

RAPPORT D'ETUDE

Campagne de mesures de qualité de l'air exploratoire :
collaboration Atmo-recherche

Villeneuve d'Ascq

Mesures réalisées en 2016



© J. Delannoy

Diffusion : février 2018



LASIR



SAGE
Sciences de
l'Atmosphère
et Génie de
l'Environnement



Avant-propos

Atmo Hauts-de-France est une association de type « loi 1901 » agréée par le Ministère de la Transition Ecologique et Solidaire (décret 2007-397 du 22 mai 2007) au même titre que l'ensemble des structures chargées de la surveillance de la qualité de l'air, formant le réseau national ATMO. Ses missions s'exercent dans le cadre de la loi sur l'air du 30 décembre 1996. Atmo Hauts-de-France est agréée du 1^{er} janvier au 31 décembre 2017 au titre de l'article L.221-3 du Code de l'environnement.

Suite à la réforme des régions introduite par la Nouvelle Organisation Territoriale de la République (loi NOTRe du 16 juillet 2015), les Associations Agréées de Surveillance de la Qualité de l'Air de la Picardie et du Nord – Pas-de-Calais ont fusionné le 1^{er} janvier 2017 pour former Atmo Hauts-de-France.

Conditions de diffusion

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

Responsabilités

Les données contenues dans ce document restent la propriété intellectuelle d'Atmo Hauts-de-France. Ces données ne sont pas rediffusées en cas de modification ultérieure.

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°02/2016/NPS/V0**.

En cas de remarques sur les informations ou leurs conditions d'utilisation, prenez contact avec Atmo Hauts-de-France :

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

Réclamations

Les réclamations sur la non-conformité de la livraison exécutée en regard de la commande 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, la résolution de celui-ci s'effectuera sous l'arbitrage des autorités compétentes.

	Nom	Qualité	Visa
Rédaction et vérification	Nathalie Pujol-Söhne	Ingénieur Etudes atmo	
	Ioana Popovici	LOA	
	Florin Unga	LOA	
	Philippe Goloub	LOA	
Approbation	Véronique Riffault	Professeure IMT Lille Douai	
	Houda Rochdi	Ingénieur Etudes atmo	
	Nathalie Dufour	Responsable du Service Etudes	

Sommaire

1. Synthèse de l'étude.....	5
2. Enjeux et objectifs de l'étude	6
3. Matériels et méthodes.....	7
3.1. Dispositif de mesures de l'étude.....	7
3.2. Localisation.....	8
3.3. Dispositif de référence	9
4. Contexte environnemental	11
4.1. Emissions connues.....	11
4.2. Contexte météorologique.....	15
4.3. Episodes de pollution	16
5. Mesures	17
5.1. Bilan météorologique	17
5.2. Le dioxyde de soufre (SO ₂)	18
5.3. Le dioxyde d'azote (NO ₂)	20
5.4. Le monoxyde d'azote (NO).....	24
5.5. Les particules en suspension (PM ₁₀).....	26
5.6. Les particules fines (PM _{2,5})	30
5.7. L'ozone (O ₃).....	37
5.8. Le monoxyde de carbone (CO)	40
6. Comparaison modèles-mesures	42
6.1. Périmètre.....	42
6.2. Météo	44
6.3. Polluants.....	50
7. Conclusions et perspectives	62
8. Remerciements.....	63

Annexes

Annexe 1 : Glossaire.....	64
Annexe 2 : Origines et impacts des polluants surveillés.....	67
Annexe 3 : Modalités de surveillance	70
Les stations de mesures.....	70
Critères d’implantation des stations fixes	70
Techniques de mesures	71
Annexe 4 : Mesures des laboratoires	72
ACSM	72
GRIMM Mini WRAS.....	72
OPC alphasense	72
LIDAR	72
Annexe 5 : Modélisation.....	75
Annexe 6 : Météorologie	76
Vents	76
Précipitations	77
Températures.....	78
Humidité relative	80
Annexe 7 : Taux de fonctionnement.....	81
Annexe 8 : Repères réglementaires.....	82

1. Synthèse de l'étude

Objectif des mesures : amélioration des connaissances – collaboration de recherche Labex CaPPA.

Les 9 semaines de l'étude permettent des comparaisons instrumentales et de modèles de qualité de l'air (Esméralda et Prev'Air) ainsi que l'analyse de la complémentarité des dispositifs de mesures d'Atmo Hauts-de-France et du Labex CaPPA (Laboratoire d'excellence CaPPA – Physique et Chimie de l'Environnement Atmosphérique).

Lieu des mesures : Villeneuve-d'Ascq (59)

Durant l'automne 2016, la station mobile d'Atmo a surveillé la qualité de l'air sur le site de l'université de Lille1 à Villeneuve-d'Ascq afin de pouvoir comparer ces mesures, celles de la station fixe d'Atmo de Lille Fives et de la plateforme instrumentée du Labex CaPPA.

-  Station fixe de mesures
-  Station mobile de mesures
-  Plateforme instrumentée Labex CaPPA



Dates des mesures : 8 septembre au 10 novembre 2016

Polluants et variables mesurés :

Atmo Hauts-de-France :

- Dioxyde de soufre (SO₂), oxydes d'azote (NO et NO₂), ozone (O₃), particules en suspension PM₁₀ et PM_{2.5}, monoxyde de carbone (CO)
- Température, pression, humidité relative, direction et vitesse de vent

Labex CaPPA :

- Hauteur de couche limite, particules en suspension PM₁₀, PM_{2.5}, spéciation chimique des PM₁ non réfractaires (ammonium, nitrates, sulfates, organiques, chlorures)

Polluants et variables modélisés étudiés :

Modèle Esmeralda :

- Particules en suspension PM_{2.5} et spéciation chimique des PM₁₀ (ammonium, nitrates, sulfates, carbone organique, organiques secondaires)
- Température, vitesse et direction du vent, hauteur de couche limite

Modèle Prev'air :

- Particules en suspension PM_{2.5} et spéciation chimique des PM₁₀ (ammonium, nitrates, sulfates, carbone organique)

Résultats : ce qu'il faut retenir !

Les résultats de mesures de la station mobile et de la station fixe, puis de modélisation et des instruments du Labex CaPPA ont été comparés entre eux, en s'attachant tout particulièrement aux données concernant les particules.

Les comparaisons montrent que les mesures entre la station fixe et la station mobile sont bien comparables, donc les instruments de la plateforme du labex CaPPA peuvent s'appuyer les données de la station fixe de Fives. Pour la modélisation, les comparaisons montrent que les paramètres météorologiques sont globalement bien simulés sur la période, à l'exception de la vitesse du vent.

Les comparaisons des modèles chimiques montrent une relative adéquation avec les PM_{2.5} totales. Les comparaisons de composition chimique montrent pour l'instant des divergences, notamment pour la plupart des espèces.

2. Enjeux et objectifs de l'étude

Dans le cadre de sa collaboration avec les acteurs de la recherche (Laboratoire d'Optique Atmosphérique et autres laboratoires du labex CaPPA) et en lien avec son Programme Régional de Surveillance de la Qualité de l'Air (PRSQA) 2011-2015, l'association Atmo Hauts-de-France (à l'époque atmo Nord – Pas-de-Calais) a réalisé en 2016 une campagne de mesures de la pollution atmosphérique sur la commune de Villeneuve d'Ascq. Pour ce faire, Atmo Hauts-de-France (Atmo HdF) a mis en place :

- La mesure des particules (PM10 et PM2.5), des oxydes d'azote, du dioxyde de soufre, de l'ozone et du monoxyde de carbone (descriptif des polluants en [annexe 2](#)).
- Une station mobile a ainsi été installée sur le campus de l'université de Lille 1, pour une durée de 9 semaines pour permettre des comparaisons instrumentales et l'analyse des complémentarités des données.

A partir de ces observations, Atmo HdF et les équipes des laboratoires (Laboratoire d'Optique Atmosphérique - LOA, Laboratoire de Spectrochimie Infrarouge et Raman - LASIR, Département Sciences de l'Atmosphère et Génie de l'Environnement - SAGE) cherchent à mettre en œuvre un ensemble unique d'instruments dont :

- Un ACSM (*Aerosol Chemical Speciation Monitor*) : appareil permettant d'identifier les composants des particules aérosols fines (submicroniques) volatiles à 600°C,
- Plusieurs aethalomètres : analyseurs de carbone suie (black carbon) permettant d'estimer l'origine de ces polluants,
- Le Lidar multi-longueurs d'ondes-Raman LILAS : appareil de télédétection laser permettant d'identifier la répartition verticale de la pollution (altitude)
- Le spectromètre infrarouge haute résolution CHRIS : appareil identifiant la composition des gaz et aérosols.

Cette campagne de mesures locale remplit plusieurs objectifs :

- Évaluer les différences entre les observations de la station "Lille Fives" et les observations faites depuis la plateforme de mesures du campus universitaire (toit du LOA). La station de Fives est souvent prise comme référence pour les mesures de PM₁₀, PM_{2.5}. Elle dispose d'une longue série de mesures souvent comparées et combinées aux mesures de télédétection par les acteurs de la recherche et plus récemment aux mesures in situ réalisées depuis la plateforme de mesures partagée (toit du LOA)
- Étudier la variabilité entre la station "Lille Fives" et le campus universitaire grâce au système mobile CaPPA (voiture instrumentée)

En s'enrichissant de toutes ces informations complémentaires, il s'agit pour tous les partenaires d'améliorer la prévision de la qualité de l'air et l'analyse des épisodes de pollution.

Voir <http://www.labex-cappa.fr/actualites/station-mobile-atmo-universite-lille>

Ce rapport présente, sur la période du 08/09 au 10/11/2016 les résultats de mesures et de modélisation régionale (météo et chimie). Les mesures utilisées étant celles de la station mobile, d'un panel de stations fixes (les plus proches et de typologies variées) et de la plateforme instrumentale de recherche du Labex CaPPA.

Remarque : La campagne de mesure étant réalisée en une seule phase, l'analyse en fonction des critères de seuils réglementaires annuels n'a plus de sens. Bien que la durée d'échantillonnage soit suffisante (8 semaines minimum), pour être considérées comme représentatives de l'année et donc comparables aux seuils règlementaires, les mesures doivent être réparties au cours de l'année (généralement sur 2 phases – hivernale et estivale).

3. Matériels et méthodes

3.1. Dispositif de mesures de l'étude

Les techniques de mesures exploitées pour chaque polluant surveillé pendant la campagne ainsi que les références des analyseurs automatiques sont les suivantes :

Paramètre	Méthode de mesure	Norme	Technique	Référence appareils
Dioxyde de soufre (SO ₂)	Fluorescence UV	NF EN 14212	Analyseur automatique	SO_2M_09
Monoxyde d'azote (NO)	Chimiluminescence	NF EN 14211	Analyseur automatique	NX_2M_04 NX_1M_20
Dioxyde d'azote (NO ₂)	Chimiluminescence	NF EN 14211	Analyseur automatique	NX_2M_04 NX_1M_20
Monoxyde de carbone (CO)	Spectroscopie Infra Rouge	NF EN 14626	Analyseur automatique	CO_2M_04
Ozone (O ₃)	Photométrie UV	NF EN 14625	Analyseur automatique	OZ_1M_14
Particules en suspension (PM ₁₀)	Gravimétrie différentielle	En cours de normalisation	Analyseur automatique	PM_1M_15
Particules en suspension (PM _{2,5})	Gravimétrie différentielle	ND	Analyseur automatique	PM_1M_28

Les techniques sont présentées et détaillées en [annexe 3](#).

3.2. Localisation

La commune de Villeneuve d'Ascq se situe dans le département du Nord, et jouxte Lille.

Selon les études statistiques de l'INSEE, la commune Villeneuve d'Ascq comptait 62 869 habitants en 2014 pour une superficie de 27,5 km², soit une densité de population de 2289,5 habitants au km².

Localisation du site de mesures impliqué dans cette étude



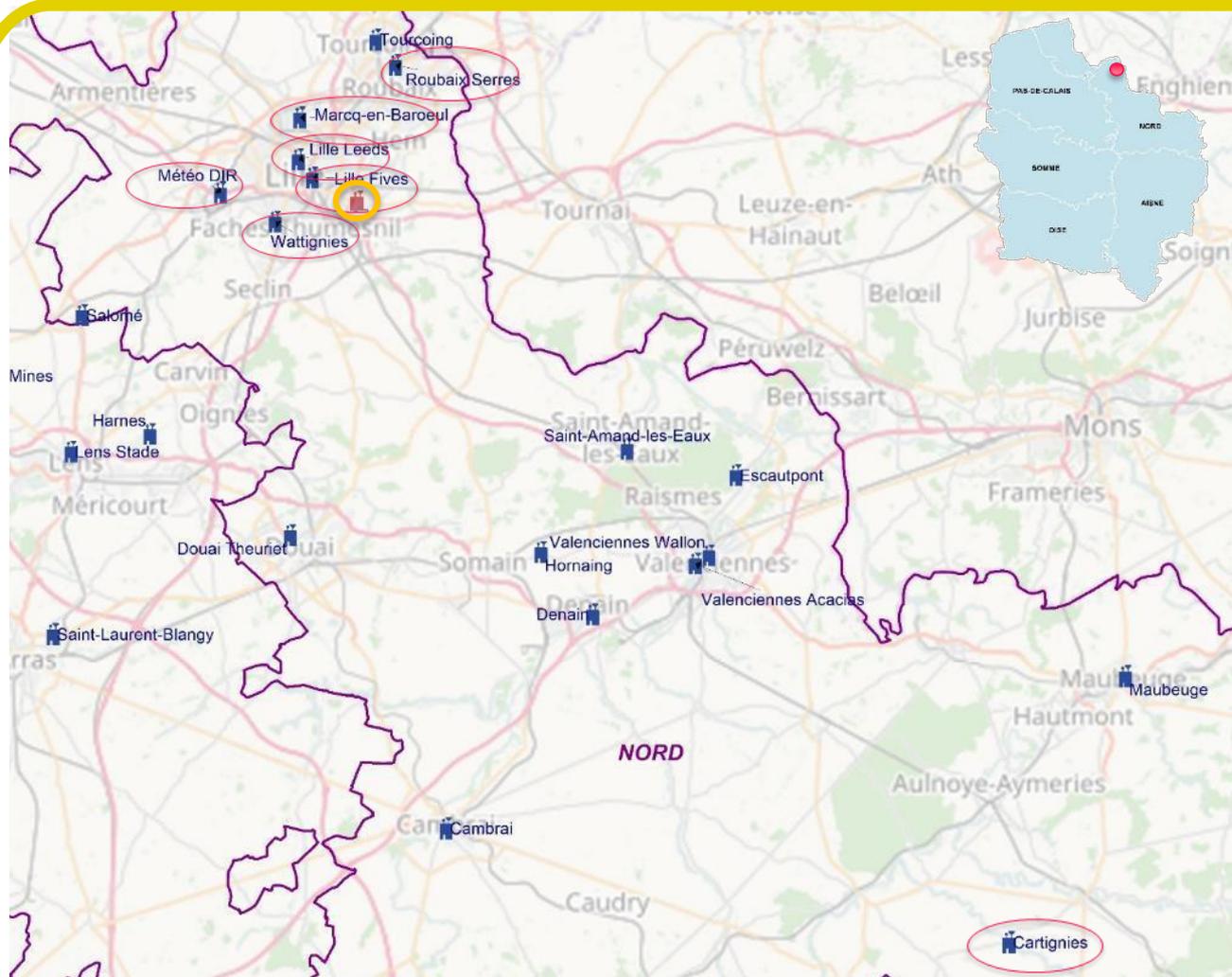
La station mobile était installée sur le campus de l'Université Lille 1 – parking du CERLA, à proximité de la station de métro Cité Scientifique - Professeur Gabillard.



3.3. Dispositif de référence

Afin de valider les résultats, les données issues de la station mobile vont être comparées aux stations de mesures fixes les plus proches mesurant les mêmes paramètres, sur des typologies variées.

La carte ci-dessous permet de localiser les stations fixes par rapport à la zone d'étude.



Station fixe de mesures



Station mobile de mesures



Station prise en compte dans cette étude



Plateforme instrumentée Labex CaPPA

Selon leurs critères d'implantation et les caractéristiques environnementales, les stations fixes ne mesurent pas systématiquement les mêmes polluants. Le tableau ci-dessous reprend les polluants mesurés par chacune des stations fixes de référence utilisées dans cette étude :

Station fixe	Dioxyde de soufre	Oxydes d'azote	Ozone	Particules en suspension PM ₁₀	Particules en suspension PM _{2.5}	Monoxyde de carbone	Paramètre météorologique
MC5 Fives	■	■		■	■		
MN5 Marcq-en-Barœul		■	■				
MC7 Leeds		■		■	■		
MN1 Roubaix Serres						■	
ME4 Wattignies			■				
RU2 Cartignies			■	■			
MO3 Sequedin Météo DIR							■

4. Contexte environnemental

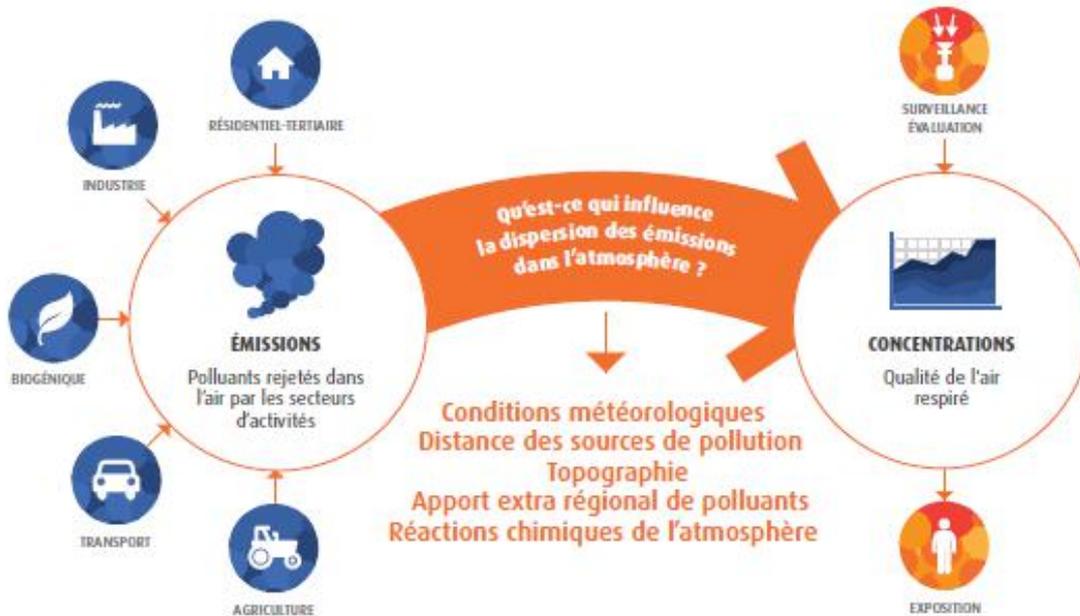
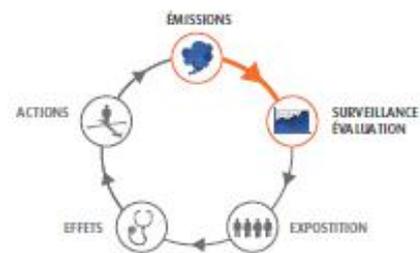
Ce paragraphe recense des éléments liés à la qualité de l'air permettant d'interpréter les résultats de l'étude et pouvant avoir un impact sur celle-ci, tels que les émissions, la météorologie et les épisodes de pollution.

4.1. Emissions connues

Les émissions de polluants correspondent aux quantités de polluants directement rejetées dans l'atmosphère :

- Par les activités humaines (cheminées d'usine ou de logements, pots d'échappement, agriculture...),
- Par des sources naturelles (composés émis par la végétation et les sols, etc.).

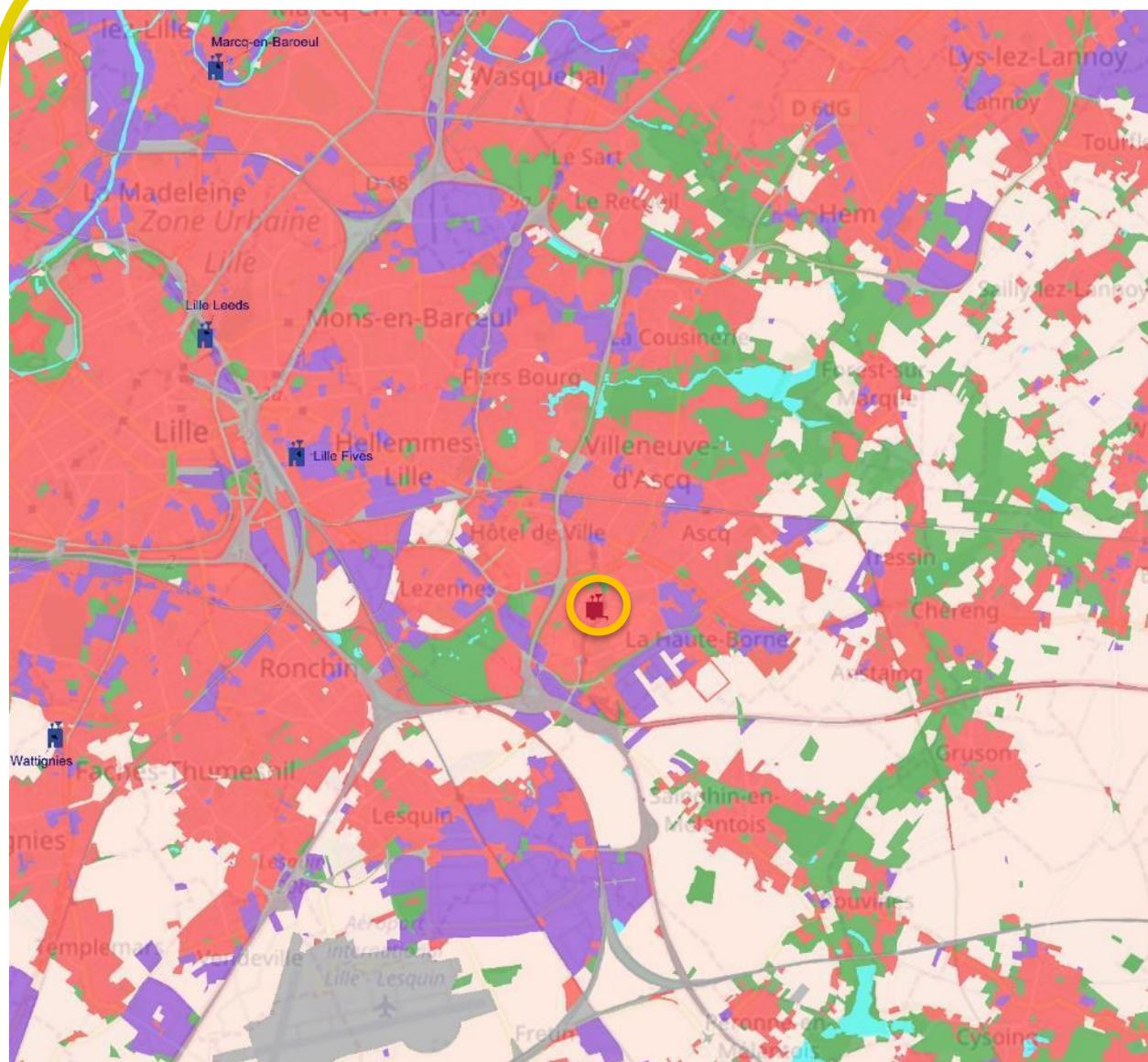
DES ÉMISSIONS AUX CONCENTRATIONS DE POLLUANTS DANS L'ATMOSPHÈRE



L'inventaire des émissions de polluants consiste à identifier et recenser la quantité des polluants émis par secteur d'activité, sur une zone et une période données.

4.1.1. Localisation des principaux émetteurs anthropiques de la zone d'études

La carte ci-dessous représente les principaux émetteurs pouvant influencer la qualité de l'air locale dans un rayon d'environ 5 km autour de la station mobile (activités économiques industrielles et agricoles, routiers et autres transports, urbanisation). Cette zone fait partie de la Métropole Européenne de Lille - MEL.



Occupation des sols (SIGALE)

-  Forêts et milieux semi-naturels
-  Réseaux de communication
-  Territoires agricoles
-  Zones humides et surfaces en eau
-  Zones industrielles ou commerciales; mines, décharges et chantiers
-  Zones urbanisées

-  Station fixe de mesures
-  Station mobile de mesures
-  Plateforme instrumentée Labex CaPPA

Plus précisément, le contexte autour de l'unité mobile est un peu différent de la globalité de la MEL.

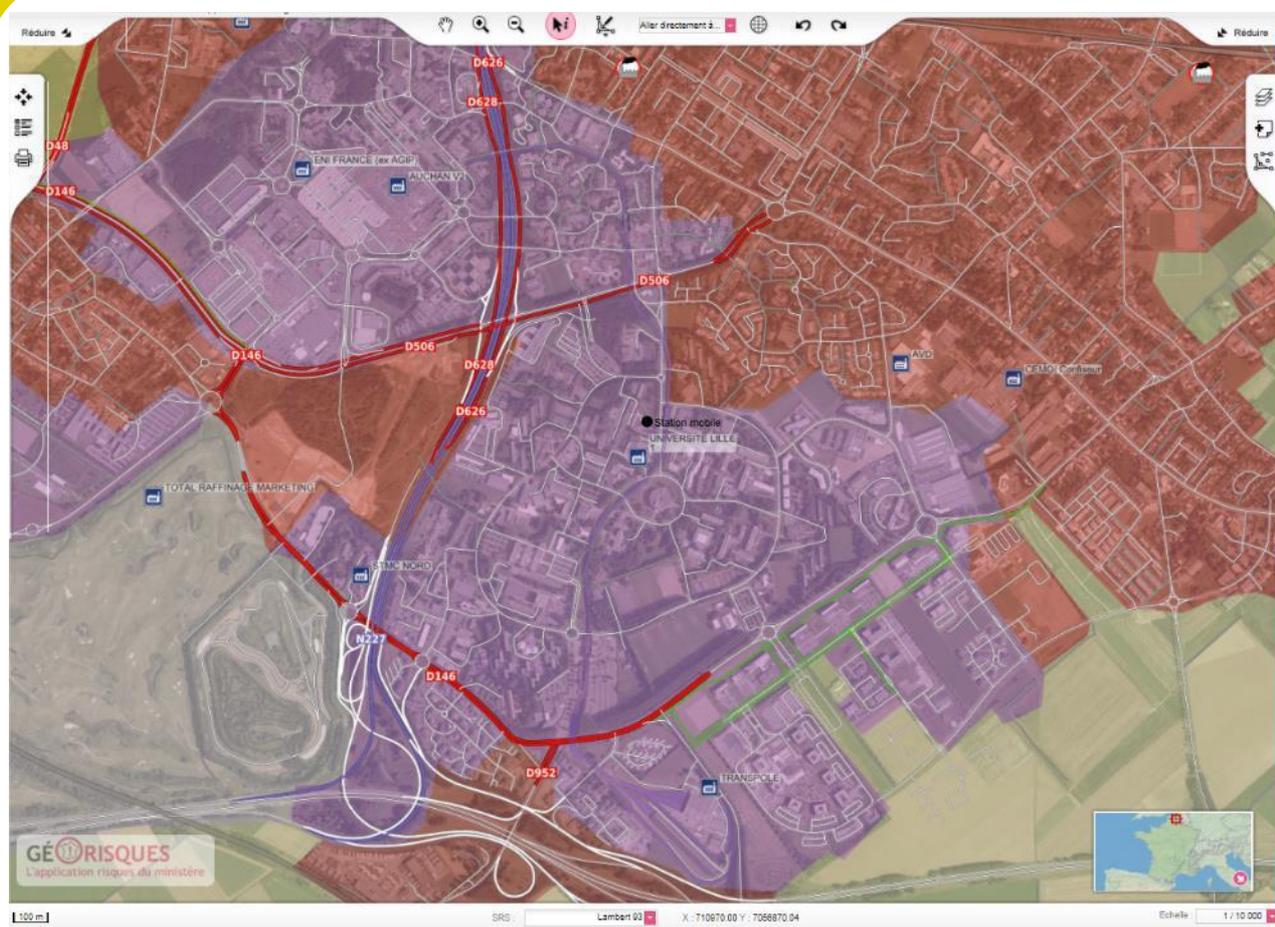
Par rapport aux sources d'émissions, l'unité mobile était située :

- Sur un parking universitaire réservé aux enseignants
- À 90 m de l'Avenue Paul Langevin
- À 65 m des rails du métro aérien
- À moins de 200 m de la chaufferie de l'université (30.5 MW)
- À moins de 800 m du Stade Pierre Mauroy

La zone a des pics de fréquentation trafic le matin aux horaires de bureau ainsi qu'avant et après les événements au stade (matches, concerts,...).

Précisions sur les principaux émetteurs industriels locaux

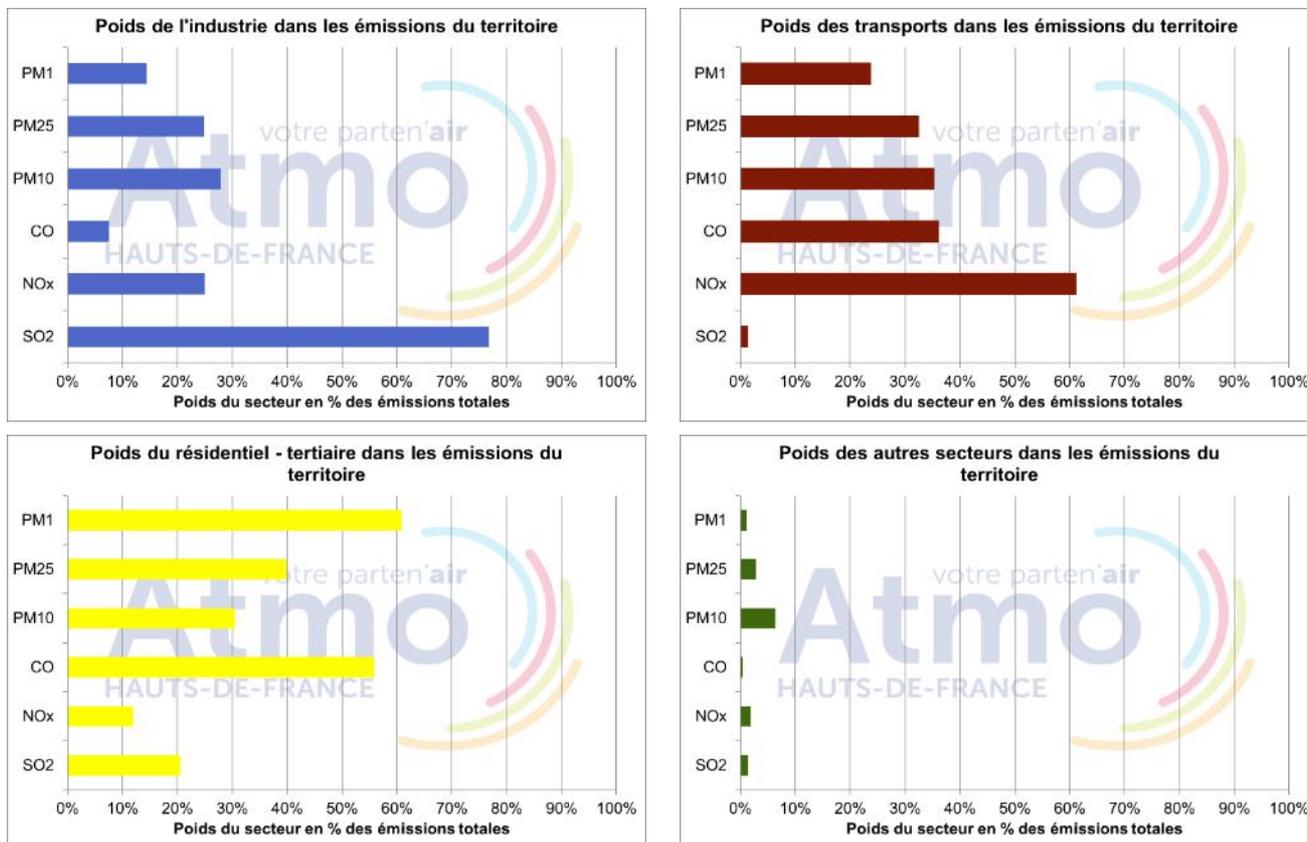
Plusieurs industriels sont présents dans un rayon de 5 km autour de la station mobile, le plus proche étant à 200 m. Les données d'émissions de polluants dans l'air étudiés lors de cette campagne ne sont pas accessibles sur l'IREP pour les sites les plus proches, ce qui signifie qu'ils doivent être en dessous des limites de déclaration.



La partie présentée page suivante présente les principales caractéristiques de la MEL en termes d'émissions.

4.1.2. Précisions sur les principaux émetteurs anthropiques de la zone d'études

Les données utilisées et présentées dans les graphes suivants sont issues de l'inventaire des émissions de l'année 2012, réalisé par Atmo Hauts-de-France, selon la méthodologie définie en 2012 (source Base_A2012_M2012_V4¹). Elles sont présentées à l'échelle de la Métropole Européenne de Lille (MEL).



Les secteurs représentés sont :

- Le secteur industriel comprenant les émissions issues de l'extraction, la transformation et la distribution d'énergie ainsi que celles issues de l'industrie manufacturière, le traitement des déchets et la construction.
- Le secteur transports comprenant les émissions du transport routier et des modes de transport autres que routier.
- Le secteur « autres » comprenant principalement les émissions agricoles et biogéniques.
- Le secteur résidentiel tertiaire comprenant les émissions issues des secteurs résidentiel, tertiaire, commercial et institutionnel.

