

ÉVOLUTION SUR LE LONG TERME DE LA COMPOSITION CHIMIQUE DES $PM_{2.5}$

1. Les composantes majoritaires des PM_{2,5} en zone rurale de fond

Les PM_{2,5} sont majoritairement constituées de **particules carbonées**, d'**espèces inorganiques secondaires**, de **sels de mer** et de **poussières minérales**. Ces composantes majoritaires des PM_{2,5} peuvent être reliées à des familles de sources et peuvent permettre d'estimer l'impact de ces sources sur la masse totale des PM_{2,5}. Certaines de ces composantes majoritaires des PM_{2,5} sont mesurées **directement** par **analyses chimiques**, d'autres nécessitent d'être **estimées** de manière plus ou moins directe à l'aide de facteurs de conversion*. La Figure 1 présente la composition chimique moyenne des PM_{2,5} mesurées sur les 6 stations de l'observatoire MERA.

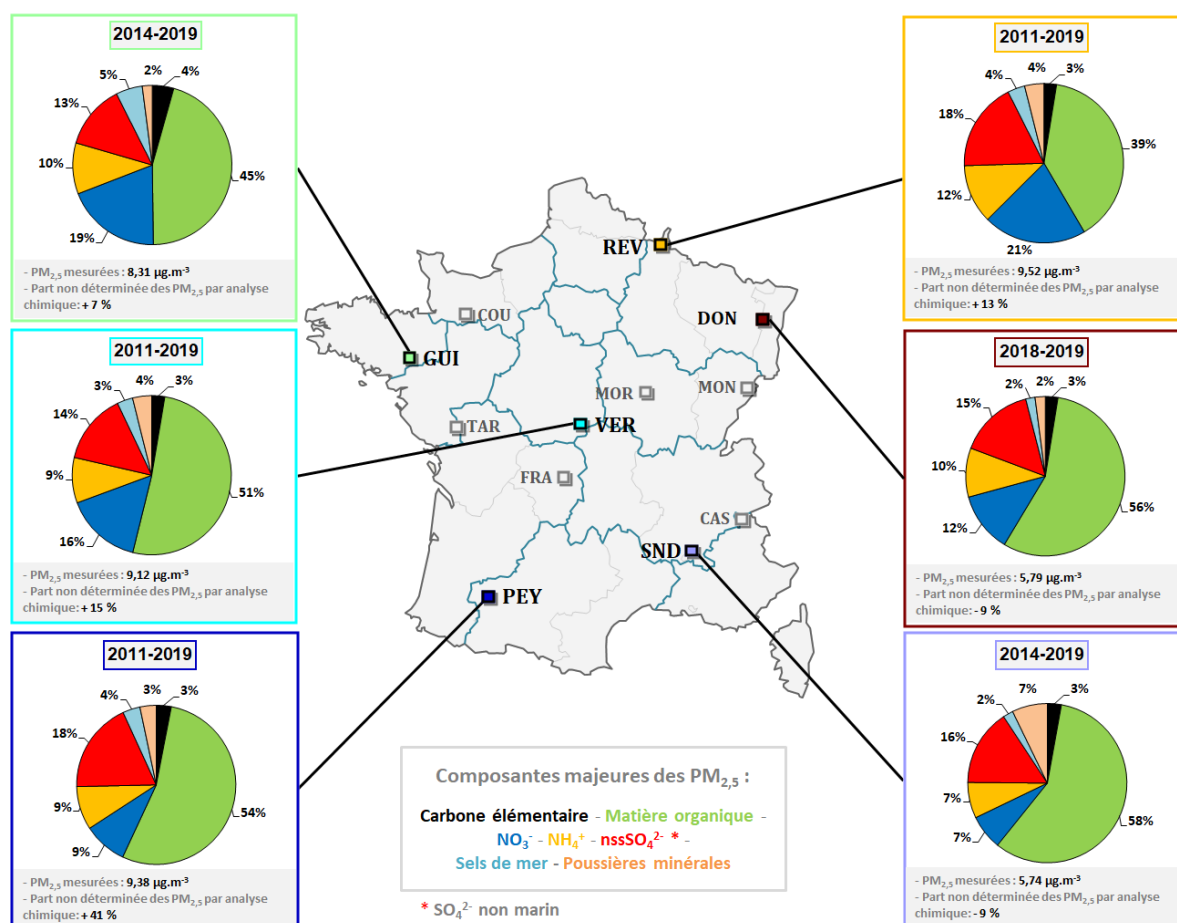


Figure 1 : Composition relative moyenne des PM_{2.5}

* Pour plus d'information sur les calculs ou sur les estimations réalisés pour obtenir les concentrations de certaines des composantes majeures des PM_{2,5}, voir dans les sections 1.1 à 1.3 de la présente fiche.

Des compositions chimiques des $PM_{2,5}$ **similaires** ont été observées à ces stations, pouvant indiquer que les concentrations massiques en $PM_{2,5}$ en zone rurale de fond sont **globalement influencées par les mêmes sources et/ou processus**. La contribution des composantes majoritaires aux $PM_{2,5}$ sera discutée dans la suite de cette section. En outre, comme le recommande le processus de validation des données d'analyse chimique des particules atmosphériques défini par le LCSQA [1] (cf. Section 5), un **exercice de fermeture chimique** est réalisé chaque année et consiste à comparer la somme des masses de chacune des composantes majeures mesurées (ou estimées) à la masse totale des $PM_{2,5}$ mesurée de façon indépendante. Il est à noter qu'il existe différentes sources d'incertitude, liées aux techniques de prélèvement et d'analyse ainsi qu'aux hypothèses d'estimation des concentrations de certaines des composantes majeures, ce qui peut en partie expliquer les parts non déterminées des $PM_{2,5}$ par analyse chimique présentées en Figure 1.

1.1 Les particules carbonées

Le **carbone élémentaire (EC)** est constitué quasi-exclusivement d'atomes de carbone et sa structure s'apparente à celle du graphite impur (i.e., très légèrement fonctionnalisé). Il est **émis** directement dans l'atmosphère par les **processus de combustion**, en particulier les **transports routiers et maritimes** et le chauffage résidentiel, et les **émissions industrielles**. L'EC a contribué aux $PM_{2,5}$ mesurées aux stations MERA de l'ordre de **3 à 4 %** en moyenne, la plus large fraction ayant été observée à la station de **Guipry**.

La **matière organique (OM)** peut être **émise directement** dans l'atmosphère par des **sources anthropiques** (les processus de combustion dont le trafic routier) et **naturelles** (les débris de végétaux, le pollen ou les bactéries ...) et peut également résulter de **mécanismes de transformations secondaires** impliquant notamment des **composés organiques volatils (COV)**. L'OM est constituée d'une multitude d'espèces chimiques, dont le nombre et les concentrations individuelles sont impossibles à quantifier dans leur intégralité. En conséquence, les concentrations en OM ne sont généralement pas mesurées directement sur filtres. Elles sont plutôt estimées en multipliant les concentrations en **carbone organique (OC)** par un facteur de correction (OM/OC), permettant de prendre en compte le **niveau de fonctionnalisation** du carbone organique dans l'aérosol. En **zone rurale de fond**, on s'attend à trouver un **aérosol organique âgé** et donc **plus fonctionnalisé** c'est pourquoi un **facteur de correction de 1,8** a été défini par le LCSQA** et est appliqué aux concentrations en OC pour estimer celles en OM en zone rurale de fond. Les $PM_{2,5}$ mesurées aux stations MERA sont majoritairement composées d'OM, à hauteur de **39 % (Revin) à 58 % (Saint-Nazaire-le-Désert)**. Les stations situées le plus au **nord** et à l'**ouest** de la France (Revin et Guipry, respectivement) présentent des **contributions de l'OM** aux $PM_{2,5}$ **moins importantes** comparées à celles situées plus au **sud** (Peyrusse Vieille et Saint-Nazaire-le-Désert) et à l'**est** (Donon).

