rich (aérosols secondaires enrichis en nitrate d'ammonium)

Cette source **secondaire** est caractérisée par la forte présence d'ions **nitrate (NO_3^-) et ammonium (NH_4^+)** indiquant la présence du nitrate sous forme de nitrate d'ammonium (NH_4NO_3). Ce facteur est issu d'une **source secondaire** qui n'est pas émise directement dans l'air. Le nitrate d'ammonium peut être formé localement ou être transporté sur de grandes distances.

Le nitrate d'ammonium est un polluant formé dans l'atmosphère, résultante d'oxydes d'azote (émis majoritairement du **trafic routier** et de **l'industrie**) et d'ammoniac (émis principalement par les **activités agricoles**).

Sa concentration est 2-3 fois plus importante **au printemps** qu'au cours des autres saisons (**$6.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$** contre $2-3 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Ce facteur n'est pas présent pour l'été 2019. Il est probablement influencé par les conditions météorologiques, par exemple, une forte humidité et une faible température favorisent la formation des particules nitrate d'ammonium.

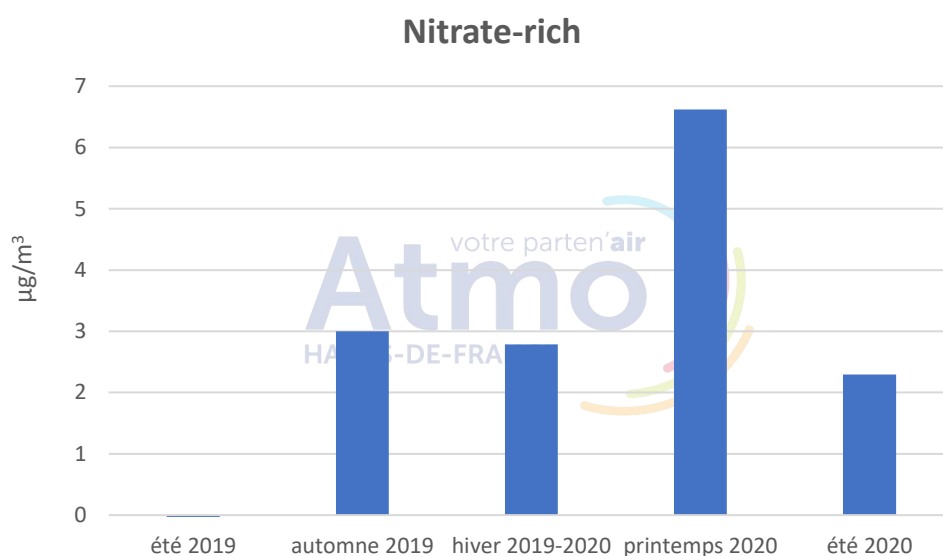


Figure 14 : Variation saisonnière de la source « Nitrate-rich »

Ce qu'il faut retenir pour les aérosols enrichis en nitrate d'ammonium

- Polluant secondaire, formé à partir de l'ammoniac et les oxydes d'azote
- Concentration très élevée au printemps 2020 : $6.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en moyenne (malgré le confinement et donc des émissions du transport routier réduites)
- Importance de l'ammoniac dans la formation du nitrate d'ammonium
- Sources lointaines (principalement) et locales (partiellement)
- Actions proposées localement : réduire les émissions de NH_3 (agriculture)

Poussières minérales :

Cette **source primaire** est caractérisée par la forte présence d'éléments minéraux ou métalliques de la croûte terrestre, tels que **Calcium (Ca²⁺)**, **Aluminium (Al)**, **Titane (Ti)** et **Fer (Fe)**. De plus, les éléments tels que le **Baryum (Ba)**, le **Cobalt (Co)** et le **Manganèse (Mn)**, qui sont émis par l'usure des pneus et des freins, sont également présents dans ce facteur.

Cette signature caractérise ainsi les processus de remise en suspension des poussières à partir des sources telles **l'érosion des sols, les chantiers de construction, la circulation routière, les aires de stationnement.**

Les niveaux élevés observés en été et au printemps sont principalement liés à des conditions météorologiques plus sèches, favorisant la remise en suspension des poussières locales, et probablement aussi aux épisodes de poussières crustales terrigènes (**import de particules sahariennes** notamment) qui ont lieu généralement à ces périodes de l'année.

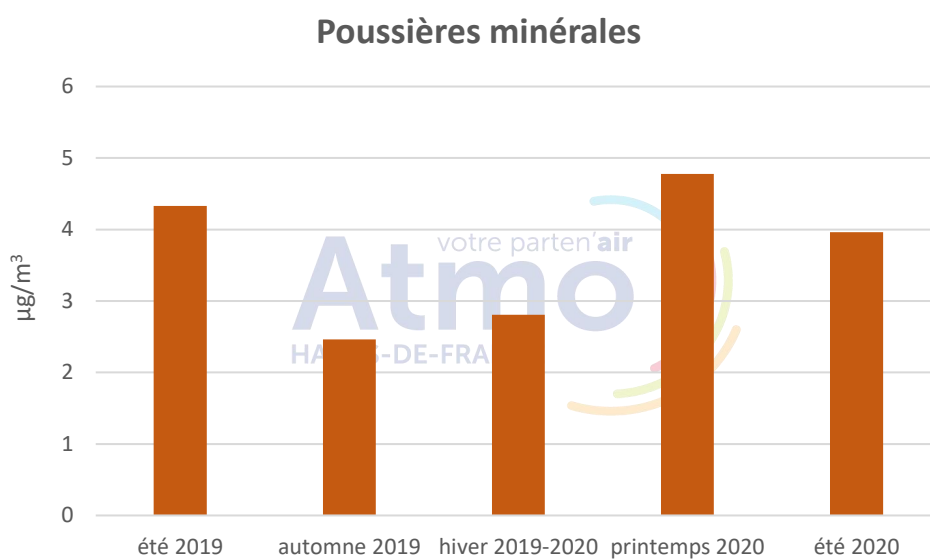


Figure 15 : Variation saisonnière de la source « poussières minérales »

Ce qu'il faut retenir des poussières minérales

- Poussières minérales = sources anthropiques (érosion du sol, chantier, remise en suspension) + naturelles (sables Sahara), ici on ne peut pas distinguer ces deux sources.
- Actions proposées : mettre en place les ZFE et limiter le nombre de véhicules en circulation, qui permet de réduire la remise en suspension des poussières par la circulation.

☐ Sels marins frais

Cette source **primaire** est caractérisée par la prédominance de **Chlorure (Cl⁻)**, **Sodium (Na⁺)**, et **Magnésium (Mg²⁺)** qui sont des composés majeurs de l'eau de mer.

Leur présence est beaucoup plus importante en hiver que lors des autres saisons (jusqu'à 6 fois plus qu'à l'été 2019). En effet, la vitesse des vents est généralement plus élevée en hiver, ce qui permet de générer/transporter plus de sels marins frais.

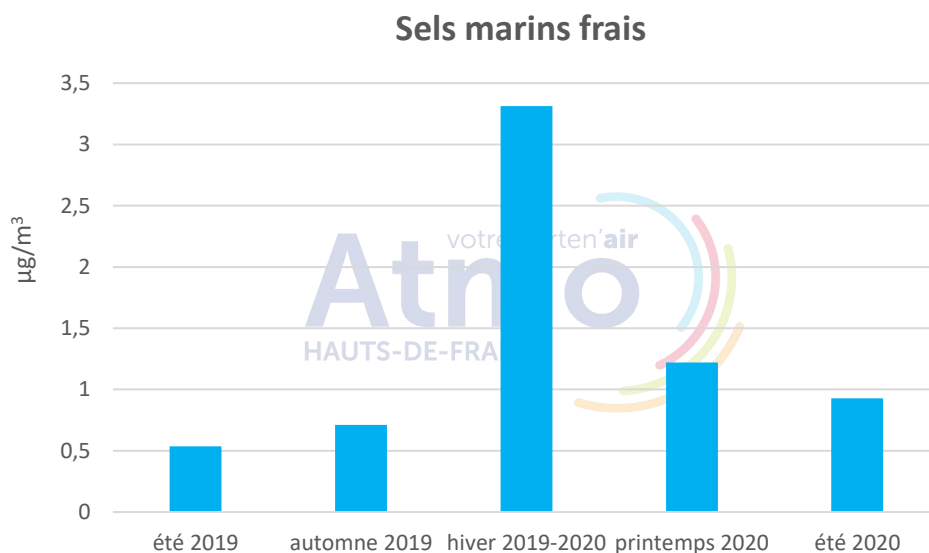


Figure 16 : Variation saisonnière de la source « sels marins frais »

☐ Sels marins vieillis

Cette source **secondaire** est caractérisée par la présence de **Sodium (Na⁺)**, **Magnésium (Mg²⁺)** et également de **nitrate (NO₃⁻)** et de **sulfate (SO₄²⁻)**.

Les sels marins vieillis sont les polluants secondaires, qui généralement proviennent de loin, transportés par des masses d'air âgées et ne présentent pas une variation saisonnière significative.

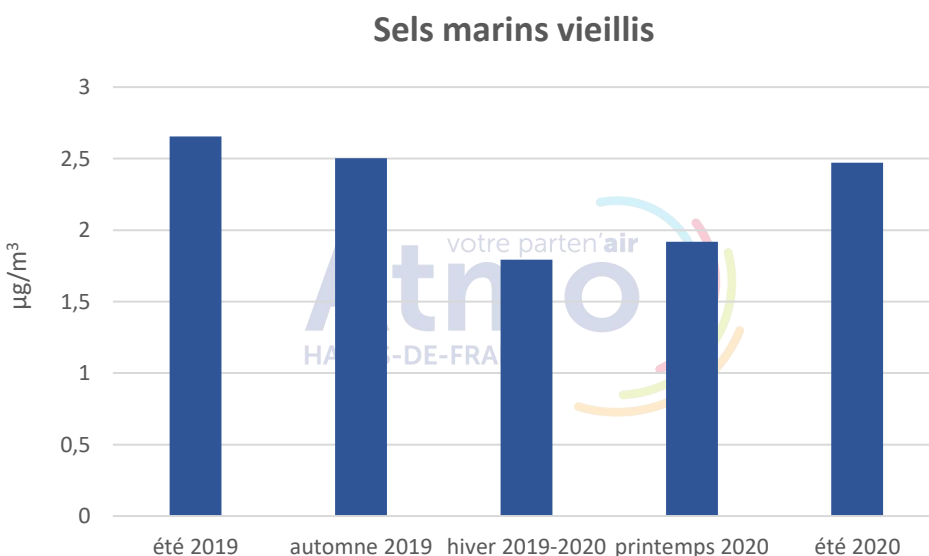


Figure 17 : Variation saisonnière de la source « sels marins vieillis »

Ce qu'il faut retenir des sels marins

- Sels marins frais et vieillis = sources naturelles
- Pas d'actions locales à mettre en place

Source industrielle

Cette source **primaire** se caractérise principalement par la présence importante d'éléments métalliques tels que l'**Arsenic (As)**, le **Cadmium (Cd)**, le **Plomb (Pb)**, et le **Zinc (Zn)**. Ces éléments sont émis par **diverses activités industrielles**, telles que la métallurgie, la production de céramique, de verre, de ciment et la combustion de charbon.

La concentration de la « source industrie » est un peu plus faible durant les deux étés en raison de meilleures conditions de dispersion.

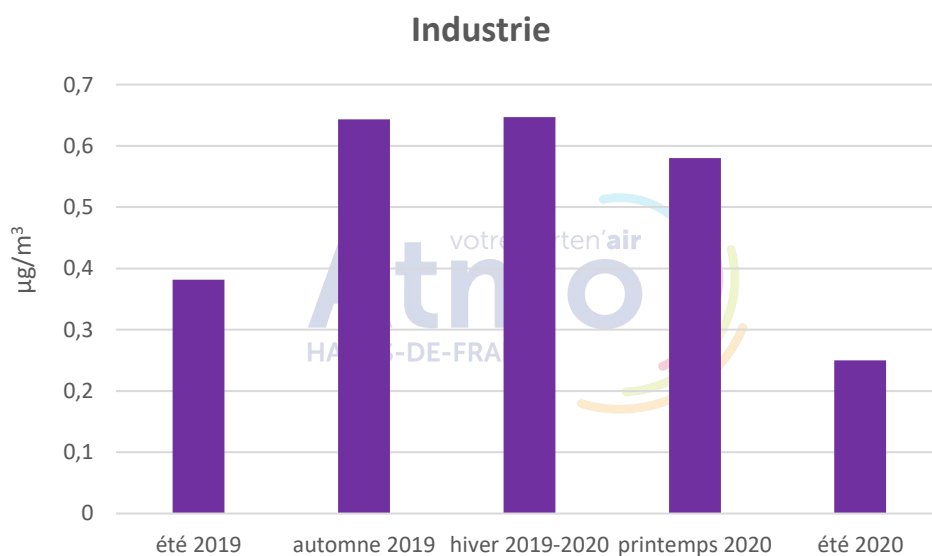


Figure 18 : Variation saisonnière de la source « industries »

Ce qu'il faut retenir de la source industrielle

- Faible contribution toute l'année (<1 µg/m³)
- Cette source reste à surveiller car composée d'éléments métalliques qui, malgré leurs faibles concentrations, représentent un risque sanitaire

Trafic routier **primaire**

Cette source est caractérisée par la forte présence de **Carbone élémentaire (EC)**, majoritairement émis par les combustions de fuels fossiles. Elle contient également différents éléments métalliques tels que le **Baryum (Ba)**, **le Cuivre (Cu)**, **le Fer (Fe)**, **le Plomb (Pb)**, **l'Etain (Sn)**, et **le Zinc (Zn)**. Ces éléments métalliques peuvent être émis par l'usure de certaines pièces mécaniques des véhicules, ou des pneus et des freins. Cette source combine donc des émissions **à l'échappement** ainsi qu'une partie des émissions **hors-échappement** (usure).

Son niveau est plus élevé en automne et hiver, en lien avec les conditions météorologiques moins dispersives. Par ailleurs, l'usage plus fréquent de la voiture et les surémissions du moteur en période froide expliquent aussi la hausse de concentration de cette source.

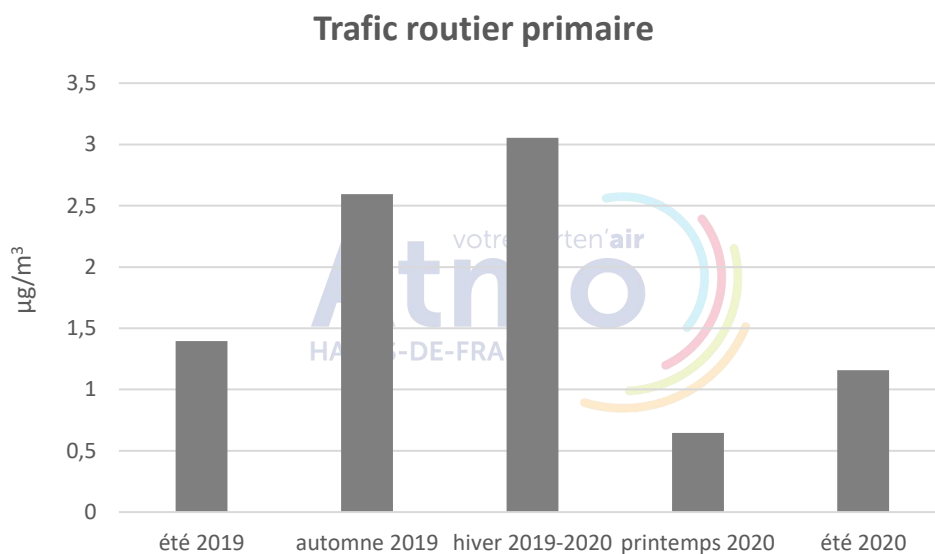


Figure 19 : Variation saisonnière de la source « trafic routier primaire »

Ce qu'il faut retenir du trafic routier primaire

- Concentration élevée en automne et hiver : 2.6 – 3 µg/m³
- Très réduite au printemps 2020 : 0.6 µg/m³ (à cause du confinement)
- Actions possibles : limitation du nombre de véhicules en circulation via la ZFE ou encore le report modal

☐ Sulfate-rich (aérosols secondaires enrichis en sulfate d'ammonium)

Cette source **secondaire** est caractérisée essentiellement par la présence de **sulfate (SO_4^{2-}) et d'ammonium (NH_4^+)**, sous forme de sulfate d'ammonium.

Des concentrations significatives de carbone organique (OC) sont également observées dans ce facteur, probablement liées à la formation d'aérosols organiques secondaires (AOS) par des processus de réaction photochimiques.

Cette source est plus importante en été 2019 et plus faible en hiver. Ce cycle saisonnier est à relier à une activité **photochimique plus intense** liée au fort ensoleillement favorisant **l'oxydation du dioxyde de soufre SO_2** . Ce polluant étant peu émis par le territoire, le sulfate d'ammonium est importé, cette source est synonyme de **masse d'air âgée** et donc de **transport longue distance** de masse d'air.

