



.....

RAPPORT D'ETUDE

Modélisation

Calais Port 2015

NORD - PAS-DE-CALAIS
atmo
Parten'air climat énergie





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

Etat initial 2011, et simulations 2021 et 2030 de la qualité de l'air par modélisation Calais Port

Rapport d'étude N°01/2015/CB

57 pages (hors couvertures)

Parution : juin 2015

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

	Rédacteurs	Vérificateur	Approbateur
Nom	Sandra Vermeesch Ludovic Baloba	Charles Beaugard	Nathalie Dufour
Fonction	Chargés d'études	Ingénieur d'Etudes	Responsable Etudes

Conditions de diffusion

Toute utilisation partielle ou totale de ce document doit être signalée par « source d'information : **atmo** Nord - Pas-de-Calais, rapport d'étude N°01/2015/CB ».

Les données contenues dans ce document restant la propriété d'**atmo** Nord - Pas-de-Calais peuvent être diffusées à d'autres destinataires.

atmo Nord - Pas-de-Calais ne peut en aucune façon être tenue responsable des interprétations et travaux intellectuels, publications diverses ou de toute œuvre utilisant ses mesures et ses rapports d'études pour lesquels l'association n'aura pas donné d'accord préalable.



SOMMAIRE

Synthèse de l'étude	3
atmo Nord - Pas-de-Calais	5
Ses missions	5
Stratégie de surveillance et d'évaluation	5
Enjeux et objectifs de l'étude	6
Paramètres de la modélisation	7
Le modèle utilisé	7
Domaine de simulation	8
Les périodes simulées.....	9
Autres paramètres.....	9
Origines et impacts des polluants surveillés	11
Etat INITIAL 2011	13
Estimation des émissions de polluants	13
Synthèse des émissions 2011	24
Exploitation des résultats 2011	25
<i>Comparaison modèle / mesure</i>	25
<i>Cartographies et interprétation</i>	28
Scénarisation 2021 et 2030	31
Estimation des émissions de polluants	31
Exploitation des résultats 2021 et 2030	39
<i>Paramètres d'entrée du modèle</i>	39
<i>Cartographies et interprétation 2021</i>	39
<i>Cartographies et interprétation 2030</i>	42
Conclusion et perspectives	45
Annexes	47



SYNTHESE DE L'ETUDE

Dans le cadre de la mise en oeuvre des mesures environnementales du projet d'aménagement « Calais Port 2015 », la Direction des Ports du Conseil Régional Nord - Pas de Calais a sollicité atmo Nord - Pas de Calais, pour **définir les modalités d'un suivi de l'impact sur la qualité de l'air du projet d'extension portuaire.**

Pour ce faire, Atmo Nord-Pas de Calais a réalisé, en plus **d'une campagne de mesure par station mobile¹, une étude de dispersion de la qualité de l'air** à l'aide du modèle ADMS Urban. Cette étude a pour but de **cartographier avec une résolution spatiale élevée les concentrations moyennes issues de la dispersion des rejets de l'activité portuaire**, qu'elle soit maritime ou automobile, dans un domaine centré sur le port de Calais. L'objectif est de localiser l'impact de l'activité portuaire sur la qualité de l'air, notamment à l'issue du projet.

Ce sont donc 3 années pour lesquelles les concentrations en **dioxyde d'azote, particules PM10 et dioxyde de soufre** sont simulées : **l'année 2011 qui correspond à l'état initial, puis les années 2021 et 2030 qui sont les horizons de mise en service de l'extension portuaire.**

En premier lieu, un inventaire des émissions des secteurs des transports routiers, de l'activité maritime et portuaire, du secteur résidentiel et tertiaire, et enfin du secteur industriel est réalisé. Cet inventaire couvre l'année 2011 en tant qu'état initial, mais également les années 2021 et 2030, et les polluants concernés sont le dioxyde de soufre, le dioxyde d'azote et les particules PM10. Il est construit à partir de données d'émissions de l'inventaire régional d'atmo Nord-Pas-de-Calais, ainsi qu'à partir de données tendancielle et prospectives, notamment pour le secteur routier et les émissions de navires. Ce travail d'inventaire met en évidence :

- **la forte diminution aux horizons 2021 et 2030 des rejets en dioxyde de soufre issues des ferries**, en lien avec l'application de la directive 2012/33/UE sur la teneur en soufre des combustibles, avec en parallèle un maintien du niveau des rejets en oxydes d'azote.
- **la diminution tendancielle des rejets de tous les polluants du secteur des transports routiers** par le renouvellement progressif des parcs roulants
- et également la **baisse aux horizons 2021 puis 2030 des rejets de tous les polluants du secteur résidentiel et tertiaire** principalement sous l'effet du développement de modes de chauffage performants.

Dans un second temps, les simulations basées sur cet inventaire utilisent en entrée des données météorologiques et de pollution de fond mesurées en 2011, que ce soit pour l'état initial ou pour les horizons 2021 et 2030. A l'issue des simulations, des cartes de concentrations sont établies et comparées aux valeurs réglementaires. Les enseignements sont les suivants :

- les comparaisons mesures/modèles montrent la pertinence des modèles pour évaluer les concentrations de fond sur des périodes supérieures au mois, et qui sont donc utilisables pour la scénarisation des concentrations moyennes annuelles. Cependant la faiblesse des concentrations moyennes mesurées en dioxyde de soufre peut impliquer des écarts modèle-mesure importants.
- l'analyse de la répartition spatiale des cartes **met en évidence l'influence du trafic maritime en particulier sur les concentrations en dioxyde d'azote et en dioxyde de soufre. L'impact de l'extension portuaire est très sensible sur les simulations 2021 et 2030** puisqu'il contribue à déplacer vers le nord-est et le nouveau terminal ferry la zone où les concentrations en dioxyde d'azote sont influencées – polluant pour lequel le secteur maritime et portuaire devient l'émetteur principal. En conséquence, la zone impactée se trouve éloignée des zones urbanisées. Dans le même temps, l'impact de l'activité portuaire sur les concentrations en SO₂ devient quasi insignifiant, suite au changement de réglementation sur la teneur en soufre des carburants.

¹ Atmo Nord-Pas-de-Calais, « Campagne d'évaluation de la qualité de l'air à Calais Port du 27 janvier au 20 juillet 2014 », rapport d'étude N°03/2014/LL, 2015



- l'analyse des dépassements de seuils :
 - **pour le NO₂ : Les résultats montrent des dépassements de la valeur limite en moyenne annuelle (40 µg/m³), localisés en proximité des principaux axes routiers et au sein du terminal ferries dans sa configuration 2011, qui tendent à se résorber complètement au fil des simulations 2021 et 2030.** Les dépassements du percentile 99,8 (résultat considéré comme statistiquement équivalent à la valeur limite horaire de 200 µg/m³ à ne pas dépasser plus de 18 fois par an) sont très limités en 2011 et se résorbent de la même façon.
 - **pour les PM10 : On constate également des dépassements de la valeur limite en moyenne annuelle en 2011 (40 µg/m³) sur une surface très limitée et proche de l'A16, et qui se résorbent également dès 2021.** Par contre, des dépassements du percentile 90,2 (résultat considéré comme statistiquement équivalent à la valeur limite journalière de 50 µg/m³ à ne pas dépasser plus de 35 fois par an) sont présents sur une grande partie du domaine en 2011, en particulier à cause d'une pollution de fond élevée, et qui se répercute dans une moindre mesure sur les années 2021 et 2030.

En conclusion, les résultats de l'étude corroborent les observations faites dans le cadre du rapport d'étude 03/2014/LL qui met en évidence de nombreuses augmentations simultanées des concentrations en monoxyde d'azote et dioxyde de soufre, caractéristiques de la proximité des navires. En conséquence, **le site de mesure située quai Paul Devot semble approprié pour l'observation de l'impact des émissions maritimes et portuaires.**

L'importance des rejets de l'activité portuaire en oxydes d'azote (de l'ordre de 1000 t / an) justifie une surveillance à l'issue des travaux de l'extension portuaire : l'exposition des populations est visée pour les usagers du terminal (près de 10 millions de voyageurs l'empruntent chaque année) ou dans le cadre d'une extension des zones urbanisées.



ATMO NORD - PAS-DE-CALAIS

Ses missions

L'association régionale pour la surveillance et l'évaluation de l'atmosphère, **atmo Nord - Pas-de-Calais**, surveille la qualité de l'air dans la région et informe la population sur l'ensemble de la région.

Elle s'appuie sur son expertise, sur des techniques diversifiées (station de mesures, modèles de prévisions, ...) et sur ses adhérents (collectivités, associations, services de l'Etat, industriels). Ensemble, ils définissent le programme de surveillance et d'évaluation de l'atmosphère, en réponses aux enjeux régionaux et territoriaux.

Association loi 1901, agréée par le Ministère en charge de l'Ecologie et du Développement Durable, **atmo Nord - Pas-de-Calais** repose sur les principes de **collégialité, d'impartialité et de transparence des résultats pour** :

- **Surveiller – mesurer** les concentrations de polluants (données fiables, continues ou ponctuelles) ;
- **Etudier** – comprendre les phénomènes de pollution atmosphérique ;
- **Alerter** immédiatement et informer nos publics ;
- **Sensibiliser** les différents acteurs aux enjeux de la pollution atmosphérique ;
- **Inform** en permanence sur l'état de la qualité de l'air ;
- **Accompagner – Conseiller – Aider – Former** les acteurs régionaux et les autorités (simulation, identification d'indicateurs, évaluation des actions...).

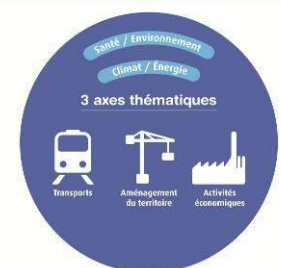
atmo Nord - Pas-de-Calais mesure les concentrations d'une trentaine de polluants gazeux et particulaires, dont douze sont soumis à des valeurs réglementaires. Les modalités de cette surveillance sont présentées en [annexe 2](#).

Cette surveillance est menée en application des exigences européennes, nationales et locales dans le cadre de programmes d'études en air ambiant et en environnements intérieurs, pour les différentes composantes atmosphériques (Air, Climat et Energie).

Stratégie de surveillance et d'évaluation

Forte de près de 40 ans d'expertise, **atmo Nord - Pas-de-Calais** ajuste sa stratégie de surveillance et d'évaluation de l'atmosphère en fonction des **enjeux territoriaux et locaux** : la santé et l'environnement, le climat, l'aménagement du territoire, les transports, les activités économiques...

S'appuyant sur l'analyse de l'état des lieux régional (bilan des actions menées, cibles, éléments de contexte), de l'identification des enjeux spécifiques au Nord - Pas-de-Calais et de l'évaluation du niveau de connaissances sur chacune des problématiques, son **programme d'évaluation de l'atmosphère 2011-2015 s'inscrit dans une démarche transversale « Air, Climat, Energie »**.



Fruit d'un travail mené avec ses membres, il identifie cinq axes majeurs, déclinés en plans d'actions :

- deux axes transversaux : **Santé/Environnement et Climat/Energie** ;
- trois axes thématiques : **Aménagement du territoire, Transport et Activités économiques**.

La mise en œuvre de la stratégie de surveillance et d'évaluation contribue à confirmer et compléter la surveillance et l'observation du territoire, à accompagner nos adhérents (collectivités, industries, services de l'Etat, associations...) dans leurs projets en mettant à leur disposition nos outils d'aide à la décision.

Elle permet notamment, à partir d'une gamme élargie de polluants surveillés et de techniques d'évaluation et de simulation interfacées, de porter à connaissance les résultats.



ENJEUX ET OBJECTIFS DE L'ETUDE

Dans le cadre des mesures environnementales du projet d'aménagement « Calais Port 2015 », la Direction des Ports du Conseil Régional Nord - Pas de Calais a sollicité atmo Nord - Pas de Calais, organisme agréé de surveillance de la qualité de l'air par le Ministère en charge de l'environnement, pour définir les modalités d'un suivi de l'impact sur la qualité de l'air du projet d'extension portuaire.

Ce suivi est réalisé conformément aux préconisations du dossier d'étude d'impact du projet : mesure d'accompagnement Ac09 « mesure de la qualité de l'air (modélisation) ».

Pour ce faire, Atmo Nord-Pas de Calais a réalisé une étude de dispersion à l'aide du modèle ADMS Urban complémentaire au déploiement de mesures par station mobile. Cette étude a pour but de cartographier avec une résolution spatiale élevée les concentrations moyennes annuelles et percentiles¹ issues de la dispersion des rejets de l'activité portuaire, qu'elle soit maritime ou automobile, dans un domaine centré sur le port de Calais. L'objectif est de localiser l'impact de l'activité portuaire, notamment à l'issue du projet.

En outre, les travaux d'inventaire des émissions maritimes réalisés dans le cadre de cette étude viendront alimenter l'inventaire régional des émissions d'atmo Nord-Pas-de-Calais.

L'étude comporte deux phases :

- une phase correspondant à l'état initial avant travaux, avec l'année 2011 pour référence,
- une phase correspondant à l'analyse de deux scénarios prenant en compte la répartition spatiale ainsi que la nature des rejets de polluants à l'issue des travaux, et basés sur les années 2021 et 2030.

¹ 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 µg/m³ plus de 35 jours par an, alors la valeur du percentile 90,4 % des données journalière de l'année considérée ne doit pas dépasser 50 µg/m³.



PARAMETRES DE LA MODELISATION

Le modèle utilisé

Le modèle ADMS Urban version 3.1, développé par Cambridge Environmental Research Consultants (CERC), a été utilisé. Ses 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, dans un seul et même domaine, jusqu'à 3000 sources linéaires routières, 1500 sources industrielles (ponctuelles, linéaires, surfaciques, et volumiques), et d'une grille de 3000 cellules,
- 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>



Domaine de simulation

Périmètre d'étude



Figure 1 : périmètre de l'étude

Le périmètre d'étude, au sein duquel les concentrations en polluants sont calculées, est centré sur la ville et le port de Calais. D'une dimension de 5,9 par 6,6 km, il inclut le port, son extension future, ainsi que la RN / A216 jusqu'à son embranchement avec l'A26. Ce domaine est étendu pour les besoins de la modélisation à 1 km supplémentaire afin de prendre en compte les sources de polluants extérieures.

Grille de calcul

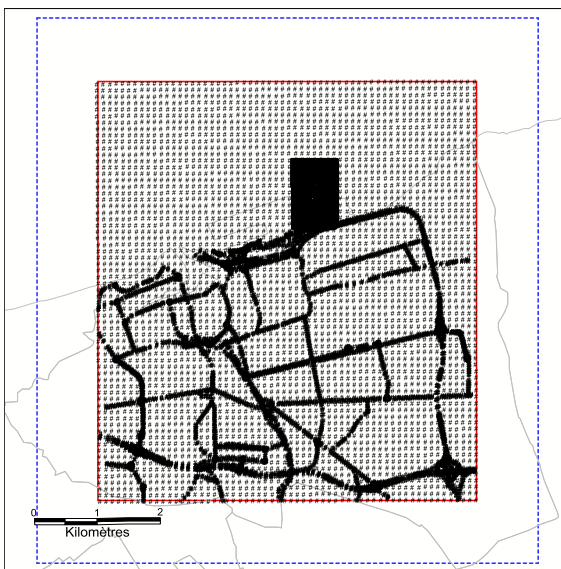


Figure 2 : grille de calcul du modèle

La grille est composée de 16 300 points de calcul répartis dans le domaine de simulation selon un maillage régulier (100 mètres), complété par un maillage « intelligent » de points positionnés de part et d'autres des tronçons routiers. Tous les points de calcul des concentrations sont positionnés à une hauteur de 1,5 m.



