

**Titre : Episode de pollution particulaire  
Normandie  
décembre 2016**

**Point d'Information d'Atmo Normandie au 27/04/2017**



## Avertissement

Atmo Normandie est l'association agréée de surveillance de la qualité de l'air en Normandie. Elle diffuse des informations sur les problématiques liées à la qualité de l'air dans le respect du cadre légal et réglementaire en vigueur et selon les règles suivantes :

La diffusion des informations vers le grand public est gratuite. Atmo Normandie est libre de leur diffusion selon les modalités de son choix : document papier, communiqué, résumé dans ses publications, mise en ligne sur son site internet ([www.atmonormandie.fr](http://www.atmonormandie.fr)), ... Les documents ne sont pas systématiquement rediffusés en cas de modification ultérieure.

Lorsque des informations sous quelque forme que ce soit (éléments rédactionnels, graphiques, cartes, illustrations, photographies...) sont susceptibles de relever du droit d'auteur elles demeurent la propriété intellectuelle exclusive de l'association. Toute représentation ou reproduction intégrale ou partielle de ces informations faite sans l'autorisation écrite d'Atmo Normandie est illicite et constituerait un acte de contrefaçon sanctionné par les articles L.335-2 et suivants du Code de la Propriété Intellectuelle.

Pour le cas où le présent document aurait été établi pour partie sur la base de données et d'informations fournies à Atmo Normandie par des tiers, l'utilisation de ces données et informations ne saurait valoir validation par Atmo Normandie de leur exactitude. La responsabilité d'Atmo Normandie ne pourra donc être engagée si les données et informations qui lui ont été communiquées sont incomplètes ou erronées, quelles qu'en soient les répercussions.

Atmo Normandie ne peut en aucune façon être tenue responsable des interprétations, travaux intellectuels et publications diverses de toutes natures, quels qu'en soient les supports, résultant directement ou indirectement de ses travaux et publications.

Les recommandations éventuellement produites par Atmo Normandie conservent en toute circonstance un caractère indicatif et non exhaustif. De ce fait, pour le cas où ces recommandations seraient utilisées pour prendre une décision, la responsabilité d'Atmo Normandie ne pourrait en aucun cas se substituer à celle du décideur.

Toute utilisation totale ou partielle de ce document, avec l'autorisation contractualisée d'Atmo Normandie, doit indiquer les références du document et l'endroit où ce document peut être consulté.

Le 27 avril 2017,

Le rédacteur

Marta Dominik-Sègue

Le responsable du pôle « campagnes de mesure  
et exploitation des données »

Sébastien Le Meur

*Atmo Normandie – 3, Place de la Pomme d'Or - 76000 ROUEN*

*Tél. : 02 35 07 94 30 - mail : [contact@atmonormandie.fr](mailto:contact@atmonormandie.fr)*

*[www.atmonormandie.fr/](http://www.atmonormandie.fr/)*

## SOMMAIRE

1. Sigles, symboles et abréviations .....	3
2. Introduction .....	4
3. Eléments nécessaires à la compréhension du document .....	5
3.1. PM10, granulométrie, origines, et compositions chimiques.....	5
3.2. Suivi de l'origine de la pollution particulaire .....	6
3.2.1. Dispositif de mesure sur filtres .....	6
3.2.2. Dispositif de mesure en temps réel .....	6
3.3. Black Carbon et émissions primaires de combustion .....	7
4. Synthèse des informations actuellement disponibles.....	7
4.1. Les conditions météorologiques.....	7
4.1. Les mesures de la qualité de l'air sur le réseau Atmo Normandie.....	8
5. Interprétation dans l'état actuel des informations en possession d'Atmo Normandie.....	11
6. Conclusions .....	13
7. Annexes.....	14
7.1. Pression mer – moyenne mensuelle 12/2016 .....	14
7.2. Moyennes journalières des PM10 enregistrées entre 29/11/2016 et 1/01/2017 sur les stations normandes de fond.....	15
7.3. Moyennes journalières des PM10 et des contributions de de la combustion de biomasse (PMwb) et d'hydrocarbures (PMff) au Havre et au Petit-Quevilly .....	16
7.4. Répartition sectorielle des émissions de NH <sub>3</sub> , NO <sub>x</sub> et PM10 en 2014 en Normandie .....	17