1.2 Les espèces inorganiques primaires

Les **sels de mer**, communément notés « *sea salt* », sont principalement constitués de **chlorure de sodium (NaCl)**. Le **sodium (Na⁺)** est plus usuellement utilisé comme **traceur** de cette composante particulière que le **chlore (Cl⁻)** dans la mesure où le chlore peut se volatiliser sous forme d'acide chlorhydrique ou être issu d'autres sources, industrielles notamment. Néanmoins, Na⁺ peut être émis par d'autres sources, telles que les sources de combustion et les poussières minérales. Un **rapport** des concentrations entre Na⁺ et le **magnésium (Mg²⁺)** (composé également présent dans les sels de mer et mesuré sur filtres) proche de celui de l'**eau de mer** (soit un rapport des équivalents proche de **0,23** selon la procédure de validation de la composition chimique des $PM_{2,5}$ définie par le LCSQA**) permet de raisonnablement justifier l'utilisation de Na⁺ comme traceur des sels de mer. La concentration en sels de mer peut être alors estimée comme étant le triple de la concentration en Na⁺ en zone rurale de fond selon le LCSQA**. Les sels de mer mesurés aux stations MERA contribuent aux $PM_{2,5}$ de l'ordre de **2 à 5 %** en moyenne, la plus large fraction ayant été observée à la station de **Guipry**.

Les **poussières minérales**, communément notées « *dust* », peuvent être **d'origine terrigène**, tels que l'érosion des sols et les poussières désertiques, ou bien **d'origine anthropique** (les processus d'abrasion par exemple) et sont principalement formées d'aluminium, silicium, fer et **calcium (Ca²⁺)**. Minoritairement émis par des sources d'origine anthropique (la cimenterie par exemple), le **calcium non marin** (« $nssCa^{2+}$ ») se calcule par différence

** Les facteurs de conversion et les rapports d'équivalence utilisés pour estimer les concentrations en matière organique, sels marins et poussières minérales sont ceux issus du fichier Excel distribué et discuté lors d'un GT LCSQA [1].

entre le **calcium total** (Ca^{2+} mesuré directement lors des analyses chimiques des filtres) et le **calcium d'origine marine** (« ssCa^{2+} ») et peut être utilisé comme **traceur** pour les poussières minérales [2,3]. La contribution des **sels de mer** aux concentrations en ssCa^{2+} peut être estimée en considérant le fait que la **quantité de Ca^{2+}** présente dans l'**eau de mer** correspond à environ **3,9 % [4]** de celle en Na^+ . En zone rurale de fond, les concentrations en poussières minérales, s'estiment en appliquant un **facteur de conversion de 8** aux concentrations en nssCa^{2+} selon les recommandations du LCSQA [1] concernant l'analyse de la composition chimique des $\text{PM}_{2,5}$. Les poussières minérales mesurées aux stations MERA contribuent aux $\text{PM}_{2,5}$ de l'ordre de **2 à 7 %** en moyenne, la plus large fraction ayant été observée à la station de **Saint-Nazaire-le-Désert** alors que les contributions sur les stations en **façade atlantique** et à l'**est** de la France étaient **plus faibles**.

1.3 Les espèces inorganiques secondaires

Au sein des particules fines, le nitrate et le sulfate sont majoritairement associés à l'ammonium, respectivement sous la forme de **nitrate d'ammonium** (NH_4NO_3), et de **sulfate d'ammonium** (NH_4HSO_4 ou $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$). Ils sont issus de **mécanismes de formation secondaire** impliquant l'oxydation de leurs **précurseurs gazeux** (les oxydes d'azote - NO_x et le dioxyde de soufre - SO_2 , respectivement) et la combinaison des **produits d'oxydation** avec l'**ammoniac** (NH_3).

Leur formation dépend donc des niveaux de concentrations de leurs **précurseurs gazeux**. NH_3 est très majoritairement issu des **activités agricoles** en zone rurale, et dans une moindre mesure du **trafic automobile** en zone urbaine. Le **transport routier** est également considéré comme le premier émetteur de NO_x à l'échelle nationale. Le SO_2 est principalement émis par l'utilisation d'**hydrocarbures** et de **combustibles fossiles soufrés** (tels que le fioul lourd et le charbon) pour la **production d'énergie** (les centrales thermiques), les **transports maritimes** ainsi que certaines **activités industrielles** (telle que la pétrochimie) et des **sources naturelles** (les éruptions volcaniques et le sulfure de diméthyle - DMS - émis par le phytoplancton).

La formation de ces espèces inorganiques secondaires dépend également des **conditions météorologiques**. Le **nitrate d'ammonium** constitue une espèce **semi-volatile** en équilibre entre la phase gazeuse et la phase particulaire, et sa répartition entre phases est fonction de la **température** et de l'**hygrométrie** ambiantes. En revanche, le **sulfate d'ammonium** n'est pas semi-volatile. Il est donc **plus stable en phase particulaire**, et peut être directement **transporté** sur de longues distances. En outre, des conditions de fort **ensoleillement** sont propices à l'**oxydation du SO_2** et donc à la **formation** de **sulfate d'ammonium**.

Les méthodes d'analyse classiquement utilisées ne permettent pas de mesurer directement les concentrations en nitrate d'ammonium et sulfate d'ammonium. En revanche, les concentrations en **nitrate (NO_3^-)**, **ammonium (NH_4^+)** et **sulfate (SO_4^{2-})** sont obtenues **séparément** par analyses chimiques des filtres prélevés. En outre, le SO_4^{2-} peut être d'**origine marine**, c'est pourquoi il est usuel de distinguer le **sulfate marin** (« ssSO_4^{2-} ») du **sulfate non marin** (« nssSO_4^{2-} ») d'**origines variées** (i.e. le sulfate issu de sources anthropiques, la dégradation du DMS émis par le phytoplancton, des émissions volcaniques, etc...). Ainsi, seul le nssSO_4^{2-} est considéré être un composé inorganique secondaire. La contribution des **sels de mer** aux concentrations en ssSO_4^{2-} peut être estimée en considérant le fait que la quantité de SO_4^{2-} présente dans l'**eau de mer** correspond à environ **25,1 % [4]** de celle de Na^+ . Les concentrations en nssSO_4^{2-} se déduisent donc en retranchant les concentrations en ssSO_4^{2-} aux concentrations totales en SO_4^{2-} .

Les $\text{PM}_{2,5}$ mesurées aux stations MERA sont composées d'espèces inorganiques secondaires à hauteur de **30 à 51 %** et qui sont majoritairement constituées de nssSO_4^{2-} et de NO_3^- . Les stations MERA situées les plus au **nord** et à l'**ouest** de la France (Revin et Guipry, respectivement) présentent des contributions en espèces inorganiques secondaires plus **importantes** comparées à celles des sites les plus au **sud** (Peyrusse Vieille et Saint-Nazaire-le-Désert) et à l'**est** de la France (Donon), en lien avec les contributions respectives de NO_3^- aux $\text{PM}_{2,5}$ (en moyenne de 20 % sur Revin et Guipry contre 8 % plus au sud pour Peyrusse Vieille et Saint-Nazaire-le-Désert et 12 % à Donon). De la même manière, les contributions de NH_4^+ aux $\text{PM}_{2,5}$ sont légèrement plus fortes dans les stations situées au nord et à l'ouest de la France que dans celles plus au sud (en moyenne 11 % sur Revin et Guipry contre 8 % pour Peyrusse Vieille et Saint-Nazaire-le-Désert).

