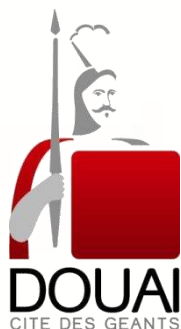


RAPPORT D'ETUDE

Modélisation

Projet AACT-AIR ISARD





Association pour la surveillance
et l'évaluation de l'atmosphère

55, place Rihour
59044 Lille Cedex
Tél. : 03.59.08.37.30
Fax : 03.59.08.37.31
contact@atmo-npdc.fr
www.atmo-npdc.fr

ISARD - Identification des Sources d'AéRosols dans le Douaisis Modélisation urbaine 2015

Rapport d'étude N°01/2016/CB/V0

46 pages (hors couvertures)

Parution : mars 2017

Téléchargeable librement sur www.atmo-hdf.fr (rubrique Publications)

| | Rédacteurs | Vérificateur | Approbateur |
|----------|--------------------|----------------------|--------------------|
| Nom | Charles Beaugard | Nathalie Pujol Söhne | Nathalie Dufour |
| Fonction | Ingénieur d'Etudes | Ingénieur d'Etudes | Responsable Etudes |



SOMMAIRE

| | |
|---|-----------|
| Synthèse de l'étude | 2 |
| Atmo Hauts-de-France | 4 |
| Enjeux et objectifs de l'étude..... | 5 |
| Paramètres de la modelisation | 6 |
| Le modèle utilisé | 6 |
| Domaine de simulation et grille de calcul..... | 7 |
| Paramètres de calage du modèle..... | 8 |
| Origines et impacts des polluants surveillés | 10 |
| Estimation des émissions de polluants..... | 13 |
| Secteur des transports routiers | 13 |
| Secteur résidentiel et tertiaire | 16 |
| Secteur industriel | 18 |
| Facteurs temporels d'émissions | 20 |
| Synthèse des émissions estimées..... | 21 |
| Exploitation des résultats | 21 |
| Comparaison modèle / mesure | 21 |
| <i>Mesures de référence</i> | <i>22</i> |
| <i>Résultats NO₂</i> | <i>23</i> |
| <i>Résultats PM₁₀.....</i> | <i>24</i> |
| <i>Résultats PM_{2.5}.....</i> | <i>27</i> |
| Cartographies et interprétation | 29 |
| <i>Dioxyde d'azote NO₂.....</i> | <i>29</i> |
| <i>Particules en suspension PM₁₀.....</i> | <i>30</i> |
| <i>Particules en suspension PM_{2.5}.....</i> | <i>31</i> |
| <i>Dioxyde de soufre SO₂.....</i> | <i>32</i> |
| Conclusion et perspectives | 33 |
| Annexes | 35 |



SYNTHESE DE L'ETUDE

Identifier les sources de particules fines dans le Douaisis pour mettre en place des actions concertées et ciblées en faveur de la qualité de l'air, tel est l'objectif du projet **ISARD (Identification des Sources d'AéRosols dans le Douaisis)** 2015-2017, auquel participe Atmo Hauts-de-France.

Ce projet retenu suite à l'appel à projet AACT-AIR, financé par l'ADEME, est coordonné par l'IMT Lille Douai, avec la participation de la ville de Douai, la Communauté d'Agglomération du Douaisis (CAD), le Syndicat Mixte des Transports du Douaisis (SMTD), le Syndicat Mixte du Schéma de Cohérence Territoriale Grand Douaisis (SM SCoT GD), atmo Nord – Pas-de-Calais et le département Sciences de l'Atmosphère et Génie de l'Environnement (SAGE) de l'IMT Lille Douai.

Dans ce cadre, Atmo Hauts-de-France a réalisé deux volets de l'étude :

1. Une campagne de mesure de la qualité de l'air ayant fait l'objet d'un rapport (insérer ici la référence du rapport)
2. Réaliser une modélisation fine échelle de la qualité de l'air sur l'agglomération, notamment en PM2.5. Le présent rapport fait l'objet de ce volet de l'étude.

La modélisation des concentrations en PM2.5 par un modèle urbain de dispersion atmosphérique, s'appuie sur l'inventaire des émissions existant et sur les mesures des niveaux de fond urbain. Elle a été réalisée parallèlement à celle du dioxyde d'azote (NO₂), des particules PM10 et du dioxyde de soufre (SO₂), à l'aide du logiciel ADMS Urban. Elle est basée sur un inventaire des émissions issues des sources routières, résidentielles-tertiaires, et industrielles dans un domaine centré sur le territoire de la Communauté d'Agglomération du Douaisis.

Des données séquentielles horaires issues des observations de Météo France, combinées à des paramètres de stabilité calculés par le modèle MM5 de la chaîne ESERALDA constituent les données météorologiques du modèle. La pollution de fond provient des mesures réalisées sur des stations fixes de l'ex-réseau atmo Nord-Pas-de-Calais.

La période simulée couvre l'année 2015, et par conséquent les mesures par stations fixes et mobiles réalisées dans le volet 1 du AACT-AIR ISARD.

L'exercice de comparaison modèle / mesure montre que l'objectif de qualité des simulations fixé par la directive 2008/50/CE exprimé en erreur relative moyenne annuelle est atteint pour tous les polluants. En moyenne mensuelle ainsi qu'avec les critères statistiques complémentaires (coefficient de corrélation, biais normalisé), **les résultats montrent une bonne aptitude du modèle à reproduire les niveaux mensuels et trimestriels de concentrations en NO₂, PM10 et PM2.5.**

Les cartographies réalisées à l'issue des simulations sur l'ensemble du domaine d'étude montrent des **dépassements de la valeur limite en moyenne annuelle (40 µg/m³), et en percentile 99.8 (200 µg/m³, ou valeur horaire à ne pas dépasser plus de 18 fois par année civile) pour le NO₂.** Ces dépassements couvrent une surface faible et sont localisés en proximité des principaux axes routiers comme la bordure de l'A21, la D917 à hauteur de Gayant Expo et très ponctuellement plus au nord au niveau de Râches, ainsi que sur la Place de l'Hériller au sud de Douai.

La répartition **des concentrations moyennes annuelles en particules PM10** est, comme pour le NO₂, commandée par la proximité automobile, mais avec des gradients de concentrations moins marqués, et **sans dépassement de la valeur limite (40 µg/m³).**

La carte de la valeur limite pour les PM10 de 50 µg/m³ à ne pas dépasser plus de 35 jours par an présente un motif de répartition semblable à celui de la moyenne annuelle. Les zones ne respectant pas cette valeur limite sont donc très limitées géographiquement à la proximité immédiate de l'A21, ainsi que de la D914 et de la place de l'Hériller.

La valeur limite pour la protection de la santé fixée à 25 µg/m³ en moyenne annuelle **pour les particules PM2.5 ; est dépassée très ponctuellement sur l'A21 au nord-ouest de Douai.** Ailleurs la répartition des concentrations est similaire à celle des PM10.



Concernant le dioxyde de soufre, les établissements Nyrstar à Aubry et Wienerberger à Flines-les-Raches, qui font partie des principaux émetteurs ponctuels de SO₂ décrits dans le modèle, ont une influence sur les concentrations en proximité immédiate. Cependant **les concentrations sont faibles et très inférieures à la valeur limite en percentile 99.7 des concentrations horaires (350 µg/m³ ou valeur horaire à ne pas dépasser plus de 24 fois par année civile).**

Les données du modèle seront utilisées dans une plateforme de **modélisation urbaine Urban’Air** qui permettra de réaliser des cartes de concentrations quotidiennes et sur des échéances allant de J-1 à J+2 (mise en ligne en 2017).

Dans le cadre d’AACT-AIR ISARD, des exploitations plus fines seront donc possibles, notamment avec les campagnes de mesures par microcapteurs embarqués réalisées par l’IMT Lille Douai.



ATMO HAUTS-DE-FRANCE

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°01/2016/CB/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.



ENJEUX ET OBJECTIFS DE L'ETUDE

Identifier les sources de particules fines dans le Douaisis pour mettre en place des actions concertées et ciblées en faveur de la qualité de l'air, tel est l'objectif du projet ISARD (Identification des Sources d'AéRosols dans le Douaisis) 2015-2017, auquel participe Atmo Hauts-de-France.

Ce projet issu de l'appel à projet AACT-AIR, financé par l'ADEME, est coordonné par l'IMT Lille Douai, avec la participation de la ville de Douai, la Communauté d'Agglomération du Douaisis (CAD), le Syndicat Mixte des Transports du Douaisis (SMTD), le Syndicat Mixte du Schéma de Cohérence Territoriale Grand Douaisis (SM SCoT GD), Atmo Hauts-de-France et le département Sciences de l'Atmosphère et Génie de l'Environnement (SAGE) de l'IMT Lille Douai.

Parmi les objectifs du projet figure celui de modéliser les concentrations massiques en PM2.5 par un modèle urbain de dispersion atmosphérique, en s'appuyant sur l'inventaire des émissions existant et sur les mesures des niveaux de fond urbain.

L'objet de ce rapport est la réalisation de cette modélisation sur le territoire de la CAD. Elle s'appuie sur l'inventaire régional des émissions de polluant d'Atmo Hauts-de-France, adapté aux besoins du modèle ADMS Urban et enrichi de données sur les sources industrielles présentes dans le domaine d'étude.

Les résultats de mesures de particules réalisées en 2015 sur l'agglomération de Douai dans le cadre d'AACT-AIR ISARD sont utilisés pour effectuer des comparaisons modèle / mesures et ainsi caler le modèle.

Des cartes des concentrations en dioxyde d'azotes, particules PM10 et PM2.5, et dioxyde de soufre sont réalisées. La modélisation des particules PM2.5 à l'aide d'un modèle urbain est une première à l'échelle de la région.



PARAMETRES DE LA MODELISATION

Le modèle utilisé

Le modèle ADMS Urban version 3.4, développé par Cambridge Environmental Research Consultants (CERC), a été utilisé. Les principales fonctionnalités d'ADMS Urban sont :

- la multitude des applications, de l'étude d'impact environnemental à l'évaluation de la qualité de l'air à l'échelle de l'agglomération en passant par la planification de la circulation urbaine,
- la modélisation simultanée de jusqu'à 3000 sources linéaires routières, 1500 sources industrielles (ponctuelles, linéaires, surfaciques, et volumiques), et d'une grille de 3000 cellules, dans un seul et même domaine
- un modèle de rue canyon intégré,
- un modèle de chimie réactive de base, impliquant les espèces NO, NO₂, O₃, et la génération de particules de sulfates à partir du SO₂,
- un préprocesseur météo calculant les paramètres de la couche limite atmosphérique à partir de plusieurs données d'entrées comme la vitesse du vent, le jour et l'heure ainsi que la couverture nuageuse, ou la vitesse du vent, le flux de chaleur sensible et la hauteur de couche limite,
- le calcul du flux et de la dispersion au-dessus des topographies complexes et autour des bâtiments.

Le modèle est conçu pour traiter la problématique de la dispersion du cas le plus simple (par exemple une source ponctuelle isolée) au cas urbain le plus complexe (plusieurs centaines de sources industrielles, domestiques ou routières distinctes).

Le modèle ADMS Urban est de type gaussien de seconde génération. Il utilise une paramétrisation de la structure de la couche limite atmosphérique basée sur la longueur de Monin-Obukhov, ainsi que sur la hauteur de cette couche limite. Alors que la plupart des modèles de ce type caractérisent la couche limite de façon approximative en termes de classes de Pasquill, dans ADMS la structure de la couche limite est définie par des grandeurs physiques mesurables, permettant une représentation plus réaliste de l'évolution des conditions de dispersion avec l'altitude.

Le modèle ADMS Urban a fait l'objet de plusieurs études d'intercomparaison et de validation. De nombreuses références sont disponibles sur le site de CERC :

<http://www.cerc.co.uk/environmental-software/ADMS-Urban-model/more.html>

ADMS Urban est édité en France par la société Numtech :

<http://www.numtech.fr/log.php?rub=urban>



Domaine de simulation et grille de calcul

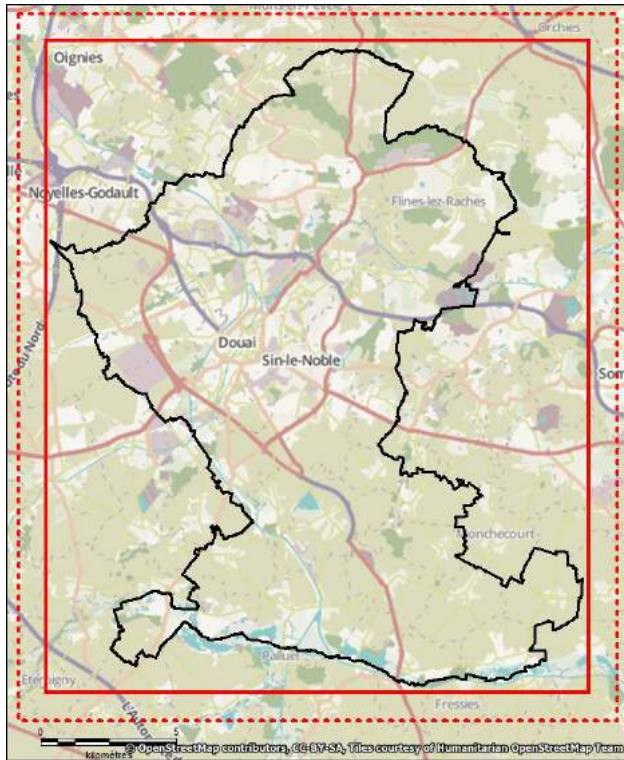


Figure 1 : périmètre de l'étude
En rouge : domaine CAD et domaine étendu
(en pointillés).
En noir : contour du territoire de la CAD

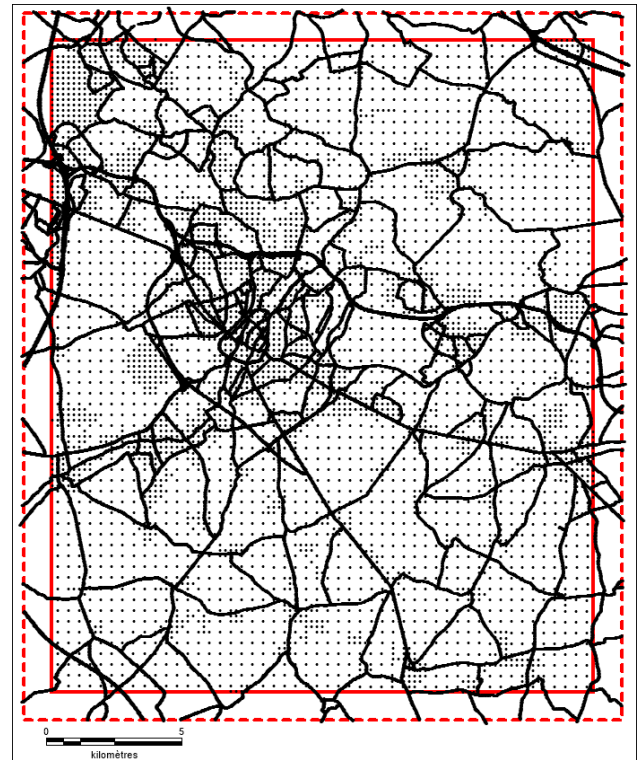


Figure 2 : grille de calcul du modèle

Le périmètre d'étude, au sein duquel les concentrations en polluants sont calculées, est basé sur un rectangle de 20 par 24 kilomètres qui contient l'ensemble des communes de la Communauté d'Agglomération du Douaisis (au 1^{er} janvier 2016). Ce rectangle est étendu de 1 km pour déterminer le domaine final d'estimation des rejets de polluants. Cette extension permet de limiter les éventuels effets de bordure et de tenir compte de sources importantes qui seraient proches du territoire de la CAD.