Les périodes simulées

Plusieurs périodes ont été simulées pour les besoins de l'étude. Pour la phase de calage du modèle et d'état initial, les concentrations ont été simulées sur deux périodes :

- au niveau des stations fixes et mobiles uniquement pour une période allant du **27 janvier au 20 juillet 2014**, qui correspond à la campagne de mesure par station mobile sur le port de Calais¹.
- au niveau des stations ainsi que sur l'ensemble du domaine de simulation pour **l'année 2011**.

Pour la phase de scénarisation **les années 2021 et 2030** ont été simulées sur l'ensemble du domaine.

Lors de chaque simulation, les concentrations ont été calculées sur un pas de temps horaire. Pour être comparables aux valeurs réglementaires. Les données horaires calculées par le modèle sont ensuite agrégées en moyennes en percentiles annuels.

Autres paramètres

Données météorologiques

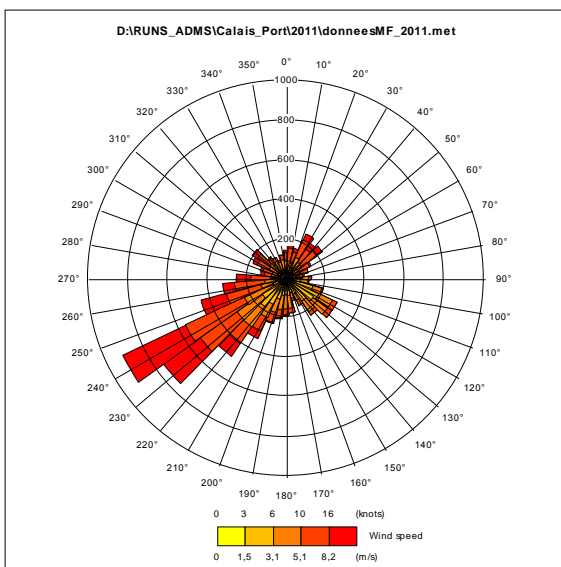


Figure 3 : rose des vents à Calais Marck - 2011

Pour la modélisation, les données Météo France observées sur la station de Calais Marck en 2011 ont été utilisées. Les paramètres retenus sont la direction du vent, la vitesse du vent, la température, l'humidité relative et la nébulosité. Ces données sont présentées en une série de moyennes horaires sur une année.

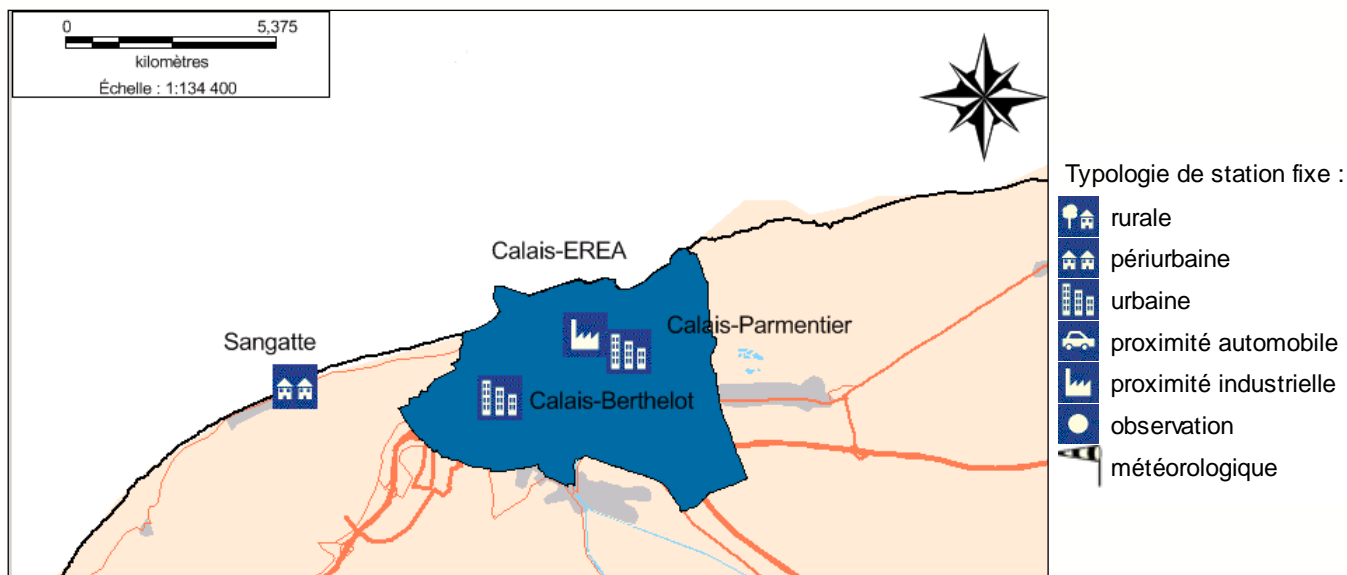
Concentrations de fond

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.

¹ Atmo Nord-Pas-de-Calais, « Campagne d'évaluation de la qualité de l'air à Calais Port du 27 janvier au 20 juillet 2014 », rapport d'étude N°03/2014/LL, 2015



Pour cette étude les mesures horaires en monoxyde d'azote NO, dioxyde d'azote NO₂, oxydes d'azote NO_x, et ozone O₃ provenant de la station périurbaine de Sangatte sur l'année 2011 ont été utilisées. Elles sont complétées par les mesures horaires en particules PM10 de la station périurbaine d'Outreau. 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.



Localisation et typologie des stations fixes de l'agglomération de Calais.



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 \(origines principales\)](#)

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, la 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.

Les particules en suspension (PM10)

[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 particules 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 étude réalisée sur plusieurs villes européennes dont Lille, les particules en suspension seraient responsables de 42 000 décès prématurés par an en France (programme Clean Air for Europe) et réduiraient de 6 mois en moyenne notre espérance de vie (programme Aphekom – résultats pour Lille).

[Impacts environnementaux](#)

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



ETAT INITIAL 2011

Estimation des émissions 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 (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 périurbaine.

Les sources modélisées sont donc :

- le trafic automobile sur les axes principaux,
- le secteur résidentiel, tertiaire et commercial,
- les industries,
- le secteur maritime et portuaire.

Secteur des transports routiers

L'activité du port étant majoritairement liée aux ferries, le trafic routier dans l'enceinte du port est important et ses émissions de polluants doivent être modélisées. Pour cela il convient tout d'abord de représenter les tronçons routiers pour pouvoir calculer leurs émissions et ensuite les intégrer dans ADMS sous forme de sources linéaires.

Construction des réseaux routiers :

Les tronçons routiers hors du port ont été assemblés sous Mapinfo depuis la BDTOP0 de l'IGN en fonction de leur importance, du nombre de voies, de la largeur et de la pente. La 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%. Ces tronçons sont utilisés dans l'inventaire d'émissions régional d'atmo Nord-Pas-de-Calais (version A2010 M2012).

Les tronçons situés dans l'enceinte du port ont été représentés manuellement à partir des fonds de carte Open Street Map des accès portuaires du terminal Ferries pour l'état initial 2011. Pour les scénarii 2020 et 2030 la géométrie des réseaux est tirée de plans de masse du nouveau terminal ferry fournis par le Conseil Régional.

Les réseaux primaire (autoroutes et axes principaux) et secondaire (voies urbaines) ne varient pas de géométrie de 2011 à 2030, on a donc conservé le réseau assemblé depuis la BDTOP0.

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.



On obtient le réseau suivant :

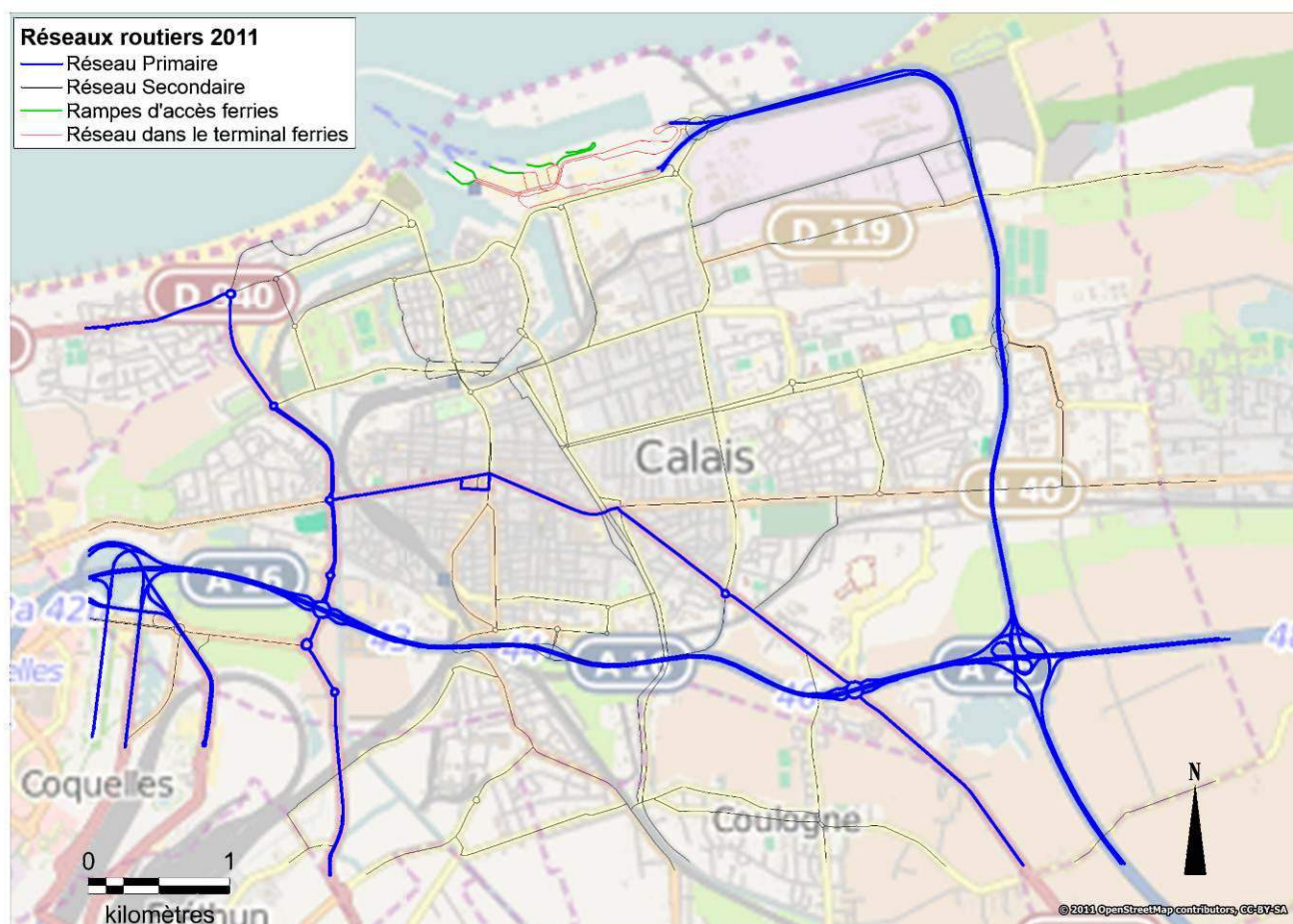


Figure 4 : Réseau routier 2011

Le réseau primaire est représenté en traits bleus épais. Le réseau secondaire en traits noirs et le réseau primaire est en traits bleus fins pour les tronçons d'accès au terminal, en traits rouges pour les tronçons de sortie du port et en vert pour les rampes d'accès aux ferries.

Les rues d'importance plus faibles ne sont pas représentées du fait du manque de données de comptage. Le réseau routier 2011 contient 367 tronçons.

Placement des comptages de trafic routier

Pour l'état initial 2011 les comptages sont attribués aux tronçons routiers une fois l'assemblage géométrique des tronçons effectué. Les données de comptage les plus récentes sont pour l'année 2010 : ces comptages ont donc été 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 2011 grâce aux données d'évolution du trafic du SOeS¹.

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 TMJA si 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.

¹ Service de l'Observation et des Statistiques, Commissariat Général au Développement Durable, Ministère de l'Ecologie, du Développement Durable et de l'Energie.



Les données de trafic portuaire sont calculées à partir du nombre global de véhicules transitant dans le terminal ferries à l'année (données tirées du rapport environnemental annuel 2011 du Port de Calais). Ces données sont ensuite divisées par le nombre de jours de l'année pour obtenir un trafic journalier moyen (TMJA), puis réparties sur les différents tronçons en fonction de leurs usages (voies d'entrées ou de sortie, rampes d'accès aux navires).

Les données horaires de trafic routier, disponibles pour les comptages obtenus par le biais de boucles SIREDO, 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 de comptage (absence de données horaires de comptage), se verront attribuer des profils types correspondant à la nature des voies (autoroute, nationales, voies urbaines...). Ces profils ne correspondant pas exactement à la route en question, ils induisent donc des incertitudes liées aux spécificités locales de trafic.

[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 (1650 véhicules/voie pour les autoroutes et assimilées, 1300 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 déterminés en fonction du type de routes.
- le parc automobile, fourni par le CITEPA pour toutes les années jusqu'à 2030.
- les données météo utilisées sont les mêmes sur l'ensemble de la région (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'ASPA. Les données d'entrées sont regroupées dans une fiche Excel et les émissions calculées seront exportées dans une base SQL.

Chaque tronçon a été affecté d'un identifiant unique et pour chaque tronçon les émissions par type de véhicule seront calculées pour l'année.

[Résultats : émissions trafic année 2011](#)

Les émissions ont été calculées par tronçon routier puis regroupées dans le tableau suivant :

Année 2011			
Sources	SO ₂ (kg)	NOx (kg)	PM10 (kg)
Réseau Primaire	701	613 411	49 552
Réseau Secondaire	98	64 983	7 100
Terminal Ferries	27	30 596	1 674
TOTAL	825	708 991	58 326

Ces émissions seront ensuite converties en gramme/km/seconde pour chaque tronçon. Elles serviront pour la modélisation des concentrations de polluants pour la zone d'étude.



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 A2008 M2010) et agrégées sous la catégorie SECTEN « Résidentiel & Tertiaire ».

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 et la production d'eau chaude, 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 population 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 et commerciales, les rejets ont été spatialisés sur des polygones qui incluent de façon schématisée les surfaces catégorisées 111 et 112 dans la nomenclature CORINE Land Cover.

Une hauteur de 10 mètres est ensuite affectée à ces polygones pour les transformer en sources volumiques dans le modèle (hauteur moyenne préconisée par NUMTECH pour la modélisation des émissions des habitations).

Le tableau suivant reprend les émissions communales du secteur résidentiel et tertiaire utilisées dans le cadre de cette étude.

Commune	SO ₂ kg/an 2008	NO _x kg/an 2008	PM ₁₀ kg/an 2008
CALAIS	43 370	165 914	111 065

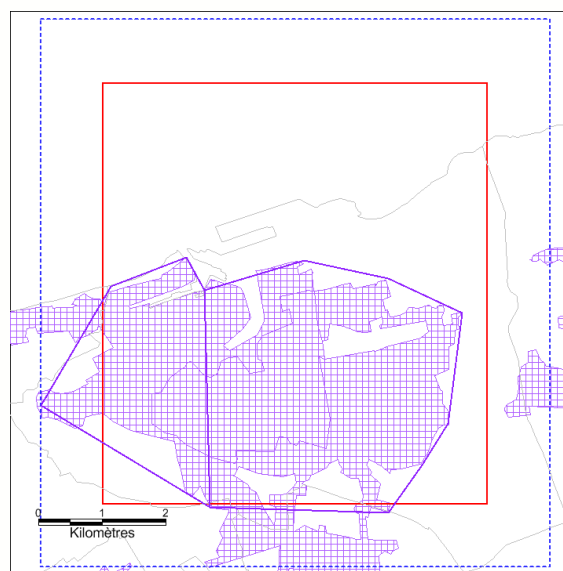


Figure 5 : Sources volumiques (en traits mauves) décrivant les émissions du secteur résidentiel et tertiaire dans le modèle



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 notre domaine d'étude.