### 1. Sigles, symboles et abréviations

---

BC : black carbon

COVs : Composés Organiques Volatils

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

NH<sub>3</sub> : Ammoniac

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

PM10 : particules atmosphériques de diamètre aérodynamique inférieur à 10µm

PM2,5 : particules atmosphériques de diamètre aérodynamique inférieur à 2,5µm

PM1 : particules atmosphériques de diamètre aérodynamique inférieur à 1µm

PM<sub>ff</sub> : particules primaires liées à la combustion d'hydrocarbures

PM<sub>wb</sub> : particules primaires liées à la combustion de biomasse

SO<sub>2</sub> : dioxyde de soufre

## 2. Introduction

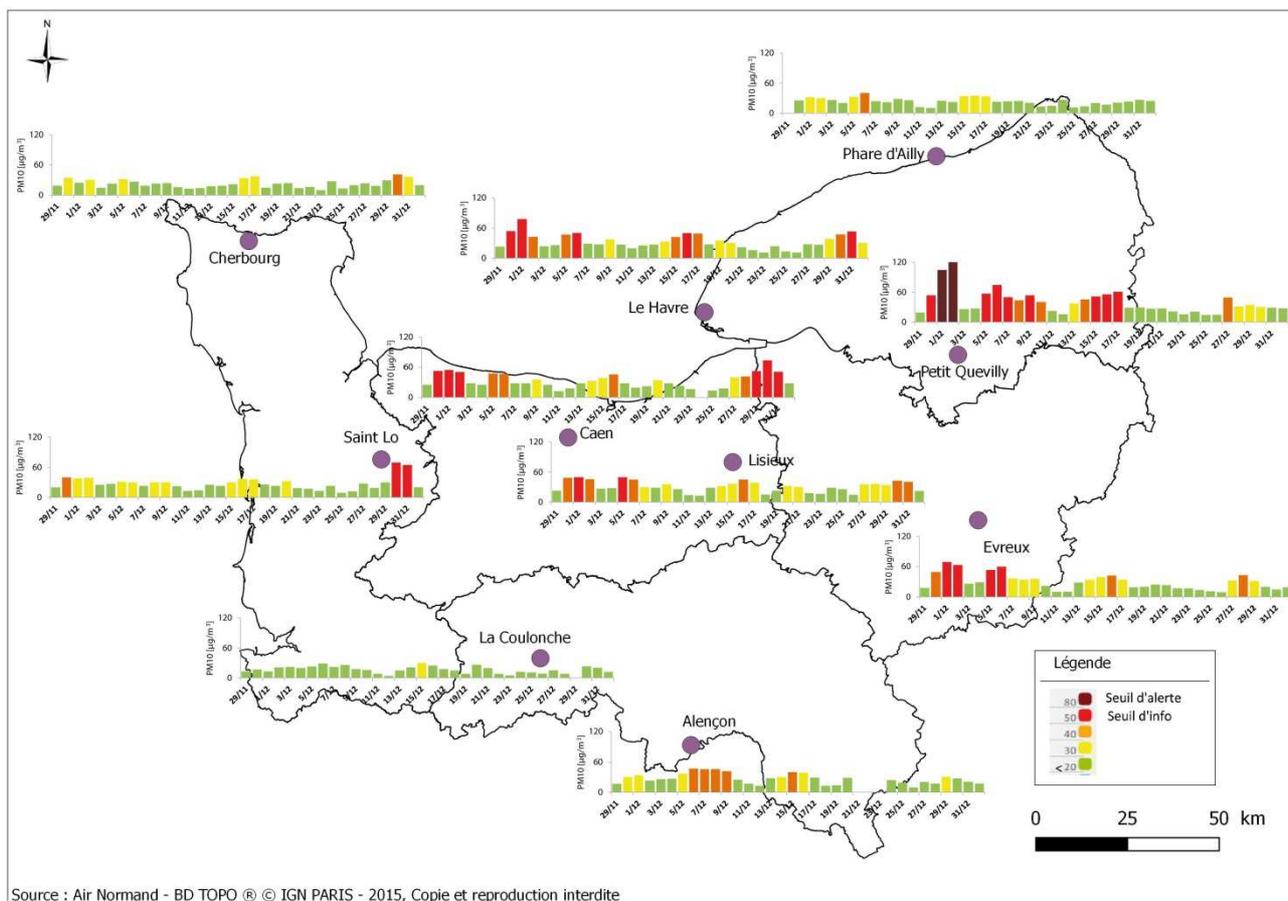
Une pollution par les particules fines a touché la Normandie à partir du mercredi 30 novembre 2016 et s'est poursuivie de façon discontinue pendant tout le mois de décembre. En effet, il s'agit de plusieurs épisodes de pollution particulaire entrecoupés par des jours non pollués. La pollution a d'abord concerné les départements de la Seine-Maritime et du Calvados où le dépassement du seuil d'information et de recommandation aux personnes sensibles ( $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) a été constaté le 30 novembre. Jeudi 1<sup>er</sup> décembre et vendredi 2 décembre, le département de l'Eure a à son tour été touché par cette pollution particulaire et le seuil d'information et de recommandation aux personnes sensibles ( $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) a été franchi. Sur le département de la Seine-Maritime les concentrations pendant ces deux jours ont dépassé le seuil d'alerte ( $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ). Puis pendant les deux jours suivants, le 3 et 4 décembre, les concentrations sont redescendues au-dessous de  $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$  sur tout le territoire normand pour ensuite dépasser de nouveau le seuil d'information et de recommandation aux personnes sensibles ( $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) le 5 décembre sur les départements de la Seine-Maritime, de l'Eure et du Calvados. Les 6 et 7 décembre le dépassement du seuil d'information a concerné les départements de la Seine-Maritime et de l'Eure. Le 8 décembre les concentrations ont baissé et sont restées inférieures au seuil d'information et de recommandation aux personnes sensibles sur l'ensemble de la Normandie. Le 9 décembre, le seuil d'information et de recommandation aux personnes sensibles a été de nouveau franchi sur le département de la Seine-Maritime. Pendant les 5 jours suivants (du 10 au 14/12), les concentrations en particules sont restées inférieures à ce seuil pour y être de nouveau dépassé à partir du 15 décembre et jusqu'au 17 décembre sur le département de la Seine-Maritime. Après plusieurs jours sans pollution par les particules, les concentrations des PM10 ont de nouveau franchi le seuil d'information et de recommandation aux personnes sensibles d'abord sur le département du Calvados le 29 décembre, puis aussi sur le département de la Manche le 30 décembre et enfin le 31 décembre sur le département de la Seine-Maritime. La fin de l'épisode a été constatée le 1 janvier 2017 sur l'ensemble du territoire normand. La carte sur Figure 1 représente l'évolution journalière des concentrations en PM10 sur quelques stations de Normandie. Les maxima journalier et horaire ont été atteints sur la station de Petit Quevilly et étaient respectivement de  $124 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (le 2/12) et  $213 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (le 1/12), (Tableau 1).

Tableau 1 : Bilan des dépassements sur les stations de fond en Normandie en décembre 2016

Date	30/11	1/12	2/12	5/12	6/12	7/12	9/12	15/12	16/12	17/12	29/12	30/12	31/12
Nb de site avec Moy24 $\geq$ 50	4	<b>7</b>	6	2	6	1	1	1	2	3	1	3	4
Nb de site avec Moy24 $\geq$ 80	0	2	<b>3</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Max journalier [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	54	105	<b>124</b>	57	75	50	54	52	56	68	52	73	65
Station max journalier		PQV <sup>1</sup> , HVH <sup>2</sup>	<b>PQV</b>	PQV	PQV	PQV	PQV	PQV	PQV	Le Havre	Caen - Iffs	Caen - Iffs	Saint Lô
Max horaire [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	120	<b>213</b>	202	92	97	69	104	65	79	115	107	128	123
Station max horaire	Caen	<b>PQV</b>	PQV	PQV	PQV	PQV	PQV	Evreux	HVH	Le Havre	Le Havre	Caen	Le Havre

<sup>1</sup> Station Petit Quevilly

<sup>2</sup> Station le Havre ville haute



**Figure 1 : Carte de dépassements des seuils réglementaires pour les PM10 entre le 29/11/2016 et le 1/01/2017. Les couleurs indiquent la gamme de concentrations de PM10 en microgramme par m<sup>3</sup>. La couleur rouge représente les dépassements du seuil d’information et de recommandation aux personnes sensibles (50µg/m<sup>3</sup>) et la couleur marron, les dépassements du seuil d’alerte (80 µg/m<sup>3</sup>).**

La présente note permet de réaliser un point d’information sur cet épisode de pollution à partir des informations disponibles au 27 avril 2017 (i.e. mesures de la qualité de l’air issues du réseau permanent de capteurs gérés par Atmo Normandie, des données météorologiques à disposition d’Atmo Normandie et des mesures et analyses effectuées par le LCSQA<sup>3</sup>).

### **3. Eléments nécessaires à la compréhension du document**

*A noter : ce chapitre reprend des éléments de la Note technique du LCSQA<sup>4</sup>*

#### **3.1. PM10, granulométrie, origines, et compositions chimiques**

Les PM10 représentent la concentration massique des particules atmosphériques de diamètre aérodynamique inférieur à 10µm. Elles sont essentiellement constituées de deux modes : le mode fin et le mode grossier, dont la frontière granulométrique se situe vers 2,5µm (PM2,5). Ces deux modes ont des origines et donc des compositions chimiques différentes.

<sup>3</sup> Laboratoire Central de Surveillance de la Qualité de l’Air (regroupant l’INERIS, l’Ecole des Mines de Douai et le Laboratoire National d’Essais)

<sup>4</sup> Note LCSQA, 24 janvier 2017, Episode de pollution particulaire de mi-janvier 2017

Le mode fin est principalement constitué des émissions anthropiques ainsi que d'aérosols secondaires provenant de l'oxydation et/ou de la condensation de précurseurs gazeux (COVs, NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>, NH<sub>3</sub>, ...) en phase particulaire. Il contient très majoritairement :

- du carbone suie (ou Black Carbon), issu de la combustion incomplète d'énergies fossiles ou de biomasse, et constitué quasi-exclusivement d'atomes de carbone,
- de la matière organique (contenant des atomes de carbone, mais également de l'oxygène, hydrogène, azote, ...) primaire, i.e. émis directement dans l'atmosphère (en particulier par les mêmes processus de combustion que pour le carbone suie) ou secondaire, i.e. provenant de l'oxydation de COVs émis par les activités humaines et par la végétation,
- et des espèces inorganiques secondaires (en particulier le nitrate d'ammonium et le sulfate d'ammonium).

Le mode grossier est principalement constitué de particules d'origines naturelles : sels de mer, poussières terrigènes, débris végétaux, etc. Il contient également des espèces secondaires (dont nitrate, sulfate et composés organiques, provenant de réactions acido-basiques entre espèces gazeuses et particules minérales).