Le pourcentage est exprimé par rapport au total des émissions intercommunales. Pour en savoir plus et toujours accéder aux meilleures données disponibles voir <http://www.atmo-hdf.fr/acceder-aux-donnees/emissions-de-polluants.html>.

Ainsi, à l'échelle de la MEL, les polluants étudiés à travers cette étude sont tous majoritairement issus du secteur résidentiel-tertiaire (principalement du chauffage) et des transports (majoritairement routier), excepté pour le SO₂ principalement issu des activités industrielles.

4.2. Contexte météorologique



Le contexte météorologique peut avoir un impact sur les conditions de dispersion de la pollution atmosphérique.

Certains paramètres favorisent la dispersion (par exemple les vents forts) et/ou le lessivage des polluants, d'autres au contraire vont favoriser leur accumulation (hautes pressions, inversion de température, stabilité atmosphérique), ou leur formation (comme l'ensoleillement).

Pour une campagne de mesures de la qualité de l'air ambiant, il est donc important d'étudier les conditions météorologiques dans lesquelles les mesures des polluants ont été effectuées.

Le détail des paramètres (vitesses de vents, températures, précipitations, pressions) est précisé [annexe 6](#).



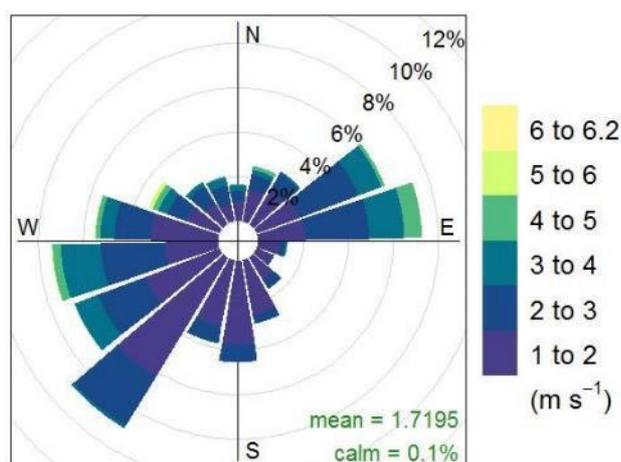
Guide de lecture des roses de vents

- Les pétales se placent en fonction des directions de vents (d'où vient le vent),
- La fréquence des vents est indiquée en pourcentage par les cercles concentriques,
- Les couleurs indiquent les vitesses de vents, le jaune étant significatif de vents forts.

Les vents dont la vitesse est inférieure à 1m/s ne sont pas représentés car ils ne sont pas significatifs.



Le graphe suivant représente la rose des vents issue de la station de Sequedin sur la période du 8 septembre – 10 novembre 2016.



**Rose des vents de Sequedin
[2016]**

Durant la campagne de mesures, le territoire a été soumis à des vents majoritairement issus des secteurs sud-ouest et nord-est.

Le secteur sud-ouest est le régime classique des intrusions maritimes. Les périodes de flux de nord-est sont symptomatiques des conditions anticycloniques sur le nord de l'Europe.

La campagne a été effectuée au cours d'un mois de septembre plus chaud et plus sec que la normale. Le mois d'octobre a été frais car soumis à des courants d'est plus souvent que la normale. Début novembre est marqué par l'arrivée d'une perturbation importante (source : Bulletin climatique Météo France).

Les conditions de dispersion ont été variables au cours de la campagne de mesures.

4.3. Episodes de pollution



Un épisode de pollution correspond à une période, où les concentrations de polluants dans l'atmosphère ne respectent pas ou risquent de ne pas respecter les seuils réglementaires rappelés en annexe 8 (seuil d'information/recommandation et seuil d'alerte) et selon des critères prédéfinis (pourcentage de surface de la zone ou pourcentage de population impactés, niveau réglementaire franchi, durée de l'épisode, ...).

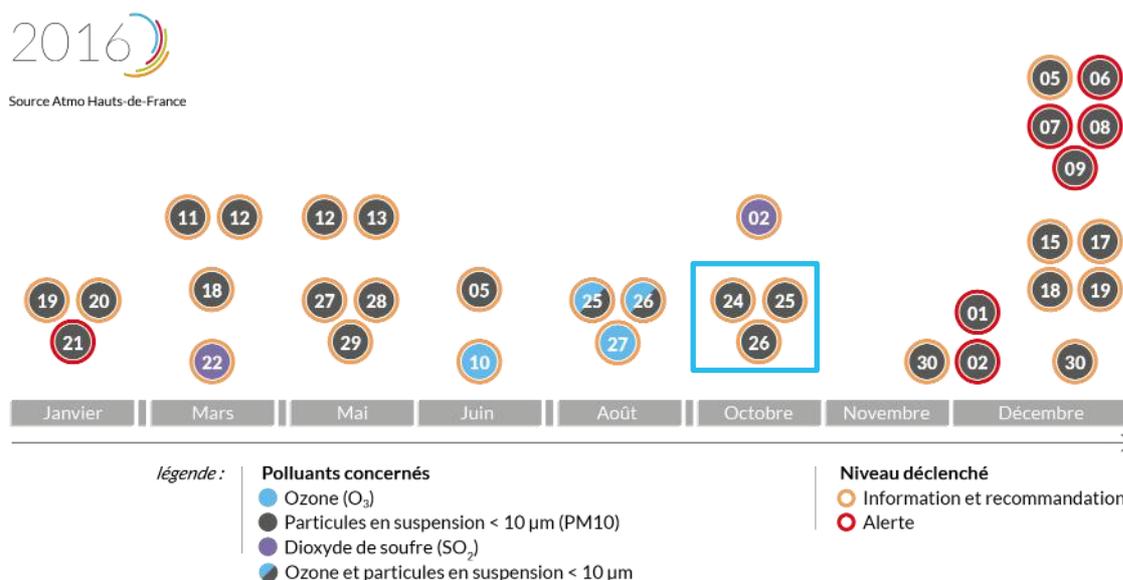
Quatre polluants sont intégrés dans la procédure de déclenchement d'épisode de pollution de l'air : l'ozone (O_3), le dioxyde d'azote (NO_2), le dioxyde de soufre (SO_2) et les particules en suspension (PM_{10}).

Facteurs favorisant la formation des épisodes de pollution

Pour atteindre des niveaux élevés de concentration conditionnant le déclenchement des épisodes de pollution, les critères à réunir sont multiples et varient selon les périodes de l'année. La combinaison de plusieurs des éléments suivants est souvent à l'origine des épisodes :

- Mauvaises conditions de dispersion,
- Conditions favorables aux transformations chimiques,
- Transport transfrontalier ou interrégional de polluants,
- Émissions de polluants en région,
- Émissions de précurseurs du polluant.

La frise ci-dessous reprend l'ensemble des épisodes de pollution ayant été constatés en 2016 au niveau des départements de la région Hauts-de-France².



Concernant cette étude, nous avons constaté un épisode de pollution en PM_{10} (encadré bleu) sur la zone.

5. Mesures



L'échelle des temps de toutes les mesures est en UTC (Temps Universel Coordonné), il faut donc ajouter 2 heures en été et 1 heure en hiver pour avoir les heures locales.

5.1. Bilan métrologique

Les données délivrées par le dispositif de mesures des polluants atmosphériques d'Atmo Hauts-de-France sont systématiquement validées puis agrégées afin de calculer des paramètres statistiques comparables à la réglementation en vigueur et interpréter rigoureusement la qualité de l'air sur la zone d'étude concernée.

La validation prend en compte la justesse de la mesure effectuée en contrôlant la dérive de l'appareil à la fin de campagne. Nous acceptons une réponse de l'analyseur pouvant s'écarter jusqu'à +/-10% de la valeur de notre étalon lorsque nous l'injectons dans l'appareil. Si l'écart est plus important, les mesures sont invalidées. Les résultats pour la campagne sont présentés dans le tableau ci-dessous.

Technique	NO _x	O ₃	SO ₂	CO
Ecart lors du réglage (%)	-4.34%	-4.43%	0.55%	-8.70%
	-4.47%			

Une fois les données validées, un taux de fonctionnement est calculé pour chaque paramètre mesuré. Il s'agit du pourcentage de données valides d'un appareil de mesures, sur une période définie (année civile, phase de mesures, semaine...).

Un taux de fonctionnement inférieur à 85% signifie que la concentration moyenne du polluant n'est pas représentative sur le temps d'exposition (ici équivalent à une phase de mesures). Aucune comparaison avec les valeurs réglementaires du polluant pour l'année de l'étude n'est alors possible.

Dans cette étude presque tous les taux de fonctionnement sont supérieurs à 85% (voir le détail des taux de fonctionnement en [annexe 7](#)) hormis celui concernant les PM₁₀.

Aucune donnée ne sera comparée aux valeurs réglementaires car la répartition temporelle de la période de mesure n'est pas respectée.

Les limites de détection (plus petites concentrations pouvant être détectées par les appareils de mesures) pour les polluants étudiés sont indiquées dans le tableau ci-contre.

Polluant	Limite de détection (µg/m ³)
Monoxyde d'azote	2,494
Dioxyde d'azote	3,824
Dioxyde de soufre	5,32
Particules en suspension PM ₁₀	3
Ozone	4
Monoxyde de carbone	232

Remarque : on traite les données sans prendre en compte l'incertitude des mesures.

5.2. Le dioxyde de soufre (SO₂)

5.2.1. Concentrations moyennes sur l'ensemble de la campagne

Dans le tableau ci-après, sont résumés les résultats de la campagne de mesure pour le dioxyde de soufre.

Site de mesures		Influence de la mesure	Dioxyde de soufre (SO ₂)		
			Concentration moyenne (µg/m ³)	Valeur journalière maximale (µg/m ³)	Valeur horaire maximale (µg/m ³)
Campagne 2016	Villeneuve d'Ascq Station mobile	ND	<LD	<LD	7,9 (14/09/2016)
	Lille Fives	Industrielle	<LD	<LD	15,4 (26/10/2016)
Année civile 2016	Villeneuve d'Ascq Station mobile	ND	/	/	/
	Lille Fives	Industrielle	<LD	26,5 (5/01/2016)	49,4 (5/01/2016)
Valeurs réglementaires			50 (objectif de qualité)	125 à ne pas dépasser plus de 3 jours par an (valeur limite)	350 à ne pas dépasser plus de 24 heures par an (valeur limite)

< LD : Résultat inférieur à la limite de détection

« / » : Données non disponibles en raison de périodes de mesures différentes

ND = non définie

Avis et interprétation :

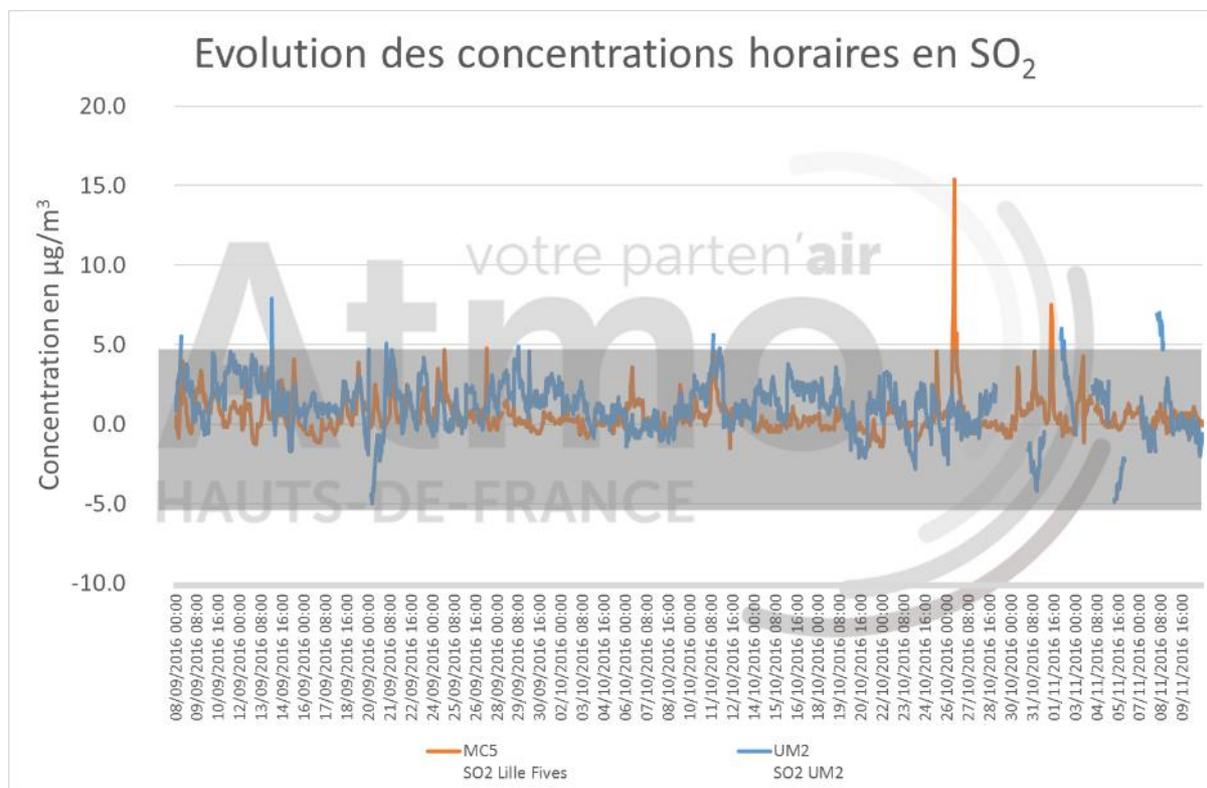
Au regard des résultats obtenus, sur la campagne de mesures, la concentration moyenne ainsi que la valeur journalière maximale sont inférieures à la limite de détection des appareils, ce qui signifie que les niveaux sont restés très faibles.

Globalement, depuis une quinzaine d'années, les concentrations en dioxyde de soufre relevées en milieu urbain et périurbain ont considérablement diminué et atteignent régulièrement des concentrations moyennes très faibles, proches de la limite de détection (hors proximité de zones industrielles spécifiques), ce que l'on peut constater pour l'année 2016 sur la station de Lille Fives. Cette évolution s'explique principalement par l'amélioration des combustibles et carburants (dont la teneur en soufre est de plus en plus faible), mais aussi par la désulfuration des fumées des grandes installations de combustion, le traitement des fumées des usines d'incinération d'ordures ménagères, l'émergence des énergies renouvelables ou n'utilisant pas de fuel au détriment des anciennes centrales thermiques ...

Des niveaux très faibles sur Villeneuve d'Ascq pour le SO₂ pendant la période de mesure

5.2.2. Evolution des concentrations horaires lors de la campagne

Le graphique ci-après montre l'évolution des concentrations moyennes horaires du dioxyde de soufre (SO₂) pour la station mobile de Villeneuve d'Ascq et la station fixe urbaine de fond de Lille Fives lors de la campagne de mesures.



La bande grise sur le graphique correspond aux limites de la mesure de ce polluant (limites de détection des appareils). Les données situées dans cette bande grise sont moins significatives, mais restent néanmoins exploitables et sont prises en compte dans le calcul des moyennes.

Durant la campagne les concentrations en dioxyde de soufre observées sur la station mobile à Villeneuve d'Ascq comme de la station fixe de Lille Fives sont presque toujours restées sous les limites de détection. Les quelques valeurs mesurées au-dessus de la limite de détection restent faibles.

Avis et interprétation :

Il n'y a pas eu de dépassement des seuils réglementaires lors de la campagne de mesures. Les concentrations en dioxyde de soufre sur le site mobile sont restées très faibles.

5.3. Le dioxyde d'azote (NO₂)

5.3.1. Concentrations moyennes sur l'ensemble de la campagne

Dans le tableau ci-après, sont résumés les résultats de la campagne de mesure pour le dioxyde d'azote.

Site de mesures		Influence de la mesure	Dioxyde d'azote (NO ₂)	
			Concentration moyenne ³ (µg/m ³)	Valeur horaire maximale (µg/m ³)
Campagne 2016	Villeneuve d'Ascq Station mobile	ND	25	90,5 (10/10/2016)
	MC5 Lille Fives	Fond	25,7	82,3 (8/11/2016)
	MC7 Lille Leeds	Trafic	37,1	132,2 (21/10/2016)
	MN5 Marcq-en-Barœul	Fond	25,5	138 (8/11/2016)
Année civile 2016	Villeneuve d'Ascq Station mobile	ND	/	/
	MC5 Lille Fives f	Fond	24	103,6 (19/01/2016)
	MC7 Lille Leeds	Trafic	NR	NR
	MN5 Marcq-en-Barœul	Fond	23	138 (8/11/2016)
Valeurs réglementaires			40 (valeur limite)	200 à ne pas dépasser plus de 18 heures par an (valeur limite)

« / » : Données non disponibles en raison de périodes de mesures différentes

NR : Mesure non représentative ; le taux de fonctionnement annuel n'est pas suffisant

ND = non définie

Avis et interprétation :

Aucun dépassement de seuil en NO₂ n'a été relevé durant la campagne de mesure sur les stations étudiées. Comparativement aux résultats obtenus depuis d'autres stations du secteur, les valeurs de Villeneuve d'Ascq s'approchent des valeurs obtenues à Fives et Marcq-en-Barœul, mesure non soumise à une influence quelconque (d'origine industrielle ou issue des transports).

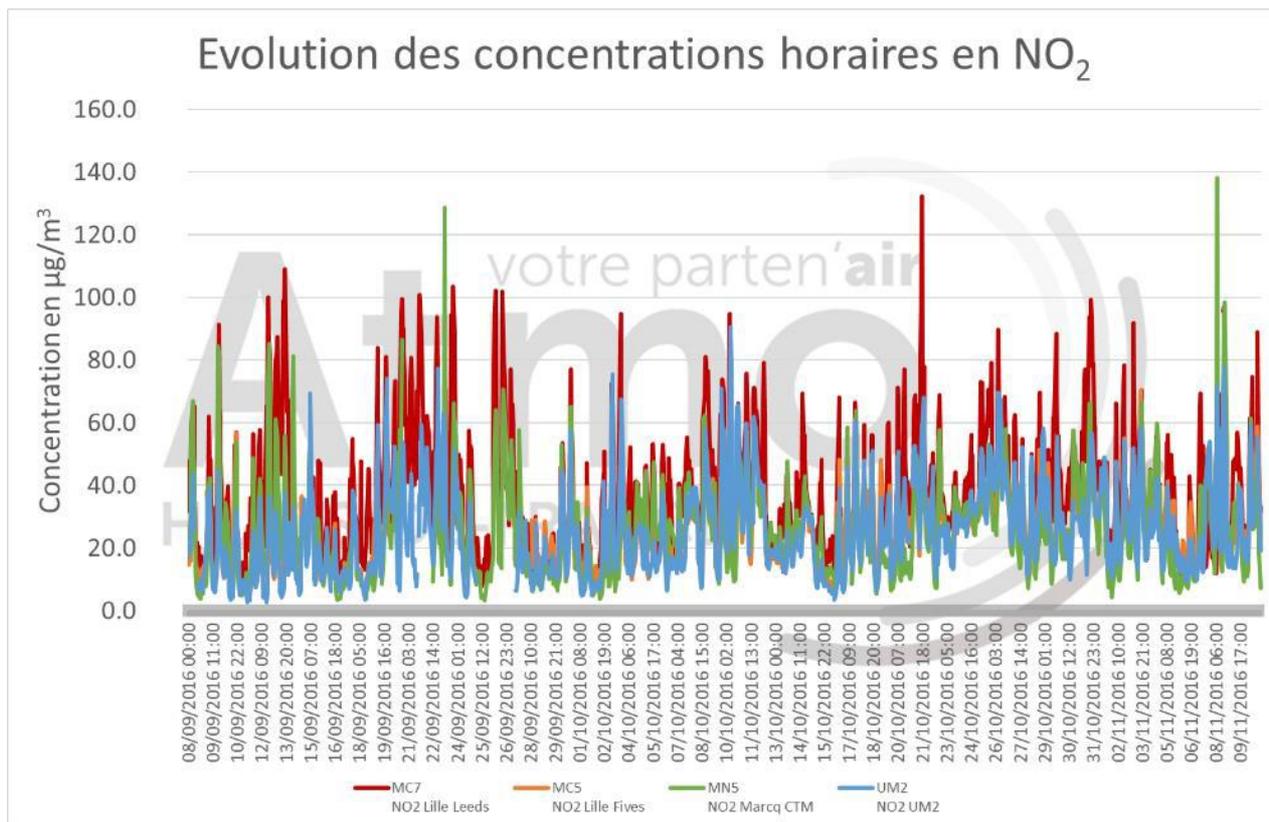
Aucun dépassement de seuil pour le NO₂ enregistré durant la campagne de mesures sur Villeneuve d'Ascq

³ Les valeurs sont les concentrations moyennes durant la campagne de mesure puis durant l'année civile. La valeur réglementaire est fixée sur l'année civile.

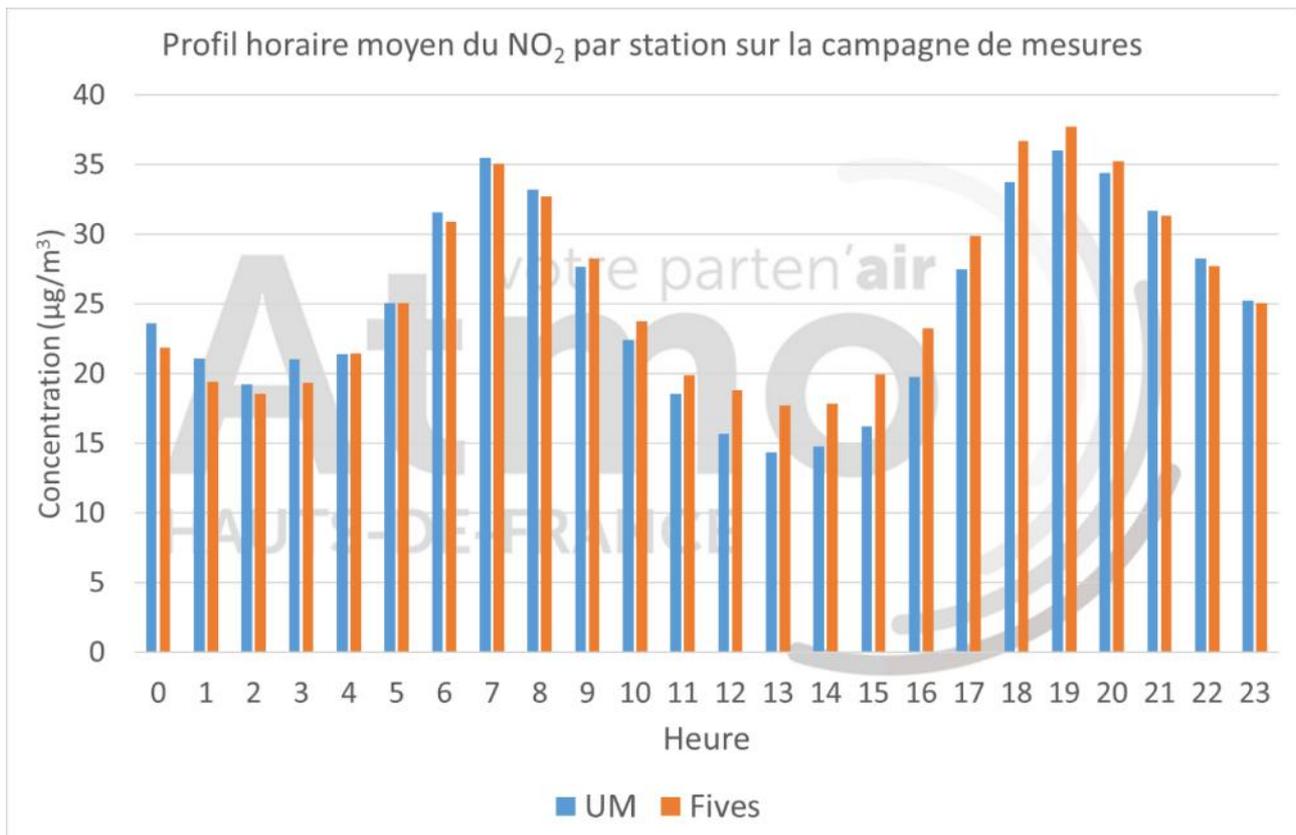
5.3.2. Evolution des concentrations horaires lors de la campagne

Les graphiques ci-après montrent :

- Pour le premier graphique, l'évolution des concentrations moyennes horaires du dioxyde de d'azote (NO₂) pour la station mobile de Villeneuve d'Ascq et les stations urbaines de fond de Marcq-en-Barœul et Lille Fives et de la station urbaine influencée par le trafic de Lille Leeds lors de la campagne de mesures.
- Pour le second graphique, le profil temporel horaire moyen de la station mobile et celle de Fives. Ce type de graphique permet de mettre en évidence l'existence ou non d'une récurrence de variation temporelle des concentrations.



La bande grise sur le graphique correspond aux limites de la mesure de ce polluant (limites de détection des appareils). Les données situées dans cette bande grise sont moins significatives, mais restent néanmoins exploitables et sont prises en compte dans le calcul des moyennes.



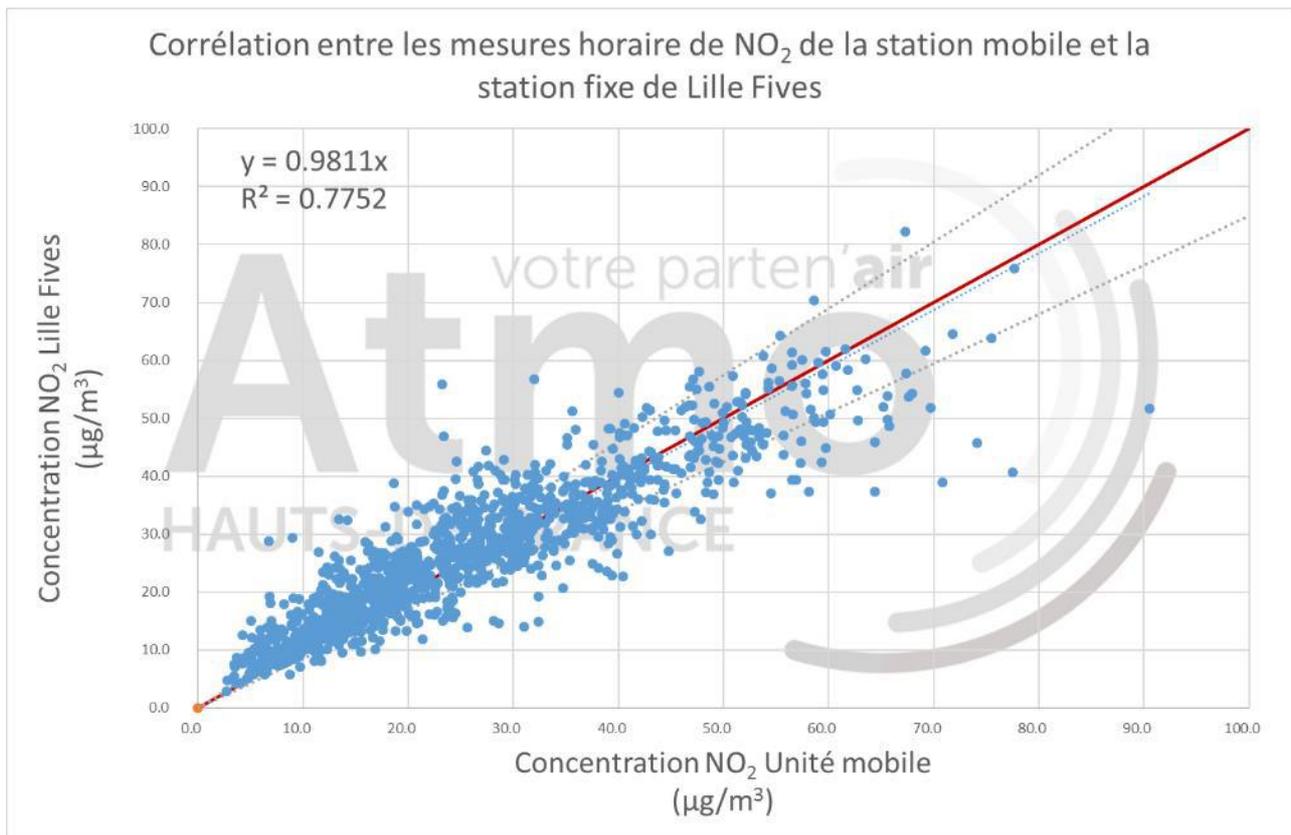
Avis et interprétation :

Lors de la campagne de mesures, les concentrations de NO₂ enregistrées sur Villeneuve d'Ascq sont proches de celles de Fives et Marcq-en-Barœul, et leurs variations temporelles sont synchrones. En outre, leurs profils horaires moyens sont très semblables et montrent tous les deux un pic matinal et un pic en soirée cohérents avec les périodes de fort trafic sur l'ensemble de la MEL et les horaires de chauffe dans le résidentiel.

Représentativité du site

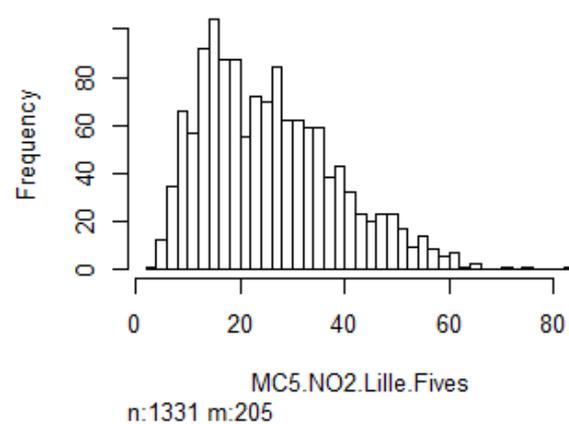
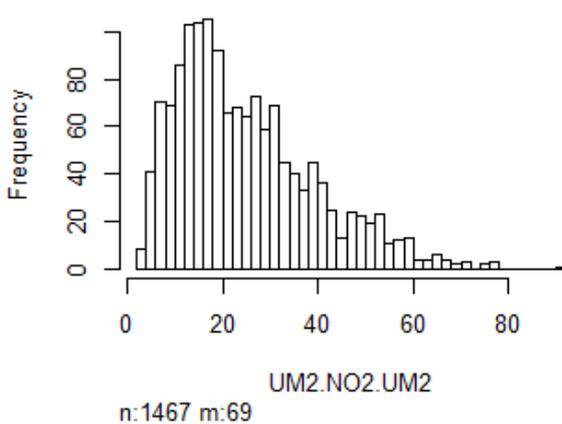
La représentativité de la station fixe est estimée en vérifiant si les mesures horaires évoluent de la même manière. La représentation en nuage de points permet de la visualiser aisément.

Sur le graphique ci-après, la droite de corrélation linéaire entre les 2 séries de mesures affiche une pente de 0,98 (doit tendre vers 1), ce qui indique que la correspondance entre les 2 sites est bonne avec peu de dispersion (coefficient de détermination de 0,78 ; doit tendre vers 1). **Les deux stations sont donc comparables.**



Les histogrammes de fréquence de concentrations ci-après montrent quelques différences entre les 2 sites conduisant à des valeurs de :

- Concentrations horaires médianes sur la période de 21,7 µg/m³ sur la station mobile et de 24 µg/m³ sur la station fixe.
- Biais moyen sur les concentrations horaires de -0,96 µg/m³



Une fois la station mobile de Villeneuve d'Ascq retirée, les mesures de NO₂ effectuées sur le campus de Lille 1 pourront être comparées à celles de la station fixe de Fives tant que l'environnement de chacun des sites reste inchangé.

5.4. Le monoxyde d'azote (NO)

5.4.1. Concentrations moyennes sur l'ensemble de la campagne

Dans le tableau ci-après, sont résumés les résultats de la campagne de mesure pour le monoxyde d'azote.