Les paramètres des points d'émissions tels que la position des cheminées, leur hauteur, la vitesse d'éjection et la température des fumées sont issus de l'inventaire réalisé dans le cadre de l'étude de risque sanitaire de zone menée sur Calais par SPPPI en 2006¹.

Afin de ne pas alourdir le modèle avec des sources peu significatives, les émetteurs en NO_x, SO₂ et PM10 émettant moins de 5t/an ont tout d'abord été écartés.

Les émissions en kg/an ont été recalculées sur la base des données déclaratives GEREPI 2011. Au préalable, le poids de chaque source au sein des établissements a été estimé sur la base des données recensées pour l'étude du SPPPI, puis multiplié par la quantité de polluants déclarée par chaque établissement en 2011.

Au final, 13 sources industrielles ont été décrites dans le modèle : 12 sources ponctuelles et 1 source surfacique. Les établissements concernés sont CALAIRE, Dalkia, ENERSOL, INTEROR, Tioxide, UCAR.

Polluants	SO ₂ kg/an 2011	NO _x kg/an 2011	TSP kg/an 2011
Total industries 2011	798 779	209 696	9 587

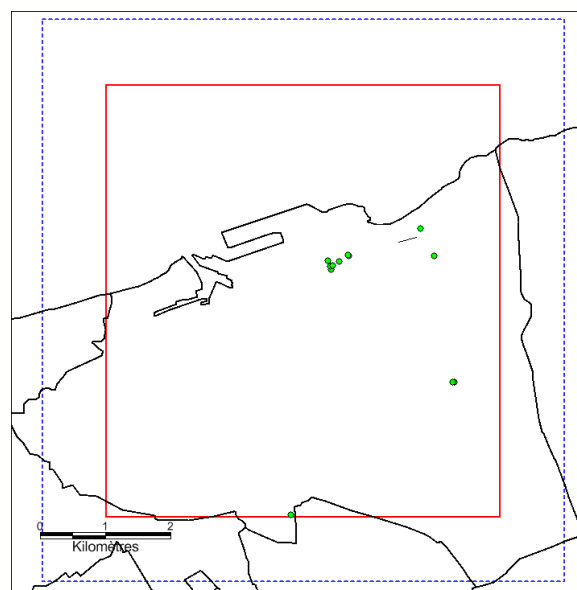


Figure 6 : Position des sources industrielles dans le domaine d'étude.

¹ SPPPI « Recensement et localisation des émissions de polluants dans les industries du Calais – Modélisation globale de la dispersion de ces polluants », 2006



Secteur maritime et portuaire

Description

Le Port de Calais est un port de voyageurs dont l'activité principale repose sur la liaison Calais-Douvres, parcourue par les ferries.

Les premières données recueillies sont celles obtenues directement auprès du Port de Calais. Elles contiennent :

- le nom de chaque navire ayant transité par le port,
- le numéro Lloyd's qui leur est affecté,
- le nombre et le type de mouvement effectué.
- leur zone d'affectation dans le port.

ANNEE 2011

Nom navire	Lloyd	nombre mouvements	Type mouvement
ABIS BILBAO	9545027	1	ENTREE
ABIS BILBAO	9545027	1	SORTIE
ARCO ADUR	8700814	1	ENTREE
ARCO ADUR	8700814	1	SORTIE
ARCO ARUN	8513431	1	ENTREE
ARCO ARUN	8513431	1	ENTREE
ARCO ARUN	8513431	1	SORTIE
ARCO ARUN	8513431	1	SORTIE
ARCO BECK	8817722	1	ENTREE
ARCO BECK	8817722	1	ENTREE

Figure 7: Extrait des données recueillies par le Port de Calais

On compte ainsi en 2011, 27 662 mouvements pour les ferries et 656 mouvements pour les « autres bateaux » (pour rappel, un mouvement = 1 aller OU 1 retour, soit une escale = deux mouvements).

Malgré la précision des données obtenues, une donnée essentielle aux calculs des émissions s'est avérée manquante : la consommation, selon le type de manœuvre (à quai, en manœuvre, en croisière), pour chaque type navire.

Le document du MEET¹ propose des facteurs de consommations, en tonne/heure, mais qui dépendent du type de navire. Il a donc été nécessaire, avant de démarrer les calculs de consommations, de déterminer quel était le type de chaque navire ayant transité dans le Port de Calais, ainsi que la durée de chacune de leur manœuvre.

Etapas suivies

Identification du « type » de navire et des manœuvres

L'identification du type de navire a été réalisée grâce à une recherche internet associant le nom du navire à son numéro Lloyd's.

Le site <http://www.shipspotting.com> indiquait ainsi s'il s'agissait d'un cargo, d'un vraquier, d'un ferry, etc. Les types de navires considérés dans cet inventaire sont :

- solid bulk
- sail ships
- tugs

¹ Methodologies for estimating air pollutant emissions from ships



- fishing
- other ship
- liquid bulk
- general cargo
- container
- passenger/Ro-Ro/Cargo
- passenger
- high speed ferry
- inland cargo

Les manœuvres à considérer sont :

- Hotelling = à quai
- Manoeuvring = en manœuvres
- Slow cruise = en navigation à l'intérieur du port
- Cruise = en navigation à l'extérieur du port

Hypothèses de travail établies

Le tableau et le schéma pages suivantes récapitulent le découpage du port en fonction des types de navire et du type d'émissions qui y sont rencontrés.

a) Détermination du temps de manœuvre

Manœuvre	Hotelling	Manoeuvring	Slow cruise	Cruise
Ferries	1h	10 min à l'arrivée 15 min au départ	5 min à l'aller 5 min au retour	5 min à l'aller 5 min au retour
Autres bateaux	24h	40 min au total	9 min à l'aller 9 min au retour	5 min à l'aller 5 min au retour



a) Calculs des consommations

Le temps de manœuvre présenté ci-dessus a été multiplié par le facteur de consommation (présenté en tonnes/heures) qui lui était rattaché et par le nombre de mouvements du navire en question (établi sous forme de pourcentage du trafic total du port en 2011) : on obtient alors une consommation en tonne par navire et par type de manœuvre.

b) Carburants utilisés

Les ferries utilisent deux types de carburant : la machinerie principale utilise du fioul lourd tandis que les moteurs auxiliaires fonctionnent au diesel marine léger. Le diesel marine léger étant moins émissif que le fioul lourd, les ferries doivent basculer sur les moteurs auxiliaires lorsqu'ils sont à quai.

Les « autres bateaux » fonctionnent uniquement au diesel marine léger.

Bateaux	Carburant	Utilisation	Code NAPFUE ¹	Facteur d'émissions SO ₂ (g/GJ)
Ferries	Fioul lourd	Navigation et manœuvres	203	583
	Diesel marine léger	Uniquement à quai	204	445
Autres bateaux	Diesel marine léger	Navigation, manœuvres et à quai	204	445

c) Calculs des émissions

Une fois les consommations calculées et affectées à leurs brins/quais/manœuvres, il ne reste qu'à les multiplier par les facteurs d'émissions respectifs fournis par OMINEA².

¹ Le code Napfue (Nomenclature for Air Pollution of FUEls), utilisé dans la nomenclature nationale, permet d'identifier le combustible consommé ; « 203 » correspond au fioul lourd et « 204 » au fioul domestique.

² Organisation et Méthodes des Inventaires Nationaux des Emissions Atmosphériques en France - Rapport disponible suivant ce lien : <http://www.citepa.org/fr/activites/inventaires-des-emissions/ominea>



Découpage du port en fonction du trafic et du type d'émissions (elles-mêmes liées aux modes de consommations) :

Poste/Bassin/ Trajet	Affectation	% du trafic total du port en 2011	Mode pris en compte	Type d'émission
1205	Postes réservés aux ferries	15%	hotelling et manoeuvring	ponctuelle
1206		21%		
1207		24%		
1208		25%		
1209		11%		
5601	Poste/bassins réservés aux « autres bateaux »	2%		surfacique
Arrière-port		0,13%		
Carnot		1,53%		
Ravisse		1,34%		
Brin 1205	Trajets effectués par les ferries	15%	slow cruise	linéaire
Brin 1206		21%		
Brin 1207		24%		
Brin 1208		25%		
Brin 1209a		11%		
Brin 1209b				
Brin 5601	Trajets effectués par les autres bateaux	2%		
Brin AP		0,13%		
Brin Carnot		1,53%		
Brin EPa		1,34%		
Brin EPb				
Brin croisière	Trajet tous bateaux confondus	100%	cruise	



🌿 Résultats : émissions portuaires année 2011

Année 2011			
Sources	SO ₂ (kg)	NOx (kg)	PM10 (kg)
Poste 1205	29 316	89 050	6 431
Poste 1206	39 966	121 398	8 768
Poste 1207	45 406	137 924	9 961
Poste 1208	48 842	148 361	10 715
Poste 1209	20 358	61 838	4 466
Poste 5601	2 762	9 153	577
Bassin Ravisse	2 524	8 367	528
Bassin Carnot	2 887	9 568	603
Arrière Port	237	787	50
trajets postes	58 111	147 021	13 855
trajets EP	664	2 202	139
trajet poste 5601	727	2 409	152
trajet "cruise"	75 356	191 658	17 929
trajet Arrière Port	62	207	13
trajet Bassin Carnot	760	2 518	159
TOTAL	327 978	932 461	74 346

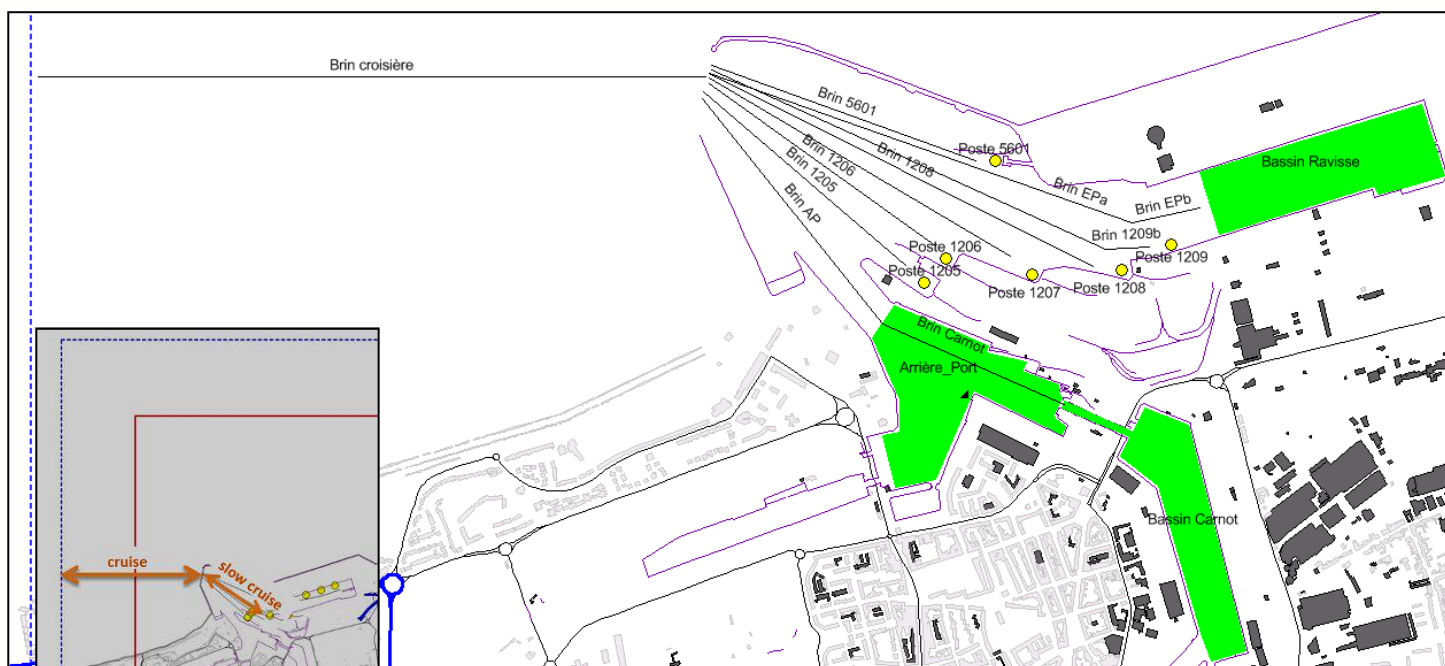


Figure 8 : Découpage des sources maritimes du port de Calais, année 2011

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 rejets moyens annuels de chaque source en fonction du mois, du jour et de l'heure. En l'absence de données spécifiques, les mêmes profils ont été appliqués sur les tronçons routiers du terminal ferries et sur le réseau secondaire.

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 2011

Secteur	SO ₂ 2011(kg)	NOx 2011(kg)	PM10 2011(kg)
Transports routiers	825	708 991	58 326
Résidentiel et tertiaire	43 370	165 914	111 065
Industriel	798 779	209 696	9 587
Maritime et portuaire	327 978	932 461	74 346
TOTAL	1 170 952	2 017 062	253 324



Exploitation des résultats 2011

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 »¹ 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 %

D'autres paramètres (coefficient de corrélation, NMSE², biais normalisé³) 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

Afin d'établir ces statistiques, les concentrations ont été calculées au niveau des stations de mesure présentes dans le domaine et à une résolution horaire. Deux périodes ont été considérées : l'une sur le courant de la campagne de mesure de février à juillet 2014 pour tenir compte de la présence de la station mobile Quai Paul Devot, et l'autre sur l'ensemble de l'année 2011, qui correspond à l'état initial de cette étude.

¹ « GREX URB », septembre 2010

² 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.

³ 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.

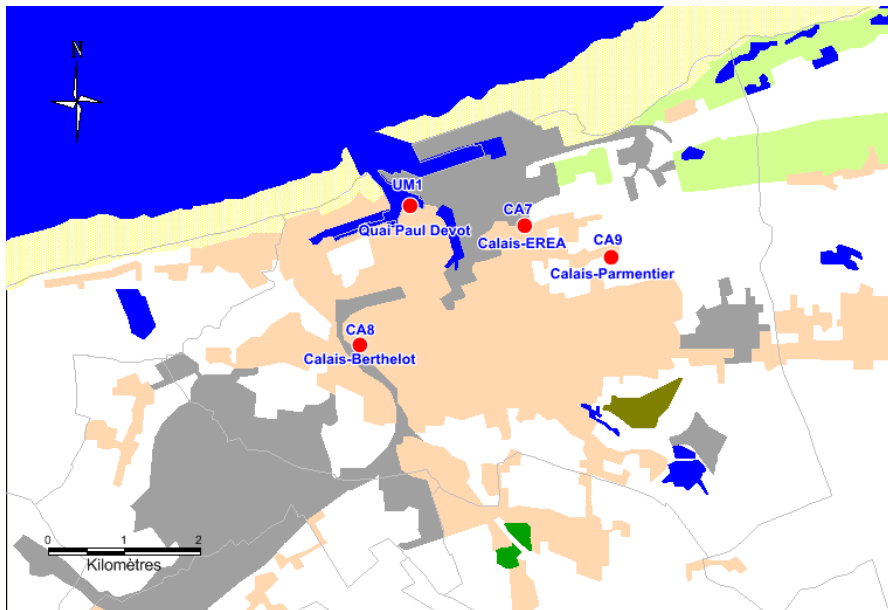


Figure 9 : localisation des stations utilisées dans la comparaison modèle / mesure

Résultats campagne 2014

Station et polluant	Moyenne mesures $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Moyenne Modèle $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Coefficient de corrélation	Erreur relative %	NMSE %	Biais normalisé %
CA7-NO ₂	22.11	18.54	0.72	-16%	62%	-18%
CA7-SO ₂	3.4	4.06	0.56	20%	211%	18%
CA8-PM ₁₀	22.18	24.05	0.81	8%	41%	8%
CA9-NO ₂	17.17	17.87	0.75	4%	60%	4%
CA9-PM ₁₀	21.87	23.77	0.63	9%	59%	8%
CA9-SO ₂	1.13	1.83	0.14	62%	466%	48%
UM1-NO ₂	24.08	20.86	0.71	-13%	63%	-14%
UM1-PM ₁₀	22.65	23.68	0.71	5%	52%	4%
UM1-SO ₂	3.76	3.27	0.57	-13%	208%	-14%

La comparaison modèle / mesure sur la période de la campagne 2014 inclut la station mobile située quai Paul Devot, soit en proximité des bassins empruntés par les ferries.