La grille de calcul est composée de 81 400 points récepteurs, sur lesquels le modèle va calculer les concentrations de polluants. Ils sont répartis dans le domaine de simulation selon un maillage régulier (400 mètres réduit à 200 mètres au-dessus des surfaces artificialisées), complété par un maillage « intelligent » de points positionnés par groupes de 4 de part et d'autres des tronçons routiers. L'espacement entre les groupes de points routiers est en moyenne de 50 mètres.

Tous les points de calcul des concentrations sont positionnés à une hauteur de 1.5 m.



Paramètres de calage du modèle

Données météorologiques

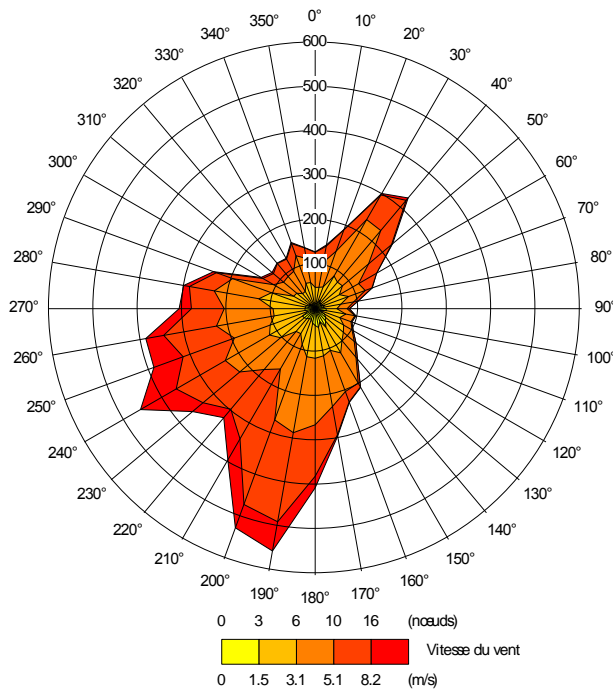


Figure 3 : rose des vents à Lesquin en 2015 -Source : Météo-France

Pour la modélisation, les données horaires de Météo France observées sur la station de Lille Lesquin en 2015 sont utilisées : direction et vitesse du vent, température, et nébulosité. Elles sont complétées par une série horaire de paramètres issus du modèle météo MM5 de la chaîne de prévision ESERALDA, et calculés aux mêmes coordonnées que la station de Lille-Lesquin : hauteur de couche limite, flux de chaleur sensible, rayonnement global, et inverse de la longueur de Monin-Obukhov.

Au cours du calage du modèle plusieurs combinaisons de paramètres météo ont été testées au regard de la comparaison modèle / mesures.

Le paramétrage météo retenu repose sur les données listées dans le tableau suivant.

| | Direction et vitesse du vent | Température | Hauteur de couche limite | Inverse de la longueur de Monin-Obukhov | Rayonnement solaire |
|----------------------|------------------------------|-------------|--------------------------|---|---------------------|
| Météo France Lesquin | • | • | | | |
| MM5 ESERALDA | | | • | • | • |



Concentrations de fond

Le modèle ADMS Urban requiert une pollution de fond pour mettre en œuvre son module de chimie. Cette pollution de fond est également nécessaire pour évaluer la quantité de polluant présente en conditions initiales et aux limites du domaine de simulation pour chaque échéance simulée. Il est d'usage d'utiliser des mesures établies sur une station rurale ou périurbaine située en dehors du domaine.

Comme pour la météorologie, le calage du modèle est l'occasion de tester plusieurs mesures de fond. Ces mesures horaires en monoxyde d'azote NO, dioxyde d'azote NO₂, oxydes d'azote NO_x, et ozone O₃ sont issues des stations fixes de l'ex-réseau d'atmo Nord-Pas-de-Calais.

La configuration retenue est basée sur les mesures suivantes :

| | Mesure principale | Mesure backup ¹ |
|---------------------------------------|-------------------|----------------------------|
| NO, NO ₂ , NO _x | Saint-Amand VAC | Escautpont VAA |
| O ₃ | Saint-Amand VAC | - |
| PM10 | Cambrai CB1 | Cartignies RU2 |
| PM 2.5 | Cambrai CB1 | Campagne-les-Bouonnais RU1 |

Aucune mesure de fond n'a été renseignée pour le SO₂, car il est considéré que les concentrations de fond sont inférieures aux limites de détection pour ce polluant. Les composés organiques volatils, également requis dans le module de chimie d'ADMS Urban, ne sont pas mesurés (en tant que tels, hormis les BTEX), mais leur valeur de fond est fixée empiriquement à 15 µg/m³ (source recommandation Numtech).

Figure 4 : localisation des stations fixes utilisées dans la modélisation.



¹ Mesure utilisée si la mesure de fond principale est invalide ou manquante.



Origines et impacts des polluants surveillés

Un polluant est une substance, introduite dans l'atmosphère, dont la concentration augmente et dont les effets sont mesurables sur l'environnement, l'homme, la faune, la flore et les matériaux.

La pollution de l'air peut être d'origines naturelles (éruption volcanique, incendies de forêts...), mais elle provient majoritairement des activités humaines (transports, chauffages individuels et collectifs, industries, agriculture, incinération des ordures ménagères, activités domestiques, ...).

Cette partie explicitera l'origine et les impacts des polluants mesurés dans cette étude.

Le dioxyde de soufre (SO₂)

[Sources](#)

Le dioxyde de soufre, également appelé « anhydride sulfureux », est un gaz incolore issu de la combustion de combustibles fossiles contenant du soufre tels que le charbon, le coke de pétrole, le fioul ou encore le gazole. Ce polluant gazeux est ainsi rejeté par de multiples petites sources telles que les installations de chauffage domestique ou les véhicules à moteur diesel, et par des sources ponctuelles de plus grande échelle (centrales de production d'électricité, chaufferies urbaines, etc.). Certains procédés industriels produisent également des effluents soufrés (production d'acide sulfurique, production de pâte à papier, raffinage de pétrole, etc.). La nature peut être émettrice de produits soufrés comme par exemple les volcans.

[Impacts sanitaires](#)

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

[Impacts environnementaux](#)

Au contact de l'humidité de l'air, le dioxyde de soufre se transforme en acide sulfurique et participe ainsi au phénomène des pluies acides perturbant voire détruisant des écosystèmes fragiles. Outre son effet direct sur les végétaux, il peut changer les caractéristiques des sols et des océans (acidification). Il contribue également à la dégradation de la pierre et des matériaux de nombreux monuments.

Les oxydes d'azote (NO_x)

[Sources](#)

Les oxydes d'azote représentent les formes oxydés de l'azote, les principaux étant le dioxyde d'azote (NO₂) et le monoxyde d'azote (NO). Ce dernier se transforme en dioxyde d'azote en présence d'oxygène.

Comme le dioxyde de soufre, les oxydes d'azote proviennent essentiellement de la combustion des combustibles fossiles et de quelques procédés industriels (production d'acide nitrique, fabrication d'engrais, traitement de surfaces, etc.). Les principaux émetteurs sont le transport routier et les grandes installations de combustion. Les feux de forêts, les volcans et les orages contribuent également aux émissions d'oxydes d'azote.



[Impacts sanitaires](#)

Le dioxyde d'azote 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.

[Impacts environnementaux](#)

Les oxydes d'azote participent au phénomène des pluies acides et à la formation de l'ozone troposphérique dont ils sont les précurseurs. Ils contribuent également à l'accroissement de l'effet de serre.

L'ozone (O₃)

[Sources](#)

Bénéfique dans les hautes couches de l'atmosphère en constituant un filtre naturel qui protège la vie sur la terre de l'action néfaste des rayons ultraviolets « durs », l'ozone est cependant très nocif dans l'air que nous respirons. On parle ainsi d'ozone troposphérique.

C'est un polluant secondaire, c'est-à-dire qu'il n'est pas directement émis dans l'atmosphère. Il résulte de la réaction chimique entre plusieurs polluants primaires : essentiellement les oxydes d'azote et des composés organiques volatils, sous l'effet du rayonnement solaire.

[Impacts sanitaires](#)

L'ozone troposphérique est un gaz agressif qui pénètre facilement jusqu'aux voies respiratoires les plus fines. Il a fort pouvoir oxydant et peut donc provoquer des irritations voire des brûlures au niveau des muqueuses, de la gorge et des poumons. Il peut également être à l'origine d'irritations oculaires.

[Impacts environnementaux](#)

Les grands processus physiologiques de la plante (photosynthèse, respiration) sont altérés par l'ozone et la production des cultures agricoles peut être significativement réduite. Il altère également les caoutchoucs et certains polymères. C'est un gaz à effet de serre et comme les polluants précédents, il participe au phénomène des pluies acides.

Les poussières en suspension (PM10 et PM2.5)

[Sources](#)

Les particules en suspension varient en termes de taille, d'origines, de composition et de caractéristiques physico-chimiques. Elles sont classées selon leurs propriétés aérodynamiques : pour les PM10, on parle de particules de taille inférieure ou égale à 10 µm ; les PM2.5 correspondent aux particules de taille inférieure ou égale à 2.5 µm.

Une partie des poussières présentes dans l'air est d'origine naturelle (sable du Sahara, embrun marin, pollens...) mais s'y ajoutent des particules d'origines anthropiques émises notamment par les installations de combustion, les transports (moteurs diesels, usure des pneus...), les activités industrielles (construction, secteur minier...), l'érosion de la chaussée, le secteur agricole... La multiplicité des sources d'émissions rend difficile l'estimation de la composition exacte des particules en suspension dans l'atmosphère.



Impacts sanitaires

La taille des particules est un facteur important : plus elles sont fines, plus elles pénètrent profondément dans les voies respiratoires. Elles peuvent ainsi irriter et altérer la fonction respiratoire dans son ensemble. Certaines particules ont des propriétés mutagènes et cancérigènes, du fait notamment de leur propension à adsorber des polluants tels que les hydrocarbures aromatiques polycycliques et les métaux lourds. Selon une récente étude² réalisée sur plusieurs villes européennes dont Lille, les poussières en suspension seraient responsables de 42 000 décès prématurés par an en France et réduiraient de neuf mois en moyenne notre espérance de vie.

Impacts environnementaux

Les effets de salissure des bâtiments et des monuments sont les atteintes à l'environnement les plus évidentes.

² Programme APHEKOM (www.aphekom.org) - résultats publiés en mars 2011



ESTIMATION DES EMISSIONS DE POLLUANTS

Données d'entrée

En règle générale, la modélisation urbaine intègre 3 types de sources de polluants :

- les sources linéaires (routes),
- les sources ponctuelles (cheminées d'usines),
- les sources surfaciques ou volumiques (grandes sources industrielles, habitat, ou secteur résidentiel et tertiaire).

Les données qui y sont associées dans le modèle correspondent aux sources de polluants explicites définies par les activités émettrices de polluants. Ajoutées à d'autres types de sources (par exemple : autres transports, agriculture et sylviculture, etc.), ces données forment un inventaire des émissions de polluants qui vise à spatialiser de la manière la plus exhaustive possible les émissions.

La méthode de modélisation employée dans cette étude est basée sur une simulation de la dispersion des polluants émis par des sources linéaires, ponctuelles et volumiques, avec utilisation d'une pollution de fond.

Les sources modélisées sont donc :

- le trafic automobile sur un réseau d'axes principaux (sources linéaires),
- le secteur résidentiel, tertiaire et commercial (sources volumiques),
- les industries (sources ponctuelles).

Secteur des transports routiers

Construction des réseaux routiers

Le réseau routier a été assemblé sous SIG depuis la BDTOPO de l'IGN à partir de tronçons routiers qui sont utilisés dans l'inventaire d'émissions régional d'atmo Nord-Pas-de-Calais (version A2010 M2012 V2).

Les tronçons ont été assemblés en fonction de leur importance, du nombre de voies, de leur largeur et de leur pente. Cette pente est calculée à partir de l'altitude des extrémités de chaque tronçon puis exprimée selon un code de 1 à 5 (1 étant une descente à plus de 4% et 5 une montée à plus de 4%).

Pour ADMS Urban, les tronçons routiers ne doivent pas être composés de plus de 50 points d'inflexion et ne pas être séparés en plusieurs sections disjointes. Il a donc fallu regrouper et simplifier certains tronçons comme par exemple les embranchements de ronds-points ou d'intersections.

Dans l'inventaire régional des émissions d'atmo Nord-Pas-de-Calais ne sont comptabilisés de façon explicite que les réseaux routiers primaires et secondaires. Les rues d'importance plus faibles ne sont pas représentées du fait du manque de données de comptage. Le réseau routier de la modélisation 2015 de l'agglomération de Douai contient par conséquent 1 888 tronçons issus des réseaux primaires et secondaires localisés dans le domaine de simulation étendu (figure 5).