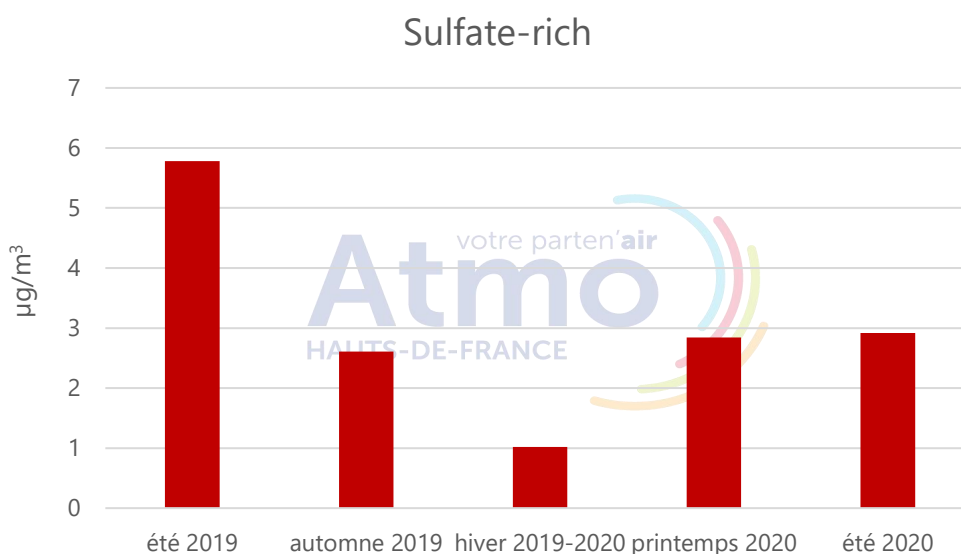


Figure 20 : Variation saisonnière de la source « sulfate-rich »

Ce qu'il faut retenir des aérosols enrichis en sulfate

- Polluant secondaire, formé à partir du dioxyde de soufre et d'ammoniac
- Sulfate-rich = synonyme de masse d'air âgée, peu d'actions locales à mettre en place

Identification des sources à partir des analyses chimiques et statistiques :

Validation de la méthode (bonne corrélation PM10 mesurées & modélisées)

8 Sources identifiées :

- **5 sources primaires** (émises directement dans l'air) : combustion de biomasse, poussières minérales, trafic routier, sels marins frais, industries
- **3 sources secondaires** (formées dans l'atmosphère à partir d'autres polluants) : nitrate-rich, sulfate-rich, sels marins vieillis

Leur variation saisonnière est très distincte selon leur origine et leur nature. Des actions peuvent être mises en place localement pour réduire les sources primaires.

Les sources sont analysées par la suite **au regard des direction et vitesse du vent** pour **déterminer leur origine** : locale ou lointaine

6.1.3. Contribution moyenne saisonnière

☐ Eté 2019 (juillet août 2019) et été 2020 (juin 2020)

En été, les PM10 sont dominées par deux sources : **sulfate-rich** (source secondaire, 21-38%) et **poussières minérales** (source primaire, 28%).

En général, la concentration moyenne des particules **PM10 est faible en été (14-16 µg/m³)**.

Le facteur « sulfate-rich » est plus important en été qu'en hiver. Ce cycle saisonnier est à relier à une activité photochimique plus intense liée au fort ensoleillement favorisant l'oxydation du dioxyde de soufre SO₂ et ainsi la formation de particules secondaires.

Le territoire n'étant pas émetteur de SO₂ en quantité significative, il y a peu de mesures locales à prendre pour diminuer la concentration du **sulfate-rich**, caractérisant les masses d'air âgées.

Pour rappel, les poussières minérales regroupent des sources anthropiques (chantiers, trafic ...) et naturelles (sables sahariens ...). Ainsi, moins de sols nus et un nombre de véhicules en circulation plus restreint pourraient diminuer les **poussières minérales, via une** remise en suspension limitée localement. En revanche, aucune mesure ne peut limiter les poussières minérales transportées, telles que les sables sahariens, par exemple.

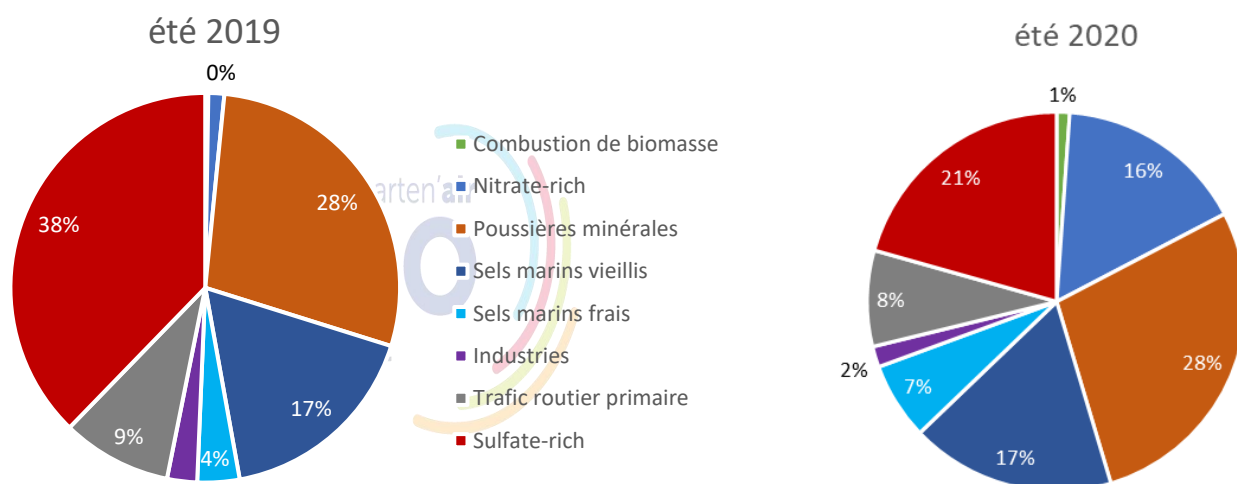


Figure 21 : Contribution moyenne des principaux facteurs constitutifs des PM10 à la MEL en été 2019 et été 2020

Automne 2019

En automne, plusieurs sources anthropiques et naturelles contribuent aux PM10 mesurées. La combustion de biomasse, dont le **chauffage au bois**, représente **19%** des PM10. Les sources secondaires **nitrate-rich** et **sulfate-rich** contribuent, à elles deux, à plus de **30%** de PM10. Les poussières minérales, les sels marins vieillis, et le **trafic routier primaire** représentent **14%** de PM10 chacun. Les sels marins frais et l'industrie représentent une proportion plus faible, environ 4% chacun.

Il est important de mettre en place les mesures efficaces sur le **chauffage au bois** et le **trafic routier** afin de réduire la concentration des PM10 à l'automne.

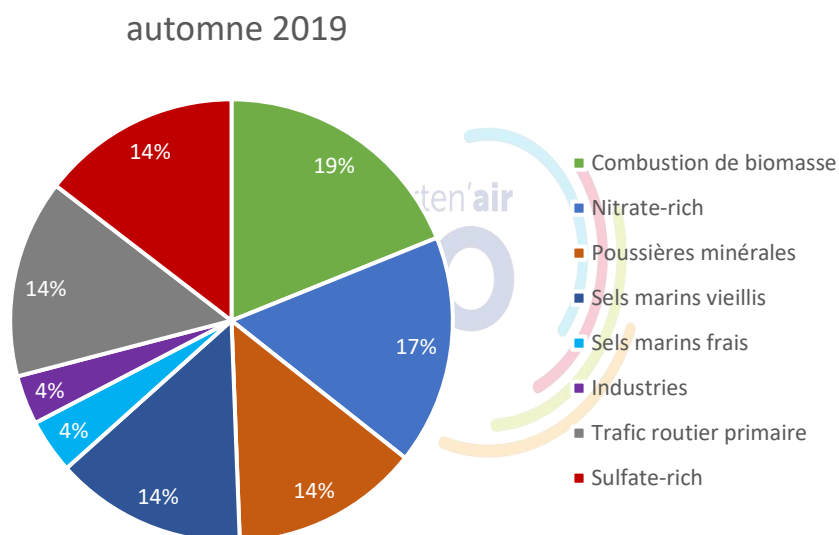


Figure 22 : Contribution moyenne des principaux facteurs constitutifs des PM10 à la MEL en automne 2019

Hiver 2019-2020

En hiver, la **combustion de biomasse** domine avec **23%** de contribution aux PM10. Le **trafic routier** et les sels marins frais sont également les sources importantes avec 15 et 17% de contribution, respectivement.

Comme pour l'automne, les actions sur **le chauffage au bois** et **le trafic routier** permettraient de diminuer jusqu'à **38%** des concentrations de particules PM10 primaires en période hivernale.

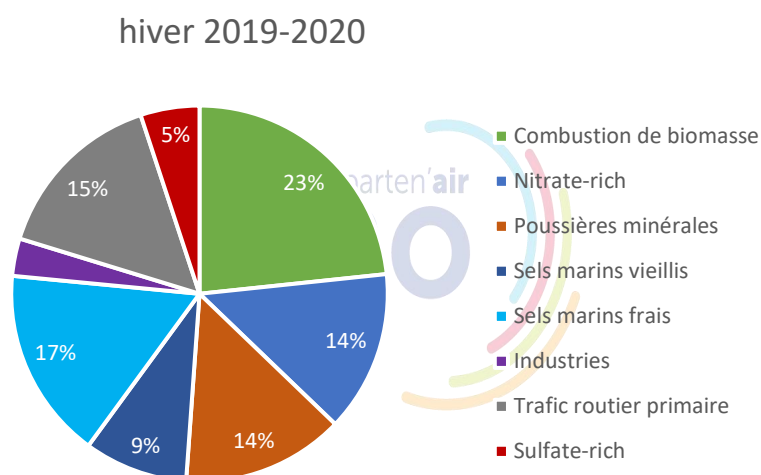


Figure 23 : Contribution moyenne des principaux facteurs constitutifs des PM10 à la MEL en hiver 2019-2020

Printemps 2020

Au printemps, le **Nitrate-rich** est la source dominante avec **33%** de contribution aux PM10. Les **poussières minérales** sont également importantes avec **24%** de contribution. Le **trafic routier** primaire ne représente que **3%** des PM10 à cause de confinement lié à la pandémie de COVID19 (pour plus de détail voir la section 6.4).

Pour diminuer la pollution secondaire issue de nitrate d'ammonium, il faut non seulement agir sur plusieurs secteurs locaux comme le trafic routier, l'épandage d'engrais, l'industrie et également prendre en compte le transport à longue distance de ce polluant secondaire.

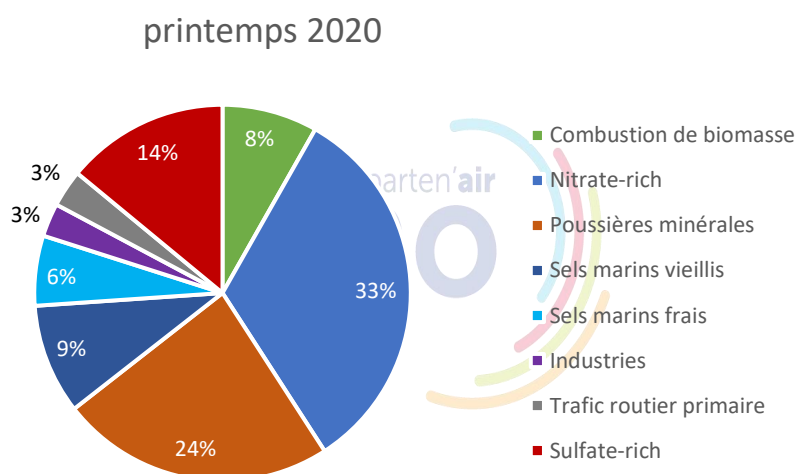


Figure 24 : Contribution moyenne des principaux facteurs constitutifs des PM10 à la MEL au printemps 2019-2020

Variabilité saisonnière des sources :

Des concentrations en particules influencées par :

Hiver

Des sources anthropiques et locales importantes : Combustion de biomasse (23%) + trafic routier (15%) = 38% des PM10

→ Les mesures à mettre en place pour ces deux secteurs : renouvellement des appareils de chauffage au bois et limiter le trafic routier

Printemps

Des sources secondaires (Nitrate-rich) : en lien avec les activités agricoles (épandages printaniers) (33% des PM10)

→ Limiter les émissions des espèces précurseurs (Ammoniac et les sources agricoles / Oxydes d'azote et les sources trafic)

→ Mieux évaluer la part de la contribution locale vs la contribution longue distance pour mieux estimer/évaluer les leviers

Été

Un mélange de sources secondaires (Sulfate-rich / 21-38%) et primaires (poussières minérales / 28%) souvent synonymes de sources de pollution éloignées

→ Peu d'actions locales

Automne

Identique à la saison hivernale

Des sources anthropiques et locales : Combustion de biomasse (19%) + trafic routier (14%)

→ Les mesures à mettre en place pour ces deux secteurs : renouvellement des appareils de chauffage au bois et limiter le trafic routier

6.2. Sources géographiques

6.2.1. Rose de pollution

Cette section présente les roses de pollution réalisées par la méthode NWR (*Non-parametric wind regression*) pour les huit sources identifiées. Ici, la direction et la vitesse du vent sont les valeurs en moyennes journalières, qui sont calculées à partir des données horaires mesurées par la station Météo France à Villeneuve d'Ascq.

La direction du vent signifie la direction d'où vient le vent : un vent de nord, correspond à une masse d'air qui nous vient du nord et souffle vers le sud. La direction du vent est indiquée par son abréviation : N (direction du vent de Nord, 0°), NE (Nord-est, 45°), E (Est, 90°), SE (Sud-est, 135°), S (Sud, 180°), SW (Sud-ouest, 225°), W (Ouest, 270°) et NW (Nord-ouest, 315°).

La vitesse du vent est indiquée dans les rayons du cercle, en fonction de la distance du centre, qui correspond à 0, 5, 10, 15 et 20 km/h. Tous les vents de plus de 20 km/h sont classés dans la catégorie 20 km/h et plus. Quand la vitesse du vent est très faible (0-5 km/h), la direction du vent reste peu représentative.

L'échelle de la concentration pour chaque facteur n'est pas identique, elle varie en fonction de la concentration moyenne de ce facteur (par exemple, 0-7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ pour la combustion de la biomasse). La couleur de l'échelle correspond à la concentration massique ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) de cette source : le rouge correspond à la concentration la plus élevée et le bleu à la plus faible.

En résumé, les sources principales des particules PM10 à la MEL peuvent être classées en 3 catégories selon des analyses des vents : 3 sources locales (combustion de la biomasse, trafic routier primaire et industries), 3 sources principalement lointaines (sulfate-rich, sels marins frais et sels marins vieillis), et 2 sources mélangées (locale et lointaine : nitrate-rich et poussières minérales).

66

Guide de lecture d'une rose de pollution

- **La rose de pollution associe une concentration mesurée à une direction et une vitesse de vent**
- Les directions sont indiquées en abréviation, c'est la direction d'où vient le vent,
- La vitesse des vents est indiquée en km/h par les cercles concentriques par pas de 5km/h,
- Les couleurs indiquent la concentration de la source : du bleu au rouge respectivement pour des concentrations minimales à maximales.
- L'échelle varie selon la source
- Une tâche rouge au centre du graphique indique une contribution locale importante ; une tâche rouge en périphérie du graphique indique une contribution lointaine importante

99

3 Sources locales

Combustion de biomasse = chauffage au bois (mais également la combustion des déchets verts, feux de forêt...)

Trafic routier = combustions de **fuels fossiles** + éléments métalliques émis par **l'usure de pneus et de freins**

Industrie = diverses émissions industrielles (avec les éléments métalliques : As, Cd, Pb, Zn...)

3 Sources lointaines

Sulfate-rich = sulfate d'ammonium, polluant secondaire également. Sa saisonnalité est à relier à une activité photochimique plus intense liée au fort ensoleillement favorisant **l'oxydation du SO₂**.

Sels marins frais = embruns marins (sels minéraux, surtout le **chlorure de sodium**)

Sels marins vieillis : comme le nom l'indique, polluants naturels et secondaires, de sources éloignées et ne présentant pas une variation saisonnière significative.

2 Sources mélangées

Nitrate-rich = nitrate d'ammonium, formé dans l'atmosphère, résultant de la combinaison des oxydes d'azote (émis majoritairement du **trafic routier et de l'industrie**) et de l'ammoniac (émis principalement par les **activités agricoles**).