Sur l'ensemble de cette période, l'objectif de l'écart relatif compris entre -30 % et +30 % est atteint à l'exception du SO₂ sur la station de Calais Parmentier (CA9).

En moyenne mensuelle (Cf Annexe 6), le critère n'est pas respecté pour en juillet pour le NO₂ sur la station mobile, février pour les PM₁₀ sur la station mobile et Calais Parmentier.

Pour le SO₂, 11 valeurs d'écarts relatifs mensuels sont en dehors de l'intervalle acceptable.

Le fait que le SO₂ soit la plupart du temps une pollution qui se disperse sous forme de panaches la rend difficile à modéliser, puisqu'un écart de mesure de direction du vent ou une imprécision dans la description de la stabilité peut impliquer que le modèle fasse se disperser la pollution à côté du point représentant la station, ou inversement. Plus la période de comparaison modèle mesure est courte, plus cette tendance se renforce.

Il faut également pondérer ces écarts relatifs en considérant les valeurs absolues : puisque les moyennes sont souvent très faibles, un écart modèle - mesure absolue de 1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en SO₂ peut facilement impliquer un écart



relatif de plus de 30 %. En métrologie, la limite de détection admise pour le dioxyde de soufre est de 1 ppb soit 2.67 µg/m³.

Résultats 2011

Station et polluant	Moyenne mesures µg/m ³	Moyenne Modèle µg/m ³	Coefficient de corrélation	Erreur relative %	NMSE %	Biais normalisé %
CA7-NO2	24.28	19.84	0.77	-18%	57%	-20%
CA7-SO2	3.8	3.33	0.50	-12%	255%	-13%
CA8-PM10	27.22	27.6	0.87	1%	32%	1%
CA9-NO2	20.2	19.37	0.78	-4%	55%	-4%
CA9-PM10	26.43	27.63	0.86	5%	34%	4%
CA9-SO2	1.98	1.83	0.29	-7%	229%	-8%

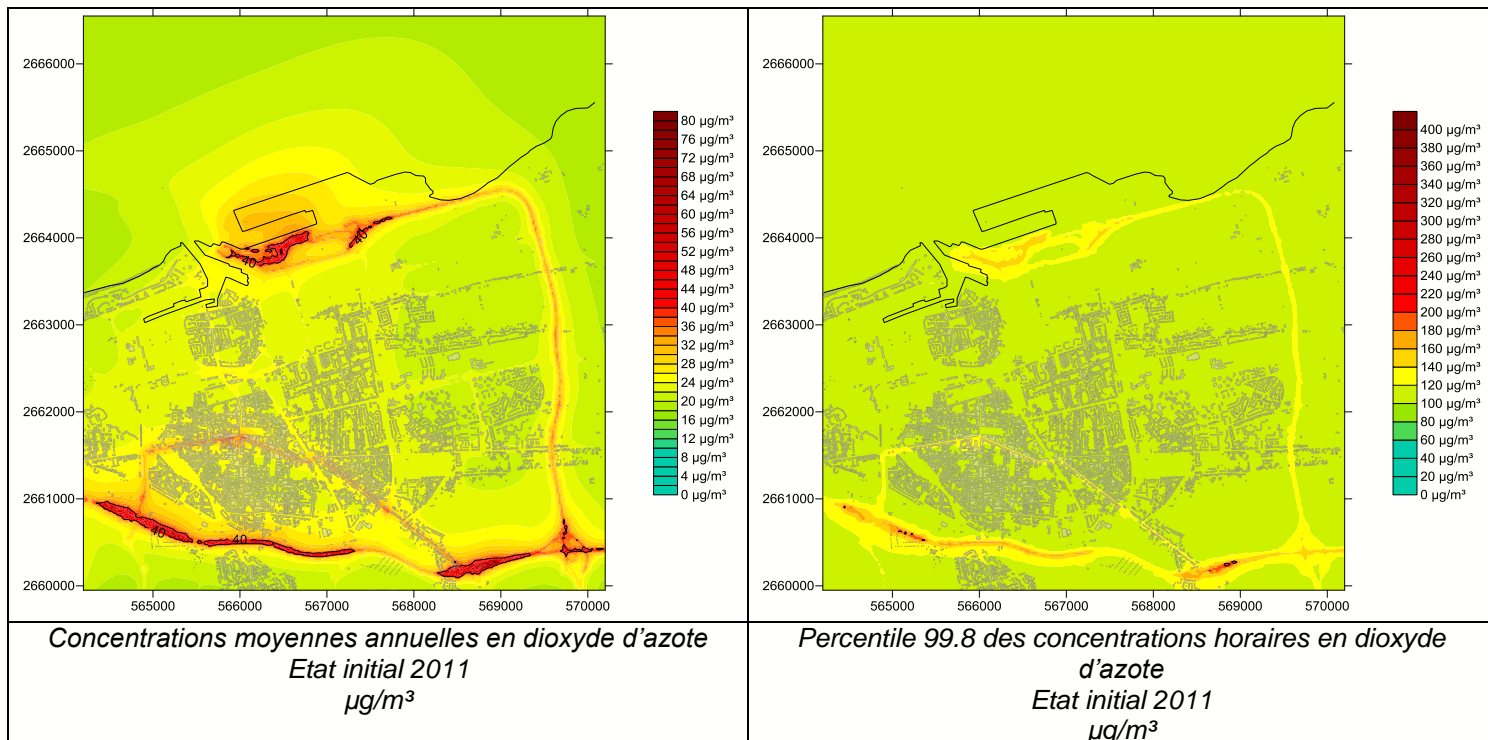
Sur l'année 2011, l'objectif en erreur relative annuelle fixé par la directive est atteint pour tous les polluants sur chaque point de mesure.

En moyenne mensuelle, 3 valeurs sont en dehors de l'écart relatif acceptable pour le NO₂, 2 pour les PM10, et 10 sur 24 pour le SO₂. (Cf ; Annexe 6).



Cartographies et interprétation

Dioxide d'azote NO₂



La carte des concentrations moyennes annuelles en dioxyde d'azote pour 2011 montre un gradient de concentration assez net entre la proximité des principaux axes routiers (A16, N216) et la situation dite « defond », c'est-à-dire hors proximité d'une source particulière. L'influence des axes routiers du terminal ferries est également bien visible en proximité. Celle du trafic de navires semble moins importante, cependant elle est étendue à toute la zone des postes à quai des ferries, ainsi que plus au nord.

La valeur limite en moyenne annuelle fixée à 40 µg/m³ est dépassée sur une surface qui comprend la bordure immédiate de l'A16, ainsi que plusieurs tronçons du terminal ferries.

La carte de percentile 99,8 montre également un gradient qui va décroissant de la proximité des principaux axes routiers vers le fond. Par contre, on ne remarque plus l'influence des navires au niveau des bassins.

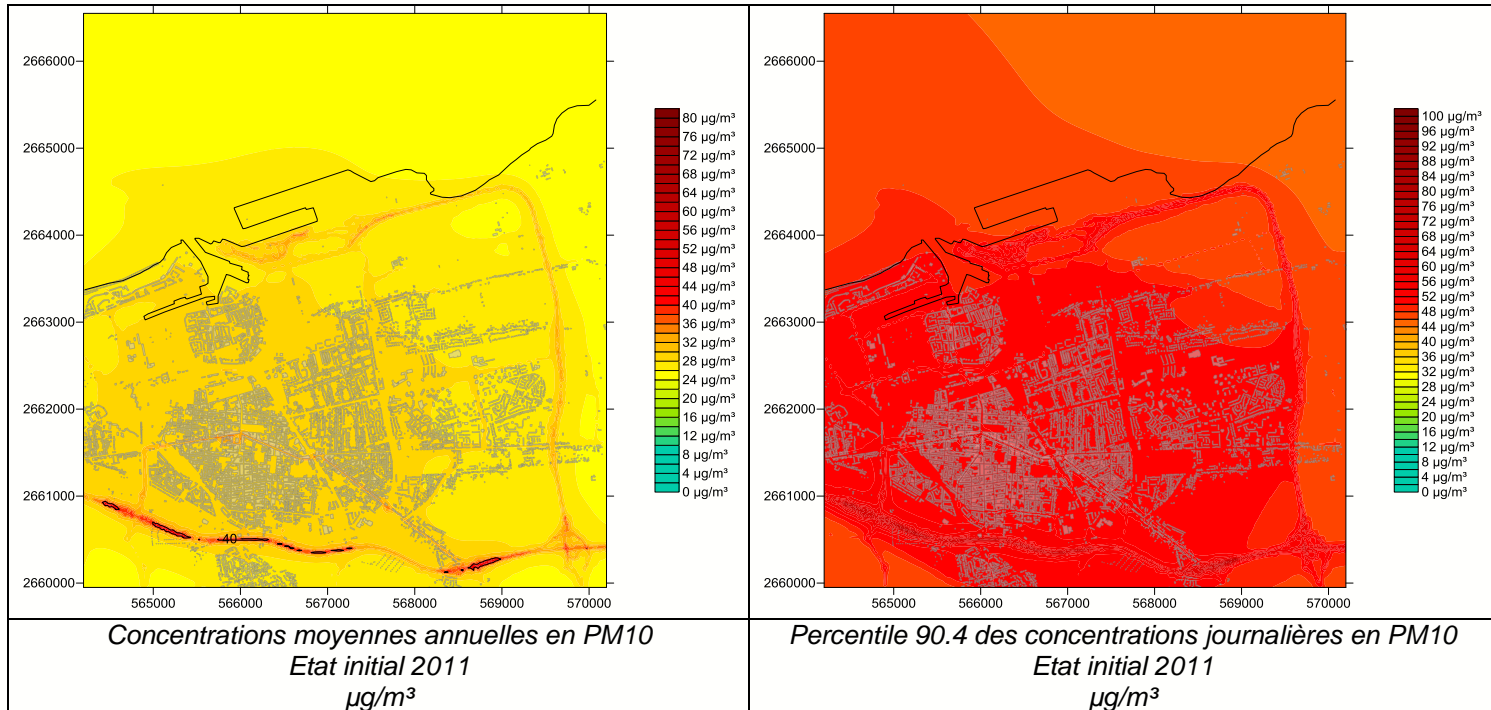
La valeur limite en percentile 99,8 (200 µg/m³, ou valeur horaire à ne pas dépasser plus de 18 fois par année civile) est dépassée sur une surface très limitée située en proximité immédiate de l'A16.

On constate donc que l'influence du trafic routier est prépondérante pour le NO₂ : d'une part en proximité des principaux axes à trafic et vitesse plus élevée comme l'A16, et d'autre part en proximité des terminaux ferries affectés par un trafic de poids lourds qui approche 100% sur certains tronçons.

Dès lors, malgré les rejets de NO_x sensibles, l'influence des ferries sur les concentrations en NO₂ semble secondaire. Il faut rappeler que ces rejets ont été modélisés sous forme de sources volumiques situées à une hauteur de 30 mètres, si bien que leur dispersion est bien plus importante que celle des rejets du trafic routier qui sont au niveau du sol. Comme le montre la carte en moyenne annuelle, l'influence des ferries serait donc faible en proximité mais étendue, puisque l'augmentation des concentrations concerne une zone qui dépasse largement les bassins du port.



Particules en suspension PM10



La carte des concentrations moyennes annuelles 2011 en PM10 est influencée par les sources routières et, dans une moindre mesure, le secteur résidentiel et tertiaire, comme le montre la répartition des concentrations où les valeurs sont maximales en proximité des grands axes routiers, mais ne décroissent qu'à l'extérieur des zones urbanisées.

La valeur limite de 40 µg/m³ est dépassée au niveau de l'autoroute A16, sans que des zones bâties ne soient couvertes.

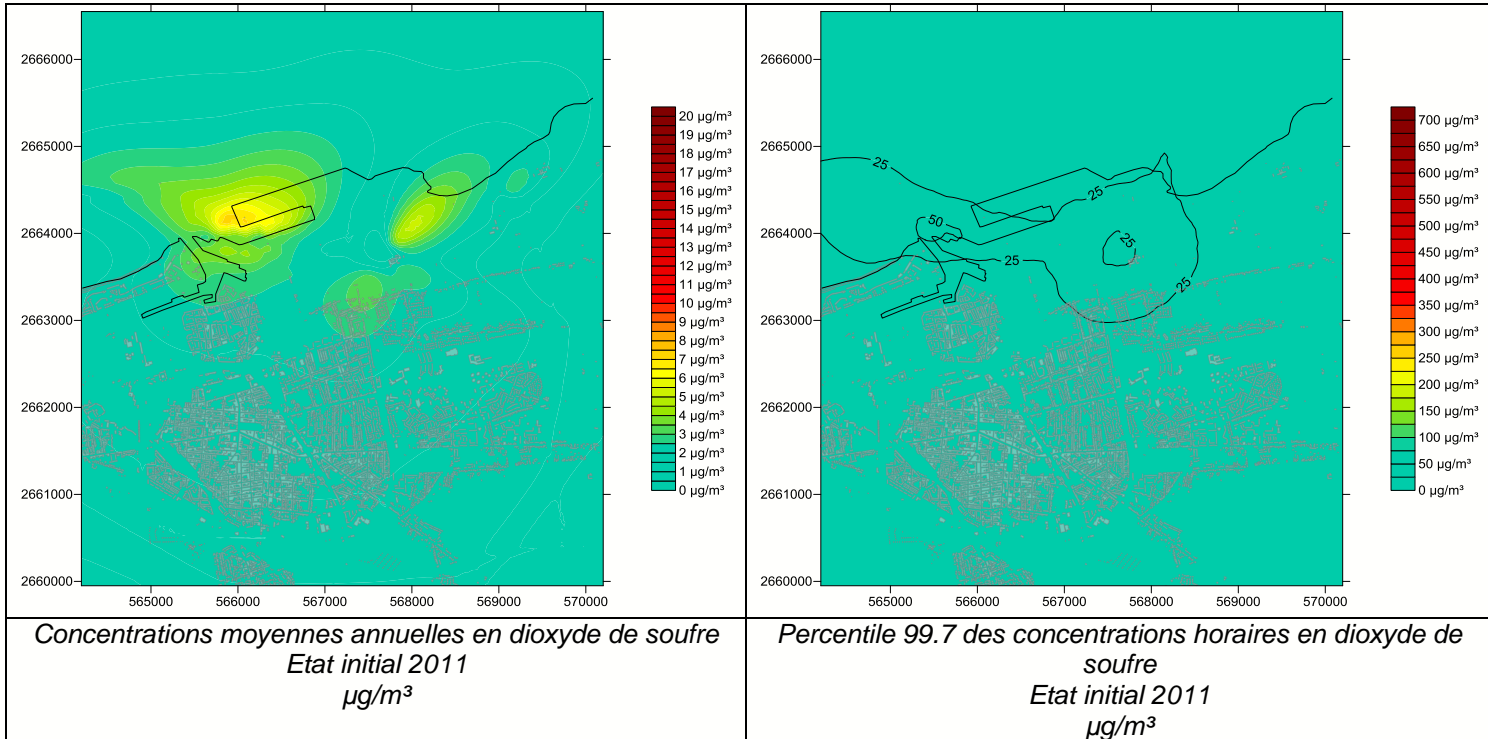
La carte du percentile 90,4, pour lequel la valeur limite est fixée à 50 µg/m³ (ou valeur journalière à ne pas dépasser plus de 35 fois par année civile), indique un dépassement qui couvre la majorité des zones urbanisées de la zone modélisée. La valeur s'accroît à mesure que l'on s'approche des principaux axes routiers. Ce fait est corroboré par les mesures effectuées sur les stations de Calais Parmentier et Calais Berthelot, qui donnaient pour l'année 2011 des valeurs de percentile de 52 µg/m³.

