

# RAPPORT D'ETUDE

## Caractérisation des particules PM10 dans la région Hauts-de-France

Etude menée en 2018



Auteurs : Shouwen ZHANG, Lucas BASTIEN

Vérificateur : Benoit Rocq

Diffusion : Mars 2019





# 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<sup>er</sup> janvier au 31 décembre 2019 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](http://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.

## 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°01/2018/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](mailto: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	Benoît Rocq	Directeur Adjoint	

**Version du document : V0 basé sur trame vierge : EN-ETU-20**

**Date d'application : 11 janvier 2018**

# **Sommaire**

<b>1. Synthèse de l'étude.....</b>	<b>7</b>
<b>2. Enjeux et objectifs de l'étude .....</b>	<b>8</b>
<b>3. Introduction : les particules atmosphériques .....</b>	<b>9</b>
3.1. Granulométrie des particules.....	9
3.2. Origines et composition chimique des particules .....	9
3.3. Impacts environnementaux et sanitaires .....	11
<b>4. Matériels et méthodes.....</b>	<b>11</b>
4.1. Stations de mesure et polluants mesurés.....	11
4.2. Période étudiée.....	12
4.3. Techniques de mesure .....	14
<b>5. Contexte environnemental .....</b>	<b>16</b>
5.1. Émissions connues.....	16
5.2. Contexte météorologique.....	21
5.3. Épisodes de pollution .....	23
<b>6. Résultats de l'étude .....</b>	<b>24</b>
6.1. Concentration massique totale des PM10.....	24
6.2. Spéciation chimique des PM10.....	29
6.3. Jours de dépassement.....	41
<b>7. Conclusion et perspectives.....</b>	<b>49</b>

# **Annexes**

<b>Annexe 1 : Glossaire.....</b>	<b>50</b>
<b>Annexe 2 : Stations de mesure et stations météo utilisées dans cette étude .....</b>	<b>52</b>
<b>Annexe 3 : Roses de pollution mensuelles basées sur les valeurs maximales .....</b>	<b>53</b>
<b>Annexe 4 : Roses des vents pendant les jours de dépassement .....</b>	<b>54</b>
<b>Annexe 5 : Tableau des valeurs réglementaires en air ambiant 2018 .....</b>	<b>55</b>

# Illustrations

Figure 1 : Illustration de la taille des particules PM10 et PM2.5. Source : U.S. EPA.....	9
Figure 2 : Principaux polluants atmosphériques (source : Atmo Hauts-de-France).....	10
Figure 3 : La région Hauts-de-France et ses départements (en noir), les stations de mesures (en bleu) sélectionnées pour l'étude, et les établissements publics de coopération intercommunale (EPCI, en vert) où se trouvent ces stations.....	12
Figure 4 : Stations de mesures sélectionnées pour cette étude.....	13
Figure 5 : Analyseur TEOM-FDMS. Source : Thermofisher.....	14
Figure 6 : Photos de préleveurs DA80 (intérieur et tête de prélèvement).....	15
Figure 7 : Relation entre les émissions et les concentrations de polluants atmosphériques. ....	16
Figure 8 : Émissions de particules et leur répartition par secteur d'activité dans chaque EPCI qui comprend une des stations de mesures faisant l'objet de la présente étude. Les données d'émissions ont été extraites de la version A2015_M2017_V2 de l'inventaire d'Atmo Hauts-de-France.....	18
Figure 9 : Principales ICPE (installations classées pour la protection de l'environnement) situées à proximité du site de mesure AM2 (Amiens Saint-Pierre). Sont montrées 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).....	19
Figure 10 : Principales ICPE (installations classées pour la protection de l'environnement) situées à proximité du site de mesure CR1 (Nogent-sur-Oise). Sont montrées 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).....	19
Figure 11 : Principales ICPE (installations classées pour la protection de l'environnement) situées à proximité du site de mesure DK1 (Grande-Synthe). Sont montrées 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 12 : Principales ICPE (installations classées pour la protection de l'environnement) situées à proximité du site de mesure MC5 (Lille Fives). Sont montrées 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 13 : Roses des vents mensuelles sur la période étudiée pour chaque station.....	21
Figure 14 : Moyennes journalières de température (gauche) et d'humidité relative (droite). ....	22
Figure 15 : Épisodes de pollution en particules PM10 constatés entre le 01/01/2018 et le 22/05/2018 .....	24
Figure 16 : Moyennes journalières en PM10 pour les quatre sites sur la période étudiée. ....	25
Figure 17 : Moyennes mensuelles (du 1 <sup>er</sup> au 22 mai pour le mois de mai) de PM10 pour les quatre sites.....	25
Figure 18 : Roses de pollution mensuelles sur la période étudiée et pour chaque station. L'échelle de couleur indique la concentration moyenne en PM10 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) observée pour la catégorie de vents correspondante.....	27

Figure 19 : Roses de pollution sur la période étudiée (01/01/2018 au 22/05/2018), superposées sur les fonds de cartes correspondants. L'échelle de couleur indique la concentration moyenne en PM10 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) observée pour la catégorie de vents correspondante.....	28
Figure 20 : Comparaison des concentrations massiques en PM10 reconstituées par bouclage chimique à celles mesurées par TEOM-FDMS.....	31
Figure 21 : Composition chimique moyenne des PM10 de 4 sites pour la période 01/01-22/05/2018. ....	32
Figure 22 : Composition chimique (moyennes mensuelles) des PM10 pour les quatre sites. ....	33
Figure 23 : Concentration en OC et EC dans les PM10 (axe de gauche) et ratio OC/EC (axe de droite) pour quatre sites.....	34
Figure 24 : Contributions relatives moyennes des 9 espèces organiques identifiées. ....	36
Figure 25 : Evolution des moyennes mensuelles du lévoglucosan (axe de gauche) et de la température (axe de droite). ....	37
Figure 26 : Concentrations moyennes (sur la période étudiée) de métaux traceurs d'émissions industrielles.....	38
Figure 27 : Concentrations moyennes (sur la période étudiée) de métaux traceurs d'émissions du trafic routier.....	39
Figure 28 : Concentrations moyennes (sur la période étudiée) de métaux traceurs d'émissions de la combustion de fuel lourd.....	40
Figure 29 : Concentrations moyennes (sur la période étudiée) de métaux traceurs de poussière minérales.....	41
Figure 30 : Composition chimique moyenne des PM10 pendant les jours de dépassement. ....	43
Figure 31 : Analyse des jours de dépassement à Grande-Synthe : a) composition chimique ; b) espèces organiques identifiées ; c) métaux.....	44
Figure 32 : Composition chimique des PM10 (gauche) et concentrations des espèces organiques identifiées (droite) pendant les jours de dépassement : a) Nogent-sur-Oise ; b) Amiens ; c) Lille. ....	47
Figure 33 : Concentrations journalières en PM10 modélisées par la plateforme PREV'AIR pour les jours où la concentration journalière en PM10 a dépassé $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ à au moins un des quatre sites étudiés. ....	48

# Tableaux

Tableau 1 : Stations de mesure sélectionnées pour cette étude.....	13
Tableau 2 : Laboratoires et méthodes de quantification de la composition chimique des PM10 prélevées sur filtres.....	15
Tableau 3 : Émissions de PM10 par habitant (kg/an/habitant). Les données d'émissions ont été extraites de la version A2015_M2017_V2 de l'inventaire d'Atmo Hauts-de-France. ....	17
Tableau 4 : Résumé statistique par mois des paramètres météorologiques (valeurs horaires) au cours de la période d'étude. Pour chaque mois, les valeurs moyennes, minimales, et maximales sont données pour la température (T) et l'humidité relative (HR). Les valeurs de précipitations (Pr) indiquées sont les totaux mensuels. ....	23
Tableau 5 : Résumé statistiques des concentrations en PM10 pour les quatre sites sur la période étudiée.....	26
Tableau 6 : Moyennes journalières de PM10 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) dépassant $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , sur la période du 01/01/2018 au 22/05/2018.....	42

# 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 cofinancée par la Région Hauts-de-France et la communauté d'agglomération Amiens Métropole. Son objectif est de caractériser et comprendre la composition des particules de taille inférieure à 10 µm (PM10) dans la région Hauts-de-France. Pour cela, les particules PM10 ont été prélevées sur filtres en quatre points de la région : Nogent-sur-Oise (une station périurbaine mesurant la pollution de fond), Lille et Amiens (deux stations urbaines mesurant la pollution de fond), et Grande-Synthe (une station urbaine mesurant la pollution sous influence industrielle). La composition chimique des particules ainsi prélevées a été analysée afin de quantifier la concentration des différents constituants des particules. L'étude porte sur les mesures de la période du 1<sup>er</sup> janvier au 22 mai 2018.

**Les évolutions temporelles des particules PM10 sont relativement similaires pour les quatre stations étudiées.** Cette similitude suggère que les PM10 mesurées à ces sites sont généralement sous influence régionale. Les concentrations du mois de mai à Grande-Synthe sont cependant très supérieures aux concentrations mesurées sur les trois autres sites, ce qui suggère une influence plus locale dans ce cas.

**Concernant la composition chimique des particules, la matière organique (26-39%) et le nitrate (23%-30%) sont généralement les composés dominants sur les quatre sites** et contribuent, à eux deux, à plus de 50% des particules PM10 mesurées. La matière organique provient de sources diverses liées aux activités humaines (chauffage, transports et activités économiques) et aussi des activités naturelles (ex. les pollens). Le nitrate n'est pas directement rejeté dans l'atmosphère ; il résulte de réactions chimiques entre des composés émis par des sources variées (transports, industries, agriculture, etc).

**Cependant, les profils chimiques des particules sont, à certains égards, différents selon la typologie des sites** pendant la période d'étude. Par rapport aux autres sites, Nogent-sur-Oise est caractérisé par une concentration plus élevée en lévoglucosan, un traceur de la combustion de la biomasse. Ce site est donc plus impacté par le chauffage au bois. Pour la plupart des métaux, les concentrations sont plus élevées à Grande-Synthe (station sous influence industrielle) que pour les autres stations, qui mesurent la pollution de fond.

Les deux sites urbains d'Amiens et de Lille enregistrent des particules, avec une composition chimique assez similaire, principalement liée aux transports et au chauffage ainsi qu'aux réactions des composés déjà présents dans l'air, entraînant la formation de particules secondaires.

**La valeur limite journalière (50 µg/m<sup>3</sup> en moyenne journalière) a été dépassée** durant onze jours à Grande-Synthe et 2 à 3 jours sur les trois autres sites.

**Lors de ces dépassements, les composés inorganiques secondaires (nitrate d'ammonium et sulfate d'ammonium) sont les constituants dominants sur les quatre sites**, et contribuent entre 50 et 72% de la masse totale des particules PM10. Ces composés inorganiques secondaires se sont formés dans l'atmosphère, à partir des polluants gazeux (oxydes d'azote, dioxyde de soufre et ammoniac), qui sont émis directement par des sources anthropiques diverses (industrie, trafic, agriculture...). **Le chauffage au bois est également une source importante pendant la période froide. À Grande-Synthe, les métaux contribuent aux PM10 à hauteur de 13%** en moyenne pendant les jours de dépassement. Cette contribution est environ 6 fois supérieure à celle observée pour les autres sites (2%).

## 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 en PM10, ainsi que des concentrations observées en dehors des épisodes. Les objectifs actuels de ce programme sont<sup>1</sup>:

- 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 (QA/QC) 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.

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 analyses effectuées pour le site de Nogent-sur-Oise pendant la période 2013–2016 sont présentées dans un rapport déjà publié<sup>2</sup>.

La présente étude porte sur les mesures du programme CARA d'Atmo Hauts-de-France effectuées en 2018, qui est cofinancée par la Région Hauts-de-France et la communauté d'agglomération Amiens Métropole. Afin de mieux comprendre la chimie des particules pendant et hors des épisodes hivernaux de pollution, 4 points de prélèvement implantés dans des environnements distincts les uns des autres ont été choisis dans la région : Nogent-sur-Oise (périurbain), Lille (urbain), Amiens (urbain), et Dunkerque (urbain sous influence industrielle). Des prélèvements par filtre, chacun d'une durée de 24 heures, ont été réalisés entre le 1<sup>er</sup> janvier et le 22 mai 2018. Les objectifs principaux de cette étude sont de : (1) caractériser et comprendre la composition chimique des particules pendant et hors des épisodes de pollution ; (2) caractériser certaines des propriétés physico-chimiques des particules en utilisant la microscopie électronique à balayage (MEB)<sup>3</sup>. Les travaux sur ce sujet sont menés dans le cadre d'une collaboration avec une étudiante de l'école Polytech Lille et ne sont pas présentés ici. Les résultats de cette analyse seront publiés séparément ; (3) comparer entre eux les résultats obtenus sur les 4 sites sélectionnés.

---

<sup>1</sup> 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>.

<sup>2</sup> Shouwen Zhang, "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](http://www.atmo-hdf.fr/joomlatools-files/docman-files/Rapport_et_synthese_etudes/rapport_complet_nogent_min.pdf).

<sup>3</sup> Lucie LORPHELIN, "Caractérisation Physico-Chimique Des Particules Atmosphériques Dans La Région Hauts-de-France Par l'analyse MEB-EDS" (Polytech Lille, 2019).



# 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 ( $\mu\text{m}$ ) 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  $\mu\text{m}$ , respectivement. La Figure 1 illustre la taille des particules atmosphériques en les comparant à un cheveu humain (50 à 70  $\mu\text{m}$ ).

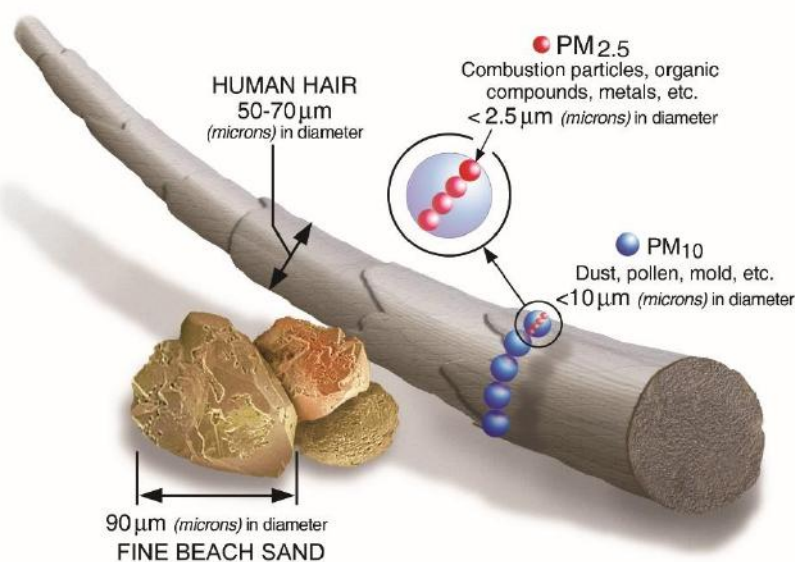


Figure 1 : Illustration de la taille des particules PM10 et PM2.5. Source : U.S. EPA<sup>4</sup>.

## 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

<sup>4</sup> [https://www.epa.gov/sites/production/files/2016-09/pm2.5\\_scale\\_graphic-color\\_2.jpg](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.

On peut distinguer deux catégories de particules (Figure 2) selon leurs processus de formation :

- Les **particules primaires** sont émises directement dans l'atmosphère par différentes sources anthropiques et naturelles.
- Les **particules secondaires** sont formées dans l'atmosphère par des réactions physico-chimiques à partir de précurseurs gazeux (e.g.  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_x$ ,  $\text{NH}_3$ , 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 (e.g. NaCl provenant des embruns marins) ou être formés à partir de précurseurs gazeux (e.g. le nitrate est formé à partir de  $\text{NO}_x$  gazeux).

- **Éléments métalliques.** Ils peuvent être émis par des sources naturelles (e.g. Ca, Al, Fe provenant de la croûte terrestre), ainsi que par des sources anthropiques (e.g. 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 cardiovasculaires<sup>5</sup> et à un risque accru de contracter le 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 élevée<sup>6</sup>.

## 4. Matériels et méthodes

### 4.1. Stations de mesure et polluants mesurés

Quatre stations de mesure, immatriculées Amiens Saint-Pierre (AM2), Nogent-sur-Oise (CR1), Grande-Synthe (DKI), et Lille Fives (MC5) et réparties sur la région des Hauts-de-France ont été sélectionnées pour cette étude (Figure 3, Tableau 1, et Figure 4). Ces stations sont respectivement situées dans les communes d'Amiens, de Nogent-sur-Oise, de Grande-Synthe et de Lille.

Amiens, préfecture du département de la Somme, est la deuxième commune la plus peuplée (≈ 133 000 habitants) de la région Hauts-de-France, après Lille. Sa densité moyenne de population est 2 686 hab/km<sup>2</sup> avec une superficie de 49,46 km<sup>2</sup>. La station d'Amiens Saint-Pierre est implantée en environnement urbain et mesure la pollution de fond. Elle mesure les polluants réglementés suivants : NO<sub>2</sub>, NO, ozone, et PM10.

Nogent-sur-Oise se situe dans le département de l'Oise à environ 48 km au nord de Paris. La ville est logée dans la Communauté d'Agglomération de Creil Sud Oise, qui regroupe environ 86 000 habitants (1 301 hab/km<sup>2</sup> en moyenne, pour une superficie de 66.16 km<sup>2</sup>). Elle est la première agglomération de l'Oise. La station de Nogent-sur-Oise est implantée en environnement périurbain et mesure la pollution de fond. Elle mesure les polluants réglementés suivants : NO<sub>2</sub>, NO, ozone et PM10.

Avec presque 24 000 habitants, Grande-Synthe est la principale ville de la périphérie de Dunkerque (densité moyenne de population : 1 102 hab/km<sup>2</sup>). Le grand port maritime de Dunkerque, troisième de France en matière de trafic, comporte des installations industrielles de pétrochimie, de métallurgie et de sidérurgie. Cette région portuaire est également la première plateforme énergétique des Hauts-de-France, du fait de la présence

---

<sup>5</sup> 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>.

<sup>6</sup> 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.

de la centrale nucléaire de Gravelines, de la centrale DK6 et d'un terminal méthanier. La station de Grande-Synthe est implantée en milieu urbain et mesure des concentrations directement influencées par les activités industrielles environnantes. Cette station mesure les polluants réglementés suivants : CO, NO<sub>2</sub>, NO, PM10, SO<sub>2</sub>, les HAP (hydrocarbures aromatiques polycycliques, dont le benzo(a)pyrène) et 4 métaux lourds (plomb, arsenic, cadmium et nickel).

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) consiste en Lille et 86 autres communes, formant ainsi une agglomération de 1 141 440 habitants. La densité moyenne de population à Lille est de 6 682 hab/km<sup>2</sup>, pour une superficie d'environ 35 km<sup>2</sup>. Cette densité est la plus élevée parmi les 4 sites sélectionnés pour l'étude. La station de Lille Fives est une station urbaine qui mesure la pollution de fond. Elle mesure les polluants réglementés suivants NO, NO<sub>2</sub>, ozone, PM2.5, et PM10. Elle mesure également le carbone suie (black carbone) (non règlementé).

Cet ensemble de sites a été choisi afin de caractériser les particules et leurs compositions à divers points du territoire et dans des contextes distincts. D'une part, ces sites sont relativement répartis sur l'axe nord-sud de la région. D'autre part, chacun de ces sites est influencé par des émissions et des conditions météorologiques qui lui sont propres. La station de Nogent-sur-Oise est implantée en milieu dit « périurbain ». Les trois autres stations sont implantées en milieu dit « urbain ». Les stations d'Amiens Saint-Pierre, de Nogent-sur-Oise, et de Lille Fives mesurent les niveaux de pollution de fond alors que les concentrations de polluants mesurés à la station de Grande-Synthe sont directement influencées par les activités industrielles situées à proximité.

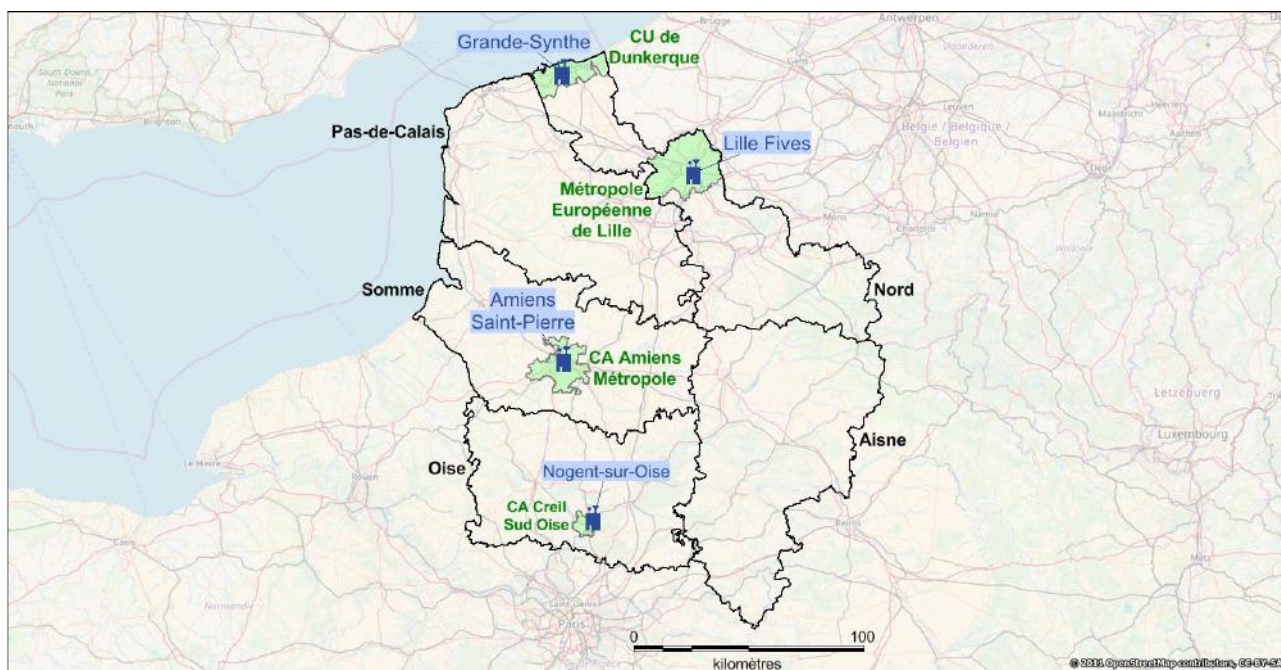


Figure 3 : La région Hauts-de-France et ses départements (en noir), les stations de mesures (en bleu) sélectionnées pour l'étude, et les établissements publics de coopération intercommunale (EPCI, en vert) où se trouvent ces stations.