Site de mesures		Influence de la mesure	Monoxyde d'azote (NO)	
			Concentration moyenne ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Valeur horaire maximale ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Campagne 2016	Villeneuve d'Ascq Station mobile	ND	7,4	234,6 (26/10/2016)
	MC5 Lille Fives	Fond	13,2	223,2 (26/10/2016)
	MC7 Lille Leeds	Trafic	33,2	397,2 (26/10/2016)
	MN5 Marcq-en-Barœul	Fond	16,1	269,1 (26/10/2016)
Année civile 2016	Villeneuve d'Ascq Station mobile	ND	/	/
	MC5 Lille Fives	Fond	9,3	299 (19/01/2016)
	MC7 Lille Leeds	Trafic	NR	NR
	MN5 Marcq-en-Barœul	Fond	11	483,2 (28/12/2016)

< LD : Résultat inférieur à la limite de détection

« / » : Données non disponibles en raison de périodes de mesures différentes

NR : Mesure non représentative ; le taux de fonctionnement annuel n'est pas suffisant

ND = non définie

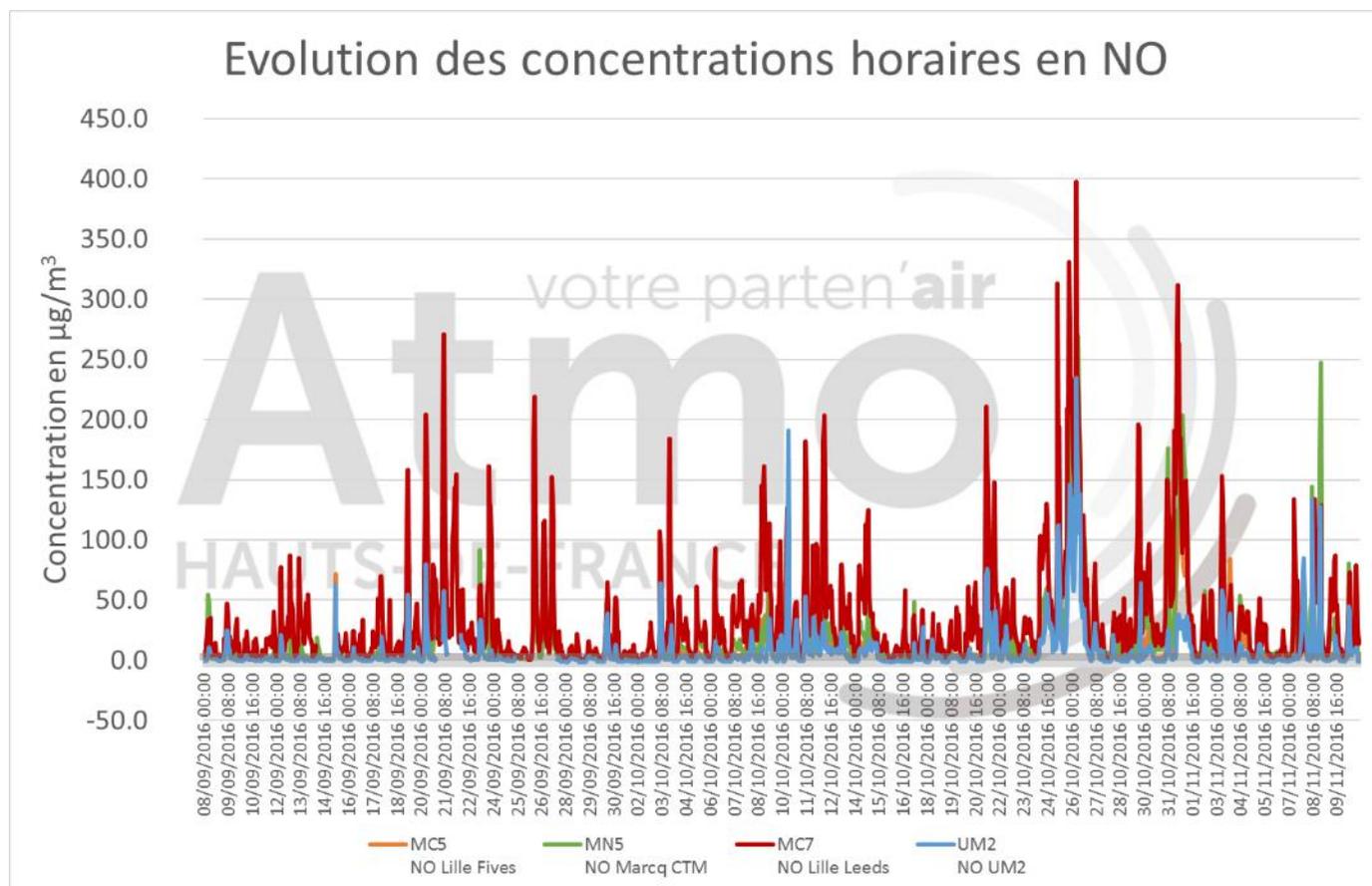
Remarque : le monoxyde d'azote n'est pas réglementé en air extérieur

Avis et interprétation :

Le monoxyde d'azote (NO) est davantage un indicateur de la proximité des sources et notamment du trafic. La moyenne et le maximum enregistrés sur la station mobile sont proches des valeurs des stations de fond prises pour la comparaison, et très en deçà des valeurs mesurées par la station influencée par le trafic (MC7 Lille Leeds).

5.4.2. Evolution des concentrations horaires lors de la campagne

Le graphique ci-après montre l'évolution des concentrations moyennes horaires du monoxyde d'azote (NO) pour la station mobile de Villeneuve d'Ascq et les stations urbaines de fond de Marcq-en-Barœul et Lille Fives et de la station urbaine influencée par le trafic de Lille Leeds lors de la campagne de mesures.



La bande grise sur le graphique correspond aux limites de la mesure de ce polluant (limites de détection des appareils). Les données situées dans cette bande grise sont moins significatives, mais restent néanmoins exploitables et sont prises en compte dans le calcul des moyennes.

Avis et interprétation :

Comme pour le NO_2 , lors de la campagne de mesures, les concentrations de NO enregistrées sur Villeneuve d'Ascq sont proches de celles de Fives et Marcq-en-Barœul et très en dessous de celles de la station de Leeds sous influence du trafic. En outre, les variations temporelles principales des stations de fond et de la station mobile sont synchrones.

5.5. Les particules en suspension (PM₁₀)

5.5.1. Concentrations moyennes sur l'ensemble de la campagne

Dans le tableau ci-après, sont résumés les résultats de la campagne de mesure pour les particules en suspension PM₁₀.

Site de mesures		Influence de la mesure	Particules en suspension (PM ₁₀)		
			Concentration moyenne ⁴ (µg/m ³)	Valeur journalière maximale (µg/m ³)	Nombre de jours où la moyenne journalière a été supérieure à 50 µg/m ³
Campagne 2016	Villeneuve d'Ascq Station mobile	ND	NR	NR	NR
	MC5 Lille Fives f	Fond	21,43	56,9 (25/10/2016)	1
	MC7 Lille Leeds	Trafic	25,3	51 (25 et 26/10/2016)	2
	RU2 Cartignies	Fond	15,6	27,2	0
Année civile 2016	Villeneuve d'Ascq Station mobile	ND	/	/	/
	MC5 Lille Fives f	Fond	20,6	62 (11/03/2016)	8
	MC7 Lille Leeds	Trafic	NR	NR	NR
	RU2 Cartignies	Fond	16,1	55,5 (29/05/2016)	1
Valeurs réglementaires			40 (valeur limite)	50 à ne pas dépasser plus de 35 jours par an (valeur limite)	

« / » : Données non disponibles en raison de périodes de mesures différentes

NR : Mesure non représentative ; le taux de fonctionnement annuel n'est pas suffisant

ND = non définie

Avis et interprétation :

Suite à un défaut d'appareil, le taux de fonctionnement a été insuffisant. On notera simplement que durant la campagne le seuil journalier des concentrations en PM₁₀ a été franchi sur les stations de la MEL.

Taux de fonctionnement insuffisant lors de la campagne de mesures

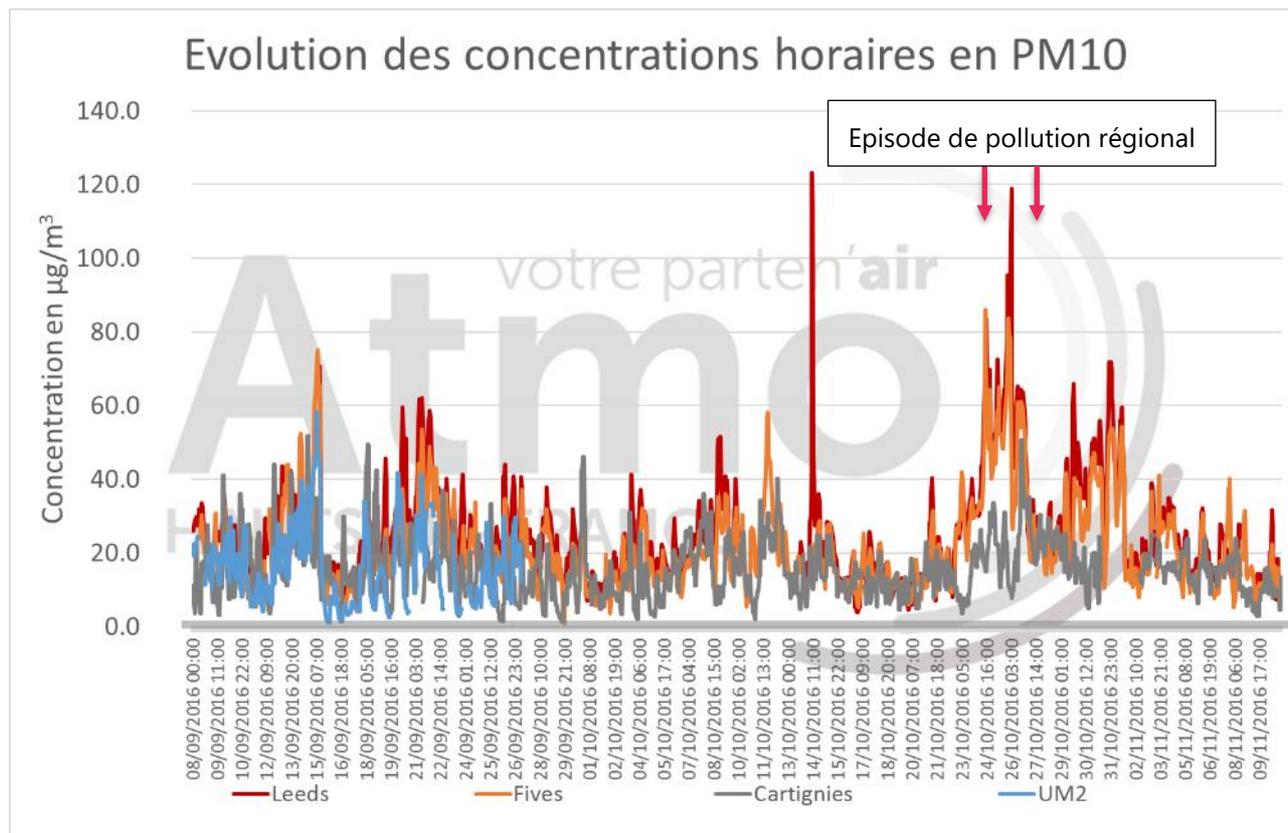
⁴ Les valeurs sont les concentrations moyennes durant la campagne de mesure puis durant l'année civile. La valeur réglementaire est fixée sur l'année civile.

5.5.2. Evolution des concentrations horaires lors de la campagne

En préambule on notera que les appareils de mesure sont de deux types :

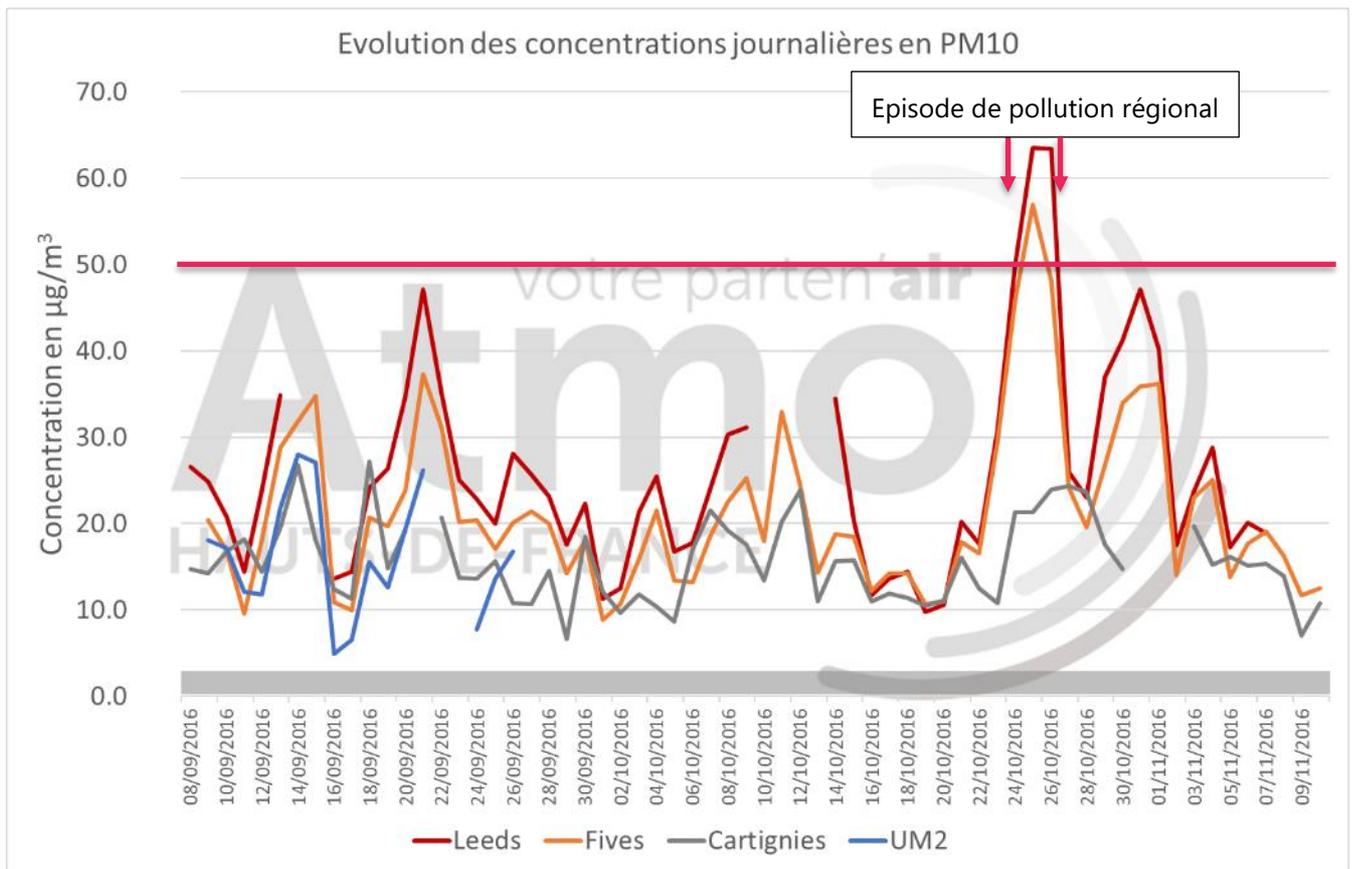
- Jauge bêta sur UM et Cartignies (données sur 2 heures)
- FDMS sur Fives et Leeds (données en continu moyennées sur 1 heure)

Le graphique ci-après montre l'évolution des concentrations moyennes horaires des particules en suspension PM₁₀ pour la station mobile de Villeneuve d'Ascq tant que les données sont exploitables, et celles de la station fixe urbaine de fond de Fives, la station urbaine de proximité automobile de Leeds et la station rurale proche de fond de Cartignies lors de la campagne de mesures.



La bande grise sur le graphique correspond aux limites de la mesure de ce polluant (limites de détection des appareils). Les données situées dans cette bande grise sont moins significatives, mais restent néanmoins exploitables et sont prises en compte dans le calcul des moyennes.

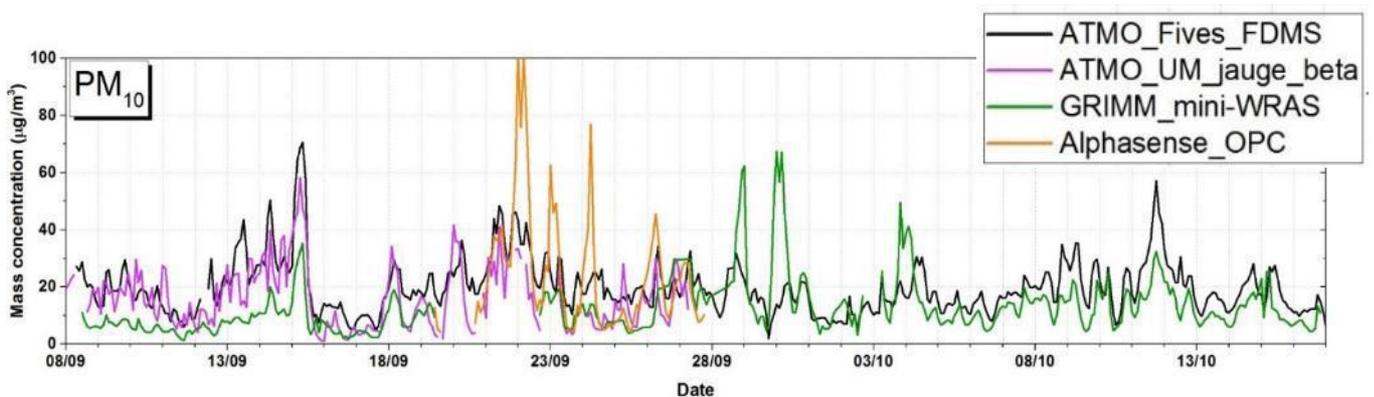
Le graphique ci-après montre l'évolution des concentrations moyennes journalières des particules en suspension PM₁₀ pour la station mobile de Villeneuve d'Ascq (UM), et celles de la station fixe urbaine de fond de Fives, la station urbaine de proximité automobile de Leeds et la station rurale proche de fond de Cartignies lors de la campagne de mesures. Il met clairement en évidence les journées d'épisode PM₁₀.



La bande grise sur le graphique correspond aux limites de la mesure de ce polluant (limites de détection des appareils). Les données situées dans cette bande grise sont moins significatives, mais restent néanmoins exploitables et sont prises en compte dans le calcul des moyennes. Le trait rouge horizontal correspond au niveau d'information et de recommandation.

Le graphique suivant "Ioana Popovici, Philippe Goloub, Marie Choel (LOA/LASIR)", extrait du "Rapport interne LOA - Synthèse campagne UM-ATMO - LOA, auteurs I. Popovici, P. Goloub", inclut les données PM₁₀ de l'unité mobile, de la station de Fives et des instruments de la plateforme Labex CaPPA : compteur GRIMM et compteur OPC Alphasense (micro capteur) sur la période commune avec le GRIMM (08/09-17/10), voir annexe 4.

Toutes les données sont ramenées à 2 heures (moyenne) afin de faciliter les comparaisons en ayant un pas de temps commun, identique à celui des mesures de l'unité mobile.

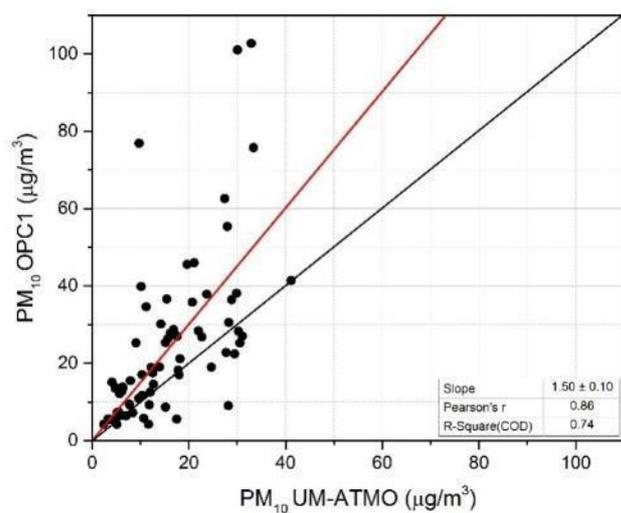


Avis et interprétation :

Les niveaux horaires de PM₁₀ enregistrés sur la station mobile de Villeneuve d'Ascq, durant la période de fonctionnement, étaient semblables à ceux des autres stations prises en compte. Les niveaux de Fives (MC5) pouvaient être plus élevés temporairement. Les variations temporelles entre les sites durant le fonctionnement de la station mobile étaient assez semblables également.

Concernant les instruments de recherche, les conclusions extraites du "Rapport interne LOA - Synthèse campagne UM-ATMO - LOA, auteurs I. Popovici, P. Goloub" sont :

- Le GRIMM a sous-estimé les PM_{10} sur toute la période, alors que les variations sont cohérentes, mettant en évidence le besoin de recalibration de l'appareil.
- Les mesures du micro capteur OPC sont comparables à celles de Fives et de la station mobile sauf lors des pics (voir graphique ci-dessous). Ces derniers mettent en évidence l'effet de l'humidité la nuit sur l'OPC.



La calibration du GRIMM a eu lieu après cette campagne de mesure. Lors d'une nouvelle campagne de mesures réalisée en 2017 après la calibration de l'appareil, les mesures de l'instrument sont comparables à celles de Fives.

5.6. Les particules fines (PM_{2.5})

5.6.1. Concentrations moyennes sur l'ensemble de la campagne

Dans le tableau ci-après, sont résumés les résultats de la campagne de mesure pour les particules fines PM_{2.5}.

Site de mesures		Influence de la mesure	Particules fines (PM _{2.5})	
			Concentration moyenne ⁵ (µg/m ³)	Valeur journalière maximale (µg/m ³)
Campagne 2016	Villeneuve d'Ascq Station mobile	ND	15,8	51,8 (25/10/2016)
	MC5 Lille Fives f	Fond	16	49,7 (25/10/2016)
	MC7 Lille Leeds	Trafic	15,1	44,4 (25 et 26/10/2016)
Année civile 2016	Villeneuve d'Ascq Station mobile	ND	/	/
	MC5 Lille Fives f	Fond	16	53,4 (11/03/2016)
	MC7 Lille Leeds	Trafic	NR	NR
Valeurs réglementaires			25 (valeur limite)	/

« / » : Données non disponibles en raison de périodes de mesures différentes

NR : Mesure non représentative ; le taux de fonctionnement annuel n'est pas suffisant

ND = non définie

Avis et interprétation :

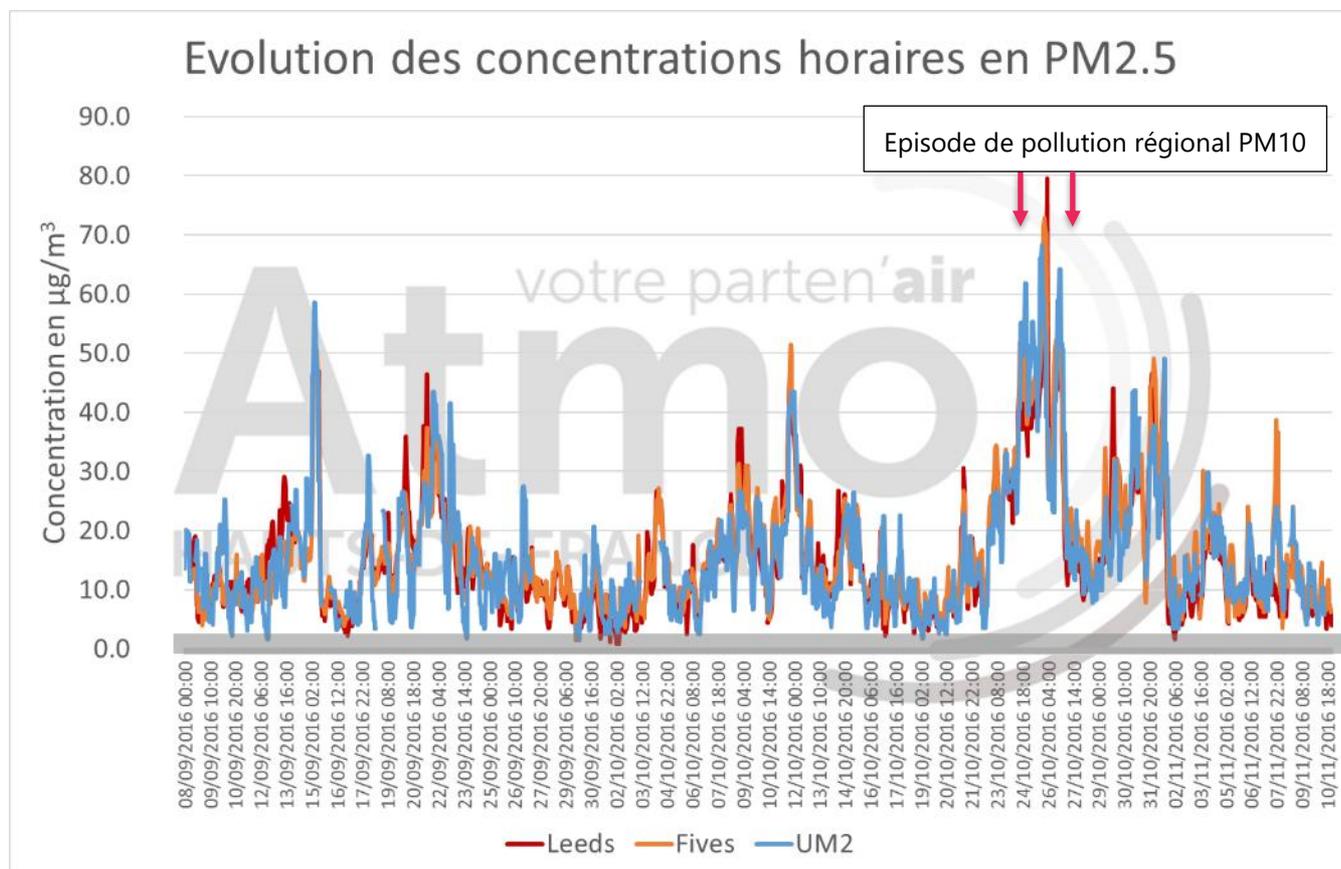
La concentration moyenne en PM_{2.5} de la station mobile de Villeneuve d'Ascq, lors de la campagne de mesure, est proche de celle enregistrée sur les stations urbaines de fond et de proximité de trafic prises en compte. La moyenne durant la campagne de la station de Fives est proche de la moyenne annuelle.

Des concentrations supérieures au seuil OMS sur 24heures (25 µg/m³) et au seuil journalier applicable aux PM₁₀

⁵ Les valeurs sont les concentrations moyennes durant la campagne de mesure puis durant l'année civile. La valeur réglementaire est fixée sur l'année civile.

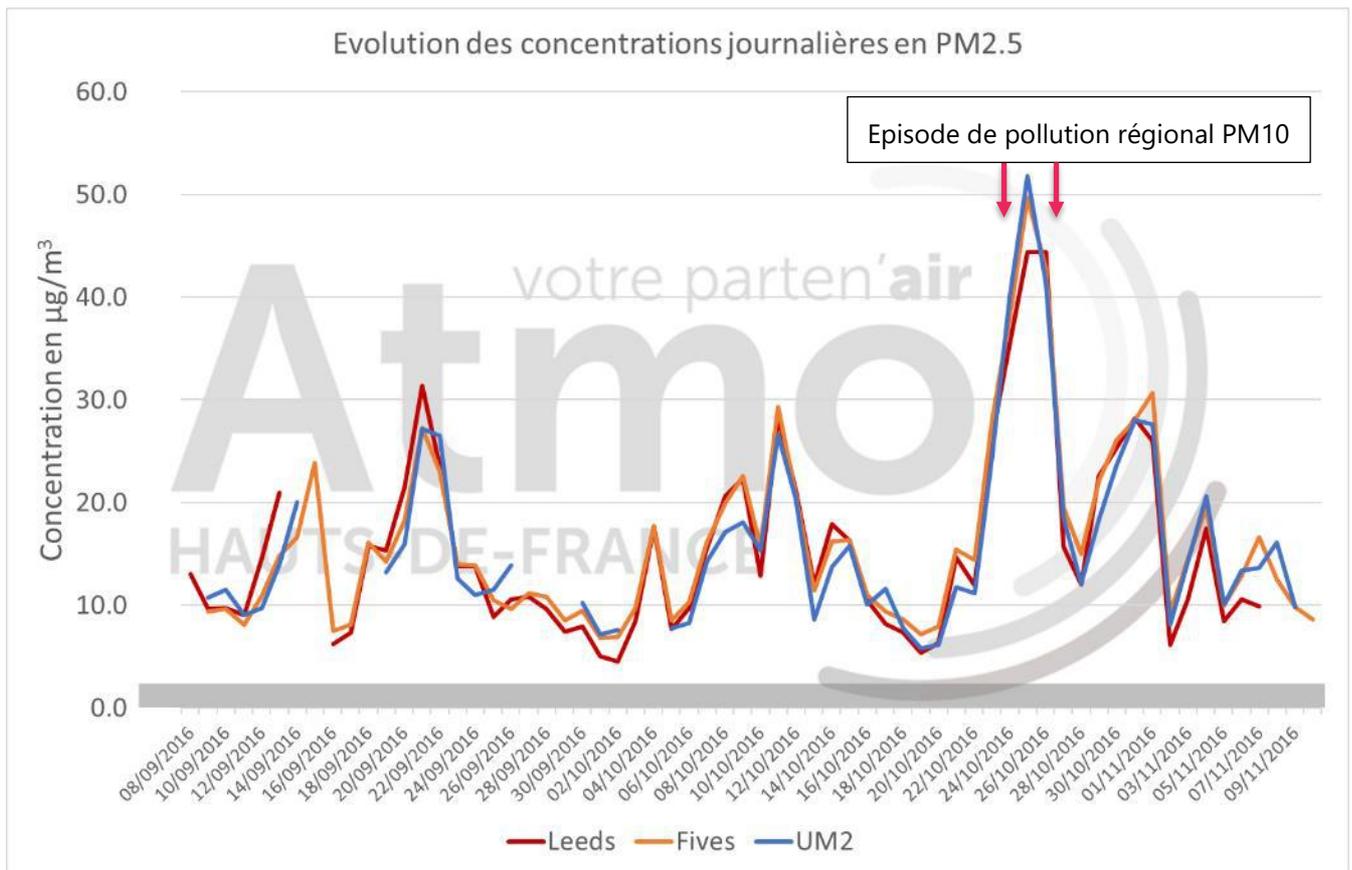
5.6.2. Evolution des concentrations horaires lors de la campagne

Le graphique ci-après montre l'évolution des concentrations moyennes horaires des particules fines PM_{2.5} pour la station mobile de Villeneuve d'Ascq et celles de la station fixe urbaine de fond de Fives, la station urbaine de proximité automobile de Leeds lors de la campagne de mesures.



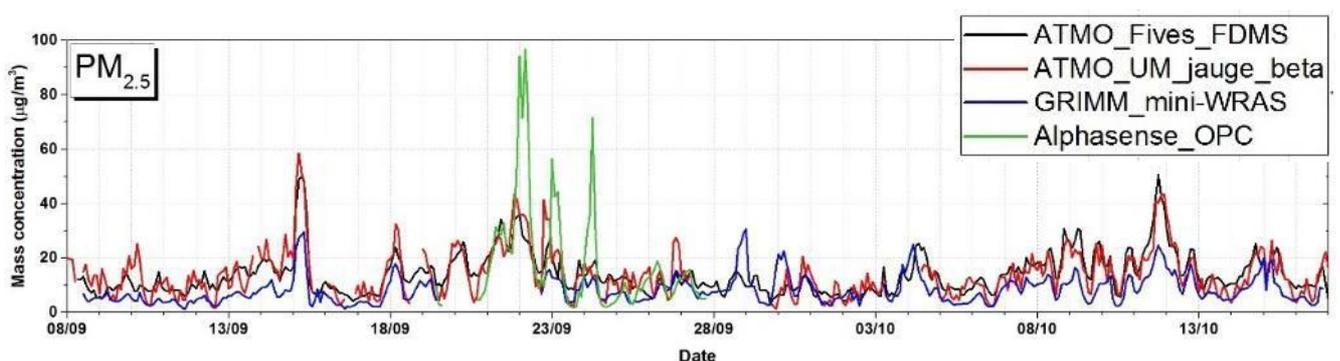
La bande grise sur le graphique correspond aux limites de la mesure de ce polluant (limites de détection des appareils). Les données situées dans cette bande grise sont moins significatives, mais restent néanmoins exploitables et sont prises en compte dans le calcul des moyennes.

Le graphique ci-après montre l'évolution des concentrations moyennes journalières des particules fines PM_{2.5} pour la station mobile de Villeneuve d'Ascq et celles de la station fixe urbaine de fond de Fives, la station urbaine de proximité automobile de Leeds lors de la campagne de mesures.



Le graphique suivant "Ioana Popovici, Philippe Goloub, Marie Choel (LOA/LASIR)", extrait du "Rapport interne LOA - Synthèse campagne UM-ATMO - LOA, auteurs I. Popovici, P. Goloub", inclut les données PM_{2.5} de l'unité mobile, de la station de Fives et des instruments de la plateforme Labex CaPPA : compteur GRIMM et compteur OPC (micro capteur) sur la période commune avec le GRIMM (08/09-17/10).

Toutes les données sont ramenées à 2 heures (moyenne) afin de faciliter les comparaisons en ayant un pas de temps commun, identique à celui des mesures de l'unité mobile.



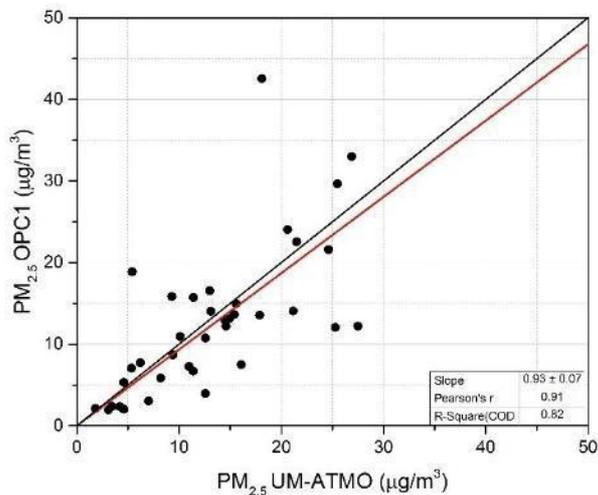
Avis et interprétation :

Les niveaux horaires de PM_{2.5} enregistrés sur la station mobile de Villeneuve d'Ascq, durant la campagne de mesures, étaient semblables à ceux des autres stations prises en compte, en particulier à celles de Fives.

On note des variations importantes en concentrations horaires et journalières de PM_{2.5} durant la campagne. Les valeurs les plus importantes sont mesurées du 24 au 26 octobre, au moment de l'épisode régional de PM₁₀.