A ce titre il est important de rappeler que les concentrations en PM10 modélisées sont fortement commandées par la concentration de fond entrée dans le modèle. Ainsi, les mesures PM10 de la station d'Outreau, utilisées en concentration de fond pour cette modélisation, donnent pour 2011 une moyenne annuelle et un percentile 90.4 respectivement de 25 et 45 µg/m³, d'où les valeurs plus élevées une fois la dispersion des polluants calculée. Dans le Nord-Pas-de-Calais, l'année 2011 a été assez défavorable du point de vue de la valeur limite en percentile pour les PM10, puisqu'on y recense de nombreux dépassements.

Les sources les plus influentes pour les PM10 sont donc de type routier, principalement avec l'A16 mais on constate aussi comme pour le NO₂ une influence du terminal ferries. Les navires, également émetteurs de PM10, semblent avoir une influence limitée en proximité, mais aussi provoquer une augmentation des concentrations plusieurs centaines de mètres autour des points d'émissions.



 Dioxyde de soufre SO₂



Pour le dioxyde de soufre, il n'existe pas de valeur réglementaire pour la protection de la santé humaine en moyenne annuelle. C'est pourquoi une échelle de couleur étalée de 0 à 20 µg/m³ a été choisie, en fonction des résultats, pour permettre une interprétation. Elle permet de montrer que les navires sont, en moyenne, les sources les plus influentes sur les concentrations en SO₂ dans le port de Calais. Au second plan on constate l'influence de la source industrielle Tioxide. Pour éviter toute surinterprétation, il faut noter que les concentrations moyennes les plus fortes obtenues à l'issue de cette modélisation, de l'ordre de 8 à 10 µg/m³, sont faibles.

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) on retrouve à la lecture des courbes d'isoconcentrations 25 et 50 µg/m³ les mêmes influences, avec en premier lieu le trafic des navires (avec un maximum de l'ordre de 50 µg/m³ à l'entrée du port), puis la source industrielle de Tioxide. Ces valeurs sont également faibles et très inférieures à la valeur limite.

La répartition des concentrations moyennes annuelles donne donc une bonne idée de la zone influencée par le trafic maritime, qui s'étend principalement au nord des points d'émissions, portée par des vents majoritairement de sud-ouest (Cf. rose des vents), mais aussi dans une moindre mesure jusqu'en limite des zones urbanisées.



SCENARISATION 2021 ET 2030

Estimation des émissions de polluants

Secteur des transports routiers

Construction des réseaux routiers 2021 et 2030

Les réseaux routiers 2021 et 2030 sont construits de la même façon que le réseau routier 2011 à l'exception des tronçons dans l'enceinte des terminaux ferries qui ne sont pas basés sur les cartes Open Street Maps mais sur les plans de masse de l'extension portuaire.



Figure 10 : réseau routier 2021

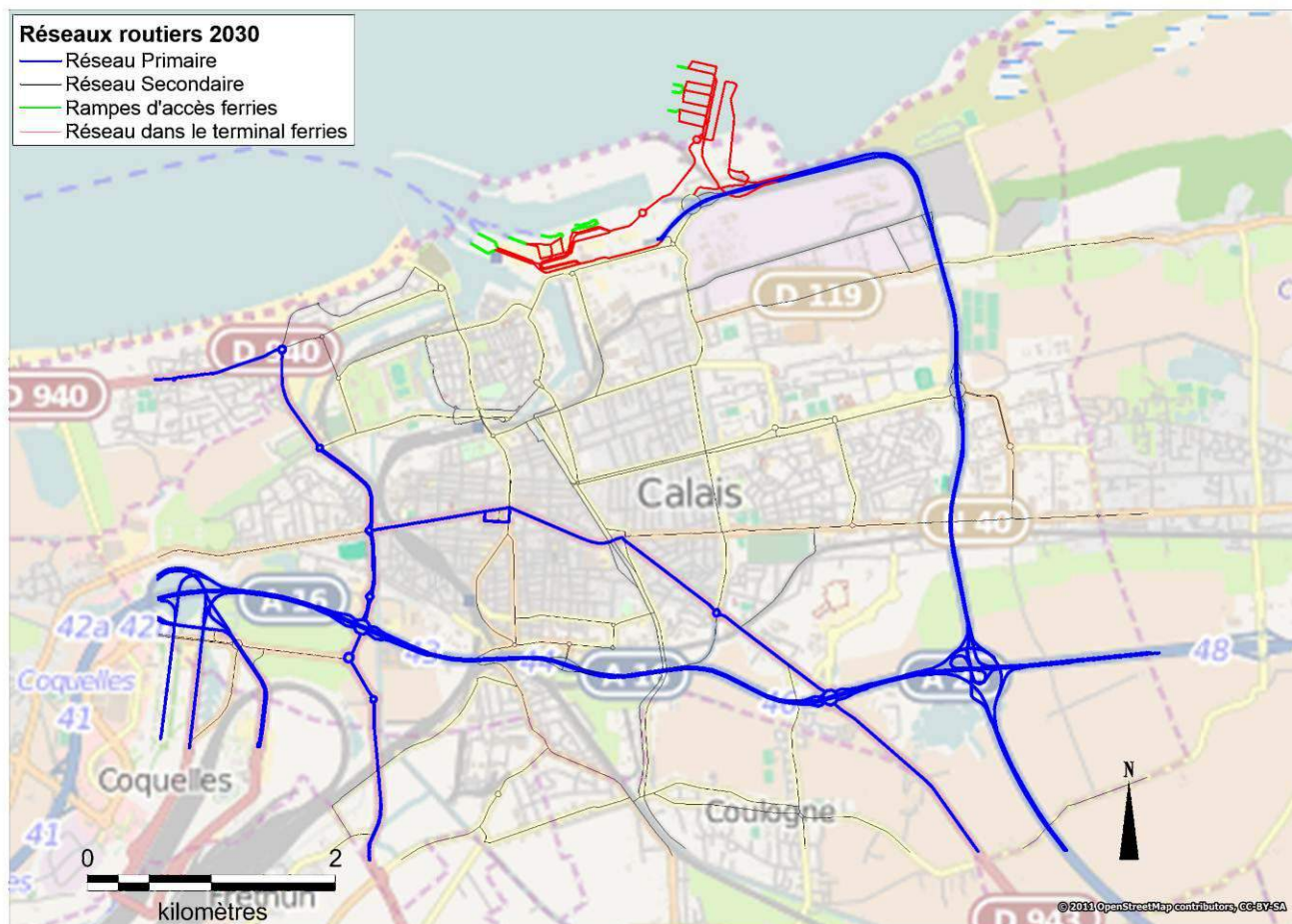


Figure 11 : réseau routier 2030

Le réseau primaire est représenté en traits bleus épais. Le réseau secondaire en traits noirs et le réseau primaire est en traits bleus fins pour les tronçons d'accès au terminal, en traits rouges pour les tronçons de sortie du port et en vert pour les rampes d'accès aux ferries.

Les rues d'importance plus faibles ne sont pas représentées du fait du manque de données de comptage et de leur prise en compte sous forme d'émissions diffuses.

Les vitesses de circulation sont les mêmes en 2021 et 2030 qu'en 2011 à l'exception de la N216 et de l'autoroute A26 qui devraient voir leurs limitations baisser de 20km/h suite à la mise en œuvre des mesures du Plan de Protection de l'Atmosphère.

Le réseau routier 2021 contient 380 tronçons et le réseau 2030 en contient 385.

Placement des comptages de trafic routier

Pour les scénarisations 2021 et 2030, les valeurs de trafic sur le réseau hors de l'enceinte du port proviennent de la DREAL Nord-Pas-de-Calais. Elles ont été établies dans le cadre des travaux d'évaluation du Plan de Protection de l'Atmosphère de la région Nord-Pas-de-Calais à l'horizon 2020. Ces valeurs sont basées sur des pourcentages d'évolution de trafic depuis 2010.

Les données de trafic portuaire sont calculées à partir du nombre global de véhicules transitant dans le terminal ferries à l'année. Ces données sont ensuite divisées par le nombre de jours de l'année pour obtenir un trafic journalier moyen, puis réparties sur les différents tronçons en fonction de leurs usages (voies d'entrées ou de sortie, rampes d'accès aux navires).

Les données horaires de trafic routier, disponibles pour les comptages obtenus par le biais de boucles SIREDO, 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 de comptage (absence de données horaires de comptage), se voient attribuer des profils types correspondant à la nature des voies (autoroute, nationales, voies urbaines...). Ces profils ne correspondant pas exactement à la route en question, ils induisent des incertitudes liées aux spécificités locales de trafic.

Les calculs d'émissions ont été réalisés avec la même méthodologie que pour l'état initial 2011.

Résultats : émissions trafic années 2021 et 2030

Les émissions ont été calculées par tronçon routier puis regroupées dans les tableaux suivant :

Année 2021			
Sources	SO ₂ (kg)	NOx (kg)	PM10 (kg)
Réseau Primaire	631	274 789	33 001
Réseau Secondaire	89	35 636	5 869
Terminal Ferries	52	28 624	2 196
TOTAL	771	339 049	41 066

Année 2030			
Sources	SO ₂ (kg)	NOx (kg)	PM10 (kg)
Réseau Primaire	590	116 446	27 900
Réseau Secondaire	79	17 382	4 995
Terminal Ferries	55	11 098	2 059
TOTAL	724	144 926	34 953

Ces émissions seront ensuite converties en gramme/km/seconde pour chaque tronçon. Elles serviront pour la modélisation des concentrations de polluants pour la zone d'étude.

Une baisse globale des émissions est observée de 2011 à 2030. Cette baisse, importante en particulier pour les oxydes d'azote, s'explique principalement par l'évolution du parc automobile qui rend les véhicules de moins en moins émissifs. Cette baisse est liée également à des réductions de vitesses sur certains tronçons du réseau primaire. Par contre, entre 2021 et 2030 on observe une augmentation des émissions de SO₂ au niveau du terminal Ferries, liée à l'augmentation du trafic et à la création d'un poste à quai supplémentaire.

Secteur résidentiel et tertiaire

L'évolution des rejets du secteur résidentiel et tertiaire a été estimée par le biais des scénarios du rapport OPTINEC V¹. Cette étude vise à élaborer des scénarios prospectifs Energie-Climat-Air à l'horizon 2020 et 2030,

¹ Travaux réalisés par un consortium constitué d'ENERDATA et du CITEPA avec la participation de CEP ARMINES, Energie Demain et IFP Energies Nouvelle à la demande du Ministère en charge de L'environnement.



basés sur des projections de consommations d'énergie, de GES et de polluants atmosphériques. Le scénario retenu au niveau national correspond à un scénario AME « à caractère tendanciel », le plus adapté compte tenu des effets conjoncturels de la crise économique.

Des facteurs d'abattements équivalents à des pourcentages de diminution par secteur d'activité découlant de cette étude ont été proposés aux AASQAs par le LCSQA¹ pour la réalisation des évaluations de plans et programmes type Plan de Protection de l'Atmosphère.

Dans le cadre de cette étude, c'est le facteur d'abattement à l'horizon 2020 qui a été utilisé pour les modélisations 2021 et 2030, le facteur pour cette dernière année n'étant pas encore estimé.

Le tableau suivant reprend donc les valeurs 2008 et 2021 pour le secteur résidentiel et tertiaire sur la commune de Calais, et sur lesquelles la diminution est de 54% pour tous les polluants.

Année	SO ₂ kg/an	NOx kg/an	PM10 kg/an
2008 (état initial 2011)	43 370	165 914	111 065
2020 (modélisations 2021 et 2030)	19 950	76 321	49 901

Ces émissions ont été spatialisées de la même manière dans les modélisations 2021 et 2030 que dans l'état initial.

Secteur industriel

En l'absence de données sur les variations de process et/ou de volume de production des entreprises de la zone d'étude aux horizons 2021 et 2030, les données d'émissions de l'état initial ont été conservées.

Secteur maritime et portuaire

La méthode de calcul des émissions maritimes pour les années 2021 et 2030 reste la même que celle utilisée pour l'état initial de 2011. Cependant, les hypothèses de travail concernant le trafic et la répartition des émissions évoluent quelque peu en lien avec l'agrandissement du port.

Scénario 2021 : ce qui change dans la structure du port

En 2021, l'extension du port de Calais affiche trois nouveaux postes : les postes 10, 11 et 12. A ces postes, sont donc associés trois nouveaux brins : les brins poste 10, poste 11 et poste 12, correspondant aux trajectoires potentielles des navires pour rejoindre leur quai respectif, à la vitesse « slow cruise ».

Un autre nouveau brin est également considéré, le brin « croisière extension port », où les navires gagnent l'extension à la vitesse « cruise ».

¹ Laboratoire Central de Surveillance de la Qualité de l'Air. – www.lcsqa.org



Le schéma représenté ci-après résume ces évolutions en image.