Poussières minérales = l'érosion des sols, les chantiers de construction, la circulation routière (usure des revêtements) + **sables du Sahara**

Figure 25 : Sources géographiques des particules PM10 à la MEL

☐ Sources locales

La combustion de la biomasse, le trafic routier primaire et les industries montrent que leurs concentrations élevées sont associées à de très faibles vitesses du vent (<5 km/h).

Au-delà de 10 km/h, les concentrations sont négligeables pour les deux premières sources. Cependant, la concentration de la sources industries restent homogène et très faible (<1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) dans toutes les directions.

En conséquence, ces trois sources sont considérées comme d'origines locales.

Des actions locales sur ces sources permettront de réduire leur concentration.

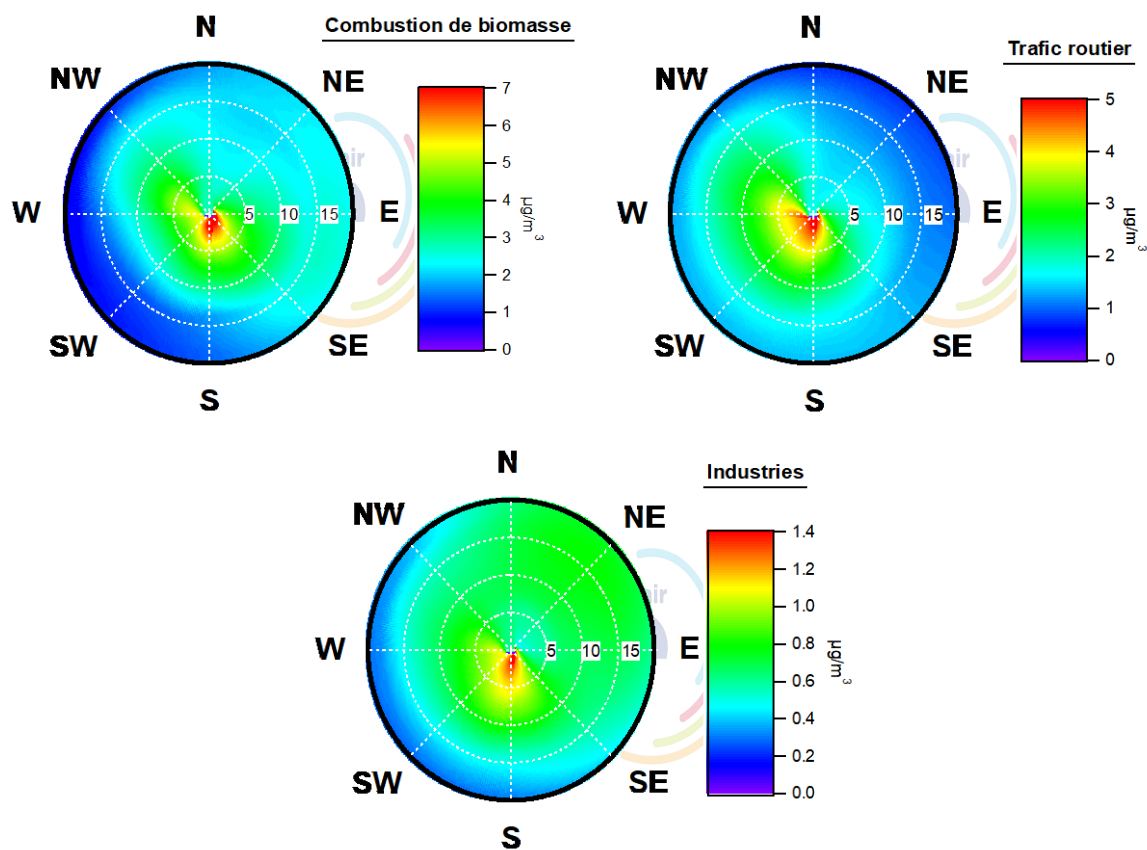


Figure 26 : Rose de pollution pour 3 sources locales : combustion de biomasse, trafic routier primaire et industries (échelles variables)

☐ Sources lointaines

Le Sulfate-rich montre des concentrations élevées dans les directions de Nord-Est à Sud-Est (NE-E-SE.)

Les **sels marins frais** sont présents uniquement avec le vent fort (>20 km/h) dans les directions Ouest à Sud (W-SW-S). Il n'existe pas de source locale sur la métropole pour ce facteur, ce qui est cohérent avec sa source d'origine : les embruns marins.

En revanche, **les sels marins vieillis** se trouvent dans toutes les directions, avec une concentration plus élevée dans les directions W-NW. Cette source secondaire caractérise les masses d'air âgées. Elles peuvent ainsi venir de toutes les directions, notamment du secteur W-NW durant l'étude.

Ces 3 sources sont considérées comme des sources lointaines, une analyse combinée avec les rétrotrajectoires seront présentée dans la section suivante.

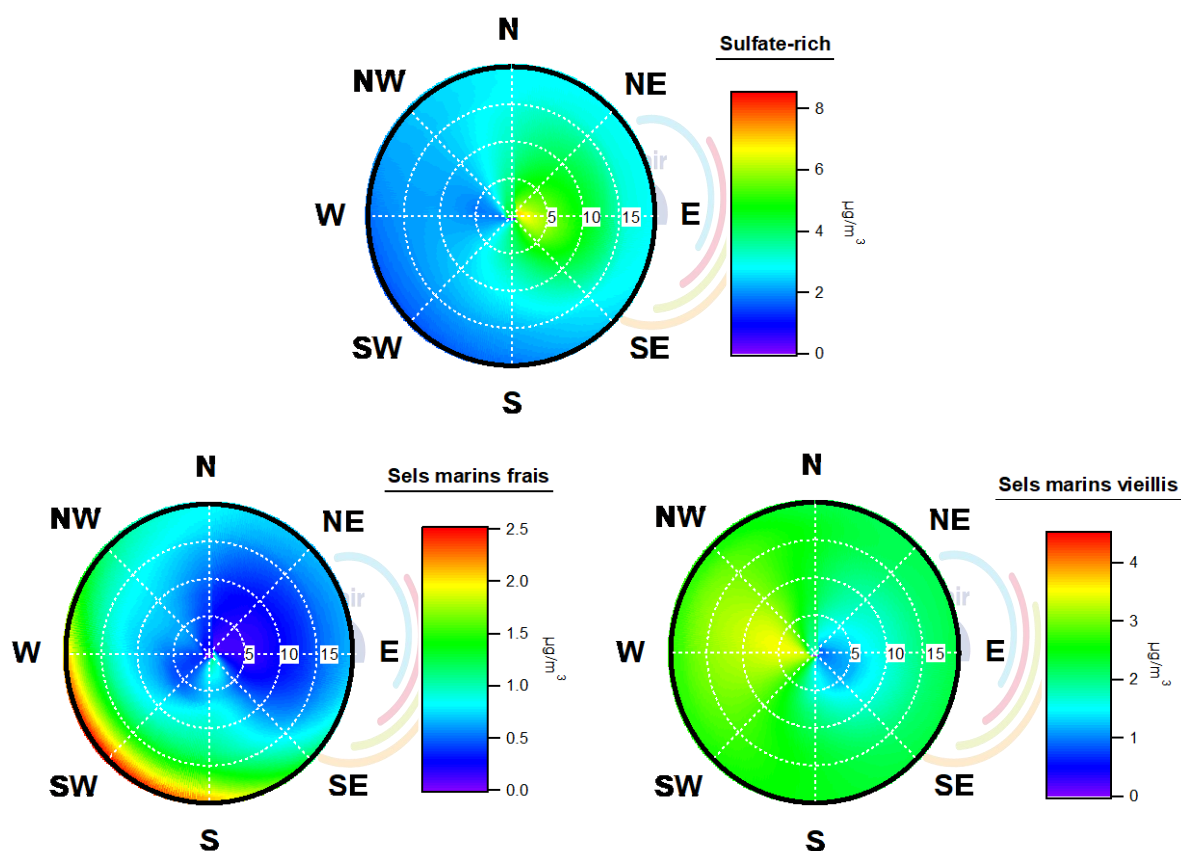


Figure 27 : Rose de pollution pour 3 sources lointaines : sulfate-rich, sels marins frais et sels marins vieillis (échelles variables)

☐ Source mélangée

Le Nitrate-rich montre des concentrations élevées dans les directions de Nord à Est (N-NE-E). Cette source montre aussi une concentration très importante avec les vents faibles (<5 km/h). Pour rappel, cette source est dominée par le composé nitrate d'ammonium, qui se forme dans l'atmosphère par réaction entre l'ammoniac, et les oxydes d'azote. En Hauts-de-France, elles sont particulièrement présentes au printemps, lors des périodes d'épandages agricoles.

En résumé, cette source peut être formée à l'échelle régionale mais également être transportée sur le territoire de la MEL par les masses d'air chargées. Elle combine donc des sources régionales et des sources éloignées.

Les **poussières minérales** représentent un niveau de fond (3-4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) dans la moitié nord. Leur concentration plus élevée (7-8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) se trouve uniquement avec les vents très calmes (<5 km/h).

Comme déjà discuté dans la section 5.1, cette source est **un mélange** de **poussières anthropiques** (érosion du sol, chantiers et remise en suspensions par le trafic routier) et éventuellement des sables sahariens (**poussières naturelles**). Elle combine donc des sources locales et des sources éloignées.

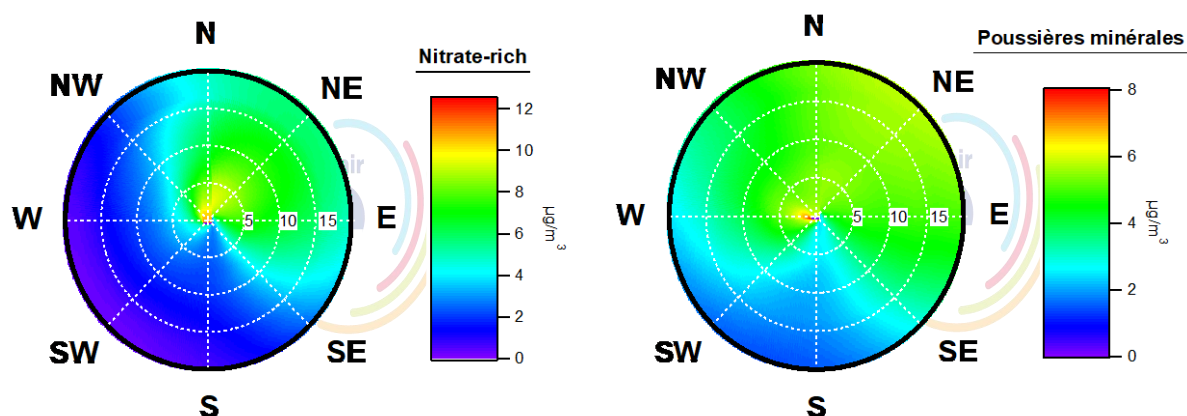


Figure 28 : Rose de pollution pour deux sources mélangées : nitrate-rich et poussières minérales

Les sources principales des particules PM₁₀ à la MEL peuvent être classées

en **3 catégories selon l'analyse des vents** :

- **3 sources locales** (combustion de la biomasse, trafic routier primaire et industries)
- **3 sources principalement lointaines** (sulfate-rich, sels marins frais et sels marins vieillis)
- **2 sources mélangées** (locale et lointaine : nitrate-rich et poussières minérales).

Les sources lointaines sont analysées dans la suite de l'étude **au regard des rétro-trajectoires pour déterminer leurs origines géographiques.**

6.2.2. Rétro-trajectoires

4 facteurs sont considérés comme principalement liés aux transports à longue distance selon les analyses des vents (voir la section précédente) : nitrate-rich, sulfate-rich, sels marins frais et vieillis. Ainsi, leurs rétro-trajectoires seront analysées pour déterminer leurs origines géographiques à une échelle plus grande. **Les cartes suivantes associent le secteur géographique émetteur aux concentrations mesurées.**

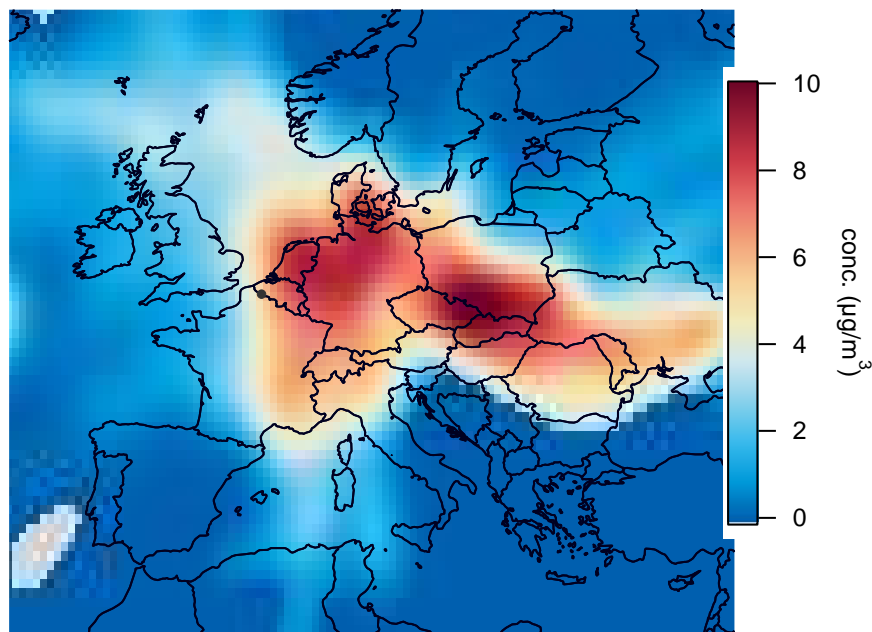
NB : les échelles sont variables selon le facteur retenu.

☐ Nitrate-rich et Sulfate-rich

Les concentrations les plus élevées de Nitrate-rich et de Sulfate-rich ont des origines géographiques assez similaires ; **le Nitrate-rich** provient principalement de la zone **Benelux, l'est de l'Allemagne, la Pologne ainsi que de la République tchèque**. Le **Sulfate-rich** provient notamment **l'est de l'Allemagne**.

Ces pays utilisent massivement du **charbon dans la production d'énergie primaire**. Ces installations peuvent produire de grandes quantités **d'oxydes d'azote NO_x et de dioxyde de soufre SO₂**, qui ensuite réagissent avec le gaz **ammoniac NH₃** dans l'atmosphère pour former **les particules secondaires** (sulfate d'ammonium NH₄(SO₄)₂ et nitrate d'ammonium NH₄NO₃). Ces particules inorganiques secondaires peuvent être **transportées** par les masses d'air continentales sur **de longues distances**.

Le **nitrate d'ammonium** peut, néanmoins, être **formé localement** (à l'échelle régionale), notamment en **période d'épandage (printemps)**.