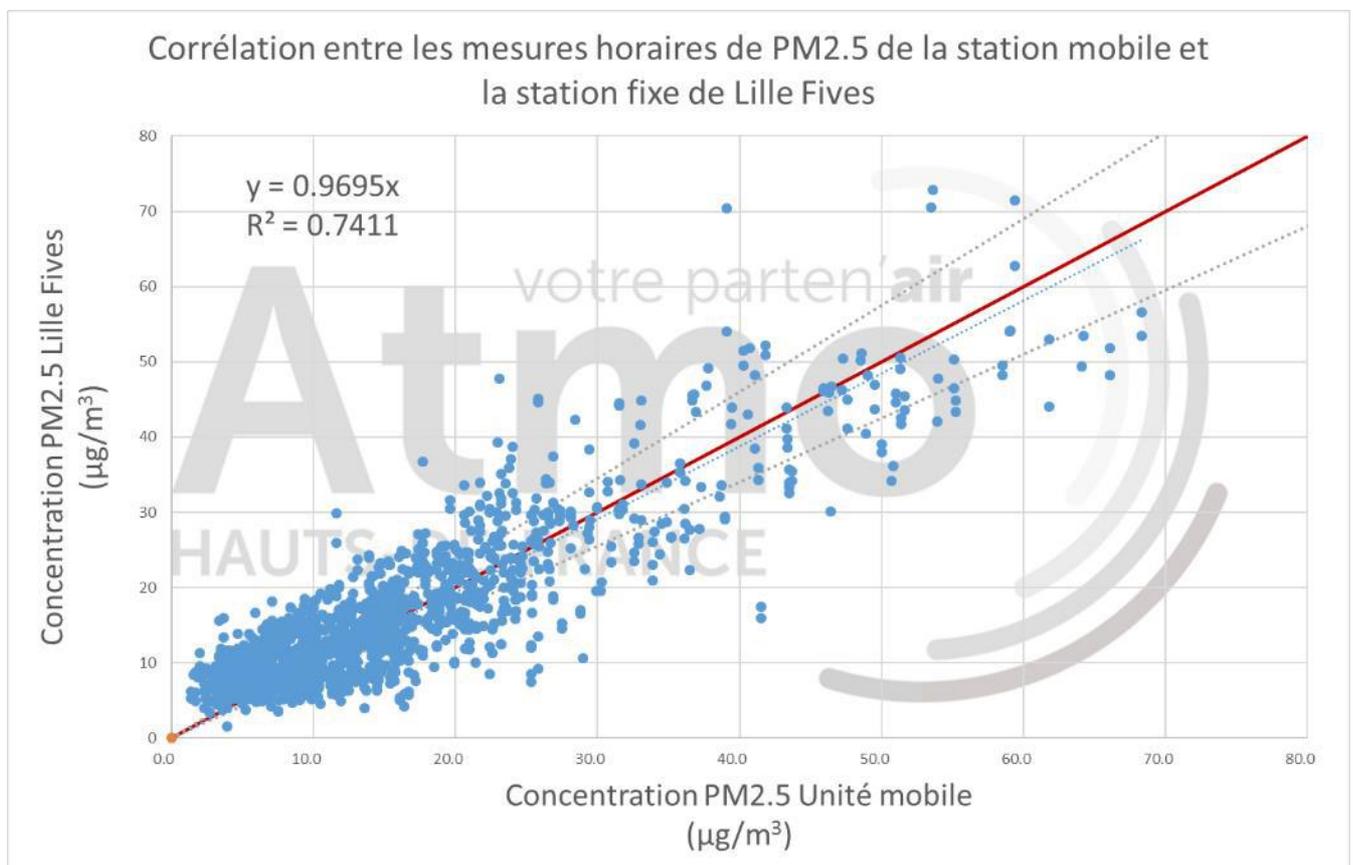
Concernant les instruments de recherche (voir annexe 4), les conclusions "Ioana Popovici, Philippe Goloub, Marie Choel (LOA/LASIR)" sont les mêmes que pour les PM₁₀, à savoir :

- Le GRIMM a sous-estimé les PM_{2.5} sur toute la période, alors que les variations sont cohérentes, mettant en évidence le besoin de recalibration de l'appareil.
- Les mesures OPC sont comparables à celles de Fives et de la station mobile sauf lors des pics (voir graphique ci-dessous). Ces derniers mettent en évidence l'effet de l'humidité la nuit sur l'OPC.



La calibration du GRIMM a eu lieu après cette campagne de mesure. Lors d'une nouvelle campagne de mesures réalisée en 2017 après la calibration de l'appareil, les mesures de l'instrument sont comparables à celles de Fives.

Représentativité du site

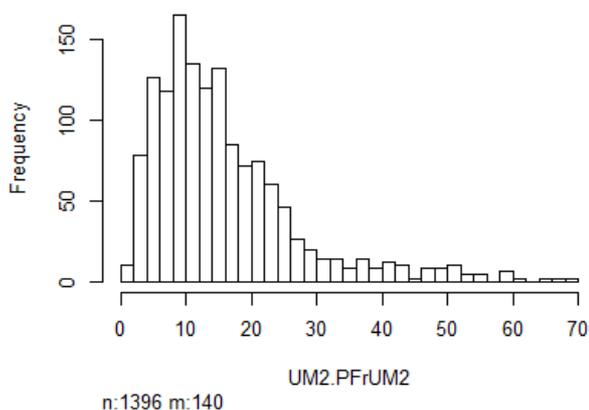
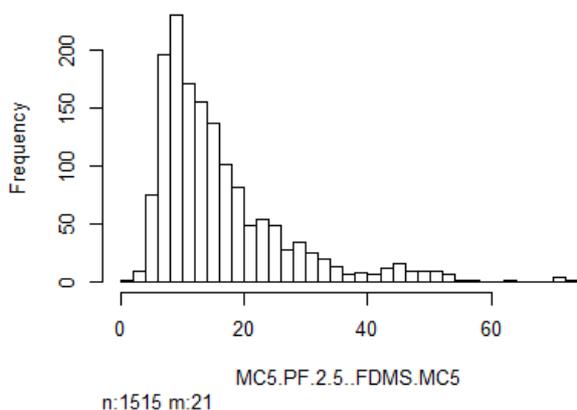


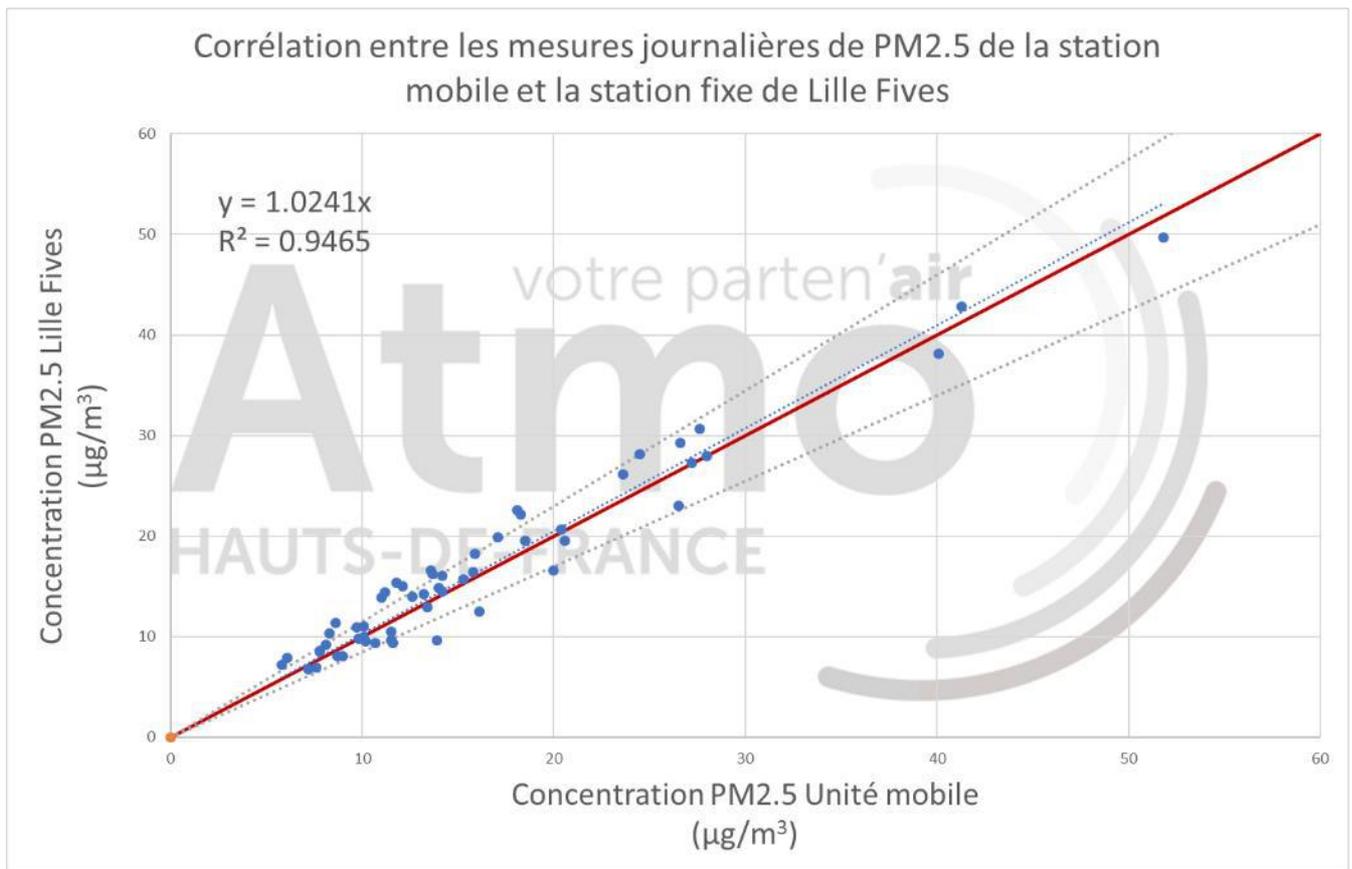
La représentativité de la station fixe est estimée en vérifiant si les mesures horaires évoluent de la même manière. La représentation en nuage de points permet de la visualiser aisément.

Malgré la différence de moyen de mesure (FDMS sur Fives permettant d'obtenir des données horaires, jauge béta sur l'UM donnant des mesures toutes les 2 heures), la droite de corrélation linéaire entre les 2 séries de mesures affiche une pente de 0,97, ce qui indique que la correspondance entre les 2 sites est bonne avec une faible dispersion (coefficient de détermination de 0,74). **Les deux stations sont donc comparables pour les valeurs horaires.**

Les histogrammes de fréquence de concentrations horaires ci-après montrent quelques différences entre les 2 sites conduisant à des valeurs de :

- Concentrations horaires médianes sur la période de $13,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ sur la station mobile et de $12,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ sur la station fixe.
- Biais moyen sur les concentrations horaires de $-0,63 \mu\text{g}/\text{m}^3$



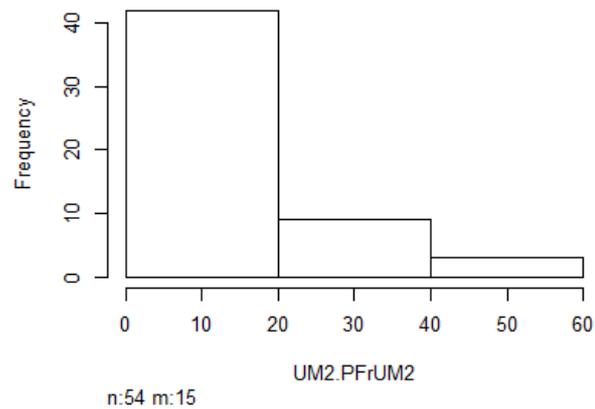
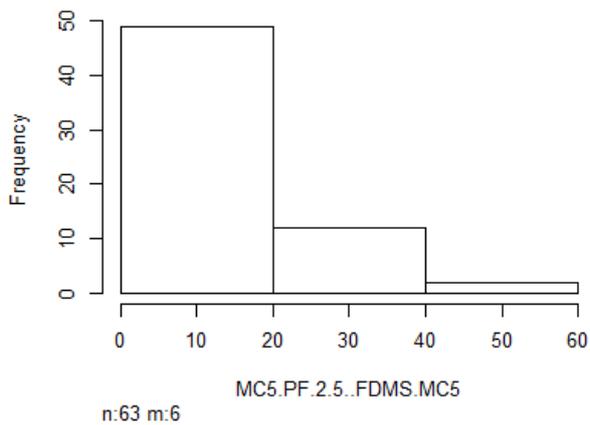


Les valeurs de réglementaires pour les particules et la conformité des appareils avec la méthode de référence portent sur des valeurs journalières. L'adéquation entre les mesures est donc d'autant plus importante sur les valeurs journalières. De fait, la représentativité de la station fixe est estimée en vérifiant si les mesures journalières évoluent de la même manière. La représentation en nuage de points permet de la visualiser aisément.

La droite de corrélation linéaire entre les 2 séries de mesures affiche une pente de 1,02, ce qui indique que la correspondance entre les 2 sites est bonne avec peu de dispersion (coefficient de détermination de 0,95). **Les deux stations sont donc comparables pour les valeurs journalières.**

Les histogrammes de fréquence de concentrations journalières ci-après montrent quelques différences entre les 2 sites conduisant à des valeurs de :

- Concentrations journalières médianes sur la période de $13,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ sur la station mobile et de $14,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ sur la station fixe.
- Biais moyen sur les concentrations journalières de $-0,65 \mu\text{g}/\text{m}^3$



Une fois la station mobile de Villeneuve d'Ascq retirée, les mesures de PM_{2.5} effectuées sur le campus de Lille 1 pourront être comparées à celles de la station fixe de Fives tant que l'environnement de chacun des sites reste inchangé

5.7. L'ozone (O₃)

5.7.1. Concentrations moyennes sur l'ensemble de la campagne

Dans le tableau ci-après, sont résumés les résultats de la campagne de mesure pour l'ozone.

Site de mesures		Influence de la mesure	Ozone (O ₃)	
			Concentration moyenne (µg/m ³)	Moyenne maximale sur 8 heures glissantes (µg/m ³)
Campagne 2016	Villeneuve d'Ascq Station mobile	ND	29,9	115,3 (13/09/2016)
	ME4 Wattignies	Fond	31,3	107,0 (14/09/2016)
	MN5 Marcq-en-Barœul	Fond	27,8	103,5 (14/09/2016)
	RU2 Cartignies	Fond	30,6	97,2 (14/09/2016)
Année civile 2016	Villeneuve d'Ascq Station mobile	ND	/	/
	ME4 Wattignies	Fond	43	147,0 (25/05/2016)
	MN5 Marcq-en-Barœul	Fond	39	146,5 (25/05/2016)
	RU2 Cartignies	Fond	46	163,7 (26/08/2016)
Valeurs réglementaires			-	120 à ne pas dépasser en moyenne journalière sur 8 heures glissantes (objectif de qualité, à long terme)

« / » : Données non disponibles en raison de périodes de mesures différentes

ND = non définie

Avis et interprétation :

Sur la campagne de mesure les concentrations moyennes en ozone sur la station mobile de Villeneuve d'Ascq sont semblables à celles des autres stations de la zone.

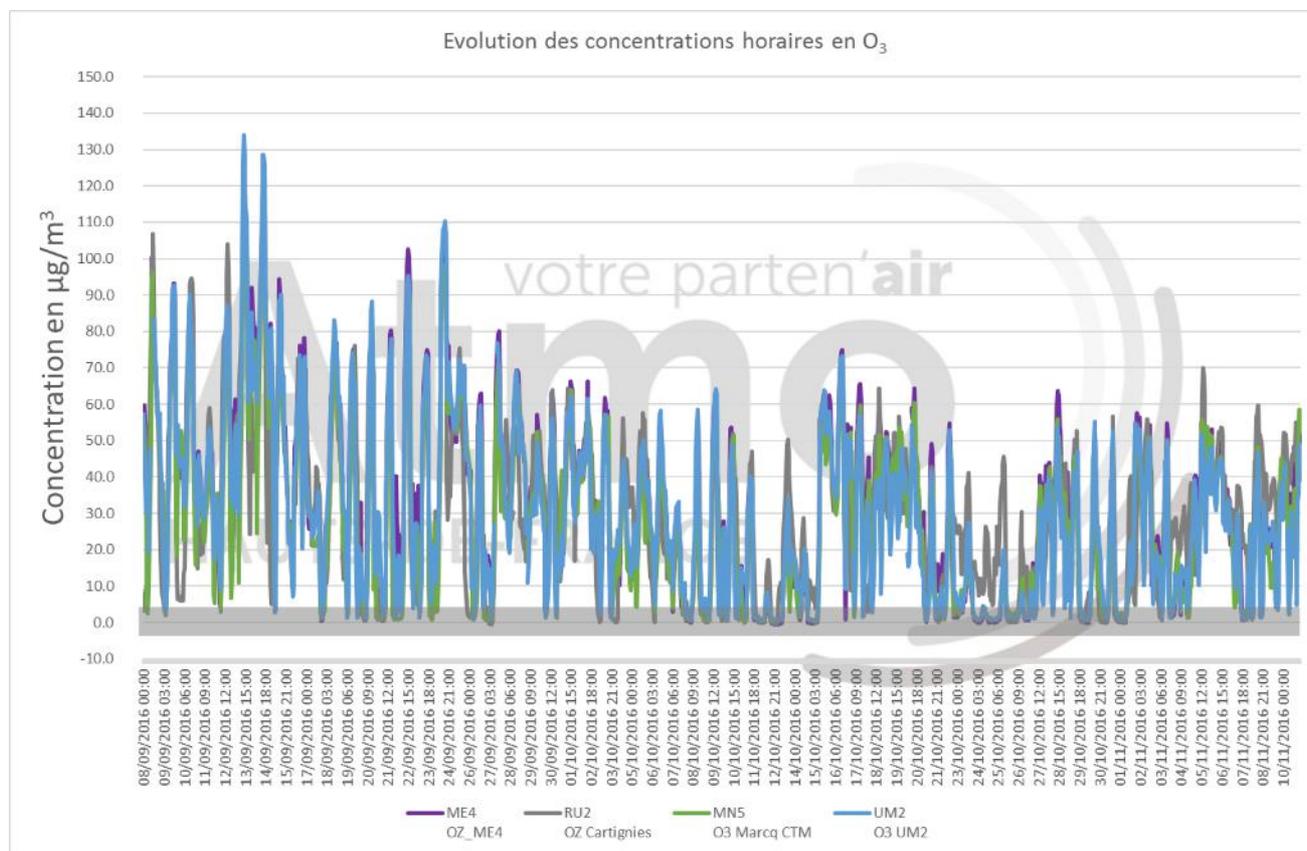
Le maximum sur 8 heures glissantes durant la campagne est un peu plus élevé sur la station mobile que sur les autres stations. Toutefois, aucun dépassement du seuil fixé à 120 µg/m³ n'est enregistré durant cette période.

Les valeurs des stations fixes enregistrées durant la campagne sont inférieures à la moyenne annuelle et au maximum annuel de ces stations.

Seuils non dépassés à Villeneuve d'Ascq pour l'O₃ durant la campagne de mesures

5.7.2. Evolution des concentrations horaires lors de la campagne

Le graphique ci-après montre l'évolution des concentrations moyennes horaires d'ozone (O₃) pour la station mobile de Villeneuve d'Ascq et les stations « rurale proche de fond » de Cartignies (RU2), « urbaine de fond » de Marcq-en-Barœul (MN5), « périurbaine de fond » de Wattignies (ME4) lors de la campagne de mesures.



La bande grise sur le graphique correspond aux limites de la mesure de ce polluant (limites de détection des appareils). Les données situées dans cette bande grise sont moins significatives, mais restent néanmoins exploitables et sont prises en compte dans le calcul des moyennes.

Avis et interprétation :

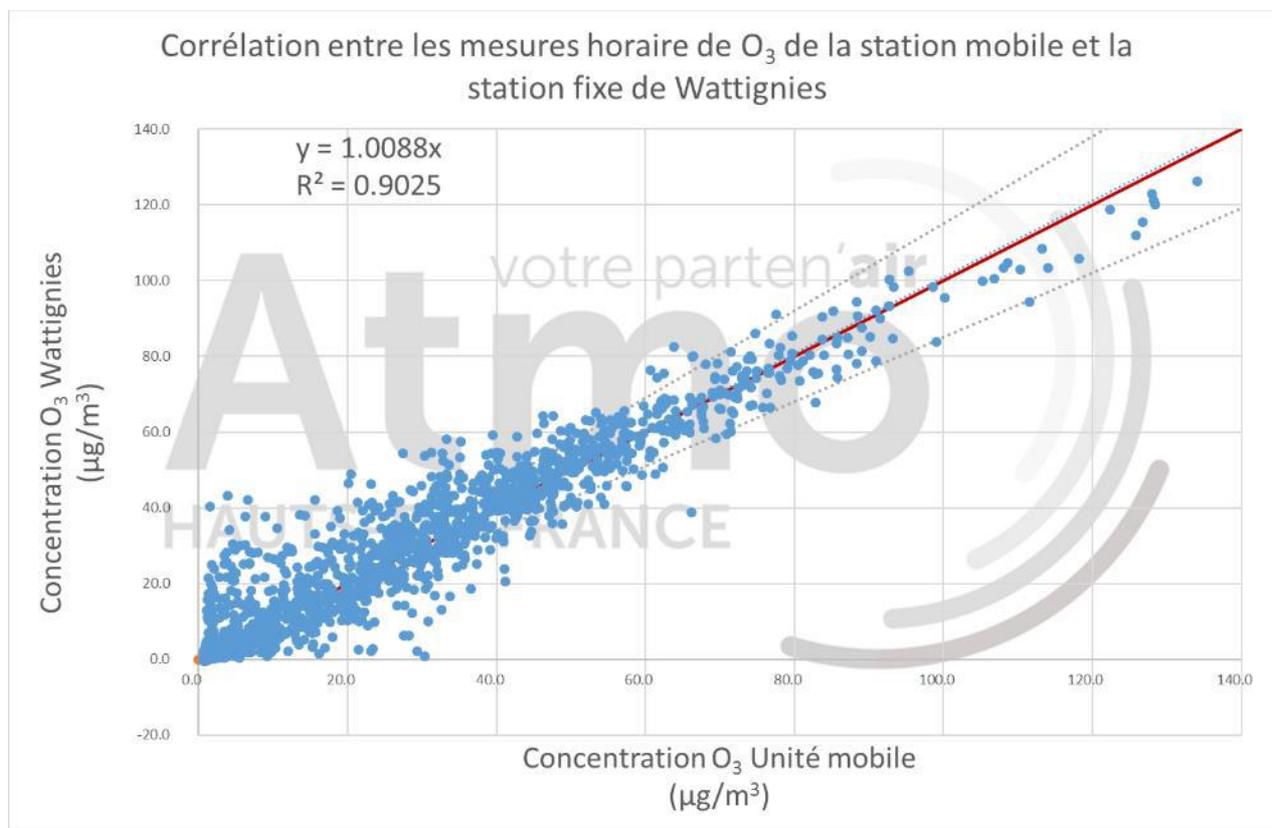
Les niveaux et les variations de concentrations horaires en ozone sur la station mobile sont semblables à ceux des stations prises comme référence.

C'est en début de période, au moment où les températures sont les plus élevées que l'on enregistre les valeurs les plus importantes. Toutefois ces valeurs restent inférieures au seuil de déclenchement d'épisode de pollution à l'ozone (max. horaire > 180 µg/m³).

L'ozone troposphérique étant un polluant produit majoritairement par photochimie, on observe un cycle journalier bien marqué durant presque toute la campagne.

Représentativité du site

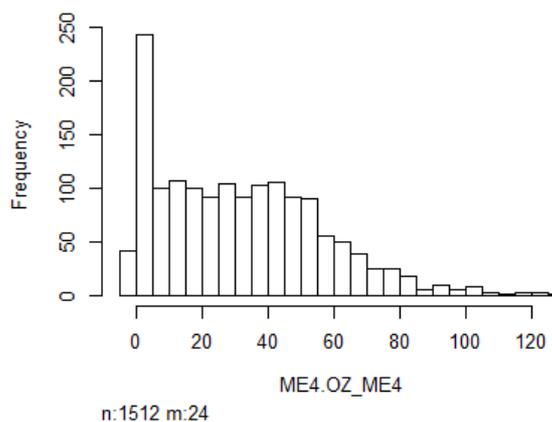
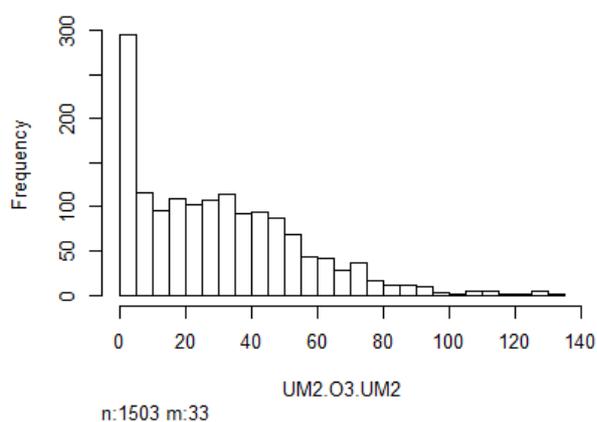
La représentativité de la station fixe est estimée en vérifiant si les mesures horaires évoluent de la même manière. La représentation en nuage de points permet de la visualiser aisément.



La droite de corrélation linéaire entre les 2 séries de mesures affiche une pente de 1,01, ce qui indique que la correspondance entre les 2 sites est très bonne (coefficient de détermination de 0,9). **Les deux stations sont donc comparables.**

Les histogrammes de fréquence de concentrations ci-après montrent quelques différences entre les 2 sites conduisant à des valeurs de :

- Concentrations horaires médianes sur la période de 26,6 µg/m³ sur la station mobile et de 28,9 µg/m³ sur la station fixe.
- Biais moyen sur les concentrations horaires de 1,39 µg/m³



5.8. Le monoxyde de carbone (CO)

5.8.1. Concentrations moyennes sur l'ensemble de la campagne

Dans le tableau ci-après, sont résumés les résultats de la campagne de mesure pour le monoxyde de carbone.

Site de mesures		Influence de la mesure	Monoxyde de carbone (CO)	
			Concentration moyenne (mg/m ³)	Moyenne maximale sur 8 heures glissantes (mg/m ³)
Campagne 2016	Villeneuve d'Ascq Station mobile	ND	<LD	0,67 (26/10/2016)
	MN1 Roubaix Serres f	Trafic	0,27	1,55 (1/11/2016)
Année civile 2016	Villeneuve d'Ascq Station mobile	ND	/	/
	MN1 Roubaix Serres f	Trafic	0,3	2,14 (28/12/2016)
Valeurs réglementaires			-	10 pour la moyenne maximale sur 8 heures glissantes (valeur limite)

< LD : Résultat inférieur à la limite de détection

« / » : Données non disponibles en raison de périodes de mesures différentes

ND = non définie

Avis et interprétation :

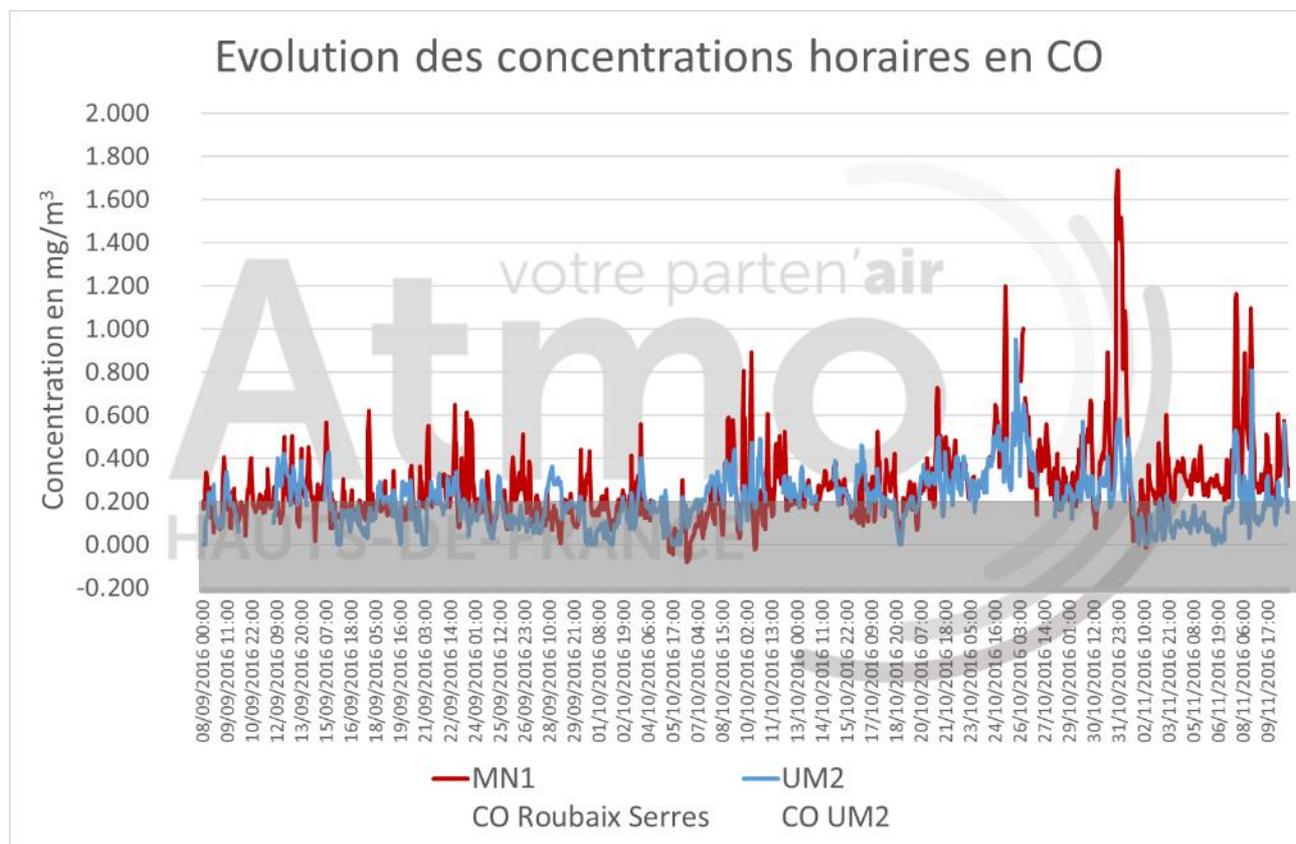
Durant la campagne de mesure, la moyenne et le maximum horaire sur 8 h glissantes sur la station mobile de Villeneuve d'Ascq sont inférieurs à ceux enregistrés sur la station fixe de Roubaix Serres. Ce résultat montre, que pour le CO, la station mobile n'était pas influencée par le trafic durant la campagne.

Seuils réglementaires respectés à Villeneuve d'Ascq pour le CO durant la campagne de mesures

La valeur moyenne enregistrée sur Roubaix Serres durant la campagne de mesure est semblable à la moyenne annuelle. La moyenne maximale sur 8 h glissantes durant la campagne sur Roubaix Serres est plus faible que la moyenne maximale obtenue durant l'année, montrant ainsi que la période de la campagne n'était pas forcément la plus propice aux pics de CO.

5.8.2. Evolution des concentrations horaires lors de la campagne

Le graphique ci-après montre l'évolution des concentrations moyennes horaires de monoxyde de carbone (CO) pour la station mobile de Villeneuve d'Ascq et la station fixe urbaine influencée trafic de Roubaix Serres (MN1) lors de la campagne de mesures.



La bande grise sur le graphique correspond aux limites de la mesure de ce polluant (limites de détection des appareils). Les données situées dans cette bande grise sont moins significatives, mais restent néanmoins exploitables et sont prises en compte dans le calcul des moyennes.

Avis et interprétation :

Durant la campagne de mesure les niveaux restent faibles, souvent inférieurs à la limite de détection des appareils.

Les concentrations de CO mesurées sur la station mobile restent majoritairement inférieures à celles de la station fixe. Toutefois les fluctuations temporelles principales sont assez synchrones.

6. Comparaison modèles-mesures

6.1. Périmètre

Le fonctionnement des chaînes de modélisation est décrit dans l'annexe 5.

La modélisation se fait sur une grille régulière et les résultats des modèles sont disponibles sur des mailles dont la taille dépend du modèle.