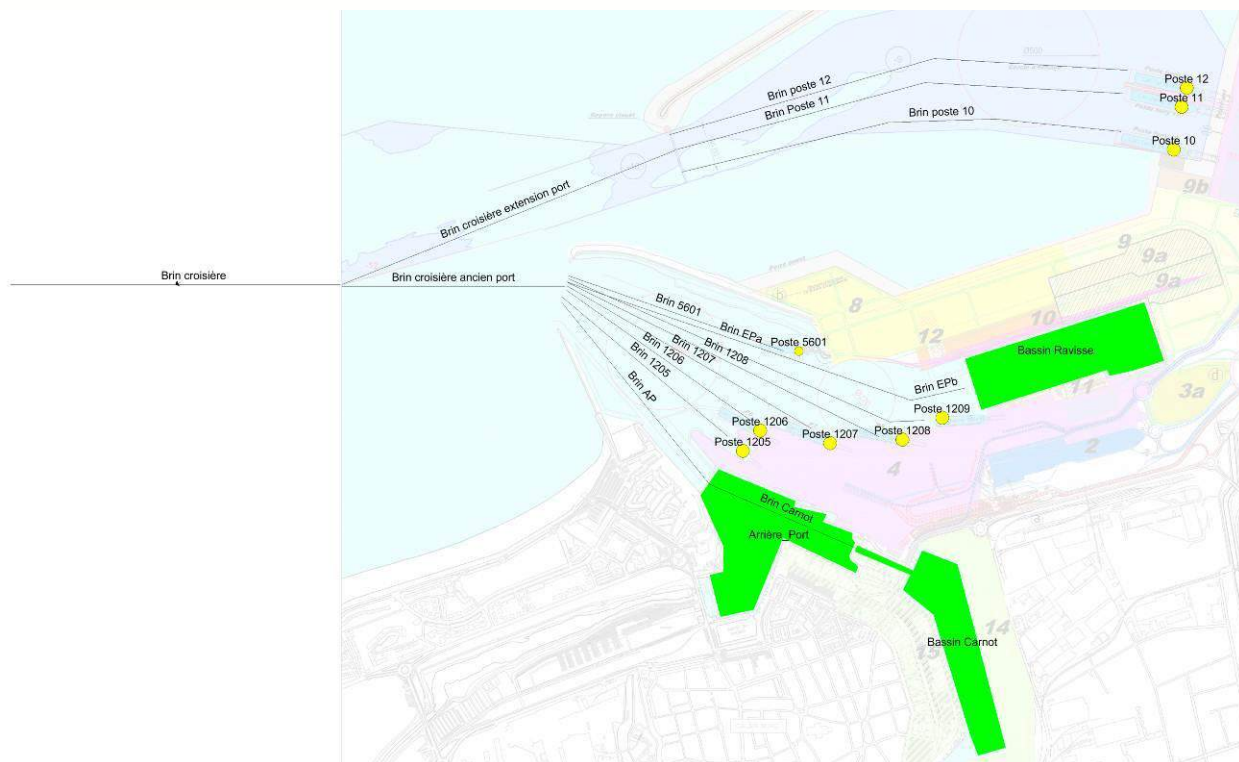


Figure 12 : Découpage du port de Calais, année 2021

☺ Scénario 2021 : ce qui change au travers des calculs

Pour l'année 2021, les hypothèses de travail établies sont les suivantes :

- 60% du trafic des ferries se fera dans le nouveau terminal, contre donc 40% dans « l'ancien port »,
- le nombre de mouvements pour les ferries sera de 30 000 sur l'année,
- la directive 2012/33/UE qui concerne la teneur en soufre des combustibles marins est appliquée.

Cette directive stipule notamment que : « Les États membres prennent toutes les mesures nécessaires pour faire en sorte que les combustibles marins ne soient pas utilisés dans les parties de leurs eaux territoriales, de leurs zones économiques exclusives et de leurs zones de prévention de la pollution qui relèvent des zones de contrôle des émissions de SOx si la teneur en soufre de ces combustibles, exprimée en pourcentage massique, dépasse :

a) 1,00 % jusqu'au 31 décembre 2014;

b) 0,10 % à compter du 1er janvier 2015 ».

Elle considère au préalable que : « L'annexe VI révisée de la convention MARPOL introduit, entre autres, des valeurs limites de teneur en soufre des combustibles marins plus strictes à l'intérieur des ZCES (1,00 % à partir du 1er juillet 2010 et 0,10 % à compter du 1er janvier 2015), ainsi que dans les zones maritimes ne faisant pas partie des ZCES (3,50% à partir du 1er janvier 2012 et, en principe, 0,50 % à compter du 1er janvier 2020) ».

Le facteur d'émission du dioxyde de soufre a été revu à 48 g de SO₂ par giga joule de carburant¹ (ce qui engendre une baisse très considérable des émissions, proche d'un facteur 10). Ceci correspond à un fioul domestique dont la teneur en soufre est de 0,1%. De ce fait, cela revient à ne plus considérer qu'un seul type de carburant pour tous les navires transitant par le port de Calais.

¹ Ce facteur d'émission nous a été communiqué directement par le Citepa



Certaines hypothèses sont identiques aux calculs d'émissions 2011 :

- le trafic conventionnel est inchangé
- en l'absence d'hypothèses sur les l'évolution de la motorisation des navires, les facteurs d'émissions pour les NOx et les particules sont inchangés également.

Résultats : émissions année 2021

Année 2021			
Sources	SO ₂ (kg)	NOx (kg)	PM10 (kg)
Poste 1205	899	27 624	1 742
Poste 1206	1 225	37 658	2 374
Poste 1207	1 392	42 785	2 698
Poste 1208	1 498	46 022	2 902
Poste 1209	624	19 182	1 209
Poste 5601	198	6 093	384
Poste 10	2 819	86 636	5 462
Poste 11	2 819	86 636	5 462
Poste 12	2 819	86 636	5 462
Bassin Ravisse	52	1 613	102
Bassin Carnot	60	1 845	116
Arrière Port	5	152	10
Trajets postes ferries "ancien port"	4 897	150 467	9 487
Trajets postes ferries "nouveau port"	7 345	225 701	14 231
Trajet poste 5601	172	5 291	334
Trajet croisière extension port	2 034	62 492	3 940
Trajet croisière ancien port	1 425	43 787	2 761
Trajet EP	46	1 407	89
Trajet croisière	3 459	106 279	6 701
Trajet AP	4	132	8
Trajet Carnot	52	1 608	101
TOTAL	33 844	1 040 046	65 575

Scénario 2030 : ce qui change dans la structure du port

En 2030, l'extension du port de Calais affiche deux nouveaux postes, par rapport à 2021 : les postes 5602 et 13, le premier étant réservé au trafic de voitures neuves et le second aux ferries. A ces postes, sont donc associés deux nouveaux brins : les brins poste 5602 et poste 13, correspondant aux trajectoires potentielles des navires pour rejoindre leur quai respectif, à la vitesse « slow cruise ».



Le schéma représenté ci-après résume ces évolutions en image.

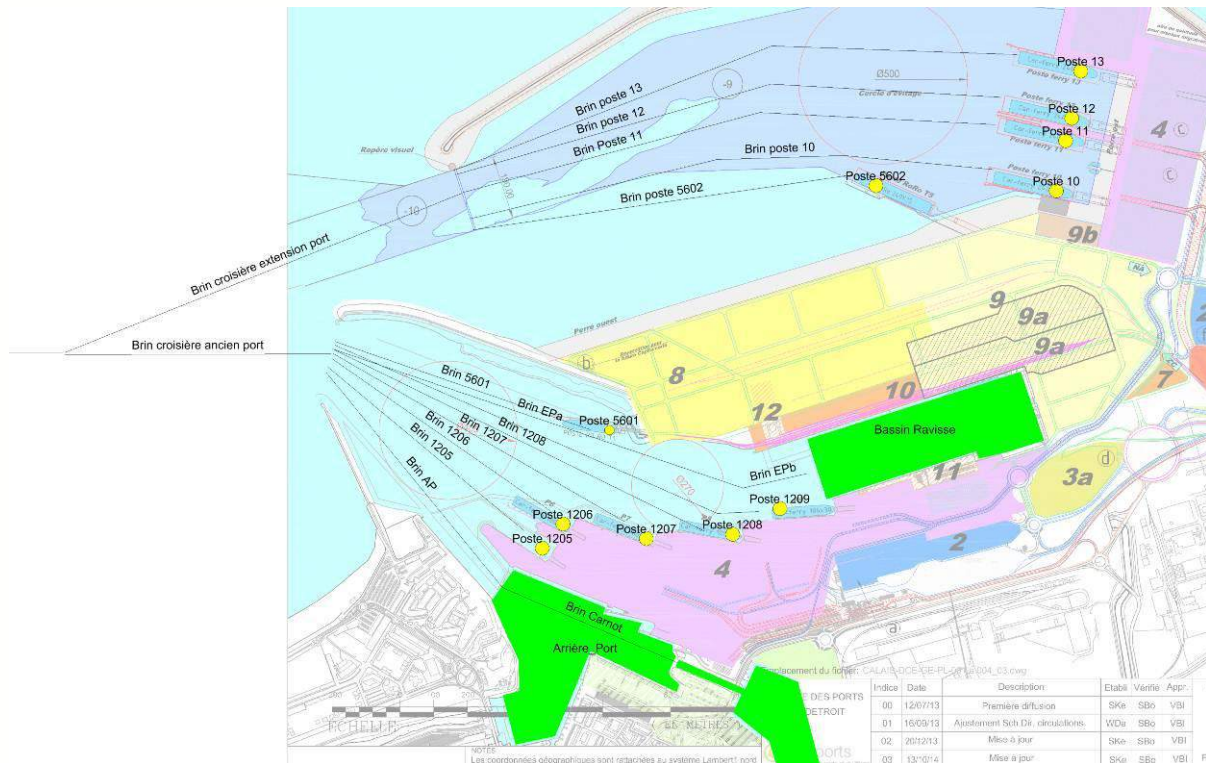


Figure 13 : Découpage du port de Calais, année 2030

🌱 [Scénario 2030 : ce qui change au travers des calculs](#)

Pour l'année 2030, les hypothèses de travail établies restent les mêmes que celles utilisées pour le scénario 2021.

Pour le poste 5602, une activité similaire à celle du poste 5601 y a été affectée.

La répartition des émissions est quelque peu différente de celle de 2021, mais les émissions totales sont similaires.



🌿 Résultats : émissions année 2030

Année 2030			
Sources	SO ₂ (kg)	NOx (kg)	PM10 (kg)
Poste 1205	898	27 595	1 740
Poste 1206	1 224	37 619	2 372
Poste 1207	1 391	42 740	2 695
Poste 1208	1 496	45 974	2 899
Poste 1209	624	19 162	1 208
Poste 5601	198	6 087	384
Poste 5602	198	6 087	384
Poste 10	2 112	64 909	4 093
Poste 11	2 112	64 909	4 093
Poste 12	2 112	64 909	4 093
Poste 13	2 112	64 909	4 093
Bassin Ravisse	52	1 612	102
Bassin Carnot	60	1 843	116
Arrière Port	5	152	10
Trajets postes ferries "ancien port"	4 896	150 461	9 487
Trajets postes ferries "nouveau port"	7 345	225 691	14 230
Trajet poste 5601	172	5 291	334
Trajet poste 5602	172	5 291	334
Trajet croisière extension port	2 034	62 492	3 940
Trajet croisière ancien port	1 473	45 252	2 853
Trajet EP	46	1 401	88
Trajet croisière	3 506	107 744	6 793
Trajet AP	4	132	8
Trajet Carnot	52	1 602	101
TOTAL	34 294	1 053 864	66 450

On observe une forte diminution des rejets des navires en SO₂ entre 2011 et 2021, sous l'effet de la mise en œuvre de la réglementation des teneurs en soufre des navires. Les rejets en NOx évoluent peu mais marquent tout de même une légère augmentation entre 2011 et 2020 : d'une part l'hypothèse de 30000 rotations par an est en croissance par rapport à l'état initial 2011, et d'autre part le temps de trajet des navires dans le port jusqu'à l'extension est légèrement accru. Entre 2021 et 2030, on observe une légère augmentation des rejets en NOx et PM10 sous l'effet de la mise en fonctionnement du poste 5602 et de la construction du poste 13.



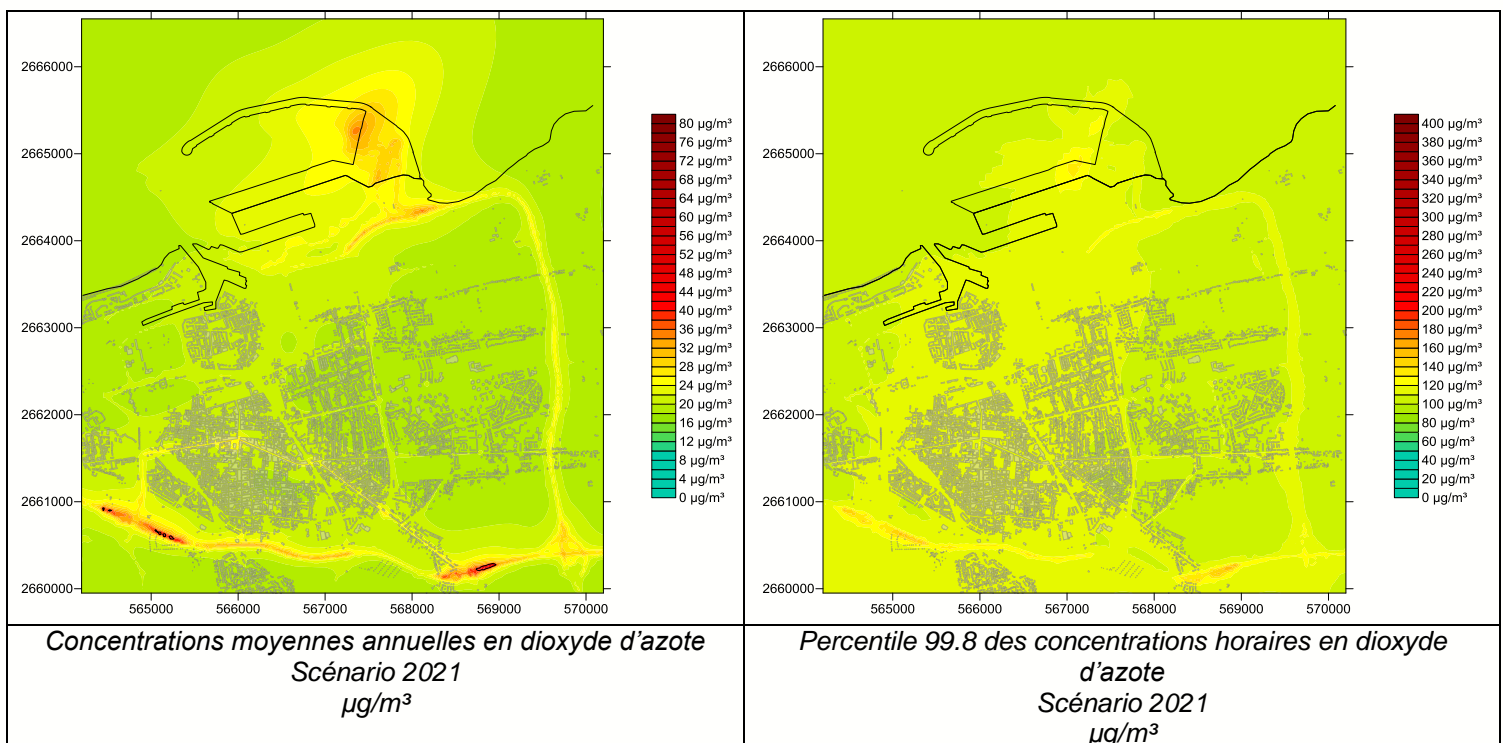
Exploitation des résultats 2021 et 2030

Paramètres d'entrée du modèle

Les émissions modifiées en fonction des scénarios 2021 et 2030 ont donc été rentrées dans le modèle. La météorologie et la pollution de fond sont les mêmes que pour l'état initial 2011.

Cartographies et interprétation 2021

Dioxyde d'azote NO₂



La carte des concentrations moyennes annuelles 2021 pour le dioxyde d'azote montre une répartition sensiblement différente de l'état initial. Tout d'abord le gradient de concentrations entre la proximité automobile et le fond est moins marqué, grâce à une pollution moins importante en proximité automobile. Ensuite le déplacement d'une grande partie de l'activité du terminal ferries ainsi que des postes à quai vers l'extension est bien visible sur le panache de NO₂ qui a une position plus au nord-est.

La valeur limite en moyenne annuelle serait dépassée très ponctuellement au niveau de l'A16 et ne concernerait pas de zone habitée.

La carte du percentile 99.8 (200 µg/m³, ou valeur horaire à ne pas dépasser plus de 18 fois par année civile) montre également une influence beaucoup moins marquée de la proximité automobile et un déplacement de la zone d'influence des navires vers le nord-est et l'extension du port.