En milieu urbain, le mode fin constitue la part majoritaire (50-90%) des PM<sub>10</sub>.

### 3.2. Suivi de l'origine de la pollution particulaire

Depuis 2008 Atmo Normandie fait partie du programme CARA (« caractérisation chimique des particules »), créé par le LCSQA/INERIS en réponse au besoin de compréhension et d'information sur l'origine des épisodes de pollution particulaire. Ce programme est basé sur la spéciation chimique<sup>5</sup> des particules selon deux approches complémentaires :

- à partir de prélèvements sur filtres PM<sub>10</sub> sur une quinzaine de stations (urbaines, majoritairement) du dispositif national
- à l'aide d'analyseurs automatiques (mesure en « quasi temps réel »)

#### 3.2.1. Dispositif de mesure sur filtres

Le programme CARA repose sur des prélèvements sur filtres avec analyses chimiques différées en laboratoire. Il est basé sur la spéciation chimique en laboratoire (INERIS, Mines Douai ou laboratoires universitaires) d'échantillons journaliers collectés en plusieurs points du dispositif national. Regroupant initialement six sites, ce dispositif a évolué progressivement pour compter aujourd'hui une vingtaine de sites, essentiellement en fond urbain, répartis sur l'ensemble de la France.

En Normandie, les prélèvements dans le cadre de ce dispositif national sont réalisés au niveau de la station urbaine de Petit Quevilly, proche de Rouen.

#### 3.2.2. Dispositif de mesure en temps réel

Les instruments de mesure mis en œuvre au cours de ces dernières années au sein du dispositif national de surveillance de la qualité de l'air permettent le suivi des espèces chimiques majeures de ce mode fin (et donc des principales influences anthropiques). Ils sont de 2 types :

- L'Aethalomètre multi-longueurs d'onde **AE33**, permettant la surveillance du Black Carbon (BC) en tant qu'indicateur des émissions primaires de combustion.

---

<sup>5</sup> Via l'analyse des principaux constituants des particules et dans certains cas de traceurs de sources

- L'Aerosol Chemical Speciation Monitor (**ACSM**), basé sur la spectrométrie de masse et la quantification des espèces non-réfractaires (i.e., volatiles à 600°C) au sein des PM1. Ces espèces chimiques correspondent principalement au nitrate, au sulfate, à l'ammonium et à la matière organique.

En Normandie, Atmo Normandie a déployé à Rouen (station PQV à Petit Quevilly) et au Havre (station HVH – Le Havre ville haute) deux analyseurs automatiques pour la mesure du « black carbon » (AE33). Le réseau de mesure normand n'est pas équipé en ACSM. Les mesures les plus proches au moyen de cet appareil sont effectuées dans les régions voisines : Hauts de France (Creil, Villeneuve d'Ascq) et Ile de France (Paris).

### 3.3. Black Carbon et émissions primaires de combustion

L'AE33 permet de distinguer deux fractions du Black Carbon que l'on peut relier à la **combustion d'hydrocarbures (BC<sub>ff</sub>)**<sup>6</sup> et à la **combustion de biomasse**<sup>7</sup> (BC<sub>wb</sub>). Ces fractions peuvent ensuite être utilisées pour estimer (à l'aide d'un facteur multiplicatif et avec une précision de l'ordre de ± 50%) les concentrations de PM10 attribuables aux deux familles de sources (notées respectivement PM<sub>ff</sub> et PM<sub>wb</sub>), telles que :

$$\begin{aligned} \text{PM}_{\text{ff}} &= a \times \text{BC}_{\text{ff}} \\ \text{et } \text{PM}_{\text{wb}} &= b \times \text{BC}_{\text{wb}} \end{aligned}$$

où PM<sub>ff</sub> et PM<sub>wb</sub> représentent la concentration massique de particules PM10 primaires issues respectivement de la combustion d'hydrocarbures et de la combustion de biomasse. Les PM<sub>ff</sub> et PM<sub>wb</sub> sont constituées principalement d'aérosols organiques primaires. Les coefficients *a* et *b* sont issus de la littérature scientifique. Pour la station à Petit Quevilly le coefficient *b* pour la combustion de biomasse a pu être établi spécifiquement grâce à l'étude du LCSQA<sup>8</sup> combinant des mesures sur filtres et des mesures par l'AE33.

Les émissions primaires à l'échappement automobile sont comprises au sein de la fraction liée à la combustion d'hydrocarbures (PM<sub>ff</sub>), mais cette fraction n'intègre pas les émissions hors échappement, i.e. particules issues de l'abrasion de la chaussée, des pneus, des freins, ... . Cette fraction n'intègre pas non plus la formation d'aérosols secondaires à partir des émissions de précurseurs gazeux (i.e. NO<sub>x</sub>, issus à plus de 40% du transport en Normandie). Ces deux fractions sont regroupées dans les résultats au sein des « PM autres » (Figure 4, Annexe 7.3).

## 4. Synthèse des informations actuellement disponibles

---

### 4.1. Les conditions météorologiques

Les conditions météorologiques qui accompagnent l'augmentation des concentrations en particules PM10 se caractérisent par la présence d'un anticyclone (Annexe 7.1) avec une pression atmosphérique atteignant certains jour les 1040hPa, des vents très faibles à faibles (moyens certains jours), des températures basses (notamment début décembre), une hauteur de couche limite très

<sup>6</sup> Issu du trafic, de l'industrie, du chauffage notamment au fioul

<sup>7</sup> dont la combustion du bois

<sup>8</sup> Rapport LCSQA, 2015 : Impact de la combustion de biomasse sur les concentrations de PM10 dans 10 agglomérations du programme CARA au cours de l'hiver 2014-2015

faible (exceptionnellement faible début décembre), des inversions thermiques importantes, non détruites dans la journée.

#### 4.1. Les mesures de la qualité de l'air sur le réseau Atmo Normandie

La contribution de fractions fines (PM<sub>2,5</sub>) dans les PM<sub>10</sub> lors des dépassements des valeurs règlementaires est en moyenne de 78% et peut aller jusqu'à 90% (Figure 2). On constate que l'augmentation des concentrations de PM<sub>10</sub> s'accompagne globalement d'une augmentation de la proportion des particules fines.