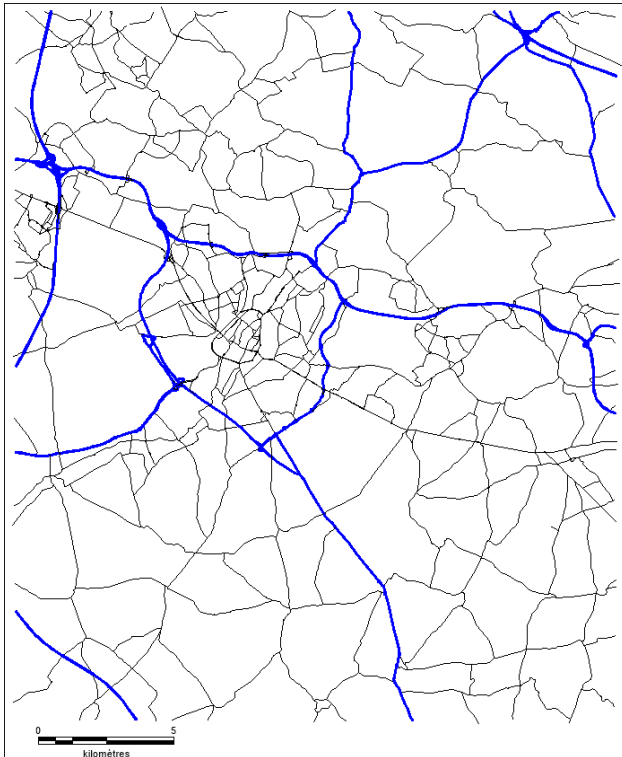


Figure 5 : Réseau routier primaire (en bleu) et secondaire (en noir)

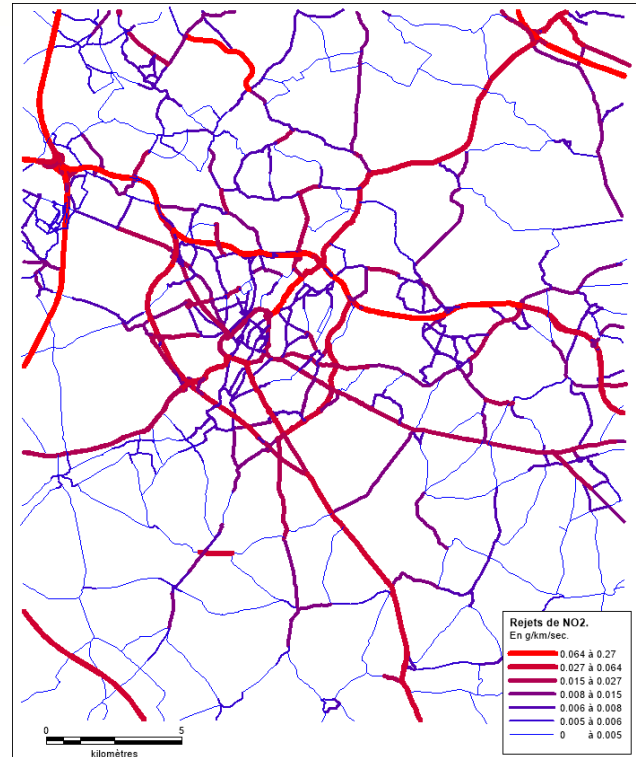


Figure 6 : rejets de NO₂ en g/km/s

Placement des comptages de trafic routier

Les comptages sont attribués aux tronçons routiers une fois l'assemblage géométrique effectué. Les données de comptage les plus récentes sont pour l'année 2010 : ces comptages sont donc placés en priorité, suivis de ceux des années antérieures en cas d'absence de comptage récent. Les valeurs de trafics sont ensuite mises à jour pour l'année 2012 grâce aux données d'évolution du trafic du SOeS³.

En cas de tronçons parallèles (exemple : autoroute ou voies rapides 2 fois 2 voies) le trafic est réparti entre les 2 sens de circulation, soit précisément si l'information est disponible, soit par répartition par moitié de TMJA⁴ s'il n'y a pas de détail.

Pour les tronçons sans donnée de comptage, on appliquera une valeur moyenne calculée à partir des tronçons de même largeur, même nombre de voies et d'importance identique pour lesquels des comptages existent.

Les données horaires de trafic routier, disponibles pour les comptages obtenus par le biais de boucles SIREDO⁵, permettent de calculer des profils temporels de circulation en fonction des jours et des heures de la journée. Ces profils sont utilisés lors du calcul des émissions pour déterminer les taux de saturations et donc les vitesses de circulation de chaque route et pour chaque heure de l'année. Les voies de circulation n'ayant pas de profils calculés à partir des données horaires de comptage se voient attribuer des profils types correspondant à leur nature (autoroute, nationales, voies urbaines...).

³ Service de l'Observation et des Statistiques, Commissariat Général au Développement Durable, Ministère de l'Ecologie, du Développement Durable et de l'Energie.

⁴ Trafic moyen journalier annuel.

⁵ Le Système informatisé de recueil de données (SIREDO) est un système informatique français de recueil, de transmission, de concentration et de présentation des données sur le trafic routier.



Paramètres nécessaires avant le lancement des calculs des émissions

Ces paramètres sont :

- la capacité totale de la route, c'est à dire capacité de la voie multipliée par le nombre de voies (1 650 véhicules/voie pour les autoroutes et assimilées, 1 300 véhicules/voie pour le réseau primaire hors autoroute, 800 véhicules/voie pour le réseau secondaire hors réseau urbain, et 1080 véhicules/voie pour le réseau urbain). Ces capacités sont des valeurs théoriques fournies par le CITEPA.
- les pourcentages de poids lourds et autres ; le pourcentage de poids lourd est disponible avec les données de comptage, les pourcentages de véhicules roulant à froid ou d'autocars sont des valeurs par défaut définies en fonction du type de routes.
- le parc roulant, fourni par le CITEPA pour l'année 2012.
- les données météo utilisées sont les même sur l'ensemble de la zone d'étude (température moyenne servant par exemple à estimer l'évaporation des carburants, humidité, etc.).

Calcul des émissions

Le calcul des émissions par tronçon se fait à l'aide de l'outil Circul'air développé par l'ASPA⁶, utilisant les équations Copert IV⁷. Chaque tronçon a été affecté d'un identifiant unique et pour chaque tronçon les émissions par type de véhicule sont calculées pour l'année 2012, qui sert de référence dans l'inventaire des émissions. Elles sont ensuite converties en grammes / km / secondes pour le modèle ADMS Urban (exemple avec des émissions de NO₂ figure 6).

Les émissions calculées par tronçon routier dans le domaine d'étude sont additionnées dans le tableau suivant :

| Année 2012 | | | | |
|-----------------------------|----------------------|-----------|-----------|------------|
| | SO ₂ (kg) | NOx (kg) | PM10 (kg) | PM2.5 (kg) |
| Emissions du réseau routier | 3 316 | 2 338 852 | 245 890 | 177 239 |

⁶ Association agréée de surveillance de la qualité de l'air de la région Alsace.

⁷ « Computer Program to calculate Emissions from Road Transport », Agence Européenne de l'Environnement.



Secteur résidentiel et tertiaire

Traité dans le modèle ADMS Urban en tant que source volumique, le secteur résidentiel, tertiaire et commercial regroupe en réalité un ensemble de sources, répertoriées au préalable dans l'inventaire régional des émissions de polluants (version) et agrégées sous la catégorie SECTEN « Résidentiel & Tertiaire ». La version A2010 M2012 V2 a été utilisée, car les travaux de l'inventaire 2012 n'étaient pas suffisamment avancés pour reprendre les émissions 2012.

Les données brutes permettant le calcul des rejets de ce secteur sont de plusieurs sortes.

En premier lieu, l'activité humaine que représente l'habitat est comptabilisée par le biais du fichier de détails logements de l'INSEE. Y sont répertoriés, pour chaque commune, les différents logements présents ainsi qu'un certain nombre de paramètres comme le combustible employé pour le chauffage, la surface, l'ancienneté, le type individuel ou collectif.

Des facteurs de consommation unitaires sont ensuite appliqués par type de combustible, puis ces produits sont multipliés par des facteurs d'émissions de polluants. On obtient donc des valeurs de rejets de polluants par commune.

Bien que le logement constitue la majorité des rejets du secteur, les rejets des chauffages des activités tertiaires sont également inventoriés et leurs rejets estimés. Ainsi par exemple, les rejets des établissements d'enseignement sont estimés d'après leur effectif d'élèves.

L'inventaire régional des émissions de polluants a une résolution spatiale à la commune. Pour tenir compte de l'occupation du sol dans la répartition des émissions de ce secteur qui se cantonne aux zones habitées, les rejets sont respatialisés :

- dans un premier temps les données d'émissions de polluants à la commune sont désagrégées sur la couche de population au bâti fournie par le LCSQA⁸ ;
- le nombre d'objets cartographiques constitués par les empreintes du bâti est très élevé, ce qui oblige ensuite à ré-agréger les données d'émissions sur une grille régulière pour ne pas pénaliser les temps de calcul de la modélisation ; cette grille régulière est constituée de volumes de 1 km de côté, et d'une hauteur égale à la moyenne des hauteurs des bâtiments présents dans la maille kilométrique.

Cette spatialisation renseigne ensuite le modèle ADMS Urban (figures 7 et 8).

Le tableau suivant reprend la somme des émissions du secteur résidentiel et tertiaire utilisées dans le cadre de cette étude.

| Année 2010 | | | | |
|---|-----------------------|-----------------------|------------|-------------|
| | SO ₂ kg/an | NO _x kg/an | PM10 kg/an | PM2.5 kg/an |
| Emissions du secteur résidentiel et tertiaire | 199 231 | 464 420 | 452 484 | 442 347 |

⁸ Fourniture et validation des données de population spatialisées selon la méthodologie nationale "méthodologie MAJIC" (Note technique), Laurent Létinois, INERIS, février 2015.

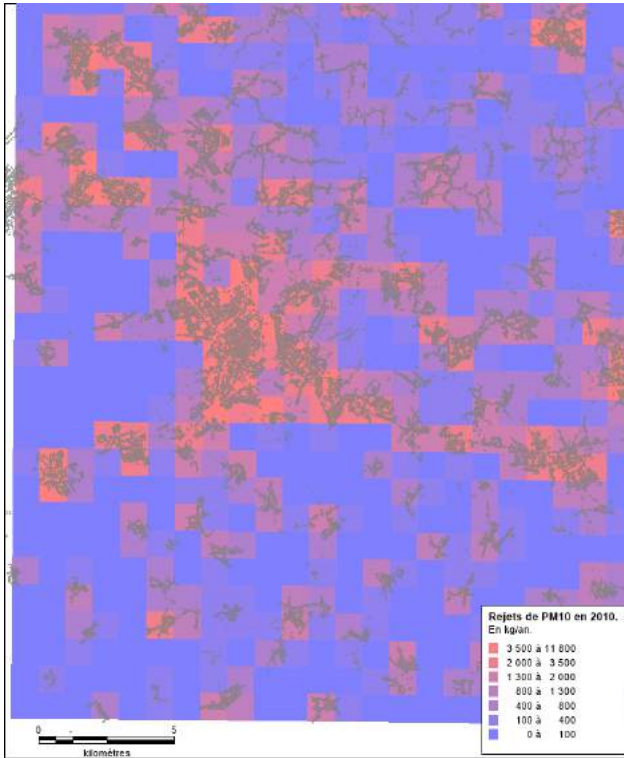


Figure 7 : Rejets de PM10 en 2010 (kg/an).

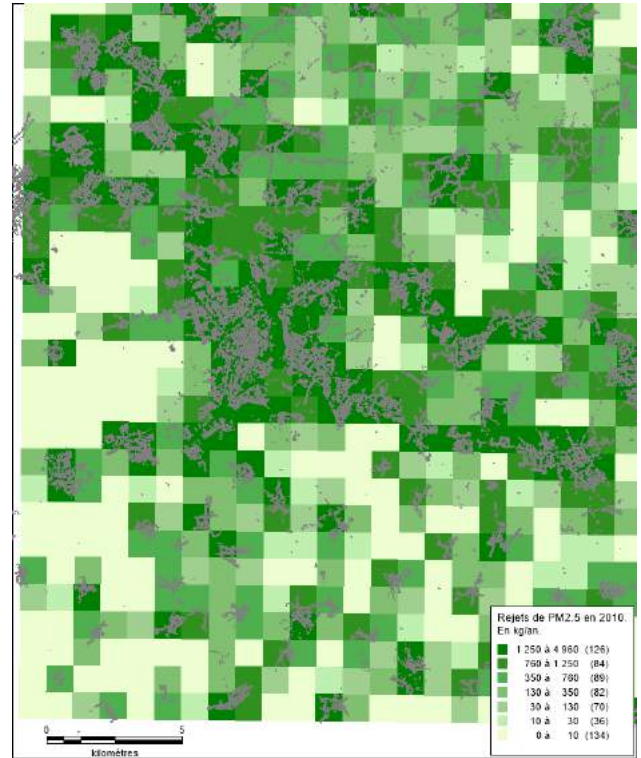


Figure 8 : Rejets de PM2.5 en 2010 (kg/an).



Secteur industriel

Les sources industrielles aussi qualifiées de grandes sources ponctuelles ont été décrites dans le modèle. Elles correspondent aux principaux points d'émissions de polluants des usines présentes dans le domaine d'étude.

Les établissements industriels ont d'abord fait l'objet d'une sélection par le biais du fichier GEREP⁹ 2012 : seuls les établissements rejetant dans l'air plus de 5 tonnes de SO₂, NOx ou particules ont été sélectionnés. Ce sont donc 7 établissements localisés dans le domaine d'étude qui ont été retenus :

- NYRSTAR France
- UIOM d'Henin Beaumont
- SAINT GOBAIN GLASS France
- Renault Douai - Usine Georges Besse
- LEROUX
- Chaufferie de la ZAC "Les Epis" de Sin-Le-Noble
- WIENERBERGER SAS.

Le modèle ADMS Urban requiert pour chaque source canalisée, en plus de la position géographique précise, des paramètres comme la hauteur et le diamètre de la cheminée, la température et la vitesse d'éjection des fumées, et les débits massiques de polluants.

Ces éléments ne sont pas disponibles dans le fichier GEREP, c'est pourquoi il a été décidé de recueillir ces informations directement auprès des exploitants par le biais de questionnaires.

Le retour des informations n'a pas été complet, puisque 3 réponses sur 7 ont été obtenues. Pour les autres établissements, des hypothèses ont dû être formulées sur la base :

- des arrêtés préfectoraux et des rapports de l'inspection des installations classées pour les paramètres des sources,
- des vues aériennes pour leur localisation.

Les données d'émissions recueillies concernent le dioxyde de soufre, les oxydes d'azote et les poussières totales. Pour ces dernières, un facteur issu de la version 10 de la méthodologie OMINEA¹⁰ permet d'estimer les quantités de PM10 et PM2.5 en fonction de la masse de poussières totales, et selon l'activité (jusque SNAP¹¹ niveau 3).

Pour le modèle ADMS Urban, les rejets en tonnes/an sont convertis en grammes/secondes pondérés par le temps d'activité de source dans l'année, s'il est connu.

Le tableau suivant reprend la somme des émissions du secteur industriel décrites dans le domaine d'étude.

| Année 2012 | | | | |
|-----------------------|-----------------------|-----------|------------|-------------|
| Polluants | SO ₂ kg/an | NOx kg/an | PM10 kg/an | PM2.5 kg/an |
| Total industries 2012 | 502 424 | 232 873 | 4 241 | 4 190 |

⁹ Déclaration des rejets auprès du Ministère du développement durable qui recueille chaque année les données relatives aux émissions de polluants dans l'air, l'eau, le sol et les déchets des installations classées.

¹⁰ Organisation et Méthodes des Inventaires Nationaux des Emissions Atmosphériques en France, CITEPA

¹¹ Selected Nomenclature for Air Pollution, nomenclature européenne relative aux activités émettrices de polluants qui comporte onze catégories d'émetteurs qui sont elles-mêmes décomposées en deux autres niveaux.