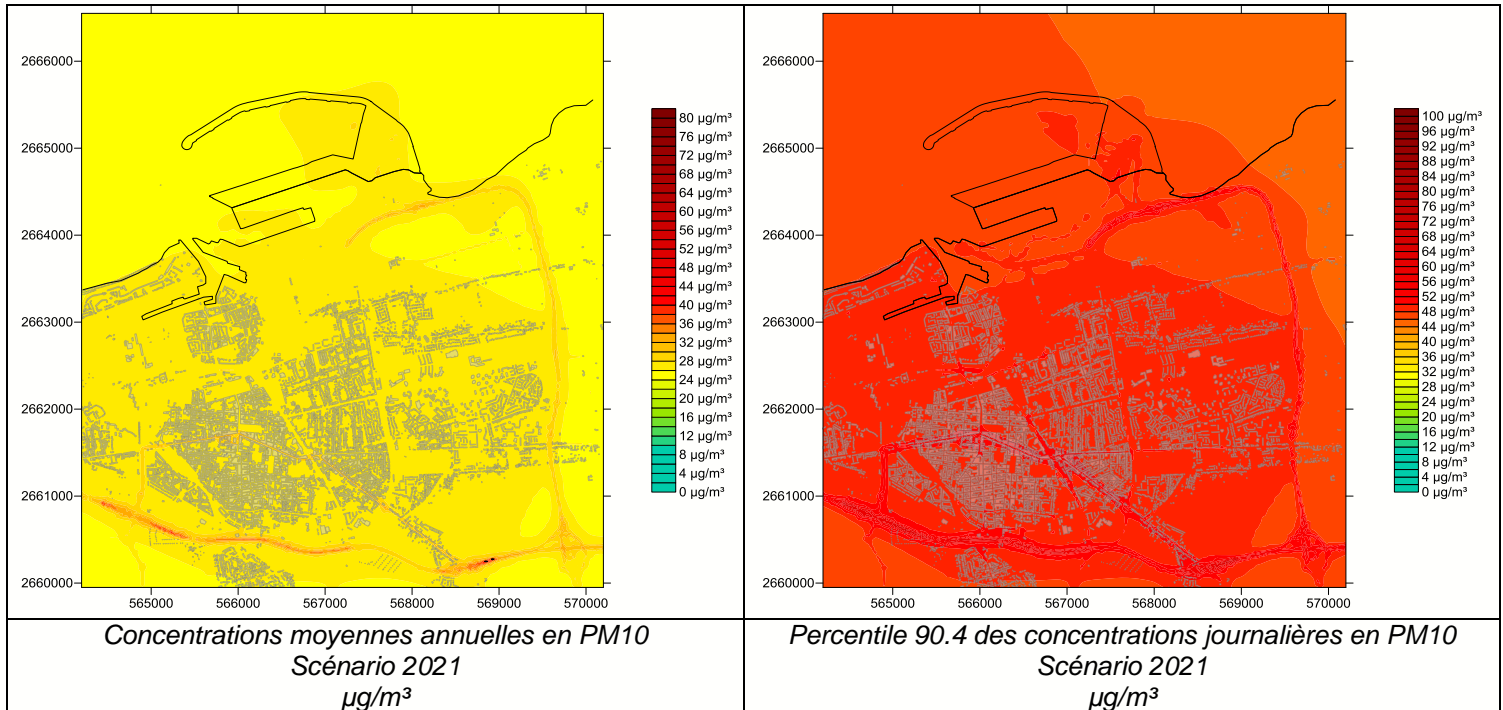
L'explication majeure de cette diminution des concentrations est la baisse des émissions du secteur des transports routiers à l'horizon 2021 sous l'effet du renouvellement du parc roulant et de la mise en œuvre de moteurs moins polluants, à laquelle s'ajoute la baisse des émissions du secteur résidentiel et tertiaire.

Comme il a été montré dans l'estimation des émissions, le secteur maritime et portuaire voit ses émissions en NO_x augmenter légèrement entre 2011 et 2021, cependant l'impact de cette augmentation est compensé, au niveau du terminal ferries, par la baisse de l'influence du trafic routier en proximité.



Au final la zone impactée par les émissions du terminal et des navires est éloignée des zones urbanisées.

 Particules en suspension PM10



Les concentrations moyennes annuelles en PM10 pour 2021 suivent également une tendance à la baisse. La proximité des grands axes routiers est moins influencée (A16, N216), et l'impact des navires se déplace lui aussi pour majorité vers l'extension portuaire au nord-est.

La valeur limite en moyenne annuelle ne serait plus dépassée que sur une portion insignifiante de l'A16, compte tenu des incertitudes de la modélisation.

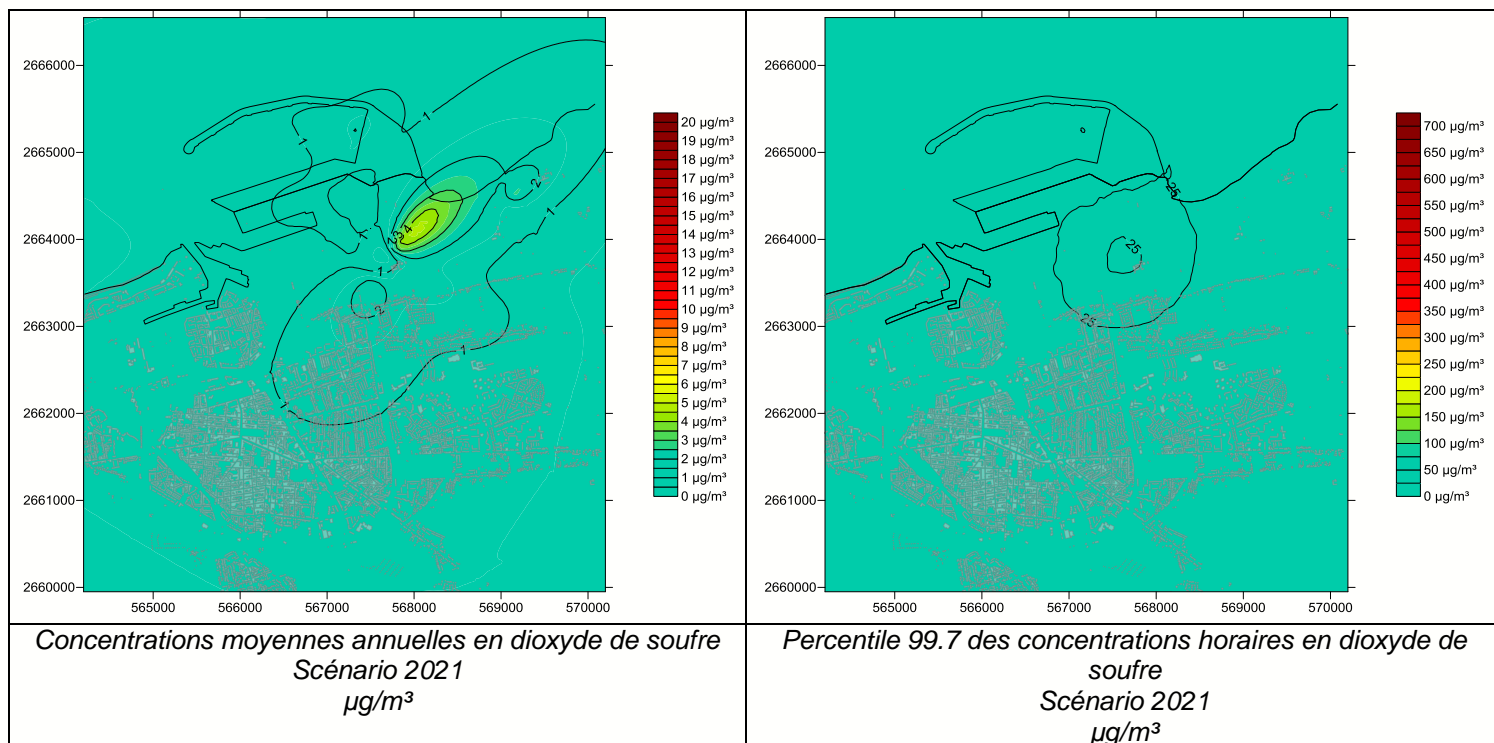
La carte du percentile 90,4 montre également une baisse sensible des valeurs, en fond comme en proximité. L'influence des rejets des navires se déplace également au nord-est. La valeur limite fixée à 50 µg/m³ pour le percentile 90,4 (ou 50µg/m³, ou moyenne journalière à ne pas dépasser plus de 35 fois par année civile) serait dépassée uniquement en proximité automobile.

La diminution combinée des rejets des secteurs des transports routiers et résidentiel-tertiaire est la cause de la baisse des concentrations sur les deux cartes. Les valeurs du percentile 90.4 restent importantes et assez proche de la valeur limite à cause de la pollution de fond utilisée pour la modélisation 2021 qui est la même que pour l'état initial 2011, mais cette pollution de fond devrait diminuer également avec la baisse tendancielle des émissions.

Les émissions de PM10 des navires baissent d'environ 11,5 % entre 2011 et 2021, ce qui est peu visible sur les cartes, mais la zone influencée par leurs panaches se déplace au nord-est vers le nouveau terminal.



 Dioxyde de soufre SO₂



Les courbes d'isoconcentrations ont été ajoutées sur la carte en moyenne annuelle 2021, mais les écarts sont très faibles (à titre indicatif la limite de détection en mesure pour le SO₂ est fixée à 1 ppb soit 2,67 µg/m³).

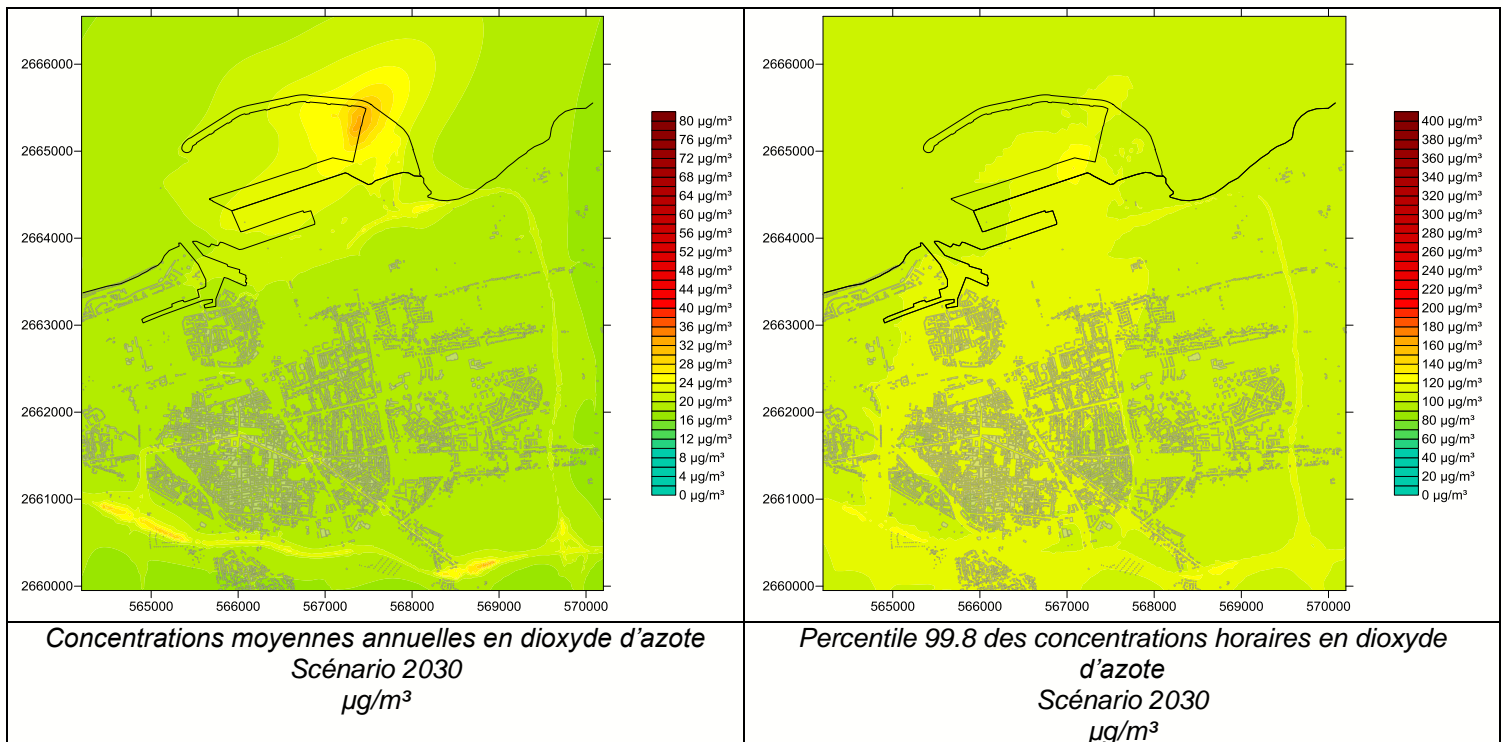
La carte des concentrations moyennes annuelles 2021 ne laisse pas de doute quant à l'importance de la diminution des émissions estimées pour les navires à cet horizon sous l'effet de l'application de la directive visant à réduire le taux de soufre des carburants (de 328 t/an en 2011 à 33.8 t/an en 2021). La source industrielle Tioxide, pour laquelle les rejets ont été conservés à l'identique de 2011, est la seule source qui influence la répartition des concentrations, avec des concentrations qui restent très faibles. L'accroissement des concentrations au niveau de l'extension portuaire est quasiment insignifiant.

La carte du percentile 99,7 (350 µg/m³, ou valeur horaire à ne pas dépasser plus de 24 fois par année civile) montre également la disparition de l'influence des rejets des navires par rapport à 2011.