 Station fixe de mesures

 Station mobile de mesures

 Plateforme instrumentée Labex CaPPA

Les comparaisons mesure-modèle faites dans ce rapport sont localisées sur les cartes ci-dessus. Il s'agit de comparaisons faites sur **deux types de modèles** :

- **Météo** MM5 sur la maille (2) contenant la station météo de Sequedin (MO3) ainsi que sur une maille au centre de Lille (1) avec les mesures de la station de Sequedin (MO3) et des mesures de la station mobile (UM) pour les paramètres disponibles (voir carte de gauche ci-dessus).
- **Chimie transport** CHIMERE
 - De la chaîne Esmeralda (ESM) sur les mailles de 3x3 km² contenant les stations de Fives et la station mobile (voir carte de droite ci-dessus)
 - De la chaîne Prev'air (PREV) sur la maille de ~10x15 km² contenant à la fois la station mobile et celle de Fives

Les sorties des **modèles sont disponibles à plusieurs échéances** :

- JM1 = analyse : modélisation réalisée le lendemain et intégrant des mesures (exemple : modélisation réalisée le 10 octobre pour des sorties de modèle le 9 octobre)
- JP0 = prévision du jour pour le jour, par exemple : modélisation réalisée le 10 octobre pour des sorties de modèle le 10 octobre
- JP1 = prévision effectuée la veille pour le lendemain, par exemple : modélisation réalisée le 10 octobre pour des sorties de modèle le 11 octobre

Les sorties du modèle météo sont dénommées dans les graphiques ci-après :

- JM1_LILLE, JP0_LILLE, JP1_LILLE pour la maille (1)
- JM1_MO3, JP0_MO3, JP1_MO3 pour la maille (2)

Les sorties des modèles chimie-transport sont dénommées dans les graphiques ci-après selon le modèle suivant : *Lieu_polluant_modèle_échéance*. Par exemple *UM_Fives_PM2.5_PREV_JP1* signifie que la maille couvre la station mobile et la station fixe de Fives, qu'il s'agit de concentrations en PM2.5 modélisées par le modèle PREV'AIR en prévision pour le lendemain (à l'échéance JP1)

Les données météo aux stations sont dénommées :

- MES_MO3 pour la station météo fixe de Sequedin
- MES_UM2 pour les données de l'unité mobile située à Villeneuve d'Ascq

Les noms des **données de concentration aux stations** dans les graphiques ci-après contiennent obligatoirement l'intitulé « Mesures » ainsi que les informations de localisation :

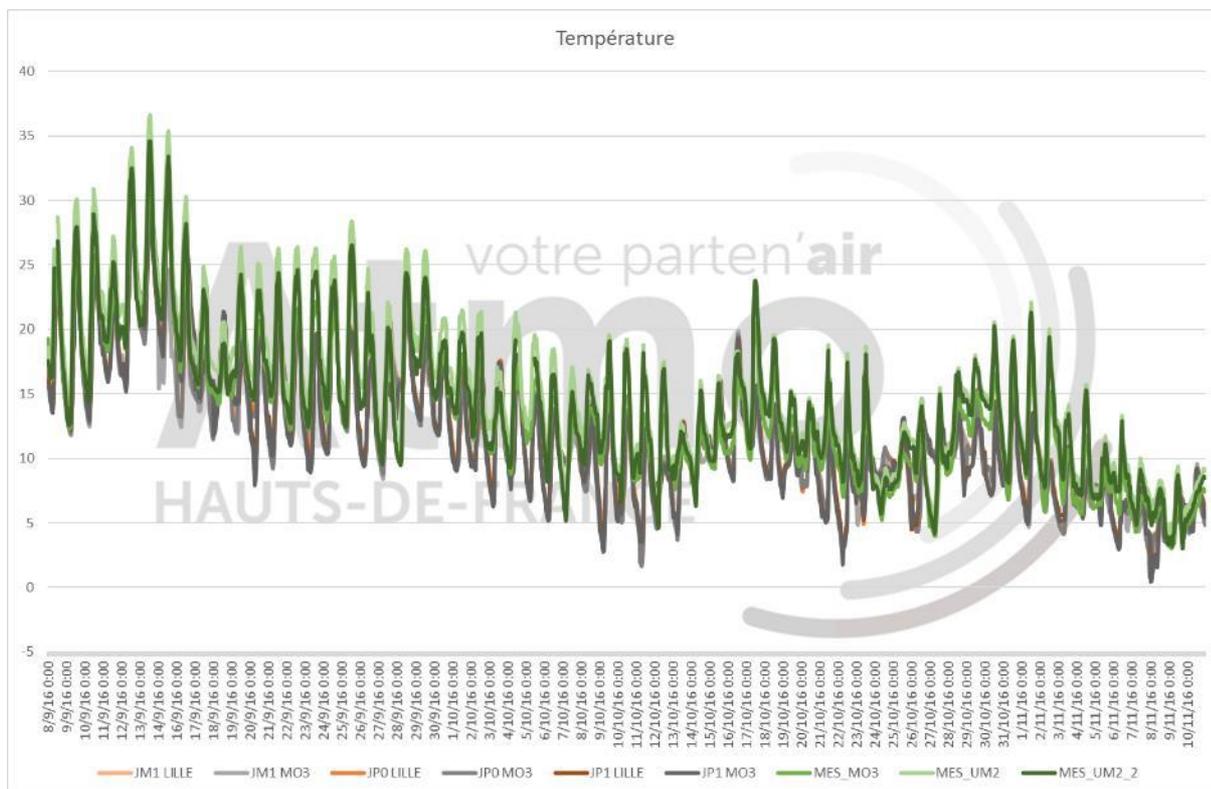
- ACSM : Mesures par l'ACSM sur la plateforme instrumentale Labex CaPPA
- UM ou UM2 : station mobile à Villeneuve d'Ascq
- Fives : station fixe de Fives

Les échéances horaires **modèle-mesure sont comparées comme suit par convention** :

Les sorties de modèle à 00h00 UTC sont comparées avec les mesures affichées à 01h00 UTC qui sont la moyenne des mesures effectuées entre 00h00 UTC et 01h00 UTC

6.2. Météo

6.2.1. Température

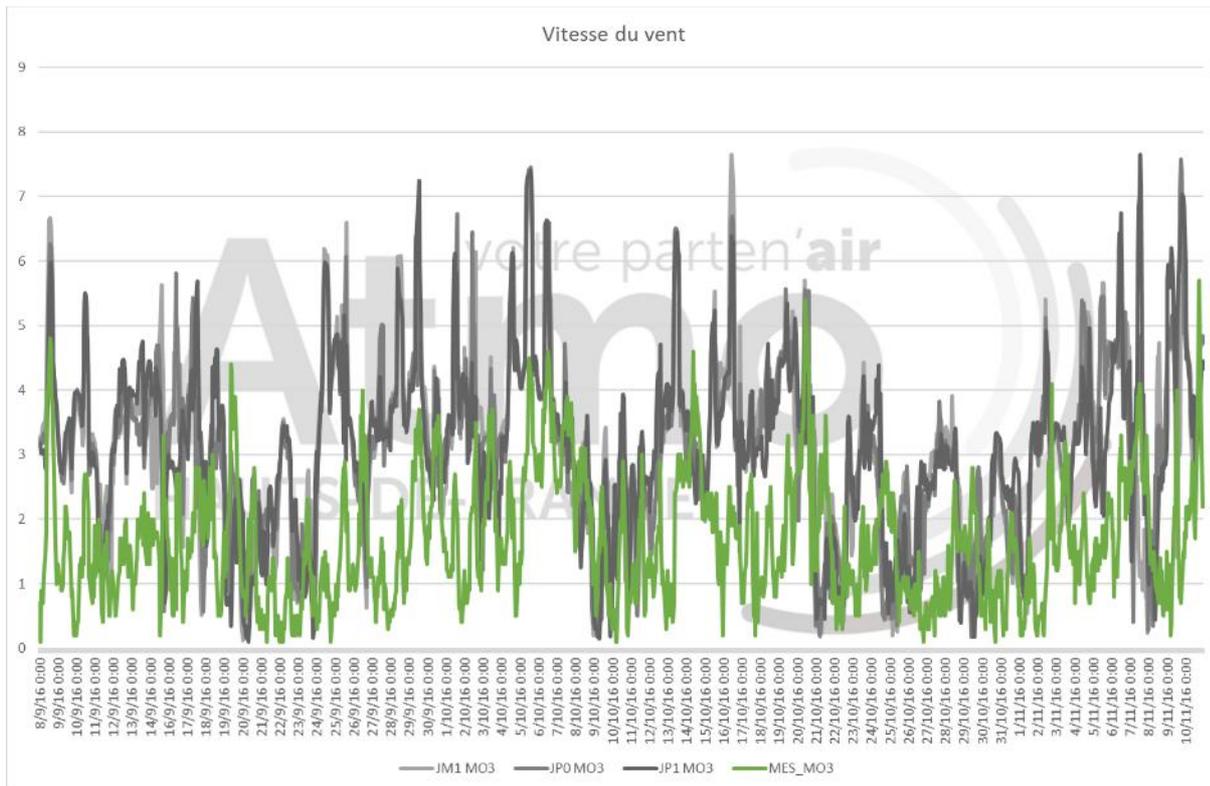


Dans le graphique ci-dessus on voit que :

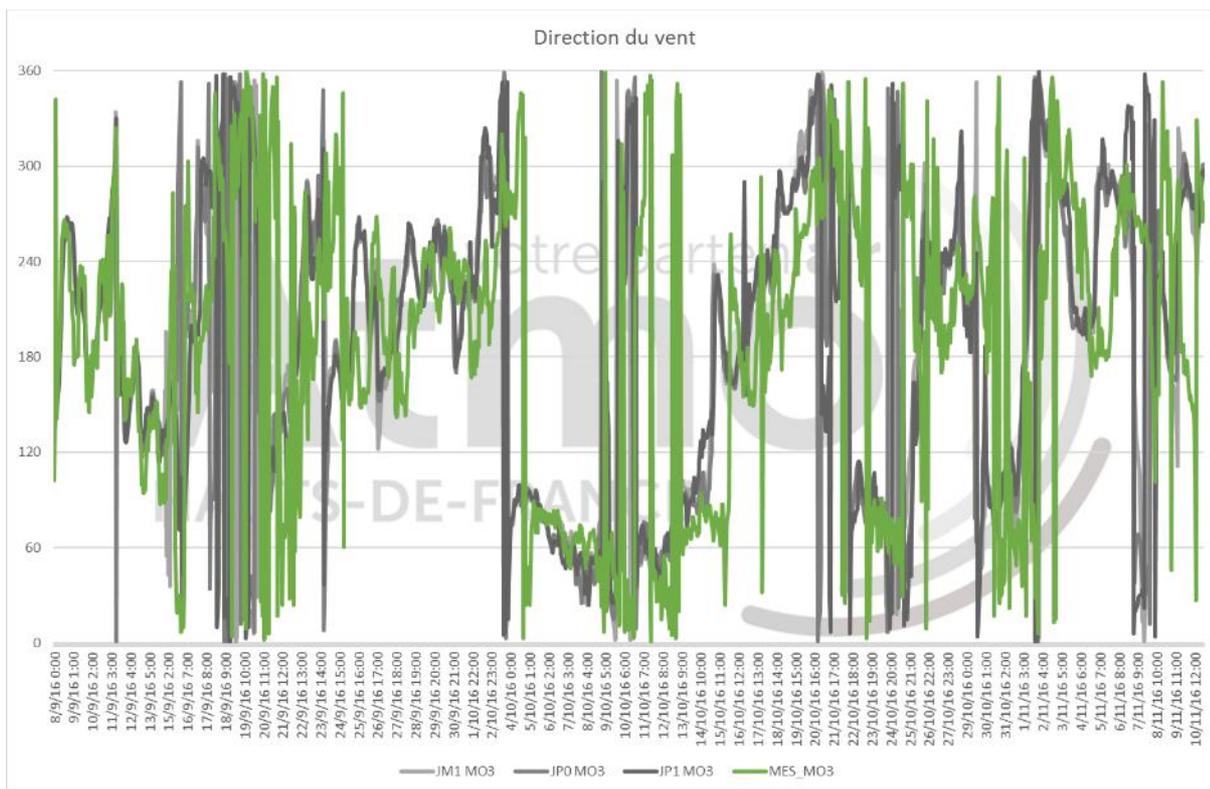
- Les variations journalières modélisées sont synchrones à celles mesurées.
- Les tendances, les fluctuations au cours de la période de mesure sont bien modélisées.
- Les températures minimales modélisées, quelle que soit l'échéance de modélisation, sont souvent inférieures aux températures minimales mesurées.
- Le biais moyen entre le modèle et la mesure sur MO3 est négatif (autour de $-1,4^{\circ}\text{C}$) alors que le biais entre la mesure UM et la mesure MO3 est positif (autour de $+2^{\circ}\text{C}$).
- Les valeurs extrémales de biais modèle-mesure et mesure-mesure sont du même ordre de grandeur pour les biais positifs, tandis que les biais modèle-mesure sont plus prononcés que les biais mesure-mesure pour les biais négatifs.

Le modèle simule correctement les températures malgré une tendance à sous-estimer les températures minimales.

6.2.2. Vent : Direction et vitesse



Le graphique ci-dessus montre que la vitesse du vent est surestimée par le modèle (vent à 10 m) durant la plus grande partie de la période de mesure, ce qui est un comportement classique de MM5 pour les faibles vitesses de vent (comme on le retrouve par exemple dans <https://www.atmos-chem-phys-discuss.net/acp-2017-713/acp-2017-713-supplement.pdf>). On voit aussi qu'il y a peu de différences entre les résultats des différentes échéances de modélisation (J-1, JP0, JP1).



Le graphique ci-dessus montre que la direction du vent est généralement correctement modélisée pour chaque échéance. Des différences importantes de direction apparaissent néanmoins pour quelques périodes. Il s'agit en particulier de celles pour lesquelles la mesure du vent est faible, alors que le vent modélisé est surestimé, comme par exemple du 26 au 27 octobre. Toutefois, durant les périodes de vent nul ($< 1 \text{ m/s}$), la direction mesurée n'est plus vraiment significative.

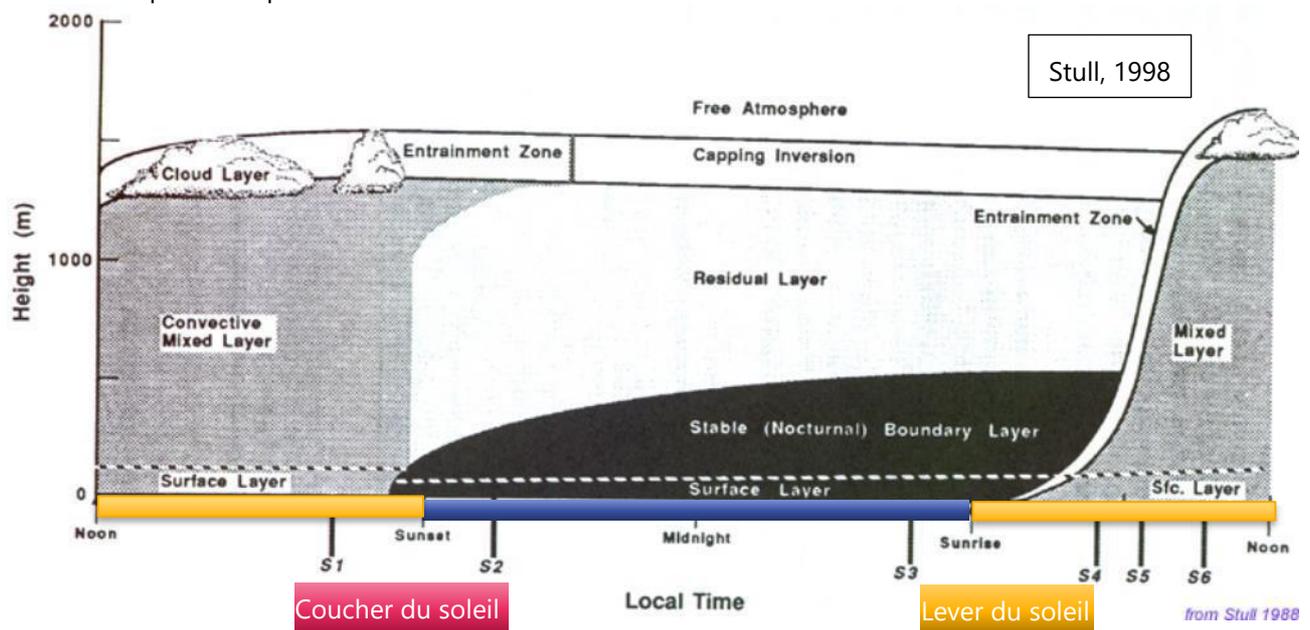
✓ Le modèle reproduit correctement la direction du vent mais il surestime la vitesse.

6.2.3. Hauteur de couche limite

La couche limite est un paramètre capital pour la qualité de l'air puisque c'est l'épaisseur de l'atmosphère dans laquelle vont se concentrer les polluants qui vont affecter la population. C'est la couche de l'atmosphère qui est directement influencée par la surface dans des délais très courts (inférieurs à la journée). On parle de micrométéorologie. Au-dessus de la couche limite atmosphérique (CLA) se trouve l'atmosphère libre (*free atmosphere*).

Pourtant, « couche limite » est un terme générique qui cache plusieurs définitions (voir schéma ci-dessous) :

- Couche limite convective (*convective mixed layer*) ou couche diurne : d'une épaisseur généralement entre 1 et 2 km en journée selon l'ensoleillement en raison des phénomènes convectifs dus au rayonnement. Les nuages peuvent matérialiser son sommet.
- Couche limite nocturne (*stable – nocturnal – boundary layer*) : sur terre épaisseur de 100 à 300 m en fonction du vent et du refroidissement en surface, caractérisé par une inversion thermique forte,
- Couche résiduelle (*residual layer*) : reste de la couche diurne, caractérisé par un gradient de température quasi nul



En outre c'est une grandeur qui n'est ni mesurée, ni modélisée directement.

Pour le lidar (Cf. annexe 4) la hauteur de couche limite est obtenue via des algorithmes que la présence de nuages peut affecter. Dans le modèle c'est une grandeur diagnostique, c'est-à-dire qu'elle n'est pas directement modélisée mais obtenue via une définition faisant intervenir plusieurs paramètres modélisés.

Il s'avère que le **lidar et le modèle ne représentent pas les mêmes grandeurs la nuit** : couche limite résiduelle pour le lidar, couche limite nocturne pour le modèle. Par contre, **la journée, le modèle et la mesure lidar représentent bien la même grandeur** : la couche limite convective.

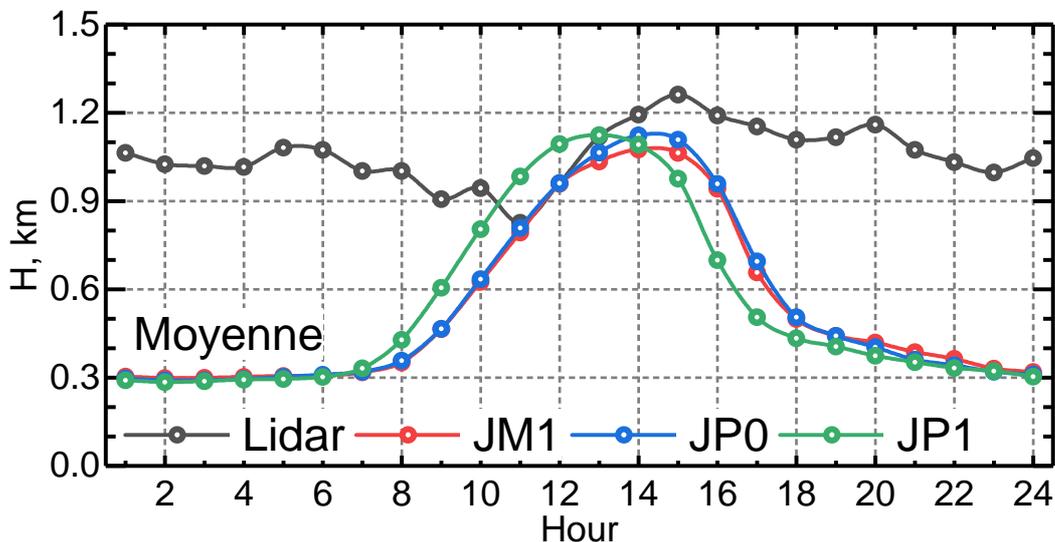
Modèle et mesure sont donc comparables en journée.

Les résultats ci-après sont un premier travail conjoint entre le LOA et atmo HdF : F. Unga, I. Popovici, P. Goloub, N. Söhne-Pujol.

☐ Profils globaux :

Les données de hauteur de couche limite (HCL) sont synthétisées sous forme de profils journalier moyen. Sur ce graphique, l'abscisse est graduée en heure. Chaque valeur tracée est la moyenne des mesures (ou modélisations) enregistrée à la même heure durant toute la période d'étude (mesure ou modèle).

Les graphiques ci-dessous (profil simple et boîte à moustache) montrent clairement que durant la journée 09h-16h UTC, les valeurs mesurées et modélisées sont cohérentes, alors que **les valeurs nocturnes divergent**. Ils montrent également une cohérence importante entre les modélisations à JP0 et JM1, et un décalage temporel des modélisations à JP1.



Profil des moyennes horaires de la hauteur de couche limite lidar et modélisation à JM1, JP0, JP1 pour l'ensemble de la période de mesures.

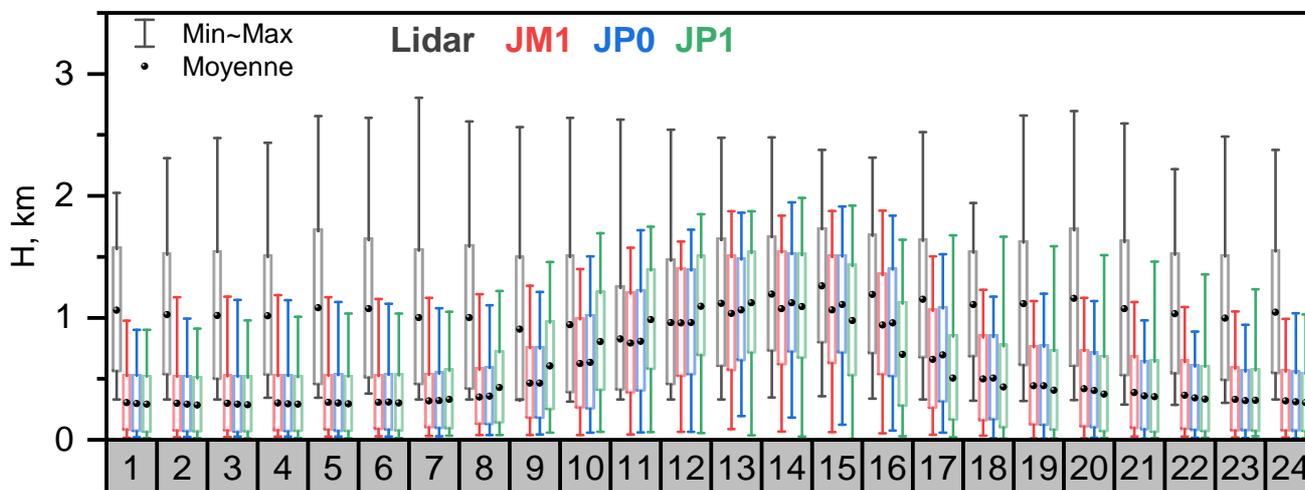
Note de lecture des boîtes à moustaches :

Les rectangles représentent les déviations standard, les moustaches les minima et les maxima, alors que les points noirs représentent la moyenne horaire.

La boîte à moustache ci-après permet de détailler les comportements des données dans leur ensemble et d'affiner les premières conclusions :

- les extrema varient entre les 3 échéances modélisées en particulier entre 18h00 et 23h00 UTC : en particulier, les maxima de la prévision à JP1 sont supérieurs à ceux des autres échéances entre 18h00 et 23h00 UTC, bien que les valeurs moyennes soient inférieures.
- les extrema mesurés par le lidar sont bien au-dessus des extrema modélisés
 - la nuit : ce qui est cohérent avec les moyennes très différentes vues sur le graphique précédent)
 - en journée, malgré des moyennes assez semblables les hauteurs maximales de couche limite modélisées sont inférieures aux maxima mesurés et les hauteurs minimales de couche limite modélisée sont inférieures aux minima mesurés.

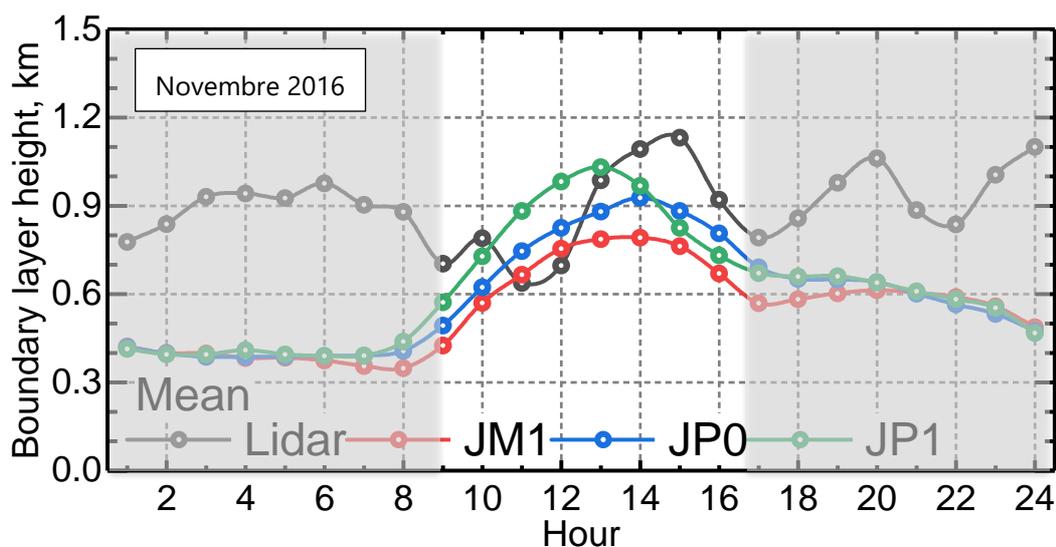
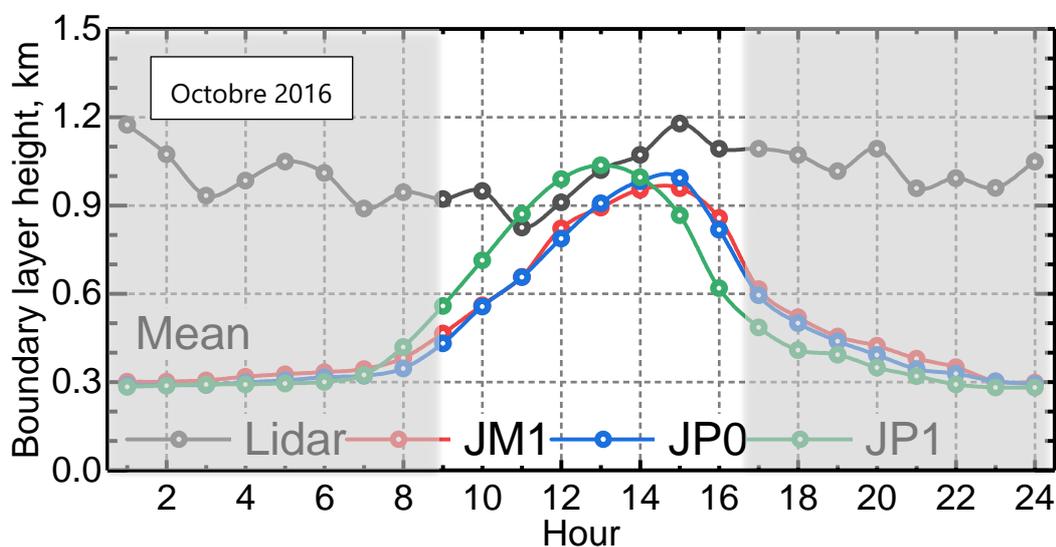
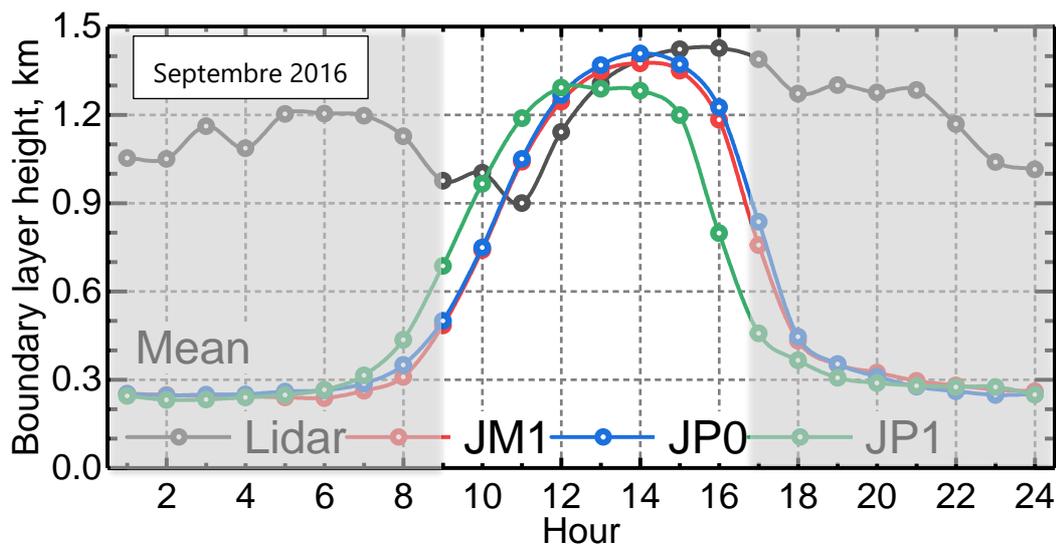
Ainsi, au travers de ce graphique on montre un **changement important dans la prévision de hauteur de couche limite entre 18h00 et 23h00 selon l'échéance** de prévision. Il montre également que **malgré des moyennes semblables en journée**, prévisions et mesure de hauteur de couche limite ont des distributions différentes. **Les hauteurs modélisées en journée peuvent être largement inférieures à celles mesurées.**



Boite à moustaches (box plot) horaire des données de hauteur de couche limite lidar et modèle à JM1, JP0, JP1 pour l'ensemble de la période de mesures.

Sachant que les données de hauteur de couche limite du lidar sont cohérentes avec les valeurs climatologiques, et que les grandeurs représentées la nuit par le lidar et le modèle sont différentes, **la comparaison stricte modèle-mesure ne se fera qu'en journée.**

☐ Profils des moyennes horaires pour chaque mois :



Les profils réalisés pour chaque mois montrent des comportements mensuels différents dans les observations et dans les modélisations. Entre septembre et novembre les profils de couche limite montrent une diminution des hauteurs horaires moyennes maximales. On observe une plus grande variabilité entre les échéances du modèle en novembre.

☑ Le modèle reproduit correctement les profils de HCL diurne.

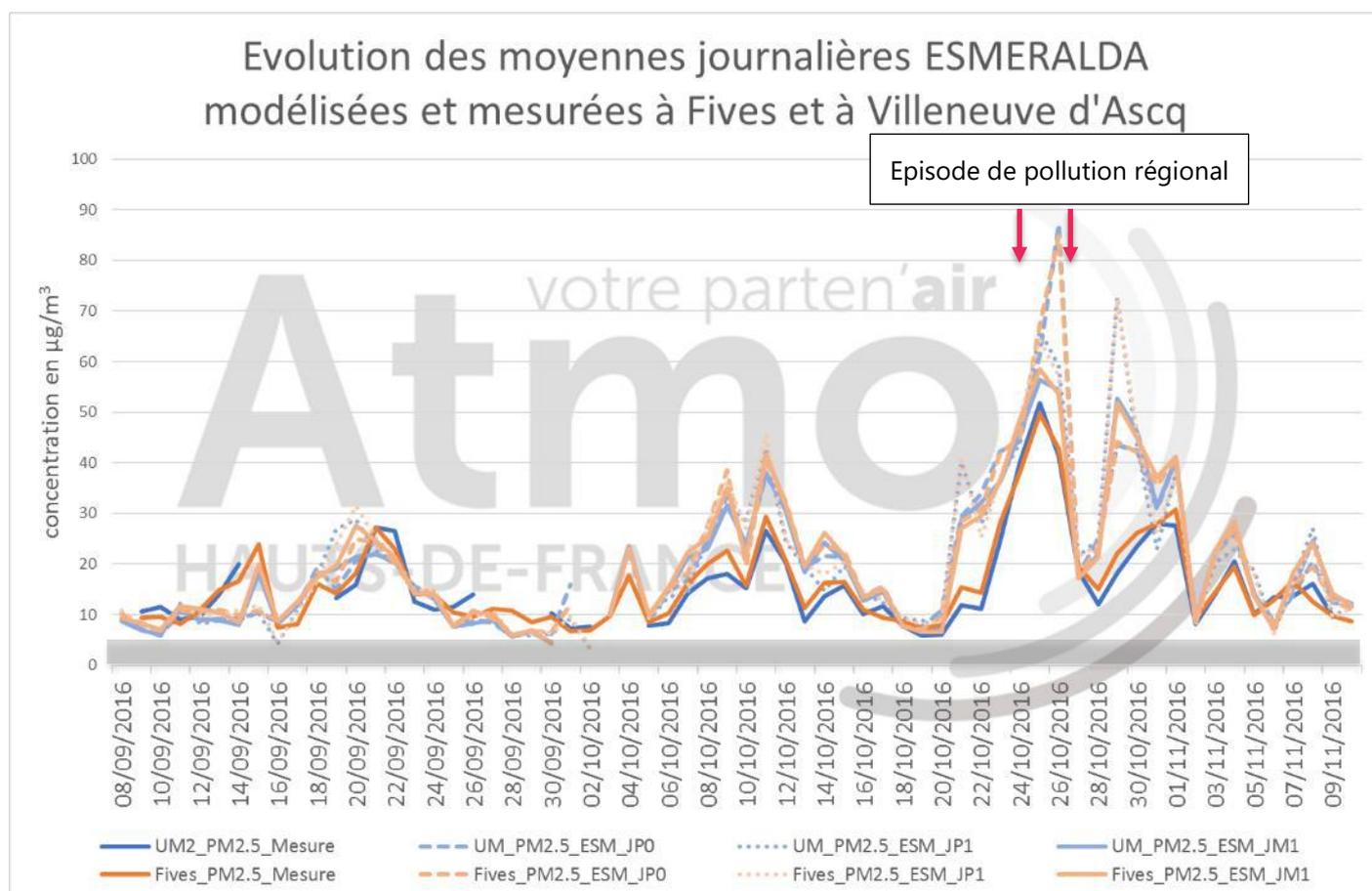
6.3. Polluants

La mesure PM₁₀ n'ayant pas un taux de fonctionnement suffisant lors de la campagne pour la station mobile, les comparaisons modèle-mesure seront faites sur les PM_{2.5} et la spéciation chimique uniquement. Ce sont les données des modèles bruts qui sont utilisées et comparées aux stations, afin de pouvoir disposer de données recherchées.

6.3.1. PM_{2.5}

★ Comparaison des valeurs journalières

Les concentrations journalières ont été calculées à partir des concentrations horaires.



L'évolution des moyennes journalières des concentrations horaires simulées par le modèle brut Esmeralda est globalement assez proche des valeurs mesurées que ce soit sur Fives ou sur la station mobile.

