

## INTRODUCTION

Les particules fines (PM<sub>2,5</sub>) sont responsables de 40 000 morts chaque année en France. Véritable enjeu de santé publique, le sujet est cependant complexe à cerner et vulgariser.

Les particules regroupent l'ensemble des composés solides ou liquides en suspension dans l'atmosphère. Elles sont émises par des sources naturelles ou anthropiques (issues des activités humaines) et se distinguent entre les particules primaires, qui sont émises directement dans l'atmosphère et les particules secondaires qui sont formées à partir de gaz dits précurseurs.

Les études montrent que les effets sanitaires des particules sont dépendants de leur nature, c'est-à-dire de leur composition chimique. Or, les particules PM<sub>10</sub> et PM<sub>2,5</sub> sont réglementées uniquement en fonction de leur masse, et non en fonction de leur composition chimique. Cet angle mort pose pourtant une question essentielle : de quoi sont composées les particules ?

ATMO Grand Est dispose d'un observatoire de la composition chimique des particules, complémentaire à la surveillance réglementaire. Cet observatoire permet de mieux identifier les sources de particules, et ainsi, mieux accompagner les actions des collectivités lors des pics de pollution particulaire.

Ce document présente :

- Les techniques utilisées dans le cadre de l'observatoire de la composition chimique et une définition synthétique des composés majoritaires des particules.
- Une vue d'ensemble de l'observatoire régional de mesures déployé par ATMO Grand Est et les programmes nationaux qui y sont liés.
- Une présentation des principaux résultats issus de cet observatoire incluant l'analyse des tendances (variabilité temporelle, variabilité spatiale).

## A. LA COMPOSITION CHIMIQUE DES PARTICULES

### *Deux techniques majeures pour l'analyse de la composition chimique des particules*

L'observatoire régional de la composition chimique des particules se base sur deux types de données majeures :

- Les analyses chimiques réalisées sur des filtres sur lesquels les particules ont été collectées (Figure 1, gauche).
- Les mesures en temps réel issues des analyseurs automatiques (Figure 1, droite).

Ces deux méthodes sont complémentaires. En effet, les analyses chimiques sont réalisées à posteriori mais permettent d'étudier une large gamme de composés. Les analyseurs automatiques permettent quant à eux d'avoir une donnée en temps réel sur les composés majoritaires des particules.



Figure 1 : Préleveur de filtres (gauche) et analyseurs automatiques (droite)

### **Les trois grandes familles des particules fines<sup>1</sup>**

- **Le carbone élémentaire**, composé primaire majoritairement constitué d'atomes de carbone, est principalement émis par les processus de combustion et notamment par le trafic routier.
- **La matière organique** est issue de sources anthropiques (trafic routier, chauffage...) et naturelles (débris de végétaux, particules secondaires issues de l'oxydation de composés naturels comme les terpènes...).
- **La matière inorganique :**
  - o **Le nitrate d'ammonium** est un composé inorganique secondaire formé dans l'atmosphère par la réaction entre les oxydes d'azote, principalement émis par le trafic routier, et l'ammoniac, principalement émis par l'agriculture. Sa formation dépend de la température. En effet, lorsque les températures dépassent 15-20°C les particules ne se forment plus dans l'atmosphère.
  - o **Le sulfate d'ammonium** est un composé inorganique secondaire formé dans l'atmosphère par la réaction entre le dioxyde de soufre, principalement émis par l'industrie, et l'ammoniac. Dans la région, il est peu formé localement donc il est principalement issu du transport longue distance.
  - o **Les sels marins** sont issus des embruns. Ces derniers sont d'autant plus marqués à proximité du littoral.
  - o **Les poussières minérales** regroupent des particules inorganiques naturelles liées à l'érosion des sols, aux poussières désertiques et aux particules anthropiques, notamment celles liées au trafic routier. Cependant, ces particules ne correspondent pas à la pollution engendrée par la combustion du carburant. Elles proviennent au contraire des émissions dites "hors échappement" (usure des pneus, usure des disques de freins...).

## **B. L'OBSERVATOIRE D'ATMO GRAND EST**

### **Deux programmes nationaux encadrent ces recherches**

La composition chimique des particules n'est pas réglementée mais cette thématique est suivie à travers deux programmes nationaux :

- Le [programme CARA](#) (CARActérisation chimique des particules) est dédié à la problématique. ATMO Grand Est dispose de 4 sites sur la région combinant des sites de prélèvements sur filtres des particules PM<sub>10</sub>, et des sites de mesures en temps réel.
- Le [programme MERA](#) (Mesure et Evaluation en zone Rurale de la pollution Atmosphérique longue distance) ayant pour objectif depuis les années 80 de caractériser la pollution de fond en zone rurale. Deux sites de prélèvements sur filtre des particules PM<sub>2,5</sub> de la région font l'objet de mesures depuis 2018 (Revin (08) et Donon (67)), après un changement du site de Jonville (55) pour le site du Donon.