## 4.2. Période étudiée

Cette étude porte sur les mesures de PM10 effectuées entre le 1<sup>er</sup> janvier et le 22 mai 2018.

Tableau 1 : Stations de mesure sélectionnées pour cette étude.

Station				Commune			EPCI		
Immatriculation	Typologie	Polluants mesurés en continu	Influence des mesures	Nom	Population en 2015*	Densité moyenne de population*	Nom	Population en 2015*	Densité moyenne de population*
Amiens Saint-Pierre (AM2)	Urbaine	PM <sub>10</sub> , NO <sub>x</sub> , O <sub>3</sub>	Fond	Amiens	132 874	2 686,5	CA Amiens Métropole	175 894	566,8
Nogent-sur-Oise (CR1)	Périurbaine	PM <sub>10</sub> , NO <sub>x</sub> , O <sub>3</sub>	Fond	Nogent-sur-Oise	19 414	2 602,4	CA Creil Sud Oise	86 063	1 030,8
Grande-Synthe (DKI)	Urbaine	PM <sub>10</sub> , NO <sub>x</sub> , CO, SO <sub>2</sub> , HAP, métaux lourds	Industrielle	Grande-Synthe	23 634	1 102,3	CU de Dunkerque (CUD)	199 893	666,6
Lille Fives (MC5)	Urbaine	PM <sub>10</sub> , NO <sub>x</sub> , O <sub>3</sub> , PM <sub>2.5</sub> , BC	Fond	Lille	232 741	6 682,2	Métropole Européenne de Lille (MEL)	1 141 440	1 762,1

\* Source : INSEE, Recensement de la population RP2015 en géographie au 01/01/2017 (<https://www.insee.fr>, consulté le 04/10/2018).

AM2 (Amiens Saint-Pierre)



CR1 (Nogent-sur-Oise)



DKI (Grande-Synthe)



MC5 (Lille Fives)



Figure 4 : Stations de mesures sélectionnées pour cette étude.

## 4.3. Techniques de mesure

Du 1<sup>er</sup> janvier au 22 mai 2018, les particules PM10 ont été mesurées de deux manières différentes à chacune des 4 stations sélectionnées pour l'étude. Les deux techniques de mesure utilisées (**mesures en continu** et **mesures avec analyse différée**) sont décrites ci-dessous.

### 4.3.1. Mesures en continu

La concentration massique des PM10 (sans distinction de leur composition) est mesurée en continu par un analyseur TEOM-FDMS (Figure 5). 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 et les moyennes journalières 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 5 : Analyseur TEOM-FDMS. Source : Thermofisher.<sup>7</sup>

### 4.3.1. 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 6). 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 peut être 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 2. Ces analyses permettent de calculer la concentration atmosphérique (phase particulaire uniquement) de chaque composé étudié. Les concentrations ainsi mesurées sont des concentrations moyennes journalières.

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

- Un filtre sur trois (*i.e.* un jour de prélèvement sur trois) est systématiquement analysé.

---

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

- Si la concentration massique journalière des PM10 telle que mesurée par TEOM-FDMS est supérieure à 40 µg/m<sup>3</sup> à au moins sur l'une des stations, alors les filtres de cette journée sont analysés pour les quatre stations.



Figure 6 : Photos de préleveurs DA80 (intérieur et tête de prélèvement).

Tableau 2 : Laboratoires et méthodes de quantification de la composition chimique des PM10 prélevées sur filtres.

<b>Espèces mesurées</b>	<b>Méthode(s)</b>	<b>Laboratoire</b>
OC/EC	TOT (analyse thermo-optique en transmission)	LASAIR/Airparif
Ions	IC (Chromatographie ionique)	LSCE (Laboratoire des Sciences du Climat et de l'Environnement)
Métaux	IPC-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

# 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 les sols et dans les corps d'eau. La Figure 7 illustre la relation entre émissions et concentrations de polluants.

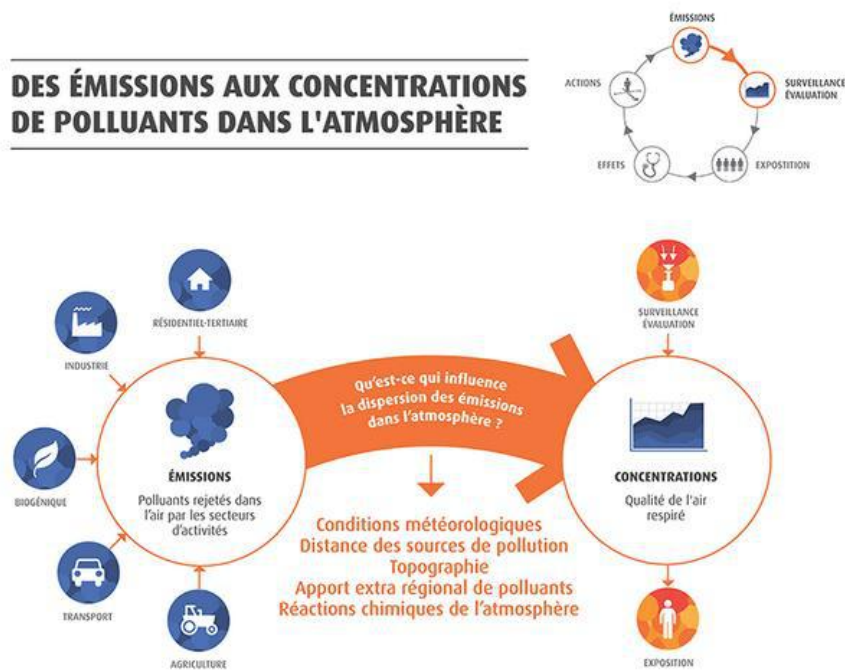


Figure 7 : Relation entre les émissions et les concentrations de polluants atmosphériques.



## 5.1.2. Émissions à proximité des sites de mesure

Les émissions de particules à proximité des stations de mesure sélectionnées pour l'étude, ainsi que les contributions relatives des différents secteurs émetteurs, sont très différentes d'un site à l'autre (Figure 8). Dans cette discussion, sont considérées comme « à proximité de la station de mesures », les émissions situées dans le même établissement public de coopération intercommunale (EPCI) que la station.

Les émissions de PM10 dans la CUD sont élevées (2768 tonnes par an), en raison d'une forte activité industrielle qui représente presque 90% des émissions de PM10 sur ce territoire. Par contraste, le secteur industriel contribue entre 12 et 38% des émissions dans les autres EPCI étudiés ici. La contribution relative du secteur des transports aux émissions de PM10 est relativement similaire pour les trois EPCI autres que la CUD (environ un tiers des émissions) alors qu'il contribue seulement 6% aux émissions de la CUD. La contribution relative du secteur résidentiel-tertiaire varie de seulement quelques pourcents pour la CUD, à 26-34% pour les autres EPCI. Le secteur agricole ne contribue à plus de quelques pourcents des émissions que dans la CA d'Amiens, où ce secteur contribue à hauteur de 28 % des émissions de PM10.

Il est important de noter que les émissions totales par EPCI présentées sur la Figure 8 correspondent, pour chaque station, à l'EPCI dans lequel se trouve la station. Ces EPCI ont des superficies et nombres d'habitants différents les uns par rapport aux autres. Les émissions de PM10 par habitant (Tableau 3) sont de 5 à 8 fois plus importantes pour la CUD que pour les trois autres EPCI, qui ont des niveaux d'émissions par habitant comparables entre eux. Les émissions par habitant de la CUD sont également 3,5 fois plus élevées que la moyenne française et presque 3 fois plus élevées que la moyenne régionale des Hauts-de-France. Les émissions par habitant des trois autres EPCI sont plus faibles que les moyennes régionales et nationales, d'un facteur qui varie entre 1,4 et 2,9. Les émissions de PM10 par habitant de la région Hauts-de-France sont quant à elles supérieures d'environ 30% à la moyenne nationale.

Tableau 3 : Émissions de PM10 par habitant (kg/an/habitant). Les données d'émissions ont été extraites de la version A2015\_M2017\_V2 de l'inventaire d'Atmo Hauts-de-France.

<b>EPCI :</b>	
CA Amiens Métropole	2.9
CA Creil Sud Oise	2.4
CU de Dunkerque (CUD)	14
Métropole Européenne de Lille (MEL)	1.8
<b>Région Hauts-de-France</b>	5.2
<b>*France</b>	4

\*source d'émissions nationales : CITEPA, avril 2018

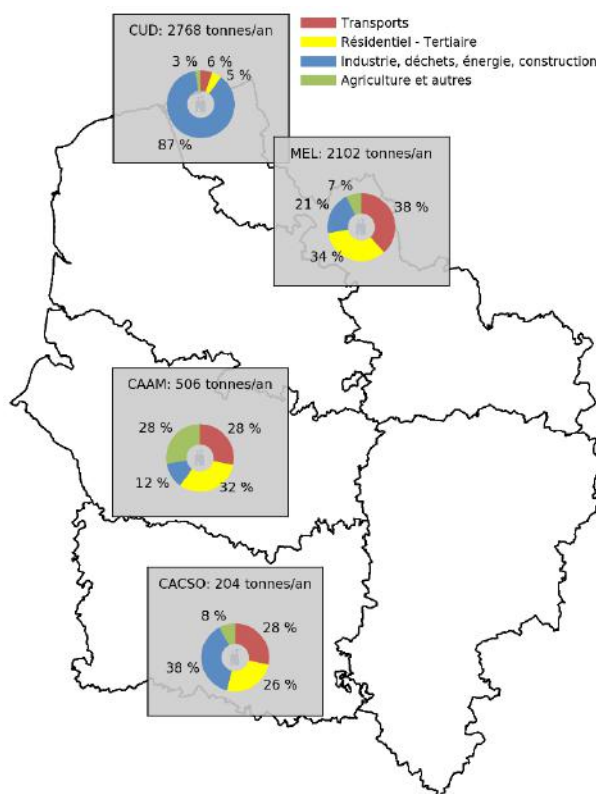


Figure 8 : Émissions de particules et leur répartition par secteur d'activité dans chaque EPCI qui comprend une des stations de mesures faisant l'objet de la présente étude. Les données d'émissions ont été extraites de la version A2015\_M2017\_V2 de l'inventaire d'Atmo Hauts-de-France.

Les sites industriels, les principaux axes routiers, les zones densément habitées, et les espaces plus ruraux situés autour des sites de mesure étudiés ici sont présentés sur les figures ci-dessous (Figure 9 à Figure 12).

La station d'Amiens Saint-Pierre est située dans le centre de la ville, qui est traversé par la Somme et desservi par plusieurs axes routiers dont la route nationale N25 et les autoroutes A16 et A29. Il y a peu d'industries situées dans les environs de la station. Une zone industrielle se trouve en revanche au nord-ouest de la ville, à quelques kilomètres du site de mesure.

La station de Nogent-sur-Oise est implantée entre deux quartiers résidentiels. L'un, généralement composé de maisons individuelles, est situé au nord-est du site de mesure. L'autre, plus densément peuplé (immeubles) se situe au sud-ouest de la station. La route départementale D1016 passe à proximité du site de mesure (à l'est). L'Oise se trouve à environ un kilomètre au sud-est. Relativement peu d'industries se trouvent à proximité de la station.

La station de Grande-Synthe est séparée de la côte au nord par une zone d'activités industrielles qui s'étend sur plusieurs kilomètres le long du littoral. L'autoroute A14 passe au sud de la station.

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.

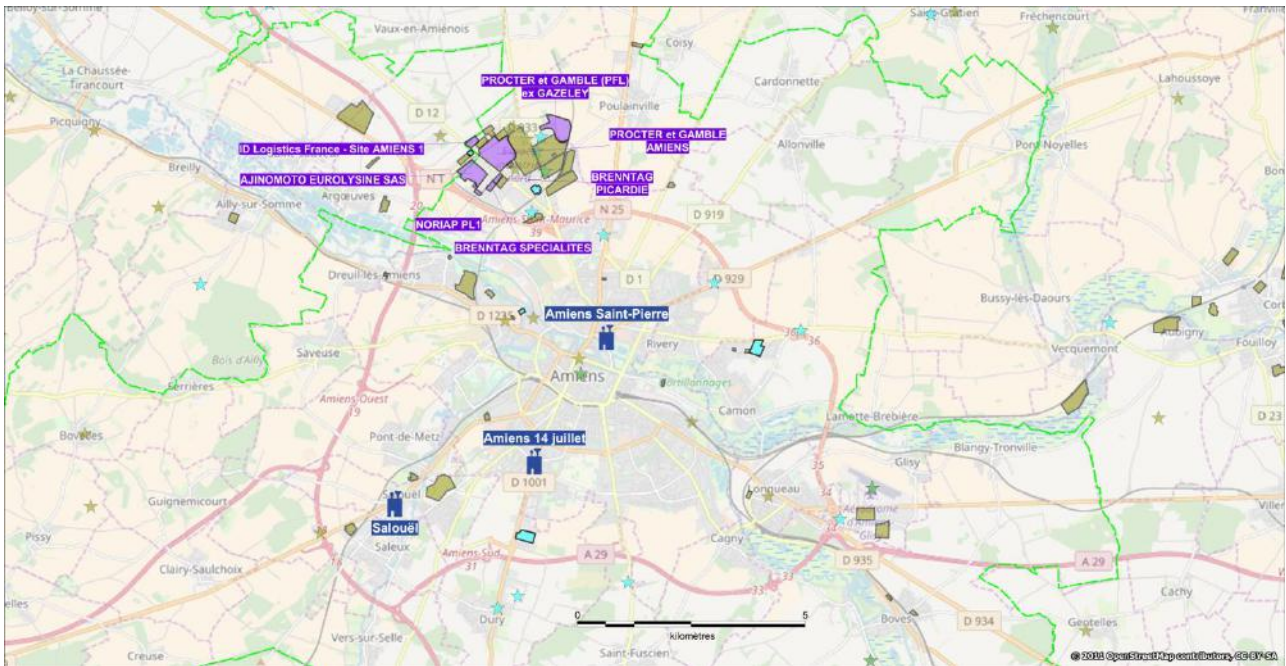


Figure 9 : Principales ICPE (installations classées pour la protection de l'environnement) situées à proximité du site de mesure AM2 (Amiens Saint-Pierre). Sont montrées les ICPE classées « SEVESO » (en violet, avec étiquettes indiquant leurs noms), les ICPE soumises à autorisation (en jaune), et les ICPE soumises à enregistrement (en cyan).

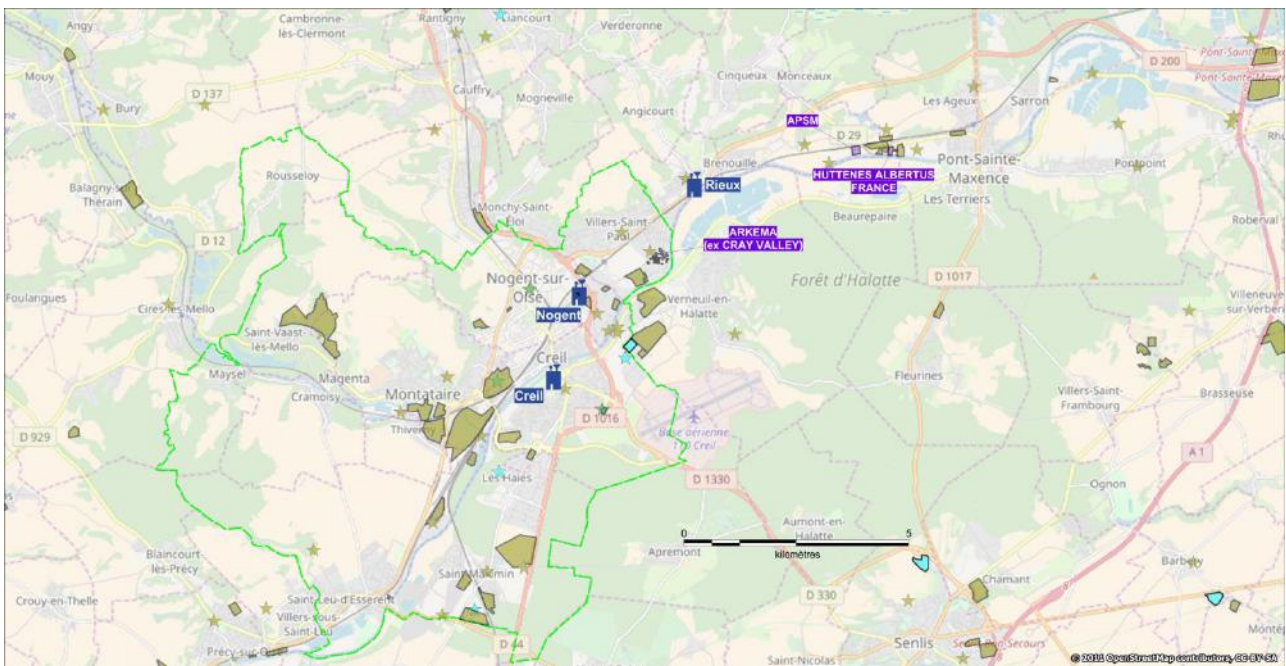


Figure 10 : Principales ICPE (installations classées pour la protection de l'environnement) situées à proximité du site de mesure CR1 (Nogent-sur-Oise). Sont montrées les ICPE classées « SEVESO » (en violet, avec étiquettes indiquant leurs noms), les ICPE soumises à autorisation (en jaune), et les ICPE soumises à enregistrement (en cyan).



Figure 11 : Principales ICPE (installations classées pour la protection de l'environnement) situées à proximité du site de mesure DKI (Grande-Synthe). Sont montrées 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).

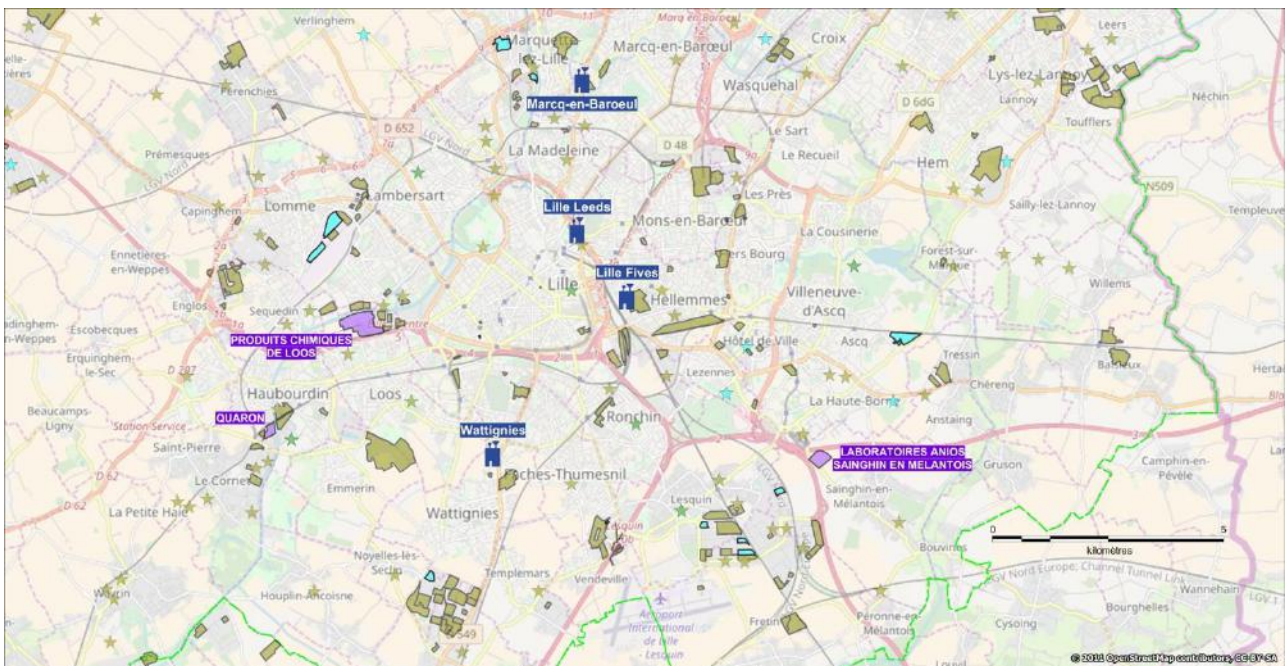


Figure 12 : Principales ICPE (installations classées pour la protection de l'environnement) situées à proximité du site de mesure MC5 (Lille Fives). Sont montrées les ICPE classées « SEVESO » (en violet, avec étiquettes indiquant leurs noms), les ICPE soumises à autorisation (en jaune), et les ICPE soumises à enregistrement (en cyan).

## 5.2. Contexte météorologique

Cette section présente les conditions météorologiques observées sur la période d'étude et qui sont pertinentes pour l'analyse de la pollution atmosphérique. Pour chaque site, les données météorologiques utilisées proviennent de la station Météo France la plus proche (Annexe 2).