2. Variations annuelles des composantes majeures des PM_{2,5}

La Figure 2 compare les variations annuelles des **concentrations massiques en PM_{2,5} mesurées** (cf. Aparté n°1) aux stations MERA où sont mesurées les **composantes majeures des PM_{2,5}** afin de mieux comprendre les **déterminants** de ces variations (Figure 3). Les **tendances annuelles** des concentrations massiques en PM_{2,5} et de ses composantes majeures des stations disposant d'au moins 6 années d'observation ont été évaluées suivant les **tests non-paramétriques de Mann-Kendall et Sen-Theil** (cf. note méthodologique MERA [5]). Les tendances identifiées par ces tests seront consolidées par la suite, dès l'obtention de bases de données d'au moins 10 années de mesure.

Globalement, les concentrations massiques en PM_{2,5} mesurées aux 6 stations sont du **même ordre de grandeur**, même si de plus faibles concentrations ont été observées à Saint-Nazaire-le-Désert. Ces concentrations ont **diminué depuis 2011**, de l'ordre de -9 % an⁻¹ (Revin) à -6 % an⁻¹ (Verneuil et Guipry).

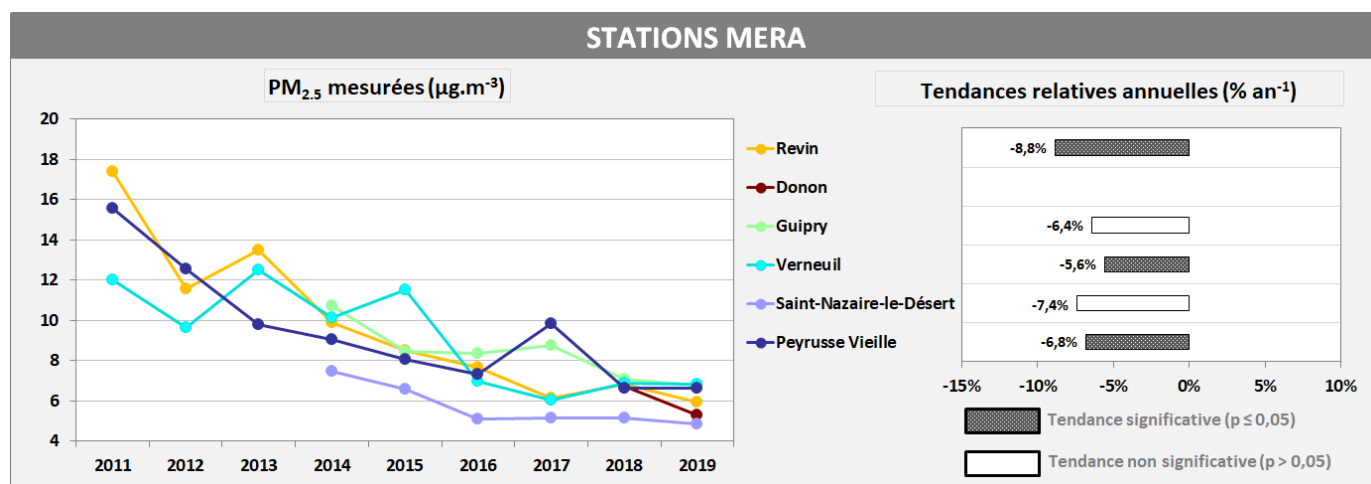


Figure 2 : Variations annuelles des concentrations massiques en PM_{2,5} mesurées aux stations MERA (à gauche - cf. Aparté n°1) - Tendances relatives annuelles (à droite—cf. Note méthodologique MERA [5])

Les variations des concentrations en PM_{2,5} sont sensibles aux variations annuelles des concentrations en **OM** et en **composés inorganiques secondaires** (Figure 3). Les concentrations en **composés inorganiques secondaires** ont sensiblement **diminué** ces dernières années (des baisses de -10 % an⁻¹ à -3 % an⁻¹ ont été observées aux stations) ainsi que celles du **carbone élémentaire**, des **poussières minérales** et des **sels marins** (des baisses de -24 % an⁻¹ à -0,2 % an⁻¹ ont été observées aux stations). En revanche, les concentrations en OM ont diminué à Verneuil, Saint-Nazaire-le-Désert et Donon (baisses comprises entre -5 et -2 % an⁻¹ à Verneuil et Saint-Nazaire-le-Désert) alors qu'elles ont augmenté à Guipry, Revin et Peyrusse-Vieille (hausse comprises entre 1 et 3 % an⁻¹). En conséquence, la **contribution relative de l'OM** aux PM_{2,5} a globalement **augmenté** au fil des années alors que celles des **composés inorganiques secondaires** ont **diminué**.

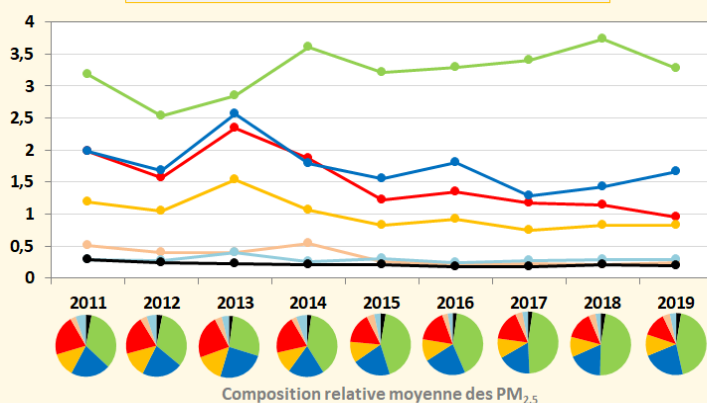
APARTÉ N°1 : Précisions sur les concentrations massiques en PM_{2,5} considérées dans cette fiche

Comme le présente la fiche détaillant le [programme de mesure](#) de l'observatoire MERA, les concentrations en PM_{2,5} sont mesurées en continu en mode quart-horaire sur 10 stations et les mesures sont ensuite agrégées en données horaires alors que les prélèvements des PM_{2,5} de 24 heures sont réalisés tous les 6 jours sur 6 stations. En conséquence, pour permettre des rapprochements entre les concentrations massiques en PM_{2,5} mesurées par analyseurs automatiques de PM aux stations MERA où sont mesurées les composantes majeures des PM_{2,5}, les concentrations massiques annuelles/mensuelles des PM_{2,5} considérées dans cette fiche ont été restreintes aux jours où des prélèvements des PM_{2,5} ont été réalisés et ont été agrégées sur 24 h.

L'étude complète des concentrations massiques en PM_{2,5} mesurées en continu et en mode horaire est présentée dans la fiche MERA « [Evolution sur le long terme des concentrations massiques des particules en suspension](#) ».