---

<sup>1</sup> LCSQA, Evolution long terme de la composition chimique des PM<sub>2,5</sub> en France MERA, 2020

## Le suivi régional

Le suivi régional de la composition chimique des particules fines s'appuie principalement sur les deux programmes nationaux MERA et CARA auxquels s'ajoutent :

- Le suivi régional des métaux réglementés dans les particules (directive 2008/50/CE).
- Des projets régionaux spécifiques intégrant des mesures de la composition chimique des particules.

ATMO Grand Est dispose ainsi d'une base de données qui regroupe plus de 45 000 analyses de composition chimique des particules depuis 2010 (Figure 2).

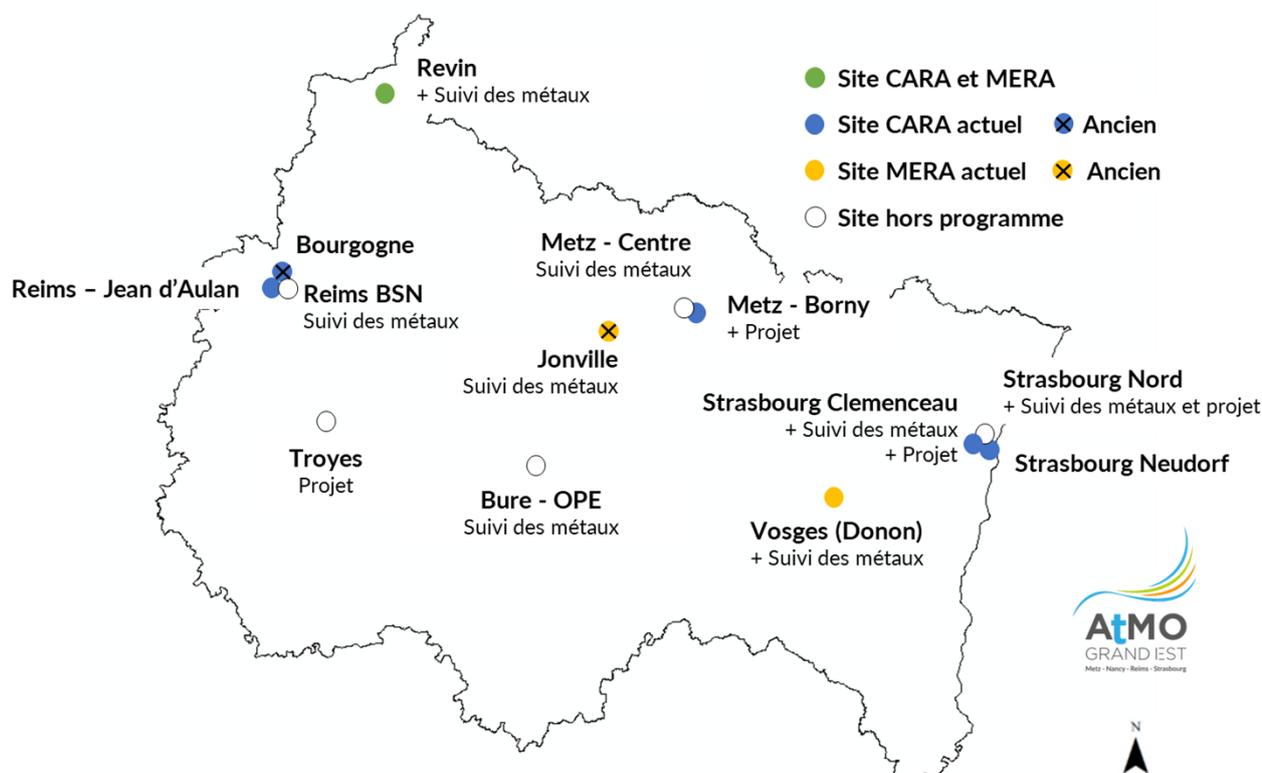


Figure 2 : Cartographie des sites de données de la composition chimique des PM

Dans la suite de ce document, les données historiques de composition chimique des particules fines (PM<sub>2,5</sub>) disponibles sont exploitées sur 4 sites régionaux :

- 2 sites ruraux nationaux, c'est-à-dire éloignés d'au moins 50 km de toutes sources : Revin et Donon, les deux sites actuels du programme MERA.
- 1 site rural régional, éloigné entre 10 à 50 km de toutes sources : Jonville, anciennement site MERA.
- 1 site urbain de fond : Metz.