La Figure 13 présente les roses des vents séparément pour chaque mois (les roses des vents du mois de mai s'arrêtent au 22 mai – date de la fin de la période d'étude) et pour les quatre sites étudiés. La longueur de chaque branche représente la proportion des vents, qui, sur la période concernée, proviennent de la direction indiquée par la branche. Sur chaque branche, la répartition de la vitesse des vents pour la direction donnée est indiquée par l'échelle de couleur. Par exemple, en janvier 2018, la plupart des vents mesurés à Nogent-sur-Oise proviennent du sud-ouest et leurs vitesses sont pour la plupart assez faibles (couleurs les plus foncées de l'échelle de couleur).

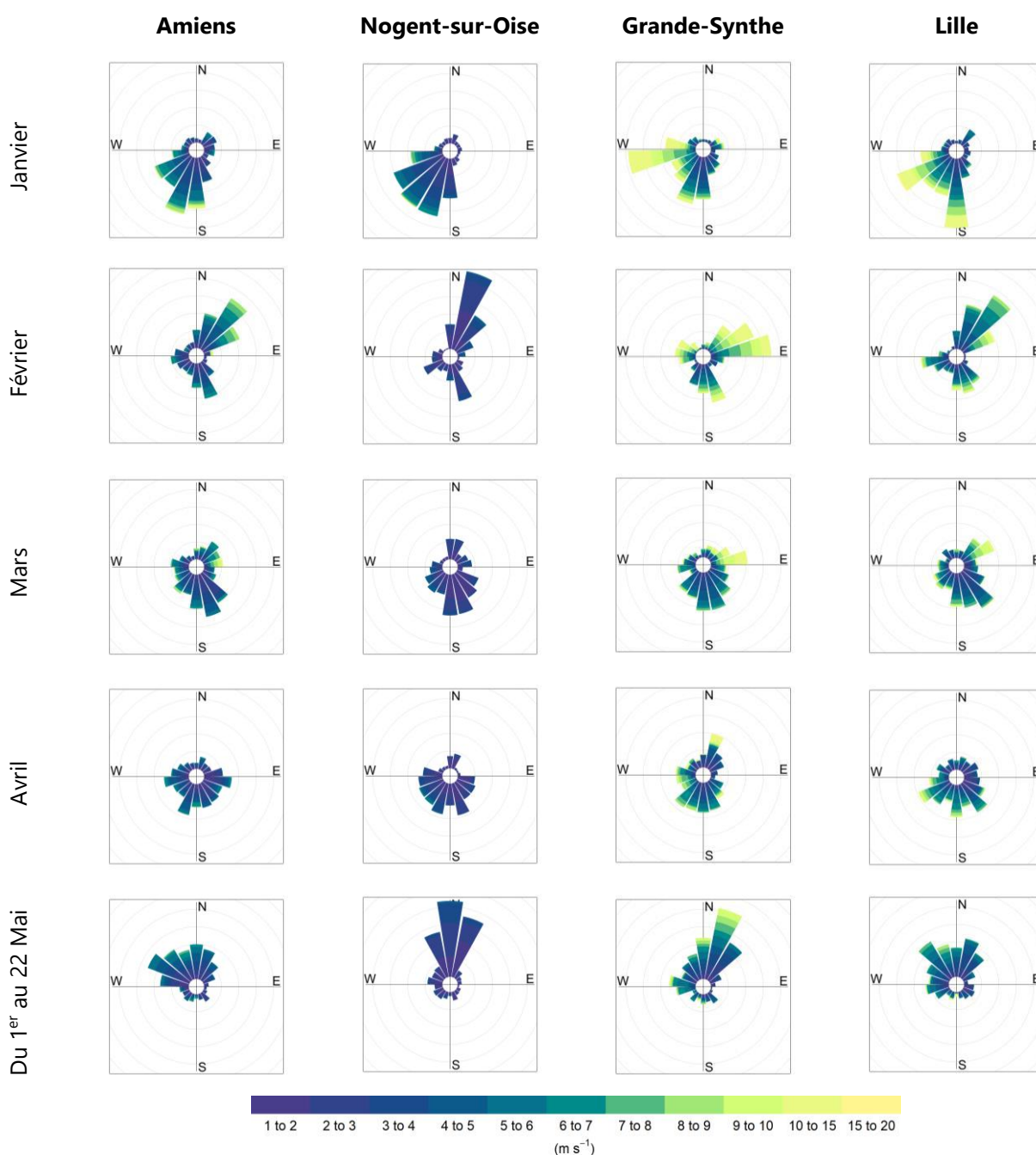


Figure 13 : Roses des vents mensuelles sur la période étudiée pour chaque station.

Pour chaque mois, la distribution de la direction des vents est similaire pour les quatre sites étudiés. En janvier, la majorité des vents proviennent du sud-ouest. En février, la direction majoritaire est nord-nord-est ou nord-est, avec néanmoins environ 20 % des vents provenant d'une direction voisine du sud-sud-est pour chacun des quatre sites étudiés. En mars, la direction majoritaire est également voisine du sud-sud-est. En avril, les vents sont relativement uniformément répartis sur la moitié sud de la rose. Au contraire, la grande majorité des vents proviennent de la moitié nord de la rose en mai. Pour les sites de Grande-Synthe et de Nogent-sur-Oise, presque tous les vents mesurés sur cette période proviennent des directions nord-nord-ouest à nord-nord-est.

Contrairement à la distribution des directions, la distribution des vitesses varie fortement d'un site à l'autre pour un mois donné. Les vitesses sont généralement inférieures à 4 m/s à Nogent-sur-Oise. Des proportions significatives de vents supérieurs à 8 m/s sont observées à Grande-Synthe et Lille, principalement sur les deux premiers mois de l'année et également en mai dans le cas de Grande-Synthe. Amiens est un cas intermédiaire, avec des vitesses de vents parfois élevées, mais moins fréquemment qu'à Grande-Synthe et Lille.

La Figure 14 présente les moyennes journalières de température (T) et d'humidité relative (RH) relevées du 1<sup>er</sup> janvier au 22 mai 2018 pour les quatre sites étudiés.

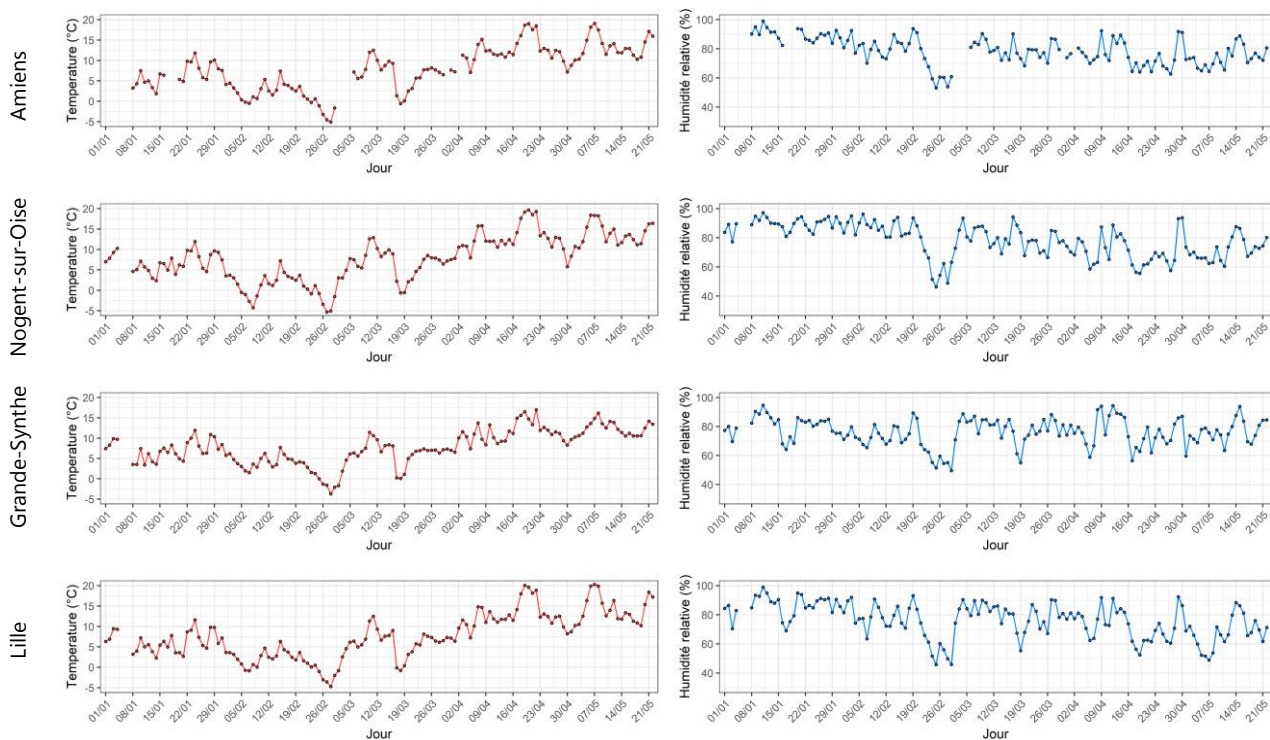


Figure 14 : Moyennes journalières de température (gauche) et d'humidité relative (droite).

L'évolution de ces paramètres sur cette période est similaire pour les quatre sites. Les températures du mois de janvier et de mars sont comparables. Les moyennes mensuelles correspondantes sont comprises entre 5.6 et 7.2 °C (Tableau 4). Le mois de mars se démarque néanmoins du mois de janvier par des variations plus importantes, avec des minimales entre -5.8 et -4.8 °C (contre -1.0 à 0.7 °C en janvier) et des maximales entre 15.9 et 17.2 °C (contre 13.3 à 14.4 °C en janvier). Les températures les plus faibles du mois de mars ont été observées les premiers jours du mois ainsi que du 17 au 20. Le mois de février a été plus froid que les mois de janvier et mars, avec des moyennes mensuelles entre 0.8 et 3.2 °C, des minimales entre -11.8 et -5.4 °C, et des maximales ne dépassant pas les 12.1 °C. Les températures ont été particulièrement basses autour du 7 février et pendant les quelques derniers jours du mois. Ces jours sont les plus froids de la période étudiée. Les

températures des mois d'avril et mai (jusqu'au 22) sont comparables entre elles et généralement plus élevées que celles des mois précédents.

De manière générale, les moyennes mensuelles d'humidité relative diminuent entre janvier et mai pour les quatre sites, avec l'exception notable du mois de février. Ce mois est caractérisé par des valeurs plus faibles par rapport aux valeurs du mois suivant pour tous les sites autres que Nogent-sur-Oise. Une période d'environ huit jours autour du 26 février se démarque par des valeurs d'humidité relative particulièrement faibles (< 60%) pour les quatre sites étudiés, malgré des températures très basses. Cette période est donc caractérisée par un air très sec<sup>8</sup>. Le mois de février est le moins pluvieux de la période d'étude, suivi, dans l'ordre croissant de pluviosité, de février, avril, mars, et janvier.

*Tableau 4 : Résumé statistique par mois des paramètres météorologiques (valeurs horaires) au cours de la période d'étude. Pour chaque mois, les valeurs moyennes, minimales, et maximales sont données pour la température (T) et l'humidité relative (HR). Les valeurs de précipitations (Pr) indiquées sont les totaux mensuels.*

		Janvier	Février	Mars	Avril	Mai (jusqu'au 22)
<b>Amiens</b>	T (°C)	6.5 [ -0.3 ; 13.8 ]	1.5 [ -11.0 ; 11.3 ]	6.3 [ -4.8 ; 17.0 ]	12.5 [ 2.6 ; 26.3 ]	13.4 [ 3.5 ; 26.1 ]
	HR (%)	89 [ 62 ; 100 ]	77 [ 32 ; 98 ]	78 [ 39 ; 98 ]	76 [ 37 ; 99 ]	74 [ 32 ; 98 ]
	Pr (mm)	67	24	65	56	21
<b>Nogent-sur-Oise</b>	T (°C)	7.0 [ -1.0 ; 14.3 ]	0.8 [ -11.8 ; 11.6 ]	6.2 [ -5.2 ; 17.1 ]	12.9 [ 3.2 ; 28.0 ]	13.7 [ 3.2 ; 26.7 ]
	HR (%)	89 [ 63 ; 99 ]	80 [ 26 ; 99 ]	79 [ 41 ; 99 ]	71 [ 28 ; 99 ]	72 [ 32 ; 98 ]
	Pr (mm)	112	36	75	54	17
<b>Grande-Synthe</b>	T (°C)	7.2 [ 0.7 ; 14.4 ]	3.2 [ -5.4 ; 10.4 ]	5.8 [ -5.5 ; 15.9 ]	11.4 [ 4.2 ; 24.0 ]	12.3 [ 5.9 ; 20.1 ]
	HR (%)	81 [ 57 ; 96 ]	70 [ 34 ; 94 ]	78 [ 37 ; 95 ]	77 [ 33 ; 95 ]	76 [ 35 ; 95 ]
	Pr (mm)	81	29	61	58	8
<b>Lille</b>	T (°C)	6.4 [ 0.1 ; 13.3 ]	1.4 [ -7.5 ; 12.1 ]	5.6 [ -5.8 ; 17.2 ]	12.7 [ 2.5 ; 27.2 ]	14.1 [ 3.1 ; 27.4 ]
	HR (%)	86 [ 56 ; 100 ]	74 [ 29 ; 100 ]	79 [ 36 ; 100 ]	73 [ 29 ; 100 ]	68 [ 25 ; 100 ]
	Pr (mm)	81	27	66	49	5

## 5.3. 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 définis<sup>9</sup> :

- 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 ».

<sup>8</sup> À humidité absolue constante, l'humidité relative augmente si la température diminue. Sur les quelques jours autour du 26 février, la température et l'humidité relative sont faibles ; l'air est donc très sec.

<sup>9</sup> Article R221-1 du Code de l'environnement (Modifié par Décret n°2010-1250 du 21 octobre 2010 - art. 1).

- 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/m<sup>3</sup> en moyenne journalière. Le seuil d'alerte est de 80 µg/m<sup>3</sup>, en moyenne journalière également. La Figure 15 liste les épisodes de pollution en PM10 qui ont été constatés en région Hauts-de-France sur la période d'étude. Aucun épisode pour un polluant autre que les PM10 n'a été constaté sur cette période.

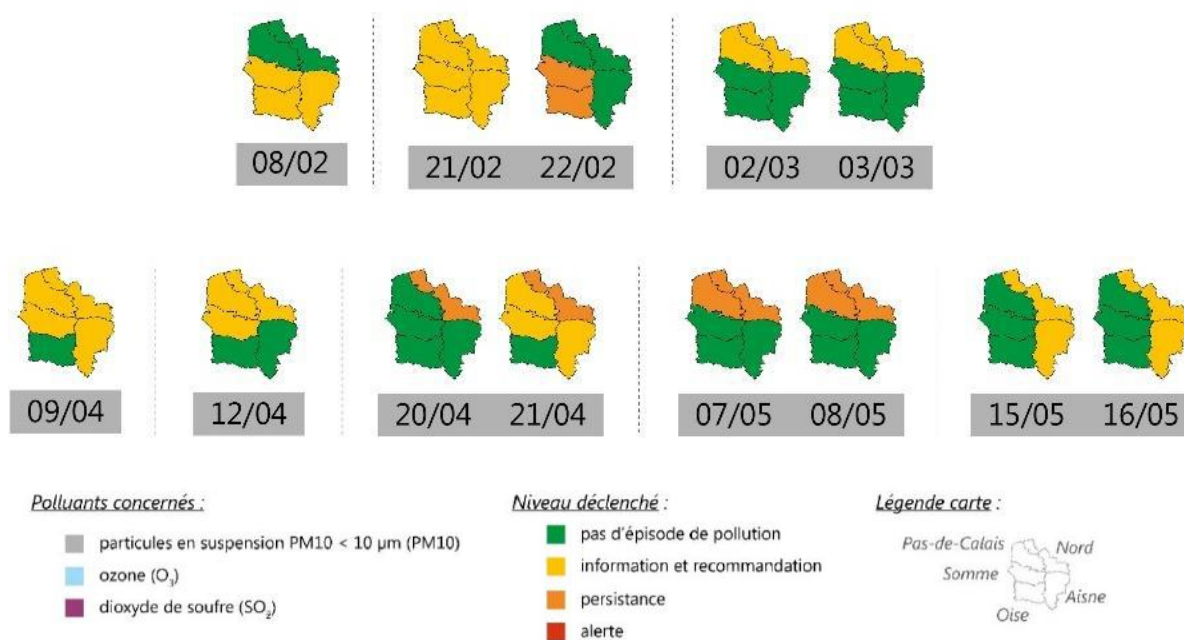


Figure 15 : Épisodes de pollution en particules PM10 constatés entre le 01/01/2018 et le 22/05/2018

## 6. Résultats de l'étude

La présentation des résultats de l'étude débute par l'analyse de la concentration massique totale des PM10, mesurée en continu par TEOM-FDMS sur les quatre sites (section 6.1). Cette analyse est suivie par la présentation des résultats de la spéciation chimique des PM10, déterminée par prélèvement sur filtres et analysée différée (section 6.2). La présentation des résultats se termine par l'analyse des jours de dépassement de 50 µg/m<sup>3</sup> en moyenne journalière de PM10 (section 6.3).

### 6.1. Concentration massique totale des PM10

Les concentrations massiques des PM10 en moyenne journalière pour les quatre sites sont présentées sur la Figure 16. Les évolutions temporelles de ces concentrations sont globalement similaires pour les quatre stations étudiées, et ce malgré les distances qui séparent ces stations et malgré leurs différentes typologies.



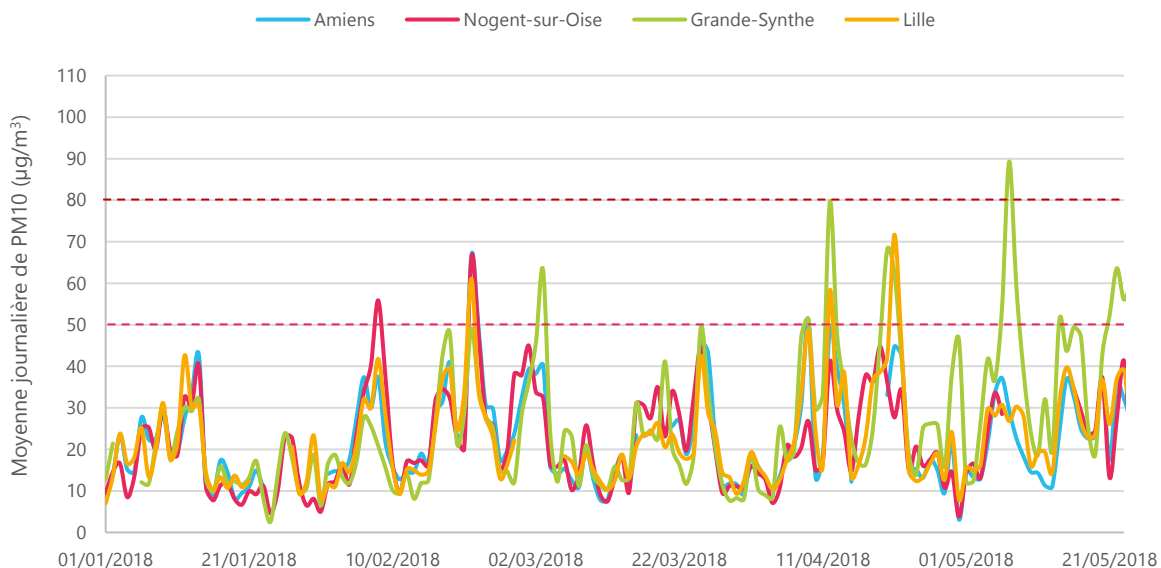


Figure 16 : Moyennes journalières en PM10 pour les quatre sites sur la période étudiée.

Ces résultats suggèrent que les concentrations en PM10 mesurées à ces sites sont souvent sous influence régionale. Des différences existent néanmoins entre ces séries temporelles de concentration. Au mois d'avril, les concentrations à Grande-Synthe et Lille sont similaires entre elles mais sont nettement plus élevées que les concentrations d'Amiens et de Nogent-sur-Oise, qui sont elles aussi similaires entre elles. Au mois de mai, alors que les concentrations à Lille rejoignent les niveaux observés à Amiens et Nogent-sur-Oise, les concentrations à Grande-Synthe restent très supérieures par rapport aux trois autres sites. Sur cette période, les concentrations mesurées à Grande-Synthe sont donc très probablement influencées par des sources locales. Cette conclusion est appuyée par l'analyse des roses de pollution présentée ci-dessous.

Les moyennes mensuelles en PM10 sont présentées sur la Figure 17.

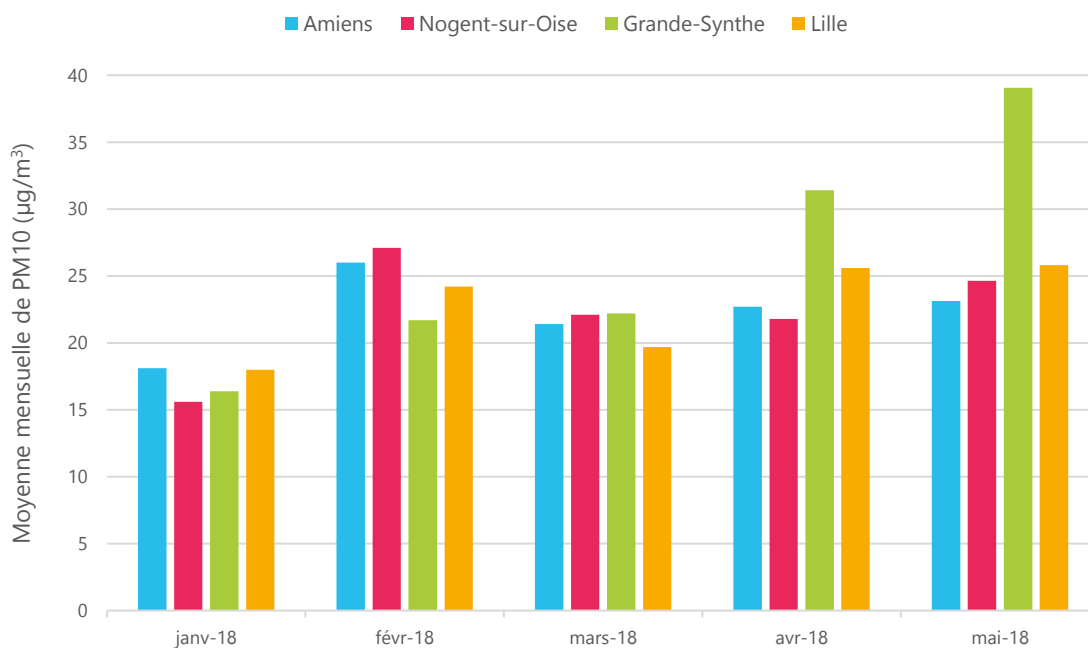


Figure 17 : Moyennes mensuelles (du 1<sup>er</sup> au 22 mai pour le mois de mai) de PM10 pour les quatre sites.