Nitrate-rich

Figure 29 : Carte d'origine géographique de la source Nitrate-rich

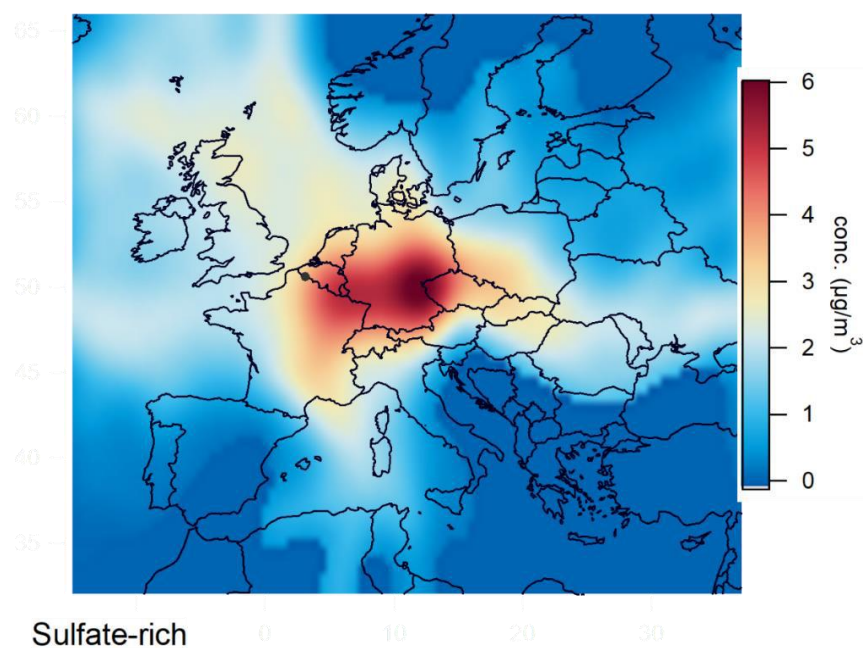


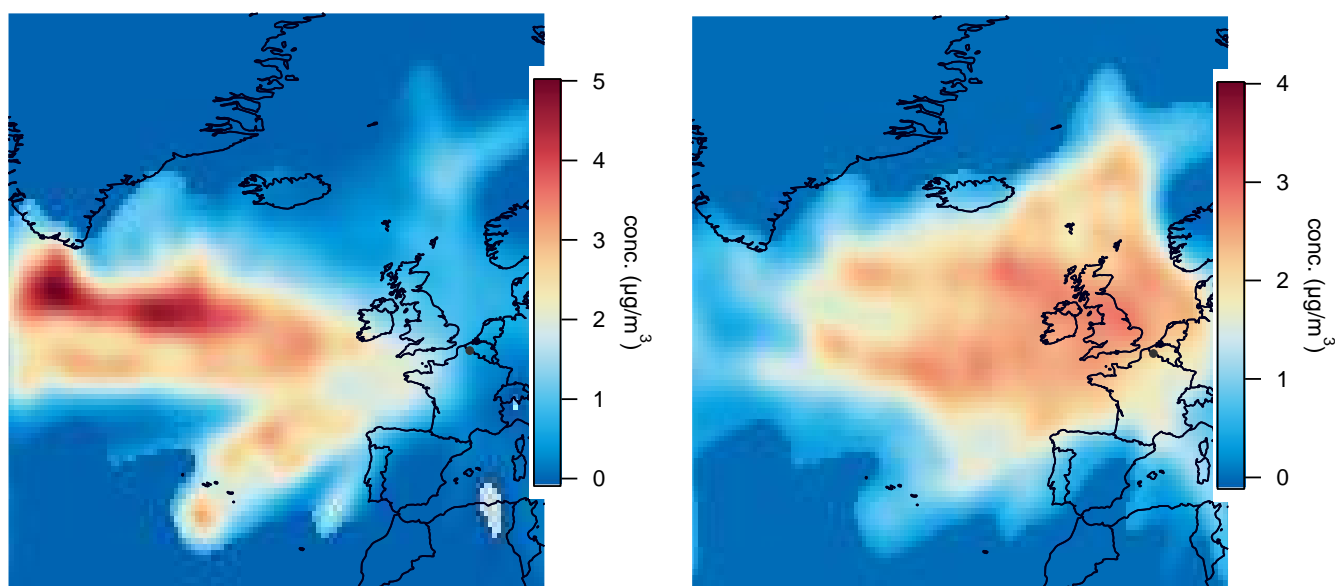
Figure 30 : Carte d'origine géographique de la source Sulfate-rich

☐ Sels marins frais et vieillis

Selon le rapport du IPCC (*Intergovernmental Panel on Climate Change*), les sels marins représentent une émission de 3 300 Tg/an, de l'océan vers l'atmosphère à l'échelle mondiale.

Les sels marins frais observés sur le territoire de la MEL proviennent majoritairement de **l'océan Atlantique nord**. **Les sels marins vieillis** proviennent principalement de la **Mer du Nord, de la Mer Celtique** et également de l'océan **Atlantique nord**.

Ces observations sont cohérentes avec une étude de la concentration des sels marins sur le continent européen⁹.



Sels marins frais

Sels marins vieillis

Figure 31 : Carte d'origine géographique des sources Sels marins frais (gauche) et Sels marins vieillis (droite)

- 3 sources lointaines et une source mélangée (nitrate-rich, sulfate-rich, sels marins frais et vieillis) sont analysées via les rétrotrajectoires pour déterminer leur provenance géographique.
- Plusieurs secteurs lointains ont été identifiés : La zone Benelux et l'Europe de l'Est pour le facteur « Nitrate-rich ».
- L'est de l'Allemagne pour le facteur « Sulfate-rich »
- L'Atlantique Nord pour les sels marins (frais et vieillis) et les Mers du Nord et Celtique pour les sels marins vieillis.

⁹ A.M.M. Manders et al., "Sea Salt Concentrations across the European Continent," Atmospheric Environment 44, no. 20 (June 1, 2010): 2434–42, <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2010.03.028>.

6.3. Episodes de pollution

☐ Le 04/12/2019

Le seul jour de dépassement à la station Lille Fives du seuil d'information et de recommandation pendant la période d'étude est le 04/12/2019, la concentration moyenne journalière est à **50.7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$** . Les contributions des différentes sources sont reprises sur le graphique suivant, pour la veille, le jour et le lendemain du dépassement.

La veille (03/12), l'analyse des données montre une contribution de plusieurs sources : le trafic routier, le nitrate-rich et combustion de biomasse).

Le 04/12, la répartition des sources se modifie avec une hausse significative de la **combustion de biomasse (21.9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)**, le **trafic routier primaire (12 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)**, et une augmentation de sulfate-rich (**6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$**). Bien que les premières deux sources soient considérées comme sources locales, la dernière indique l'arrivée de masse d'air plus « âgée ».

Le 05/12, la concentration du trafic routier et de la combustion de biomasse diminuent significativement, la concentration de sulfate rich restant du même ordre de grandeur.

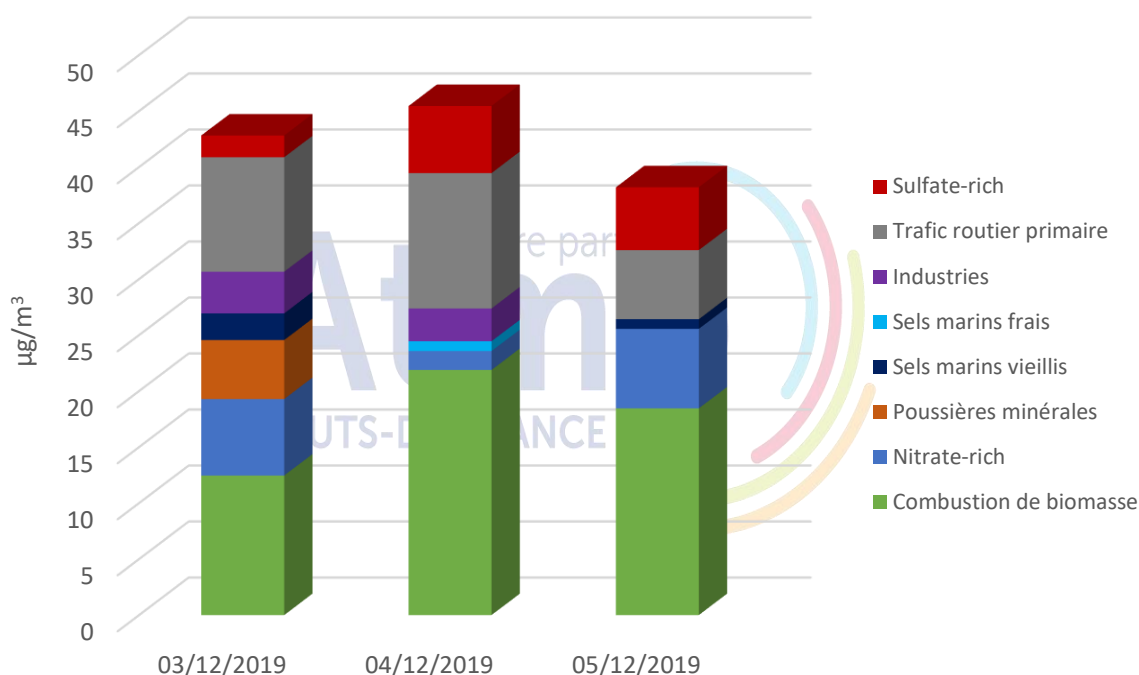


Figure 32 : Concentration massique des principaux facteurs des PM10 pour les journées du 03 au 05 décembre 2019.

La contribution moyenne des principaux facteurs des PM10 pour le 04/12/2019 est dominée par la **combustion de biomasse (48%) et le trafic routier (27%)**, accompagnée par le sulfate-rich (13%). Ces deux sources anthropiques locales contribuent jusqu'à **75% des PM10** dans l'air pour ce jour. Cet épisode hivernal confirme que les **actions locales** sont nécessaires sur l'**optimisation du parc d'appareils et des pratiques au chauffage au bois résidentiel**. De plus, les mesures sur le **trafic routier** permettraient de diminuer jusqu'à un tiers de la concentration des PM10.

Le profil du jour de dépassement s'est distingué de celui de la moyenne hivernale 2019-2020.

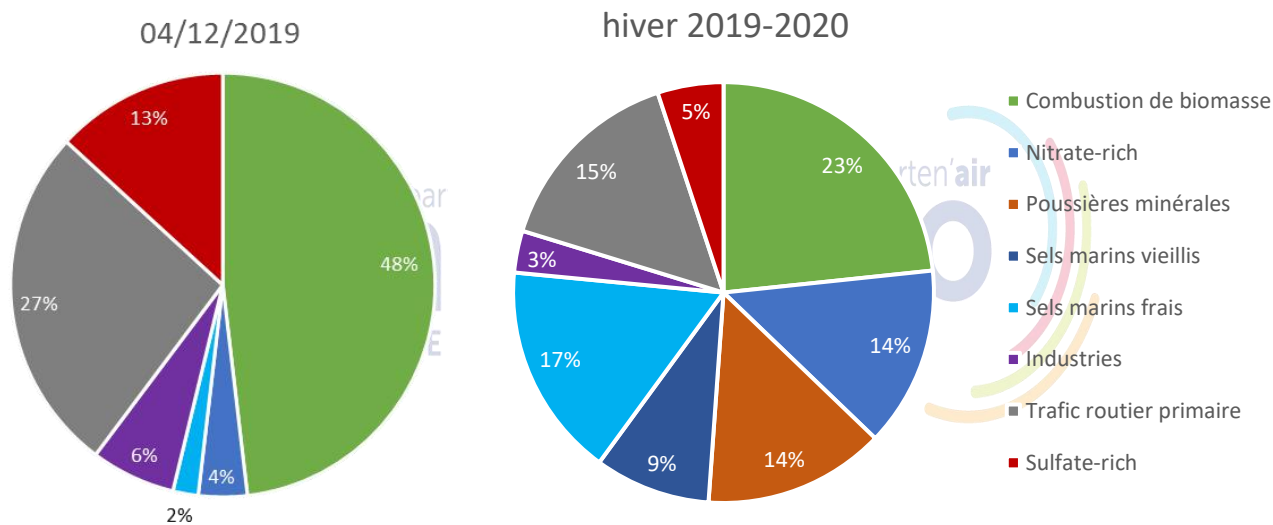


Figure 33 : Contributions moyennes des principaux facteurs des PM10 le 04/12/2019 et hiver 2019-2020.

La carte du modèle PREV'AIR pour ce jour montre que cet épisode reste un phénomène à petite échelle. Les mesures locales seraient efficaces contre ce type d'épisode hivernal, notamment sur le chauffage au bois.

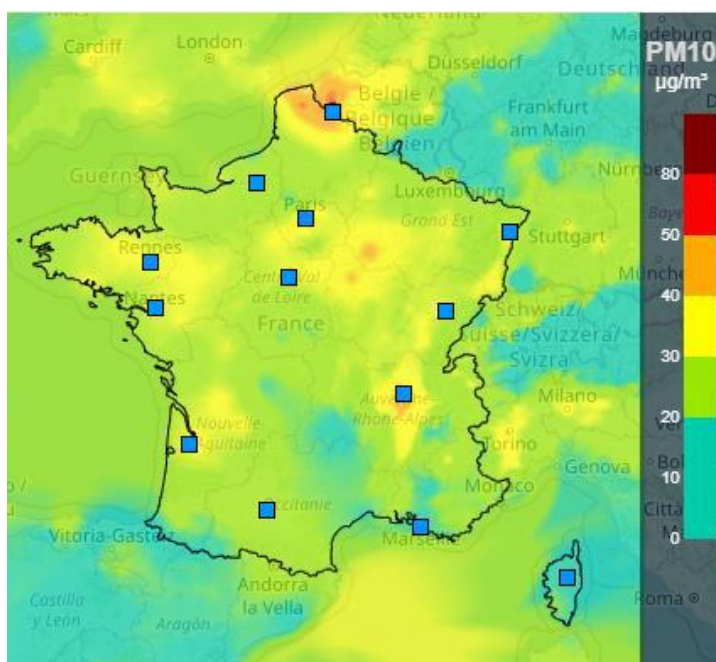


Figure 34 : Concentrations journalières en PM10 modélisées par la plateforme PREV'AIR du 04/12/2019.

27/03/2020

Le 27 mars 2020, la concentration moyenne journalière des PM10 est à **44.7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$** à la station de mesure de Lille Fives.

Les principaux facteurs de cette journée jour sont **le nitrate-rich (16.4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)** et **les poussières minérales (14.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)**. Cette journée est un épisode typiquement printanier avec **36% de nitrate-rich** et **31% de poussières minérales**. En revanche, le trafic routier ne contribue pas (~0%) aux concentrations de PM10 mesurées, en lien avec le confinement durant cette période. La contribution du Sulfate-rich indique également la circulation d'une masse d'air âgée. Il n'y pas d'action locale possible visant à réduire ce polluant.

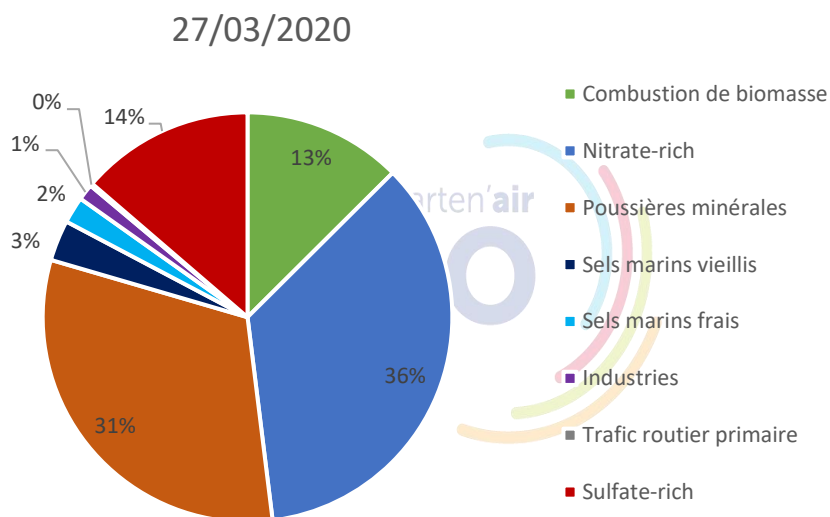
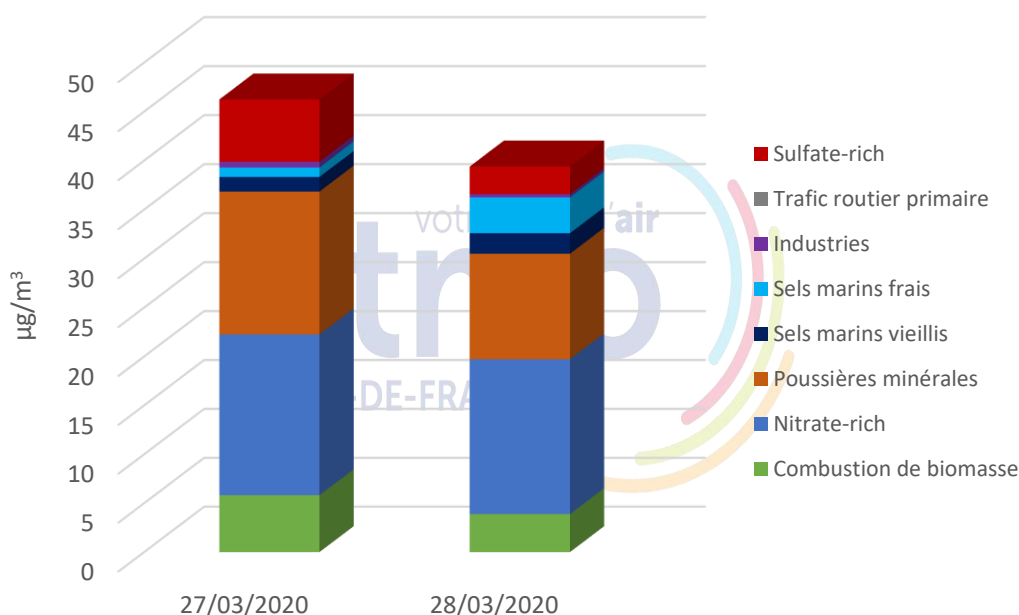


Figure 35 : Concentration massique et contribution moyenne des principaux facteurs des PM10 le 27/03/2020

La carte du modèle PREV'AIR montre que cet épisode printanier touche la moitié de la région Hauts-de-France, le littoral Normand et également la Belgique. Les mesures locales ont une efficacité relative sur ce type d'épisode de grande ampleur, nécessitant des actions de réduction plutôt à grande échelle (nationale et internationale).