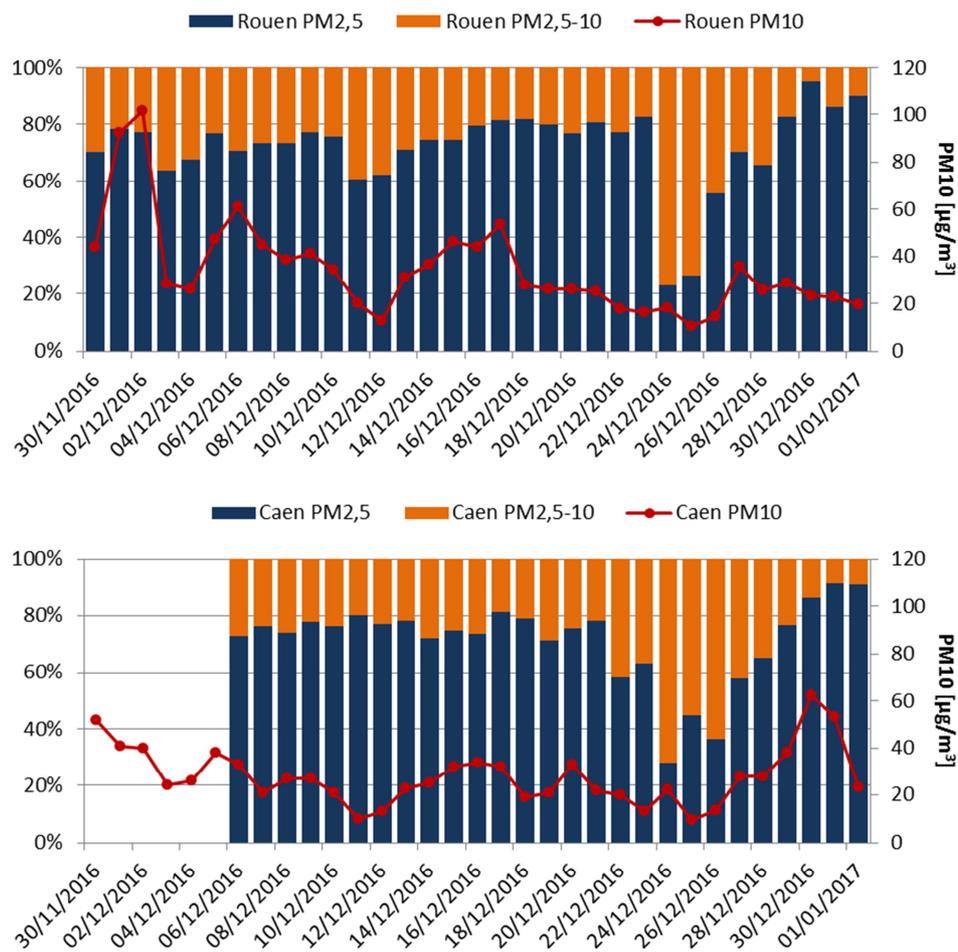


Figure 2 : Moyennes journalières des PM<sub>10</sub> et contributions des fractions fines (PM<sub>2,5</sub>) et grossières (PM<sub>2,5-10</sub>) à Rouen et à Caen

La contribution de la fraction semi-volatile<sup>9</sup> dans les PM<sub>10</sub> lors de l'épisode est en moyenne de 35% (Figure 3). Cette proportion est moins forte que celle observée lors de certains épisodes printaniers où la part semi-volatile est souvent supérieure à 50%.

<sup>9</sup> Généralement composée d'aérosols secondaires et en particulier de nitrate d'ammonium

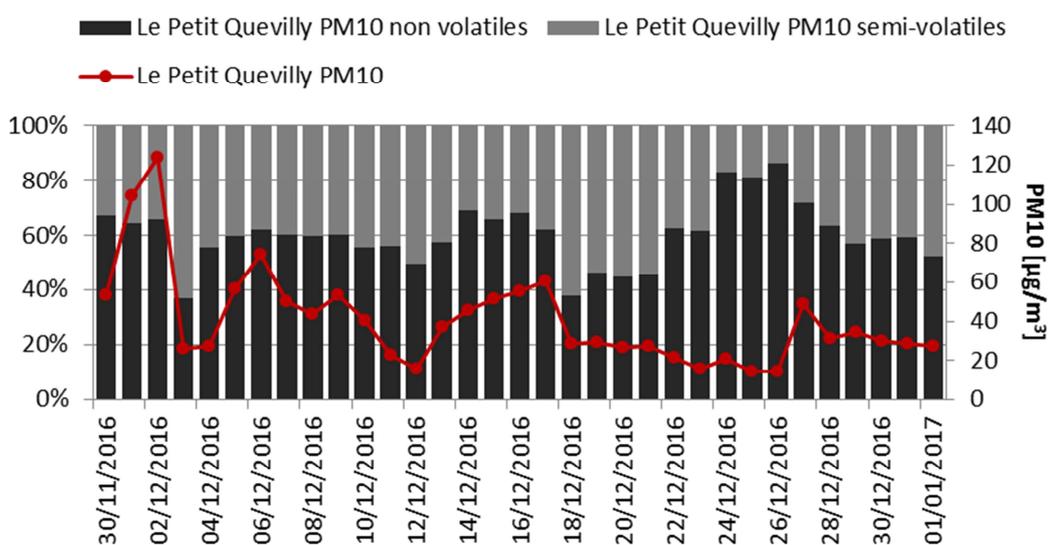


Figure 3 : Moyennes journalières des PM10 et des contributions de leurs fractions semi-volatile et non volatile à Petit Quevilly

L'analyse des données AE33 indique un impact estimé<sup>10</sup> important des émissions primaires de combustion les jours de dépassements des seuils réglementaires (Figure 4, Annexe 7.3). Selon les sites et les jours étudiés pendant l'épisode, les combustions d'hydrocarbures et de biomasse représentent alors entre 40% et 70% des PM10, avec une prépondérance des émissions liées à la combustion de biomasse. La contribution de la combustion de biomasse sur le site de Petit Quevilly certains jours est supérieure à 40% et certaines heures supérieures à 60%. Pendant les deux jours d'alerte sur la station du Petit Quevilly la contribution de la combustion de biomasse est estimée en moyenne à 40% et la contribution de la combustion d'hydrocarbures à 15%.

La contribution de la combustion d'hydrocarbures est plus marquée sur le site de Petit Quevilly que sur le site du Havre ville haute. Elle est estimée en moyenne à environ 20% à Petit Quevilly et à 10% au Havre. Certains jours sur la station de Petit Quevilly la contribution de la combustion d'hydrocarbures atteint presque 30%.

<sup>10</sup> A noter : Les concentrations de particules PM10 issues respectivement de la combustion d'hydrocarbures et de la combustion de biomasse sont à prendre comme des valeurs indicatives et non pas des valeurs réellement mesurées, car elles sont obtenues à partir des mesures du black carbon auxquelles sont appliqués des facteurs et des hypothèses issues de la littérature ou de la recherche (cf. chapitre 3.3).