## C. COMPOSITION CHIMIQUE DES PARTICULES FINES DANS LE GRAND EST

Les principales études menées par ATMO Grand Est ces dernières années se distinguent en deux points stratégiques :

- La composition moyenne des particules fines et la variabilité entre sites.
- La variabilité mensuelle et annuelle de la composition des particules fines.

### 1. Zoom sur la composition moyenne des particules fines

Les particules fines sont majoritairement composées de matière organique (41-59%) et de particules inorganiques secondaires de nitrate et sulfate d'ammonium (34-48%) quels que soient le site ou la période (Figure 3). Cette composition est habituellement rencontrée sur les sites nationaux<sup>1</sup>, Revin et Donon.

Les graphiques ci-dessous mettent en évidence que la part des espèces majoritaires varie en fonction des sites : la part de carbone élémentaire et la part de poussières minérales sont plus importantes pour les sites de Metz et Jonville qui sont plus influencés par les sources. Toutefois, les périodes de mesure variant d'un site à l'autre, une comparaison plus exhaustive des sites sur des périodes communes est présentée dans le paragraphe suivant.

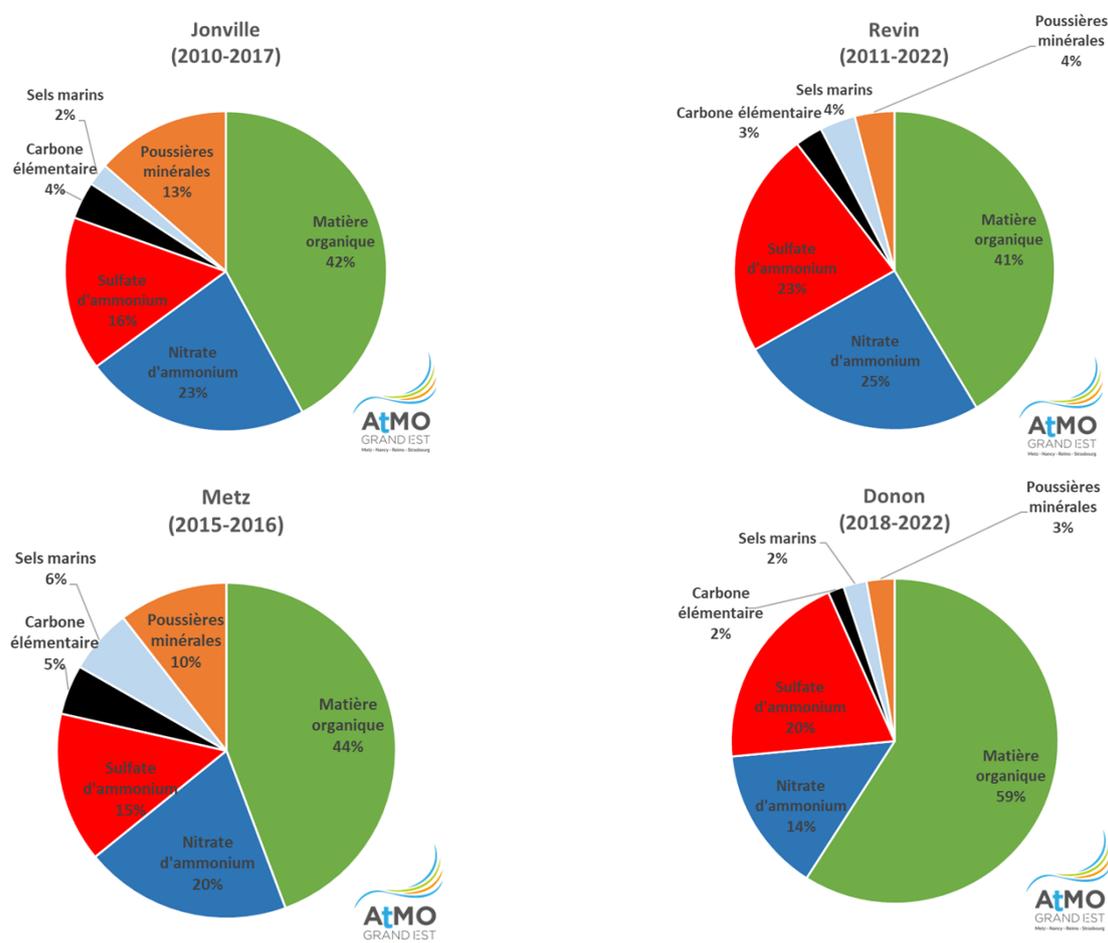


Figure 3 : Composition chimique moyenne des particules fines pour chaque site

## 2. Variabilité spatiale : différences et points communs entre sites

L'analyse des particules relevées sur les différents sites à la même période permet la comparaison des sites entre eux. Deux variables sont observées : les niveaux et la composition chimique.