En janvier et mars, les concentrations sont très similaires pour les quatre sites. En février, les concentrations d'Amiens et de Nogent-sur-Oise sont légèrement plus élevées qu'à Lille et Grande-Synthe. Cet écart à Nogent-sur-Oise sera documenté dans la section 6.2.3. À partir d'avril, les concentrations à Grande-Synthe deviennent très nettement supérieures aux concentrations observées sur les trois autres sites.

Un résumé statistique des concentrations en PM10 est présenté dans le Tableau 5. Les concentrations moyennées sur la période d'étude sont similaires pour les quatre sites et varient de 21,8 à 25,6  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . La moyenne journalière la plus élevée est observée à Grande-Synthe le 7 mai et s'élève à 89,3  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Sur la période étudiée, le nombre de jours de dépassement de 50  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  en moyenne journalière est de 11 pour Grande-Synthe. Ce nombre est nettement plus faible (deux ou trois) pour les trois autres sites.

*Tableau 5 : Résumé statistiques des concentrations en PM10 pour les quatre sites sur la période étudiée.*

<b>PM10</b>	<b>Moyenne journalière minimum</b> ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	<b>Moyenne journalière maximum</b> ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	<b>Moyenne sur la période d'étude</b> ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	<b>Médiane des moyennes journalières</b> ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	<b>Nombre de jours où moyenne journalière &gt; 50 <math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math></b>
<b>Amiens</b>	3,1	66,7	22,3	18,9	2
<b>Nogent-sur-Oise</b>	3,8	66,2	21,8	19,1	2
<b>Grande-Synthe</b>	2,6	89,3	25,6	21,0	11
<b>Lille</b>	7,0	71,7	22,6	19,3	3

La Figure 18 présente les roses de pollution en PM10 pour les quatre sites étudiés. Sur ces roses de pollution, la couleur de chaque case indique la moyenne des concentrations horaires en PM10 observées pour la vitesse et direction de vent indiquées par la position de la case sur la rose. Une case éloignée du centre de la rose correspond à une vitesse de vent élevée. Les cases jaunes, oranges, et rouges indiquent donc les directions et les vitesses de vent pour lesquelles des concentrations élevées (en moyenne) en PM10 ont été observées.

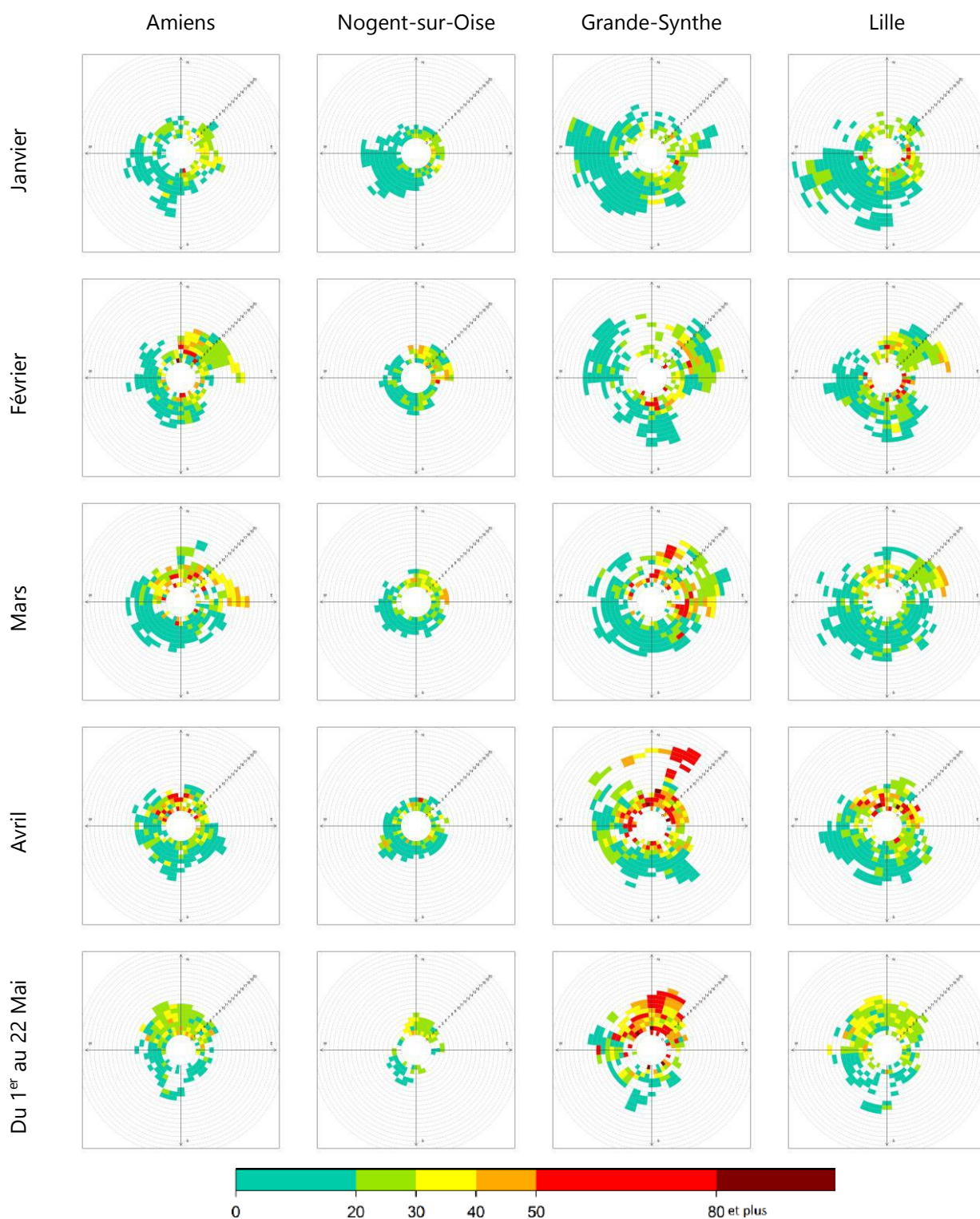


Figure 18 : Roses de pollution mensuelles sur la période étudiée et pour chaque station. L'échelle de couleur indique la concentration moyenne en PM10 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) observée pour la catégorie de vents correspondante.

Sur le site d'Amiens, les concentrations élevées en PM10 sont majoritairement associées à des vents provenant du secteur nord, sauf en janvier, où les concentrations élevées sont observées par vents provenant de la moitié est.

Sur le site de Nogent-sur-Oise, les concentrations les plus élevées sont observées par vents provenant de la moitié est du quadrant de janvier à mars, de toutes les directions pour le mois d'avril, et moitié nord pour le mois de mai. Les concentrations observées par vents du sud-ouest sont généralement assez basses.

Comme indiqué ci-dessus, les PM10 à Grande-Synthe augmentent fortement entre janvier et mai. Les concentrations élevées sur ce site sont majoritairement associées à des vents de la moitié nord. Il arrive en revanche que des concentrations élevées soient observées par vents provenant d'autres directions, par exemple par vents du sud en février.

Sur le site de Lille, les concentrations observées par vents provenant du quadrant sud-ouest sont relativement faibles. À partir de mars, les concentrations élevées à cette station sont principalement observées par vents provenant de la moitié nord.

Les roses de pollution portant sur la période d'étude dans son ensemble sont présentées sur la Figure 19. Les roses y sont superposées sur leurs fonds de cartes respectifs afin de mettre en évidence des sources potentielles de PM10 situées dans les directions associées à de fortes concentrations.

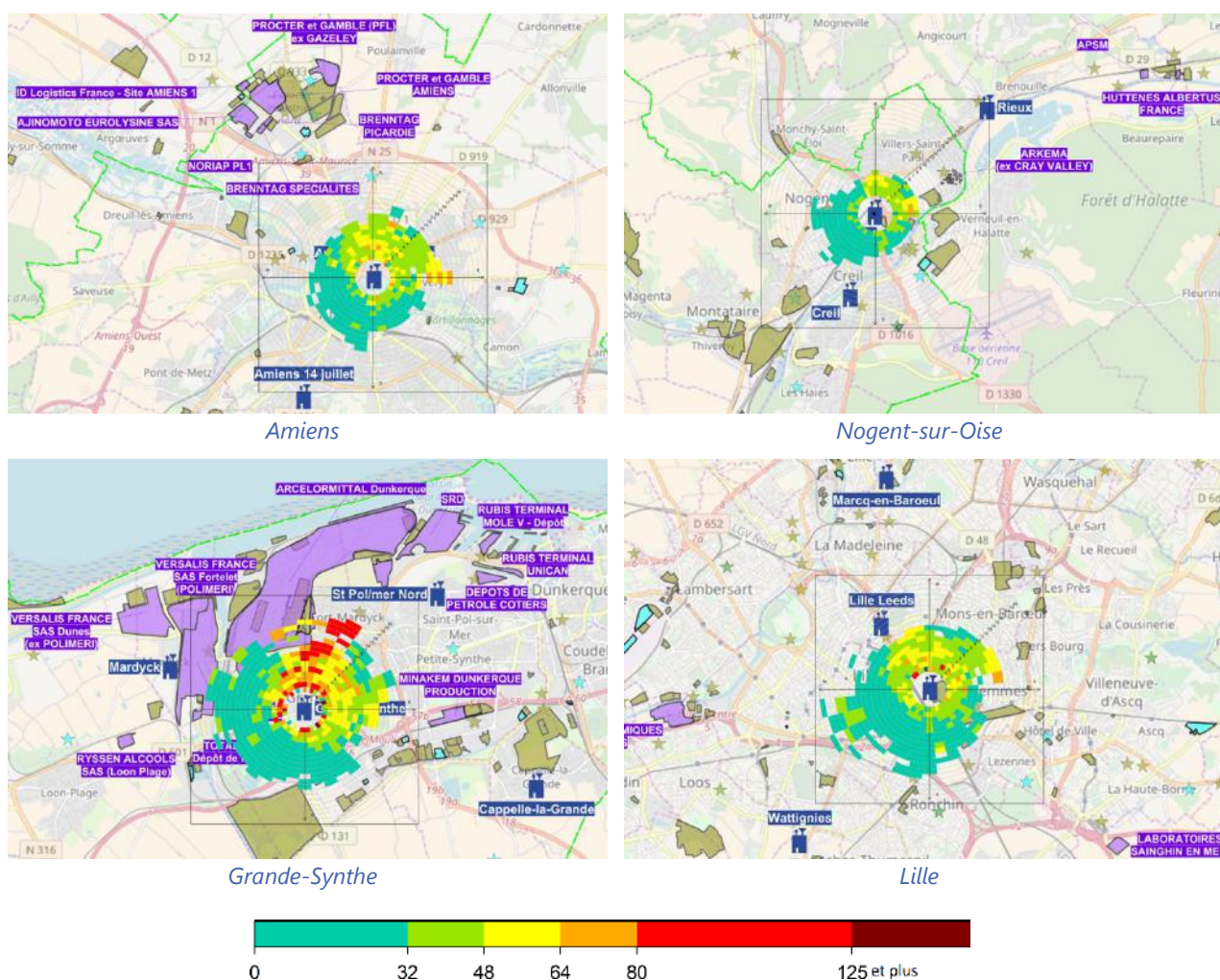


Figure 19 : Roses de pollution sur la période étudiée (01/01/2018 au 22/05/2018), superposées sur les fonds de cartes correspondants. L'échelle de couleur indique la concentration moyenne en PM10 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) observée pour la catégorie de vents correspondante.

Les PM10 mesurées à chaque station peuvent provenir de sources locales et/ou de sources plus éloignées. La contribution relative des sources locales par rapport aux sources plus éloignées est fonction de multiples paramètres (météorologie, émetteurs locaux, etc.), et varie avec le temps. Les contributions de sources distantes rendent l'interprétation des roses de pollution difficile.

À Grande-Synthe, la moitié nord de la rose et plus particulièrement la direction nord-est se démarquent par des concentrations élevées, ce qui suggère l'influence des activités industrielles situées dans cette direction. Des concentrations élevées sont également associées à d'autres directions de vents mais dans une moindre mesure.

L'absence de direction très dominante sur les 3 autres roses suggère que les sources locales sont de plus faible intensité mais nombreuses (*e.g.* chauffages individuels au bois ou au fuel, réseau de transport routier) et/ou que les concentrations mesurées sont plus largement influencées par des sources relativement éloignées.

L'analyse de la composition chimique des particules présentée dans les sections qui suivent permet d'apporter plus d'informations à propos des sources qui ont contribué aux concentrations mesurées.

## 6.2. Spéciation chimique des PM10

Cette section présente l'analyse de la composition chimique des particules sur la période d'étude. Dans un premier temps, les concentrations massiques totales des PM10 mesurées par prélèvements sur filtres avec analyse différée sont estimées par bouclage chimique. Ces mesures sont comparées avec les mesures en continu par TEOM-FDMS. Cette comparaison est menée dans le but d'évaluer la concordance des concentrations estimées avec les deux techniques de mesures. Dans un deuxième temps, la composition chimique des PM10 est discutée, avec en premier lieu une analyse de leur composition globale, puis une analyse plus détaillée de certains groupes de constituants : carbone élémentaire, carbone organique, certains traceurs organiques, et métaux.

### 6.2.1. Bouclage chimique

Le bouclage chimique permet d'estimer la concentration massique des PM10 en utilisant les résultats de l'analyse de la composition chimique des particules prélevées sur filtres. La méthode consiste à calculer la concentration totale des PM10 en faisant la somme des concentrations massiques de chaque constituant ainsi mesuré. Cette somme peut ensuite être comparée à la concentration totale mesurée par d'autres méthodes. La méthode du bouclage chimique est décrite par Waked et al. (2014)<sup>10</sup> et a déjà été employée par Atmo Hauts-de-France (rapport d'étude « Nogent-sur-Oise 2013-2016 »<sup>11</sup>). L'équation utilisée pour le bouclage chimique est la suivante :

$$\text{PM10 reconstituées} = \text{EC} + f \times \text{OC} + 3 \times \text{Na}^+ + 10 \times \text{Ca}^{2+} + \text{NO}_3^- + \text{nssSO}_4^{2-} + \text{NH}_4^+ \quad (1)$$

où « PM10 reconstituées » est l'estimation de la concentration massique totale par bouclage chimique, et les autres termes représentent les concentrations massiques des différents constituants.  $f$  est un facteur qui permet, à partir de la concentration en carbone organique (OC), d'estimer la concentration en matière organique (OM). La valeur de 1,75 a été choisie pour les 4 sites (typologie urbaine/périurbaine) en accord avec la méthodologie décrite par Turpin et Lim (2001)<sup>12</sup>. Dans la littérature scientifique, la valeur utilisée pour ce

---

<sup>10</sup> A. Waked et al., "Source Apportionment of PM<sub>10</sub> in a North-Western Europe Regional Urban Background Site (Lens, France) Using Positive Matrix Factorization and Including Primary Biogenic Emissions," *Atmospheric Chemistry and Physics* 14, no. 7 (2014): 3325–3346, <https://doi.org/10.5194/acp-14-3325-2014>.

<sup>11</sup> Zhang, "Programme CARA Nogent-Sur-Oise 2013-2016."

<sup>12</sup> Barbara J. Turpin and Ho-Jin Lim, "Species Contributions to PM<sub>2.5</sub> Mass Concentrations: Revisiting Common Assumptions for Estimating Organic Mass," *Aerosol Science and Technology* 35, no. 1 (January 1, 2001): 602–10, <https://doi.org/10.1080/02786820119445>.

facteur  $f$  est plus élevée pour les sites éloignés des sources d'émission et plus faible dans le cas contraire, car les aérosols organiques secondaires sont plus oxygénés en moyenne (et donc plus lourds) et plus polaires que les aérosols primaires.

La contribution du sulfate non lié au sel de mer ( $nssSO_4^{2-}$ ) est estimée par l'équation (2), c'est-à-dire en calculant la différence entre le sulfate total ( $SO_4^{2-}$ ) et le sulfate lié au sel de mer ( $ssSO_4^{2-}$ ). La contribution du  $ssSO_4^{2-}$  est calculée par multiplication de la concentration massique de  $Na^+$  par un facteur 0,252, selon la méthodologie décrite par Seinfeld et Pandis (2016)<sup>13</sup>.

$$nssSO_4^{2-} = SO_4^{2-} - ssSO_4^{2-} ; (ssSO_4^{2-} = 0,252 \times Na^+) \quad (2)$$

Les PM10 reconstituées par l'équation (1) sont comparées avec les PM10 mesurées en continu par TEOM-FDMS (Figure 20). Les différences « moyennes » entre les deux méthodes (estimées par le coefficient directeur de la régression affine entre PM10 mesurées et PM10 reconstituées) varient entre 4 et 20%. Cette différence est minimum pour Lille (4%). Elle est d'environ 20% pour les trois autres sites. Les différences entre la masse reconstituée et la masse mesurée peuvent être liées :

- Aux incertitudes sur la masse mesurée par TEOM-FDMS (jusqu'à 25%).
- Aux incertitudes liées au choix du facteur de conversion (1,75) entre le carbone organique (OC) et la matière organique (OM).
- À la quantité d'eau contenue dans l'aérosol, qui n'est pas prise en compte dans l'analyse chimique mais qui est incluse dans les mesures de masse totale par TEOM-FDMS<sup>14</sup>.

---

<sup>13</sup> J.H. Seinfeld and S.N. Pandis, *Atmospheric Chemistry and Physics: From Air Pollution to Climate Change* (Wiley, 2016), <https://books.google.fr/books?id=XqDcCwAAQBAJ>.

<sup>14</sup> S. G. Tsyro, "To What Extent Can Aerosol Water Explain the Discrepancy between Model Calculated and Gravimetric PM10 and PM2.5?," *Atmos. Chem. Phys.* 5, no. 2 (February 16, 2005): 515–32, <https://doi.org/10.5194/acp-5-515-2005>.

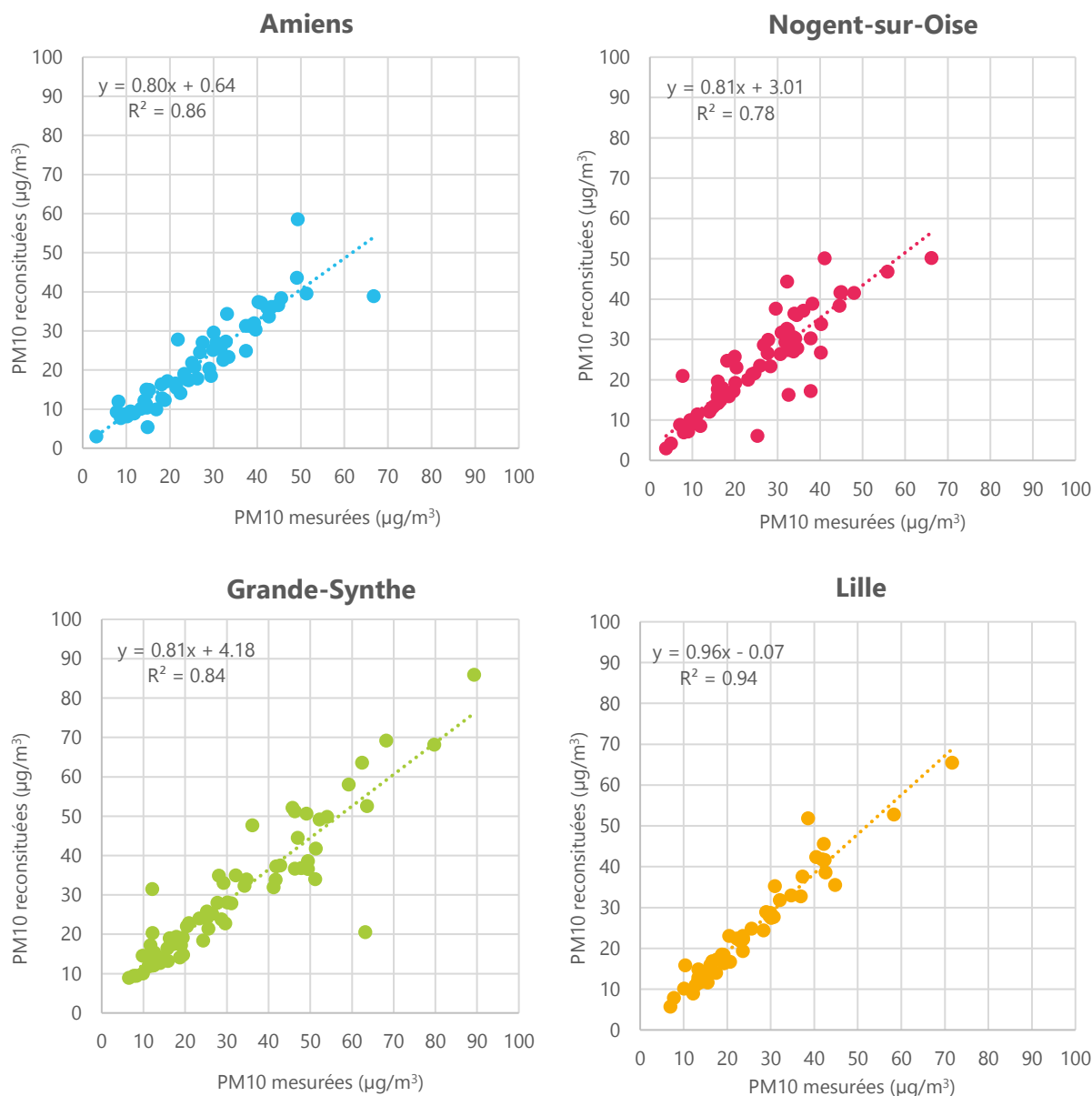


Figure 20 : Comparaison des concentrations massiques en PM10 reconstituées par bouclage chimique à celles mesurées par TEOM-FDMS.