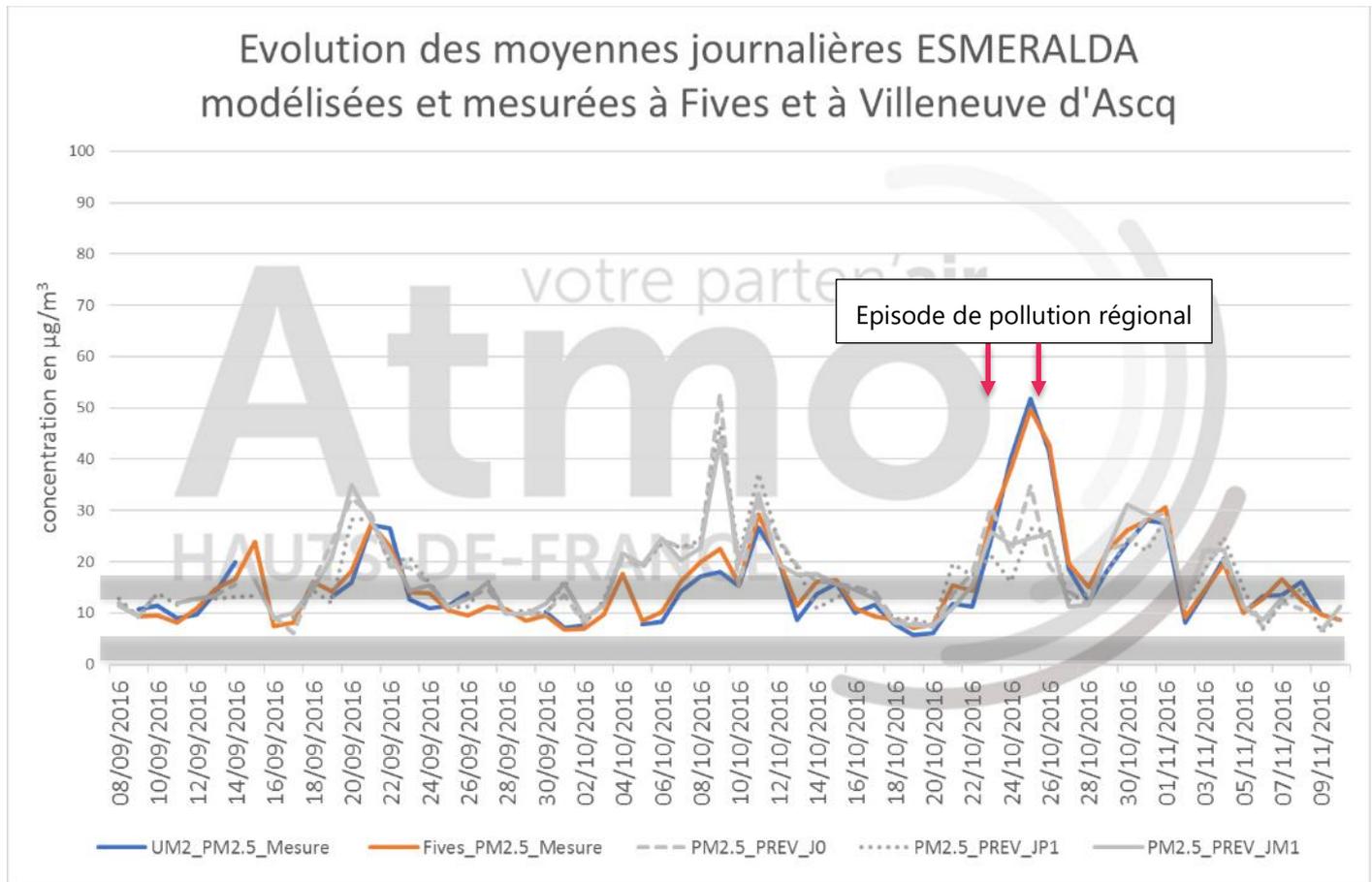
Le modèle simule bien la période de l'épisode de pollution, même si l'intensité modélisée est surestimée. En revanche il voit un dépassement inexistant le 29 octobre très marqué pour la prévision JP1 (fausse alerte).

Les niveaux simulés sont régulièrement supérieurs à ceux mesurés, conduisant à un biais moyen sur la période compris entre +4,1 et +5,4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ selon l'échéance.

Les données modélisées par Esmeralda ne sont pas très différentes entre les deux mailles contenant les stations de mesure. En outre, si la simulation à JM1 (analyse) donne sans surprise de meilleurs résultats, les niveaux simulés, exceptés les 25, 26 et 29 octobre, ne sont pas fondamentalement différents.

Le modèle Esmeralda simule correctement les évolutions de PM_{2.5}

Par la suite, pour alléger les graphiques, ne seront gardées que les comparaisons faites sur le site mobile à l'échéance JM1.



Pour Prev'air c'est la même maille qui contient les stations de Fives et la station mobile.

L'évolution des moyennes journalières des concentrations horaires simulées par le modèle brut Prev'air est globalement assez proche des valeurs mesurées que ce soit sur Fives ou la station mobile.

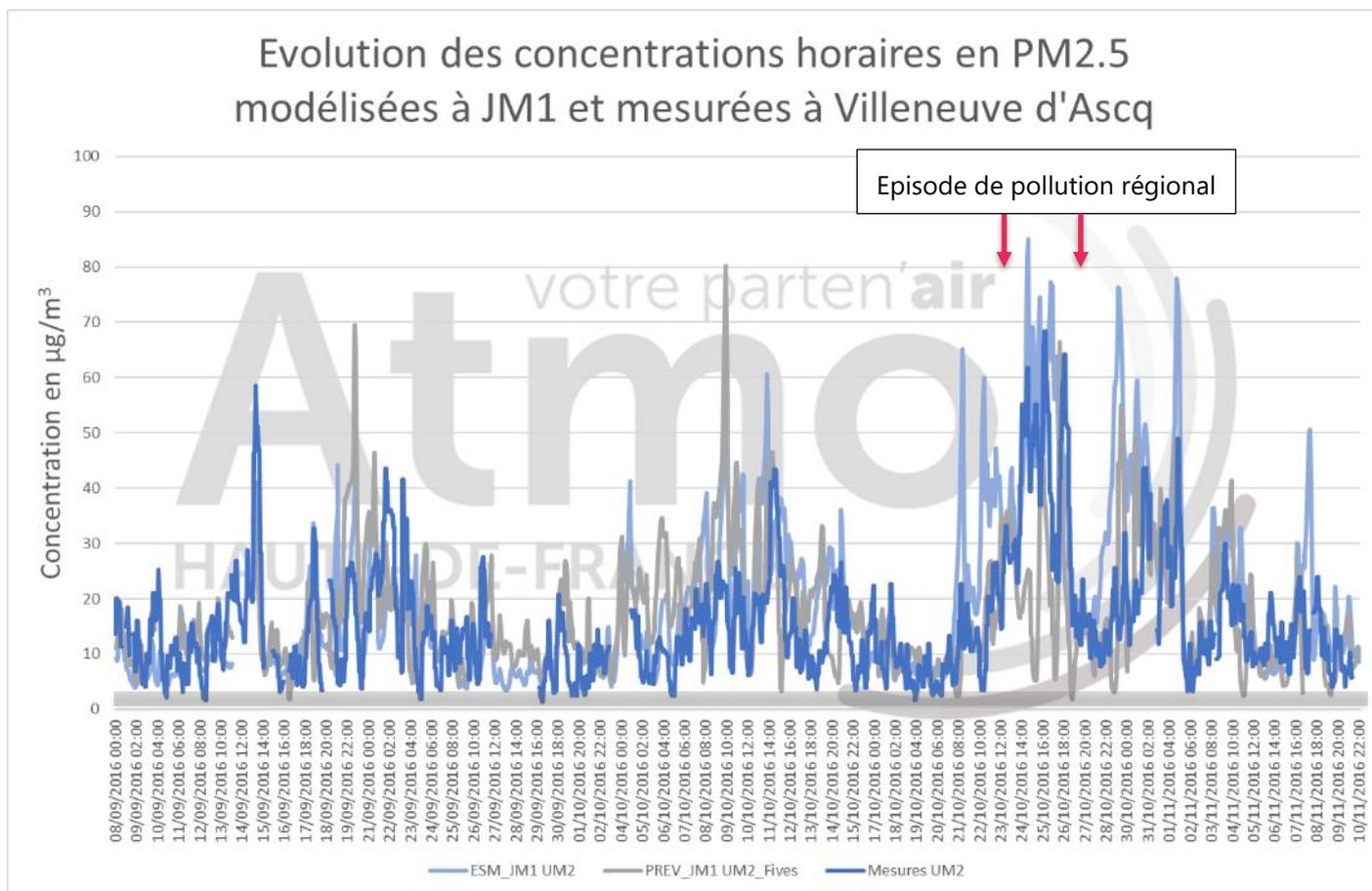
Toutefois, le modèle passe complètement à côté de l'épisode de pollution de fin octobre. De fait, le biais moyen du modèle est compris entre 1,0 et 1,7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Sans cette forte sous-estimation sur 3 journées, le biais moyen est de 2,3 à 2,9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

On observe peu de différences entre les échéances de modélisation.

Par la suite, pour alléger les graphiques, ne seront gardées que les comparaisons faites sur le site mobile à l'échéance JM1.

Le modèle Prev'air produit une fausse alerte et ne voit pas le pic.

★ Comparaison des valeurs horaires



Les données horaires permettent de voir, que le modèle Esmeralda comme le modèle Prev'air, simulent périodiquement des pics horaires très élevés et souvent irréalistes. Ce sont ces pics qui sont à l'origine des divergences modèle-mesure sur les moyennes journalières. La composition chimique modélisée et simulée est une piste pour comprendre les raisons de ces surestimations.

Les modèles ont une trop grande variabilité horaire par rapport aux mesures.

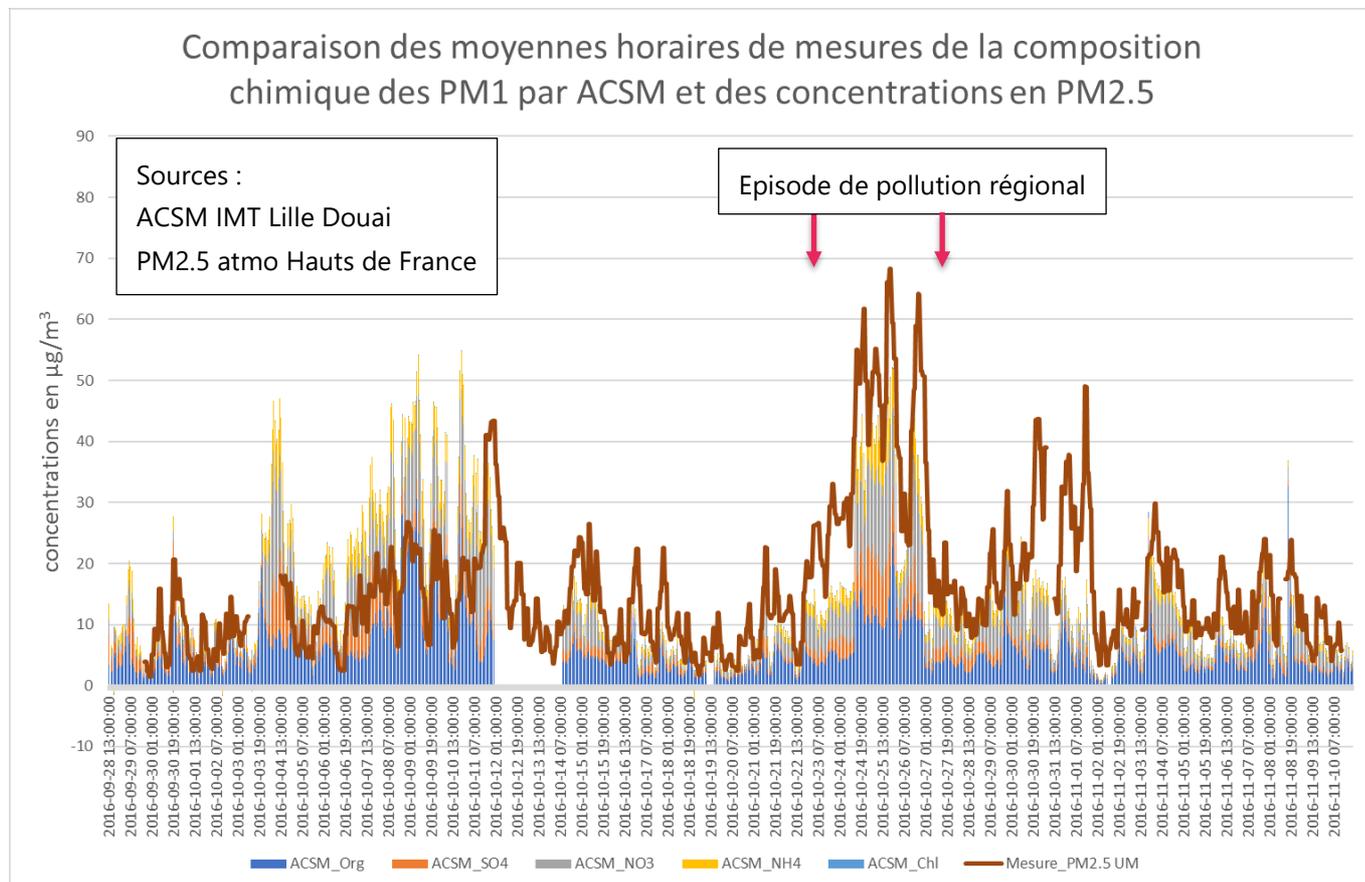
6.3.2. Composition chimique

Les données de mesures de composition chimique par ACSM sont la propriété de l'IMT Lille Douai (voir annexe 4).

Le graphique ci-après montre l'évolution temporelle du cumul des concentrations mesurées par espèce dans les PM₁ par l'ACSM entre le 28 septembre et le 10 novembre 2016. Pour mémoire, les concentrations mesurées en PM_{2.5} sur la station mobile sont ajoutées sur le graphique ci-après.

Les espèces mesurées et représentées sont :

- L'ammonium NH_4
- Les nitrates NO_3
- Les sulfates SO_4
- Les organiques Org
- Les chlorures Chl



Sur le graphique on voit qu'en octobre les PM_{10} mesurées par l'ACSM sont supérieures aux $\text{PM}_{2.5}$. Plusieurs raisons peuvent expliquer ce genre de phénomène :

- Dans notre étude la hauteur des points de prélèvements n'est pas la même ; les $\text{PM}_{2.5}$ sont mesurées avec une station au sol, les PM_{10} depuis le toit d'un bâtiment de 3 étages : un effet local de la turbulence et son impact sur la dispersion des émissions de la chaufferie de l'université peut être à l'origine des différences.
- La méthode de mesure de l'ACSM est très différente de la méthode de mesure des $\text{PM}_{2.5}$ et l'appareil nécessite une calibration. Cela se traduit, en cas de fraction volatile très importante dans les particules, ou en cas de problème de calibration, à mesurer des concentrations en PM_{10} supérieures à celles des $\text{PM}_{2.5}$.

Parmi les 5 espèces représentées, les espèces majoritaires dans les concentrations mesurées dans les PM_{10} sont les composés organiques et les nitrates, tandis que les chlorures non marins sont quasi inexistantes. Ces espèces majoritaires présentent une forte variabilité temporelle.

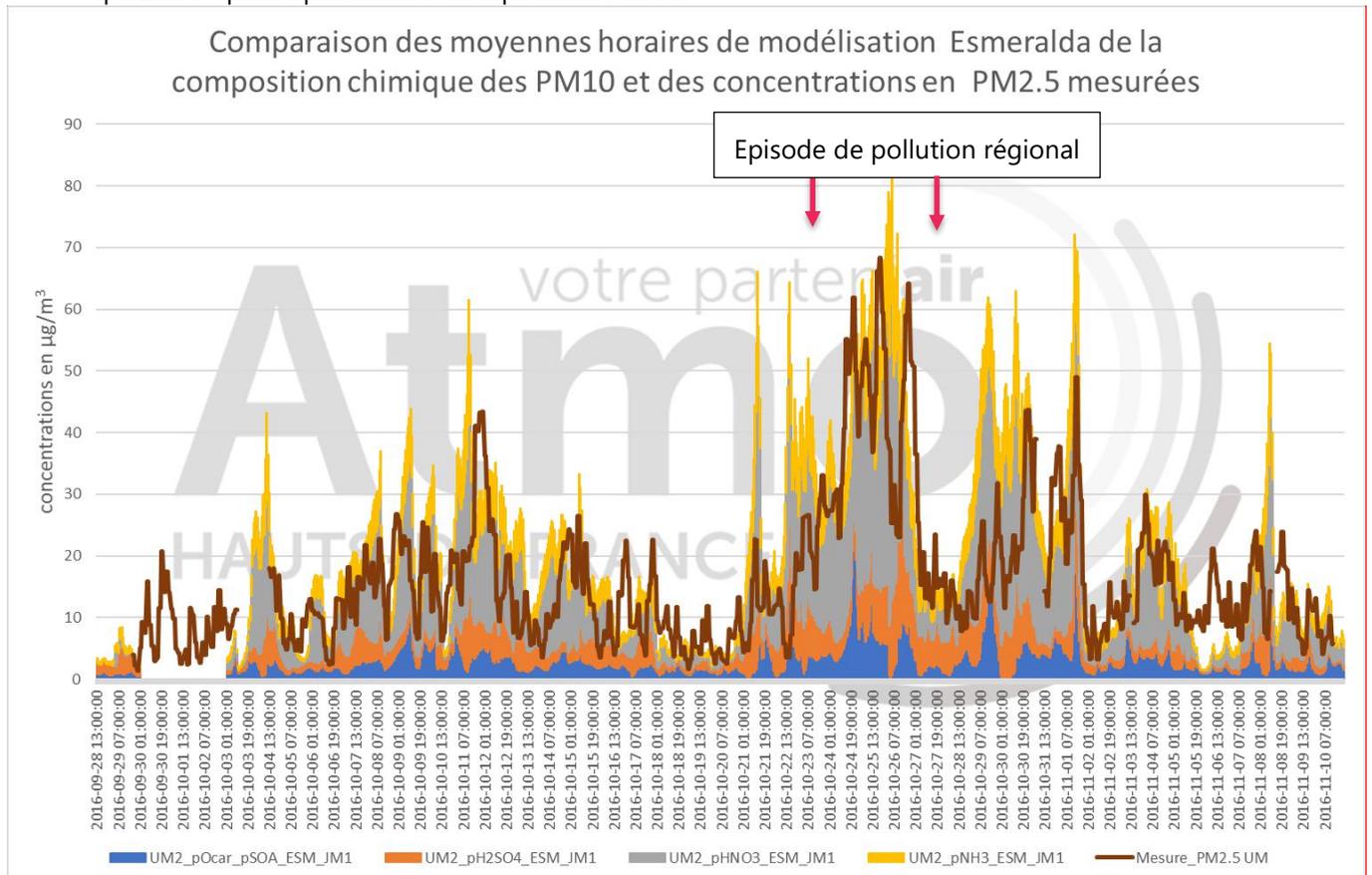
Des PM_{10} dominées par des organiques et des nitrates

Les espèces mesurées dans les PM_{10} sont ensuite comparées avec les concentrations des composés simulés les plus proches contenus dans les PM_{10} modélisées représentées dans les graphiques ci-après. Les fractions

en taille et les espèces chimiques n'étant pas strictement identiques, on s'attachera aux évolutions et aux rapports entre les composés plutôt qu'aux valeurs strictes. En plus des évolutions temporelles, des profils horaires moyens sont proposés pour déterminer l'existence d'un éventuel cycle journalier.

Pour la modélisation les variables sont :

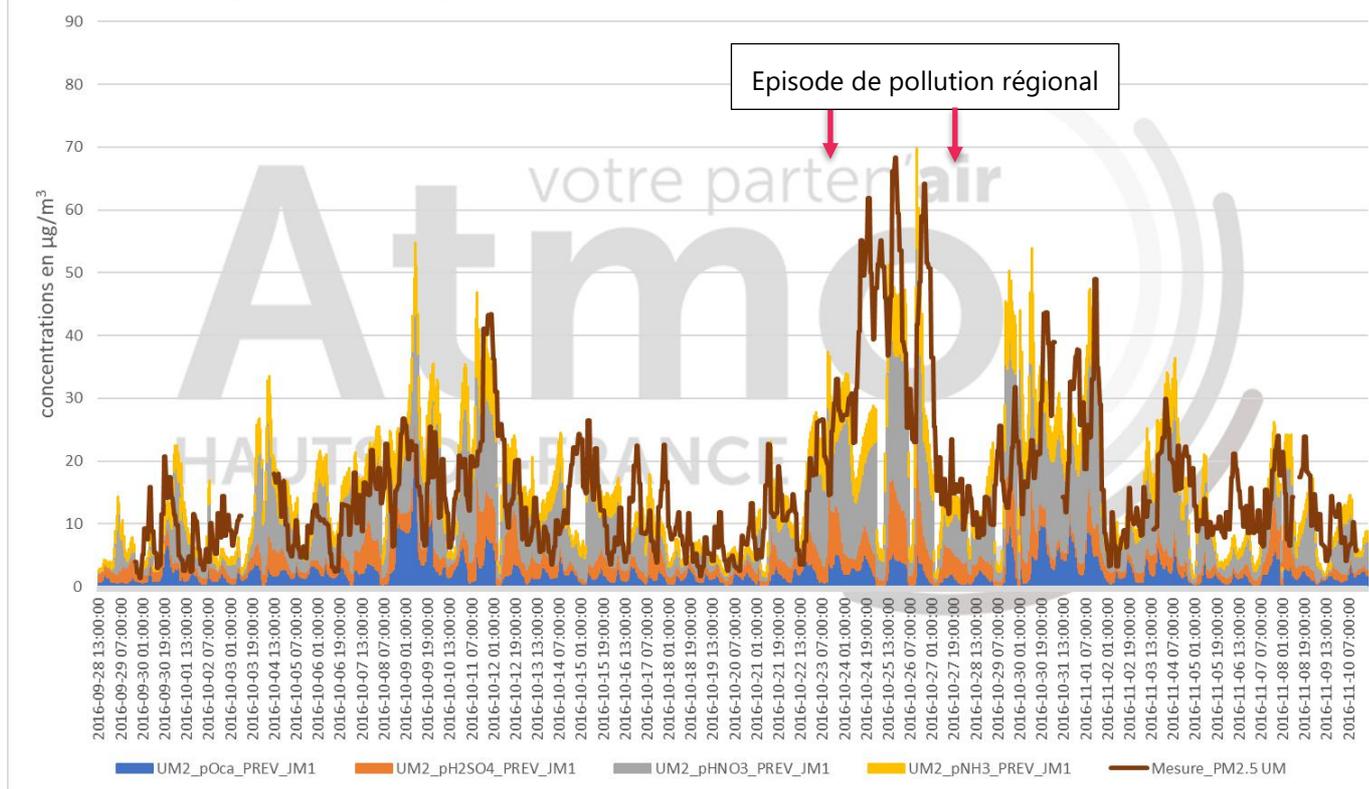
- pOcar=phase particulaire du carbone organique
- pSOA= phase particulaire des aérosols organiques secondaires anthropiques et biogéniques
- pNH3 = phase particulaire en équivalent ammonium (somme de NH_4^+ , NH_3 liquide, NH_4NO_3 ,...)
- pHNO3 = phase particulaire en équivalent nitrate
- pH2SO4= phase particulaire en équivalent sulfate



Grace au graphique ci-dessus, on constate que pour le modèle Esmeralda :

- Les principaux constituants des PM₁₀ sont les nitrates (pHNO₃).
- Les concentrations de cette espèce présentent une grande variabilité dans la modélisation.
- L'ammonium (pNH₃) et les organiques, carbone organique (pOcar) et organiques secondaires (pSOA), ont également une variabilité temporelle importante.

Comparaison des moyennes horaires de modélisation Prev'air de la composition chimique des PM10 et des concentrations en PM2.5 mesurées



Grace au graphique ci-dessus on constate que pour le modèle Prev'air :

- Les principaux constituants des PM₁₀ sont les nitrates (pHNO₃).
- Les concentrations de cette espèce présentent une variabilité importante dans la modélisation.
- Les autres espèces ont également une variabilité temporelle importante.

Sur la page suivante :

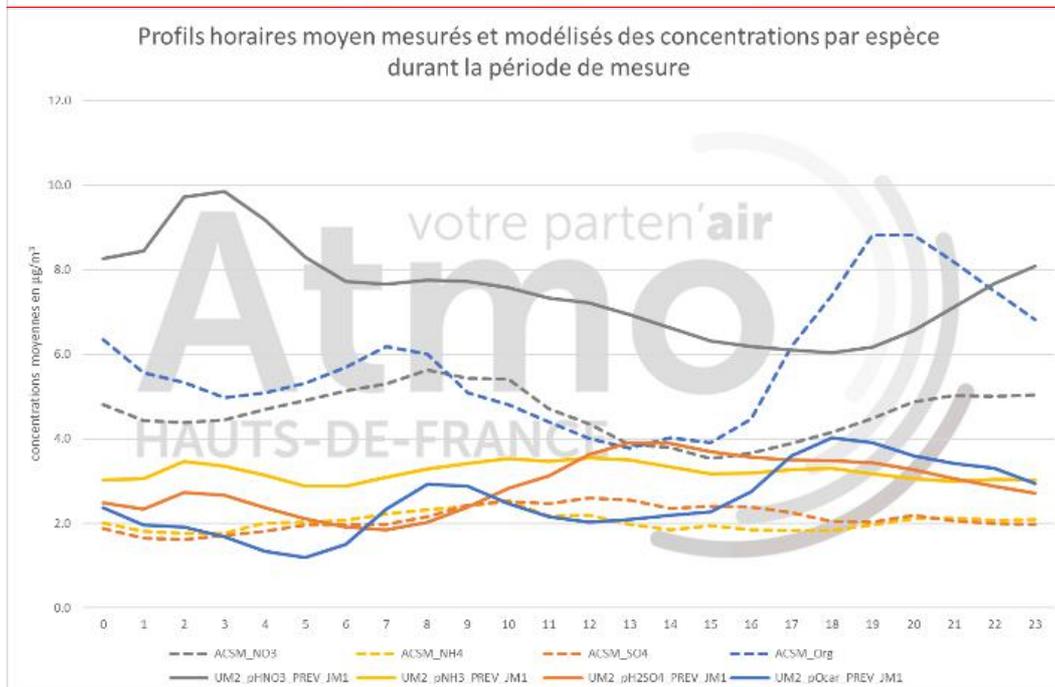
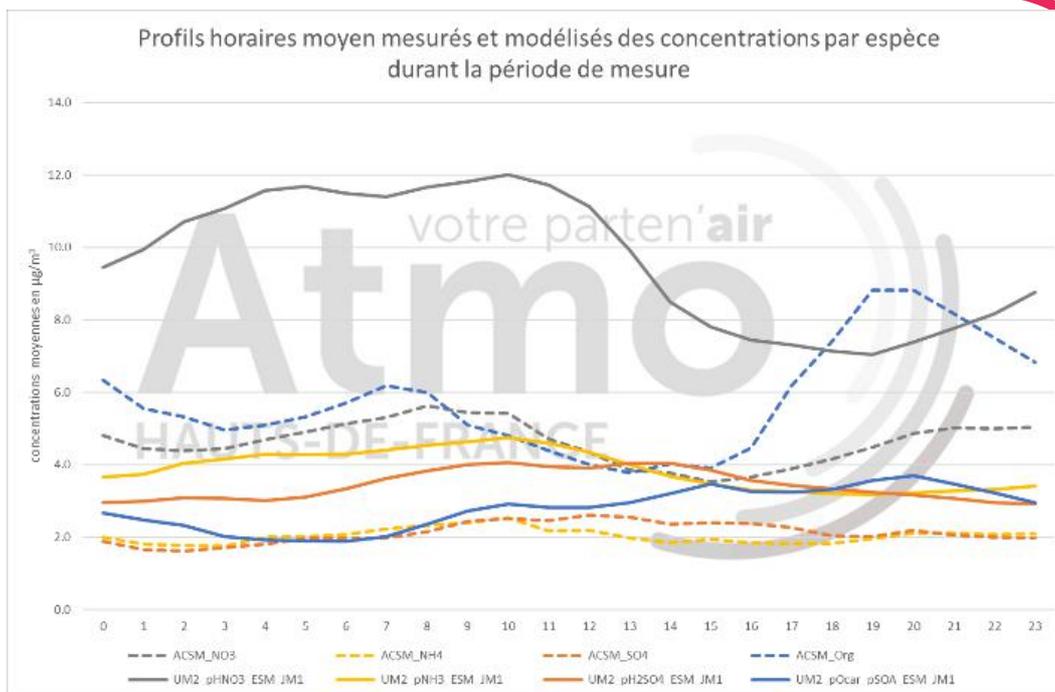
Les profils moyens horaires sur la période montrent pour les mesures (courbes pointillées) :

- Les organiques et les nitrates sont largement majoritaires.
- Une variabilité diurne de ces composés, avec un minimum entre 12h00 et 15h00 UTC.

Coté modélisation, pour Esmeralda (graphique du haut),

- Les nitrates sont la seule espèce majoritaire.
- Les nitrates présentent un fort cycle diurne, avec une chute brutale entre 12h00 et 13h00 UTC pour atteindre un minimum vers 19h00 UTC. Ce profil est décalé dans le temps à celui mesuré.
- Du coté des espèces organiques, le profil des mesures montre un pic important entre 19h00 et 20h00 UTC qui n'est pas reproduit par le modèle.

La proportion entre les espèces chimiques mesurées et modélisées par Esmeralda n'est pas cohérente, et les profils moyens divergent.



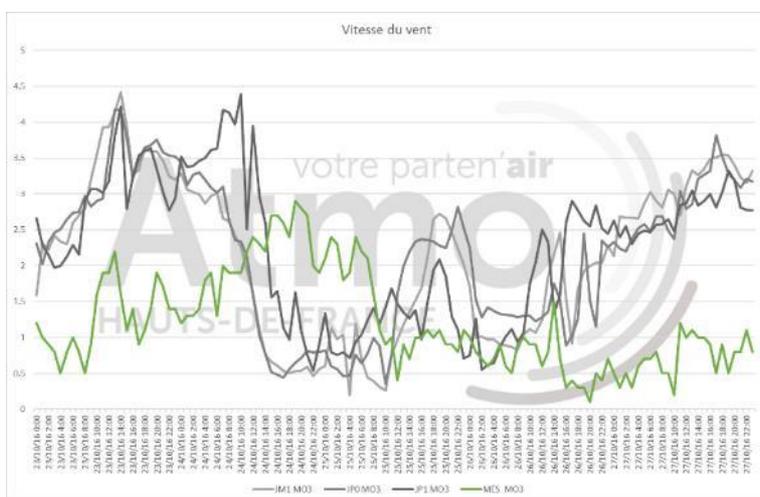
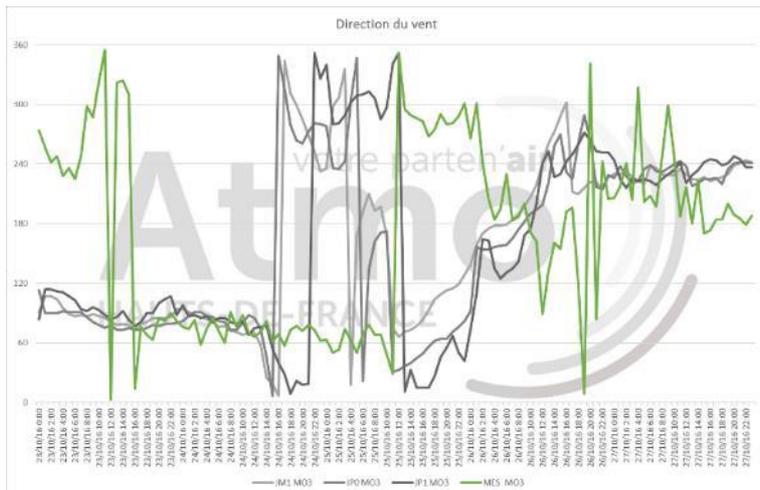
Pour Prev'air (graphique du bas) :

- Les nitrates sont la seule espèce majoritaire.
- Les nitrates présentent un cycle diurne important, avec une diminution progressive entre 03h00 et 18h00 UTC. Ce profil est différent de celui mesuré.
- Du côté des espèces organiques, le profil des mesures montre un pic important entre 19h00 et 20h00 UTC qui est reproduit dans une moindre intensité et avec 1 heure d'avance par le modèle.

La proportion entre les espèces chimiques mesurées et modélisées par Prev'air n'est pas cohérente, et les profils moyens divergent, excepté pour le carbone organique.

6.3.3. Zoom sur la période de l'épisode de pollution du 24-26 octobre 2016

Météorologie



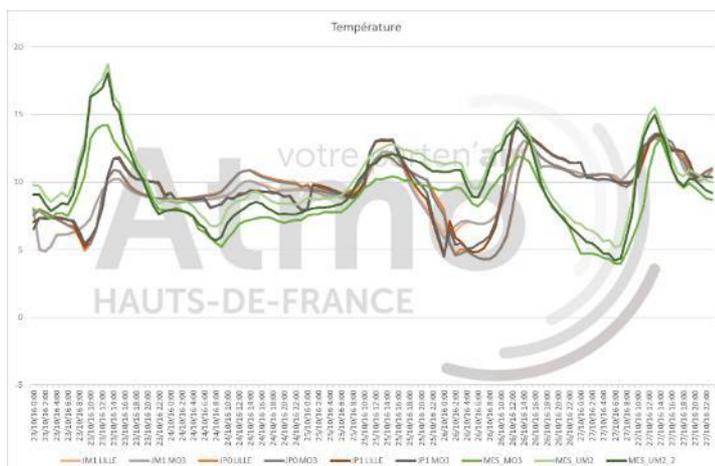
Les graphiques ci-contre montrent la direction (°) et la vitesse du vent (m/s) mesurée et simulée entre le 23 et le 27 octobre. Durant la période représentée :

- Les vitesses de vent mesurées sont faibles et deviennent quasi nulles. Et la direction couvre un large secteur nord (nord-ouest à nord-est) pour doucement s'établir au sud à partir du 26 en passant par l'ouest.
- Les vitesses de vent modélisées à 10 m sont plus élevées que les mesures sur quasi toute la période, excepté du 24 après-midi au 25 midi où elles sont sous-estimées, et la matinée du 26 durant laquelle elles sont correctement modélisées. La direction du vent modélisée est établie nord-est, avant la mesure, du 23 au 24 midi, puis passe en secteur nord, puis nord-est et tourne doucement pour s'établir en secteur sud-ouest à partir du 26 midi.