- La période 2015-2016 (Figure 4, gauche) met en évidence :
  - o **Des niveaux en particules totaux 40 à 45% plus faibles à Revin par rapport à Jonville et Metz.** Cet écart est cohérent avec l'éloignement du site de Revin des sources de particules anthropiques.
  - o **La composition chimique des particules est également plus proche entre les sites de Metz et Jonville par rapport à Revin.** Les particules primaires (carbone élémentaire, matière organique et poussières minérales) présentent les écarts les plus importants entre sites.
- La période 2018-2022 (Figure 4, droite) met en évidence :
  - o **Des niveaux assez similaires** entre les deux sites ruraux nationaux Donon et Revin.
  - o **La composition chimique reste proche entre les deux sites.** La principale différence observée concerne le nitrate d'ammonium, composé secondaire dont la formation est plus limitée sur le site du Donon, à proximité duquel les émissions d'ammoniac restent faibles. De plus, le site du Donon étant situé dans le massif des Vosges, l'altitude peut également contribuer à freiner la formation de particules secondaires, notamment par la limitation du transport des polluants longue distance. Ce phénomène a déjà été observé sur des sites de la vallée alpine<sup>2</sup>.

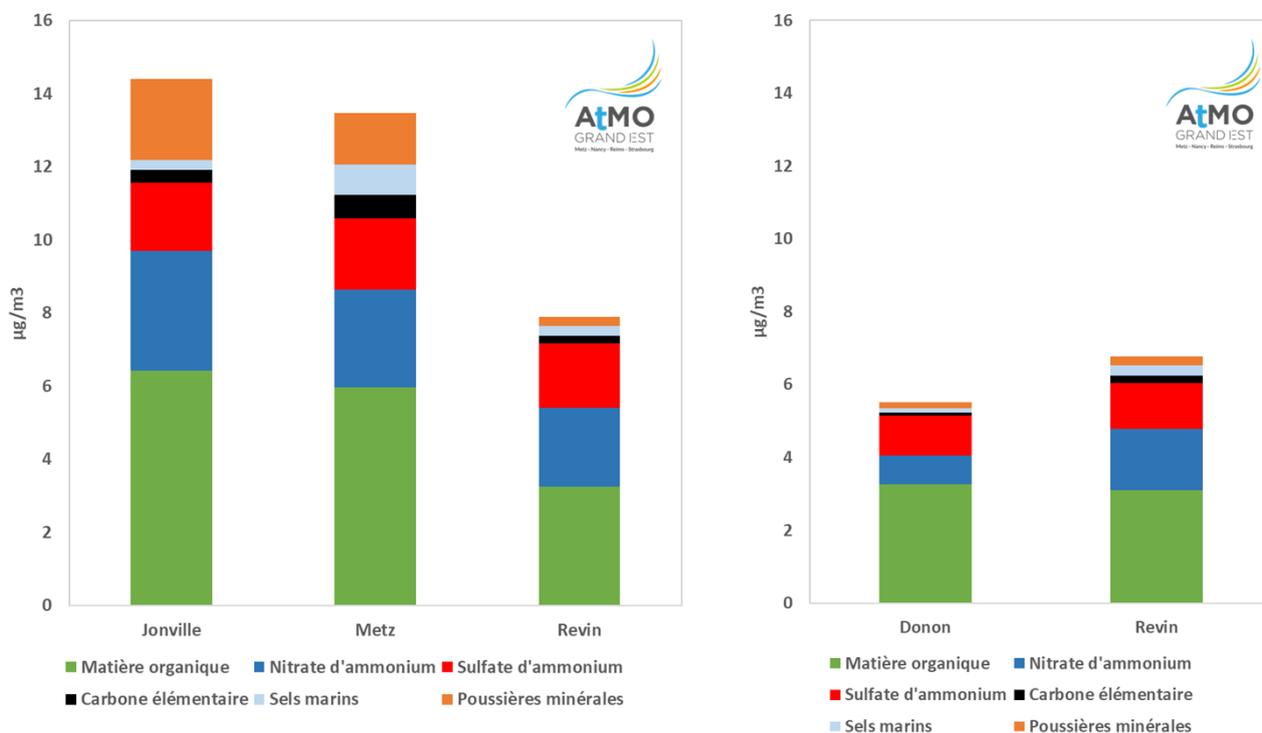


Figure 4 : Composition chimique des particules fines sur différents sites en 2015-2016 (gauche) et 2018-2022 (droite)

<sup>2</sup> LCSQA, Variations spatio-temporelles des espèces chimiques majeures et de composés traces des PM<sub>10</sub> en France métropolitaine, 2017