## 6.2.2. Composition chimique

La composition chimique moyenne des PM10 des quatre sites pour la période du 1<sup>er</sup> janvier au 22 mai 2018 est présentée sur la Figure 21. Sont pris en compte pour calculer la composition chimique des PM10 : L'OM (matière organique), l'EC (carbone élémentaire), le nitrate, le sulfate, l'ammonium, le sodium, le chlorure, la somme des autres ions ( $Mg^{2+}$ ,  $K^+$  et  $Ca^{2+}$ ) et la somme des métaux.

Les quatre sites sont caractérisés par des profils chimiques distincts. La matière organique et le nitrate sont les composés dominants et contribuent à eux deux plus de 50% des PM10 mesurées. La contribution de l'OM est maximale (39%) sur le site de Nogent-sur-Oise et minimale (26%) sur le site de proximité industrielle de Grande-Synthe. La contribution moyenne de l'OM est similaire ( $\approx 30\%$ ) pour les deux sites urbains d'Amiens et de Lille.

La contribution du nitrate varie entre 23 et 30%. Elle est minimale pour Nogent-sur-Oise (23%) et maximale (30%) pour les deux sites urbains (Lille et Amiens). La contribution du sulfate (9-10%) et de l'ammonium (9-11%) est similaire pour les 4 sites.

La concentration de sels marins (somme des ions  $\text{Na}^+$  et  $\text{Cl}^-$ ) varie avec la distance entre la station de mesure et la mer ; la concentration est plus élevée pour un site proche de la mer. La plus faible contribution (7%) est observée à Nogent-sur-Oise, qui est la station le plus éloignée de la mer ( $\approx 117$  km). Les sels marins représentent 9% des PM10 pour Lille et Amiens. Ces deux sites sont chacun situés à environ 60 km de la mer. Grande-Synthe est le site le plus proche du bord de mer, avec seulement 4 km de distance. Par conséquent, la contribution des sels marins y est la plus forte (12%) parmi les quatre sites étudiés. Les autres ions (somme de  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  et  $\text{K}^+$ ) contribuent entre 3 à 4% des PM10 pour les quatre sites.

Les métaux contribuent entre 2 et 4% pour Amiens, Nogent-sur-Oise, et Lille. Leur contribution est plus importante (10%) sur le site de proximité industrielle de Grande-Synthe.

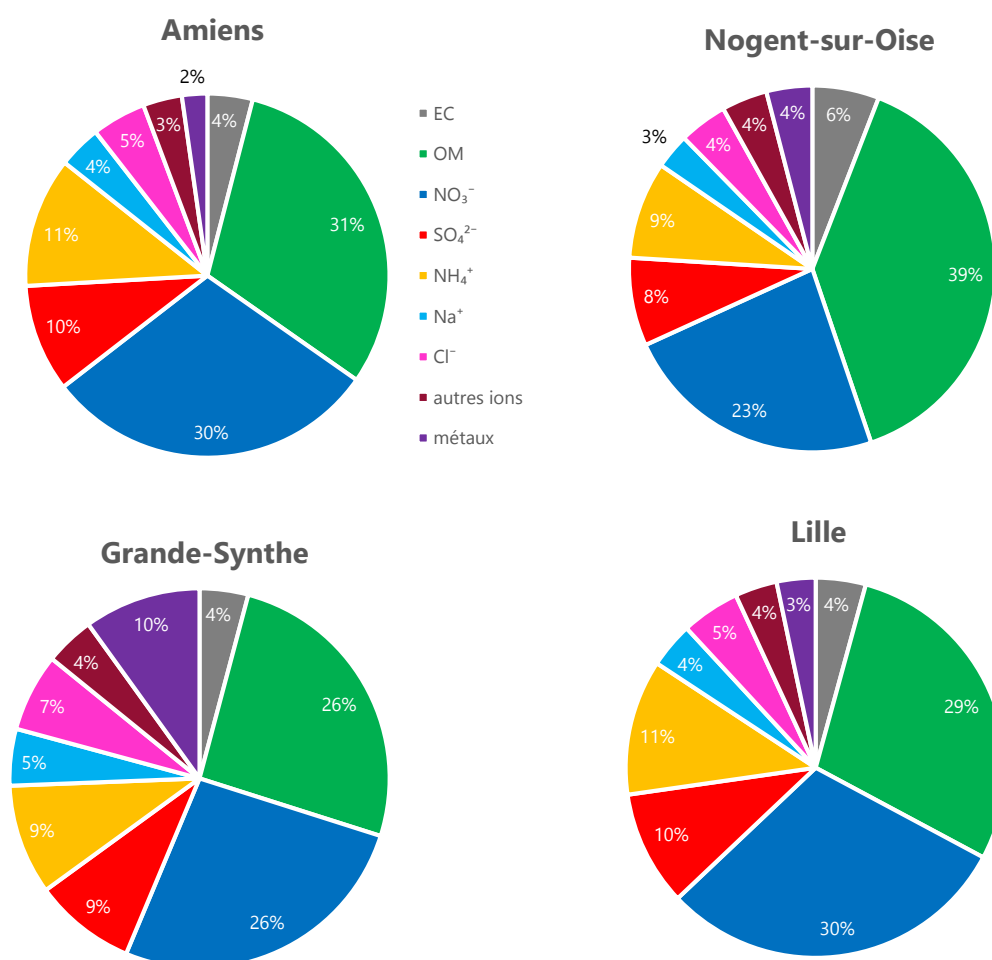


Figure 21 : Composition chimique moyenne des PM10 de 4 sites pour la période 01/01-22/05/2018.



La variation mensuelle de la composition chimique des PM10 pour les quatre sites est présentée sur la Figure 22.

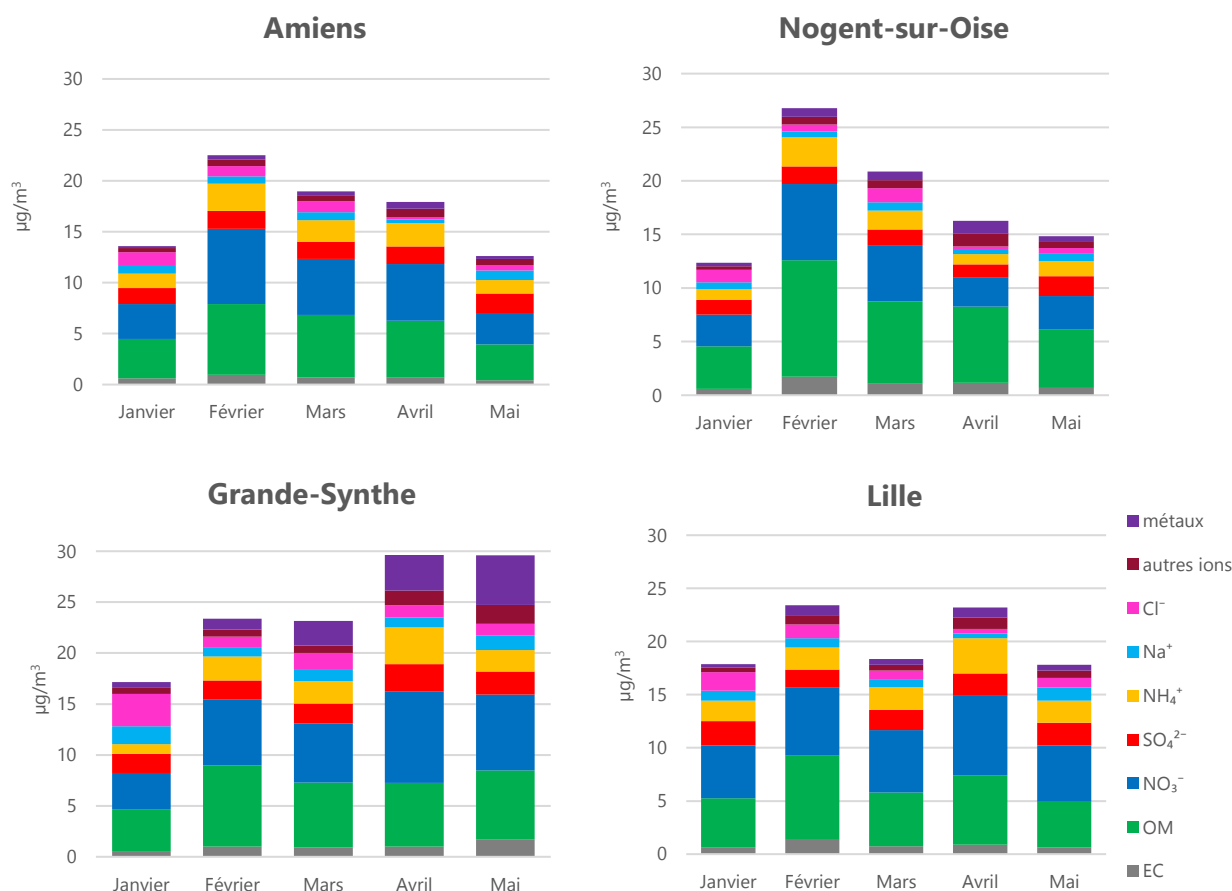


Figure 22 : Composition chimique (moyennes mensuelles) des PM10 pour les quatre sites.

L'évolution des moyennes mensuelles est similaire entre les sites d'Amiens et de Nogent-sur-Oise. En janvier, la concentration est relativement faible. En février, la concentration totale des PM10 augmente nettement, particulièrement pour Nogent-sur-Oise (du simple au double entre janvier et février). La concentration décroît entre mars et mai. Ces variations sont qualitativement inverses aux variations de température ambiante (Tableau 4). Les différences de concentration observées entre Amiens et Nogent-sur-Oise proviennent principalement de la matière organique. Sa contribution est de 25 à 54% plus élevée à Nogent-sur-Oise qu'à Amiens.

À Grande-Synthe, la concentration des PM10 augmente au cours de la période étudiée. En avril et mai, les concentrations en nitrate d'ammonium et en métaux sont plus élevées par rapport aux mois précédents. Une explication possible est le changement notable de la direction des vents dominants entre mars et avril.

Les moyennes mensuelles de PM10 à Lille sont relativement stables, tant au niveau de la concentration massique totale qu'au niveau de la composition chimique. En février, la concentration en matière organique est plus élevée, alors que les températures sont plus faibles (moyenne sur février : 1,4 °C). En avril, le nitrate d'ammonium est plus élevé que pour les autres mois.

Les deux sites urbains d'Amiens et de Lille présentent une composition chimique moyenne très similaire sur la période entière (Figure 21). Cependant, leur évolution mensuelle indique des différences. En janvier, Lille est plus impacté par les composés inorganiques secondaires (nitrate d'ammonium et sulfate d'ammonium). Entre

février et mars, leurs compositions restent semblables. En avril et mai, le niveau des particules inorganiques secondaires à Lille augmente à nouveau. Les conditions météorologiques locales étant similaires entre les deux sites, une étude des origines géographiques des sources est nécessaire pour identifier l'origine de ces composés secondaires.

### 6.2.3. Espèces carbonées

Cette section présente les résultats des concentrations en espèces carbonées mesurées dans les PM10.

#### ☐ Carbone organique (OC) et carbone élémentaire (EC)

Comme indiqué dans la section 3.2, la matière particulaire carbonée peut être classée en trois catégories :

- Carbone organique (OC)
- Carbone élémentaire (EC)
- Carbone minéral, par exemple le carbonate de calcium

Le carbone minéral est négligé dans cette étude, car ses concentrations sont généralement faibles en milieu urbain ; il est de plus difficile de le mesurer par chromatographie ionique<sup>15</sup>. En revanche, l'OC et l'EC représentent à eux deux une proportion importante des PM10. De plus, le ratio OC/EC peut être un indicateur de l'origine des particules atmosphériques. Un ratio OC/EC petit indique que le site de mesure est proche des sources d'émissions qui influencent les PM10, et vice-versa. Ce ratio est généralement inférieur à 2 pour les sites fortement influencés par le trafic routier. Il varie entre 2 et 9 pour les sites urbains de fond, et il augmente avec la diminution de la contribution des émissions anthropiques par rapport aux émissions biogéniques, atteignant des valeurs supérieures à 10 pour les sites ruraux<sup>16</sup>.

La Figure 23 présente, pour chaque site, la concentration moyenne sur la période étudiée d'OC et d'EC ainsi que le ratio OC/EC.

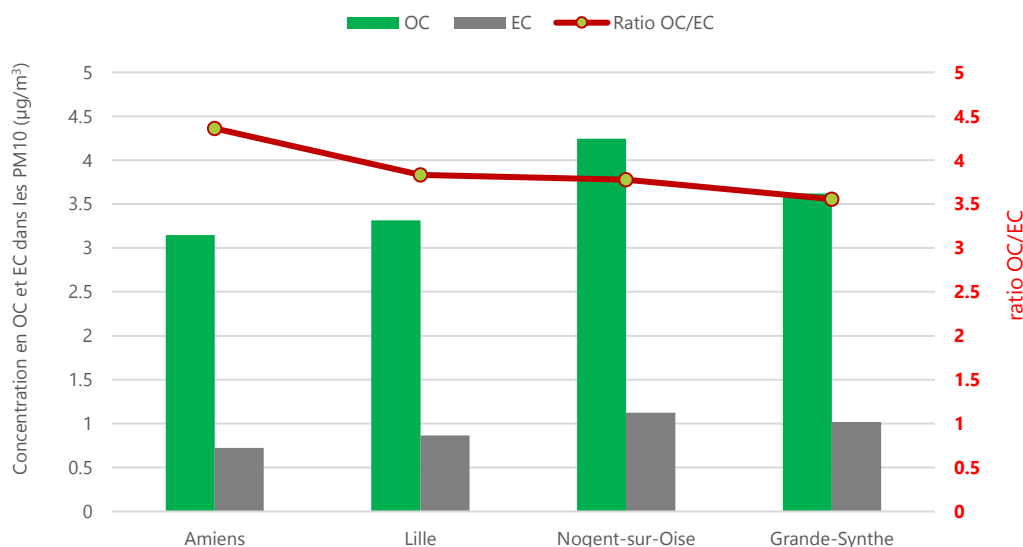


Figure 23 : Concentration en OC et EC dans les PM10 (axe de gauche) et ratio OC/EC (axe de droite) pour quatre sites.

<sup>15</sup> LCSQA (Laboratoire Central de Surveillance de la Qualité de l'Air), 2017. *Variations spatio-temporelles des espèces chimiques majeures et de composés traces des PM 10 en France métropolitaine*. Écrit par Olivier Favez & Alexandre Albinet (INERIS), Dalia Salameh & Jean-Luc Jaffrezo (IGE) Laurent Alleman (IMT LD). Programme de travail 2017 du LCSQA. Réf. INERIS : DRC-18-167619-02922A

<sup>16</sup> M. Viana et al., "Organic and Elemental Carbon Concentrations in Carbonaceous Aerosols during Summer and Winter Sampling Campaigns in Barcelona, Spain," *Atmospheric Environment* 40, no. 12 (April 1, 2006): 2180–93, <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2005.12.001>.

Les concentrations les plus élevées pour les deux composés sont observées à Nogent-sur-Oise (OC : 4,2 µg/m<sup>3</sup> et EC : 1,1 µg/m<sup>3</sup>). Les moins élevées sont observées à Amiens (OC : 3,1 µg/m<sup>3</sup> et EC : 0,7 µg/m<sup>3</sup>). Le ratio OC/EC pour les quatre sites varie de 3,56 à 4,36, des valeurs typiques pour des sites urbains et périurbains. Le ratio le plus élevé (4,36) est observé à Amiens. Les ratios à Lille (3,83) et à Nogent-sur-Oise (3,77) sont similaires entre eux et plus faibles qu'à Amiens. Le ratio le plus faible (3,56) est observé à Grande-Synthe, ce qui suggère que la fraction carbonée des PM10 est plus fortement influencée par les émissions locales proches de la station par rapport aux trois autres sites étudiés ici.

### Espèces organiques identifiées

Neuf espèces organiques ont été identifiées (*i.e.* leurs concentrations ont été mesurées explicitement) : l'acide méthylsulfonique (MSA), l'oxalate, le lévoglucosan, 2 polysaccharides (mannosan et galactosan), 2 polyols (arabitol et manitol), et 2 monosaccharides (mannose et glucose). Ces espèces ont été mesurées spécifiquement car elles sont considérées comme des traceurs de certaines sources de PM10.

Ces espèces identifiées représentent entre 7 et 8,5% de la masse de matière organique (toutes espèces confondues) des PM10 étudiées ici. Dans ce rapport, la contribution de chaque espèce identifiée est calculée comme le rapport entre la concentration massique de l'espèce par la concentration massique totale des neuf espèces identifiées.

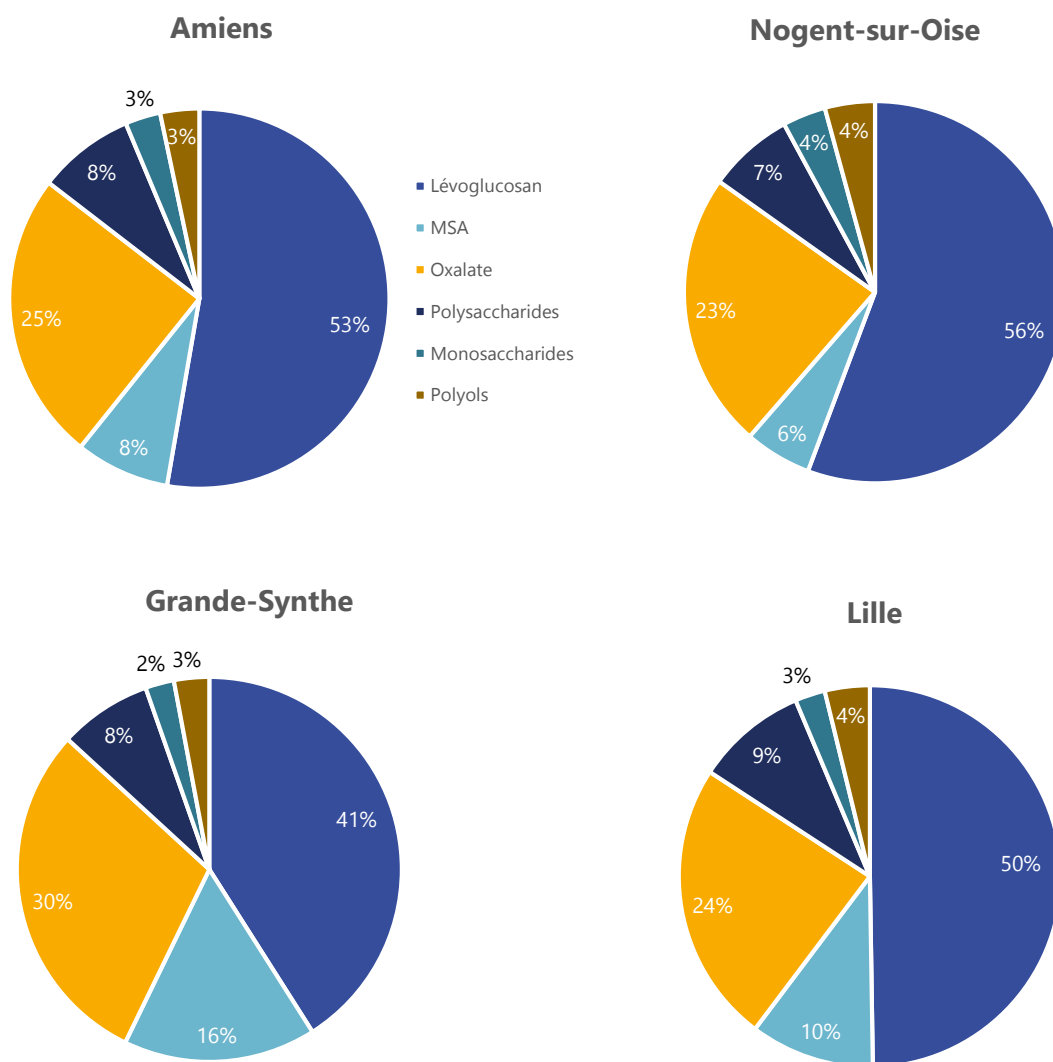


Figure 24 : Contributions relatives moyennes des 9 espèces organiques identifiées.

Le lévoglucosan est le composé principal (41-56%) parmi ces espèces identifiées. Il est considéré comme un traceur de la combustion de la biomasse<sup>17</sup>. Les principales sources de lévoglucosan sont la combustion du bois de chauffage en hiver, le brûlage de déchets verts et les incendies de forêt. La contribution relative du lévoglucosan est plus importante (50 % et plus) pour les 3 sites mesurant la pollution de fond que pour le site de proximité industrielle de Grande-Synthe (41%).

L'oxalate est le deuxième composé le plus abondant (23-30%) parmi les neuf étudiés. Il peut être émis comme polluant primaire par la combustion et peut aussi être formé dans l'atmosphère par photochimie. Une étude au Royaume-Uni a montré que les concentrations moyennes d'oxalate sont très similaires aux sites urbains et ruraux<sup>18</sup>. Pour notre étude, ses concentrations massiques sont aussi très homogènes (0,11 – 0,14 µg/m<sup>3</sup>) pour les quatre sites, ce qui confirme que l'oxalate est une source secondaire et régionale.