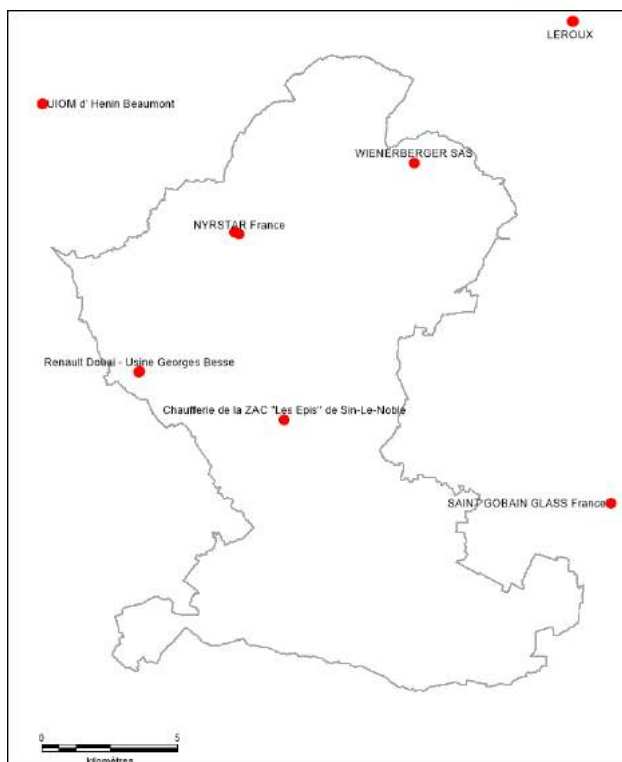


Figure 9 : Localisation des sources industrielles dans le domaine d'étude.



Facteurs temporels d'émissions

Des facteurs de variation temporelle des émissions ont été appliqués aux sources routières et résidentielles décrites dans le domaine de simulation.

Pour les sources routières, les profils ont été constitués sur la base de comptages SIREDO présents dans le domaine. Ces comptages horaires permettent d'établir le profil journalier des émissions et de manière distincte pour les jours ouvrés, les samedis et veille de fête, ainsi que les dimanches et jours fériés. Sur la même base, des profils mensuels sont établis.

Ces profils sont utilisés en donnée d'entrée de CIRCULAIR pour le calcul des émissions, puis dans la modélisation pour faire varier les flux moyens annuels de polluants de chaque source en fonction du mois, du jour et de l'heure.

Ainsi deux types de profils ont été renseignés pour les sources routières :

- un type SIREDO, disponible pour chaque tronçon où un comptage permanent est disponible; les profils sont basés sur les comptages horaires de l'année 2012 ; 21 tronçons routiers répartis sur les autoroutes A1, A21, A23 et A26 sont concernés ;
- un type autre routes, qui concerne tous les tronçons qui ne disposent pas de comptage permanent.

Pour les sources résidentielles, un profil type issu de l'inventaire régional des émissions a été appliqué : ce profil fait varier les émissions des chauffages dans la modélisation en fonction du mois et de l'heure de la journée.



Synthèse des émissions estimées

| Secteur | SO ₂ (kg) | NOx (kg) | PM10 (kg) | PM2.5 (kg) |
|-------------------------------|----------------------|------------------|----------------|----------------|
| Transports routiers 2012 | 3 316 | 2 338 852 | 245 890 | 177 239 |
| Résidentiel et tertiaire 2010 | 199 231 | 464 420 | 452 484 | 442 347 |
| Industriel 2012 | 502 424 | 232 873 | 4 241 | 4 190 |
| TOTAL | 704 971 | 3 036 145 | 702 615 | 623 776 |

EXPLOITATION DES RESULTATS

Comparaison modèle / mesure

La législation européenne impose des objectifs de qualité des données modélisées en termes d'incertitudes (Directive 2008/50/CE). Ces objectifs sont traduits en erreur relative (erreur du modèle par rapport à la mesure relevée sur les stations) : en moyenne annuelle cette erreur ne doit pas dépasser 30% pour le dioxyde d'azote, et 50% pour les PM10.

D'une manière générale, la qualité des comparaisons modèle-mesure s'améliore :

- à mesure que l'on augmente la durée de l'échantillonnage (annuelle par rapport à mensuelle ou horaire) ;
- et lorsque l'on s'intéresse à des valeurs moyennes plutôt qu'à des valeurs extrêmes (percentiles 98).

C'est pourquoi le « Guide pour une modélisation avec une résolution spatiale fine des concentrations en milieu urbain »¹² utilisé dans les AASQA préconise, de façon plus restrictive, les valeurs suivantes en moyenne mensuelle.

| Typologie du site | Erreurs relatives exigées | | | |
|-------------------|---------------------------|---------------|-------------------------------|----------------|
| | NO ₂ | PM10 et PM2.5 | C ₆ H ₆ | O ₃ |
| Fond | 30 % | 30 % | 50 % | 30 % |
| Trafic | 30 % | 50 % | 50 % | 30 % |

¹² « GREX URB », septembre 2010



D'autres paramètres (coefficient de corrélation, NMSE¹³, biais normalisé¹⁴) sont issus des recommandations du même guide. Il préconise des critères statistiques complémentaires à prendre en compte et intervalles souhaités pour une bonne aptitude du modèle à reproduire les niveaux mensuels et trimestriels. Ces valeurs de référence sont données dans le tableau suivant.

| Paramètres statistiques | Intervalle acceptable pour une comparaison modèle / mesure | | | |
|-------------------------|--|---------------|-------------------------------|----------------|
| | NO ₂ | PM10 et PM2.5 | C ₆ H ₆ | O ₃ |
| Biais normalisé | -30 % à 30 % | -30 % à 30 % | - 30 % à 30 % | - 30 % à 30 % |
| NMSE | < 50% | Nd | nd | < 50% |
| Coef. corrélation | 0,6 à 1 | 0,6 à 1 | nd | 0,7 à 1 |

Mesures de référence

Afin d'établir ces statistiques, les concentrations ont été calculées au niveau des stations de mesure présentes dans le domaine, sur l'année 2015 et à une résolution horaire. Ces stations sont :

- La station fixe Douai Theuriet (DO1),
- La station de l'IMT Lille Douai - site Dorignies.

Les mesures de la station mobile située à Douai au cours de deux phases de mesures ont été exploitées également, mais la période exploitable ne couvre entièrement que deux mois (mai et décembre 2015). Par souci de représentativité, ces résultats n'ont pas été repris dans l'analyse qui suit mais les résultats mensuels figurent en annexe 5.

Tous les indicateurs statistiques mensuels de la comparaison modèle / mesure sont repris dans l'annexe 5. Le terme de pourcentage exploitable qui figure dans les tableaux de données suivants désigne, pour une période donnée, le pourcentage d'heure au cours desquelles il existe une valeur de concentration modèle et une mesure exploitables.

¹³ Racine carrée de l'erreur quadratique moyenne normalisée, elle est exprimé en % et renseigne sur l'écart relatif entre les données simulées et les observations. Plus la NMSE est faible, plus les quantités simulées par le modèle sont proches des observations. La NMSE décrit également l'erreur totale.

¹⁴ Exprimé en %, il renseigne sur la tendance relative du modèle à sur (biais positif) ou sous (biais négatif) estimer les observations. Il quantifie l'erreur systématique.



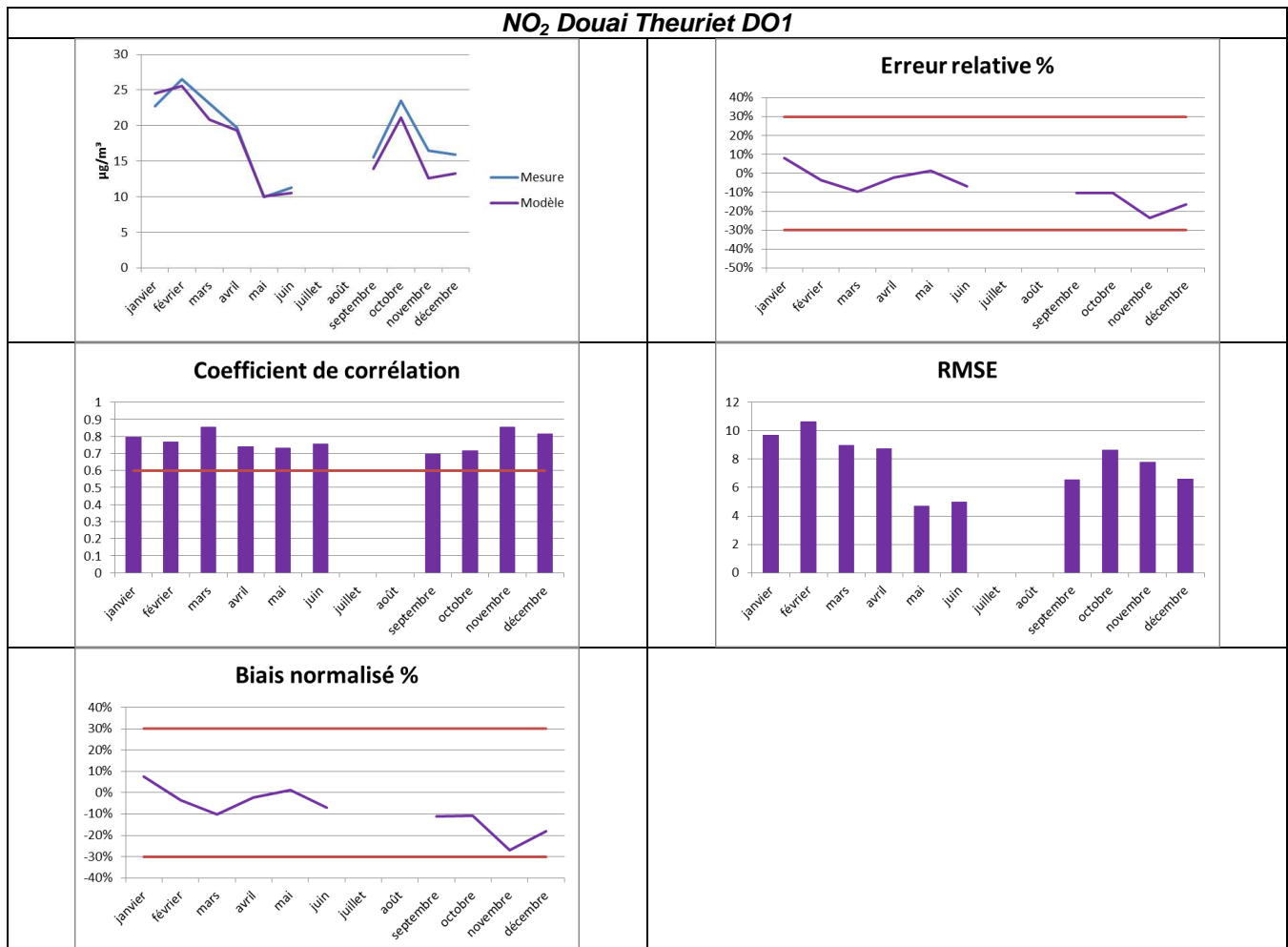
Résultats NO₂

| Site / Période | Pourcentage exploitable | Moyenne mesures µg/m ³ | Moyenne Modèle µg/m ³ | Coefficient de corrélation | Erreur relative % | RMSE ¹⁵ µg/m ³ |
|--------------------------|-------------------------|-----------------------------------|----------------------------------|----------------------------|-------------------|--------------------------------------|
| NO ₂ DO1 2015 | 74.72 | 18.91 | 17.55 | 0.81 | -7% | 8.07 |

Les objectifs en écart relatif annuel sont respectés pour le dioxyde d'azote sur la station Douai Theuriet (DO1) avec une valeur de -7%. Aucune valeur mensuelle n'est au-delà des limites préconisées en écart relatif (+30% ou -30%), et pour le coefficient de corrélation (0.6).

La tendance à la sous-estimation du modèle semble plus marquée à l'automne, avec une valeur d'écart relatif de -24% en novembre.

A noter que pendant les mois de juillet et août, les mesures n'étaient pas disponibles sur la station DO1 consécutivement à des travaux à proximité de la cabine. Ces travaux ont aussi affecté le pourcentage de données exploitable de juin.



¹⁵ Root mean square error ou racine carrée de l'erreur quadratique moyenne

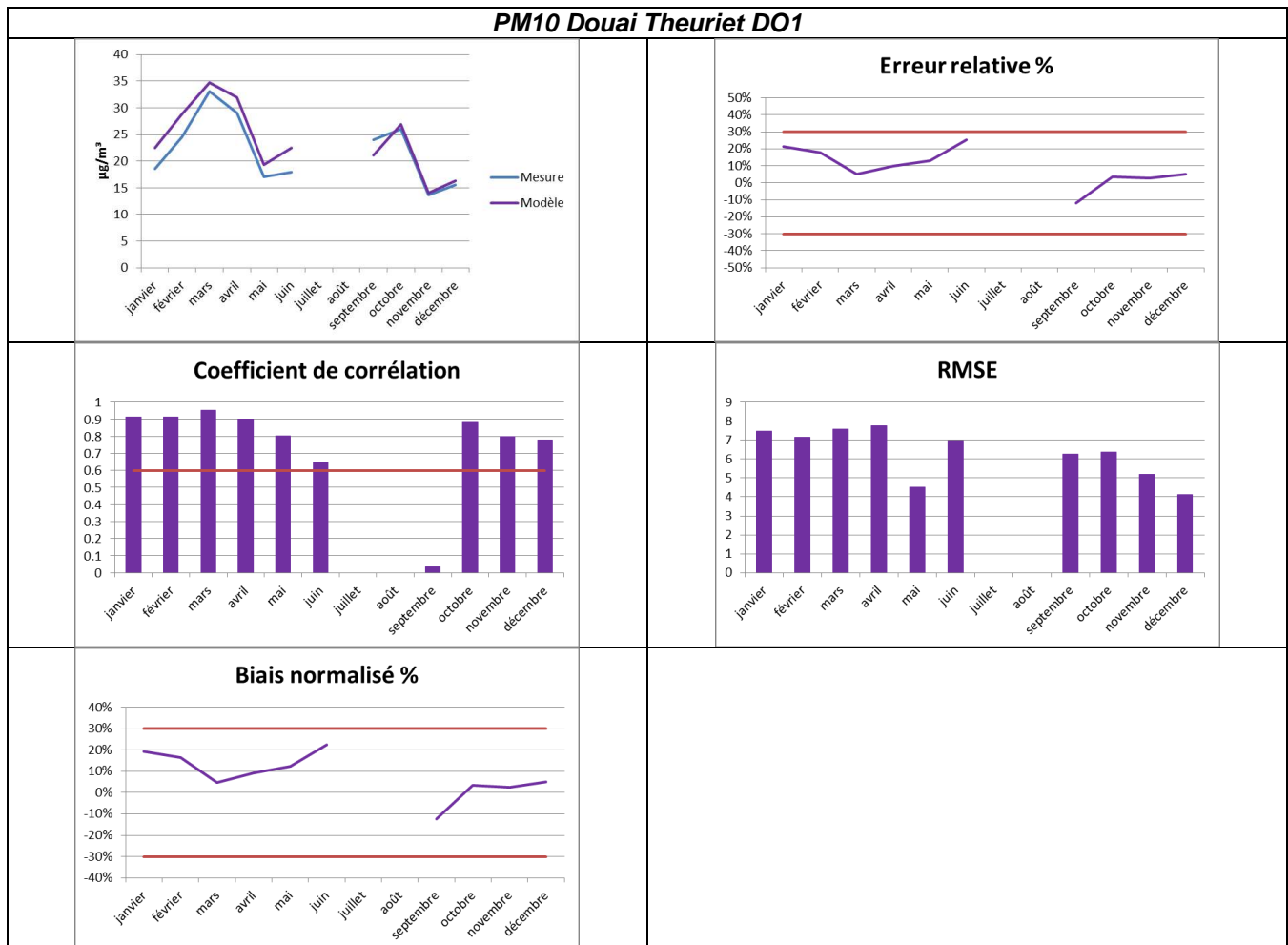


Résultats PM10

| Site / Période | Pourcentage exploitable | Moyenne mesures $\mu\text{g}/\text{m}^3$ | Moyenne Modèle $\mu\text{g}/\text{m}^3$ | Coefficient de corrélation | Erreur relative % | RMSE $\mu\text{g}/\text{m}^3$ |
|----------------|-------------------------|--|---|----------------------------|-------------------|-------------------------------|
| PM10 DO1 2015 | 67.06 | 21.95 | 24.12 | 0.91 | 10% | 6.43 |

Les objectifs sont également atteints pour les PM10 sur la station de Douai Theuriet avec un écart relatif moyen annuel de +10% et aucune valeur mensuelle en dehors des limites. Les valeurs se dégradent en juin et septembre, mais les pourcentages de données exploitables au cours de ces mois sont faibles, conséquence de l'arrêt temporaire des mesures.