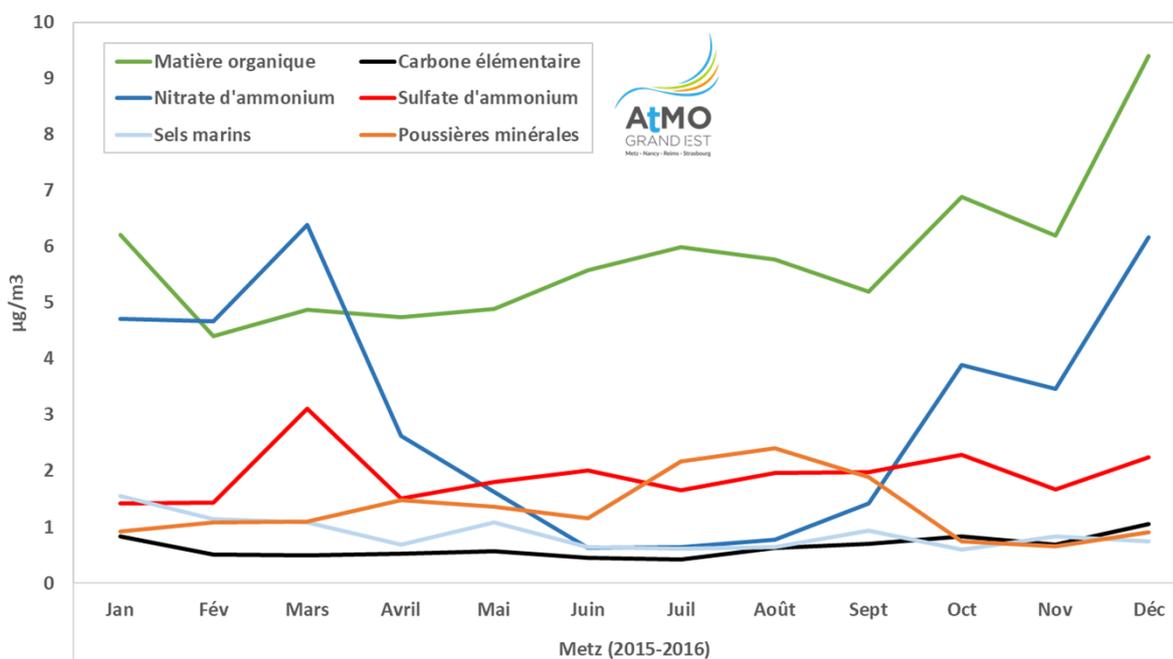
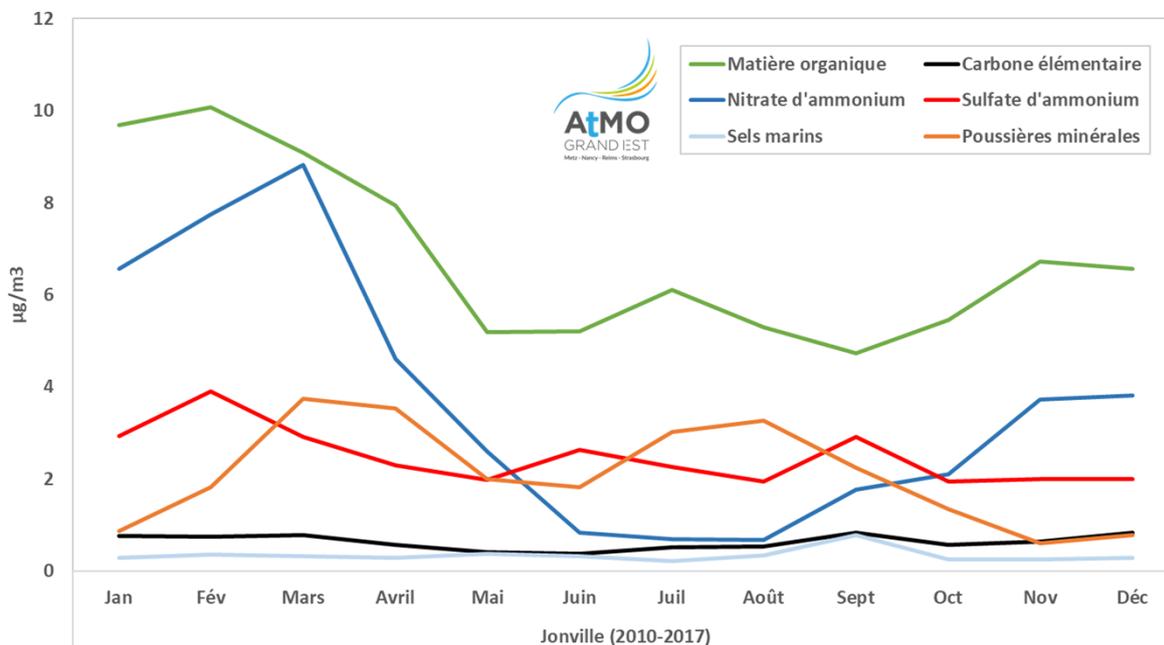
### 3. Variabilité mensuelle : l'évolution de la composition chimique sur une année

Les composés majeurs des particules fines n'évoluent pas tous de la même manière en fonction de leurs sources ou des réactions dans l'atmosphère et présentent donc une variation mensuelle plus ou moins marquée.