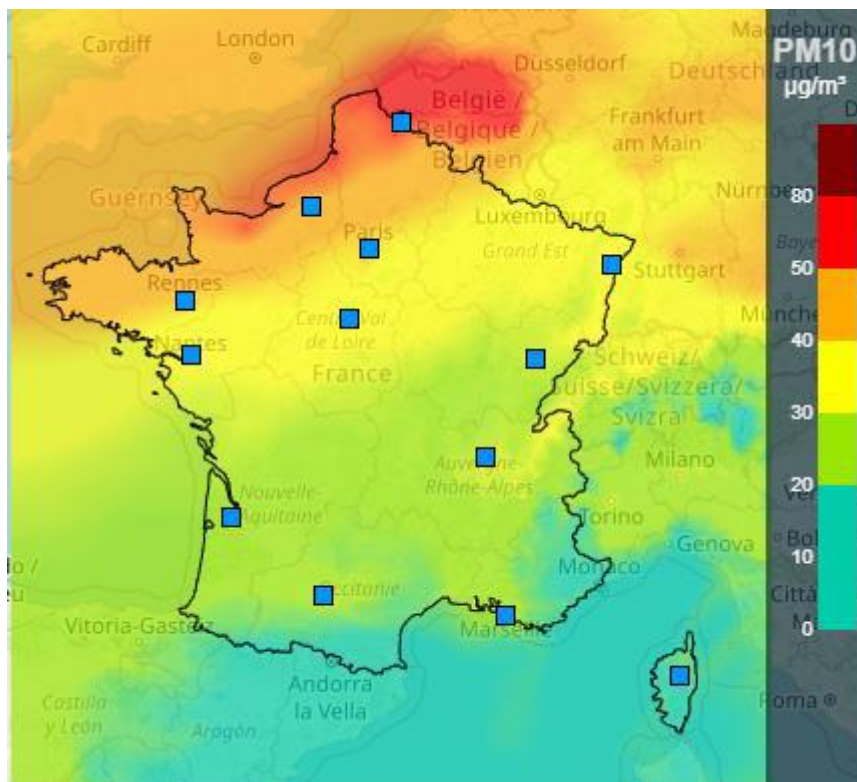


Figure 36 : Concentrations journalières en PM10 modélisées par la plateforme PREV'AIR du 27/03/2020.

09/04/2020

Le 9 avril 2020, la concentration moyenne journalière des PM10 est à **47.6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$** à la station de mesure de Lille Fives.

Ce jour, les PM10 sont dominées par le **nitrate-rich (60%)** avec seulement 1% du trafic routier (toujours en lien avec le confinement mis en place). La contribution du Sulfate-rich ($5 \mu\text{g}/\text{m}^3$) indique également la circulation d'une masse d'air âgée.

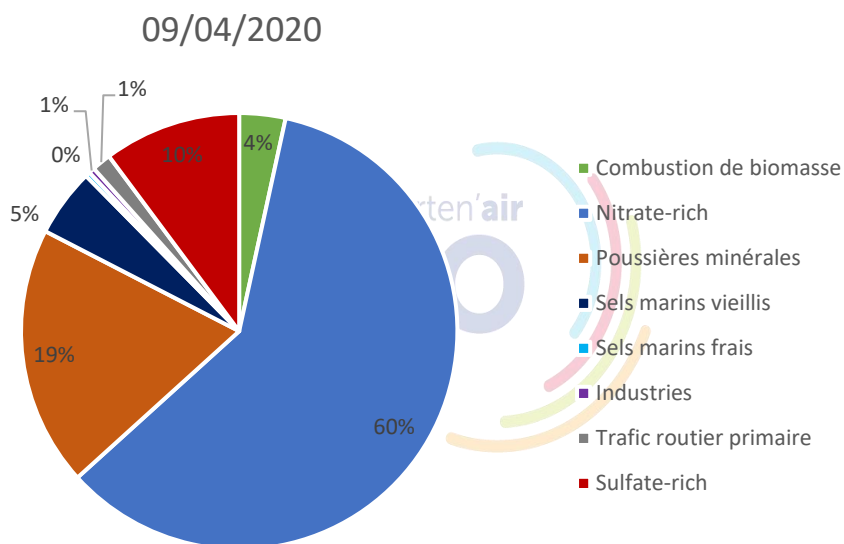
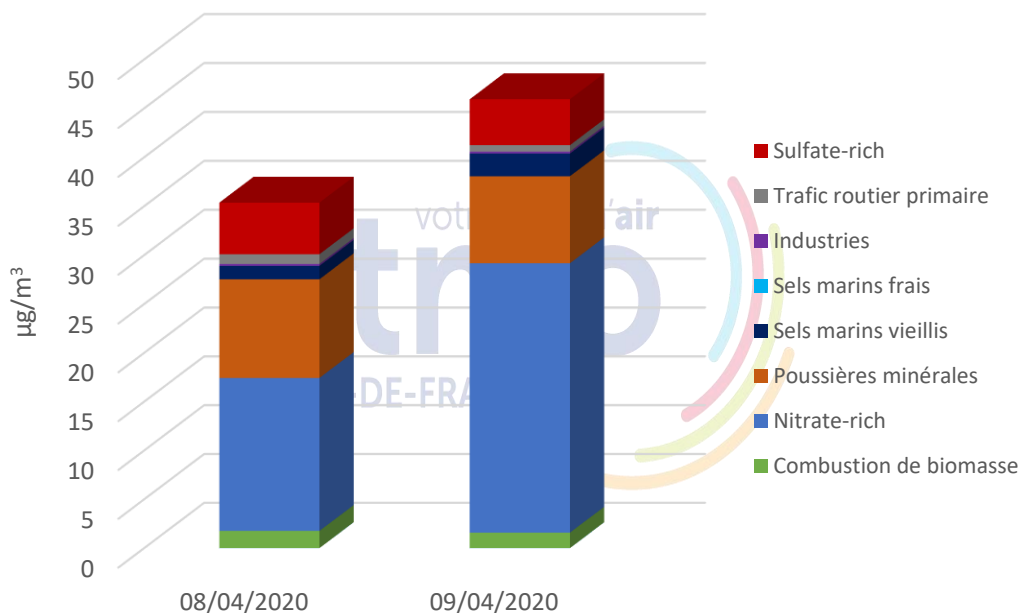


Figure 37 : Concentration massique et contribution moyenne des principaux facteurs des PM10 le 09/04/2019

Comme observé en mars, cet épisode typiquement printanier touche la moitié de la région Hauts-de-France, le littoral Normand et également l'Angleterre. Les mesures locales ont une efficacité relative sur ce type d'épisode de grande ampleur, qui nécessite des actions de réduction des émissions à large échelle.

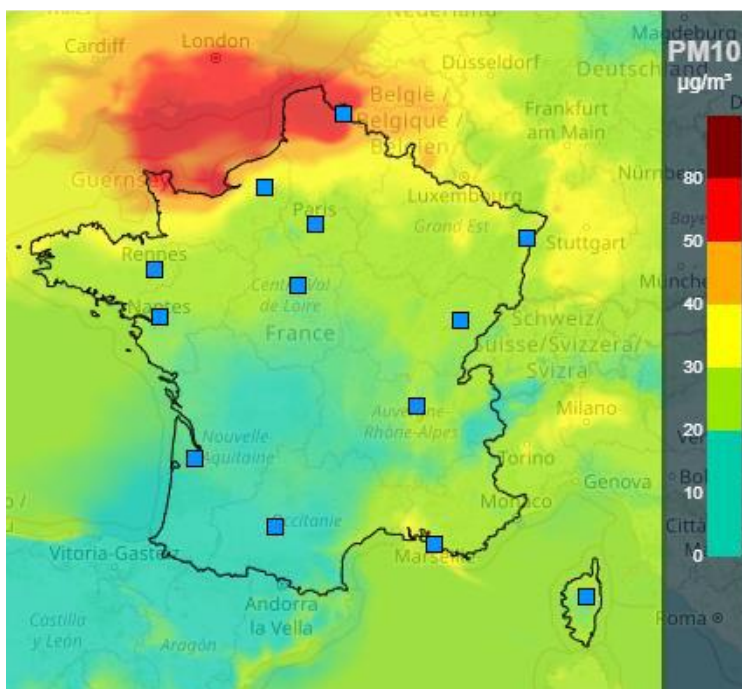


Figure 38 : Concentrations journalières en PM10 modélisées par la plateforme PREV'AIR du 09/04/2020.

Episode hivernal

Les PM10 sont dominées par les sources locales : la combustion de biomasse (48%) et le trafic routier (27%). Cet épisode hivernal confirme les actions nécessaires sur l'optimisation des appareils de chauffage au bois résidentiel et les mesures sur le trafic routier.

Episode printanier

Les PM10 sont dominées par la source secondaire nitrate-rich (36%-60%). La faible contribution du trafic routier (0-1%) confirme l'impact du confinement pendant cette période.

Ces épisodes typiquement printaniers sont souvent à l'échelle régionale voire continentale. Les mesures locales ont une influence modérée sur ce type d'épisode de grande ampleur, qui nécessite également des actions de réduction à grande échelle.

6.4. Impact du confinement

Face à la propagation du coronavirus (covid-19), les autorités françaises ont mis en place un confinement de la population à compter du 17 mars 2020.

La contribution moyenne des principaux facteurs des PM10 avant le confinement (01/01 – 16/03/2020) ; pendant le confinement (17/03 – 11/05/2020) et après le confinement (12/05 – 30/06/2020) est présentée sur les Figures 38-40.

Avant le confinement (01/01 – 16/03/2020)

Avant le confinement, les **sels marins frais** sont remarquables par leur contribution importante (**23%**) pendant la période hivernale. La **combustion de biomasse**, dont le chauffage au bois représente **15%** des particules PM10 mesurées. Le **trafic routier** représente également **12%** des particules PM10.

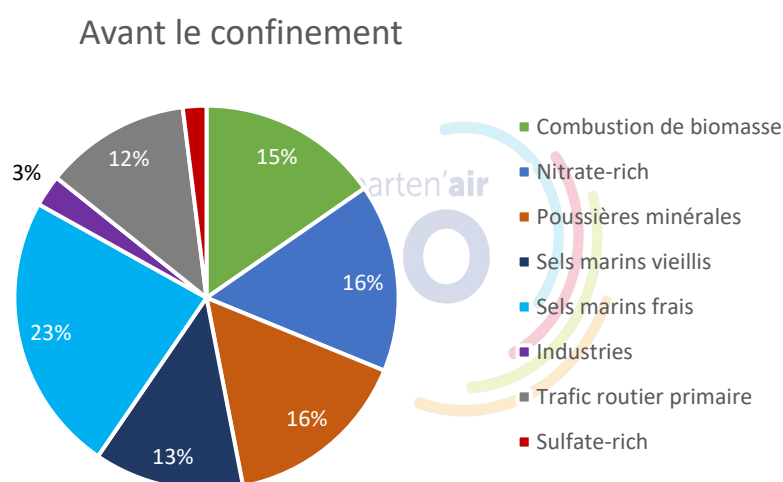


Figure 39 : Contribution moyenne des principaux facteurs des PM10 avant le confinement.

Pendant le confinement (17/03 – 11/05/2020)

Les PM10 mesurées pendant la période de confinement sont dominées par le « **Nitrate-rich** » (**39 %**) et les « **Poussières minérales** » (**25%**).

Pendant la période de confinement, la contribution du **trafic routier** est réduite à **1%** des PM10.

Néanmoins, la forte contribution du **nitrate-rich (39%)** traduit la formation de nitrate d'ammonium, malgré une réduction significative des émissions de NOx et l'intérêt de réduire les émissions d'ammoniac, issues majoritairement des activités agricoles pour de réduire la pollution printanière aux particules PM10.

Comme discuté précédemment, le nitrate-rich au printemps est présent souvent à l'échelle régionale voire continentale. Les mesures locales ont une influence moyenne sur ce type d'épisode, plutôt de grande ampleur.

Pendant le confinement

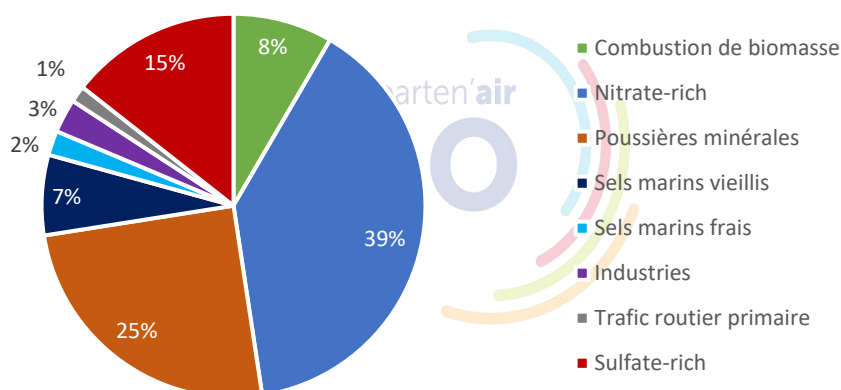


Figure 40 : Contribution moyenne des principaux facteurs des PM10 pendant le confinement.

Après le confinement (12/05 – 30/06/2020)

Après le confinement, **le trafic routier** reprend sa place, qui contribue **8%** des particules PM10. La contribution des autres facteurs est similaire à celle pendant la période estivale.

Après le confinement

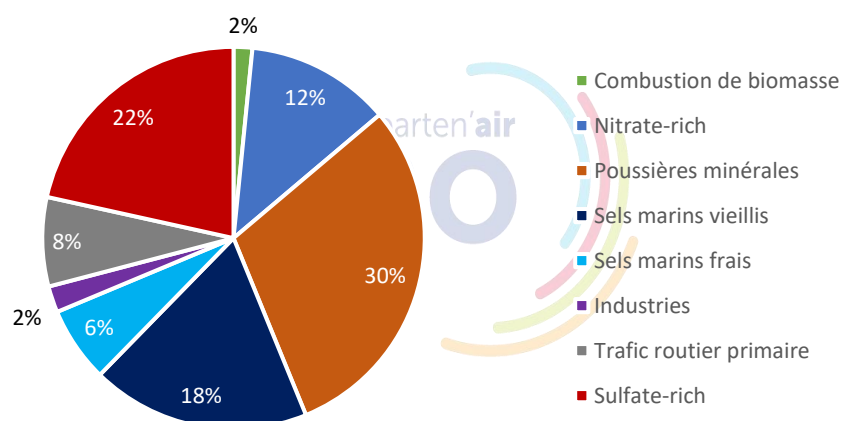


Figure 41 : Contribution moyenne des principaux facteurs des PM10 après le confinement.

Impact du confinement

Pendant la période de confinement, la contribution du **trafic routier** est réduite à seulement **1%** des PM10.

Néanmoins, la forte contribution du **nitrate-rich (39%)** montre que les mesures locales influencent peu sur ce polluant de grande ampleur.

7. Conclusion et perspectives

Cette étude a été réalisée dans le cadre du programme CARA d'Atmo Hauts-de-France (caractérisation chimique des particules) du 1^{er} juillet 2019 au 30 juin 2020. Elle est financée par la Métropole Européenne de Lille (MEL). L'objectif de l'étude est d'identifier les sources principales des particules PM10 observées sur le territoire de la MEL et de comprendre leur provenance géographique. Ce travail permet de définir les enjeux plus précis du territoire sur la question des particules et aider à évaluer la pertinence des actions menées (en lien avec la Prime Air, la ZFE...).

Pour la période d'étude, **huit principales sources** influençant les concentrations de PM10 mesurées à la MEL ont été identifiées :

- 5 sources primaires
- 3 sources secondaires

Variation saisonnière des sources

Eté 2019-2020

Les **concentrations** en particules **PM10** sont influencées par des **apports de pollution extérieure** (sulfate-rich (21-38%) et poussières minérales (28%)). Une partie des poussières minérales étant d'origine anthropique, il reste néanmoins possible de limiter les surfaces de sols nus et le nombre de véhicules en circulation, qui réduiront la remise en suspension locale de particules.

Automne et Hiver 2019-2020

Plusieurs **sources anthropiques** et **naturelles** contribuent aux PM10 mesurées. La **combustion de biomasse**, dont le chauffage au bois représente 19%-23% des PM10 au cours de ces deux saisons. Le **trafic routier** est également une source importante avec 14-15% de contribution.

Il est important de mettre en place les mesures efficaces sur le chauffage au bois et le trafic routier afin de réduire la concentration en PM10 en période froide.

Printemps

Le Nitrate-rich est la source dominante, traduisant une contribution importante (33%) des **particules secondaires enrichies en nitrate d'ammonium** aux PM10. Les **poussières minérales** sont également importantes avec 24% de contribution. Le trafic routier primaire ne représente que 3% des PM10, en lien avec le confinement lié à la pandémie COVID19 (plus de détails voir la section 6.5).

A noter que la pollution secondaire issue de nitrate d'ammonium se présente souvent à l'échelle régionale voire continentale. Les mesures locales contribuent à une réduction des concentrations en nitrate d'ammonium. Des actions de réduction des émissions à l'échelle régionale voire nationale doivent compléter les mesures engagées locales pour parvenir à réduire les concentrations de ce polluant secondaire.