Ainsi les directions et les vitesses de vent modélisées ne sont pas similaires durant l'épisode.

Le graphique ci-contre montre l'évolution des températures (°C) mesurées et modélisées du 23 au 27 octobre.

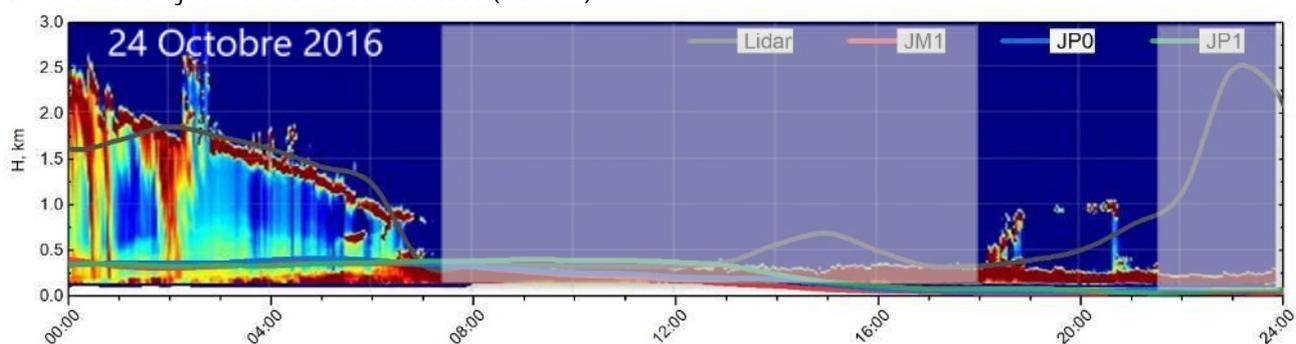
- Sur toute la période les évolutions de températures mesurées sont assez bien modélisées, avec un bémol sur les variations les plus importantes.
- Ainsi, la hausse des températures mesurées le 23 midi et leur baisse nocturne du 26 au 27 sont sous-estimées par le modèle. En revanche le modèle surestime la baisse des températures la nuit du 25 au 26.



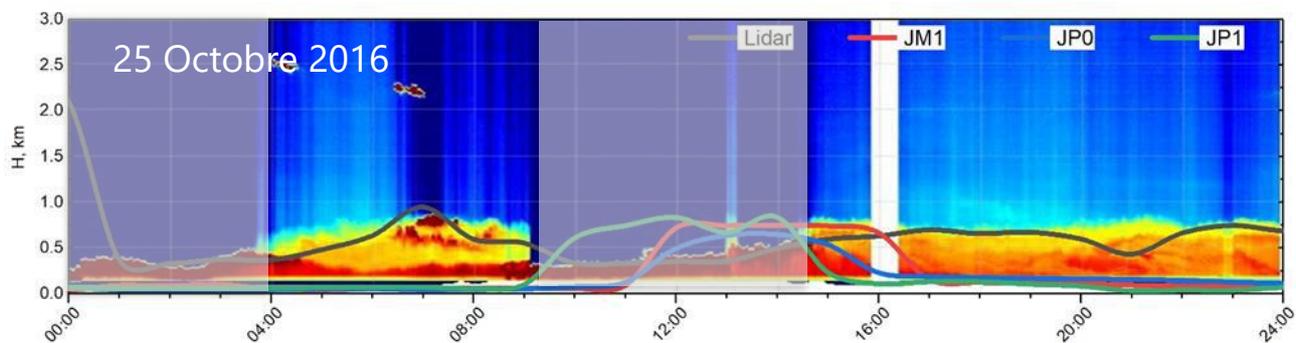
Hauteur de couche limite et répartition verticale des aérosols

La représentation la plus commune des données lidar se fait sous forme graphique comme ceux-ci-dessous. L'abscisse représente le temps, l'ordonnée l'altitude et la couleur détermine le contenu en aérosols (particules ou précipitations) via une grandeur physique; plus ce contenu est important plus la couleur utilisée tend vers le rouge (voir annexe 4). Sur cette représentation classique sont ajoutées les HCL déterminées par le lidar et modélisées (lignes continues colorées).

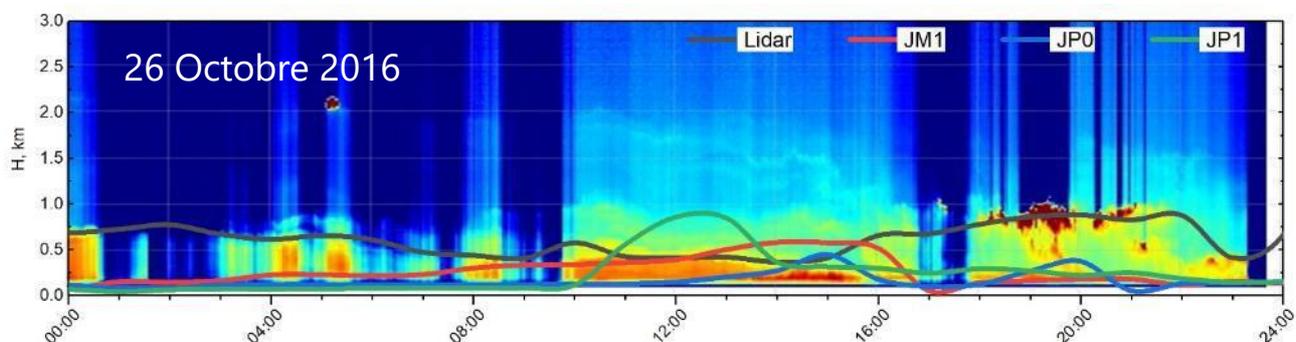
La période entre 23 et 27 octobre a été marquée par la présence de nuages bas et de brouillards perturbant les algorithmes de mesures de hauteur couche limite lidar (parties grisées). Ci-après sont représentés les 3 jours pour lesquels la détection des couches était possible. Sur les parties exploitables, les 25 et 26 octobre, on note que les HCL simulées (courbes colorées rouges, bleues et vertes) et observées (courbe grise) sont cohérentes en journée : elles sont basses (<500m).



Le 24 octobre entre 00h00 UTC et 08h00 UTC le lidar détecte la présence de nuages/précipitations entre 2,5 et 1 km. La bande rouge comprise entre 0 et 500 m indique la présence importante d'aérosols dans cette couche.



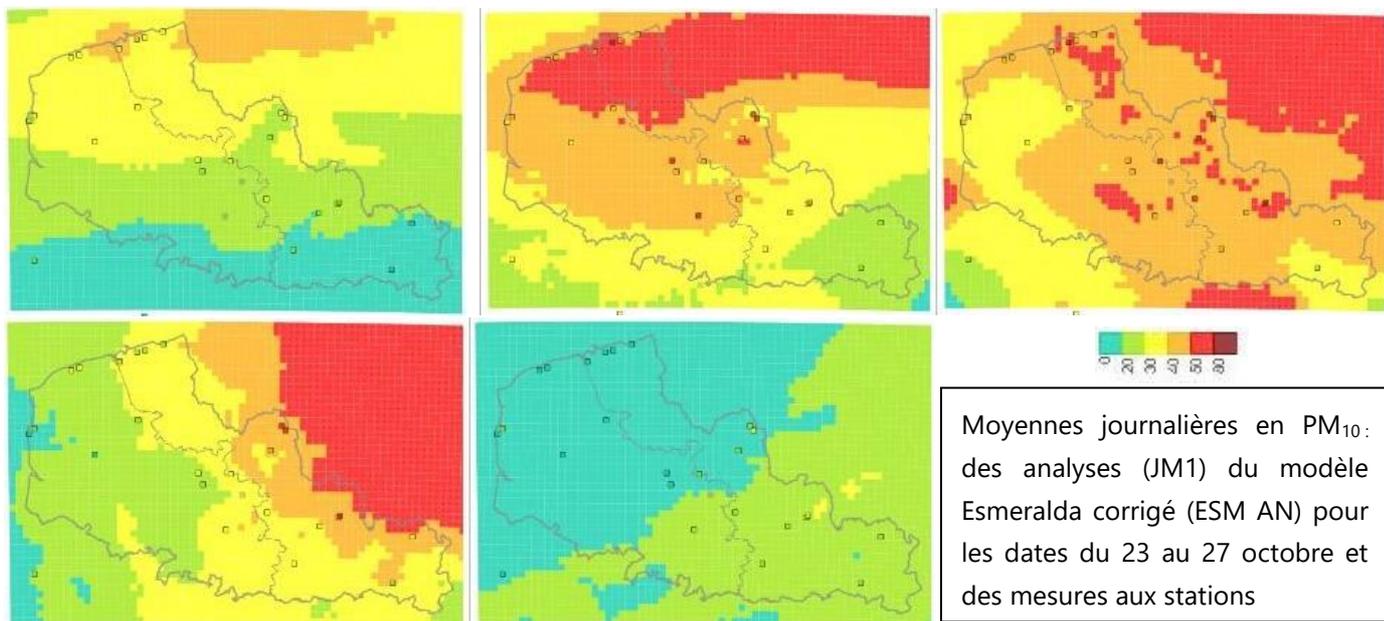
Le 25 octobre la bande rouge-orangée en bas du graphique montre l'extension verticale de la couche d'aérosols. Celle-ci atteint difficilement plus de 500 m.



Le 26 octobre, les aérosols sont toujours dans une couche entre 0 et 500 m. De plus, une fine couche située entre 1000 m et 2000 m est détectée entre 10h00 et 16h00 UTC.

Polluants

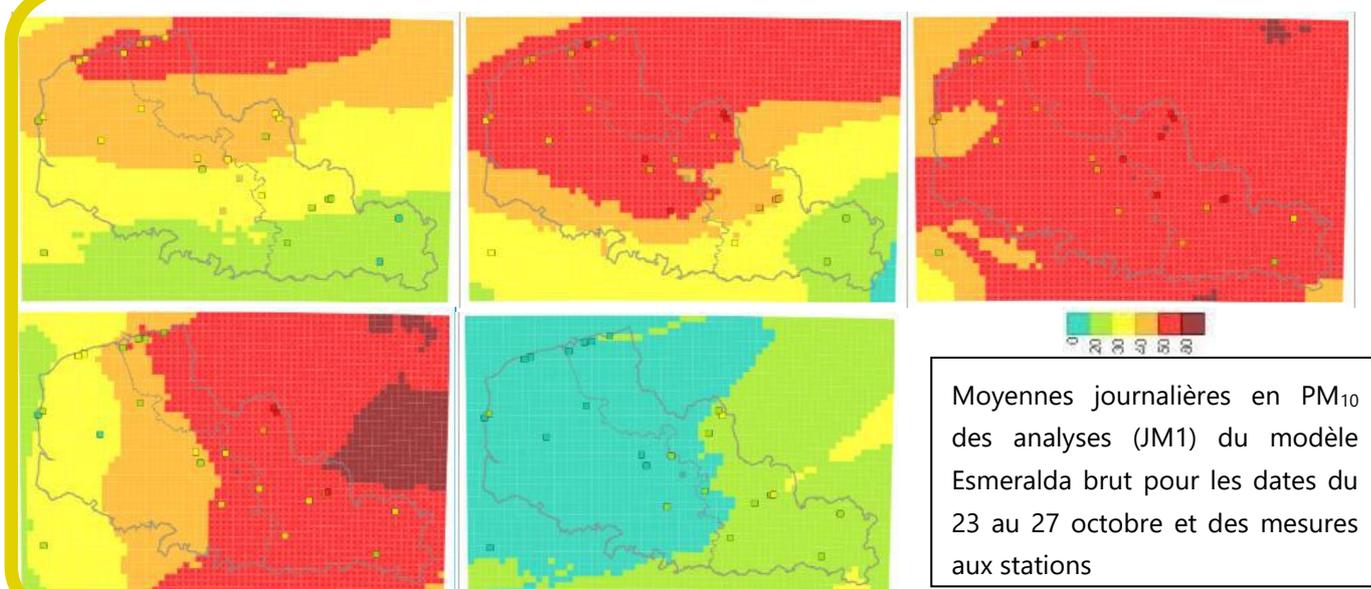
L'épisode de pollution régional en PM₁₀ s'étend du 24 au 26 octobre.



Comme le montrent les cartes ci-dessus, les dépassements en stations sont :

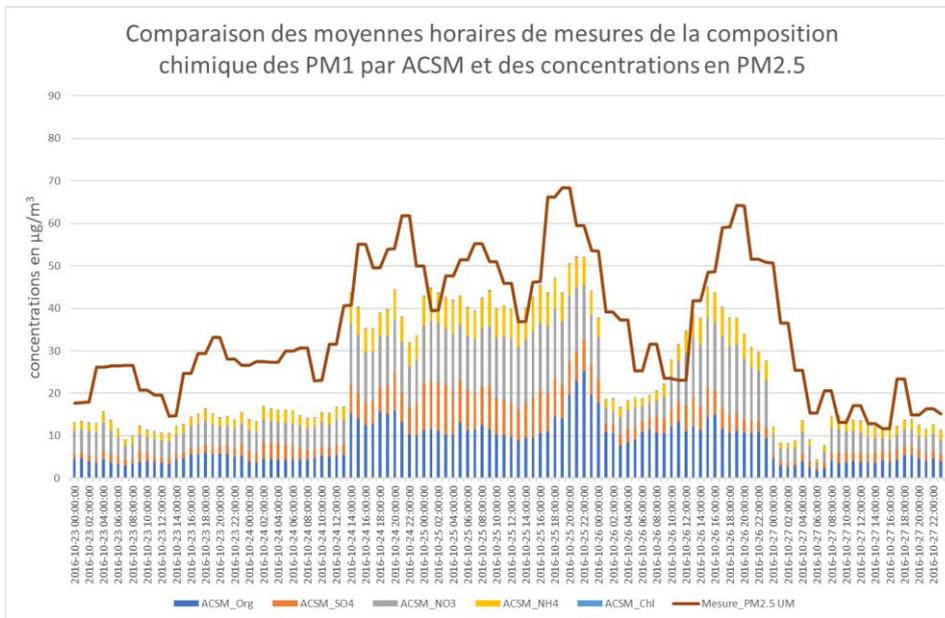
- Le 24 octobre sur les agglomérations de Lille, Dunkerque, Béthune et Arras ;
- Le 25 octobre sur les agglomérations de Lille, Dunkerque, Douai et Valenciennes ;
- Le 26 octobre sur les agglomérations de Lille et Valenciennes.

Elles montrent également que le modèle ESM AN situe correctement l'épisode dans le temps, mais de manière assez approximative dans l'espace, bien que la trajectoire soit respectée.



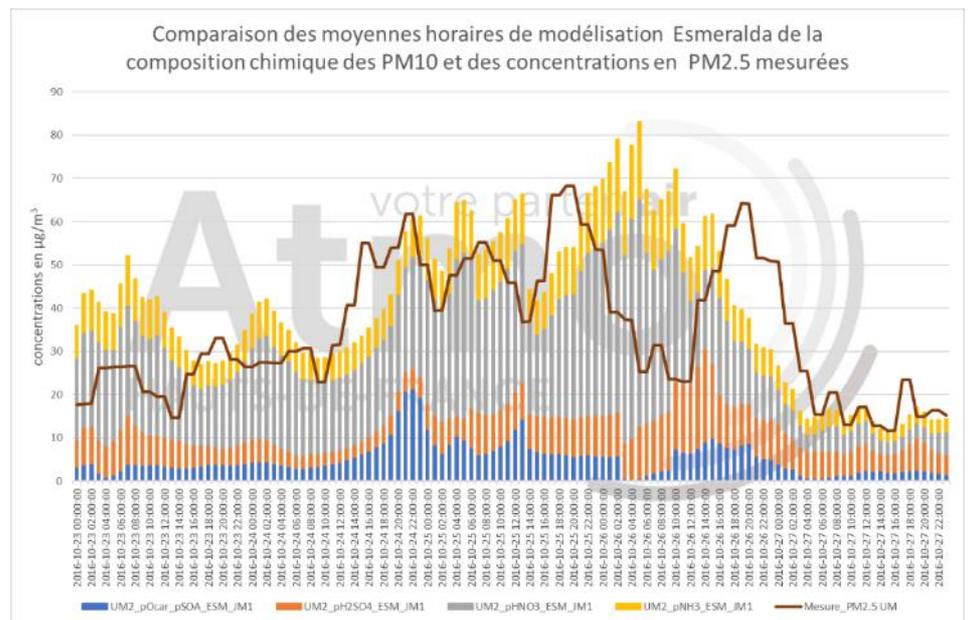
Le modèle brut situe correctement l'épisode dans le temps et en termes de trajectoire, mais avec anticipation du phénomène et une extension géographique plus large, en raison d'une surestimation des niveaux.

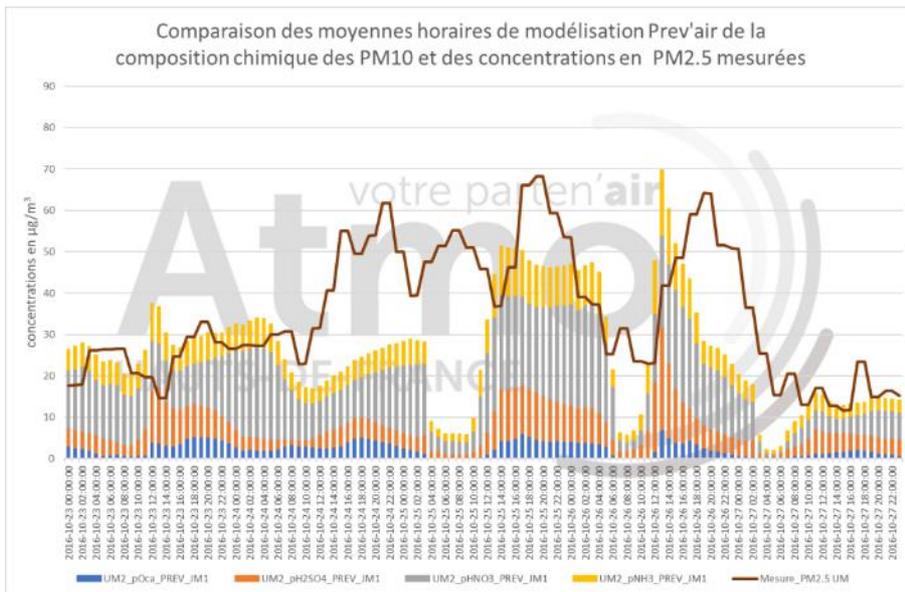
Les évolutions mesurées et modélisées de composition chimique entre le 23 et le 27 octobre sur Villeneuve d'Ascq sont représentées dans les graphiques ci-dessous.



Sur la période présentée, hors ou pendant l'épisode, ce sont les composés organiques et les nitrates qui sont majoritaires dans les mesures ACSM (PM₁). Du 24 midi au 26 minuit on voit une élévation des niveaux de l'ensemble des composés et elle est particulièrement visible et importante au maximum de l'épisode sur les composés organiques.

Le modèle Esmeralda a une répartition différente de la composition chimique des PM₁₀. Les nitrates sont les composés majoritaires jusqu'au 26 octobre puis la composition est dominée par les sulfates. Dans la modélisation le premier pic de composés organiques est relativement bien simulé ; par contre, à partir du 25 au soir, jusqu'au matin du 27, mesures et modélisations ne sont plus en adéquation : les cumuls et la nature des espèces majoritaires ne correspondent plus.





Les sorties disponibles pour le modèle Prev'air ne disposaient pas de données d'aérosol organique secondaire (SOA). Cela n'explique néanmoins pas les concentrations plus basses que celles d'Esmeralda obtenues. Le modèle Prev'air simule très mal l'épisode, notamment le 24 où l'augmentation des niveaux n'est pas simulée et le 26 où la baisse est exagérée.

Prev'air a, comme le modèle Esmeralda, une répartition différente des composés chimiques des PM₁₀. Les nitrates sont le plus souvent les composés majoritaires jusqu'au 27. En fin de période les sulfates tiennent une place importante dans la composition chimique.

7. Conclusions et perspectives

Dans le cadre de sa collaboration avec les acteurs de la recherche (Laboratoire d'Optique Atmosphérique et autres laboratoires du labex CaPPA) et en lien avec son Programme Régional de Surveillance de la Qualité de l'Air (PRSQA) 2011-2015, l'association atmo Hauts de France a réalisé en 2016 une campagne de mesures de la pollution atmosphérique sur la commune de Villeneuve d'Ascq, ayant pour objectifs :

- L'amélioration des connaissances via la collaboration avec le milieu de la recherche,
- Les comparaisons instrumentales et de modèles ainsi que l'analyse de la complémentarité des dispositifs de mesure atmo et Labex CaPPA.

Cette étude s'est déroulée du 8 septembre au 10 novembre 2016 sur le campus de l'université de Lille1 à Villeneuve d'Ascq. Elle a permis de comparer différents moyens de mesures et de modélisation gérés par des organismes différents : atmo Hauts-de-France et les chercheurs rassemblés autour du labex CaPPA.

Les résultats obtenus ont permis :

- Par les comparaisons entre mesures
 - D'asseoir le fait que les mesures réalisées sur le campus sont bien comparables à celles de la station fixe de Fives, et donc d'avoir un référentiel permanent pour les instruments de recherche.
 - D'identifier la nécessité de calibrage des compteurs de particules GRIMM.
 - De valider le comportement du micro-capteur OPC excepté en conditions de forte humidité.
- Par une première comparaison modèle-mesure sur la hauteur de couche limite
 - De mieux appréhender les données du lidar et du modèle.
 - D'identifier que durant la nuit le paramètre mesuré et le paramètre simulé ne représentent pas la même grandeur.
- Par une première comparaison modèles-mesures de la composition chimique des particules
 - D'identifier les composés comparables, et la manière de les comparer.
 - D'identifier une tendance des modèles à simuler une proportion trop importante de nitrates.
 - Et donc de mieux appréhender les comparaisons futures.

Outre ces résultats directs, cette étude a permis de renforcer le partenariat atmo-recherche au travers d'échanges sur les données (menant à des articles et présentations scientifiques) et par le biais d'une intervention d'atmo auprès des étudiants du Master 2 « Atmospheric Environment » du Labex CaPPA.

Les résultats et les bénéfices de cette étude montrent l'intérêt des échanges, qui seront amenés à s'intensifier. Ces premières comparaisons ponctuelles ouvrent la voie vers des comparaisons plus systématiques qui permettront à la fois de mieux comprendre les phénomènes de pollution et le comportement des modèles.

8. Remerciements

Nous remercions pour leur contribution active dans l'installation, l'analyse et la rédaction, les chercheurs :

Ioana Popovici, Philippe Goloub, Marie Choel

Florin Unga

Véronique Riffault



SAGE
Sciences de
l'Atmosphère
et Génie de
l'Environnement

Le LOA, le LASIR et le Département SAGE/IMT Lille Douai participent au projet CaPPA (Chemical and Physical Properties of the Atmosphere) financé par l'Agence Nationale de la Recherche (ANR) au travers du PIA (Programme d'Investissement d'Avenir) via le contrat « ANR-11-LABX-0005-01 » et au CPER Climibio, tous deux financés par le Conseil Régional Hauts-de-France et le Fonds Européen de Développement Régional (FEDER).



Annexes

Annexe 1 : Glossaire

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

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

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

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

Analyse (modélisation) : modélisation faite a posteriori en tenant compte des mesures

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

AOD : aerosol optical depth, épaisseur optique des aérosols ; grandeur physique issue des propriétés optiques des aérosols permettant d'en estimer la quantité

As : arsenic.

B(a)P : benzo(a)pyrène

BL : boundary layer, voir HCL et CLA

BTEX : Benzène, Toluène, Ethylbenzène, Xylènes

Cd : cadmium.

CLA : couche limite atmosphérique. C'est la partie de l'atmosphère où la présence de la surface terrestre (continentale ou océanique) est directement sensible.

Selon A. Mortier, 2014, thèse de doctorat, Université de Lille il s'agit de :

"La couche turbulente de la troposphère qui est directement influencée par la surface terrestre et au-dessus de laquelle se situe la troposphère libre. La notion de hauteur de couche limite permet de décrire de manière simple la répartition verticale des aérosols. Celle-ci est utilisée couramment dans le domaine de la modélisation et de la qualité de l'air puisqu'elle est directement impliquée dans la concentration des particules au niveau de sol. Elle conditionne en effet la dispersion des particules qui peut, dans le cas où celle-ci s'avère insuffisante, conduire à une stagnation des aérosols et à une mauvaise qualité de l'air. Son sommet (BL : Boundary layer) est souvent matérialisé par de forts gradients de température, d'humidité, d'aérosols ou de polluants gazeux. Ces différentes caractéristiques permettent sa détermination par divers techniques (radiosondages, sodars, profileurs de vents, etc.

Coefficient de détermination : carré du coefficient de corrélation linéaire. Mesure la qualité de la prédiction d'une régression linéaire. Il doit tendre vers 1. Pour nos comparaisons un coefficient de 0.8 est jugé très satisfaisant.

Coefficient de corrélation : rapport entre la covariance et le produit des écarts-types, il est compris entre -1 et 1. Il permet de montrer la corrélation (1) ou l'anticorrélation (-1) entre deux variables.

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...).

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...).

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

Esmeralda : plateforme régionale de modélisation et de prévision (météo et qualité de l'air)

HCL : hauteur de couche limite (atmosphérique)

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

JM1 : échéance de modélisation ; modélisation réalisée pour la veille

JPO : échéance de modélisation ; prévision réalisée pour le jour même (par le modèle)

JP1 : échéance de modélisation ; prévision réalisée pour le lendemain (par le modèle)

Labex CaPPA : projet de recherche laboratoire d'excellence CaPPA – Physique et Chimie de l'environnement atmosphérique (CaPPA = Chemical and Physical Properties of the Atmosphere)

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

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

Modélisation brute : simulation n'ayant subi aucun traitement correctif a posteriori.

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

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

Ni : nickel.

NO : monoxyde d'azote

NO₂ : dioxyde d'azote.

NO_x : oxydes d'azote.

O₃ : ozone.

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

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

Pb : plomb.

Pente (d'une droite) : coefficient directeur ; la pente attendue pour justifier d'une adéquation entre 2 sites/types de mesures lors du tracé des droites de corrélation linéaire est de 1 ± 0.1

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

PM_{2.5} : particules en suspension de taille inférieure ou égale à 2,5 µm.

PM₁ : particules en suspension de taille inférieure ou égale à 1 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.

Prev'air : plateforme nationale de modélisation et de prévision de qualité de l'air

Prévision : modélisation les échéances futures (pas de données de mesures disponibles)

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

SO₂ : dioxyde de soufre.

UM : unité mobile = station de mesure temporaire

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 : Origines et impacts des polluants surveillés

Le dioxyde de soufre (SO₂)

66

Le dioxyde de soufre est un gaz incolore issu de la combustion de combustibles fossiles contenant du soufre (charbon, fioul, gazole).



Les sources principales sont les installations de chauffage individuel et collectif (chaufferies), les véhicules à moteur diesel, les centrales thermiques, certaines installations industrielles. Le SO₂ est aussi produit naturellement (éruptions volcaniques, feux de forêts).

Il irrite les muqueuses, la peau et les voies respiratoires supérieures (toux, gêne respiratoire). Il agit en synergie avec d'autres substances, notamment les particules fines. Ses effets peuvent être amplifiés par le tabagisme.

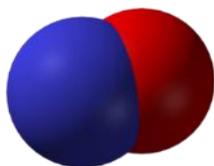
Il participe au phénomène des pluies acides perturbant voire détruisant les écosystèmes fragiles. Il peut également acidifier les sols et les océans. Il contribue à la dégradation de la pierre et des matériaux des monuments.

99

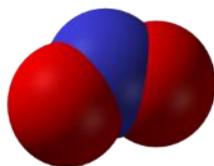
Les oxydes d'azote (NO_x)

66

Les oxydes d'azote représentent les formes oxydées de l'azote, les principaux sont le dioxyde d'azote (NO₂) et le monoxyde d'azote (NO).



Ils proviennent de la combustion de combustibles fossiles et de procédés industriels (fabrication d'engrais, traitement de surface etc.). Les principaux émetteurs sont le transport routier et les grandes installations de combustion, ainsi que les feux de forêts, les volcans et les orages.



Le NO₂ est un gaz très toxique (40 fois plus que le monoxyde de carbone et quatre fois plus que le monoxyde d'azote). Il pénètre profondément dans les poumons et irrite les bronches. Chez les asthmatiques, il augmente la fréquence et la gravité des crises. Chez l'enfant, il favorise les infections pulmonaires.

Les NO_x participent au phénomène des pluies acides et à l'accroissement de l'effet de serre.

99

Les particules en suspension :

PM₁₀ et PM_{2.5}

66

Les particules en suspension varient en fonction de la taille, des origines, de la composition et des caractéristiques physico-chimiques. Les particules fines PM₁₀ et PM_{2.5} ont un diamètre respectivement inférieur à 10 micromètres (µm) et à 2,5 µm. Elles sont d'origine naturelle ou d'origine humaine.



Les particules PM₁₀ proviennent essentiellement du chauffage au bois, de l'agriculture, de l'usure des routes, des carrières et chantiers BTP. Les PM_{2.5} proviennent essentiellement des transports routiers et du chauffage au bois.

Plus les particules sont fines, plus elles pénètrent profondément dans les voies respiratoires. Les PM_{2.5} ont ainsi un impact sanitaire plus important que les PM₁₀. Elles peuvent irriter et altérer la fonction respiratoire. Certaines particules ont des propriétés mutagènes et cancérigènes du fait de leur propension à adsorber des polluants et les métaux lourds.

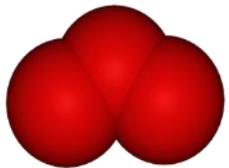
Les effets de salissure des bâtiments et monuments sont les atteintes à l'environnement les plus évidentes. Certaines particules contribueraient au réchauffement climatique.

99

L'ozone (O₃)

66

L'ozone est un polluant secondaire qui se forme à partir de polluants primaires émis par différentes sources de pollution (trafic automobile, activités résidentielle et tertiaire, industries) sous l'effet du rayonnement solaire.



Ainsi, les niveaux moyens relevés en ozone sont généralement plus élevés au printemps et les pics de concentrations s'observent en juillet-août. Les concentrations sont minimales en début de matinée et maximales en début d'après-midi.

On distingue l'ozone stratosphérique (altitude de 10 à 60 km) qui forme la couche d'ozone protectrice contre les UV du soleil et l'ozone troposphérique (0 à 10 km) qui devient un gaz agressif en pénétrant facilement jusqu'aux voies respiratoires les plus fines. Il provoque toux, altération pulmonaire ainsi que des irritations oculaires.

L'ozone a un effet néfaste sur la végétation (rendement des cultures, respiration des plantes) et sur certains matériaux (caoutchouc). Il contribue également à l'effet de serre.

99

Le monoxyde de carbone (CO)

66 Le monoxyde de carbone est un gaz incolore, inodore et inflammable. Il provient de la combustion incomplète de combustibles et des carburants due à des installations de chauffage mal réglées.



Il est essentiellement présent dans les gaz d'échappement des véhicules automobiles. Ses émissions peuvent provenir d'un mauvais fonctionnement d'un appareil de chauffage et conduire à des teneurs très élevées dans les habitations.

Le monoxyde de carbone se fixe sur l'hémoglobine du sang à la place de l'oxygène, et conduit à un manque d'oxygénation. Les organes les plus sensibles sont le cerveau et le cœur. L'inhalation de CO entraîne des maux de tête et des vertiges, puis l'augmentation de sa concentration aggrave les symptômes (nausées, vomissements) pouvant conduire à la mort.

Ce gaz participe à l'acidification de l'air, des sols et des cours d'eau. Il contribue à la formation de l'ozone troposphérique. Il se transforme aussi en dioxyde de carbone, l'un des gaz responsables de l'effet de serre.

99

Annexe 3 : Modalités de surveillance

Les stations de mesures

En 2016, la région Hauts-de-France comptait **62 sites de mesures fixes de la qualité de l'air** (cf. site atmo-hdf.fr⁶) et **7 stations mobiles**.

Station fixe

Par définition, une station de mesures fixe fournit des informations sur les concentrations de polluants atmosphériques sur un même site en continu ou de manière récurrente.

Station mobile

La station mobile mesure également des concentrations de polluants atmosphériques et des paramètres météorologiques mais de manière ponctuelle et sur différents sites. Autrement dit, elle constitue un laboratoire de surveillance de la qualité de l'air amené à être déplacé sur l'ensemble de la région pour répondre à des campagnes de mesures ponctuelles, en complément de la mesure en continu de la qualité de l'air par le dispositif de mesures fixe.



Critères d'implantation des stations fixes

Chaque station de mesures vise un objectif de surveillance particulier. Selon cet objectif et en application des recommandations⁷ du [LCSQA](#) (Laboratoire Central de Surveillance de la Qualité de l'Air) et de la Fédération Atmo, elle doit respecter des critères d'implantation en lien avec sa classification, mais aussi :

- La métrologie (bonnes conditions de dispersion des polluants, absence d'obstacle, alimentation électrique, accès pour les techniciens...);
- La sécurité de la population (la station ne doit pas gêner ni mettre en danger la population);
- Une exposition de la population la plus représentative (installation du site dans une zone à forte densité de population, absence de source de pollution très locale).