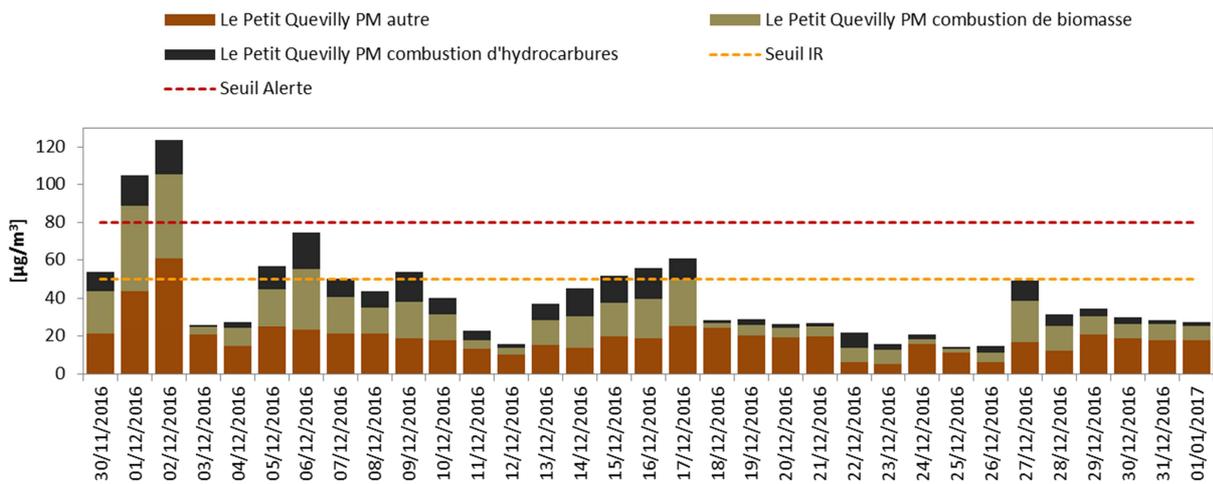
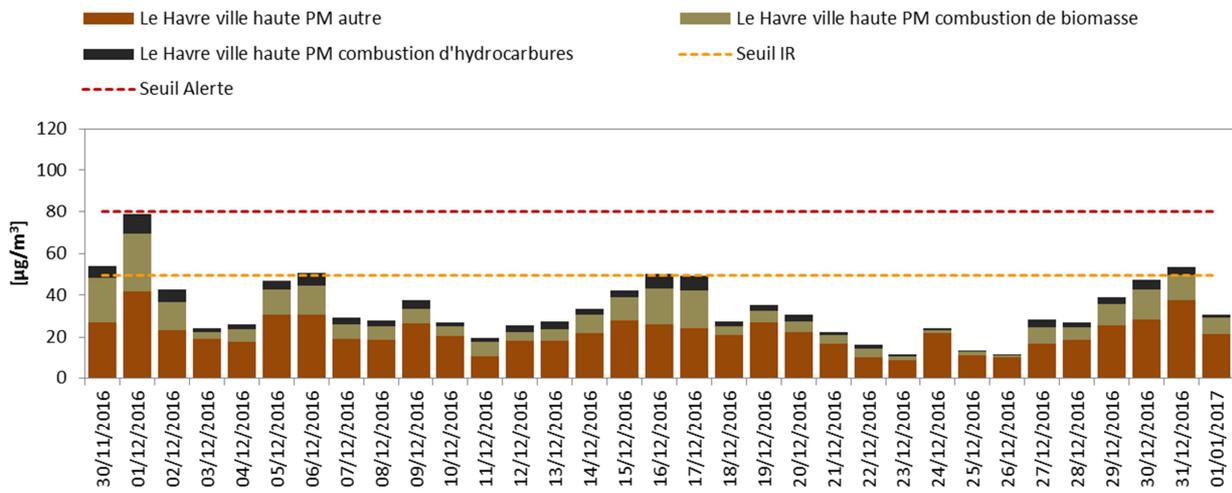


Figure 4 : Suivi journalier des concentrations PM10 et estimations des fractions issues des émissions primaires liées à la combustion d'hydrocarbures et de biomasse sur les stations au Havre (en haut) et au Petit-Quevilly (en bas).

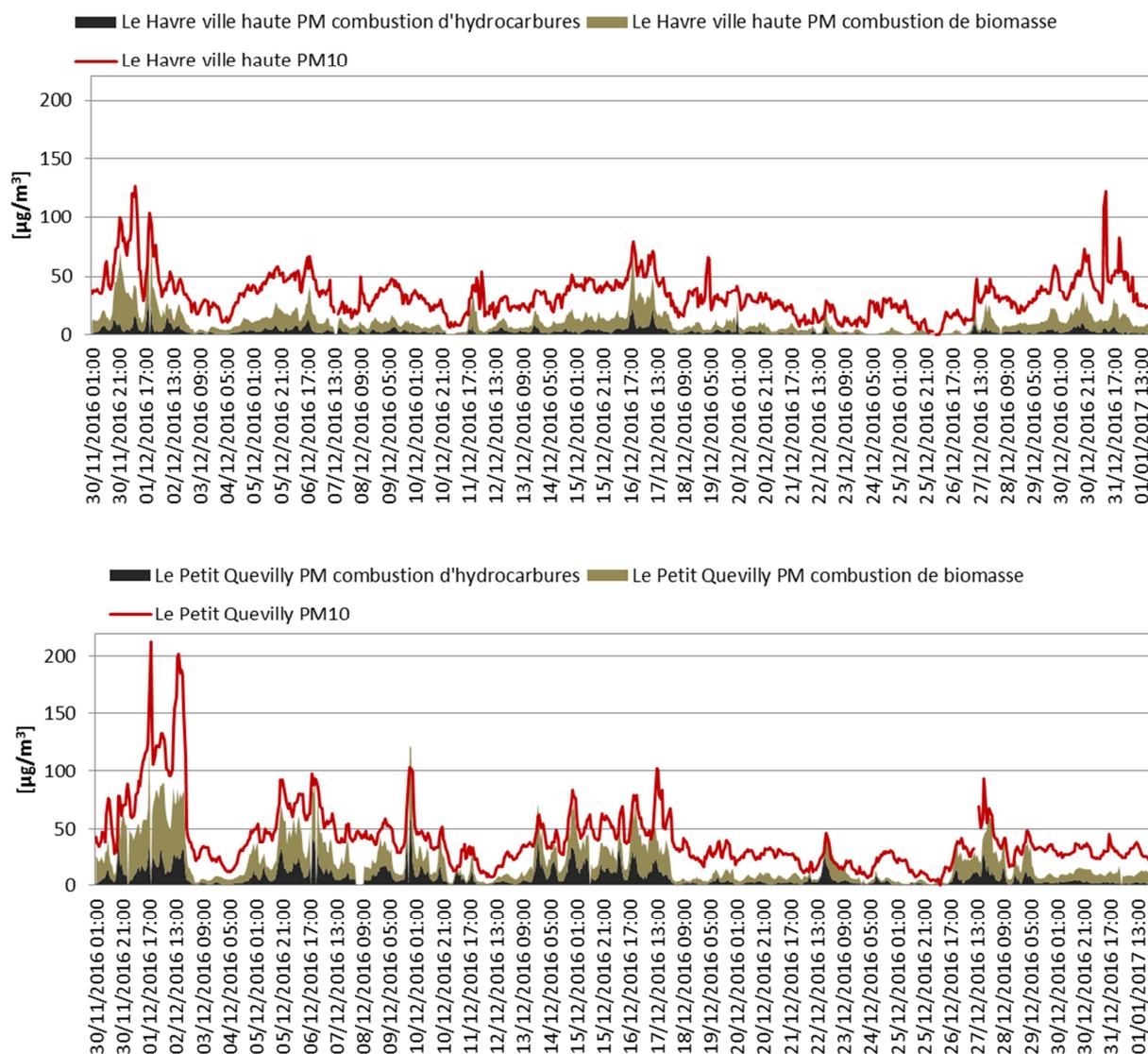


Figure 5 : Suivi temporel des concentrations de PM10 et estimations des fractions issues des émissions primaires liées à la combustion d'hydrocarbures et de biomasse sur les stations au Havre (en haut) et à Petit Quevilly (en bas)

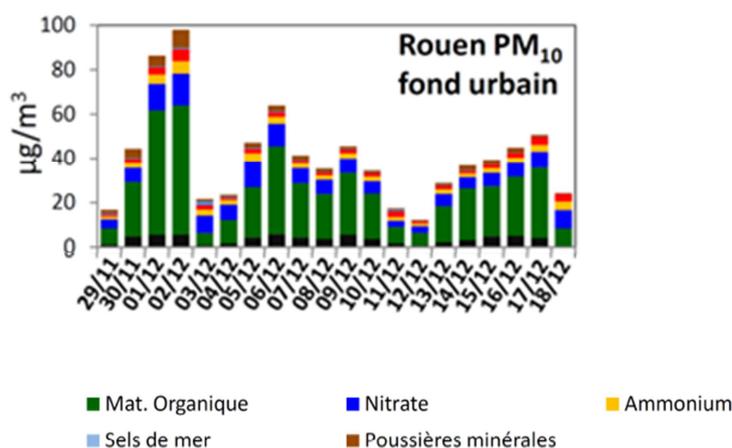
Le suivi temporel des concentrations de PM10 avec les estimations des fractions issues des émissions primaires liées à la combustion d'hydrocarbures et de biomasse indique des pics reflétant les périodes maximales d'émissions (pic de chauffage du soir ou nocturne, pic de trafic automobile) (Figure 5).