REVIN

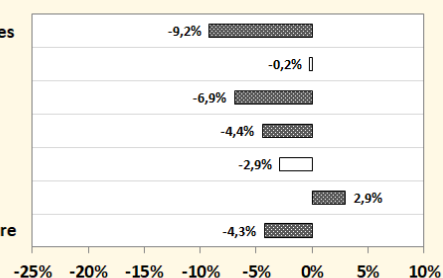
Variations annuelles des concentrations ($\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$)



Composantes majeures des $\text{PM}_{2,5}$



Tendances relatives annuelles (% an^{-1})

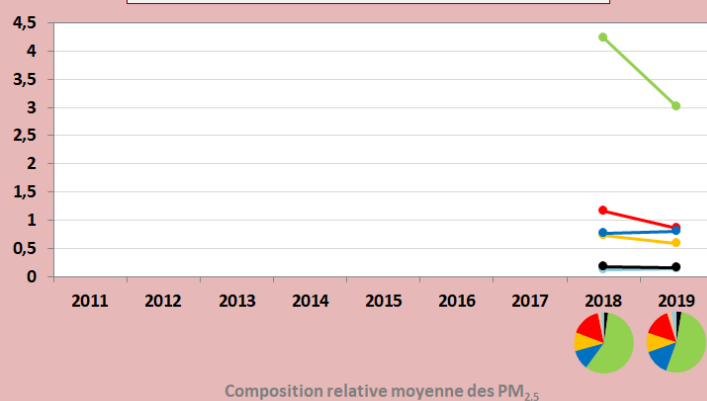


Tendance significative ($p \leq 0,05$)

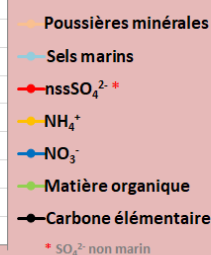
Tendance non significative ($p > 0,05$)

DONON

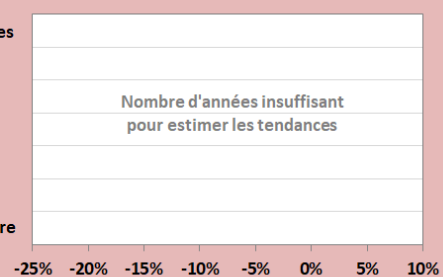
Variations annuelles des concentrations ($\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$)



Composantes majeures des $\text{PM}_{2,5}$



Tendances relatives annuelles (% an^{-1})

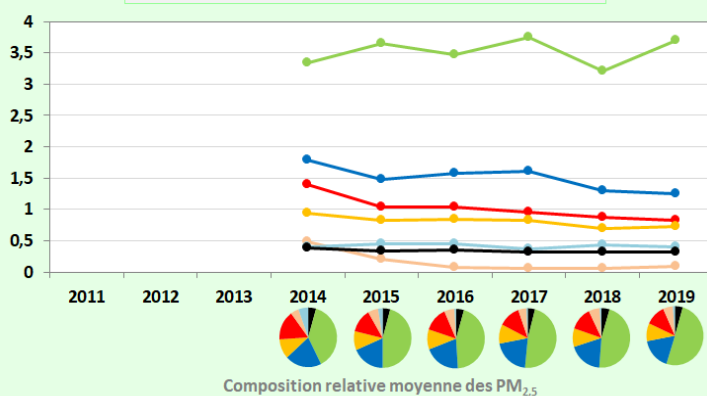


Tendance significative ($p \leq 0,05$)

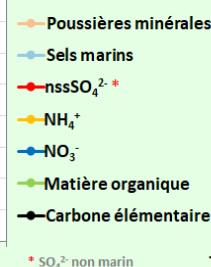
Tendance non significative ($p > 0,05$)

GUIPRY

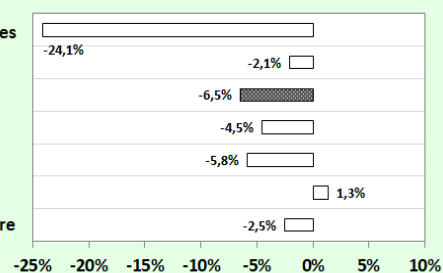
Variations annuelles des concentrations ($\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$)



Composantes majeures des $\text{PM}_{2,5}$



Tendances relatives annuelles (% an^{-1})



Tendance significative ($p \leq 0,05$)

Tendance non significative ($p > 0,05$)

Figure 3 (légende page suivante)

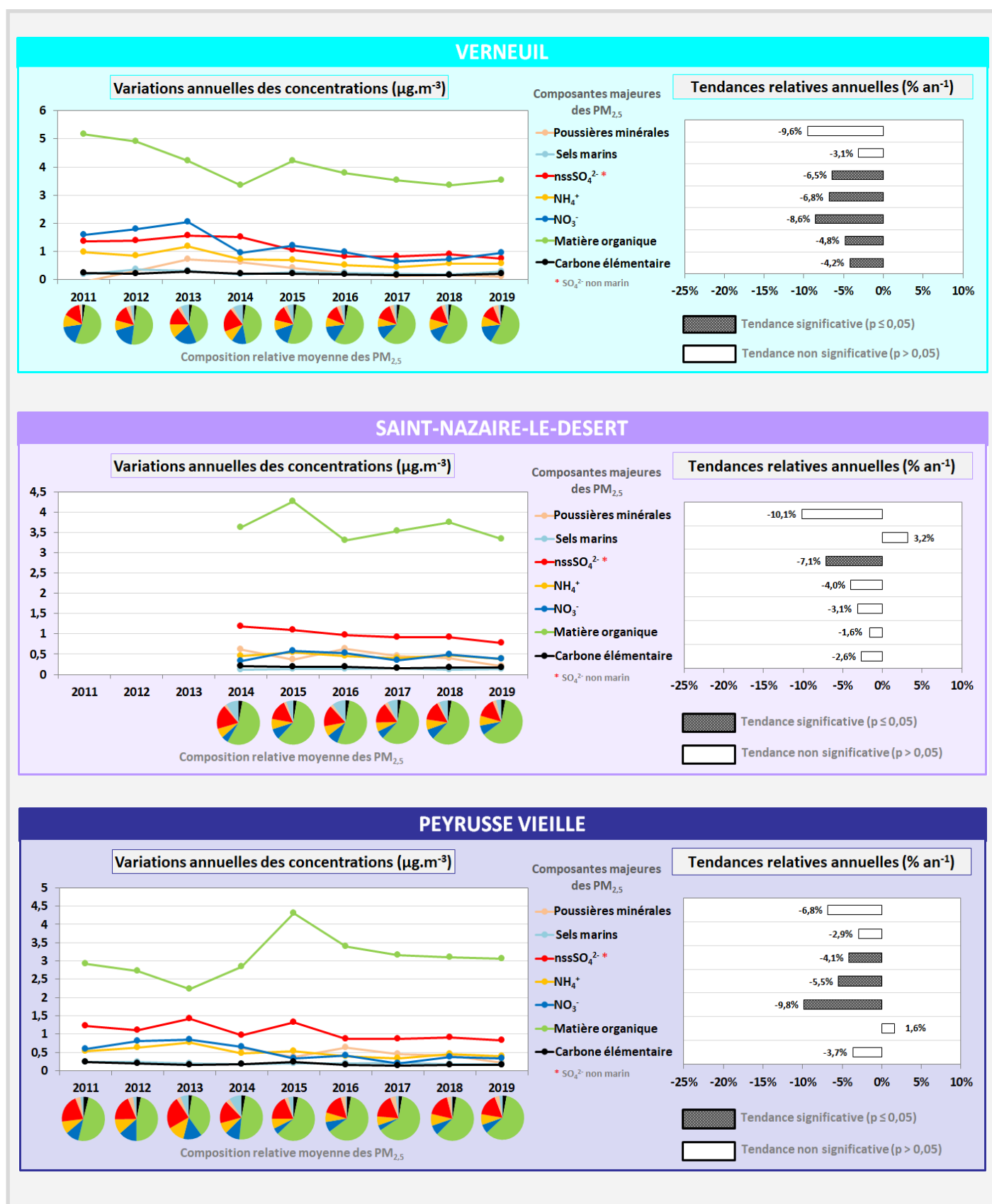


Figure 3: Variations annuelles des concentrations des composantes majeures des PM_{2,5} mesurées aux stations MERA (à gauche) - Tendances relatives annuelles (à droite—cf. Note méthodologique MERA [5])