La surestimation du modèle se produit principalement au premier semestre 2015, mais avec des biais mensuels qui ne dépassent pas 3 à 4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Le modèle apporte une réponse satisfaisante au cours du mois de mars, le plus pollué et affecté par des épisodes de pollution régionaux, ce qui tend à montrer que la part de la pollution de fond dans les concentrations en PM10 est prépondérante sur l'agglomération de Douai.





| Site / Période | Pourcentage exploitable | Moyenne mesures $\mu\text{g}/\text{m}^3$ | Moyenne Modèle $\mu\text{g}/\text{m}^3$ | Coefficient de corrélation | Erreur relative % | RMSE $\mu\text{g}/\text{m}^3$ |
|--------------------------|-------------------------|--|---|----------------------------|-------------------|-------------------------------|
| PM10 RST Doriginies 2015 | 42.73 | 16.47 | 17.9 | 0.67 | 9% | 9.83 |

Deux mesures de PM10 sont réalisées sur le site de mesure de l'IMT Lille Douai - Doriginies : l'une par jauge beta RST, et l'autre par TEOM FDMS.

La première n'est disponible qu'à partir de juillet 2015, et la seconde à partir d'avril, ce qui oblige à considérer de manière purement indicative les scores annuels du modèle pour les PM10 sur cette station.

En moyenne mensuelle, les objectifs sont respectés sur tous les mois disponibles, hormis le coefficient de corrélation en juillet et septembre (inférieur à 0.6) avec la mesure RST ; cependant le pourcentage de mesures exploitables pour la comparaison est inférieur à 10 % en juillet.

A noter également avec le TEOM un écart relatif égal à +30% au mois juin (mesure moyenne à 17.38 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ contre moyenne modèle à 22.65 $\mu\text{g}/\text{m}^3$).





| Site / Période | Pourcentage exploitable | Moyenne mesures $\mu\text{g}/\text{m}^3$ | Moyenne Modèle $\mu\text{g}/\text{m}^3$ | Coefficient de corrélation | Erreur relative % | RMSE $\mu\text{g}/\text{m}^3$ |
|--------------------------|-------------------------|--|---|----------------------------|-------------------|-------------------------------|
| PM10 FDMS Dorignies 2015 | 64 | 19.55 | 19.77 | 0.80 | 1% | 6.96 |





Résultats PM2.5

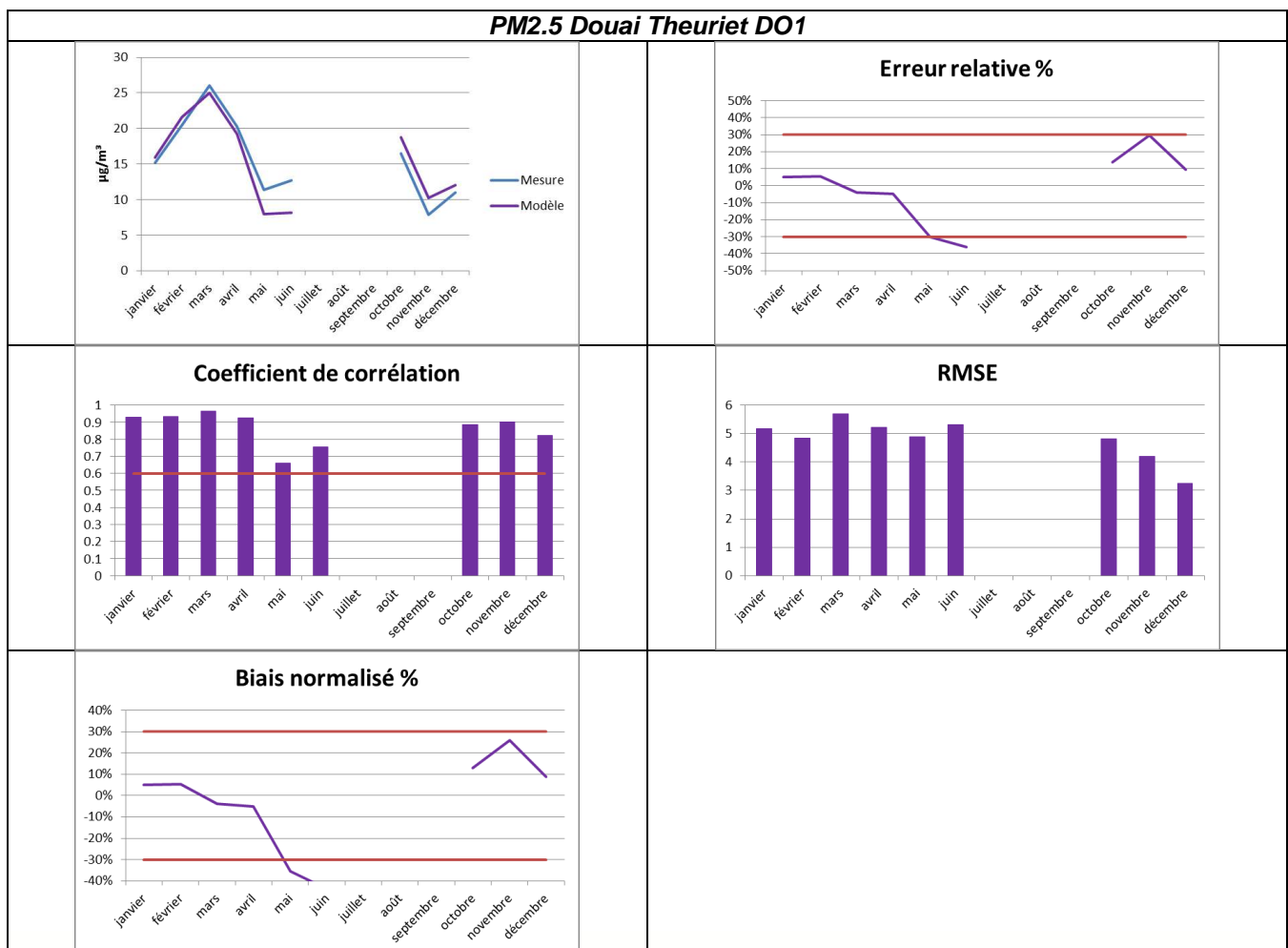
| Site / Période | Pourcentage exploitable | Moyenne mesures $\mu\text{g}/\text{m}^3$ | Moyenne Modèle $\mu\text{g}/\text{m}^3$ | Coefficient de corrélation | Erreur relative % | RMSE $\mu\text{g}/\text{m}^3$ |
|----------------|-------------------------|--|---|----------------------------|-------------------|-------------------------------|
| PM2.5 DO1 2015 | 58.41 | 16.36 | 16.24 | 0.93 | -1% | 4.89 |

Deux mesures de PM2.5 sont disponibles. Celle de Douai Theuriet présente une interruption entre juillet et septembre, et des pourcentages de données exploitables de l'ordre de 31% en juin et 56% en octobre.

Le faible taux de valeurs représentatives de juin fait relativiser l'écart relatif inférieur à 30% obtenu sur ce mois. Des écarts relatifs de -30 % et +30% ont été relevés en mai et en novembre mais les valeurs en concentrations qui sont restées faibles durant ces même mois (de l'ordre de 11 puis 7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) ce qui pénalise l'écart relatif.

Sur le site de mesure de l'IMT - Dorigines, les résultats sont globalement meilleurs, avec un modèle qui restitue bien les concentrations moyennes mensuelles, avec par conséquent des indicateurs statistiques qui restent dans les limites préconisées. On note seulement une baisse du coefficient de corrélation en septembre, sans explication.

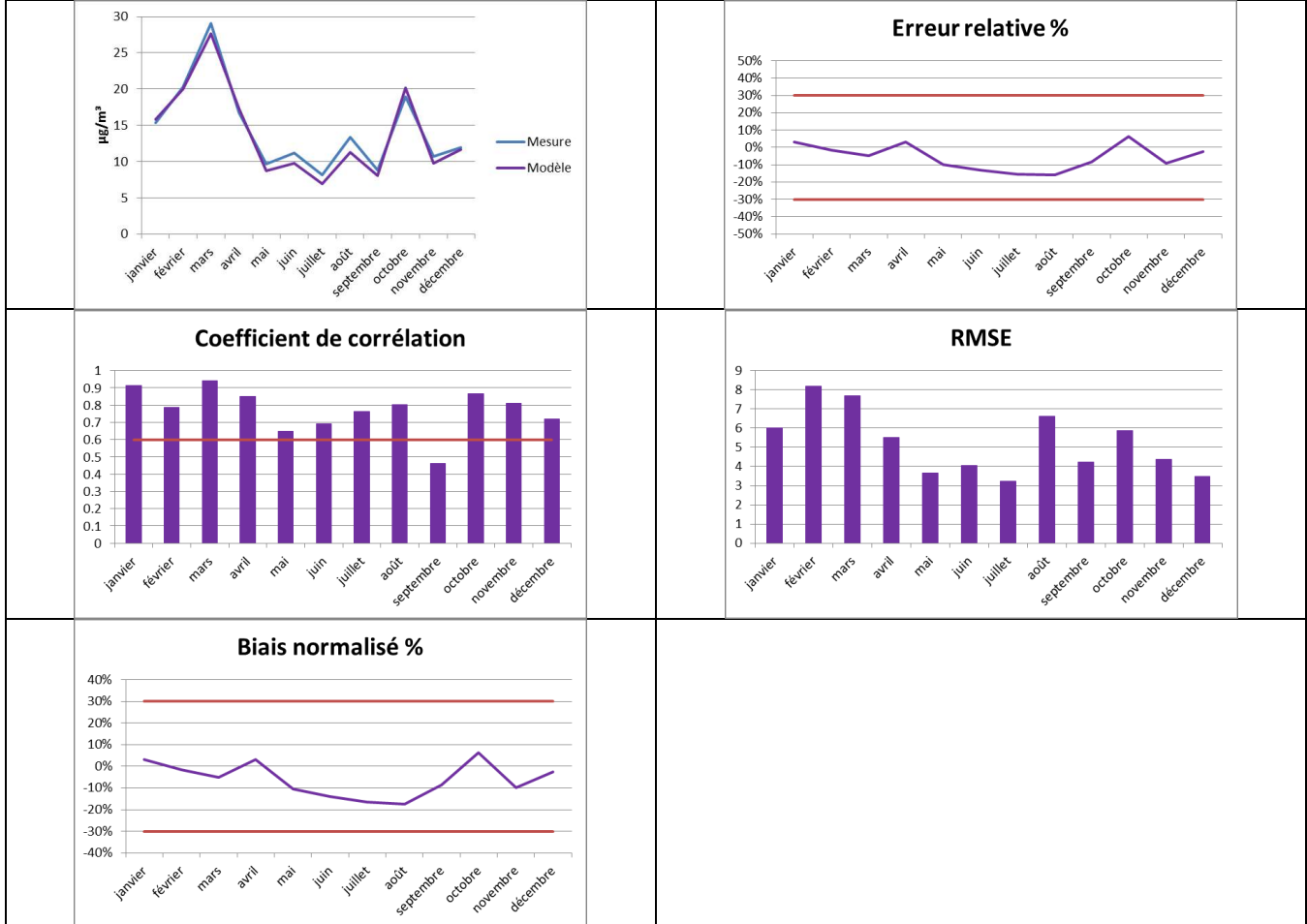
On peut également voir que les épisodes régionaux de mars ont bien été modélisés, ce qui indique aussi une influence forte des concentrations de fond pour les PM2.5.





| Site / Période | Pourcentage exploitable | Moyenne mesures $\mu\text{g}/\text{m}^3$ | Moyenne Modèle $\mu\text{g}/\text{m}^3$ | Coefficient de corrélation | Erreur relative % | RMSE $\mu\text{g}/\text{m}^3$ |
|-----------------------------|-------------------------|--|---|----------------------------|-------------------|-------------------------------|
| PM2.5 Dorignies 2015 | 85.11 | 14.41 | 13.83 | 0.89 | -4% | 5.44 |

PM2.5 Dorignies



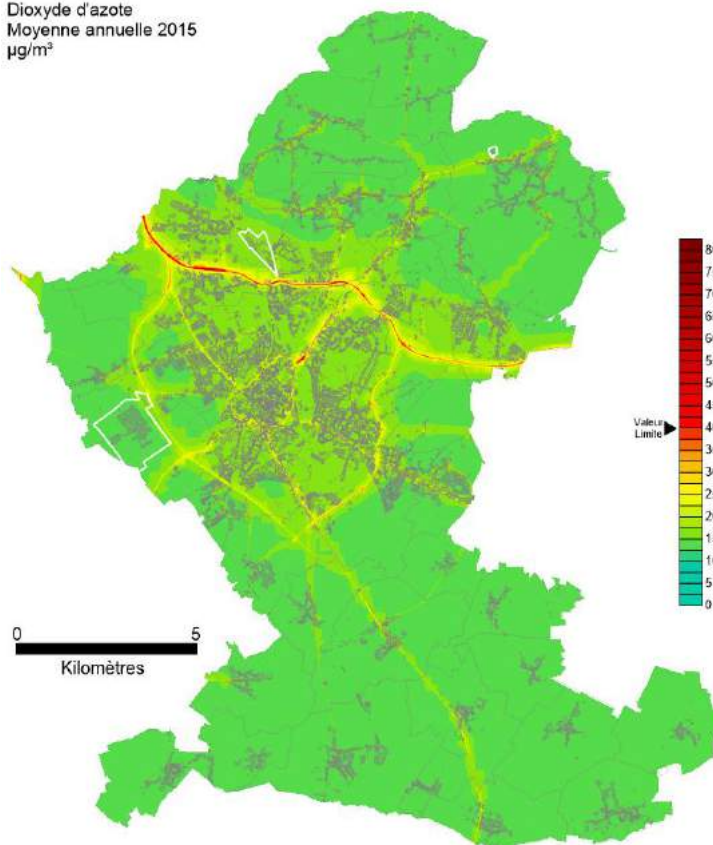


Cartographies et interprétation

Les cartes de concentrations ont été établies sur le périmètre de la Communauté d'Agglomération du Douaisis. La technique d'interpolation employée pour passer de la grille de points récepteurs à une grille régulière de 25 mètres est celle de la triangulation avec interpolation linéaire.