Provenance géographique

Les sources principales des particules PM10 sur le territoire de la MEL peuvent être classées en 3 catégories selon des analyses des vents : **3 sources locales** (combustion de la biomasse, trafic routier primaire et industries), **3 sources principalement lointaines** (sulfate-rich, sels marins frais et sels marins vieilliss), et **2 sources mélangées** (nitrate-rich et poussières minérales, locale et lointaine).

Les 3 sources lointaines et une source mélangée (nitrate rich) ont été analysées via les rétro-trajectoires pour déterminer leur provenance géographique :

- Les particules enrichies en nitrate d'ammonium (Nitrate-rich) proviennent principalement de la zone Benelux et l'Europe de l'Est. Les particules enrichies en sulfate d'ammonium (Sulfate-rich) proviennent notamment l'est de l'Allemagne.
- Les sels marins frais proviennent majoritairement de l'océan Atlantique nord. Les sels marins vieillis proviennent principalement de la Mer du Nord, de la Mer Celtique et également de l'océan Atlantique nord.

Zoom sur l'épisode de pollution

Episode hivernal

Les **PM10** sont dominées par **les sources locales** : la combustion de biomasse (48%) et le trafic routier (27%). Cet épisode hivernal confirme la nécessité de mise en œuvre de mesures sur l'optimisation du chauffage au bois résidentiel (renouvellement du parc d'appareils, bonnes pratiques ...) et sur le trafic routier (réduction du nombre de véhicules en circulation, renouvellement du parc ...).

Episode printanier

Les PM10 sont dominées par les particules secondaires (nitrate-rich, 36%-60%). La **faible contribution** du trafic routier (0-1%) confirme **l'impact du confinement** pendant cette période. Les actions visant à réduire les gaz précurseurs (NOx et notamment le NH₃) sont nécessaires à échelle locale comme à grande échelle afin de réduire ce polluant secondaire.

Impact du confinement

Pendant la période de confinement, la contribution du **trafic routier** est réduite à seulement **1%** des PM10. Néanmoins, la forte contribution des particules enrichies en nitrate d'ammonium (nitrate rich, **39%**) montre que les activités agricoles (en tant que source d'ammoniac) sont un secteur à enjeu, pour réduire la pollution aux particules secondaires printanières.

Perspectives

Les particules fines PM2.5, inférieures à 2.5 µm, sont plus petites que les PM10 et donc plus dangereuses pour la santé. L'union européenne a fixé la valeur limite à 25 µg/m³ en moyenne sur l'année. L'OMS recommande, quant à elle, une valeur de 5 µg/m³. Néanmoins, les PM2.5 et leur composition chimique, leur source et éventuellement leur impact sanitaire restent encore mal connus en Hauts-de-France.

Compte tenu de l'enjeu en région, Atmo Hauts-de-France fait **évoluer sa stratégie de surveillance** (de mesure et du programme CARA) vers les **particules PM2.5**. Dès 2023, les **prélèvements quotidiens** sur l'agglomération lilloise (site urbain de fond de Tourcoing) se feront dans la fraction PM2.5. Les **analyses chimiques** seront réalisées en **2024**. L'exploitation des résultats permettra de **caractériser** la **composition chimique** des particules, **d'identifier** leurs **sources**, de **comprendre** l'origine **d'épisode de pollution** et **d'évaluer** leur **impact** sur la **santé**, grâce notamment à l'analyse de leur potentiel oxydant (caractérisation de leur toxicité). Cette nouvelle mesure combinée avec l'analyse source permettra de rechercher le lien entre les sources de particules et leurs effets sanitaires.

Annexes

Annexe 1 : Glossaire

µg/m³ : Microgramme de polluant par mètre cube d'air. $1 \mu\text{g}/\text{m}^3 = 0,001 \text{ mg}/\text{m}^3 = 0,001$ milligramme de polluant par mètre cube d'air.

µm : Micromètre. $1 \mu\text{m} = 0,001 \text{ mm} = 0,001$ millimètre.

AASQA : Association Agréée pour la Surveillance de la Qualité de l'Air.

ADEME : Agence De l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie.

Anthropique : Relatif à l'activité humaine. Qualifie tout élément provoqué directement ou indirectement par l'action de l'homme.

As : Arsenic.

B(a)P : Benzo(a)pyrène.

BTEX : Benzène, Toluène, Ethylbenzène, Xylènes.

Cd : Cadmium.

CITEPA : Centre Interprofessionnel Technique d'Etudes de la Pollution Atmosphérique.

Concentration : La concentration d'un polluant représente la quantité du composé présent dans l'air et s'exprime en masse par mètre cube d'air. Les concentrations des polluants caractérisent la qualité de l'air que l'on respire.

Conditions de dispersion : Ensemble de conditions atmosphériques permettant la dilution des polluants dans l'atmosphère et donc une diminution de leurs concentrations (vent, température, pression, rayonnement...).

COVnM : Composés Organiques Volatils non Méthaniques.

DREAL : Direction Régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement.

Emissions : Rejets d'effluents gazeux ou particulaires dans l'atmosphère issus d'une source anthropique ou naturelle (exemple : cheminée d'usine, pot d'échappement, feu de bioamasse...).

EPCI : Etablissement Public de Coopération Intercommunale.

Episode de pollution : Période pendant laquelle la procédure d'information et d'alerte a été déclenchée traduisant le dépassement du niveau d'information et de recommandations voire du niveau d'alerte pour l'un ou plusieurs des polluants suivants : SO₂, NO₂, O₃ et PM10.

INSEE : Institut National de la Statistique et des Etudes Economiques.

LCSQA : Laboratoire Central de Surveillance de la Qualité de l'Air.

Moyenne 8 heures glissantes : Moyenne calculée à partir des 8 dernières moyennes horaires toutes les heures. Le pas de temps est égal à 1 heure et l'intervalle est de 8 heures.

ng/m³ : Nanogramme de polluant par mètre cube d'air. $1 \text{ ng}/\text{m}^3 = 0,000001 \text{ mg}/\text{m}^3 = 0,000001$ milligramme de polluant par mètre cube d'air.

Ni : Nickel.

NH₃ : Ammoniac.

NO₂ : Dioxyde d'azote.

NO_x : Oxydes d'azote.

O₃ : Ozone.

Objectif à long terme : Niveau d'ozone à atteindre à long terme et à maintenir, sauf lorsque cela n'est pas réalisable par des mesures proportionnées, afin d'assurer une protection efficace de la santé humaine et de l'environnement dans son ensemble.

Objectif de qualité : Niveau à atteindre à long terme et à maintenir, sauf lorsque cela n'est pas réalisable par des mesures proportionnées, afin d'assurer une protection efficace de la santé humaine et de l'environnement dans son ensemble.

Pb : Plomb.

PCAET : Plan climat-air-énergie territorial.

PM10 : Particules en suspension de taille inférieure ou égale à 10 µm.

PM2.5 : Particules en suspension de taille inférieure ou égale à 2,5 µm.

Polluant primaire : Polluant directement émis par une source donnée.

PPA : Plan de protection de l'atmosphère.

Polluant secondaire : Polluant non émis directement, produit de la réaction chimique entre plusieurs polluants présents dans l'atmosphère.

PRSQA : Programme Régional de Surveillance de la Qualité de l'Air.

SO₂ : Dioxyde de soufre.

Valeur cible : Niveau à atteindre, dans la mesure du possible, dans un délai donné, et fixé afin d'éviter, de prévenir ou de réduire les effets nocifs sur la santé humaine ou l'environnement dans son ensemble.

Valeur limite : Niveau à atteindre dans un délai donné et à ne pas dépasser, et fixé sur la base des connaissances scientifiques afin d'éviter, de prévenir ou de réduire les effets nocifs sur la santé humaine ou sur l'environnement dans son ensemble.

ZFE : Zones à faibles émissions.

Annexe 2 : Limite de détection

La limite de détection (LD) est définie comme 3 fois de l'écart type des échantillons blancs (σ_b) :

$$LD = 3 \times \sigma_b$$

On parle de « blanc » pour les filtres vierges qui n'ont pas été soumis à un flux d'air mais ont été manipulés exactement de la même manière que les autres échantillons, y compris le transport sur le terrain, la manipulation, le stockage et la procédure d'analyse. Les valeurs des blancs sont ensuite utilisées pour corriger et valider toutes les concentrations brutes obtenues à partir des méthodes analytiques. Si la concentration brute (C_i) est supérieure à au moins deux fois la concentration moyenne des blancs (\bar{C}_b), la concentration finale (C) est obtenue par la soustraction de la moyenne des blancs. En cas contraire, la concentration finale sera remplacé par LD/2.

Annexe 3 : Modèle source récepteur

Principe de la méthode

La méthode est basée sur l'équation :

$$X = G \times F + E$$

Les données d'entrée X sont une matrice de dimension $m \times n$, consistant en n espèces chimiques analysées dans m échantillons. Le nombre de facteurs p est défini par l'utilisateur. Dans notre étude, il correspond au nombre de sources qui ont été identifiées. G est la quantité de masse qui contribue à chaque source (dimension $m \times p$) et F est la matrice des profils pour chaque source (dimension $p \times n$). La matrice E (dimension $m \times n$) est le résidu du modèle (la partie non expliquée de X).

L'objectif de la solution PMF est de minimiser la fonction « Q » définie comme :

$$Q = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \left(\frac{e_{ij}}{\sigma_{ij}} \right)^2$$

Où e_{ij} (égale à la matrice E) et σ_{ij} sont des matrices qui correspondent aux résidus du modèle et aux incertitudes de mesure, respectivement.

Le logiciel EPA PMF version 5.0 a été utilisé pour cette étude.

Sélection des espèces chimiques

Les variables d'entrée (espèces chimiques) ont été sélectionnées selon les critères suivants :

- Les espèces chimiques présentent une faible fraction de valeurs inférieures à la limite de détection (les valeurs $> LD$ doivent représenter plus de 60%).
- Le ratio signal sur bruit (S/N ; S : Signal ; N : Bruit (*Noise* en Anglais)) est supérieur à 1. Le ratio S/N pour une espèce chimique j est calculé en utilisant l'équation :

$$\left(\frac{S}{N} \right)_j = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n d_{ij}$$

La différence (d_{ij}) entre la concentration (x_{ii}) et l'incertitude (σ_{ij}) est calculée à partir de l'équation :

$$d_{ij} = \begin{cases} \left(\frac{x_{ij} - \sigma_{ij}}{\sigma_{ij}} \right) & \text{si } x_{ij} > \sigma_{ij} \\ 0 & \text{si } x_{ij} \leq \sigma_{ij} \end{cases}$$

Finalemment, 28 espèces (EC, OC, Cl⁻, NO₃⁻, SO₄²⁻, Na⁺, NH₄⁺, Mg²⁺, K⁺, Ca²⁺, lévoglucosan, Al, As, Ba, Cd, Co, Cs, Cu, Fe, Mn, Pb, Rb, Se, Sn, Sr, Ti, V, Zn) ont été utilisées dans la matrice d'entrée de la méthode PMF, y compris la concentration massique de PM10 qui a été définie comme une variable totale.

Prétraitements des données

Un prétraitement statistique de la matrice des données est rendu nécessaire par la présence de valeurs inférieures à la limite de détection (LD), de valeurs manquantes, et de valeurs dites « extrêmes ». Les valeurs inférieures à la limite de détection sont remplacées par LD/2, comme recommandé par le guide d'utilisateur du modèle EPA PMF 5.0. Les valeurs manquantes sont remplacées par un code « -999 » dans la matrice d'entrée, et le logiciel remplacera ces valeurs par la moyenne géométrique de cette espèce. Les valeurs extrêmes liées à des événements ponctuels (par exemple, feux d'artifice du 14 juillet), qui sont souvent mal reconstituées par la PMF, doivent être exclues du modèle.

Estimation d'incertitudes

Les incertitudes des différentes espèces d'entrée sont déterminées à partir de la méthode proposée par Gianini et al.,(2012)¹⁰ :

$$\sigma_{ij} = \sqrt{(DL_j)^2 + (x_{ij} \times CV_j)^2 + (x_{ij} \times \mathbf{a})^2}$$

où DL_j est la limite de détection (3σ_{blancs}) ; x_{ij} est la concentration de l'espèce j à l'instant i ; CV_j est le coefficient de variation de l'espèce j ; et **a** est le coefficient de variation additionnel, qui représente les incertitudes supplémentaire selon la catégorie/famille d'espèces chimiques.

Pour les valeurs inférieures à la limite de détection, une incertitude égale à 5/6 LD de cette espèce est utilisée (recommandation du guide d'utilisateur du modèle EPA PMF 5.0). Pour les valeurs manquantes et remplacées, une incertitude égale à 4 fois la moyenne géométrique est attribuée par le modèle.

Définition de contraintes

Dans cette étude, le logiciel EPA PMF 5.0 permet d'appliquer deux types de contraintes dans les solutions du modèle :

- Ratio : dans un même profil de source, le ratio entre deux espèces peut être défini par l'utilisateur ;

¹⁰ M.F.D. Gianini et al., "Chemical Composition of PM10 in Switzerland: An Analysis for 2008/2009 and Changes since 1998/1999," *Atmospheric Environment* 54 (July 1, 2012): 97–106, <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2012.02.037>.

- Les contraintes sur les contributions d'une espèce chimique en utilisant le forçage doux (« *soft pulling* »), qui autorise une limite de changement dans la valeur de Q (%dQ = 0.5 par défaut) (équation 3).

Les contraintes imposées par utilisateurs peuvent avoir une influence subjective sur les solutions calculées par le modèle PMF. Dans cette étude, des contraintes chimiques spécifiques sont définies selon le guide LCSQA « Traitement harmonisé de jeux de données multi-sites pour l'étude de sources de PM par PMF » (2017). La liste des contraintes est présentée dans le Tableau suivant :

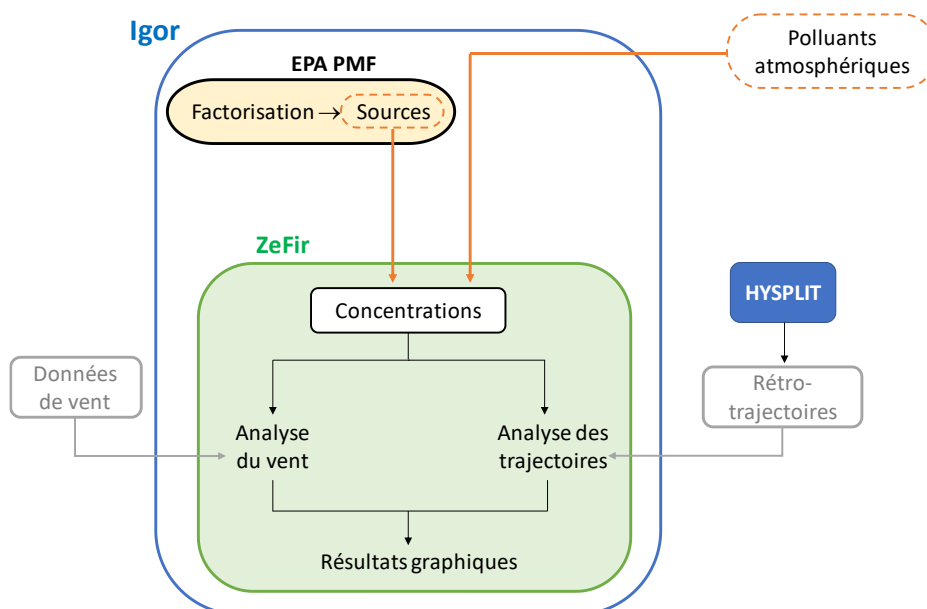
Contraintes chimiques spécifiques appliquées aux facteurs identifiés par la PMF

Facteur	Eléments	Type	Valeur
Combustion de biomasse	Levoglucosan	Pull Up Maximally	% dQ = 0.50
Trafic routier	Levoglucosan	Set to Zero	0
Seasalt	Mg/Na	Set to Value	0.119

Annexe 4 : Analyse du vent et des rétrotrajectoires

ZeFir est un nouvel outil permettant d'effectuer des études sur les origines géographiques des polluants atmosphériques¹¹. Il combine les méthodes d'analyses du vent et des trajectoires.

La structure de cet outil est résumée par la suivante (Ligne orange : concentrations des polluants ; ligne grise : données de vent/trajectoires). Il est programmé via une interface d'analyse de données basée sur le logiciel Igor Pro (Wavemetrics).



La structure du fonctionnement ZeFir (Ligne orange : données de concentrations ; ligne grise : données de vent/trajectoire). Adapté de J.-E. Petit et al, (2017)¹⁰

¹¹ J.-E. Petit et al., "A User-Friendly Tool for Comprehensive Evaluation of the Geographical Origins of Atmospheric Pollution: Wind and Trajectory Analyses," *Environmental Modelling & Software* 88 (February 1, 2017): 183–87, <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2016.11.022>.