3. Variations mensuelles des composantes majeures des PM_{2,5}

La Figure 4 compare les variations mensuelles des **concentrations massiques en PM_{2,5}** mesurées aux stations MERA (cf. Aparté n°1) où sont mesurées les **composantes majeures** des PM_{2,5} afin de mieux comprendre les **déterminants** de ces variations (Figure 5). Globalement, les variations mensuelles des concentrations en PM_{2,5} mesurées à ces stations sont relativement **similaires**. Il est tout de même à noter que ces variations sont moins marquées aux stations situées dans le sud de la France en comparaison de celles situées plus au nord. Ces variations mensuelles sont **étudiées en 3 temps (janvier-mai, juin-septembre et octobre-décembre)** dans la suite de cette section.

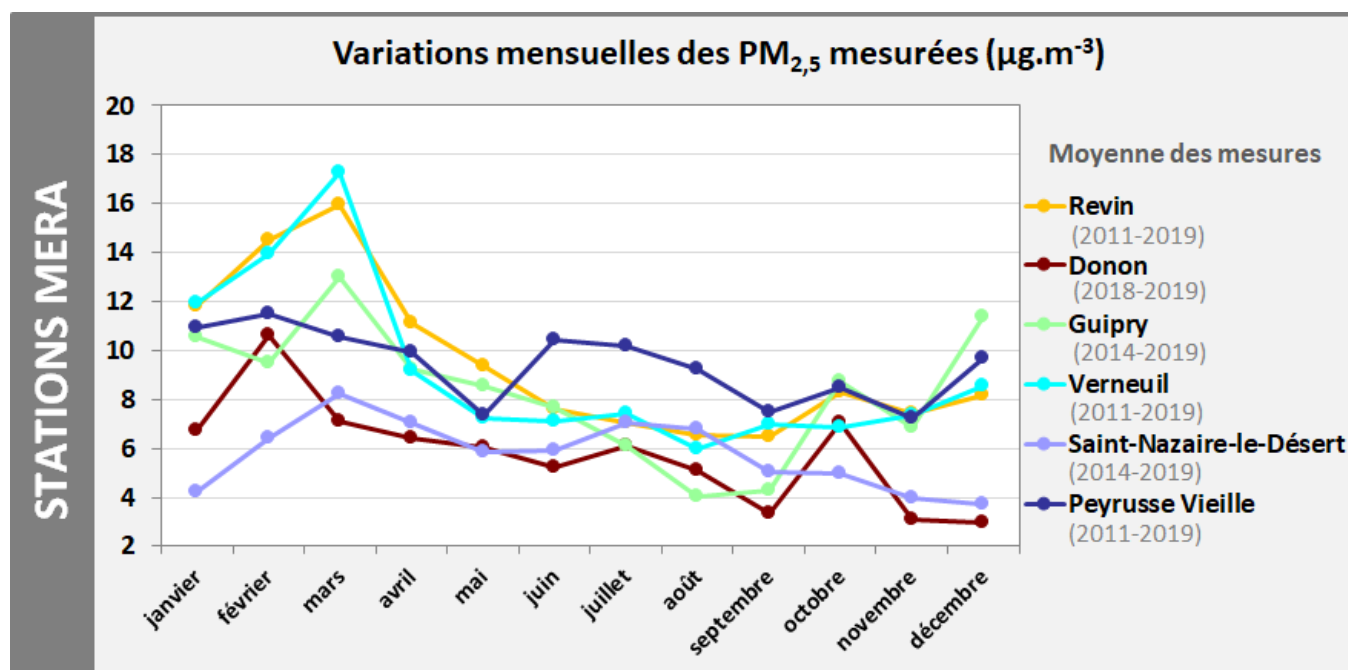


Figure 4 : Evolution des concentrations mensuelles en PM_{2,5} mesurées aux stations MERA (cf. Aparté n°1)

Pour commencer, les concentrations en PM_{2,5} ont augmenté de janvier jusqu'à mars, où elles sont **maximales** (hormis à Donon et Peyrusse-Vieille où elles sont maximales en février), puis elles diminuent en avril et mai. Ces variations ont été **plus marquées** aux stations situées au **nord**, à l'**ouest** et au **centre de la France** (des concentrations mensuelles maximales de 13,0-17,3 µg.m⁻³ ont été observées à Revin, Donon, Guipry et Verneuil) par rapport au sud de la France (des concentrations mensuelles maximales de 8,3-11,5 µg.m⁻³ ont été observées à Peyrusse Vieille et Saint-Nazaire-le-Désert). Il est à noter que Saint-Nazaire-le-Désert présente de plus faibles concentrations en PM_{2,5} par rapport aux autres stations au cours de cette période. Les concentrations en PM_{2,5} en cette période de l'année s'explique en partie par l'**abaissement** de la **hauteur de la couche de mélange atmosphérique**, propice à l'augmentation des concentrations des composantes majeures des PM_{2,5}. En outre, les variations des concentrations en PM_{2,5} se révèlent également être fortement sensibles aux variations mensuelles des **composés inorganiques secondaires** et de la **matière organique** (Figure 5).