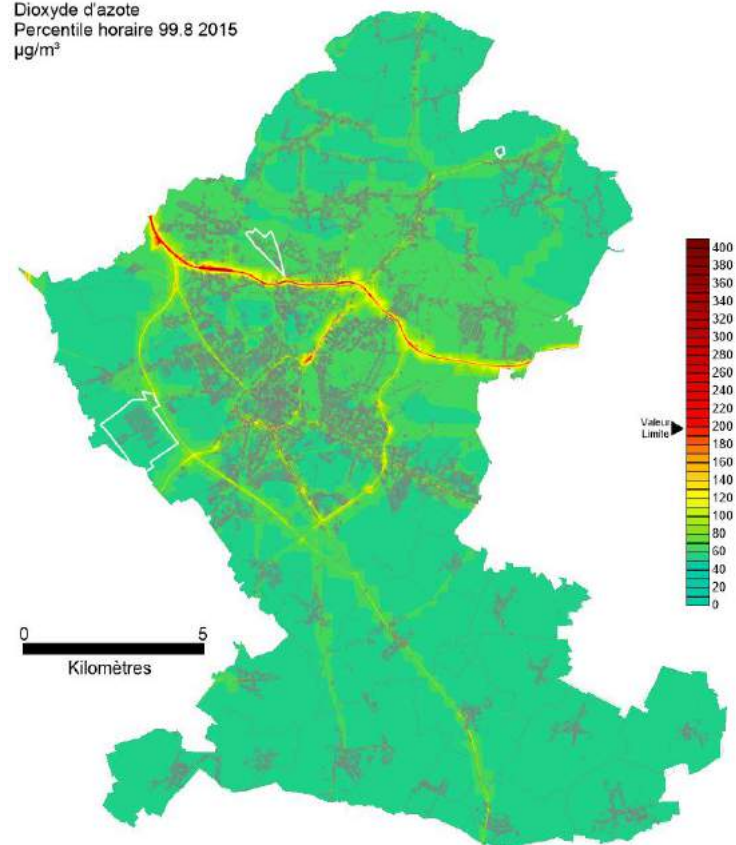
Dioxyde d'azote NO₂

Dioxyde d'azote
Moyenne annuelle 2015
µg/m³



Concentrations moyennes annuelles en dioxyde d'azote
µg/m³

Dioxyde d'azote
Percentile horaire 99.8 2015
µg/m³



Percentile 99.8 des concentrations horaires en dioxyde
d'azote - µg/m³

La carte de concentrations moyenne en dioxyde d'azote présente un gradient décroissant peu marqué du centre de l'agglomération vers la périphérie. C'est la proximité automobile qui influence la répartition des concentrations : les axes principaux comme l'A21, la D621 à l'ouest et au sud de Douai, la D500 à l'est, et toutes les pénétrantes sont les axes qui ressortent sur la carte. On peut aussi mentionner l'influence de l'A1 qui traverse brièvement le territoire à l'extrémité ouest.

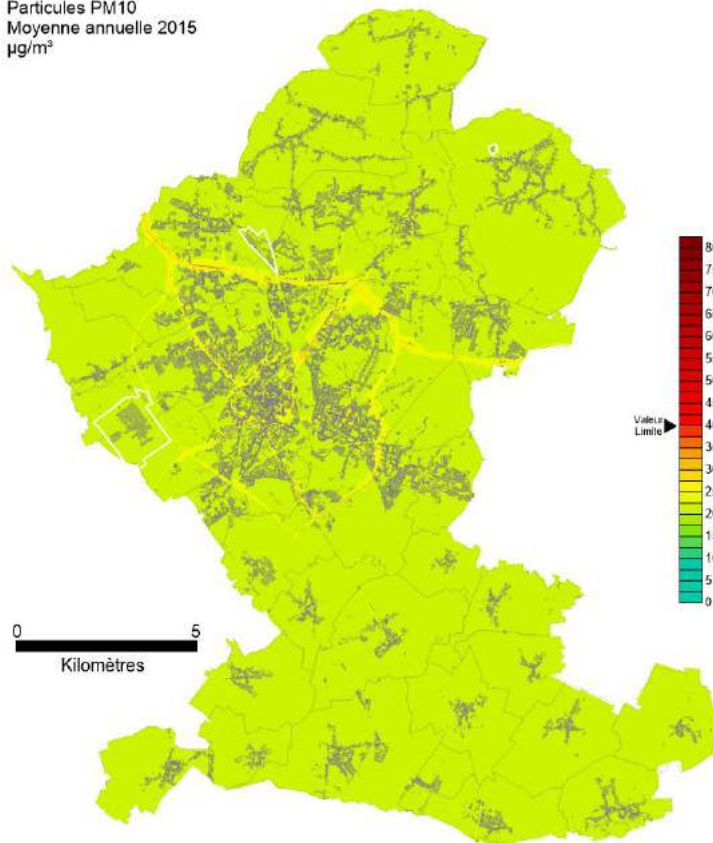
Les concentrations moyennes sont comprises entre 13 µg/m³ en bordure du domaine, soit la valeur du fond, et des valeurs dépassant ponctuellement 70 µg/m³ au niveau de l'A21. Il existe donc des dépassements de la valeur limite pour le NO₂ en moyenne annuelle (40 µg/m³), mais ils sont limités à la bordure de l'A21, de la D917 à hauteur de Gayant Expo et très ponctuellement plus au nord au niveau de Râches, ainsi que sur la Place de l'Hériller au sud de Douai intra-muros.



La carte du percentile 99.8 ($200 \mu\text{g}/\text{m}^3$, ou valeur horaire à ne pas dépasser plus de 18 fois par année civile) montre également une influence de la proximité automobile, avec des dépassements légèrement moins étendus que ceux de la moyenne annuelle, et des valeurs en périphérie du domaine qui sont équivalentes aux concentrations de fond.

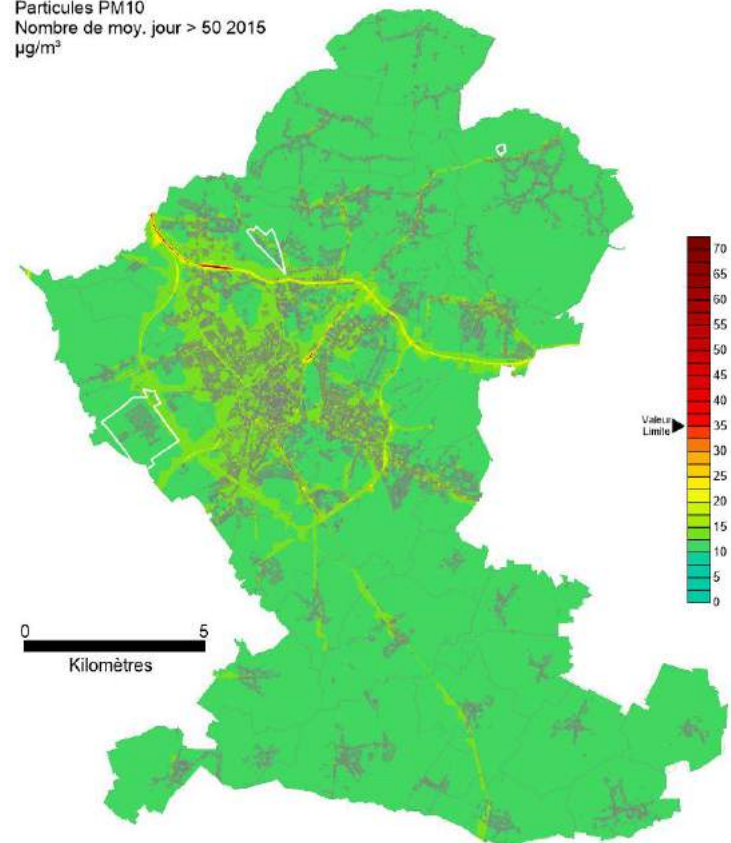
Particules en suspension PM10

Particules PM10
Moyenne annuelle 2015
 $\mu\text{g}/\text{m}^3$



Concentrations moyennes annuelles en PM10
 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

Particules PM10
Nombre de moy. jour > 50 2015
 $\mu\text{g}/\text{m}^3$



Percentile 90.4 des concentrations journalières en PM10
 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

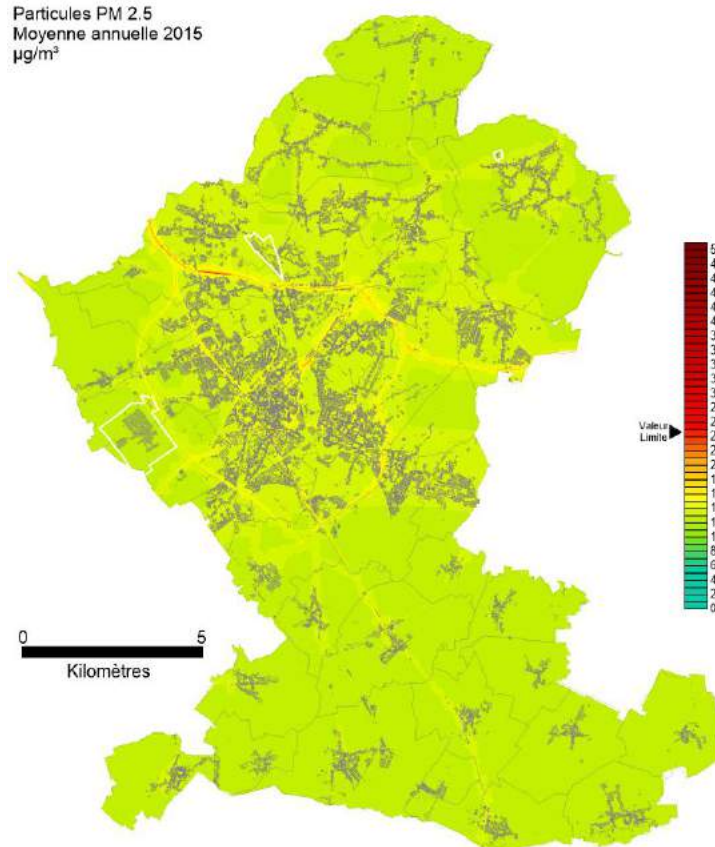
La répartition des concentrations moyennes en particules PM10 est, comme pour le NO_2 , commandée par la proximité automobile, mais avec des gradients de concentrations moins marqués. L'influence du secteur résidentiel et tertiaire, pourtant source de la majorité des rejets de particules, n'est pas sensible ici, probablement parce que ces émissions sont de nature diffuse, et qu'elles ont donc été spatialisées sur l'ensemble sur les zones urbanisées dans le domaine d'étude. Les concentrations moyennes en PM10 s'étendent d'environ $21 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en bordure à $38 \mu\text{g}/\text{m}^3$ au niveau de l'A21. Aucun dépassement de la valeur limite de $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ n'est présent sur la carte.

La carte de la valeur limite de $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ à ne pas dépasser plus de 35 jours par an (percentile 90.4) présente un motif de répartition semblable à celui de la moyenne annuelle, mais avec un gradient qui s'étend de 11 jours en périphérie à plus de 70 jours, ponctuellement au niveau de l'A21. Les dépassements du nombre de 35 jours sont, comme pour le dioxyde d'azote, limités à la proximité immédiate de l'A21, de la D914 et de la place de l'Hériller.

Les concentrations en PM10 modélisées sont fortement influencées par la concentration de fond entrée dans le modèle, en l'occurrence celles de la station de Cambrai. Cette station a enregistré 11 jours de dépassements de la valeur journalière de $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en 2015, ce qui correspond à la valeur de fond observée en bordure de notre domaine d'étude.



Particules en suspension PM2.5



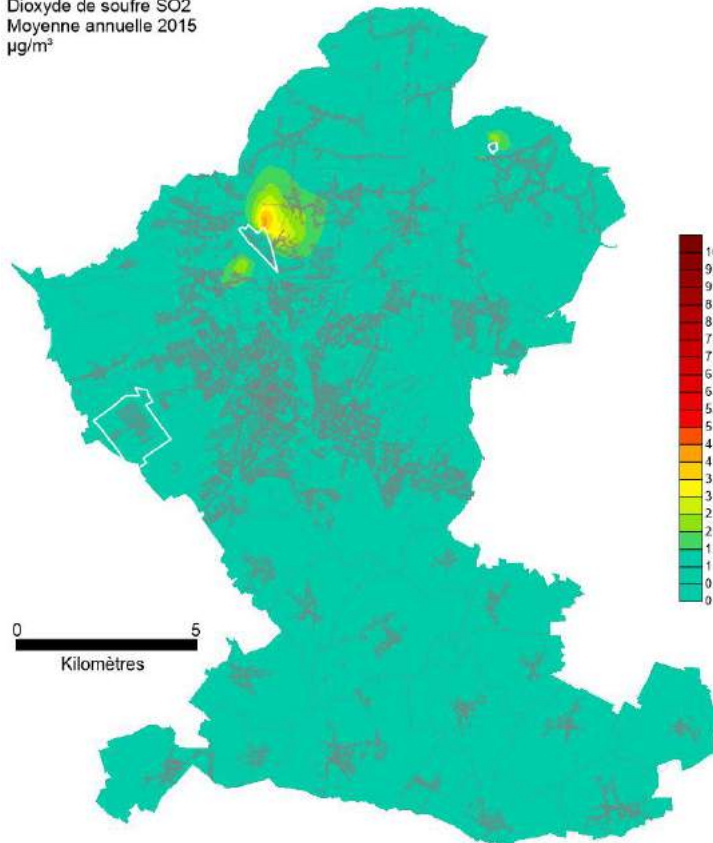
*Concentrations moyennes annuelles en PM2.5
 $\mu\text{g}/\text{m}^3$*

La valeur limite pour la protection de la santé est fixée à $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en moyenne annuelle pour les particules PM2.5 ; cette valeur est dépassée très ponctuellement sur l'A21 au nord-ouest de Douai. Ailleurs la répartition des concentrations est similaire à celle des PM10, avec un gradient qui s'étend de 12 à $13 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en périphérie à environ $27 \mu\text{g}/\text{m}^3$ au niveau de la zone d'impact maximal sur l'A21.