Dans cette étude, les concentrations de particules utilisées sont les sources identifiées par le modèle source-récepteur PMF (*Positive Matrice Factorization*) ou les espèces chimiques mesurées dans les filtres PM10. Ces concentrations ont une résolution temporelle de 24h. La direction et la vitesse du vent sont moyennées sur le même pas de temps que la concentration, à partir des données horaires mesurées par la station Météo-France à Creil. Les données de rétro-trajectoires sont calculées avec le modèle HYSPLIT.

Méthode d'analyse du vent

L'analyse du vent dans cette étude est basée sur la méthode NWR (*Non-parametric wind regression*), qui a été développée par Henry et al. (2009)¹². Cette méthode permet de combiner la concentration des polluants avec la mesure de la vitesse et la direction du vent. Le principe est de lisser les données sur une grille très fine, afin d'avoir une concentration estimée pour chaque direction et vitesse du vent définie.

La méthode NWR est définie par l'équation :

$$E(\theta|v) = \frac{\sum_{i=1}^N K_1\left(\frac{\theta-W_i}{\sigma}\right) \cdot K_2\left(\frac{v-Y_i}{h}\right) \cdot C_i}{\sum_{i=1}^N K_1\left(\frac{\theta-W_i}{\sigma}\right) \cdot K_2\left(\frac{v-Y_i}{h}\right)}$$

E est la concentration estimée pour une direction du vent θ et une vitesse du vent v . W_i , Y_i et C_i sont les données fournies par l'utilisateur, qui correspondent à la direction du vent, la vitesse du vent et la concentration du point i , respectivement. N est le nombre total des concentrations mesurées. σ et h sont les paramètres de lissage. K_1 et K_2 sont deux types de fonction kernel : K_1 la distribution Gaussien et K_2 de type Epanechnikov :

$$K_1(x) = (2\pi)^{\left(-\frac{1}{2}\right)} \cdot \exp(-0.5x^2) ; \quad -\infty < x < \infty$$

$$K_2(x) = 0.75(1 - x^2) ; \quad -1 \leq x \leq 1$$

Les paramètres utilisés dans l'analyse NWR sont présentés dans le Tableau suivant :

Paramètres utilisés dans le module NWR

Résolution de la direction du vent	Résolution de la vitesse du vent	Max de la vitesse du vent	Paramètre de lissage (θ)	Paramètres de lissage (v)
1°	0,25 km/h	20 km/h	28,23	7,24

¹² Ronald Henry et al., "Source Region Identification Using Kernel Smoothing," *Environmental Science & Technology* 43, no. 11 (June 1, 2009): 4090–97, <https://doi.org/10.1021/es8011723>.

Méthode d'analyse des rétrotrajectoires

PSCF (*Potentiel source contribution function*), CWT (*Concentration-Weighted Trajectory*) et CF (*Concentration Field*) sont les méthodes les plus souvent utilisées pour évaluer le transport des polluants atmosphériques à longue distance¹³. Elles associent les concentrations mesurées avec les rétrotrajectoires et le temps de résidence des masses d'air, qui permettent de définir l'origine géographique des polluants observés sur un site récepteur. Chaque méthode présentait des avantages et des inconvénients¹⁴.

Dans cette étude, la méthode CWT a été utilisée qui est basée sur l'équation :

$$\overline{C_{ij}} = \frac{1}{\tau_{ijk}} \cdot \sum_{k=1}^N C_k \cdot \tau_{ijk}$$

Ici N est le nombre total des trajectoires, ij est l'indice pour une cellule de grille, k est l'indice d'une trajectoire. C_{ij} est la concentration observée sur le site récepteur à l'arrivée d'une trajectoire k . τ_{ijk} est le temps de résidence de cette trajectoire k dans la cellule ij .

Pour chaque cellule (ij) d'une grille définie ($0,5^\circ \times 0,5^\circ$), la méthode estime une concentration potentielle d'une espèce chimique ou d'un facteur PMF. Les résultats sont tracés sur la carte mondiale entre longitude 40°W – 40°E et latitude 28°N – 76°N . Un facteur de lissage gaussien de 15 a été appliqué aux résultats.

Les rétrotrajectoires sont calculées avec le modèle HYSPLIT (Hybrid Single-Particle Lagrangian Integrated Trajectory)^{15,16}, qui a été développé par le laboratoire ARL (*Air Resources Laboratory*) de l'Administration Nationale des Océans et de l'Atmosphère (NOAA : *National Oceanic and Atmospheric Administration*) aux Etats-Unis.

Dans cette étude, les données météorologiques GDAS (*Global Data Assimilation System*) avec la résolution de 1 degré ont été utilisées. Les rétrotrajectoires de 72h (trajectoire d'une masse d'air durant les 3 jours précédents) ont été calculées avec un pas de temps de 6 heures (dont 4 trajectoires par jour), arrivant à une altitude de 500 m. La durée de 72h a été choisie pour éviter trop d'incertitudes dans leurs calculs et être cohérent avec la durée de vie de certains polluants. Par conséquent, les sources plus anciennes que 72h ne sont pas prises en compte.

¹³ Zoë L. Fleming, Paul S. Monks, and Alistair J. Manning, "Review: Untangling the Influence of Air-Mass History in Interpreting Observed Atmospheric Composition," *Atmospheric Research* 104–105 (February 1, 2012): 1–39, <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2011.09.009>.

¹⁴ Ying-Kuang Hsu, Thomas M. Holsen, and Philip K. Hopke, "Comparison of Hybrid Receptor Models to Locate PCB Sources in Chicago," *Atmospheric Environment* 37, no. 4 (February 1, 2003): 545–62, [https://doi.org/10.1016/S1352-2310\(02\)00886-5](https://doi.org/10.1016/S1352-2310(02)00886-5).

¹⁵ R. R. DRAXLER and G.D. Rolph, "HYSPLIT (HYbrid Single-Particle Lagrangian Integrated Trajectory) Model" (NOAA Air Resources Laboratory, Silver Spring, MD, 2003), <http://ready.arl.noaa.gov/HYSPLIT.php>.

¹⁶ A. F. Stein et al., "NOAA's HYSPLIT Atmospheric Transport and Dispersion Modeling System," *Bulletin of the American Meteorological Society* 96, no. 12 (May 4, 2015): 2059–77, <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-14-00110.1>.

La concentration de chaque source est basée sur un pas de temps journalier, donc une résolution temporelle assez faible. Dans ce cas-là, une seule trajectoire correspondant à cette journée sera prise en compte. Avec ZeFir, il est possible d'agrandir le jeu de données en ajoutant plusieurs trajectoires pendant cette journée : par exemple à -12h, -6h, 0h, 6h et 12h, avec pour les 5 trajectoires la même concertation moyenne journalière associée.

Exemple d'une trajectoire agrandie

Données origines		Trajectoires ajoutées	Données agrandies	
Date	Conc.	(h)	Date	Conc.
02/06/2019 00:00:00	0,30	-12	01/06/2019 12:00:00	0,30
		-6	01/06/2019 18:00:00	0,30
		0	02/06/2019 00:00:00	0,30
		6	02/06/2019 06:00:00	0,30
		12	02/01/2019 12:00:00	0,30

Annexe 5 : Fiche émission PM10 de la Métropole Européenne de Lille (année 2018)

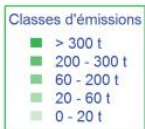
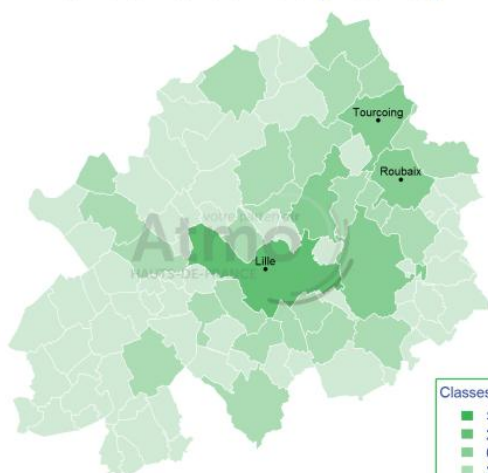


Fiche émissions 2018 Métropole Européenne de Lille Particules PM10

Quelques chiffres clés

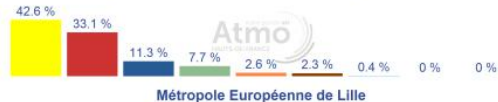
 Ce territoire émet 6.95 % des émissions régionales
  1.71 kg par habitant 2.8 fois moins qu'en région
  2963.31 kg par km² 3.3 fois plus qu'en région

Emissions des PM10 réparties par communes sur le territoire en 2018 (en tonnes)



Fond de carte ADMIN-EXPRESS - © IGN - 2021

Répartition des émissions de PM10 par secteur d'activité en 2018 (en %)



- Extraction, transformation et distribution d'énergie
- Résidentiel
- Modes de transports autres que le routier
- Agriculture, sylviculture et aquaculture
- Traitement des déchets
- Industrie manufacturière et construction
- Tertiaire, commercial et institutionnel
- Transports routiers
- Emetteurs non inclus

Les émissions de chaque polluant sont sectorisées en 9 activités principales. Les secteurs ci-dessus sont ceux utilisés dans les Plans Climat Air Energie Territoriaux (PCAET)

Evolution chronologique des émissions des PM10 totales sur le territoire (en kilotonnes)

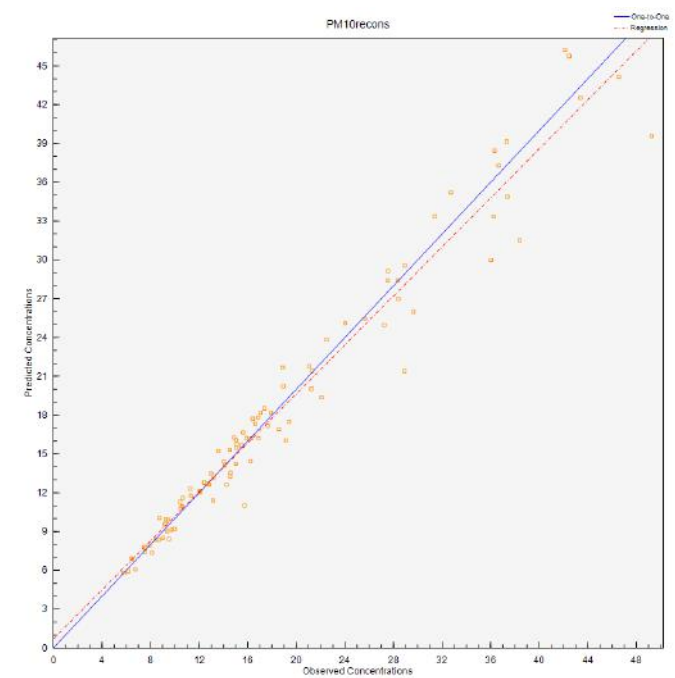


Les émissions sont des quantités de polluants atmosphériques et gaz à effet de serre rejetées dans l'atmosphère par différentes sources. L'inventaire des émissions Atmo Hauts-de-France (A2018_M2020_v4) recense une quarantaine de polluants. Pour plus d'informations voir la rubrique « Tout savoir sur l'air - Inventaire des émissions » sur www.atmo-hdf.fr

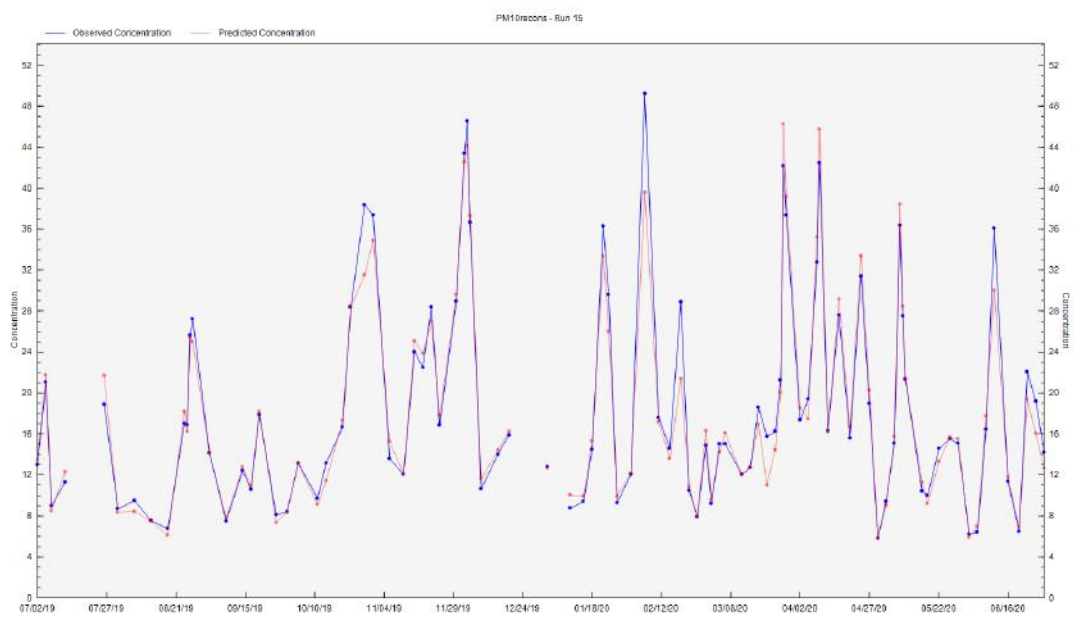
Annexe 6 : Validation de méthode

Les PM10 mesurées dans l'air (axe X) et les PM10 reconstituées par le modèle PMF (axe Y) sont comparées dans la **Erreur ! Source du renvoi introuvable.** La corrélation est excellente ($R^2 = 0.96$ et la **pente de droite = 0.95**). Les séries temporelles mesurées (Bleu) et modélisées (rouge) sont présentées et les deux courbes superposent.

Ceci signifie un **bon fonctionnement du modèle PMF**, qui a bien estimé les PM10 mesurées sur la période d'étude.

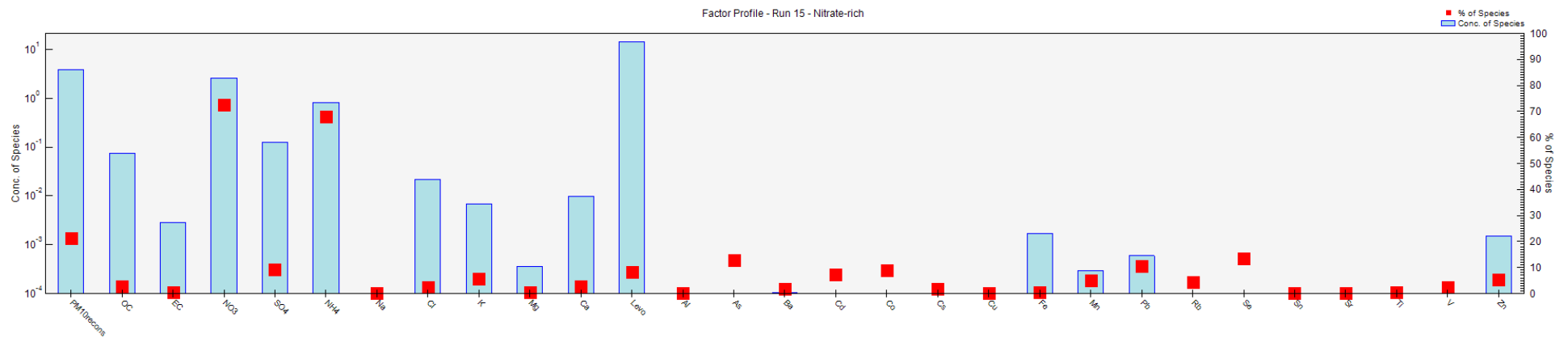
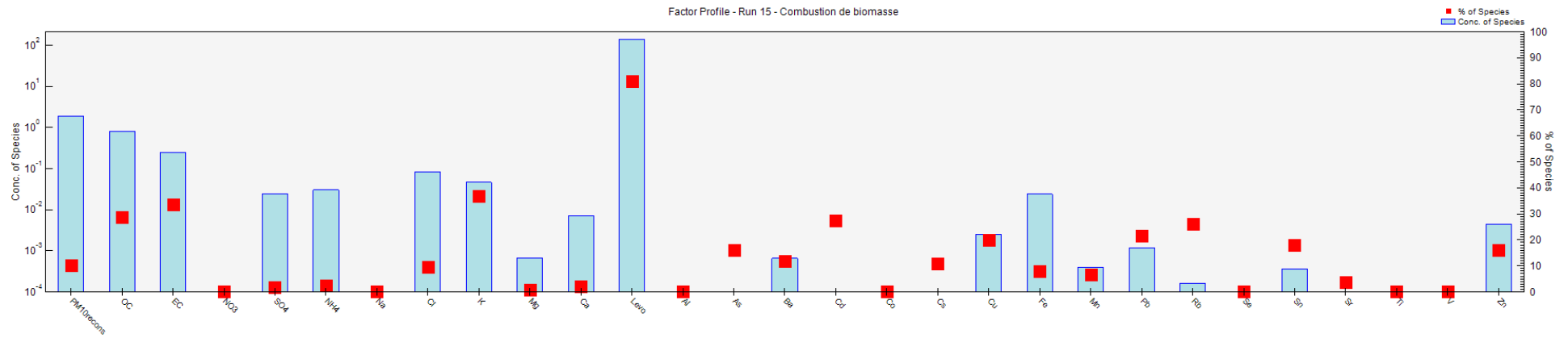