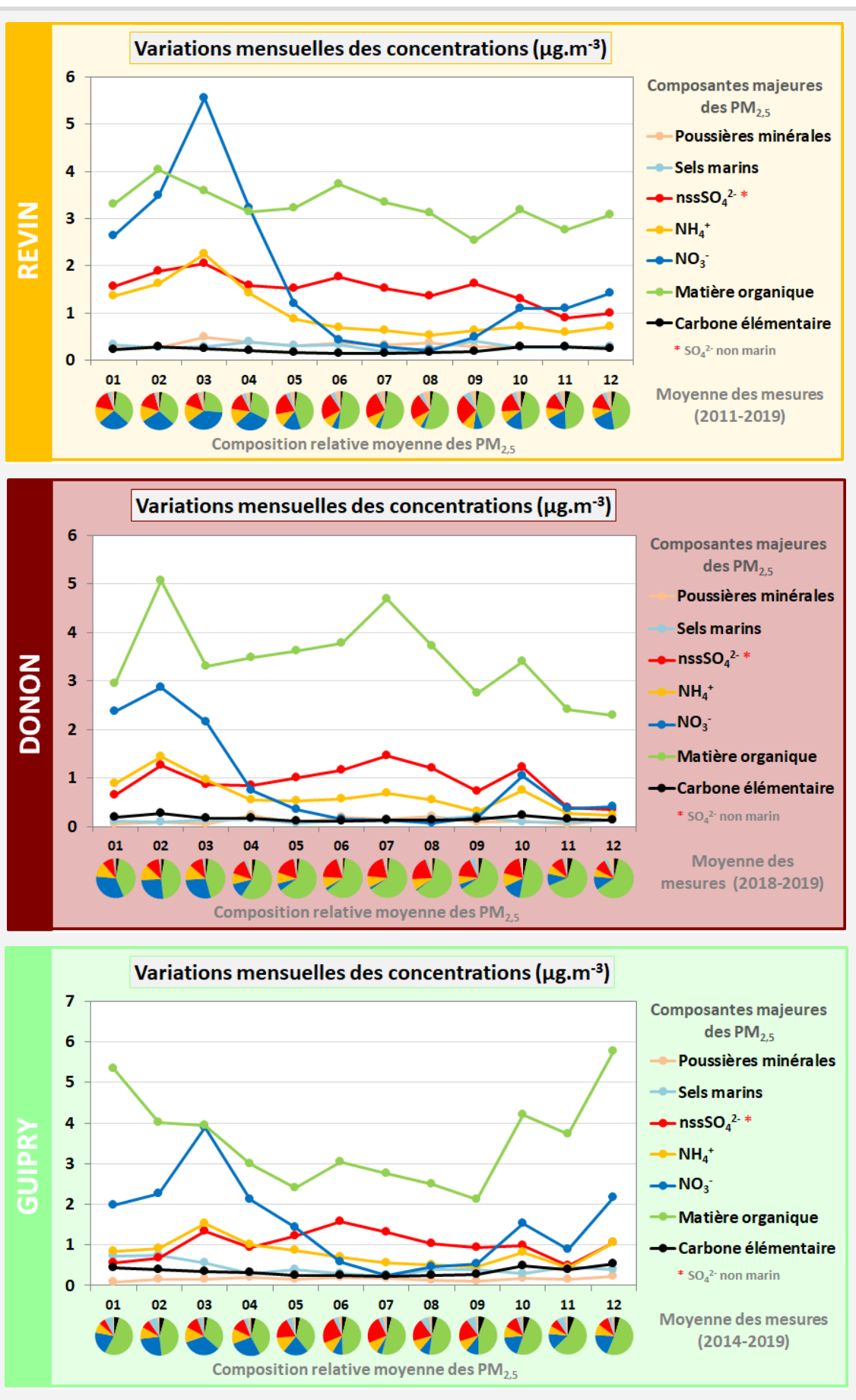


Figure 5 (légende page suivante)

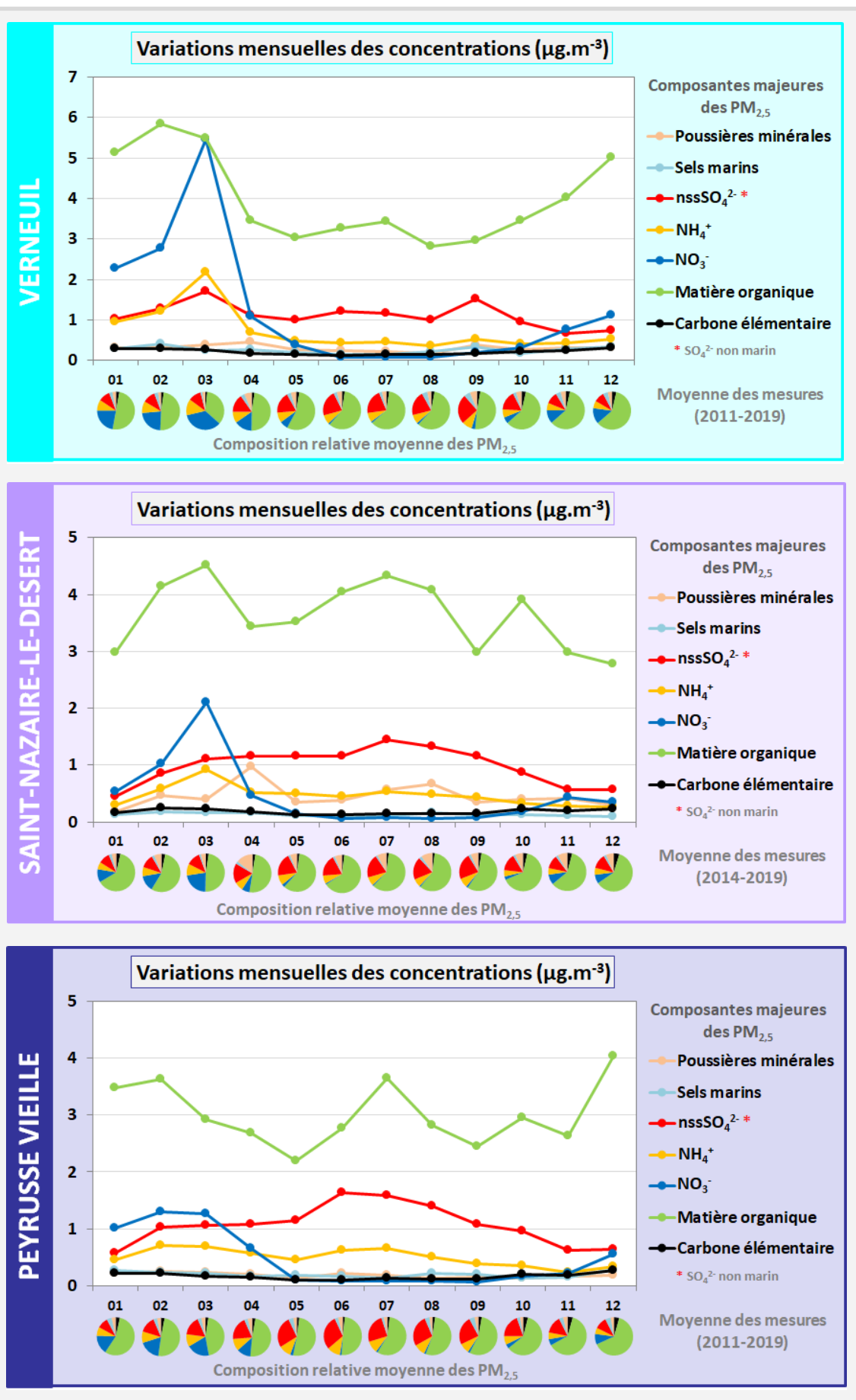


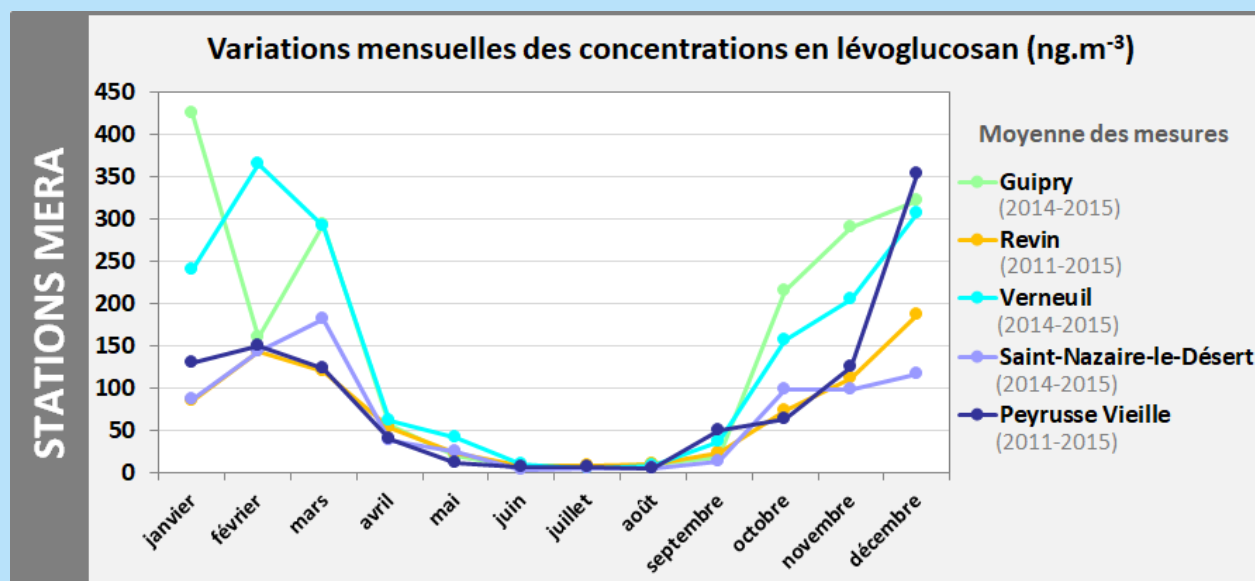
Figure 5: Variations mensuelles des concentrations des composantes majeures des $\text{PM}_{2.5}$ mesurées aux stations MERA