## 5. Interprétation dans l'état actuel des informations en possession d'Atmo Normandie

En décembre, plusieurs épisodes de pollution particulaire ont touché la Normandie. Les conditions météorologiques froides, peu dispersives (masses d'air stagnantes surtout début décembre) ont conduit au dépassement du seuil d'information et recommandation aux personnes sensibles et, sur certaines stations, au dépassement du seuil d'alerte. Les faibles températures du mois de décembre entraînent une utilisation plus importante du chauffage résidentiel. Les contributions liées à la combustion de biomasse sont estimées en moyenne entre 35 et 40% dans les PM10. Quant à la

combustion d'hydrocarbures, elle représente entre 10 et 20% des PM<sub>10</sub>. La faible contribution des particules semi-volatiles confirme également la prédominance des émissions primaires (Figure 3). L'analyse des résultats de mesures au moyen de l'ACSM dans le bassin parisien effectuée par le LCSQA, indique la prédominance de la matière organique dans les particules fines ce qui, compte tenu de la saison, constitue un indice supplémentaire de la forte influence des émissions primaires de combustion sur les niveaux de concentration mesurés au cours des épisodes de décembre 2016<sup>11</sup>. L'analyse des filtres, prélevés sur le site d'Petit Quevilly dans le cadre du programme CARA<sup>12</sup>, réalisée par le LCSQA confirme également une forte contribution des concentrations d'aérosols carbonés sur ce site normand, et en particulier de matière organique sur les niveaux élevés de PM<sub>10</sub> lors des épisodes étudiés (Figure 6).

a)



b)

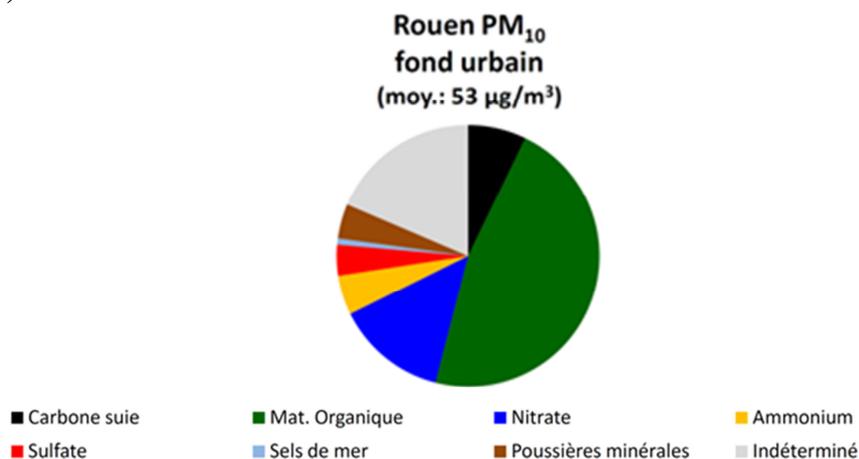


Figure 6 : Moyennes journalières des espèces chimiques majeures mesurées sur filtres sur le site du Petit-Quevilly (site du dispositif CARA) entre le 29 novembre et le 18 décembre 2016 (a) et contributions relatives moyennes des espèces chimiques majeures au sein des PM<sub>10</sub> mesurées sur filtres entre le 30 novembre et le 17 décembre 2016 (b) ; Source : LCSQA<sup>11</sup>

<sup>11</sup> LCSQA, février 2017, Eléments de compréhension des épisodes de pollution particulaire de début décembre 2016 à partir des mesures de composition chimique

<sup>12</sup> Dispositif de mesure pour l'amélioration des connaissances de la composition chimique et des sources de PM en France géré par le LCSQA avec l'appui des AASQA volontaires. Ce dispositif a été activé afin de répondre à la demande du Ministère de l'Environnement d'évaluer le plus rapidement possible les épisodes de pollutions aux particules sur la qualité de l'air en France

En plus des fortes teneurs en particules carbonées liées aux émissions de combustion qui représentent une part prédominante lors des épisodes de décembre 2016, une contribution de nitrate d'ammonium (~20%) est observée. Il s'agit d'un composé secondaire, formé via des mécanismes photochimiques à partir des oxydes d'azote (NOx) et de l'ammoniac (NH<sub>3</sub>). Les sources de ces polluants sont diverses : la combustion (trafic routier, résidentiel, industrie), l'agriculture et l'industrie (notamment la production des engrais) (Annexe 7.4). Si la disponibilité de l'ammoniac lors des épisodes printaniers est majoritairement due aux activités agricoles, et plus particulièrement aux épandages d'engrais minéraux et organiques, les études récentes suggèrent qu'en période hivernale les processus de combustion jouent un rôle non négligeable dans la formation d'ammonium. A l'état actuel des connaissances, l'évaluation en temps réel du secteur responsable majoritairement de la formation du nitrate d'ammonium n'est pas possible. Par contre, cela est possible a posteriori par l'analyse des isotopes stables de l'azote au sein de l'ammonium prélevé sur filtres, mais relève encore du domaine de la recherche<sup>13</sup>. Ce type d'analyse a été réalisé par l'IGE<sup>14</sup> à la demande du LCSQA sur les filtres prélevés lors des épisodes du mois de décembre. L'interprétation effectuée par le LCSQA des résultats de ces mesures indique que pendant les épisodes de décembre l'ammonium présent dans les particules serait issu majoritairement des processus de combustion<sup>12</sup>.

## 6. Conclusions

---

Les épisodes de décembre se caractérisent par une prédominance des particules carbonées en lien avec l'accumulation des émissions de combustion (notamment chauffage résidentiel et transport routier) favorisée par les conditions météorologiques peu dispersives. A souligner également une contribution de nitrate d'ammonium qui témoigne de l'influence des mécanismes de transformations physico-chimiques. L'analyse des résultats des mesures d'isotopes stables de l'azote au sein de l'ammonium prélevé sur filtres indique un rôle prédominant des sources de combustion dans la formation de ces particules inorganiques secondaires et une influence négligeable des activités agricoles.