Corrélation entre les PM10 mesurées et les PM10 reconstituées par le modèle PMF

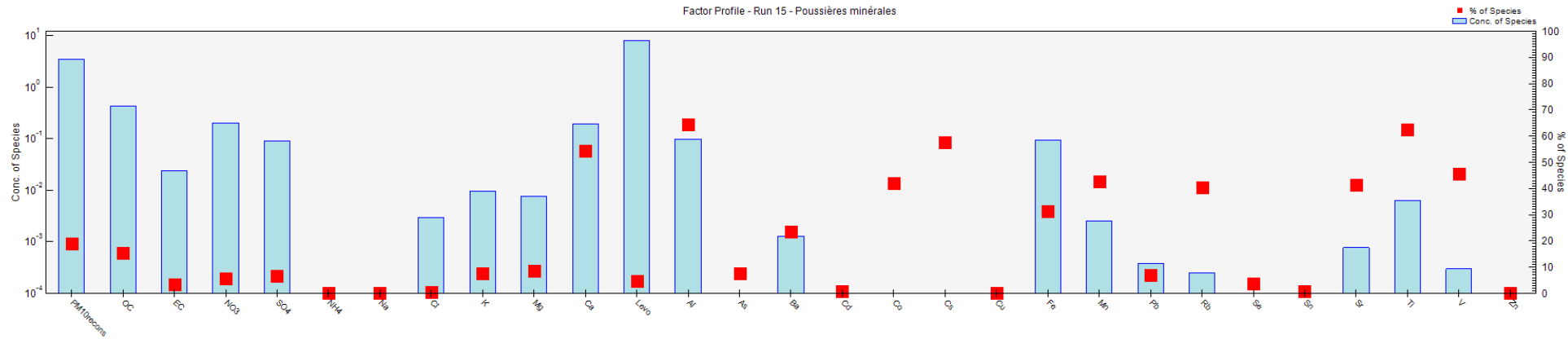


Séries temporelles des PM10 mesurées (bleu) et reconstituées (rouge) par le modèle PMF

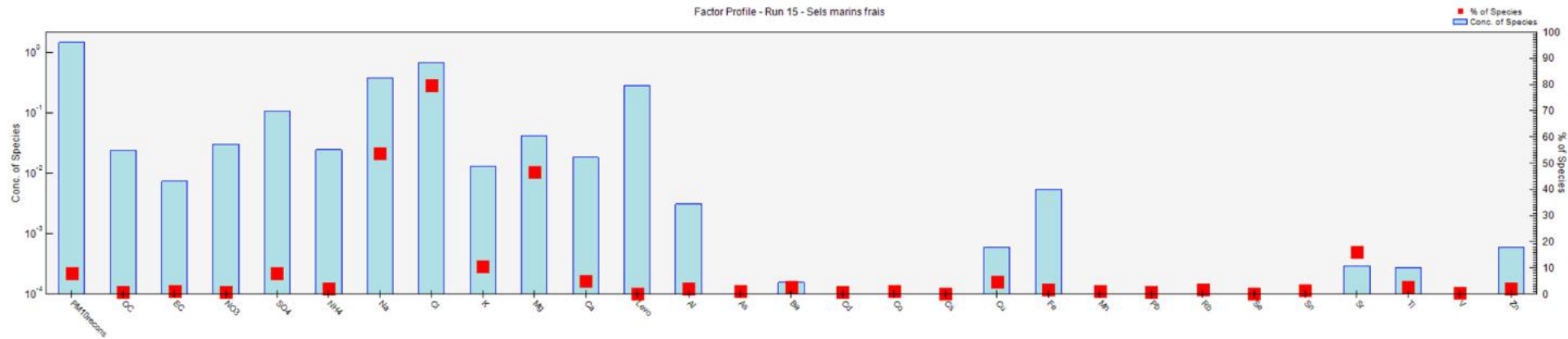
Annexe 7 : Profil chimique des facteurs identifiés



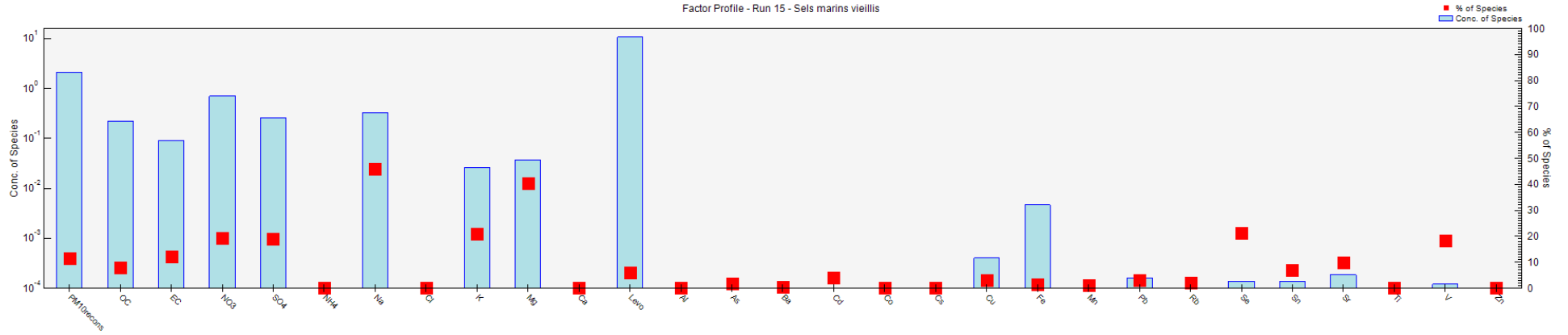
Factor Profile - Run 15 - Poussières minérales



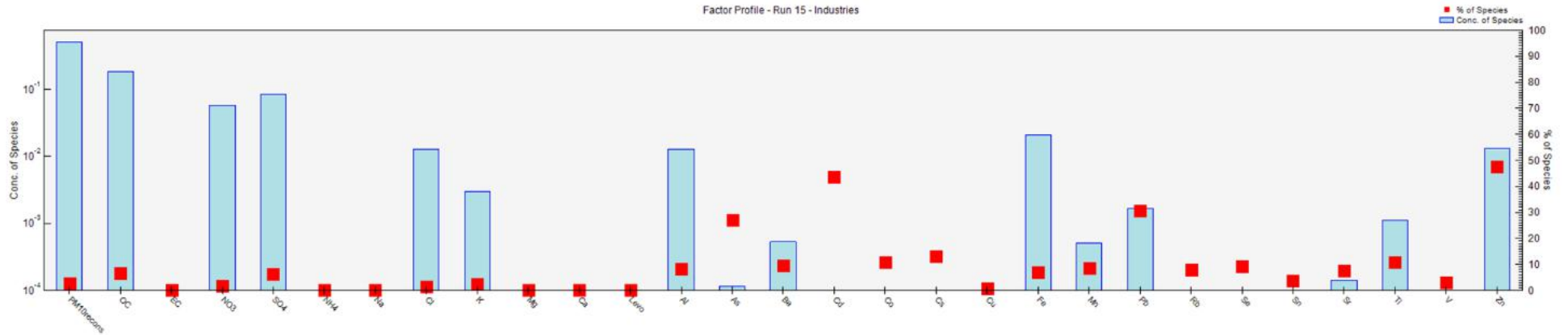
Factor Profile - Run 15 - Sels marins frais



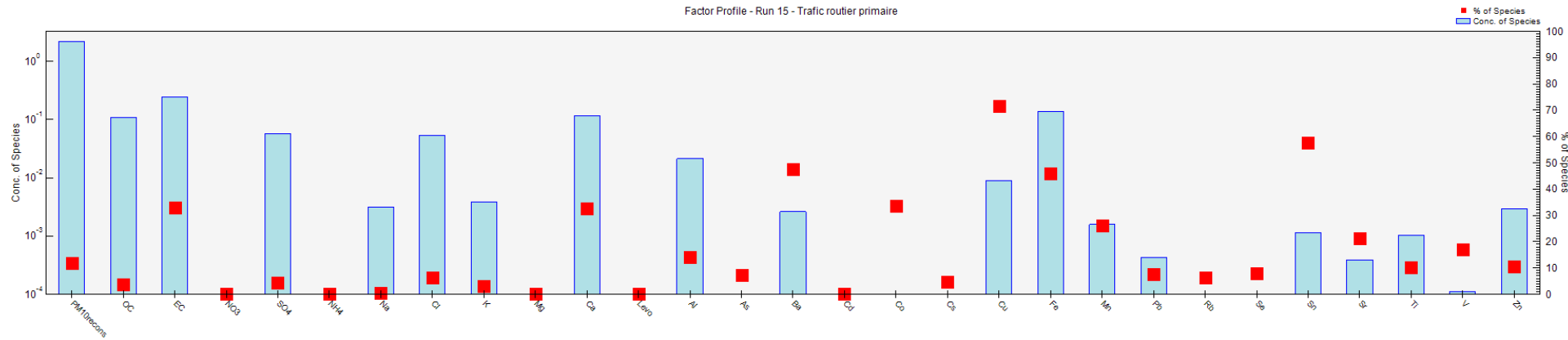
Factor Profile - Run 15 - Sels marins vieillis



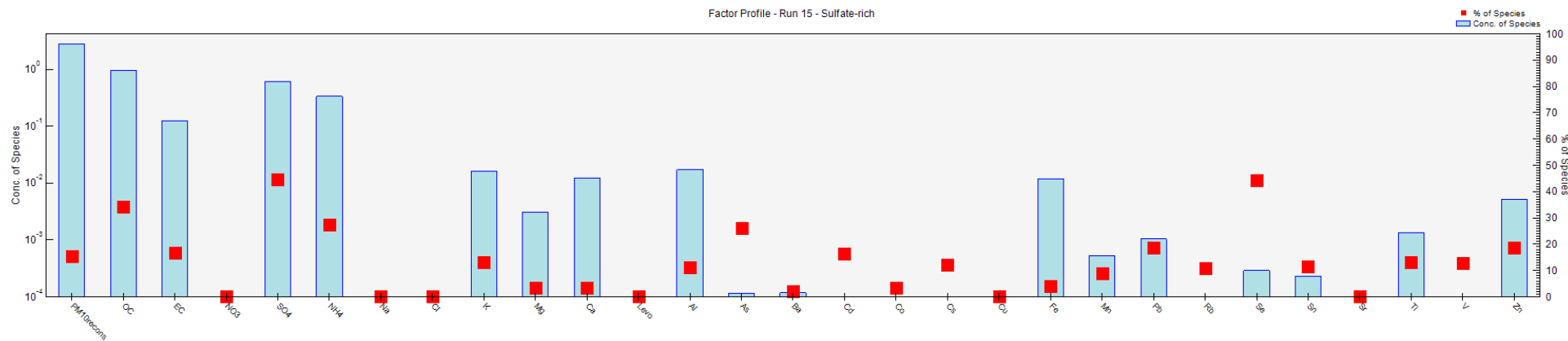
Factor Profile - Run 15 - Industries



Factor Profile - Run 15 - Traffic router primaire

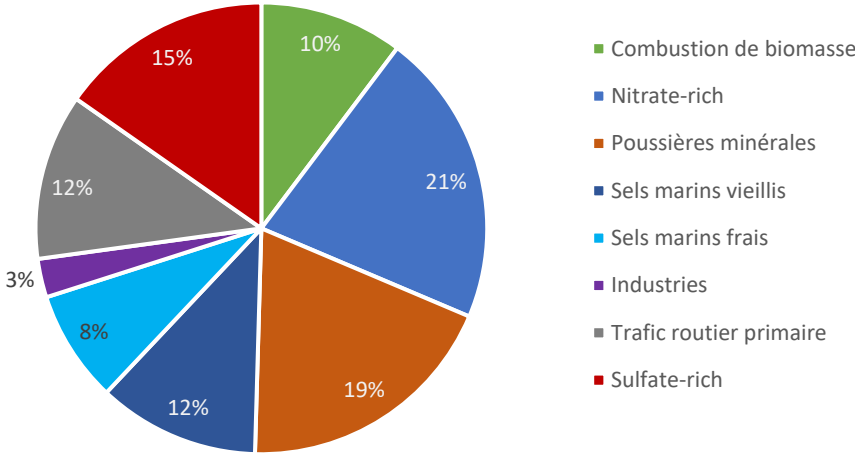


Factor Profile - Run 15 - Sulfate-rich



Annexe 8 : Contribution moyenne des principaux facteurs constitutifs des PM10 à la MEL en 2019-2020 obtenus par la démarche PMF sans aucune contrainte

MEL 2019-2020 (sans contraintes)



Annexe 9 : Tableau des valeurs réglementaires en air ambiant 2018

Polluant	Normes en 2018				
	Valeur limite	Valeur cible	Objectif de qualité / Objectif à long terme	Seuil d'information et de recommandation	Seuil d'alerte
Dioxyde de soufre (SO ₂)	125 µg/m ³ en moyenne journalière à ne pas dépasser plus de 3 jours/an		50 µg/m ³ en moyenne annuelle	300 µg/m ³ en moyenne horaire	500 µg/m ³ en moyenne horaire pendant 3 heures consécutives
	350 µg/m ³ en moyenne horaire à ne pas dépasser plus de 24 heures/an				
Dioxyde d'azote (NO ₂)	40 µg/m ³ en moyenne annuelle			200 µg/m ³ en moyenne horaire	400 µg/m ³ en moyenne horaire pendant 3 heures consécutives ou 200 µg/m ³ en moyenne horaire si déclenché la veille, le jour même et prévu pour demain
	200 µg/m ³ en moyenne horaire à ne pas dépasser plus de 18 heures/an				
Ozone (O ₃)		Protection de la santé 120 µg/m ³ en moyenne sur 8 heures glissantes à ne pas dépasser plus de 25 jours/an (moyenne calculée sur 3 ans)	Protection de la santé 120 µg/m ³ en moyenne sur 8 heures glissantes	180 µg/m ³ en moyenne horaire	Seuil 1 : 240 µg/m ³ en moyenne horaire pendant 3 heures consécutives
		Protection de la végétation 18 000 µg/m ³ .h pour l'AOT40** (moyenne calculée sur 5 ans)	Protection de la végétation 6 000 µg/m ³ .h pour l'AOT40**		Seuil 2 : 300 µg/m ³ en moyenne horaire pendant 3 heures consécutives Seuil 3 : 360 µg/m ³ en moyenne horaire Sur persistance : 180 µg/m ³ en moyenne horaire prévu pour le jour même et le lendemain
Particules en suspension (PM10)	40 µg/m ³ en moyenne annuelle		30 µg/m ³ en moyenne annuelle	50 µg/m ³ en moyenne journalière	80 µg/m ³ en moyenne journalière
	50 µg/m ³ en moyenne journalière à ne pas dépasser plus de 35 jours/an				Sur persistance : 50 µg/m ³ en moyenne journalière prévue pour le jour même et le lendemain
Particules en suspension (PM2,5)	25 µg/m ³ en moyenne annuelle	20 µg/m ³ en moyenne annuelle	10 µg/m ³ en moyenne annuelle		
Monoxyde de carbone (CO)	10 mg/m ³ en moyenne sur 8 heures glissantes				
Benzène (C ₆ H ₆)	5 µg/m ³ en moyenne annuelle		2 µg/m ³ en moyenne annuelle		
Plomb (Pb)	0,5 µg/m ³ en moyenne annuelle		0,25 µg/m ³ en moyenne annuelle		
Arsenic (As)		6 ng/m ³ en moyenne annuelle			
Cadmium (Cd)		5 ng/m ³ en moyenne annuelle			
Nickel (Ni)		20 ng/m ³ en moyenne annuelle			
Benzo[a]pyrène (C ₂₀ H ₁₂)		1 ng/m ³ en moyenne annuelle			

Source : Décret n°2010-1250 du 21 octobre 2010 relatif à la qualité de l'air et Arrêté du 26 mars 2014 relatif au déclenchement des procédures préfectorales en cas d'épisodes de pollution de l'air ambiant

**AOT40 (exprimé en µg/m³ par heure) signifie la somme des différences entre les concentrations horaires supérieures à 80 µg/m³ (= 40 parties par milliard) et 80 µg/m³ durant une période donnée en utilisant uniquement les valeurs sur une heure, mesurées quotidiennement entre 8h00 et 20h00.

RETROUVEZ TOUTES
NOS **PUBLICATIONS** SUR :
www.atmo-hdf.fr

Atmo Hauts-de-France

Observatoire de l'Air

199, rue Colbert – Bâtiment Douai

59000 Lille