Composé	Matière organique	Nitrate d'ammonium	Poussières minérales
<b>Niveaux</b>	Domine la composition des particules fines sur la majorité des mois.	Souvent 2 <sup>ème</sup> composé après la matière organique mais peut aussi être le plus élevé au printemps.	Niveaux moyens pour les sites influencés par l'activité humaine et faibles pour les sites peu influencés.
<b>Variabilité</b>	Maximums en hiver notamment à Metz et Jonville (chauffage, trafic routier) et pics estivaux en juillet notamment au Donon (particules organiques secondaires).	Variabilité la plus marquée : maximums observés en mars pour tous les sites. Minimums très faibles en période estivale.	Maximums observés en période estivale.
<b>Origines</b>	En période hivernale : sources de combustion comme le chauffage et la surémission des moteurs (trafic routier). En période estivale : formation de particules organiques secondaires à partir des composés organiques volatils (COV) biogéniques.	Composé secondaire formé à partir de l'ammoniac : fortement émis au printemps et en été/début d'automne par les activités agricoles d'épandage.	Particules hors échappement toute l'année et activités agricoles, érosion des sols.
<b>Influence des conditions atmosphériques</b>	En période hivernale : épisodes anticycloniques permettent l'accumulation des particules émises par la combustion. En période estivale : l'activité photochimique favorise la formation des particules organiques secondaires.	Au printemps : conditions météorologiques (épisodes anticycloniques avec soleil et faibles températures) permettent sa formation. En période estivale : les températures trop élevées ne permettent pas sa formation même si de l'ammoniac est émis.	Période estivale : Remise en suspension des particules favorisée par les conditions atmosphériques plus sèches.

Le carbone élémentaire, le sulfate d'ammonium et les sels marins présentent une variation mensuelle peu marquée.

Ces variations sont globalement similaires à ce qui avait été observé par le LCSQA en 2020 sur la période 2011-2019<sup>1</sup>.