En hiver, les concentrations mensuelles en OM sont relativement élevées (comprises en moyenne entre 3,6 et 5,8 $\mu\text{g.m}^{-3}$) en raison notamment d'une plus forte intensité de leurs sources d'émission telle que la **combustion de biomasse** (étant donné que son traceur, le lévoglucosan, a montré des concentrations plus élevées en hiver - cf. Aparté n°2), en lien avec un usage accru du chauffage résidentiel). En outre, en fin d'hiver/début printemps, les concentrations en composés inorganiques secondaires (notamment NO_3^- et, dans une moindre mesure, NH_4^+ et nssSO_4^{2-}) augmentent significativement. Ces augmentations sont **plus marquées** aux stations situées les plus au **nord** et au **centre de la France** (les concentrations mensuelles maximales en NO_3^- observées à Revin, Guipry, Donon et Verneuil en cette période de l'année sont en moyenne de 5,0 $\mu\text{g.m}^{-3}$) par rapport au sud de la France (les concentrations maximales en NO_3^- observées à Peyrusse Vieille et Saint-Nazaire-le-Désert en cette période de l'année sont en moyenne de 1,7 $\mu\text{g.m}^{-3}$). Ces fortes concentrations en composés inorganiques secondaires peuvent s'expliquer par la survenue d'**épisodes anticycloniques** (induisant des **températures froides** et des conditions de **stabilité atmosphérique**), couplée à des **épandages agricoles** principalement de NH_3 , qui associés aux émissions de SO_2 et de NO_x conduisent à la **formation d'aérosols secondaires**, plus précisément de nitrate d'ammonium ou de sulfate d'ammonium dans les $\text{PM}_{2,5}$. A noter que le **transport** de pollution aux particules par des masses d'air provenant du **nord-nord-est de l'Europe** contribue également aux niveaux de concentrations des composés inorganiques secondaires observées en début d'année.

APARTÉ N°2 : VARIATIONS MENSUELLES DES CONCENTRATIONS EN LÉVOGLUCOSAN (MESURE ADDITIONNELLE D'UN TRACEUR DE LA COMBUSTION DE BIOMASSE)

En complément de la mesure des composantes majeures des $\text{PM}_{2,5}$, des mesures de monosaccharides anhydres (incluant le lévoglucosan, émis suite à la pyrolyse de la cellulose) ont été réalisées à Revin et Peyrusse Vieille de 2011 à 2015 et à Guipry, Verneuil et Saint-Nazaire-le-Désert de 2014 à 2015. De par son mode de formation et son abondance, le lévoglucosan est utilisé comme traceur de la combustion de biomasse et permet d'évaluer l'influence de cette source sur les concentrations en $\text{PM}_{2,5}$.

De fortes concentrations en lévoglucosan ont été observées en hiver et automne, en lien avec un usage accru du chauffage résidentiel.



VARIATIONS MENSUELLES DES CONCENTRATIONS EN LÉVOGLUCOSAN DANS LES $\text{PM}_{2,5}$ MESURÉES AUX STATIONS MERA

De juin à septembre, les concentrations en $PM_{2,5}$ montrent globalement **peu de variabilité** et sont relativement **faibles**, hormis à Peyrusse-Vieille où elles augmentent de $3,1 \mu g.m^{-3}$ entre mai et juin puis elles diminuent progressivement jusqu'à atteindre $7,5 \mu g.m^{-3}$ en septembre. Au cours de cette période, les $PM_{2,5}$ sont majoritairement composées d'**OM** et de **$nssSO_4^{2-}$** . Les **températures élevées** et le **fort ensoleillement** sont caractéristiques de la période estivale et sont des conditions propices à l'**émission de COV**, notamment biogéniques, et aux **processus photochimiques** menant à la **formation d'aérosols organiques secondaires**. L'augmentation des concentrations en OM est plus marquée dans le **sud et l'est de la France** par rapport au nord et au centre de la France. Les **conditions climatologiques** des stations situées le plus au sud de la France sont propices à la formation d'aérosol secondaire. En effet, Saint-Nazaire-le-Désert est caractérisé par un **climat méditerranéen** alors que Peyrusse-Vieille présente un **climat océanique plus ou moins altéré** selon Météo France potentiellement **sous influence méditerranéenne** lorsque la station reçoit des vents de secteurs sud/sud-est. En outre, les conditions météorologiques estivales influencent également la **formation des aérosols inorganiques secondaires**. Elles sont **propices** à la formation de **sulfate d'ammonium** qui dispose également d'une **meilleure stabilité** que le **nitrate d'ammonium**, qui aura tendance à plus se **volatiliser** sous l'**effet des fortes températures** (cf. Section 1.3). En conséquence, le **$nssSO_4^{2-}$** (et donc le sulfate d'ammonium) contribue significativement aux $PM_{2,5}$ au cours de cette saison. En revanche, une contribution plus faible est observée pour le NO_3^- en été à toutes les stations MERA en raison de la très forte volatilité du nitrate d'ammonium. Les concentrations en **poussières minérales** augmentent légèrement notamment à Saint-Nazaire-le-Désert. Ces concentrations ont tendance à augmenter en été en raison de **conditions météorologiques plus sèches** et propices à l'érosion des sols et à la **remise en suspension** sous l'effet du vent.

D'octobre à décembre, les concentrations en $PM_{2,5}$ ré-augmentent légèrement, notamment à Guipry et Verneuil. L'augmentation plus marquée des concentrations en $PM_{2,5}$ sur ces stations s'explique par une nette augmentation des concentrations en **OM** témoignant d'une influence importante de la **source de combustion de biomasse** liée au **chauffage résidentiel** (cf. Aparté n°2).

4. Composition chimique des $PM_{2,5}$ au niveau européen

Afin de permettre une **évaluation à plus large échelle spatiale**, les résultats de l'observatoire MERA ont été comparés aux concentrations des composantes majeures des **$PM_{2,5}$ mesurées sur 16 stations rurales européennes du réseau EMEP** (Figure 6). Les résultats présentés dans cette figure ciblent les mesures des espèces majoritaires des $PM_{2,5}$ réalisées au moyen de préleveurs à bas ou haut débit **entre 2011 et 2019**, afin d'être **cohérent temporellement** avec les mesures réalisées dans le cadre de MERA.