<sup>17</sup> Timothy B. Jordan, Andrew J. Seen, and Geraldine E. Jacobsen, "Levoglucosan as an Atmospheric Tracer for Woodsmoke," *Atmospheric Environment* 40, no. 27 (September 1, 2006): 5316–21, <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2006.03.023>.

<sup>18</sup> Bunthoon Laongsri and Roy M. Harrison, "Atmospheric Behaviour of Particulate Oxalate at UK Urban Background and Rural Sites," *Atmospheric Environment* 71 (June 1, 2013): 319–26, <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2013.02.015>.

L'acide méthylsulfonique (MSA) est considéré comme un traceur secondaire des émissions biogéniques de composés soufrés naturels. Il est produit par l'oxydation du DMS (sulfure de diméthyle), qui est le principal gaz contenant du soufre biogénique<sup>19</sup>. Le DMS est émis principalement par les phytoplanctons marins. La contribution moyenne du MSA pour les 4 sites varie entre 6 et 16%, en fonction de la distance entre le site de mesure et la mer.

Les polysaccharides (mannosan et galactosan) sont émis par la combustion de la biomasse, mais en moindre quantité (contribution : 7-9%) que le lévoglucosan.

Les polyols (arabitol et manitol) et les monosaccharides (mannose et glucose) sont émis par les spores fongiques<sup>20</sup>. Ces espèces sont considérées comme des traceurs de sources biogéniques primaires terrestres. Ils contribuent relativement peu (5-7%) par rapport aux autres espèces organiques identifiées.

## ☐ Lévo-glucosan

Sur la Figure 25, la concentration moyenne mensuelle du lévoglucosan est comparée avec la température ambiante moyenne correspondante pour chacun des quatre sites. La température moyenne mensuelle est similaire pour les 3 sites continentaux (Nogent-sur-Oise, Amiens et Lille). Par rapport à ces trois sites, celui de Grande-Synthe, qui est proche du littoral, est moins froid en février, et moins chaud en avril et mai, car les variations de température y sont modérées par la présence proche de l'océan. La période plus froide (janvier – mars) est caractérisée par une forte influence de la combustion de la biomasse associée au chauffage urbain. Cette différence est particulièrement marquée en février, mois durant lequel les températures ambiantes étaient très faibles par rapport à janvier et mars. Nogent-sur-Oise est caractérisé par une concentration plus élevée en lévoglucosan par rapport aux autres sites ; ce site est plus impacté par le chauffage au bois.

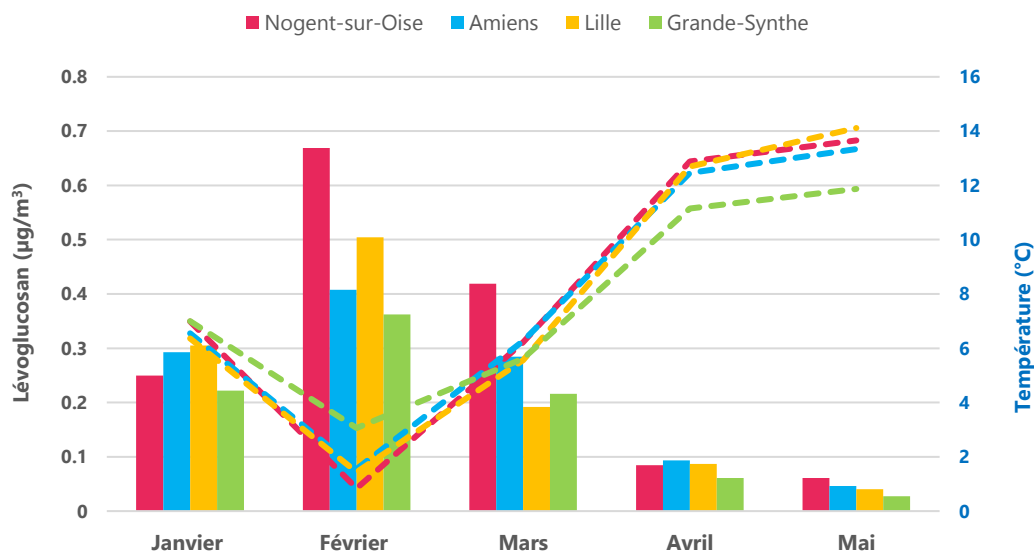


Figure 25 : Evolution des moyennes mensuelles du lévoglucosan (axe de gauche) et de la température (axe de droite).

<sup>19</sup> Andreae M. O. et al., "Dimethyl Sulfide in the Marine Atmosphere," *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* 90, no. D7 (December 20, 1985): 12891–900, <https://doi.org/10.1029/JD090iD07p12891>.

<sup>20</sup> Heidi Bauer et al., "Arabitol and Mannitol as Tracers for the Quantification of Airborne Fungal Spores," *Atmospheric Environment* 42, no. 3 (January 1, 2008): 588–93, <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2007.10.013>.

## 6.2.4. Métaux

Cette section présente les concentrations des métaux présents dans les PM10. Ces concentrations sont exprimées en nanogramme par mètre cube ( $\text{ng}/\text{m}^3 = 0,001 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) car elles sont très inférieures à la concentration totale des PM10 dans l'atmosphère. Pour chaque site et chaque métal, les concentrations présentées ci-dessous sont les valeurs moyennes calculées sur la période d'étude.

35 métaux sont mesurés dans cette étude. Certains d'entre eux sont connus comme étant des traceurs de sources identifiées. Ces traceurs métalliques sont classés en quatre catégories : traceurs d'émissions industrielles, traceurs d'émissions du trafic routier, traceurs de combustion de fuel lourd, et traceurs de poussières minérales.

### Traceurs d'émissions industrielles

Pour la plupart des métaux, les concentrations mesurées sur le site de proximité industrielle de Grande-Synthe sont plus élevées par rapport aux autres sites, particulièrement pour l'arsenic (As), le césium (Cs), le manganèse (Mn), et le fer (Fe). Les concentrations de manganèse et de césium à Grande-Synthe sont 20 et 10 fois plus élevées qu'aux autres sites, respectivement. Le fer contribue aux PM10 de Grande-Synthe à hauteur de  $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , et à hauteur de seulement  $0,2\text{--}0,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$  pour les autres sites.

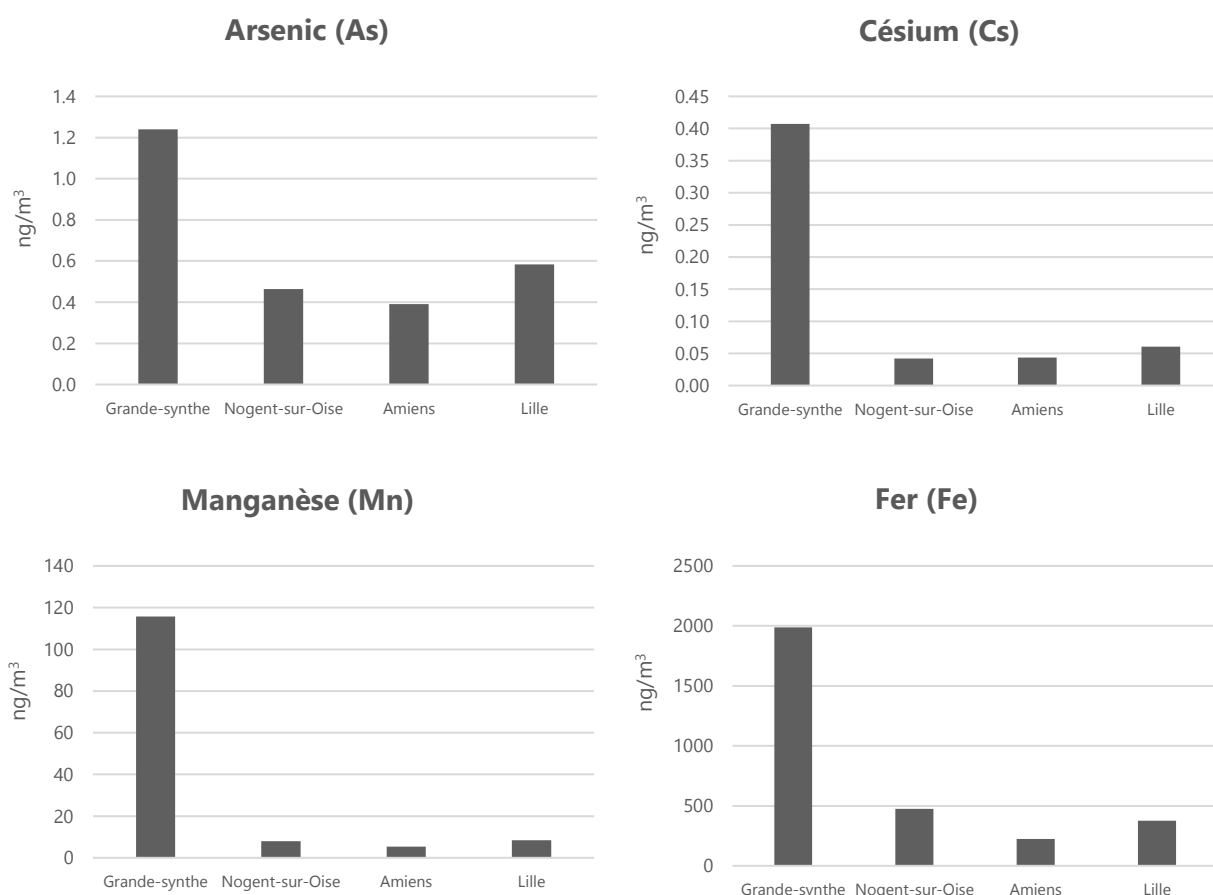


Figure 26 : Concentrations moyennes (sur la période étudiée) de métaux traceurs d'émissions industrielles.

## Traceurs d'émissions provenant du trafic routier

Certains éléments métalliques (baryum – Ba, cuivre – Cu, antimoine – Sb, et étain – Sn) peuvent être émis par l'abrasion mécanique des pièces de véhicules motorisés telles que les freins, les pneus et les embrayages. Ils peuvent également être émis par la remise en suspension de poussières déposées au sol. Toutes ces émissions sont qualifiées de « hors-échappement »<sup>21</sup>.

Les concentrations de ces 4 métaux sont plus élevées sur les sites de Nogent-sur-Oise et de Lille que sur les deux autres sites (Figure 27). La concentration de baryum à Nogent-sur-Oise est 2 fois plus élevée qu'à Grande-Synthe et celle de cuivre y est 3 fois plus élevée qu'à Amiens. Comme indiqué dans la section 5.1.2, les émissions du transport contribuent à hauteur de 28% (58 tonnes/an) aux émissions de PM10 de la CACSO (où se situe Nogent-sur-Oise), 28% (143 tonnes/an) aux émissions de la CAAM (où se situe Amiens), 38% (803 tonnes/an) aux émissions de la MEL (où se situe Lille), et 6% (153 tonnes/an) aux émissions de la CUD (où se situe Grande-Synthe). Les concentrations observées ne sont pas proportionnelles aux émissions inventoriées. Les mesures présentées ici indiquent que le site de Nogent-sur-Oise est plus impacté par le trafic que les autres sites, et que Lille est le deuxième site le plus impacté. Les sites de Grande-Synthe et d'Amiens sont relativement moins influencés par le trafic.

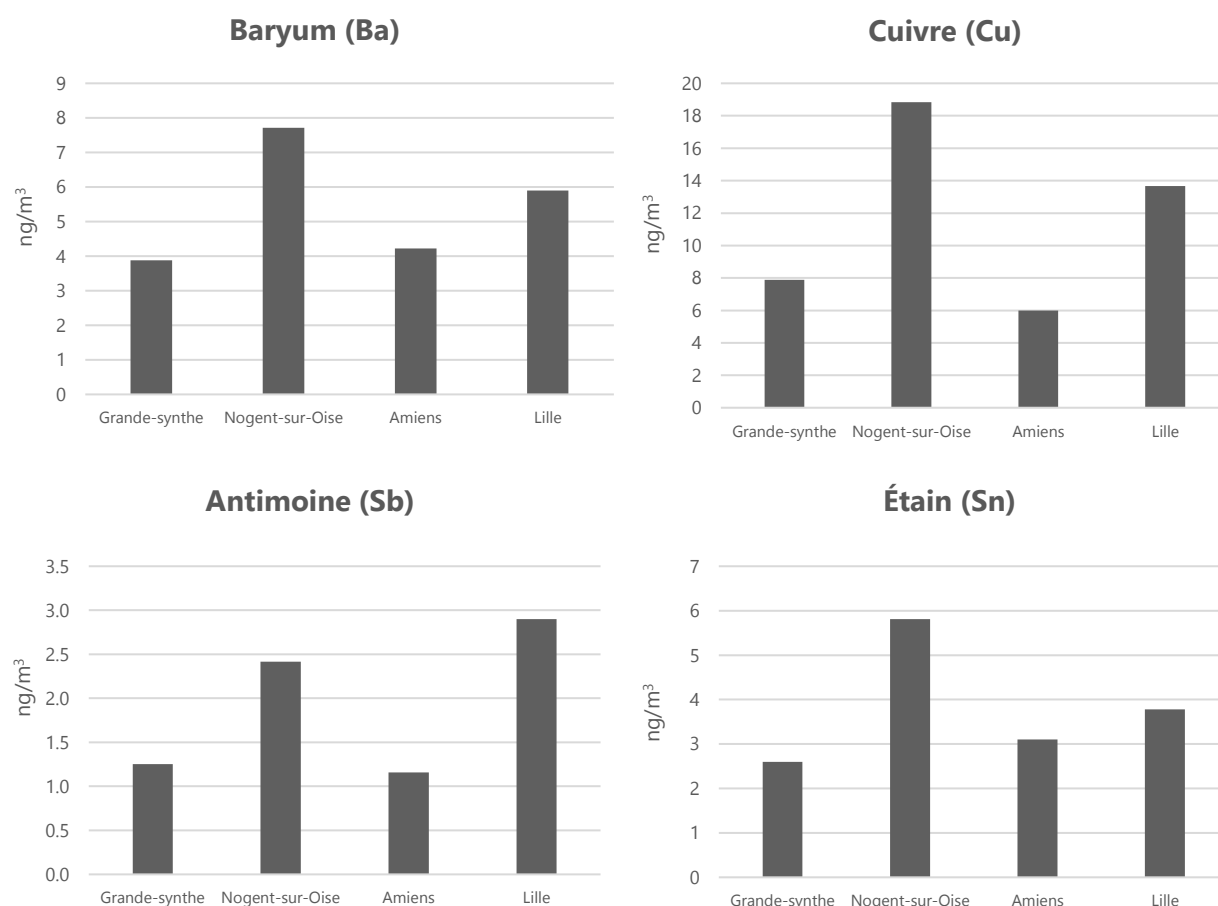


Figure 27 : Concentrations moyennes (sur la période étudiée) de métaux traceurs d'émissions du trafic routier.

<sup>21</sup> Pallavi Pant and Roy M. Harrison, "Estimation of the Contribution of Road Traffic Emissions to Particulate Matter Concentrations from Field Measurements: A Review," *Atmospheric Environment* 77 (October 1, 2013): 78–97, <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2013.04.028>.

## Traceurs d'émissions provenant de la combustion de fuel lourd

Le vanadium (V) et le nickel (Ni) peuvent être émis par l'industrie métallurgique et la combustion de fioul lourd et charbon<sup>22</sup>, par exemple par les raffineries, les centrales thermiques, et le transport maritime. Les concentrations de vanadium et de nickel à Grande-Synthe sont 2 à 6 fois plus élevées que pour les 3 autres sites (Figure 28). Ces résultats mettent en évidence l'influence de la zone industrielle et/ou du trafic maritime sur les concentrations de PM10 mesurées à Grande-Synthe.

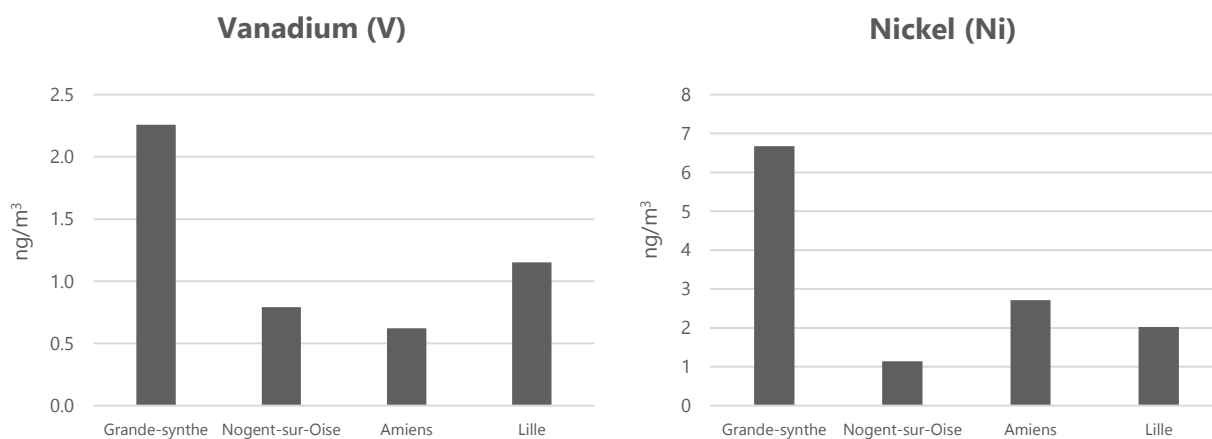


Figure 28 : Concentrations moyennes (sur la période étudiée) de métaux traceurs d'émissions de la combustion de fuel lourd.

## Traceurs de poussières minérales

Les traceurs de poussières minérales (calcium – Ca, aluminium – Al, et titane – Ti) sont relativement abondants dans la croûte terrestre. Les poussières minérales peuvent être émises par la remise en suspension par le vent ou le trafic des poussières provenant de l'érosion des sols, des activités de construction, etc. Les concentrations moyennes de calcium, d'aluminium, et de titane sont présentées sur la Figure 29. Ces concentrations sont assez similaires pour Grande-Synthe, Nogent-sur-Oise et Lille. Elles sont plus faibles pour Amiens.

<sup>22</sup> Teresa Moreno et al., "Variations in Vanadium, Nickel and Lanthanoid Element Concentrations in Urban Air," *Science of The Total Environment* 408, no. 20 (September 15, 2010): 4569–79, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2010.06.016>.



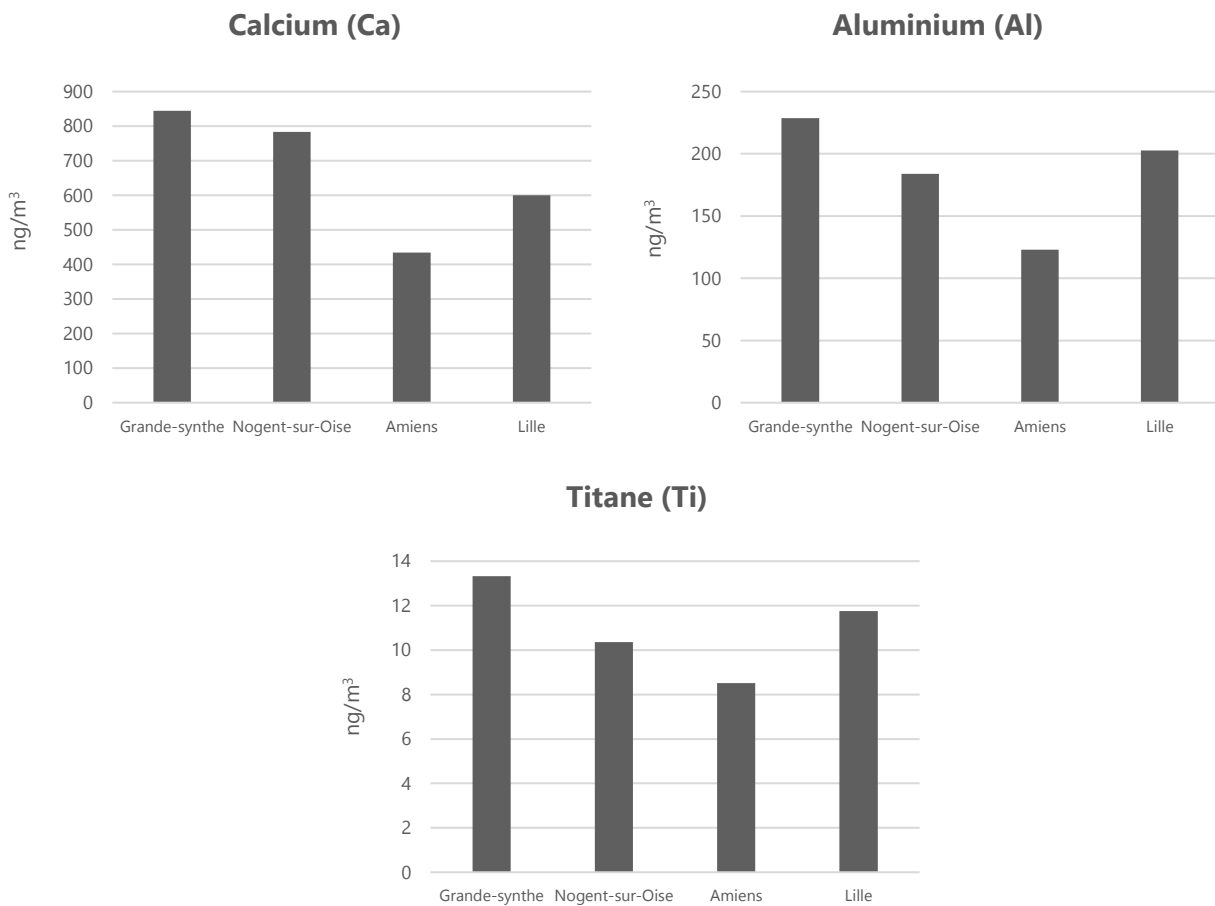


Figure 29 : Concentrations moyennes (sur la période étudiée) de métaux traceurs de poussière minérales

### 6.3. Jours de dépassement

Plusieurs jours de dépassement de  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  en moyenne journalière de PM10 ont été observés sur la période d'étude (Tableau 6). La composition chimique des particules est analysée pour tous ces jours de dépassement, sauf l'échantillon du 21 février de Lille en raison de problèmes de prélèvement qui ont eu lieu ce jour.