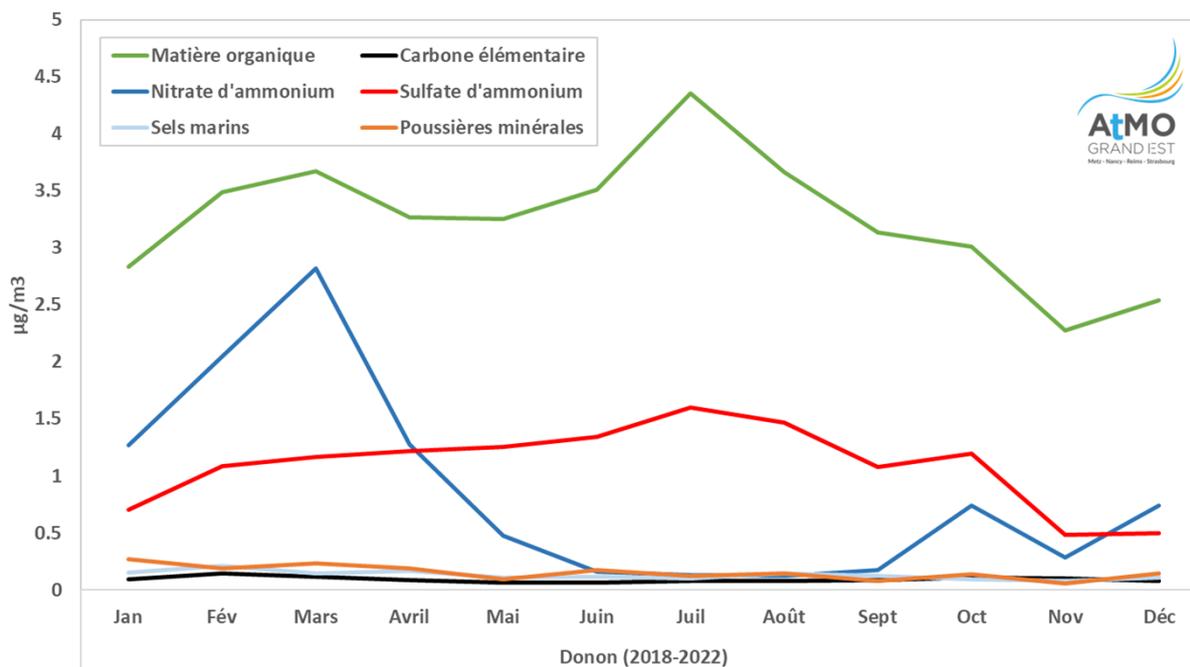
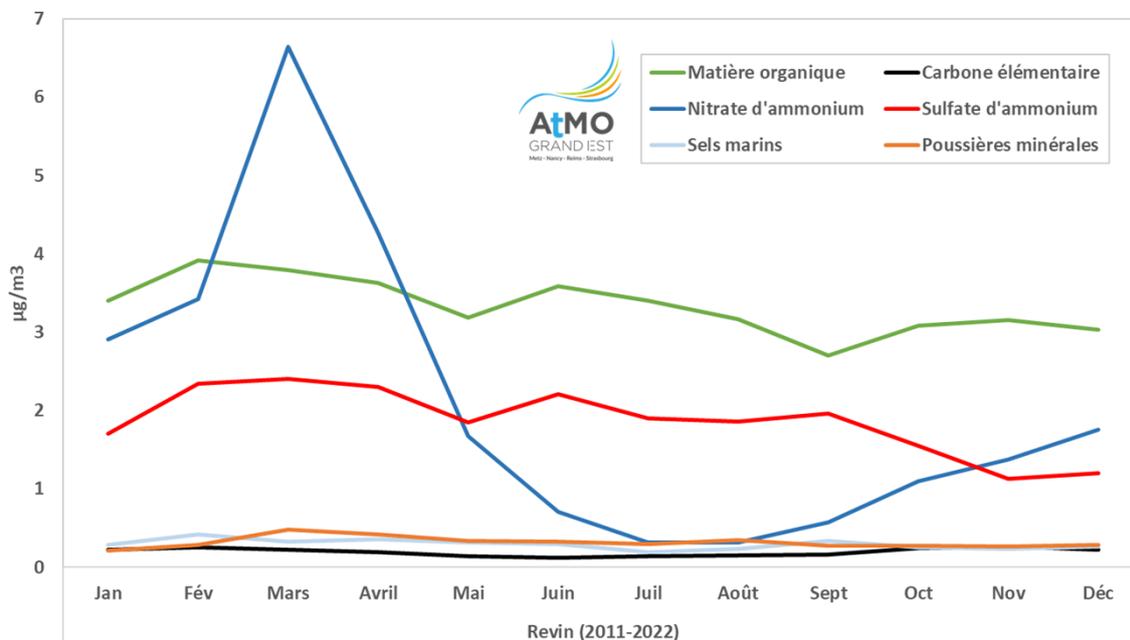


Figure 5 : Variations mensuelles des composés majeurs pour chaque site

#### 4. Tendances annuelles : 10 ans d'analyse en chiffres-clés

Les tendances annuelles ont été estimées à Revin pour se baser sur au moins 10 années de mesure :

- Les PM<sub>2,5</sub> présentent une tendance à la baisse significative ( $p$ -value  $\leq 0.05$ ) de -36% entre 2011 et 2022. La même tendance est observée pour la majorité de ces composés :
  - o Le sulfate d'ammonium (-58%),
  - o Le carbone élémentaire (-53%),
  - o Les poussières minérales (-46%),
  - o Le nitrate d'ammonium (-35%)
  - o La matière organique (-22%)
- Seuls les sels marins ne sont pas associés à une baisse ou une hausse significative.

Ces tendances sont globalement similaires à ce qui avait été observé par le LCSQA en 2020 sur la période 2011-2019<sup>1</sup>.