---

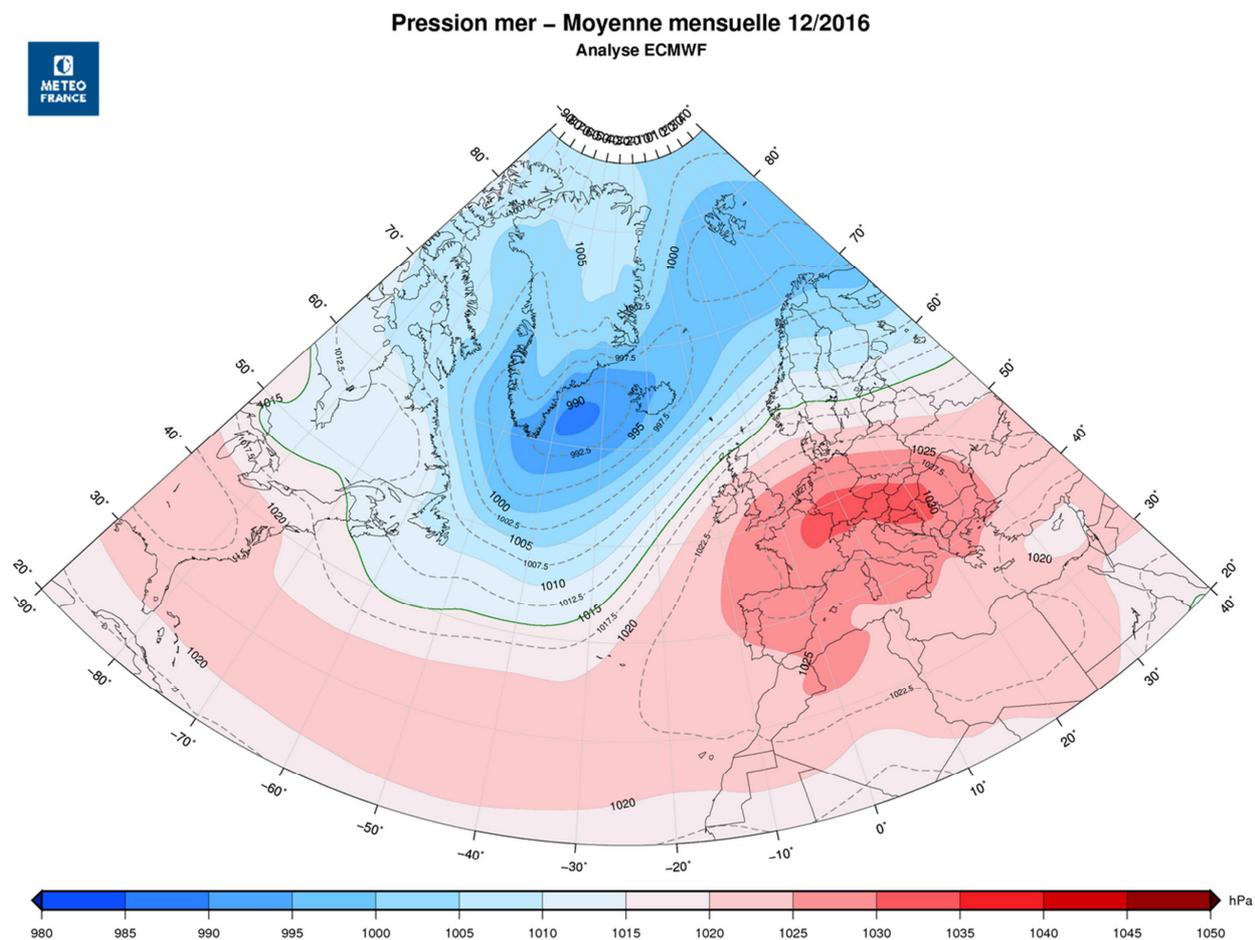
<sup>13</sup> LCSQA, février 2017, Eléments de compréhension des épisodes de pollution particulaire de début décembre 2016 à partir des mesures de composition chimique

<sup>14</sup> Institut des Géosciences de l'Environnement, CNRS-Université

## 7. Annexes

### 7.1. Pression mer – moyenne mensuelle 12/2016

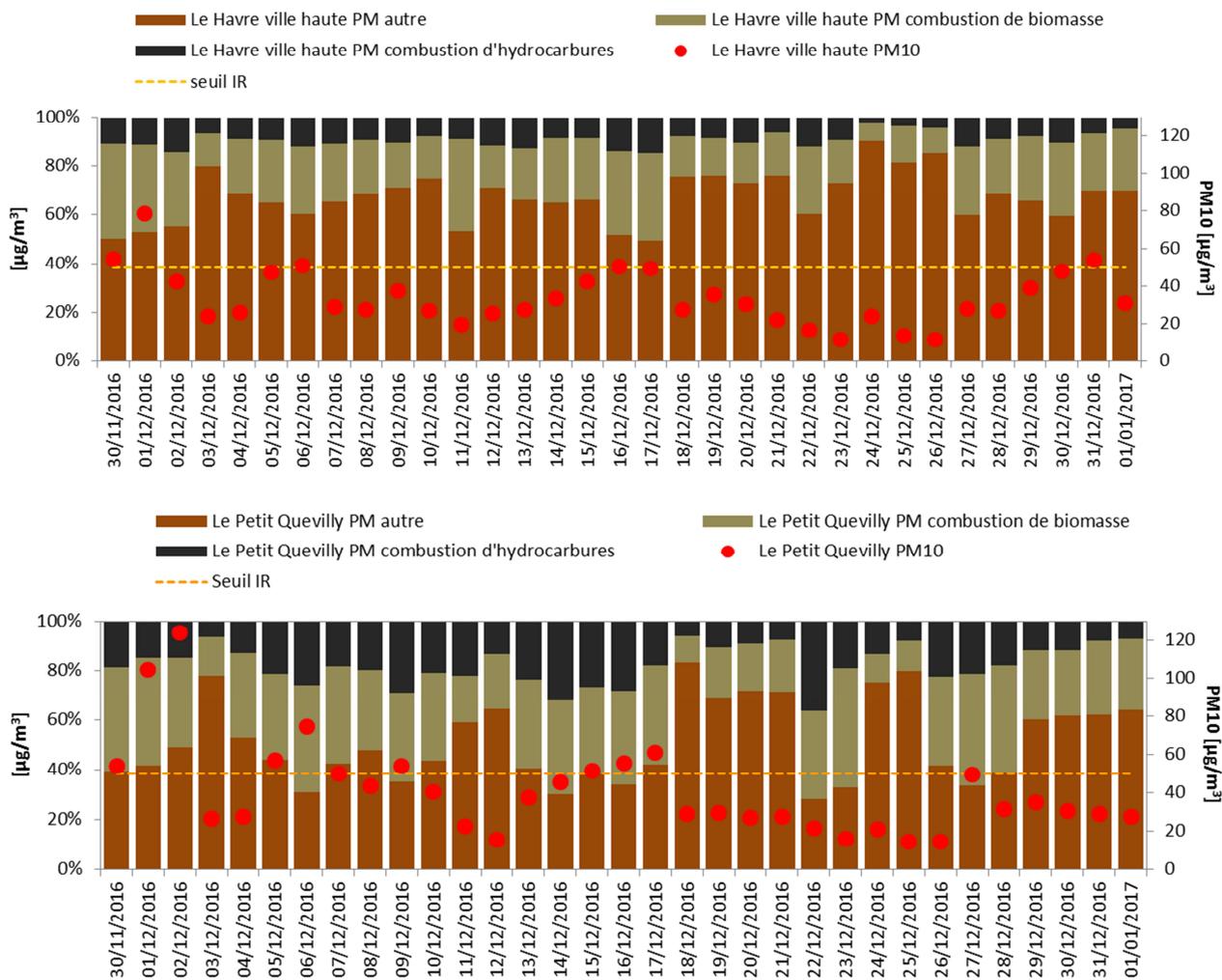
Source : [www.meteofrance.fr](http://www.meteofrance.fr)