Tableau 6 : Moyennes journalières de PM10 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) dépassant  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , sur la période du 01/01/2018 au 22/05/2018

Date	Amiens Saint-Pierre (AM2)	Nogent-sur-Oise (CR1)	Lille Fives (MC5)	Grande-Synthe (DKI)
08/02/2018		55.9		
21/02/2018	66.7	66.2	61.1	
03/03/2018				63.2
09/04/2018	51.3			51.3
12/04/2018			58.3	79.7
20/04/2018				68.2
21/04/2018			71.7	62.4
06/05/2018				54.0
07/05/2018				89.3
08/05/2018				59.2
14/05/2018				51.2
21/05/2018				52.2
22/05/2018				63.6
<b>Nombre total de jours</b>	2	2	3	11

### 6.3.1. Composition chimique moyenne

La composition chimique moyenne des particules pendant les jours de dépassement est présentée sur la Figure 30.

À Grande-Synthe, les métaux représentent 13% des PM10, une valeur  $\approx 6$  fois supérieure à celle des autres sites (2%). Les particules inorganiques secondaires (nitrate d'ammonium et sulfate d'ammonium) contribuent aux PM10 à hauteur de 50% pendant ces épisodes. La contribution de la matière organique est de 23%. Les contributions des sels marins (4%), du carbone élémentaire (5%) et des autres ions (5%) sont relativement faibles.

À Nogent-sur-Oise, la matière organique (41%) et les particules inorganiques secondaires (50%) sont les composés dominants pendant les jours de dépassement. Les contributions du carbone élémentaire (4%), des métaux (2%) et des autres ions (2%) sont relativement faibles.

À Amiens et Lille, les compositions chimiques des PM10 sont très similaires pendant les jours de dépassement : 41-45% de nitrate, 18-20% d'ammonium, et 9-11% de sulfate. Ces éléments inorganiques contribuent en moyenne à hauteur de 72% à la masse des PM10 durant les jours de dépassement à ces deux sites. La matière organique contribue à hauteur de 20%, et les autres constituants à hauteur de 6%.

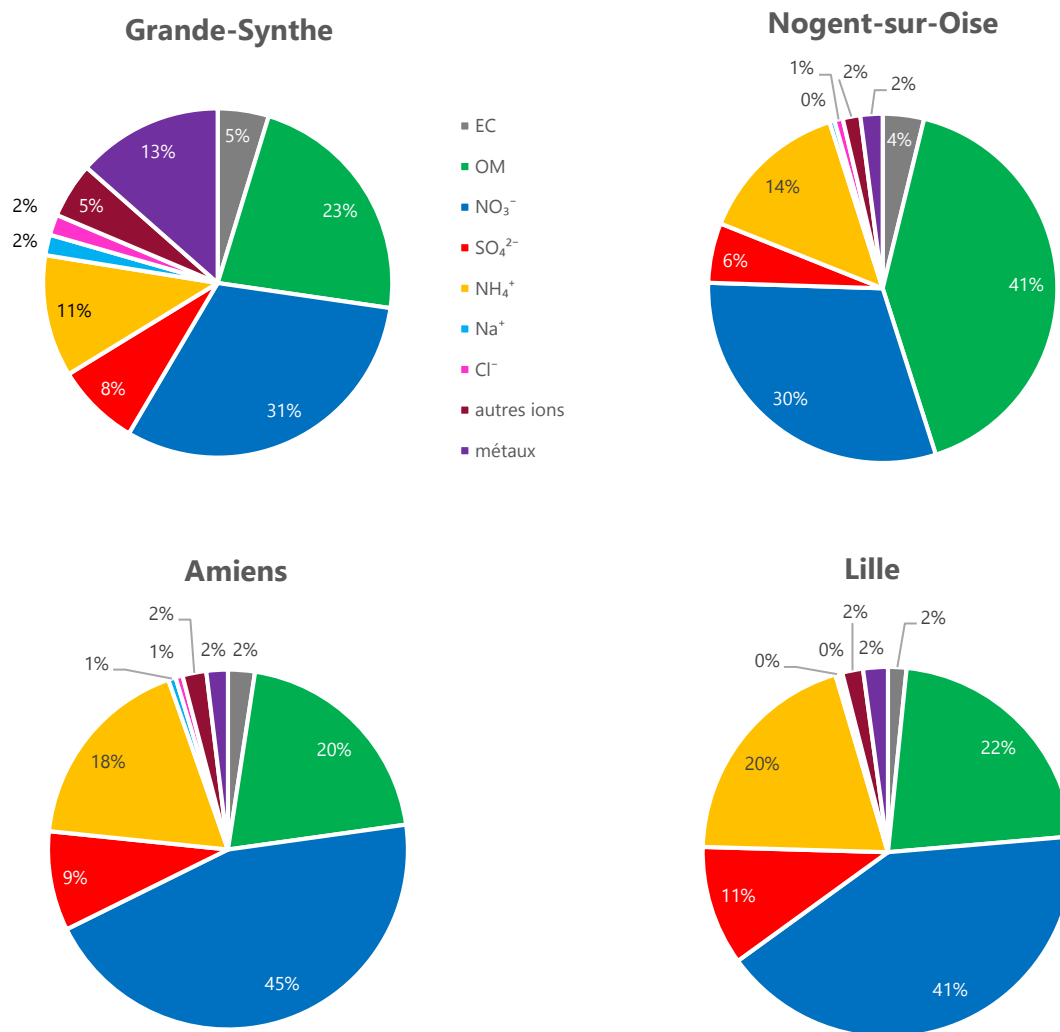


Figure 30 : Composition chimique moyenne des PM10 pendant les jours de dépassement.

### Grande-Synthe

À Grande-Synthe, 11 jours de dépassement ont été constatés et analysés sur la période étudiée (Tableau 6). Les compositions chimiques des PM10 pour chacun de ces jours sont présentées sur la Figure 31. Les masses indiquées comme « inconnues » sont calculées par différence entre les valeurs mesurées par TEOM-FDMS et les valeurs calculées par bouclage chimique (section 6.2.1).

Le nitrate est le composé dominant (12-26 µg/m<sup>3</sup>) pour les jours de dépassement constatés entre mi-avril et début-mai. Les cartes des concentrations de PM10 modélisées par le modèle PREV’AIR (Figure 33) indiquent que les jours de dépassement du mois d’avril sont dus à de la pollution régionale. Durant les jours de dépassement de mi-mai, la masse d’air chargée en particules n’atteint que la zone littorale.

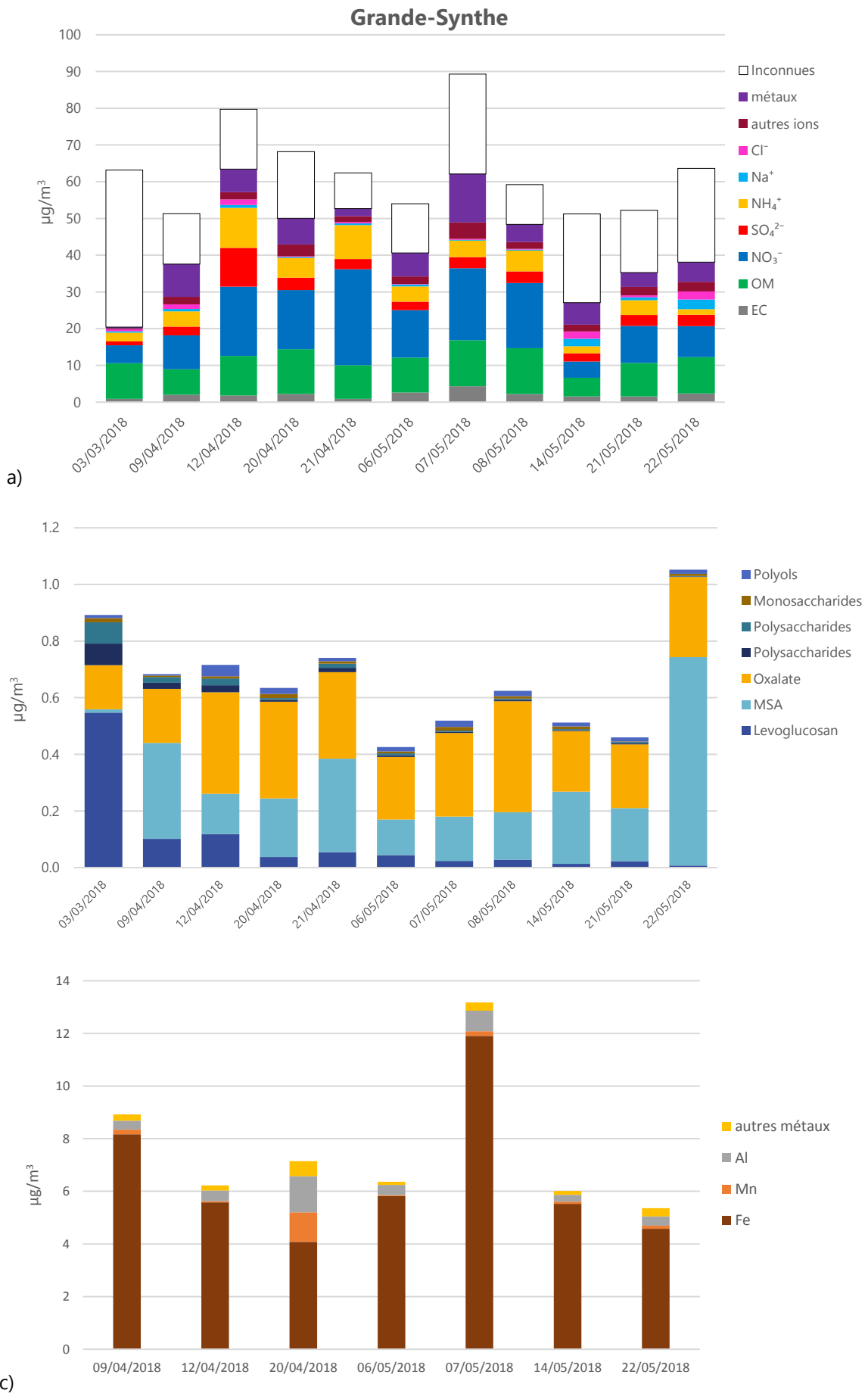


Figure 31 : Analyse des jours de dépassement à Grande-Synthe : a) composition chimique ; b) espèces organiques identifiées ; c) métaux

La concentration en matière organique varie peu entre les différents jours de dépassement ( $\sim 10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ). En revanche, l'analyse des concentrations des espèces organiques identifiées (Figure 31b) suggère que les sources d'émissions qui ont contribué à cette matière organique sont différentes selon les jours de dépassement. Au début du mois de mars, le lévoglucosan est le composé dominant, ce qui indique une forte contribution du chauffage au bois (le lévoglucosan est un traceur de la combustion de la biomasse, et sa concentration décroît quand la température augmente). Cette observation est appuyée par la répartition des vents de ce jour (Annexe 4) : les vents dominants proviennent de l'est, c'est-à-dire de la direction des zones habitées de Grande-Synthe et de Dunkerque.

Très peu de vents d'est sont en revanche observés durant les autres jours de dépassement à Grande-Synthe, les vents dominants étant le plus souvent des vents du nord (Annexe 4). Parmi les neuf espèces organiques identifiées, le MSA et l'oxalate sont les espèces principales durant les jours de dépassement d'avril et de mai. Le MSA du 22 mai est 4 fois plus élevé que le jour précédent, bien que la concentration en matière organique totale varie peu. Ce phénomène peut être lié au changement de la vitesse et de la direction du vent (Annexe 4) ou au changement des trajectoires des masses d'air arrivant au site de mesure. Les vents forts provenant du nord (*i.e.* de la mer) favorisent le transport du MSA d'origine marine.

La concentration en sulfate est d'environ  $3 \mu\text{g}/\text{m}^3$  pendant les jours de dépassement à Grande-Synthe, à l'exception du 12 avril, où les concentrations atteignent  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . En revanche, les concentrations en  $\text{SO}_2$  sont relativement faibles ce jour-là ( $1,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$  en moyenne journalière). Une hypothèse est que le sulfate du 12 avril provient de sources régionales et non pas locales. Cette hypothèse est soutenue par la carte de prévision du modèle PREV'AIR du 12 avril (Figure 33). De plus, une concentration élevée en sulfate ( $8,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) a également été observée à Lille le même jour (Figure 32).

Les sels marins contribuent à hauteur de 4 à  $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$  à la masse des PM10 pendant les jours de dépassement de la deuxième moitié du mois de mai. Cette contribution est plus faible au mois de mars, quand la proportion de vents provenant du nord est faible (Annexe 4).

Les métaux sont présents en concentrations non-négligeables pour la plupart des jours de dépassement. Les concentrations en métaux pour les jours de dépassement où leur contribution totale est supérieure à  $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$  sont présentées sur la Figure 31c. Le fer est le métal dominant, particulièrement le 7 mai, où il contribue aux PM10 à hauteur de  $12 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Les vents dominants pour ces jours proviennent très majoritairement des directions nord-ouest à nord-est (sauf le 20/04 : vents d'ouest). Les concentrations en aluminium et en manganèse sont plus élevées le 20 avril par rapport aux autres jours de dépassement. Les vents majoritaires proviennent de l'ouest ce jour, ce qui suggère la présence d'une source d'aluminium et de manganèse à l'ouest de la station. Plus généralement, les vents dominants durant tous les jours de dépassement pour lesquels les concentrations en métaux sont supérieures à  $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$  proviennent de zones où siègent des activités industrielles : notamment la métallurgie au nord et la production d'aluminium et silico-manganèse à l'ouest<sup>23</sup>. La zone concernée est aussi le siège d'activités portuaires.

En résumé, les jours de dépassement à Grande-Synthe sont fortement liés à des phénomènes de pollution à l'échelle régionale, mais les émissions locales ne sont pas négligeables et s'ajoutent à cette pollution régionale : chauffage au bois en hiver et émissions industrielles quand les directions du vent sont propices à leurs transports vers la station de mesure. Les métaux peuvent contribuer jusqu'à 15% des PM10 pendant les jours de dépassement.

---

<sup>23</sup> Laurent Y. Alleman et al., "PM10 Metal Concentrations and Source Identification Using Positive Matrix Factorization and Wind Sectoring in a French Industrial Zone," *Atmospheric Research* 96, no. 4 (June 1, 2010): 612–25, <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2010.02.008>.

## ☐ Nogent-sur-Oise, Amiens et Lille

Deux jours de dépassement ont été analysés pour chacun des trois autres sites. Le dépassement du 8 février ne concerne que Nogent-sur-Oise parmi les quatre sites étudiés. Sa composition chimique est dominée par la matière organique ( $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ). La spéciation des espèces organiques montre que le lévoglucosan contribue 82% des neuf composés organiques identifiés. Le chauffage au bois local est donc probablement majoritairement responsable pour le dépassement de ce jour. La température moyenne est de  $-4^\circ\text{C}$  durant cette journée, avec un minimum horaire de  $-12^\circ\text{C}$  à 6h du matin. Ces faibles températures entraînent une utilisation accrue du chauffage au bois.

Le 21 février est un épisode de pollution aux PM10 qui touche toute la région Hauts-de-France. La composition chimique des particules n'a pas pu être analysée pour le site de Lille ce jour-ci, en raison de problèmes techniques. Les particules prélevées sur les 3 autres sites ont néanmoins pu être analysées. La composition chimique des particules pour ce jour est similaire pour Nogent-sur-Oise et Amiens : elle est dominée par le nitrate d'ammonium et, dans une moindre mesure, par la matière organique. La concentration en lévoglucosan à Nogent-sur-Oise est beaucoup moins élevée que le 8 février, en raison notamment de conditions de vent qui étaient différentes. Le vent du 8 février provient de la direction sud-sud-est et est relativement calme (1 à 3 m/s), ce qui favorise la contribution des PM10 émises localement par le chauffage au bois. Le vent du 21 février provient de la direction nord-nord-est, ce qui est probablement dû au transport des polluants secondaires (nitrate d'ammonium) sur de plus longues distances.

Les jours de dépassement en avril à Amiens et Lille sont caractérisés par une concentration en lévoglucosan plus faible qu'en février. Le composé dominant pour les jours de dépassement d'avril est le nitrate d'ammonium. Le sulfate d'ammonium est également important le 12 avril pour les sites de Lille et de Grande-Synthe.

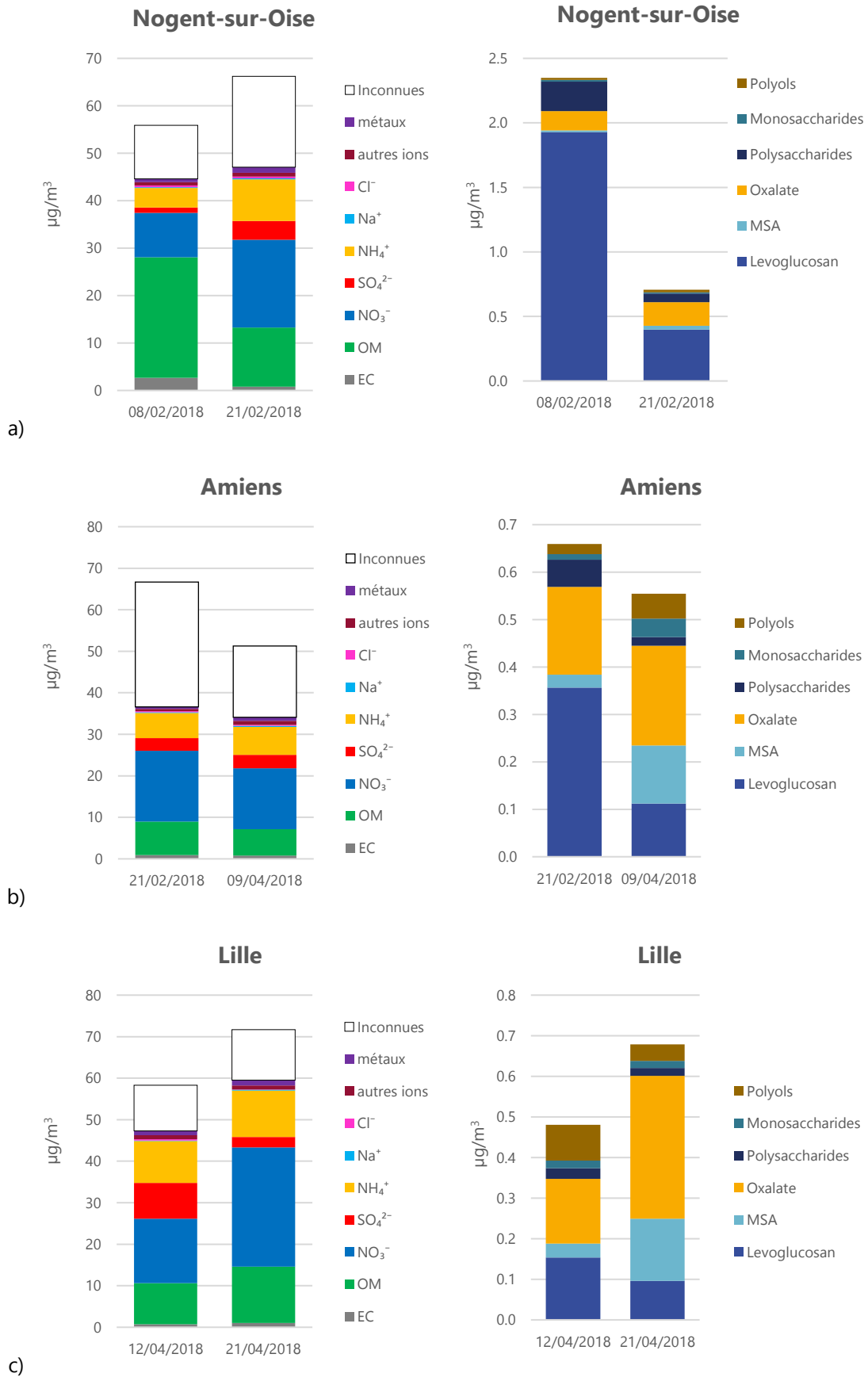


Figure 32 : Composition chimique des PM10 (gauche) et concentrations des espèces organiques identifiées (droite) pendant les jours de dépassement : a) Nogent-sur-Oise ; b) Amiens ; c) Lille.