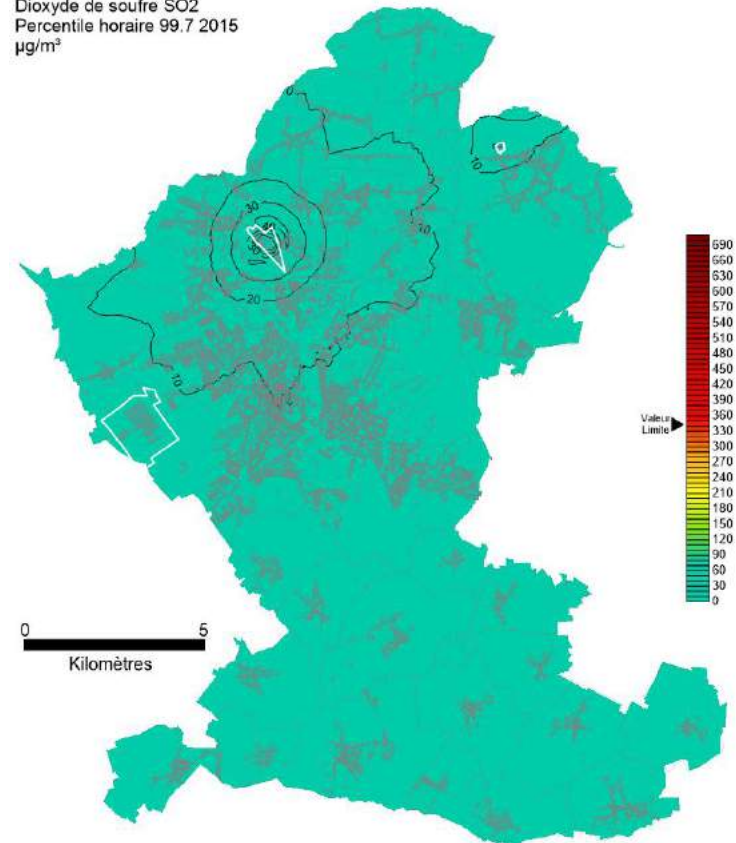
Dioxyde de soufre SO₂

Dioxyde de soufre SO₂
Moyenne annuelle 2015
µg/m³



**Concentrations moyennes annuelles en dioxyde de soufre
µg/m³**

Dioxyde de soufre SO₂
Percentile horaire 99.7 2015
µg/m³



Percentile 99.7 des concentrations horaires en dioxyde de soufre - µg/m³

Il n'existe pas de valeur limite pour la protection de la santé en moyenne annuelle pour le dioxyde de soufre, aussi l'échelle des concentrations utilisée sur la carte de la moyenne a été simplement adaptée à la plage de valeurs obtenue avec la modélisation.

Le dioxyde de soufre est un polluant émis en majorité par le secteur industriel. Sur notre domaine d'étude, plusieurs établissements sont présents dans l'inventaire des émissions avec des rejets qui peuvent avoir un impact visible sur les concentrations moyennes en proximité.

L'établissement Nyrstar à Auby, qui rejetait 441 000 tonnes de SO₂ en 2012, est à l'origine d'une zone d'influence sur les concentrations en deux parties qui reflètent la rose des vents : au nord-est, une zone plus étendue où sont relevées les concentrations moyennes les plus élevées, et au sud-ouest une petite zone avec des concentrations plus faibles. La première zone est sous les vents dominants par rapport à l'usine, qui dispersent la pollution dans ces directions. La seconde est sous les vents de secteur nord-est, moins fréquents mais souvent associés à des conditions anticycloniques et donc des conditions de dispersion défavorables (vents faibles, inversions thermiques). Une autre zone de faible élévation des concentrations est localisée à Flines-les-Raches à proximité de l'usine Wienerberger, au nord-est du domaine.

Néanmoins, les concentrations moyennes annuelles sont très faibles, puisque les maxima atteignent 4 à 5 µg/m³.

En percentile 99.7 des concentrations horaires, sur lequel une valeur limite est fixée à 350 µg/m³ (ou valeur horaire à ne pas dépasser plus de 24 fois par année civile), les valeurs sont également très faibles, avec un maximum à 42 µg/m³ localisé au nord de l'usine Nyrstar.



CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Dans le cadre du projet **AACT-AIR ISARD (Identification des Sources d'AéRosols dans le Douaisis)**, l'objectif de l'étude était de réaliser la **modélisation de la dispersion des particules PM2.5 issues des sources routières, résidentielles-tertiaires, et industrielles dans un domaine centré sur le territoire de la Communauté d'Agglomération du Douaisis**. Cette modélisation a été réalisée parallèlement à celle du dioxyde d'azote, des particules PM10 et du dioxyde de soufre.

Des données météorologiques séquentielles horaires issues des observations de Météo France, combinées à des paramètres de stabilité calculés par le modèle MM5 de la chaîne ESERALDA font partie des données d'entrée du modèle. **La période simulée couvre l'année 2015**, et par conséquent les mesures par stations fixes et mobiles réalisées dans le cadre du projet ISARD. Il s'agit donc en définitive d'une simulation sur une année intégrant des sources routières, volumiques et ponctuelles, combinée à une pollution de fond horaire établie grâce aux mesures de l'ex réseau d'atmo Nord-Pas-de-Calais.

L'exercice de comparaison modèle / mesure montre que l'objectif de qualité des simulations fixé par la directive 2008/50/CE exprimé en erreur relative moyenne annuelle est atteint pour tous les polluants.

En moyenne mensuelle ainsi qu'avec les critères statistiques complémentaires (coefficient de corrélation, biais normalisé), **les résultats montrent une bonne aptitude du modèle à reproduire les niveaux mensuels et trimestriels de concentrations**.

Les cartographies réalisées à l'issue des simulations sur l'ensemble du domaine d'étude montrent **des dépassements de la valeur limite en moyenne annuelle ($40 \mu\text{g}/\text{m}^3$), et en percentile 99.8 ($200 \mu\text{g}/\text{m}^3$, ou valeur horaire à ne pas dépasser plus de 18 fois par année civile) pour le NO_2** . Ces dépassements couvrent une surface faible et sont localisés en proximité des principaux axes routiers comme la bordure de l'A21, la D917 à hauteur de Gayant Expo et très ponctuellement plus au nord au niveau de Râches, ainsi que sur la Place de l'Hériller au sud de Douai.

La répartition des **concentrations moyennes annuelles en particules PM10** est, comme pour le NO_2 , commandée par la proximité automobile, mais avec des gradients de concentrations moins marqués, et **sans dépassement de la valeur limite ($40 \mu\text{g}/\text{m}^3$)**.

La carte de la **valeur limite pour les PM10 de $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$** à ne pas dépasser plus de **35 jours par an** présente un motif de répartition semblable à celui de la moyenne annuelle, mais avec un gradient qui s'étend de 11 jours en périphérie à plus de 70 jours, ponctuellement au niveau de l'A21. **Les zones ne respectant pas cette valeur limite sont très limitées géographiquement** à la proximité immédiate de l'A21, ainsi que de la D914 et de la place de l'Hériller.

La valeur limite pour la protection de la santé fixée à **$25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en moyenne annuelle pour les particules PM2.5 est dépassée très ponctuellement** sur l'A21 au nord-ouest de Douai. Ailleurs la répartition des concentrations est similaire à celle des PM10, avec un gradient qui s'étend de 12 à $13 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en périphérie à environ $27 \mu\text{g}/\text{m}^3$ au niveau de la zone d'impact maximal sur l'A21.

Les concentrations en **PM10 et PM2.5 modélisées sont fortement influencées par la concentration de fond** entrée dans le modèle, puisqu'en bordure du domaine de simulation, les concentrations sont très proches de la valeur moyenne ou en percentile de fond.

Concernant le **dioxyde de soufre**, les établissements Nyrstar à Aubry et Wienerberger à Flines-les-Raches, qui font partie des principaux émetteurs ponctuels de SO_2 décrits dans le modèle, ont une influence sur les concentrations en proximité immédiate. **Cependant les concentrations sont faibles et très inférieures à la valeur limite en percentile 99.7 des concentrations horaires ($350 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ou valeur horaire à ne pas dépasser plus de 24 fois par année civile)**.



En perspective, l'inventaire d'émissions et la configuration du modèle calé seront utilisées dans une **plateforme de modélisation urbaine Urban'Air** qui permet de réaliser des cartes de concentrations quotidiennes et sur des échéances allant de J-1 à J+2. Destinés au grand public, les résultats quotidiens seront mis en ligne courant 2017.

Dans le cadre d'AACT-AIR ISARD, les calculs de concentrations horaires au niveau de chaque point récepteur ont été archivés pour l'ensemble de l'année 2015. Des exploitations plus fines seront donc possibles, notamment avec les campagnes de mesures par microcapteurs embarqués réalisées par l'IMT Lille Douai.



ANNEXES



Annexe 1 : Glossaire

$\mu\text{g}/\text{m}^3$: 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..

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 NPdC : Direction Régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement Nord Pas-de-Calais.

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 : SO_2 , NO_2 , O_3 et PM_{10} .

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

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

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

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

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

NO : monoxyde d'azote.

NO_2 : dioxyde d'azote.

NO_x : oxydes d'azote.

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.

Percentile : Le percentile est l'équivalent statistique du nombre de jours ou d'heures pendant lesquels les mesures observées doivent être inférieures aux valeurs limites indiquées. Par exemple, si la valeur journalière ne doit pas être supérieure à $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ plus de 35 jours par an, alors la valeur du percentile 90,4 des données journalières de l'année considérée ne doit pas dépasser $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

PM10 : particules en suspension de taille inférieure ou égale à $10 \mu\text{m}$.

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.

PSQA : Programme de Surveillance de la Qualité de l'Air.

SO₂ : dioxyde de soufre.

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

Valeur limite : niveau à atteindre dans un délai donné et à ne pas dépasser, et fixé sur la base des connaissances scientifiques afin d'éviter, de prévenir ou de réduire les effets nocifs sur la santé humaine ou sur l'environnement dans son ensemble.



Annexe 2 : Modalités de surveillance

Les stations de mesures

Au 1^{er} janvier 2016, la région Nord Pas-de-Calais comptait **46 sites de mesures fixes de la qualité de l'air** (cf. [site atmo-hdf.fr](http://site.atmo-hdf.fr)), toutes typologies confondues, et **6 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 recommandations¹ de l'ADEME (Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie), 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 :

- 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);
- sa typologie.

Typologies des stations fixes

Pour définir l'objectif de leurs mesures, les stations sont classées selon leur typologie.

[Station urbaine](#)

Les sites urbains suivent l'exposition moyenne de la population aux phénomènes de pollution atmosphérique dits « de fond » dans les centres urbains, sans cibler l'impact d'une source d'émission particulière.

[Station de proximité industrielle](#)

Les stations de proximité industrielle fournissent des informations sur les concentrations mesurées dans des zones représentatives du niveau maximum auquel la population riveraine d'une source industrielle est susceptible d'être exposée par des phénomènes de panache ou d'accumulation.

¹ Guide de recommandations de l'ADEME, du LCSQA et de la Fédération Atmo, *Classification et critères d'implantation des stations de surveillance de la qualité de l'air*, 2002, ADEME Editions, Paris.



[Station d'observation](#)

La station d'observation répond à des besoins spécifiques tels que l'aide à la modélisation ou la prévision, le suivi d'émetteurs autres que l'industrie et la circulation automobile, ou encore le maintien d'une station « historique ».

Techniques de mesures

Afin de mesurer les concentrations des polluants atmosphériques, les stations sont équipées de plusieurs appareils électriques et de capteurs spécifiques. En fonction des polluants étudiés, différentes techniques de mesures peuvent être utilisées.

[Analyseurs automatiques](#)

Ces mesures sont effectuées par **des appareils électroniques** 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, PM2,5, CO, NOx, SO₂, O₃, et BTEX et d'identifier d'éventuels pics de pollution. Elles nécessitent l'installation de matériels assez encombrants et une alimentation électrique.



Les **oxydes d'azote** sont ainsi analysés dans l'air ambiant par chimiluminescence (norme EN 14211). Pour les **particules (PM10 et PM2,5)**, la technique normée est la pesée gravimétrique (normes EN 12341 pour les PM10 et EN 14907 pour les PM2,5). En France, d'autres méthodes sont utilisées, dont l'équivalence est démontrée par le LCSQA¹ : le TEOM (Tapered Element Oscillating Microbalance) associé au module FDMS (Filter Dynamics Measurement Systems), basé sur la variation d'une fréquence de vibration du quartz, ainsi que la jauge radiométrique bêta associée au module RST (Regulated Sampling Tube), basée sur la variation de l'absorption d'un rayonnement beta. La mesure du **monoxyde de carbone** se fait par absorption infrarouge (norme EN 14626). L'analyse du **dioxyde de soufre** s'effectue par fluorescence du rayonnement ultraviolet (norme EN 14212). L'**ozone** est mesuré par photométrie ultraviolet (norme EN 14625). Le **benzène** est analysé par chromatographie en phase gazeuse (norme EN 14662).

[Préleveurs actifs](#)

Ces mesures sont réalisées en deux étapes : d'une part, le prélèvement sur support (filtre, mousse...) par des **appareils électroniques** (aspiration d'un volume d'air), puis une **analyse en laboratoire**. Une alimentation électrique est nécessaire 24h/24h au bon fonctionnement de l'appareil de mesure. Une valeur moyenne est calculée pour la période de mesure (en général, les prélèvements ont lieu sur des périodes de 1 à 7 jours). Les fluctuations des concentrations sur une période plus fine, par ce biais, ne sont pas mises en évidence. De plus, le résultat n'est pas obtenu immédiatement, car il nécessite une analyse en laboratoire. Ce principe permet d'analyser de nombreux polluants : les métaux lourds (norme EN 14902), les hydrocarbures aromatiques polycycliques (norme EN 1554), les dioxines, les furanes, les polychlorobiphényles dioxin like (PCB DL), les pesticides, le carbone élémentaire, les ions inorganiques, le levoglucosan...