*Les stations fixes sont classées selon l'environnement d'implantation : station **urbaine**, station **périurbaine** ou station **rurale** (proche d'une zone urbaine, régionale ou nationale).*

*Ensuite, chaque mesure réalisée dans la station (c'est-à-dire chaque polluant suivi) est classée selon le type d'influence prédominante : **mesure sous influence industrielle**, **mesure sous influence trafic** ou **mesure de fond** (mesure n'étant pas sous l'influence d'une source spécifique).*

Techniques de mesures

Afin de mesurer les concentrations des polluants atmosphériques, les stations sont équipées de matériels spécifiques. En fonction des polluants étudiés, différentes techniques de mesures peuvent être utilisées.

Mesures avec analyse directe

Ces mesures sont effectuées par **des analyseurs** qui fournissent les concentrations des polluants 24h/24h, selon un pas de temps défini de 10 secondes à 15 minutes. Ces mesures permettent de suivre **en temps réel** les concentrations en polluants PM₁₀, PM_{2.5}, CO, NO_x, SO₂, O₃, etc. et d'identifier d'éventuels pics de pollution. Elles nécessitent l'installation, au sein d'une station de mesure fixe ou mobile régulée en température et en tension, d'un dispositif de mesures comprenant en plus des analyseurs, des têtes de prélèvement, des lignes de prélèvements, une station d'acquisition de mesure et un modem.

Les **oxydes d'azote** sont ainsi analysés dans l'air ambiant par chimiluminescence (norme NF EN 14211).

Pour les **particules (PM₁₀ et PM_{2.5})**, les méthodes utilisées (conformes à la NF EN 16450) sont équivalentes à la méthode de référence par pesée gravimétrique (normes NF EN 12341 pour les PM₁₀ et NF EN 14907 pour les PM_{2.5}). Ces méthodes sont :

- La microbalance par évaluation de la variation d'une fréquence de vibration du quartz,
- La jauge radiométrique beta basée sur la variation de l'absorption d'un rayonnement beta.

La mesure du **monoxyde de carbone** se fait par absorption infrarouge (norme NF EN 14626).

L'analyse du **dioxyde de soufre** s'effectue par fluorescence du rayonnement ultraviolet (norme NF EN 14212).

L'**ozone** est mesuré par photométrie ultraviolet (norme NF EN 14625).



Annexe 4 : Mesures des laboratoires



ACSM

Aerosol Chemical Speciation Monitor : appareil permettant de mesurer en temps réel la composition chimique des aérosols submicroniques non réfractaires (NR-PM₁) par l'utilisation combinée de la vaporisation thermique et de la détection par spectrométrie de masse.

Les espèces considérées sont : Sulfates, Nitrates, Chlorures, Ammonium et Organiques

Pour tout savoir sur l'instrument utilisé :

<http://www.labex-cappa.fr/equipements/la-liste-des-equipements/ACSM>

GRIMM Mini WRAS

Compteur de particules optique et spectromètre

<http://wiki.grimm-aerosol.de/index.php?title=IAQ-Mini-Wras-1371>

OPC alphasense

Microcapteur ; compteur optique de particules PM₁₀, PM_{2.5} et PM₁

<http://www.alphasense.com/index.php/products/optical-particle-counter/>

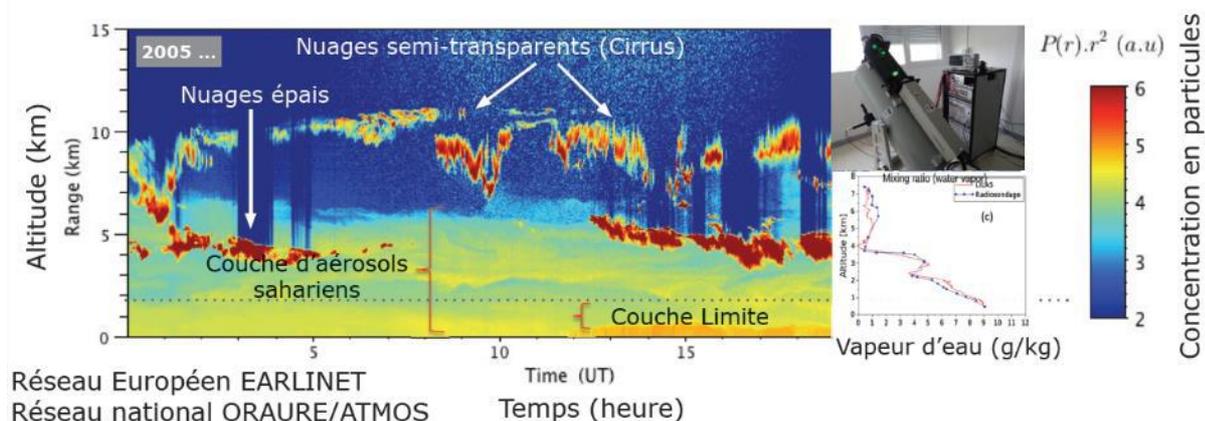
LIDAR

Laser/light detection and ranging technique de mesure à distance fondée sur l'analyse des propriétés d'un faisceau de lumière renvoyé vers son émetteur – on parle de télédétection active.

Les lidars permettent la détection de la répartition verticale des aérosols.

« Radiographier » les Aérosols, les Nuages fins et mesurer la vapeur d'eau à distance avec un LiDAR

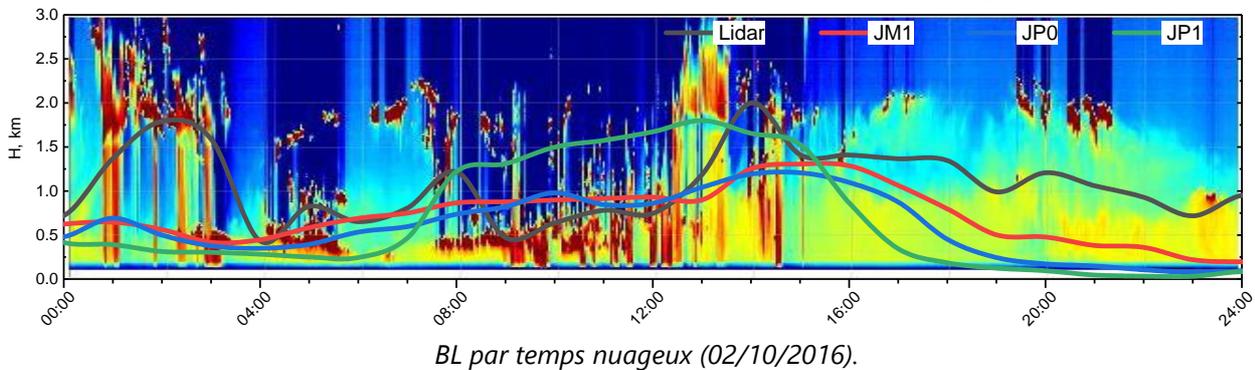
Radiographie atmosphérique « temps-réel » par LIDAR Elastique-Raman



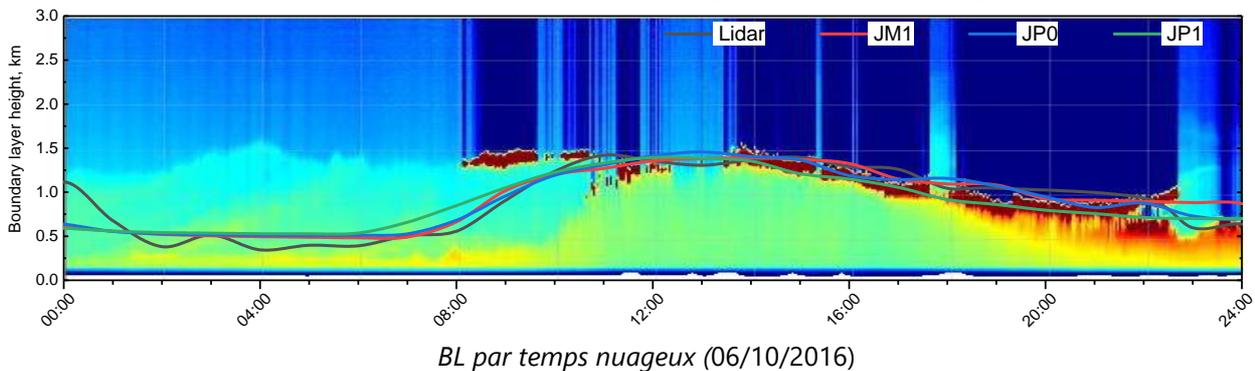
Ils permettent également la détection de la couche limite en se basant sur les traceurs que sont les aérosols, et leur fort gradient de concentration au sommet de la couche limite. Cette hauteur (HCL) est obtenue à partir d'algorithmes appliqués sur la mesure lidar.

La détection et la mesure précise ne sont pas toujours aisées à partir du LiDAR, en particulier à cause de la contamination par des nuages bas :

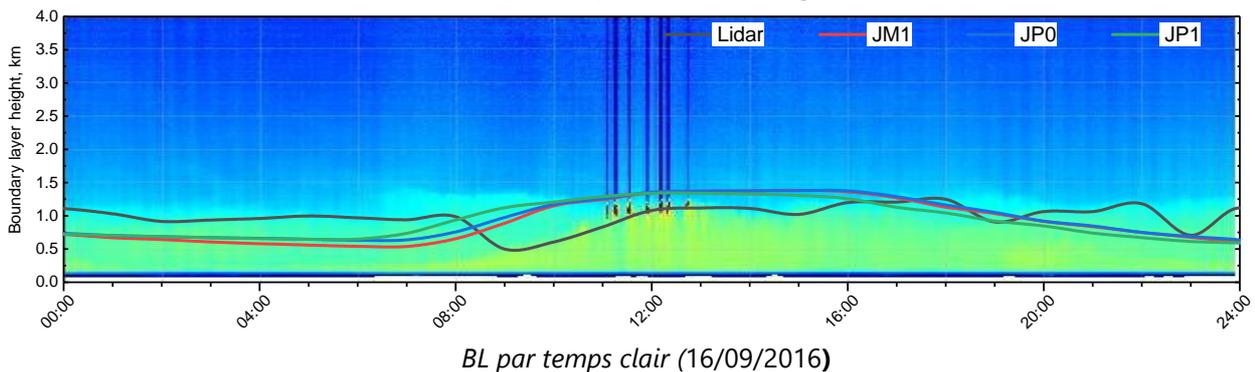
a. Cas difficile de détection de la BL par lidar en raison de la présence de nuages (02/10/2016).



b. Cas où BL lidar et BL modélisée sont en accord malgré la présence de nuages bas.

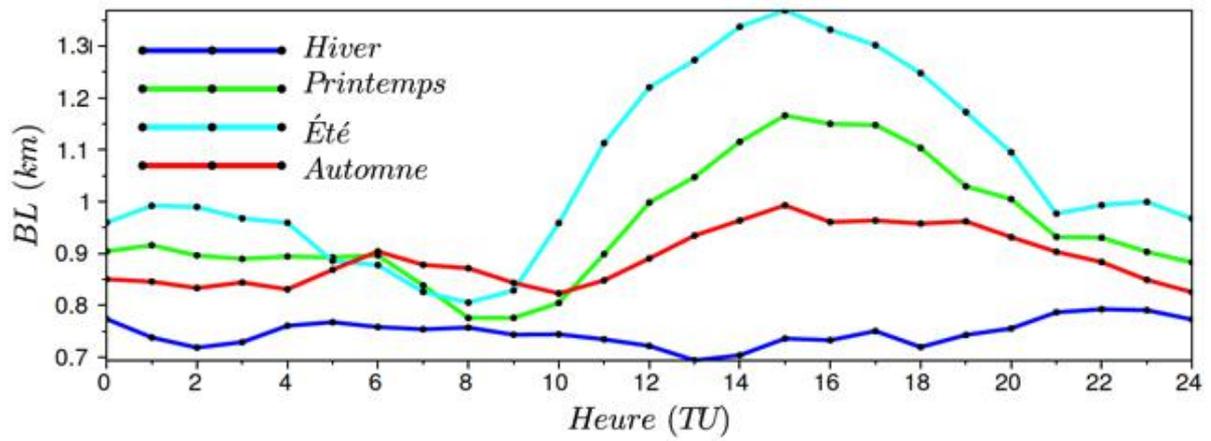


c. Cas de bonne détection de la BL par temps clair (sans nuages).



Enfin, les profils saisonniers obtenus à partir de mesures lidar sur la période 2008-2012 ci-après montrent selon les saisons :

- Printemps – été (bleu clair et vert) : une variabilité diurne importante de la BL
- Automne (rouge) : une variabilité diurne moins marquée qu'au printemps et en été
- Hiver : pas de variabilité diurne.

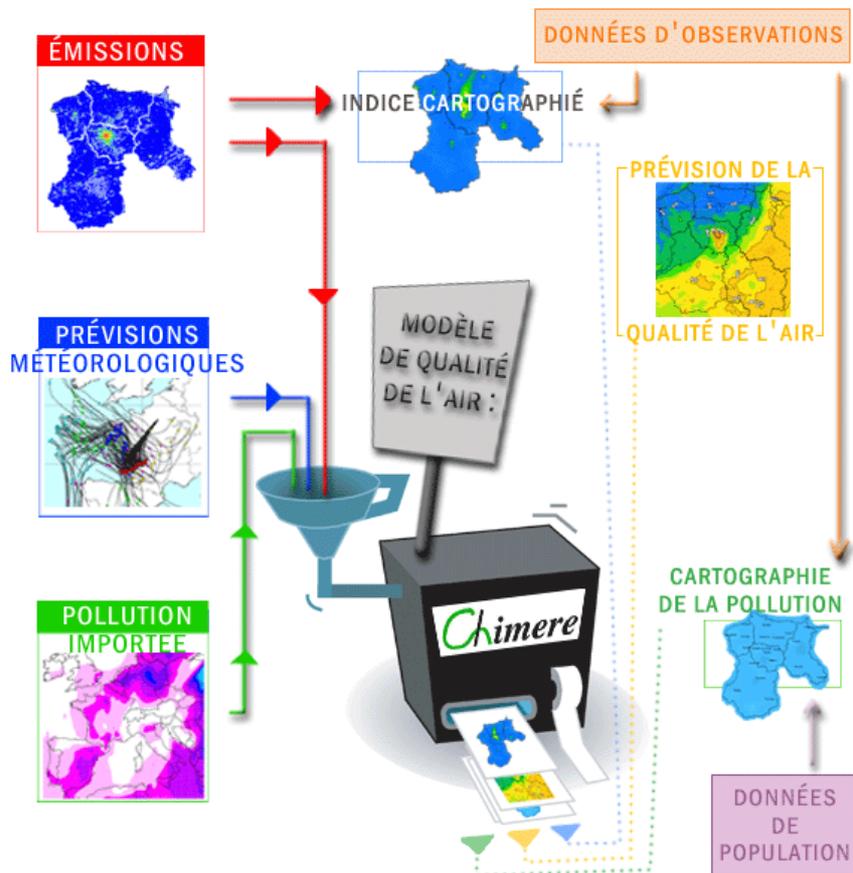


Profils saisonniers de BL estimés par lidar sur 2008-2012

Source: From A. Mortier, 2014, thesis.

Annexe 5 : Modélisation

Les plateformes de cartographie et de prévision constituent un ensemble complexe d'outils numériques et de base de données au centre desquels se situe le modèle de qualité de l'air piloté par de nombreuses données d'entrée parmi lesquelles les données météorologiques, les inventaires des émissions et les données aux limites du domaine étudié.



Atmo Hauts de France utilise plusieurs modèles pour cartographier et prévoir la qualité de l'air. Dans cette étude, des modèles bruts⁸ ont été utilisés :

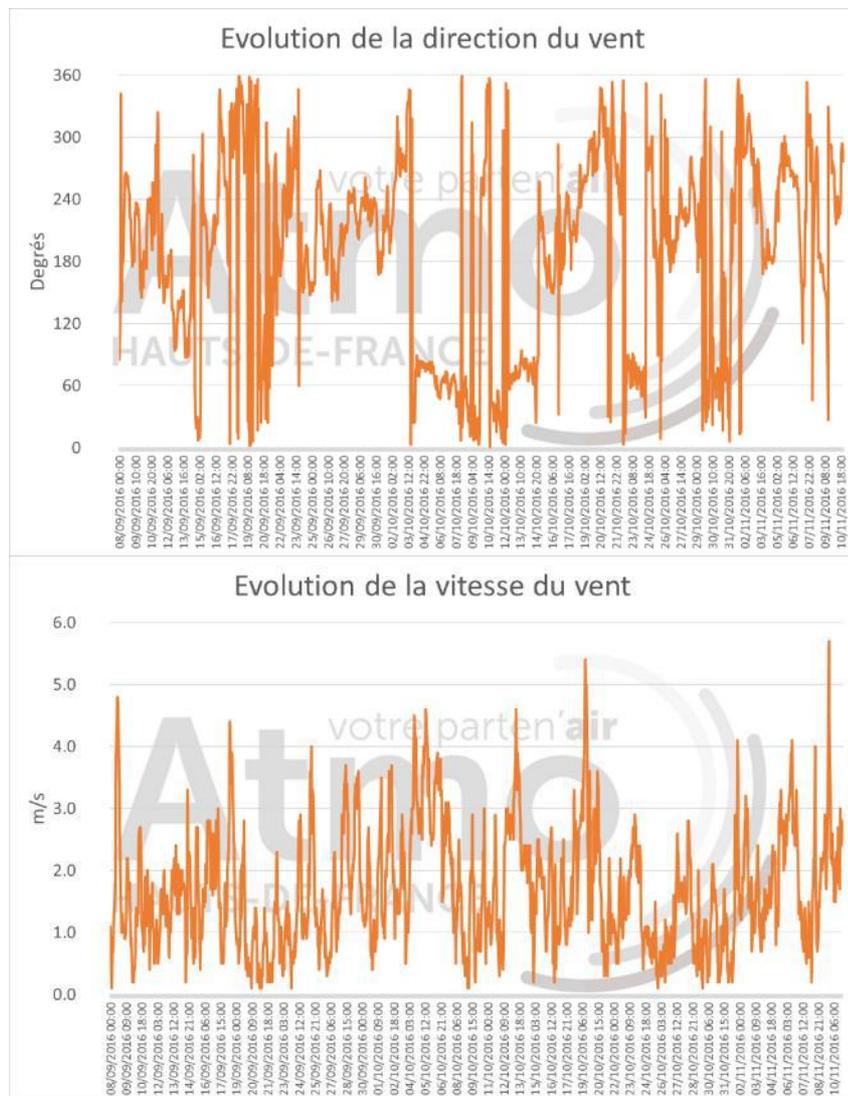
- A l'échelle nationale, PREV'AIR (maille de 118 km²),
- A l'échelle régionale, ESMERALDA Haute Résolution (maille de 9 km²).

Les modèles bruts permettent d'accéder à la composition chimique des PM₁₀.

Annexe 6 : Météorologie

Vents

Les graphes suivants représentent les directions et les vitesses de vent issues de la station de Sequedin (MO3) durant la campagne de mesure.



Aucune journée tempétueuse sur le secteur durant la campagne malgré l'arrivée de la forte perturbation début novembre

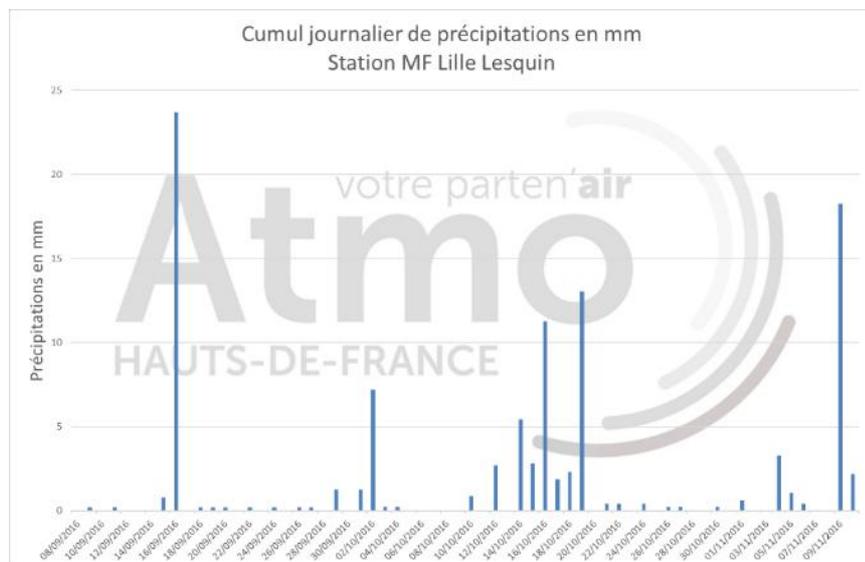
La direction du vent est assez variable, mais souvent peu significative en raison de la faible vitesse. On observe plusieurs périodes de vent de nord ou nord-est : 17-20/09, 3-14/10, 20-24/10, 29/10-2/11.

Les vitesses de vent restent faibles la majeure partie de la campagne.

Les vitesses restant élevées sur plusieurs jours sont mesurées sur les périodes du 4-6/10 et du 12-13/10 par vent d'est.

Précipitations

Le graphique suivant représente les précipitations obtenues depuis la station Météo France de Lille-Lesquin entre le 8 septembre et 10 novembre 2016



Jours les plus pluvieux
de la période à Lille :

16 septembre
2 octobre
14 octobre
20 octobre
9 novembre

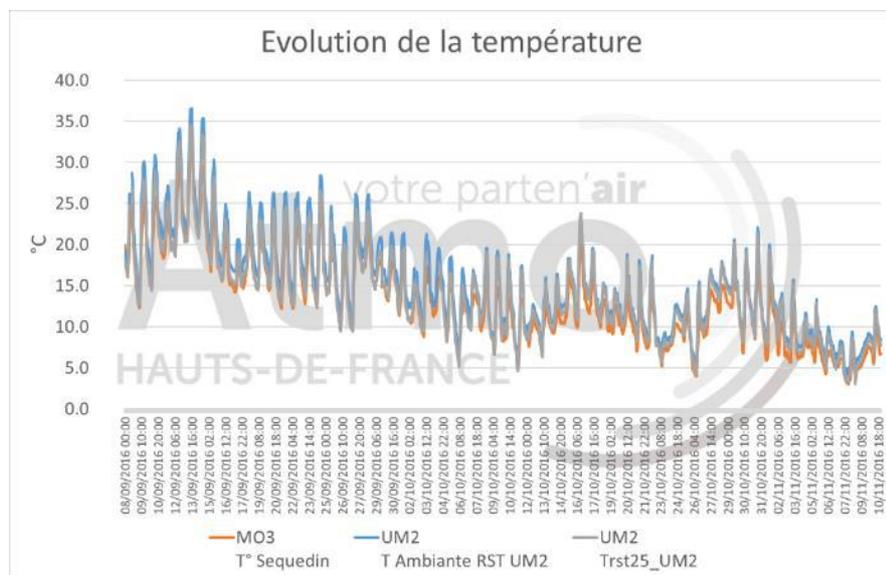
Mois le plus sec :
septembre

Les précipitations sont quasi nulles en septembre, excepté une journée pluvieuse. En octobre les précipitations sont moins intenses mais réparties sur plusieurs jours. Début novembre, des précipitations importantes ont lieu le 9.

Sur la période de mesure seulement 6 jours voient des précipitations supérieures à 5 mm sur les 36 où les précipitations ne sont pas nulles. Le cumul total de la période est de 104 mm.

Températures

Le graphe suivant représente les températures obtenues depuis la station de Sequedin et la station mobile lors de la campagne de mesures.



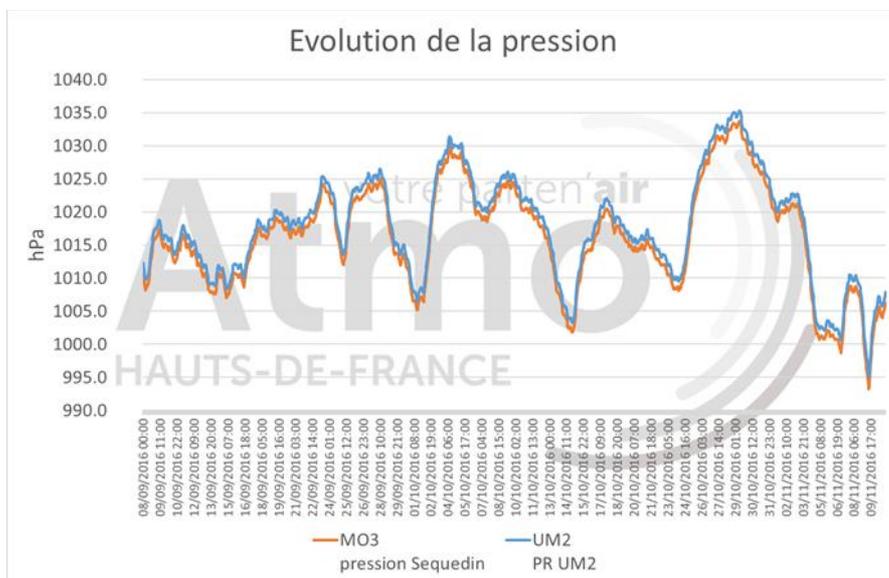
Jours les plus chauds
début septembre.

Minimales en
novembre.
Aucune gelée

Les maxima horaire début septembre dépassent encore les 35°C, et les minimales ne descendent pas en dessous de 20 autour du 14 septembre. La seconde quinzaine de septembre se rafraichit un peu, mais les températures restent encore estivales (12-26°C). La décroissance progressive s'amorce réellement en octobre, malgré un premier rebond mi-octobre et un second fin octobre.

Pressions

Le graphe suivant représente les pressions obtenues depuis la station de Sequedin et la station mobile durant la campagne de mesures.



Pressions les plus élevées du 27 au 30 octobre.

Pressions les plus faibles à partir du 5 novembre et jusqu'à la fin de la campagne

Un début de campagne avec des pressions moyennes.

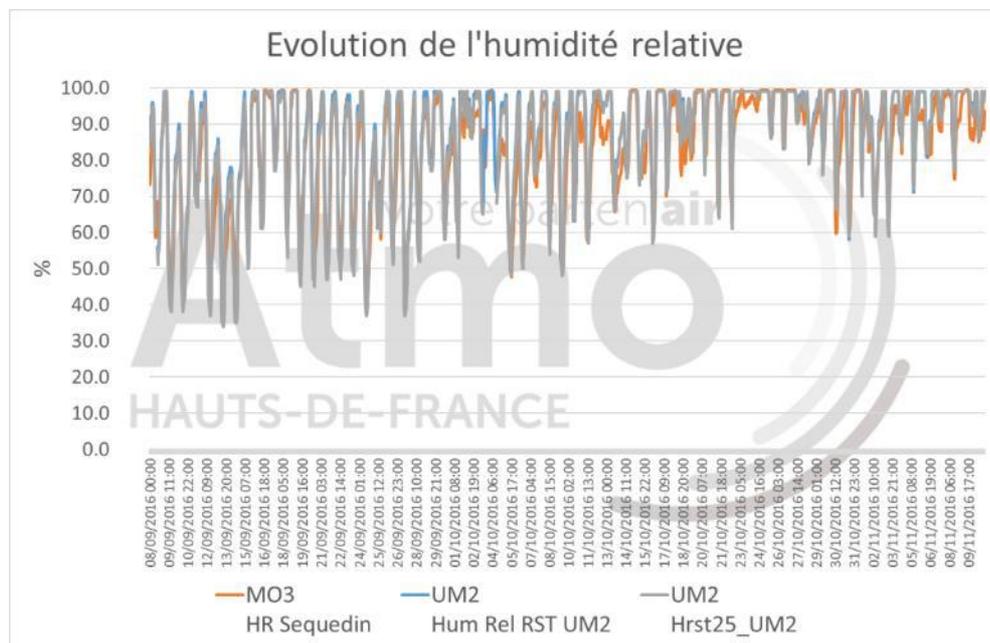
3 périodes de franches conditions dépressionnaires : 1/10, 14-15/10 et 5-10/11.

5 périodes anticycloniques nettes : 23/09, 25-28/09, 9-10/10 et 26/10-3/11

En dehors de ces périodes des pressions moyennes pouvant être soit des périodes de transition pour les plus courtes, soit l'installation d'un marais barométrique pour quelques jours.

Humidité relative

Le graphe suivant représente l'humidité relative obtenue depuis la station de Sequedin et des deux capteurs la station mobile durant la campagne de mesures.



Humidité relative plus faible en début de période, avec de fortes variations journalières.

Période très humide du 23 au 30 octobre puis à partir du 8 novembre.

Un mois de septembre avec une faible humidité relative.

L'humidité relative croît courant octobre (les minimales augmentent).

Du 24-26 octobre l'humidité relative est proche de 100% en permanence.

Annexe 7 : Taux de fonctionnement

Taux de fonctionnement obtenus pour les mesures automatiques pour la durée de la campagne de mesure.

	<i>Site de Mesures</i>	<i>Influence</i>	Taux de fonctionnement
			<i>Campagne</i>
PM₁₀	UM	ND	27%
	MC5 Fives	Fond	98 %
	MC7 Leeds	Trafic	91%
	RU2 Cartignies	Fond	96%
PM_{2.5}	UM	ND	91%
	MC5 Fives	Fond	99%
	MC7 Leeds	Trafic	97%
NO	UM	ND	94%
	MC5 Fives	Fond	87%
	MC7 Leeds	Trafic	98%
	MN5 Marcq-en-Barœul	Fond	97%
NO₂	UM	ND	95%
	MC5 Fives	Fond	87%
	MC7 Leeds	Trafic	98%
	MN5 Marcq-en-Barœul	Fond	97%
O₃	UM	ND	98%
	ME4 Wattignies	Fond	98%
	MN5 Marcq-en-Barœul	Fond	100%
	RU2 Cartignies	Fond	100%
SO₂	UM	ND	87%
	MC5 Fives	Industrielle	99%
CO	UM	ND	90%
	MN1 Roubaix Serres	Trafic	96%

Annexe 8 : Repères réglementaires

Pour l'interprétation des données, nous disposons de diverses valeurs réglementaires (valeurs limites, valeurs cibles, objectifs...) en air extérieur. Ces normes sont définies au niveau européen dans des directives, puis sont déclinées en droit français par des décrets ou des arrêtés.

A noter que pour toute comparaison à des valeurs limites annuelles, selon l'annexe I de la directive européenne 2008/50/CE, la période minimale de prise en compte doit être de 14% de l'année (une mesure journalière aléatoire par semaine répartie uniformément sur l'année, ou 8 semaines réparties uniformément sur l'année).

La valeur limite est un 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.

La valeur cible est un 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.

L'objectif de qualité (ou objectif à long terme pour l'ozone) est un 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.

Seuil d'information et de recommandation : niveau au-delà duquel une exposition de courte durée présente un risque de dépassement pour la santé humaine de groupes particulièrement sensibles au sein de la population et qui rend nécessaire l'émission d'informations immédiates et adéquates à destination de ces groupes et des recommandations pour réduire certaines émissions.

Seuil d'alerte : 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.

Une procédure interdépartementale d'information et d'alerte du public est instituée en Nord – Pas-de-Calais. Elle organise une série d'actions et de mesures d'urgence afin de réduire les émissions de polluants et d'en limiter les effets sur la santé et l'environnement. Cette procédure définit les modalités de déclenchement des actions, basées notamment sur les seuils d'information et l'alerte. Les mesures des campagnes ponctuelles ne sont pas intégrées à cette procédure.

Un tableau des valeurs réglementaires des polluants suivis dans cette étude est présenté page suivante.

	Valeur limite	Objectif de qualité / objectif à long terme	Valeur cible
PM ₁₀	40 µg/m³ en moyenne annuelle		-
	50 µg/m³ en moyenne journalière à ne pas dépasser plus de 35 jours/an	30 µg/m³ en moyenne annuelle	-
PM _{2.5}	25 µg/m³ en moyenne annuelle	10 µg/m³ en moyenne annuelle	20 µg/m³ en moyenne annuelle
O ₃	-	<u>Protection de la santé :</u> 120 µg/m³ <i>pour le maximum journalier de la moyenne sur 8 heures glissantes</i> <u>Protection de la végétation :</u> AOT40⁹ = 6 000 µg/m³.h	<u>Protection de la santé :</u> 120 µg/m³ <i>pour le maximum journalier de la moyenne sur 8 heures glissante, à ne pas dépasser plus de 25 jours/an en moyenne sur 3 ans</i> <u>Protection de la végétation :</u> AOT40 = 18 000 µg/m³.h <i>en moyenne sur 5 ans</i>
NO ₂	40 µg/m³ en moyenne annuelle		-
	200 µg/m³ en moyenne horaire à ne pas dépasser plus de 18 heures/an		-
SO ₂	125 µg/m³ en moyenne journalière à ne pas dépasser plus de 3 jours/an	50 µg/m³ en moyenne annuelle	-
	350 µg/m³ en moyenne horaire à ne pas dépasser plus de 24 heures/an	-	-
CO	10 mg/m³ pour le maximum journalier de la moyenne sur 8 heures glissantes	-	-
Benzène	5 µg/m³ en moyenne annuelle	2 µg/m³ en moyenne annuelle	-
Plomb (Pb)	0,5 µg/m³ <i>en moyenne annuelle</i>	0,25 µg/m³ <i>en moyenne annuelle</i>	-
Arsenic (As)	-	-	6 ng/m³ <i>en moyenne annuelle</i>
Cadmium (Cd)	-	-	5 ng/m³ <i>en moyenne annuelle</i>
Nickel (Ni)	-	-	20 ng/m³ <i>en moyenne annuelle</i>
B(a)P	-	-	1 ng/m³ <i>en moyenne annuelle</i>

(Source : Directives 2008/50/CE du 21 mai 2008 et 2004/107/CE du 15 décembre 2004)

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

Atmo Haut-de-France

Observatoire de l'Air

55, place Rihour

59044 Lille Cedex