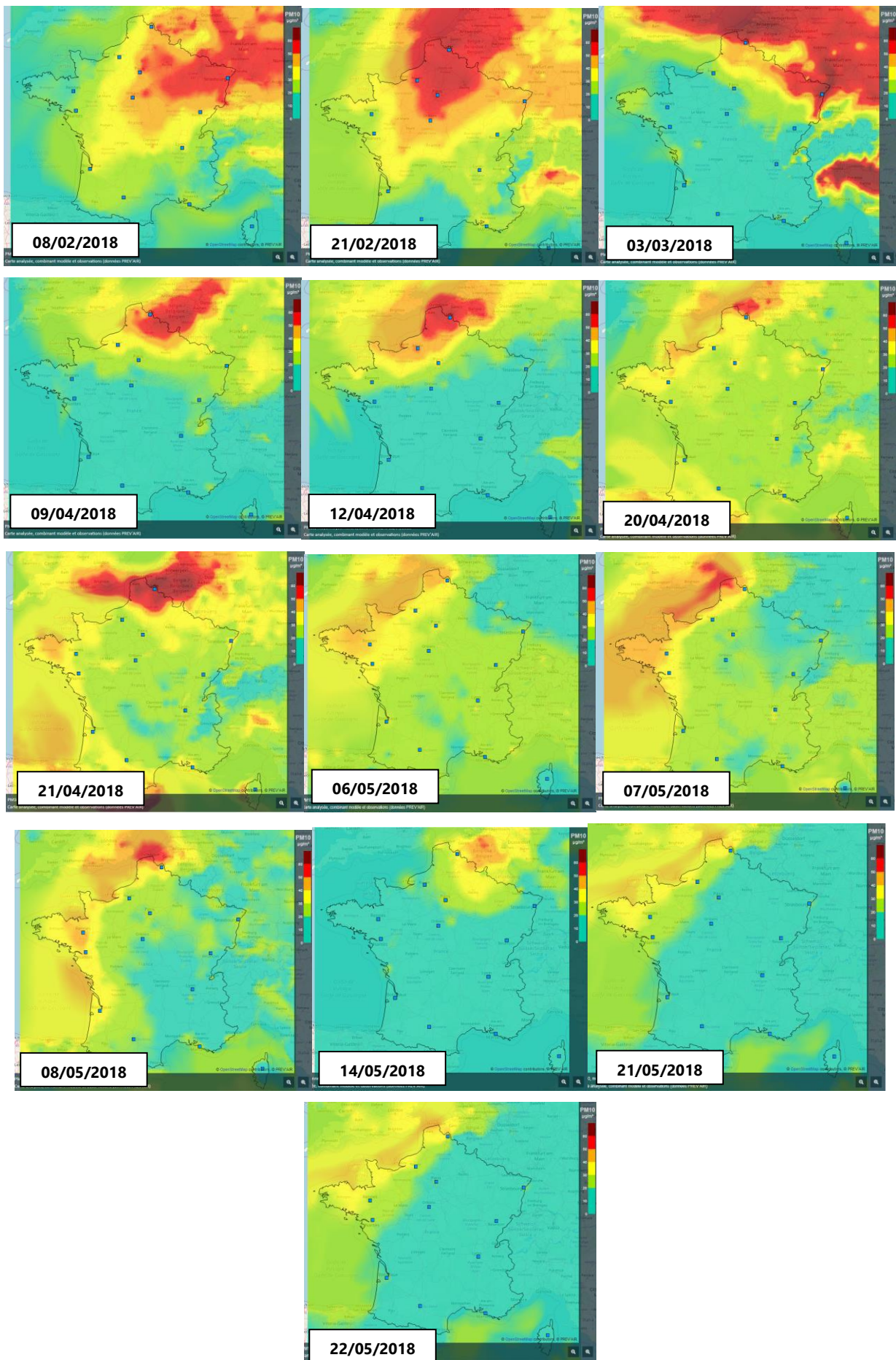


Figure 33 : Concentrations journalières en PM10 modélisées par la plateforme PREV'AIR pour les jours où la concentration journalière en PM10 a dépassé 50 µg/m<sup>3</sup> à au moins un des quatre sites étudiés.



# 7. Conclusion et perspectives

Cette étude a été réalisée dans le cadre du programme CARA d'Atmo Hauts-de-France (caractérisation chimique des particules) sur la période hiver/printemps 2018 (du 01/01 au 22/05), qui est cofinancée par la Région Hauts-de-France et la communauté d'agglomération Amiens Métropole. L'objectif de l'étude est de mieux comprendre la chimie et la composition des particules PM10 dans la région Hauts-de-France. Quatre stations (Nogent-sur-Oise, Lille, Amiens et Grande-Synthe) ont été sélectionnées en fonction de leur typologie d'implantation (stations urbaines et périurbaines), l'influence principale des concentrations mesurées (pollution de fond et mesures sous influence industrielle), et leur répartition territoriale. Les stations de Lille, Amiens, et Nogent-sur-Oise, qui mesurent la pollution de fond, sont réparties le long d'un axe Nord-Sud. Cet ensemble est complété par le site de Grande-Synthe, qui mesure la pollution sous influence industrielle.

**Les évolutions temporelles des PM10 pendant les 5 mois de la période d'étude sont similaires** pour les quatre stations étudiées, et ce malgré les distances qui séparent ces stations et malgré leurs différentes typologies. En moyenne journalière, la valeur maximale ( $89.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) a été observée sur le site de Grande-Synthe le 7 mai 2018.

**La composition chimique des particules est différente pour les quatre sites, mais la matière organique et le nitrate sont généralement les composés dominants en contribuant plus de 50% de la masse totale des particules PM10.** La période plus froide (janvier – mars) est généralement caractérisée par une forte influence de la combustion de la biomasse (chauffage au bois) par rapport à la période plus chaude (avril – mai), notamment en février, le mois le plus froid de la période d'étude. L'influence du chauffage au bois est plus importante à Nogent-sur-Oise que sur les autres sites. La contribution des métaux aux PM10 est relativement faible (2-4%) pour les 3 sites mesurant la pollution de fond (Amiens, Nogent-sur-Oise, et Lille). Elle est en revanche plus forte (10%) pour le site de Grande-Synthe, qui mesure la pollution sous influence industrielle.

**Les jours de dépassement de la valeur limite journalière en PM10 sont généralement caractérisés par une forte concentration de matière particulaire secondaire**, et touchent une grande partie du territoire des Hauts-de-France. En hiver, le chauffage au bois utilisé dans les environs des stations est une source importante, notamment à Nogent-sur-Oise. Au mois de mai, les jours de dépassement ne concernent que la zone littorale, et sont influencés par des sources régionales mais aussi locales.

D'autres travaux portant sur la caractérisation chimique des particules sont actuellement en cours ou en continu et en temps réel de la composition des particules. Un ACSM (*Aerosol Chemical Speciation Monitor*) est déployé à la station de Creil. Cet appareil permet de mesurer les composés organiques, le nitrate, le sulfate, l'ammonium et le chlorure des particules PM1 (taille inférieure à  $1 \mu\text{m}$ ). Des aéthalomètres (AE33) sont déployés à Creil, à Lille Fives, et à Lille Leeds afin de mesurer le black carbone. En perspectives, un analyseur OC/EC semi-continu permet de mesurer le carbone élémentaire et organique en temps quasi-réel ou/et un analyseur MARGE pourrait mesurer les composants des gaz et des aérosols en même temps.

**Cette étude doit également être complétée par l'analyse de la composition chimique des particules en d'autres points du territoire, dans d'autres configurations** (par exemple en proximité de trafic routier intense), **et durant d'autres périodes de l'année** (été et automne). L'analyse des concentrations mesurées peut également être approfondie par l'application de techniques analytiques telles que les modèles de type source-récepteur (e.g. *positive matrix factorization*) qui quantifient l'importance de différentes sources d'émissions.

# Annexes

## Annexe 1 : Glossaire

**µg/m<sup>3</sup>** : 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 : SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub> 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.

**MSA** : Acide méthylsulfonique.

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

**Ni** : Nickel.

**NH<sub>3</sub>** : Ammoniac.

**NO<sub>2</sub>** : Dioxyde d'azote.

**NO<sub>x</sub>** : Oxydes d'azote.

**O<sub>3</sub>** : 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.

**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.

**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.

**SO<sub>2</sub>** : Dioxyde de soufre.

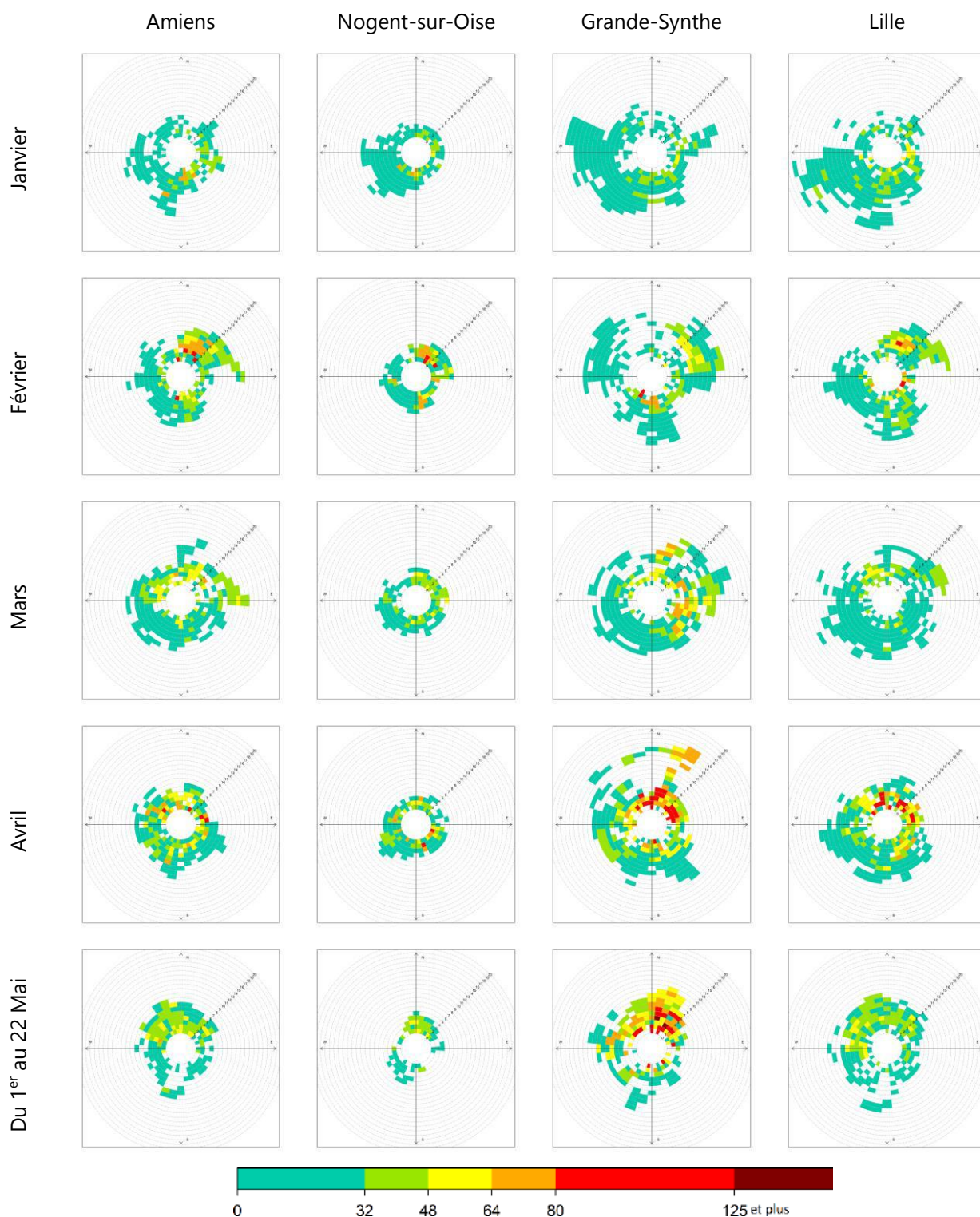
**Valeur cible** : Niveau à atteindre, dans la mesure du possible, dans un délai donné, et fixé afin d'éviter, de prévenir ou de réduire les effets nocifs sur la santé humaine ou l'environnement dans son ensemble.

**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.

## Annexe 2 : Stations de mesure et stations météo utilisées dans cette étude

Station de mesure (pollution atmosphérique)	Station de mesure (conditions météorologiques)
AM2 (Amiens Saint-Pierre)	MTAMGL (Météo France, Amiens-Glisy)
CR1 (Nogent-sur-Oise)	MTCREI (Météo France, Creil)
DKI (Grande-Synthe)	MTDUNK (Météo France, Dunkerque)
MC5 (Lille-Fives)	MTLESQ (Météo France, Lille-Lesquin)

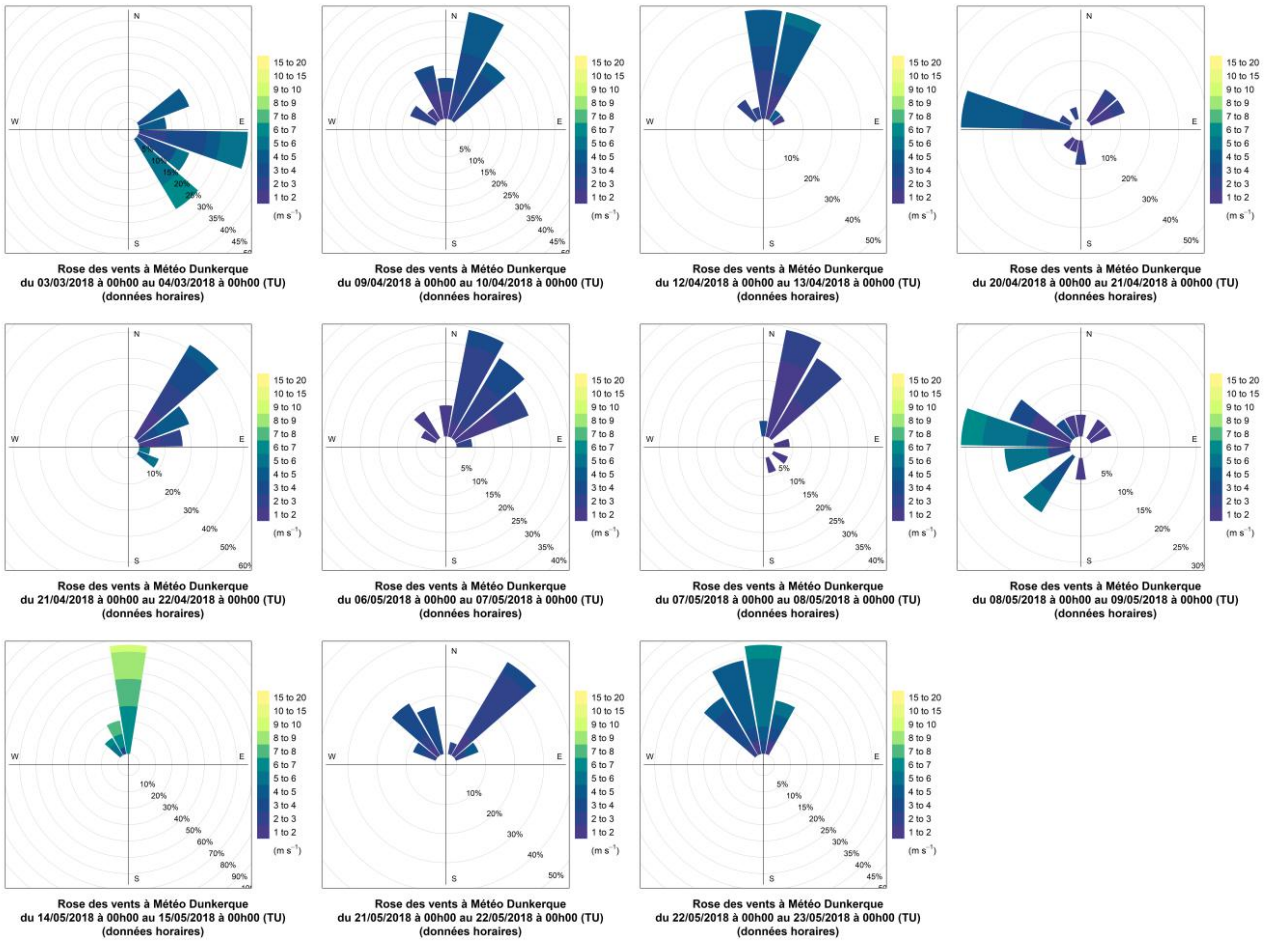
### Annexe 3 : Roses de pollution mensuelles basées sur les valeurs maximales



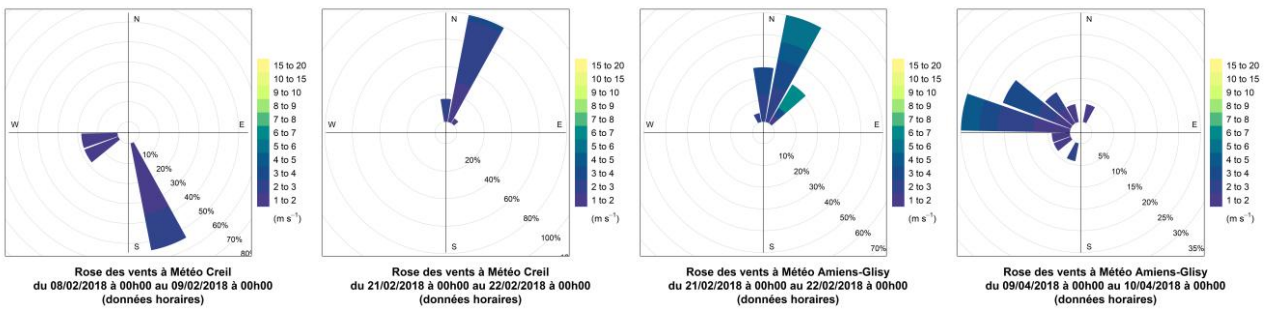
Sur ces roses de pollution, la couleur de chaque case indique la valeur maximale des concentrations horaires en PM10 observées pour la vitesse et direction de vent indiquées par la position de la case sur la rose. Une case éloignée du centre de la rose correspond à une vitesse de vent élevée. Les cases jaunes, oranges, et rouges indiquent donc les directions et les vitesses de vent pour lesquelles des concentrations élevées de PM10 ont été observées.

# Annexe 4 : Roses des vents pendant les jours de dépassement

## Grande-Synthe

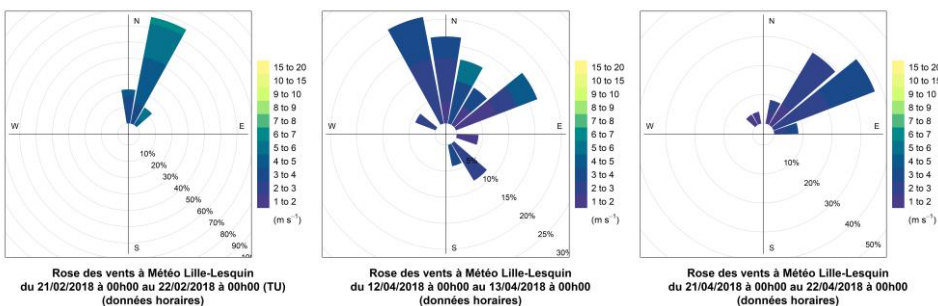


## Nogent-sur-Oise



## Amiens

## Lille



## Annexe 5 : 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 <sub>2</sub> )	125 µg/m <sup>3</sup> en moyenne journalière à ne pas dépasser plus de 3 jours/an		50 µg/m <sup>3</sup> en moyenne annuelle	300 µg/m <sup>3</sup> en moyenne horaire	500 µg/m <sup>3</sup> en moyenne horaire pendant 3 heures consécutives
	350 µg/m <sup>3</sup> en moyenne horaire à ne pas dépasser plus de 24 heures/an				
Dioxyde d'azote (NO <sub>2</sub> )	40 µg/m <sup>3</sup> en moyenne annuelle			200 µg/m <sup>3</sup> en moyenne horaire	400 µg/m <sup>3</sup> en moyenne horaire pendant 3 heures consécutives ou 200 µg/m <sup>3</sup> en moyenne horaire si déclenché la veille, le jour même et prévu pour demain
	200 µg/m <sup>3</sup> en moyenne horaire à ne pas dépasser plus de 18 heures/an				
Ozone (O <sub>3</sub> )		Protection de la santé 120 µg/m <sup>3</sup> 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 <sup>3</sup> en moyenne sur 8 heures glissantes	180 µg/m <sup>3</sup> en moyenne horaire	Seuil 1 : 240 µg/m <sup>3</sup> en moyenne horaire pendant 3 heures consécutives
		Protection de la végétation 18 000 µg/m <sup>3</sup> .h pour l'AOT40** (moyenne calculée sur 5 ans)	Protection de la végétation 6 000 µg/m <sup>3</sup> .h pour l'AOT40**		Seuil 2 : 300 µg/m <sup>3</sup> en moyenne horaire pendant 3 heures consécutives
Particules en suspension (PM10)	40 µg/m <sup>3</sup> en moyenne annuelle		30 µg/m <sup>3</sup> en moyenne annuelle	50 µg/m <sup>3</sup> en moyenne journalière	80 µg/m <sup>3</sup> en moyenne journalière
	50 µg/m <sup>3</sup> en moyenne journalière à ne pas dépasser plus de 35 jours/an				Sur persistance : 50 µg/m <sup>3</sup> en moyenne journalière prévue pour le jour même et le lendemain
Particules en suspension (PM2,5)	25 µg/m <sup>3</sup> en moyenne annuelle	20 µg/m <sup>3</sup> en moyenne annuelle	10 µg/m <sup>3</sup> en moyenne annuelle		
Monoxyde de carbone (CO)	10 mg/m <sup>3</sup> en moyenne sur 8 heures glissantes				
Benzène (C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> )	5 µg/m <sup>3</sup> en moyenne annuelle		2 µg/m <sup>3</sup> en moyenne annuelle		
Plomb (Pb)	0,5 µg/m <sup>3</sup> en moyenne annuelle		0,25 µg/m <sup>3</sup> en moyenne annuelle		
Arsenic (As)		6 ng/m <sup>3</sup> en moyenne annuelle			
Cadmium (Cd)		5 ng/m <sup>3</sup> en moyenne annuelle			
Nickel (Ni)		20 ng/m <sup>3</sup> en moyenne annuelle			
Benzo[a]pyrène (C <sub>20</sub> H <sub>12</sub> )		1 ng/m <sup>3</sup> 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/m<sup>3</sup> par heure) signifie la somme des différences entre les concentrations horaires supérieures à 80 µg/m<sup>3</sup> (= 40 parties par milliard) et 80 µg/m<sup>3</sup> 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](http://www.atmo-hdf.fr)

Atmo Hauts-de-France

Observatoire de l'Air

55, place Rihour