## 7.2. Moyennes journalières des PM10 enregistrées entre 29/11/2016 et 1/01/2017 sur les stations normandes de fond.

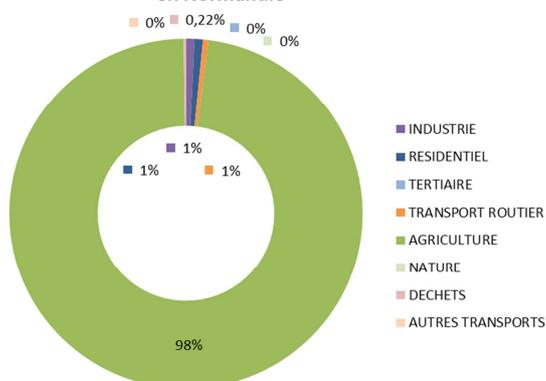
unité [µg/m <sup>3</sup> ]	Phare d'Alilly	Evreux	Le Havre	Le Havre ville haute	Rouen	Saint Lô	Caen	Alençon	Caen - ifs	Cherbourg	Honfleur	Lisieux	La Coulonche	Le Val de Reuil (Poses)	Petit Quevilly
29/11/2016		18	16	23	20	20	22	17	25	19		23	13	17	19
30/11/2016	25	49	42	54	44	40	52	30	52	35	45	49	17	40	54
01/12/2016	32	69	76	79	92	38	41	34	54	25		50	13	67	105
02/12/2016	30	63	62	43	101	39	40	23	50	31	59	46	21	96	124
03/12/2016	26	27	18	24	28	25	24	26	28	15	27	27	22	23	26
04/12/2016	20	30	18	26	26	27	26	27	25	23	27	28	20	23	28
05/12/2016	33	53	43	47	47	31	38	37	47	32	46	50	23	46	57
06/12/2016	40	60	55	51	61	30	33	47	46	27	48	45	29	62	75
07/12/2016	24	37	29	29	45	23	21	46	28	19	31	30	22	49	50
08/12/2016	22	35	19	28	39	30	27	46	28	23	30	29	26	42	44
09/12/2016	29	36	28	38	41	30	27	42	35	24	29	36	18	38	54
10/12/2016	26	22	18	27	35	22	21	25	25	16	20	26	16	29	40
11/12/2016	12	11	9	20	20	13	10	17	12	13	10	14	8	11	23
12/12/2016	10	11	11	26	13	14	13	13	18	14	13	13	4	12	16
13/12/2016	25	29	19	27	31	25	23	28	28	18	23	29	15	27	37
14/12/2016	22	34	28	33	37	23	25	30	32	19	29	32	21	33	45
15/12/2016	34	40	42	42	47	30	32	40	38	22	36	37	30	41	52
16/12/2016	35	43	45	50	44	37	34	39	45	34	46	45	25	41	56
17/12/2016	34	34	68	49	54	36	32	29	28	38	40	39	18	35	61
18/12/2016	23	20	20	28	28	26	19	13	19	15	15	15	15	23	29
19/12/2016	24	20	27	36	26	23	21	14	22	23	26	23	8	23	29
20/12/2016	24	25	26	31	26	32	33	29	34	24	29	33	26	24	27
21/12/2016	20	24	18	22	25	18	22		28	14	22	30	20	24	27
22/12/2016	13	17	11	16	18	17	20		23	16	16	18	8	15	22
23/12/2016	15	18	10	12	17	13	13		16	10	14	17	5	11	16
24/12/2016	26	14	22	24	18	23	22	24		28	22	29	12	17	21
25/12/2016	11	12	9	14	11	9	10	19	13	13	13	26	11	11	14
26/12/2016	13	10	12	12	14	12	14	9	17	20	14	15	8	11	15
27/12/2016	20	33	31	28	36	27	28	21	39	24	33	36	15	26	49
28/12/2016	17	44	25	27	26	19	28	17	41	18	30	37	8	28	32
29/12/2016	21	32	38	39	29	30	38	31	52	30	34	34		25	35
30/12/2016	23	20	40	48	24	70	62	28	73	42	35	43	23	22	30
31/12/2016	26	15	38	54	23	65	53	21	50	37	27	41	21	21	29
01/01/2017	24	20	17	31	20	20	24	17	28	20	22	23	12	23	28

### 7.3. Moyennes journalières des PM10 et des contributions de la combustion de biomasse (PMwb) et d'hydrocarbures (PMff) au Havre et au Petit-Quevilly



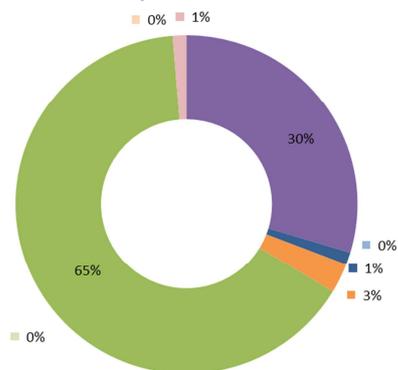
## 7.4. Répartition sectorielle des émissions de NH<sub>3</sub>, NO<sub>x</sub> et PM<sub>10</sub> en 2014 en Normandie

Répartition sectorielle des émissions de NH<sub>3</sub> en 2014 en Normandie



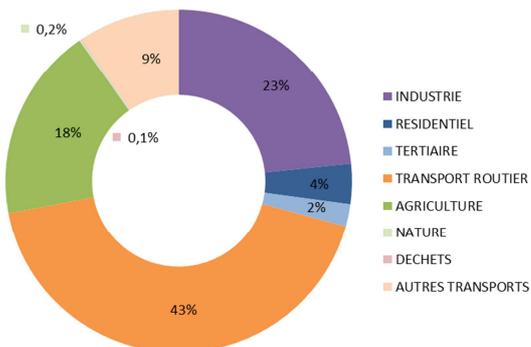
Atmo Normandie - Version 3.1.2

Répartition sectorielle des émissions de NH<sub>3</sub> en 2014 en Métropole Rouen Normandie



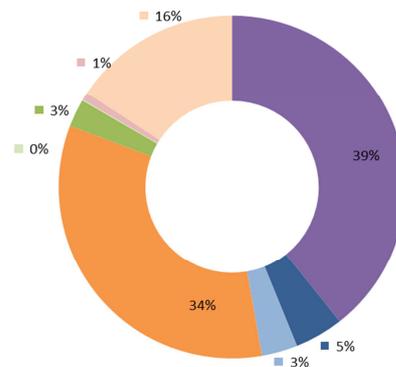
Atmo Normandie - Version 3.1.2

Répartition sectorielle des émissions de NO<sub>x</sub> en 2014 en Normandie



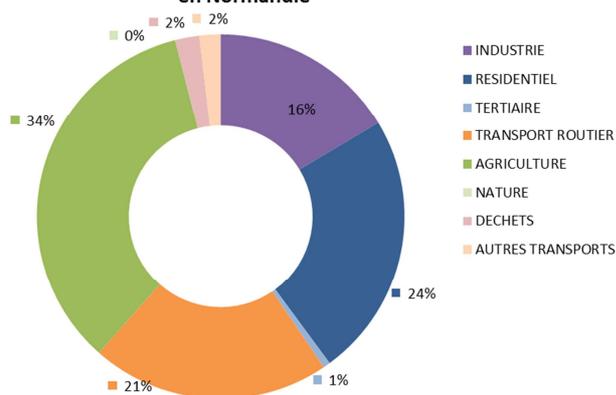
Atmo Normandie - Version 3.1.2

Répartition sectorielle des émissions de NO<sub>x</sub> en 2014 en Métropole Rouen Normandie



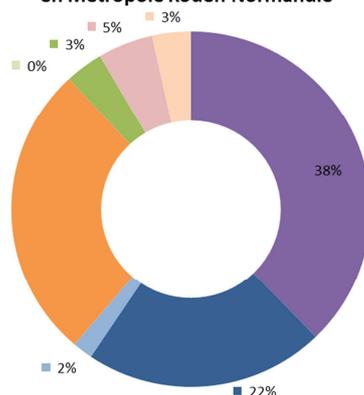
Atmo Normandie - Version 3.1.2

Répartition sectorielle des émissions de PM<sub>10</sub> en 2014 en Normandie



Atmo Normandie - Version 3.1.2

Répartition sectorielle des émissions de PM<sub>10</sub> en 2014 en Métropole Rouen Normandie



Atmo Normandie - Version 3.1.2