La Figure 6 permet de se rendre compte que les **compositions chimiques des $PM_{2,5}$** observées au niveau européen sur des stations rurales de fond sont **globalement similaires** et que la **matière organique** est la composante majeure des $PM_{2,5}$ (à hauteur de 44 % en moyenne et jusqu'à 58 %). Les plus importantes contributions de l'OM aux $PM_{2,5}$ ont été observées en **Europe du Sud** (au centre et sud de l'Espagne et en Italie), en **France** (notamment à l'est et au sud) ainsi qu'en **Slovenie**. Les **espèces inorganiques secondaires** correspondent également à une proportion importante des $PM_{2,5}$ (à hauteur de 44 % en moyenne et jusqu'à 57 %). Les plus importantes contributions des espèces inorganiques secondaires aux $PM_{2,5}$ ont été observées en **Europe Centrale** (en Allemagne et Pologne) et dans le **nord de la France**, du fait d'une contribution généralement plus élevée de **NO_3^-** et/ou **NH_4^+** , ce qui est **cohérent** avec la **répartition spatiale** au niveau européen des **émissions de leurs précurseurs** (**NH_3** [6] et **NO_x** [7]). La plus forte contribution de **$nssSO_4^{2-}$** aux $PM_{2,5}$ a été observée à **Chypre** (38 % à la station CY0002R, alors qu'elle est de 16 % en moyenne sur les autres stations), ce qui peut éventuellement être lié aux émissions résultant du **transport maritime**, relativement dense en mer Méditerranée, à l'advection d'émissions industrielles de SO_2 provenant de ses pays voisins, ainsi qu'à son **climat méditerranéen** propice à la **formation du sulfate d'ammonium** et à la **volatilisation du nitrate d'ammonium**. Les **sels de mer** et les **poussières minérales** contribuent aux $PM_{2,5}$ en moyenne de 3 % et 5 %, respectivement, et des contributions plus élevées ont été observées en **Espagne** et à **Chypre**. Le **carbone élémentaire** contribue aux $PM_{2,5}$ en moyenne de 3 %, les **plus larges fractions** (jusqu'à 6 %) ayant été observées aux stations où les **concentrations en $PM_{2,5}$** ont été **les plus élevées**, pouvant suggérer une **influence locale** (cas de la station IT0004R).

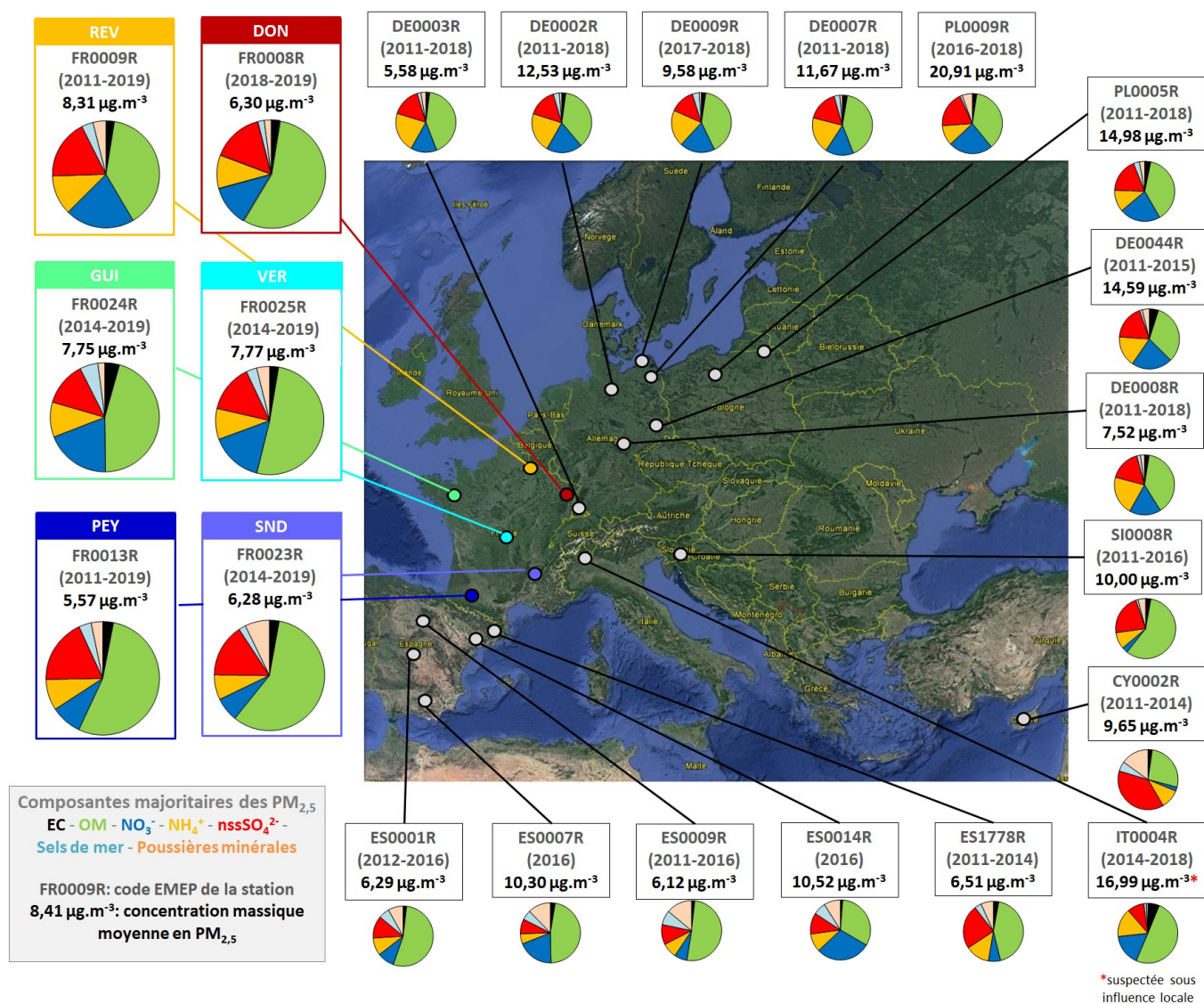


Figure 6 : Composition relative moyenne des PM_{2,5} observées aux stations du réseau EMEP entre 2011 et 2019 (Données disponibles sur le site EBAS, url: ebas.nilu.no/Default.aspx)

5. Références

- [1] GT LCSQA « sites ruraux » de la Commission de Suivi « HAP, Métaux, Benzène » (21/06/2012) : Procédure de validation des données d'analyse chimique des particules atmosphériques (anions/cations et EC/OC)
- [2] Putaud et al. (2004). Atmospheric Environment, 38(16), 2579-2595.
- [3] Sciare et al. (2005). Atmospheric Chemistry and Physics, European Geosciences Union, 2005, 5(8), 2253-2265.
- [4] Brewer & Spencer (1975). Marine Chemistry in the Coastal Environment, 80-96.
- [5] Note méthodologique : Méthode d'analyse des tendances appliquée aux données de l'observatoire MERA, url : https://www.lcsqa.org/system/files/documents/2.7.2-NoteM%C3%A9thodologiqueMERA_Tendances.pdf
- [6] Rapport LCSQA, Bilan bibliographique sur la mesure de l'ammoniac, Programme 2012, url : https://www.lcsqa.org/system/files/rf_lcsqa-md_etude_nh3_2012_1.pdf
- [7] Annual mean NO₂ concentrations in 2016 (figure produite par l'EEA), url : <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/figures/annual-mean-no2-concentrations-in-1>