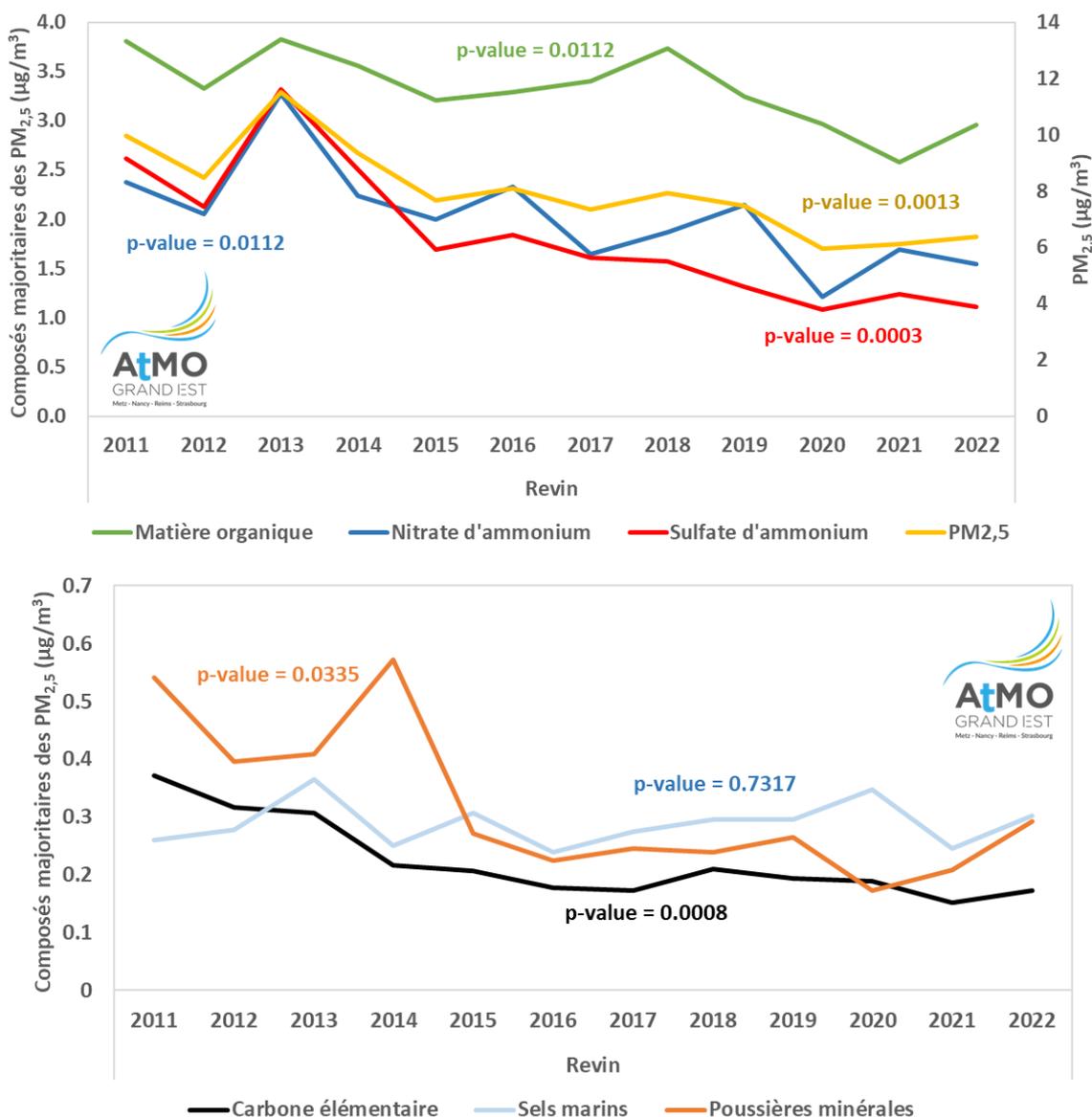


Figure 6 : Evolution annuelle des composés majoritaires et des PM<sub>2,5</sub> et étude des tendances (test de Mann-Kendall avec  $p$ -value) entre 2011 et 2022 sur le site Revin

 <p>AtMO GRAND EST Metz - Nancy - Reims - Strasbourg</p>	<p><b>Etude de la composition chimique des particules PM<sub>2,5</sub> dans la région Grand Est</b></p>	<p>ENJEM-EN-082 Indice : 2 Page 10 / 10</p>
---	---	---

## CONCLUSION : CE QU'IL FAUT RETENIR

De quoi sont composées les particules fines ?

- Les particules fines sont principalement composées de matière organique (41-59%), issue de sources naturelles et anthropiques, et de composés inorganiques secondaires (nitrate d'ammonium et sulfate d'ammonium, 34-48%), formés dans l'atmosphère par des gaz précurseurs notamment émis par le trafic routier et l'agriculture.
- Une variabilité spatiale peut être observée en fonction des sites avec des niveaux en particules primaires (matière organique, carbone élémentaire et poussières minérales) plus importantes pour les sites à proximité de sources (zone urbaine).
- Certains composés des particules fines présentent une variabilité saisonnière très marquée, notamment le nitrate d'ammonium avec une hausse observée au printemps et de faibles niveaux en période estivale.
- Les particules fines et leurs composés majoritaires sont associés à une tendance à la baisse significative depuis 10 ans. Selon la composition chimique des particules, la diminution est toutefois différente, mettant en évidence la mise en place d'actions dépendantes des sources d'émission.

Mieux comprendre la composition chimique des particules permet de mieux identifier leur(s) source(s) et ainsi de mieux cibler les actions à mettre en place en cas d'épisode de pollution. La variabilité spatiale et la variabilité saisonnière soulignent l'importance d'un observatoire en temps réel de la composition chimique des particules fines en complément de la surveillance réglementaire. Cette meilleure compréhension des particules permet de soutenir le personnel d'astreinte lors des épisodes de pollution (augmentation locale, apport de particules désertiques...) et de construire des campagnes exploratoires ciblées.