Atmo Hauts-de-France sous-traite les analyses à des laboratoires certifiés, qui participent aux campagnes d'inter-comparaison mises en œuvre par le LCSQA :

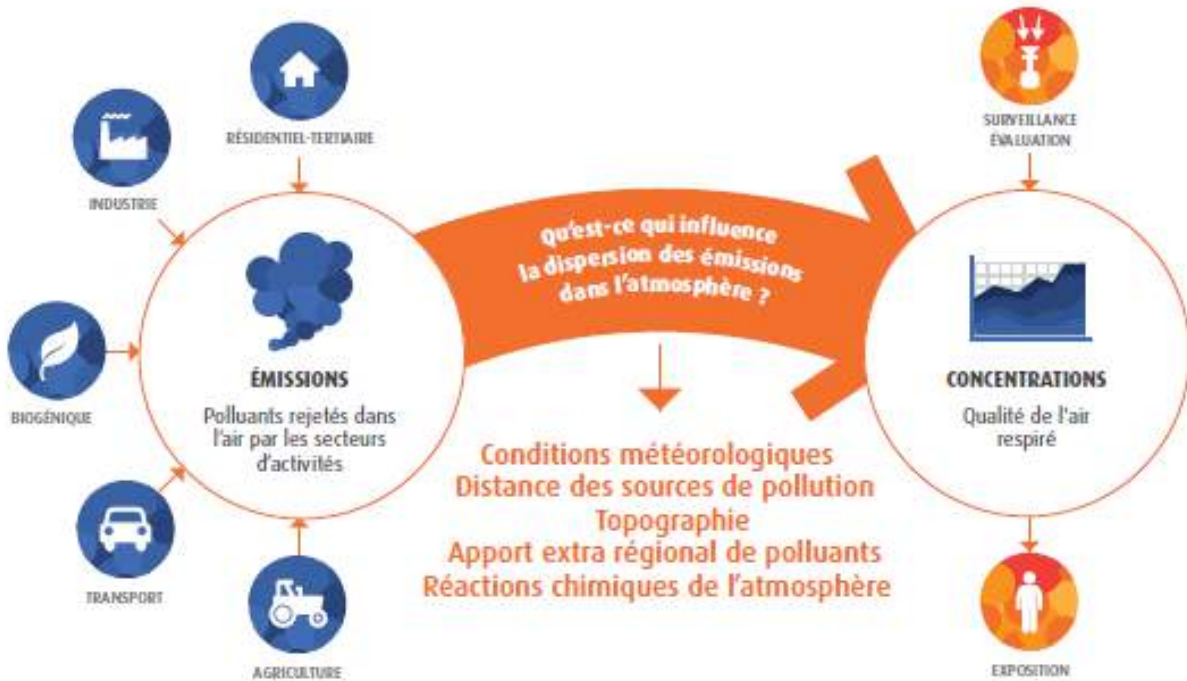
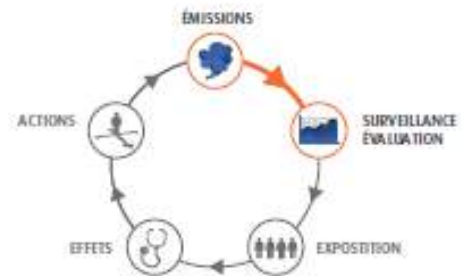
- Pour les métaux lourds et les pesticides : le laboratoire lanesco de Poitiers ;
- Pour les hydrocarbures aromatiques polycycliques : le laboratoire GIE LIC de Schiltigheim ;
- Pour les dioxines, les furanes et les polychlorobiphényles dioxin like : le laboratoire Micropolluants de Saint-Julien-les-Metz ;

¹ Laboratoire Central de Surveillance de la Qualité de l'Air



Annexe 3 : Des émissions aux concentrations

DES ÉMISSIONS AUX CONCENTRATIONS DE POLLUANTS DANS L'ATMOSPHÈRE





Annexe 4 : Valeurs réglementaires

| Polluant | Normes en 2015 | | |
|---|--|--|--------------|
| | Valeur limite | Objectif de qualité / Objectif à long terme | Valeur cible |
| Dioxyde de soufre (SO ₂) | 125 µg/m ³ <i>en moyenne journalière, à ne pas dépasser plus de 3 jours/an</i> 350 µg/m ³ <i>en moyenne horaire, à ne pas dépasser plus de 24 heures/an</i> | 50 µg/m ³ <i>en moyenne annuelle</i> | - |
| Dioxyde d'azote (NO ₂) | 40 µg/m ³ <i>en moyenne annuelle</i> 200 µg/m ³ <i>en moyenne horaire, à ne pas dépasser plus de 18 heures/an</i> | - | - |
| Particules en suspension (PM ₁₀) | 40 µg/m ³ <i>en moyenne annuelle</i> 50 µg/m ³ <i>en moyenne journalière, à ne pas dépasser plus de 35 jours/an</i> | 30 µg/m ³ <i>en moyenne annuelle</i> | - |

(Source : Décret n°2010-1250 du 21 octobre 2010 relatif à la qualité de l'air)



Annexe 5 : tableaux mensuels de comparaison modèle/mesure – année 2015

NO₂ Douai Theuriet

| Période | % exploitable | Mesure µg/m ³ | Modèle µg/m ³ | Coefficient de corrélation | Erreur relative % | RMSE µg/m ³ | Biais normalisé |
|------------|---------------|--------------------------|--------------------------|----------------------------|-------------------|------------------------|-----------------|
| Année 2015 | 74.72 | 18.91 | 17.55 | 0.8 | -7% | 8.07 | -7% |
| janvier | 99.6 | 22.7 | 24.52 | 0.8 | 8% | 9.66 | 8% |
| février | 99.4 | 26.48 | 25.52 | 0.8 | -4% | 10.63 | -4% |
| mars | 100 | 23.1 | 20.87 | 0.9 | -10% | 8.95 | -10% |
| avril | 73.61 | 19.72 | 19.29 | 0.7 | -2% | 8.73 | -2% |
| mai | 99.6 | 9.92 | 10.04 | 0.7 | 1% | 4.69 | 1% |
| juin | 36.39 | 11.27 | 10.51 | 0.8 | -7% | 4.99 | -7% |
| juillet | 0 | | | | | | |
| août | 0 | | | | | | |
| septembre | 90.69 | 15.54 | 13.91 | 0.7 | -11% | 6.54 | -11% |
| octobre | 100 | 23.53 | 21.13 | 0.7 | -10% | 8.63 | -11% |
| novembre | 99.86 | 16.47 | 12.57 | 0.9 | -24% | 7.78 | -27% |
| décembre | 100 | 15.92 | 13.29 | 0.8 | -17% | 6.59 | -18% |

PM10 Douai Theuriet

| Période | % exploitable | Mesure µg/m ³ | Modèle µg/m ³ | Coefficient de corrélation | Erreur relative % | RMSE µg/m ³ | Biais normalisé |
|------------|---------------|--------------------------|--------------------------|----------------------------|-------------------|------------------------|-----------------|
| Année 2015 | 67.06 | 21.95 | 24.12 | 0.92 | 10% | 6.4 | 9% |
| janvier | 98.52 | 18.55 | 22.49 | 0.91 | 21% | 7.5 | 19% |
| février | 89.88 | 24.48 | 28.85 | 0.91 | 18% | 7.2 | 16% |
| mars | 93.95 | 33.09 | 34.74 | 0.95 | 5% | 7.6 | 5% |
| avril | 99.44 | 29.1 | 31.92 | 0.90 | 10% | 7.8 | 9% |
| mai | 92.07 | 17.1 | 19.35 | 0.80 | 13% | 4.5 | 12% |
| juin | 30.83 | 17.88 | 22.42 | 0.65 | 25% | 7.0 | 23% |
| juillet | 0 | | | | | | |
| août | 0 | | | | | | |
| septembre | 1.67 | 23.96 | 21.14 | 0.03 | -12% | 6.2 | -12% |
| octobre | 100 | 25.99 | 26.92 | 0.88 | 4% | 6.4 | 3% |
| novembre | 99.72 | 13.68 | 14.03 | 0.80 | 3% | 5.2 | 3% |
| décembre | 99.73 | 15.48 | 16.28 | 0.78 | 5% | 4.1 | 5% |



PM10 RST Dorignies

| Période | % exploitable | Mesure $\mu\text{g}/\text{m}^3$ | Modèle $\mu\text{g}/\text{m}^3$ | Coefficient de corrélation | Erreur relative % | RMSE $\mu\text{g}/\text{m}^3$ | Biais normalisé |
|------------|---------------|---------------------------------|---------------------------------|----------------------------|-------------------|-------------------------------|-----------------|
| Année 2015 | 42.73 | 16.47 | 17.9 | 0.67 | 9% | 9.8 | 8% |
| janvier | 0 | | | | | | |
| février | 0 | | | | | | |
| mars | 0 | | | | | | |
| avril | 0 | | | | | | |
| mai | 0 | | | | | | |
| juin | 0 | | | | | | |
| juillet | 9.54 | 10.91 | 12.3 | 0.50 | 13% | 5.4 | 12% |
| août | 100 | 17.34 | 19.26 | 0.73 | 11% | 10.8 | 10% |
| septembre | 100 | 12.51 | 13.71 | 0.29 | 10% | 10.5 | 9% |
| octobre | 100 | 24.13 | 26.67 | 0.61 | 11% | 13.9 | 10% |
| novembre | 100 | 13.4 | 13.85 | 0.72 | 3% | 5.7 | 3% |
| décembre | 100 | 15.27 | 16.28 | 0.61 | 7% | 5.8 | 6% |

PM10 TEOM Dorignies

| Période | % exploitable | Mesure $\mu\text{g}/\text{m}^3$ | Modèle $\mu\text{g}/\text{m}^3$ | Coefficient de corrélation | Erreur relative % | RMSE $\mu\text{g}/\text{m}^3$ | Biais normalisé |
|------------|---------------|---------------------------------|---------------------------------|----------------------------|-------------------|-------------------------------|-----------------|
| Année 2015 | 64 | 19.55 | 19.77 | 0.80 | 1% | 7.0 | 1% |
| janvier | 0 | | | | | | |
| février | 0 | | | | | | |
| mars | 0 | | | | | | |
| avril | 55.14 | 34.1 | 32.1 | 0.79 | -6% | 10.1 | -6% |
| mai | 91.94 | 20.19 | 19.32 | 0.62 | -4% | 8.2 | -4% |
| juin | 92.5 | 17.38 | 22.65 | 0.69 | 30% | 7.9 | 26% |
| juillet | 99.19 | 14.89 | 15.14 | 0.77 | 2% | 5.8 | 2% |
| août | 62.63 | 20.87 | 21.65 | 0.80 | 4% | 6.3 | 4% |
| septembre | 69.44 | 12.86 | 14.13 | 0.77 | 10% | 5.0 | 9% |
| octobre | 95.03 | 27.12 | 27.52 | 0.82 | 1% | 7.3 | 1% |
| novembre | 99.03 | 15.67 | 13.92 | 0.76 | -11% | 6.4 | -12% |
| décembre | 98.79 | 17.96 | 16.42 | 0.70 | -9% | 5.4 | -9% |



PM2.5 Douai Theuriet

| Période | % exploitable | Mesure $\mu\text{g}/\text{m}^3$ | Modèle $\mu\text{g}/\text{m}^3$ | Coefficient de corrélation | Erreur relative % | RMSE $\mu\text{g}/\text{m}^3$ | Biais normalisé |
|------------|---------------|---------------------------------|---------------------------------|----------------------------|-------------------|-------------------------------|-----------------|
| Année 2015 | 58.41 | 16.36 | 16.24 | 0.93 | -1% | 4.9 | -1% |
| janvier | 99.87 | 15.12 | 15.91 | 0.93 | 5% | 5.2 | 5% |
| février | 90.48 | 20.45 | 21.58 | 0.93 | 6% | 4.8 | 5% |
| mars | 94.62 | 26.02 | 25.02 | 0.97 | -4% | 5.7 | -4% |
| avril | 100 | 20.26 | 19.26 | 0.92 | -5% | 5.2 | -5% |
| mai | 84.14 | 11.41 | 7.97 | 0.66 | -30% | 4.9 | -35% |
| juin | 31.11 | 12.72 | 8.14 | 0.75 | -36% | 5.3 | -44% |
| juillet | 0 | | | | | | |
| août | 0 | | | | | | |
| septembre | 0 | | | | | | |
| octobre | 56.05 | 16.49 | 18.78 | 0.88 | 14% | 4.8 | 13% |
| novembre | 67.78 | 7.91 | 10.25 | 0.90 | 30% | 4.2 | 26% |
| décembre | 78.9 | 10.97 | 11.99 | 0.82 | 9% | 3.2 | 9% |

PM2.5 Dorignies

| Période | % exploitable | Mesure $\mu\text{g}/\text{m}^3$ | Modèle $\mu\text{g}/\text{m}^3$ | Coefficient de corrélation | Erreur relative % | RMSE $\mu\text{g}/\text{m}^3$ | Biais normalisé |
|------------|---------------|---------------------------------|---------------------------------|----------------------------|-------------------|-------------------------------|-----------------|
| Année 2015 | 85.11 | 14.41 | 13.83 | 0.89 | -4% | 5.4 | -4% |
| janvier | 84.52 | 15.39 | 15.86 | 0.91 | 3% | 6.0 | 3% |
| février | 99.85 | 20.3 | 20 | 0.79 | -1% | 8.2 | -1% |
| mars | 78.49 | 29.04 | 27.6 | 0.94 | -5% | 7.7 | -5% |
| avril | 61.11 | 16.8 | 17.32 | 0.85 | 3% | 5.5 | 3% |
| mai | 83.2 | 9.69 | 8.72 | 0.65 | -10% | 3.7 | -10% |
| juin | 70.28 | 11.21 | 9.76 | 0.69 | -13% | 4.1 | -14% |
| juillet | 91.53 | 8.12 | 6.88 | 0.76 | -15% | 3.2 | -17% |
| août | 69.62 | 13.39 | 11.26 | 0.80 | -16% | 6.6 | -17% |
| septembre | 88.75 | 8.83 | 8.09 | 0.46 | -8% | 4.2 | -9% |
| octobre | 95.7 | 18.96 | 20.18 | 0.87 | 6% | 5.9 | 6% |
| novembre | 99.17 | 10.71 | 9.72 | 0.81 | -9% | 4.4 | -10% |
| décembre | 99.87 | 11.97 | 11.67 | 0.72 | -2% | 3.5 | -3% |



NO₂ Unité mobile

| Période | % exploitable | Mesure µg/m ³ | Modèle µg/m ³ | Coefficient de corrélation | Erreur relative % | RMSE µg/m ³ | Biais normalisé |
|------------|---------------|--------------------------|--------------------------|----------------------------|-------------------|------------------------|-----------------|
| Année 2015 | 22.35 | 12.63 | 11.52 | 0.76 | -9% | 6.75 | -0.09 |
| janvier | 0 | | | | | | |
| février | 0 | | | | | | |
| mars | 0 | | | | | | |
| avril | 24.58 | 14.55 | 14.56 | 0.76 | 0% | 5.26 | 0.00 |
| mai | 98.52 | 8.72 | 9.61 | 0.70 | 10% | 4.63 | 0.10 |
| juin | 6.53 | 14.94 | 6.91 | -0.06 | -54% | 17.18 | -0.73 |
| juillet | 0 | | | | | | |
| août | 0 | | | | | | |
| septembre | 0 | | | | | | |
| octobre | 0 | | | | | | |
| novembre | 36.11 | 21.16 | 15.27 | 0.89 | -28% | 9.38 | -0.32 |
| décembre | 99.6 | 12.89 | 11.67 | 0.74 | -9% | 6.57 | -0.10 |

PM10 Unité Mobile

| Période | % exploitable | Mesure µg/m ³ | Modèle µg/m ³ | Coefficient de corrélation | Erreur relative % | RMSE µg/m ³ | Biais normalisé |
|------------|---------------|--------------------------|--------------------------|----------------------------|-------------------|------------------------|-----------------|
| Année 2015 | 23.04 | 15.37 | 18.37 | 0.69 | 20% | 7.89 | 0.18 |
| janvier | 0 | | | | | | |
| février | 0 | | | | | | |
| mars | 0 | | | | | | |
| avril | 36.11 | 21.46 | 29.17 | 0.81 | 36% | 12.64 | 0.30 |
| mai | 98.39 | 15.44 | 19.52 | 0.41 | 26% | 8.59 | 0.23 |
| juin | 4.86 | 13.51 | 20.2 | 0.31 | 50% | 8.21 | 0.40 |
| juillet | 0 | | | | | | |
| août | 0 | | | | | | |
| septembre | 0 | | | | | | |
| octobre | 0 | | | | | | |
| novembre | 36.53 | 12.3 | 11.57 | 0.70 | -6% | 5.06 | -0.06 |
| décembre | 97.85 | 14.32 | 15.73 | 0.64 | 10% | 5.38 | 0.09 |



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

Atmo Haut-de-France
Observatoire de l'Air
55, place Rihour
59044 Lille Cedex
Tél. : 03 59 08 37 30
contact@atmo-hdf.fr