Cartographies et interprétation 2030

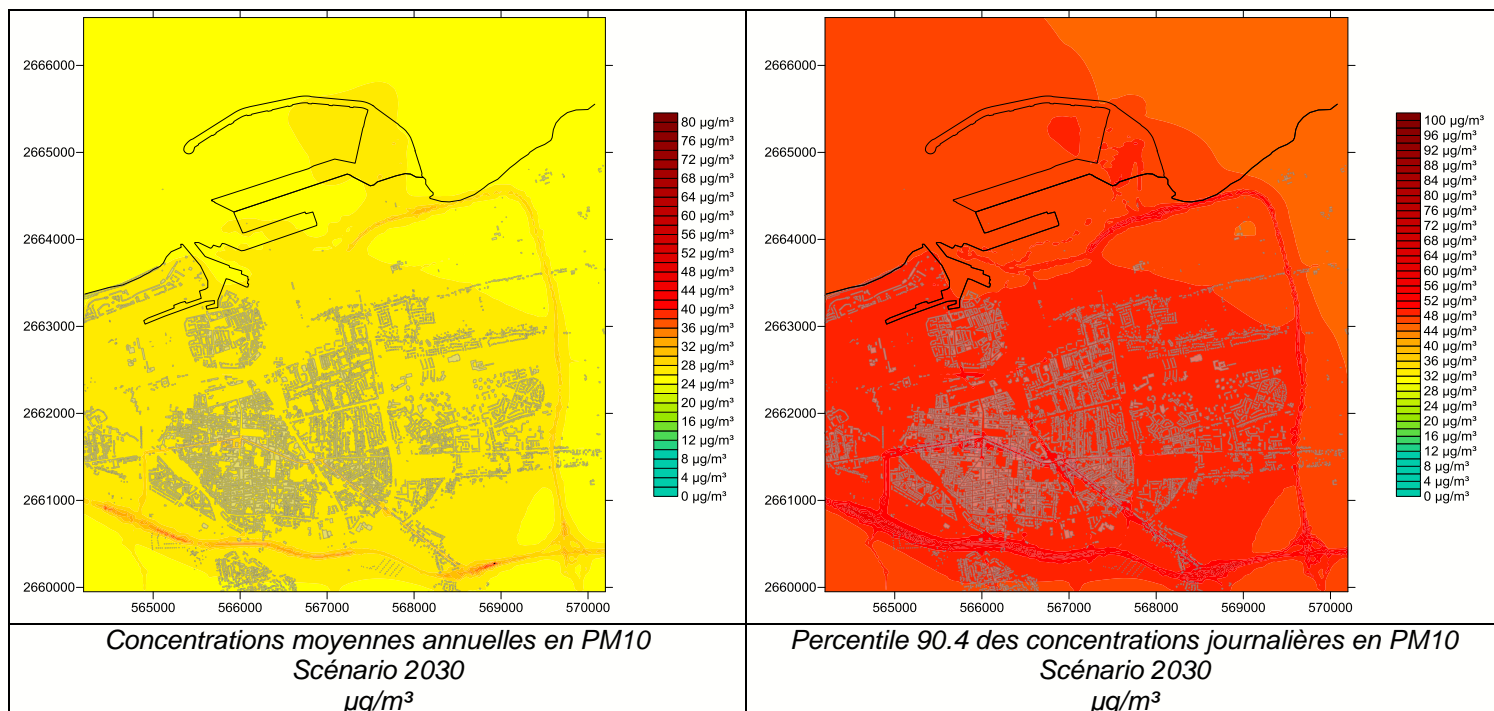
Dioxyde d'azote NO₂



Pour l'année 2030, la carte des moyennes annuelles en dioxyde d'azote montre une répartition des gradients de concentrations assez proches de 2021, mais aussi une diminution des valeurs maximales par rapport à cette année. Les sources qui influencent la répartition sont toujours le trafic automobile et les navires. Mais compte tenu de la baisse tendancielle estimée des rejets automobile de NO_x qui se poursuit jusqu'à 2030 (de 339 t. en 2021 à 144 t. en 2030), c'est le trafic maritime qui devient la source la plus influente sur les concentrations, d'autant plus que ses rejets en NO_x se maintiennent à plus de 1000 t./an. Aucun dépassement de valeur limite n'est à constater sur ces deux paramètres pour le dioxyde d'azote. Le fait marquant est donc l'effacement progressif des sources automobiles en NO₂ qui fait ressortir l'influence des rejets des navires dans le port. Cependant la localisation de l'extension portuaire fait que les zones urbanisées ne sont pas impactées par les panaches de NO₂.



Particules en suspension PM10

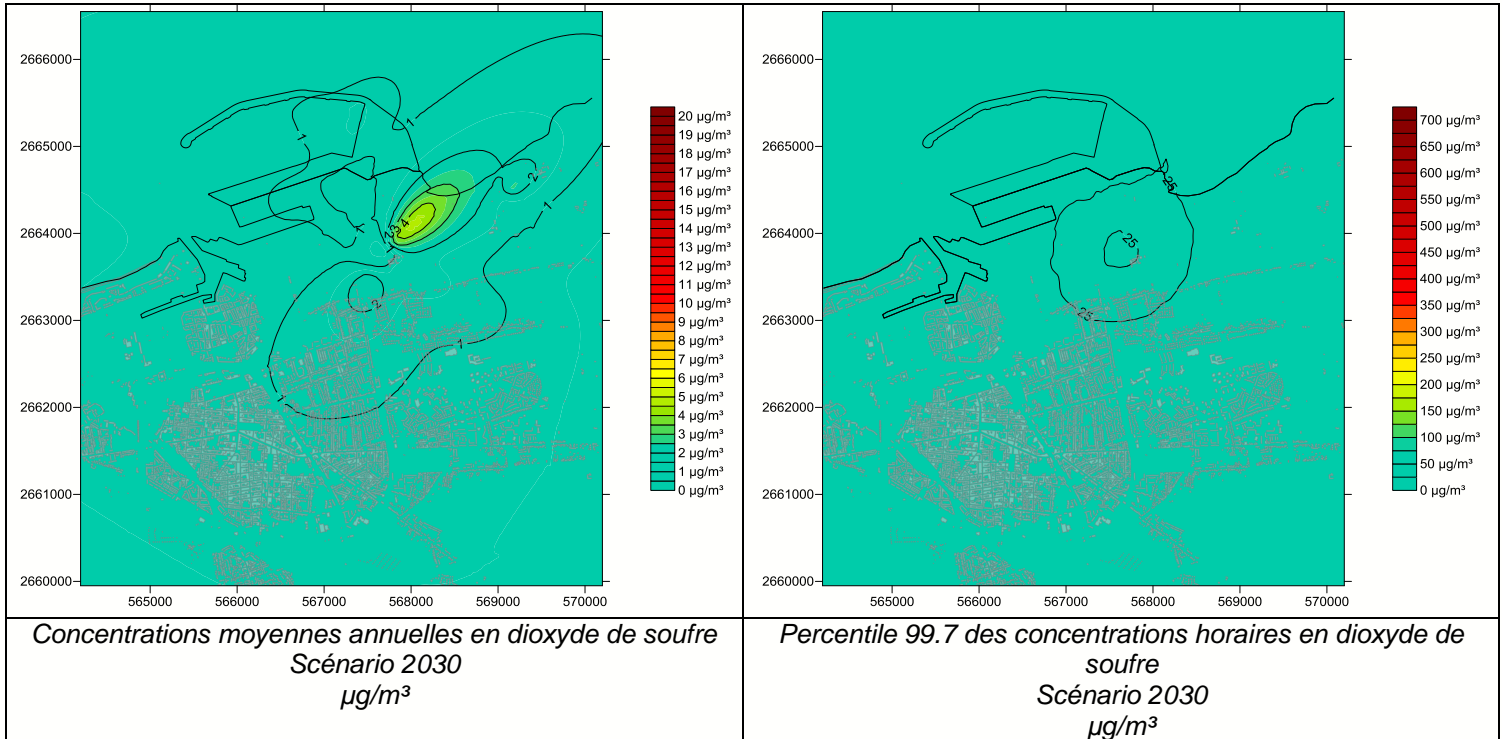


Que ce soit au niveau en moyenne annuelle ou en percentile 90,4, la répartition des concentrations 2030 est très similaire à celle de 2021. Les sources routières sont toujours prépondérantes avec leur influence de proximité, seules les valeurs maximales sont en très légère baisse, notamment de par le fait que selon l'évolution tendancielle les rejets annuels en PM10 du secteur des transports routiers seraient en léger recul (environ 35 t. contre 41 t en 2021).

Moyennant la prépondérance des concentrations de fond 2011 utilisée dans cet exercice, la valeur limite en percentile 90,4 (50 µg/m³ ou moyenne journalière à ne pas dépasser plus de 35 fois par année civile) serait dépassée en proximité des principaux axes routiers. Le reste de la carte en orangé indique des valeurs légèrement inférieures.



 Dioxyde de soufre SO₂



Les cartes des concentrations moyennes annuelles et du percentile 99,7 en dioxyde de soufre 2030 montrent très peu d'évolutions par rapport à 2021. Les valeurs sont faibles et largement en dessous de la valeur limite en ce qui concerne le percentile.

Les émissions 2030 des ferries évoluent très peu (34.3 t. contre 33.8 t en 2021), ce qui fait que la source prépondérante et qui influence la répartition des concentrations reste industrielle. Cependant à cet horizon, l'incertitude est très forte sur le maintien des rejets industriel à ce niveau, en l'absence de données sur l'évolution de la production ou des procédés.



CONCLUSION ET PERSPECTIVES

L'objectif de l'étude était de réaliser la modélisation de la dispersion des polluants NO₂, PM10 et SO₂ issus des sources industrielles, maritimes, routières et résidentielle - tertiaire dans un domaine centré sur le port de Calais et son extension dans le cadre du projet Calais Port 2015 afin de définir les modalités d'un suivi de la qualité de l'air.

Les périodes simulées sont les années 2011 qui correspond à l'état initial, puis 2021 et 2030.

Un inventaire des émissions des différentes sources a donc été réalisé pour chacune des années étudiées, et tenant compte des évolutions induites par l'extension portuaire.

Sur la base des hypothèses sur l'activité et les émissions de chacun des secteurs d'activité qui ont été appliquées, plusieurs tendances se dessinent :

- la forte diminution aux horizons 2021 et 2030 des rejets en dioxyde de soufre issus des ferries, en lien avec l'application de la directive 2012/33/UE sur la teneur en soufre des combustibles, avec un parallèle un maintien du niveau des rejets en oxydes d'azote.
- la diminution tendancielle des rejets du secteur des transports routiers de par le renouvellement progressif des parcs roulants
- et également la baisse aux horizons 2021 puis 2030 des rejets du secteur résidentiel et tertiaire principalement sous l'effet du développement de modes de chauffage performants.

Les simulations réalisées à l'issue de ce travail d'inventaire ont en commun la météorologie et la pollution de fond qui correspondent toutes deux à des mesures réalisées sur l'ensemble de l'année 2011.

Un premier 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.

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 pour le NO₂ (40 µg/m³), localisés en proximité des principaux axes routiers et au sein du terminal ferries dans sa configuration 2011, et tendent à se résorber complètement au fil des simulations 2021 et 2030. Les dépassements de la valeur limite du percentile 99,8 (200 µg/m³ ou moyenne horaire à ne pas dépasser plus de 24 heures par année civile) sont très limités en 2011 et se résorbent de la même façon.

Ont également été mis en évidence des dépassements de la valeur limite en moyenne annuelle en 2011 pour les PM10 (40 µg/m³) sur une surface très limitée et proche de l'A16, et qui se résorbent également dès 2021. En revanche, des dépassements de la valeur limite en percentile 90,2 (50 µg/m³ ou moyenne journalière à ne pas dépasser plus de 35 jours par année civile) sont présents sur une grande partie du domaine en 2011, en particulier à cause d'une pollution de fond élevée cette année-là, et qui se répercute sur les années 2021 et 2030, mais sur des surfaces plus limitées et cantonnées à la proximité automobile.

L'utilisation des mêmes valeurs de fond dans les modélisations 2021 et 2030, en l'absence de données alternatives, est une des limites de la méthodologie employée, puisque si les émissions diminuaient de manière tendancielle, la pollution de fond devrait diminuer aussi sensiblement.

Les modélisations mettent en évidence l'influence du trafic maritime en particulier sur les concentrations en dioxyde d'azote et en dioxyde de soufre. L'impact de l'extension portuaire est très sensible puisqu'il contribue à déplacer la zone où les concentrations en polluants sont influencées par les rejets des navires, vers le nord-est et le nouveau terminal ferry. En conséquence, la zone impactée par des dépassements de valeurs réglementaires se trouve éloignée des zones urbanisées.

Ce constat est valable pour le dioxyde d'azote, dont les rejets par les navires restent constants en 2021 et 2030, alors que les rejets en dioxyde de soufre diminuent fortement.

Il en résulte que le trafic portuaire est, à l'horizon 2030, la première source de pollution par le dioxyde d'azote sur le domaine d'étude. Il influence nettement la répartition des concentrations en NO₂, aussi sensiblement que le trafic routier dont l'influence tend à se limiter aux grands axes comme l'A16.



Les résultats de l'étude corroborent les observations faites dans le cadre du rapport d'étude 03/2014/LL qui met en évidence de nombreuses augmentations simultanées des concentrations en monoxyde d'azote et dioxyde de soufre, caractéristiques de la proximité des navires. En conséquence, le site de mesure située quai Paul Devot semble approprié pour l'observation de l'impact des émissions maritimes et portuaires.

En termes de surveillance de la qualité de l'air, l'importance des rejets de l'activité portuaire en oxydes d'azote (de l'ordre de 1000 t. / an) justifie une surveillance à l'issue des travaux de l'extension portuaire. L'exposition des populations est visée pour les usagers du terminal (près de 10 millions de voyageurs l'empruntent chaque année) ou dans le cadre d'une extension des zones urbanisées. Un travail complémentaire prenant en compte les différents projets d'urbanisation à l'horizon 2030 permettrait d'y répondre.

En parallèle, il serait également intéressant de considérer le problème de l'exposition sous l'angle de celle des usagers du terminal, puisque près de 10 millions de voyageurs l'empruntent chaque année.



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

En 2014, la région Nord Pas-de-Calais comptait **46 sites de mesures fixes de la qualité de l'air** (cf. site atmo-npdc.fr¹), toutes typologies confondues, et **4 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 recommandations² 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 <http://www.atmo-npdc.fr/mesures-et-previsions/mesures-en-direct/carte-d-identite-des-stations.html>

² 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.



Analyseur d'ozone

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...



Préleveur à métaux

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

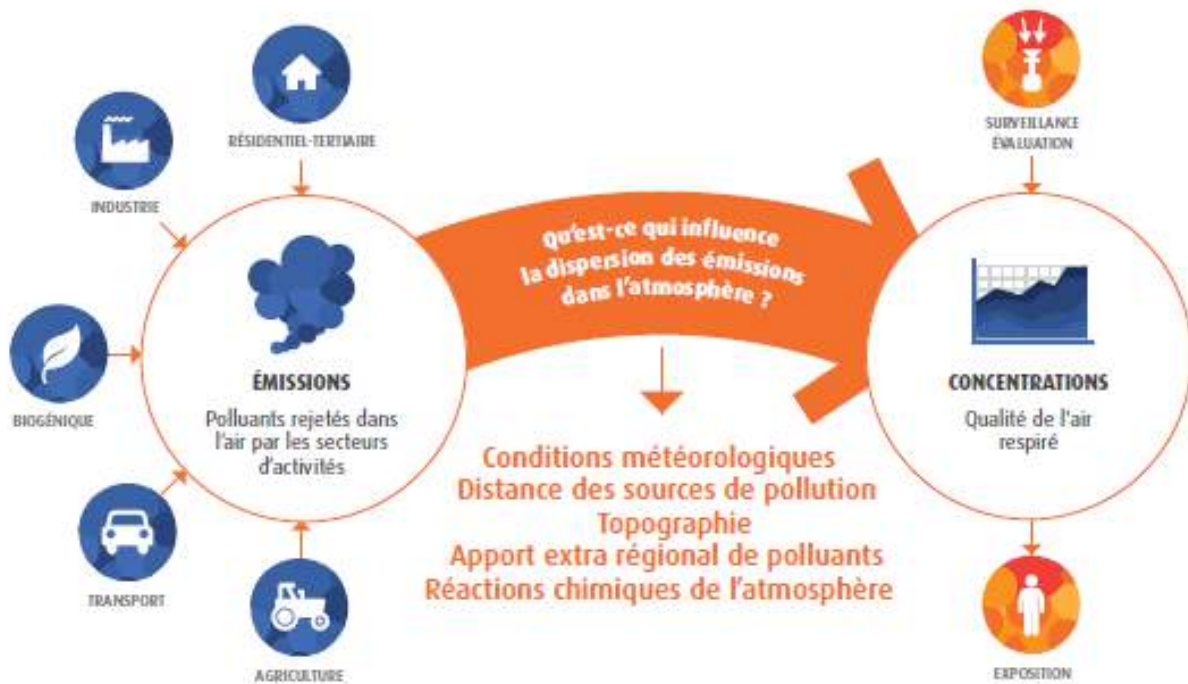
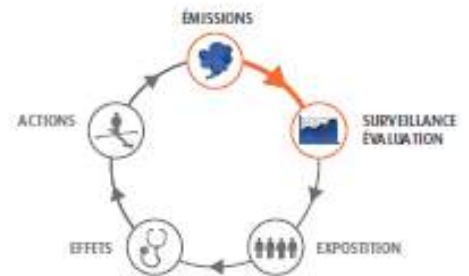
- Pour les métaux lourds et les pesticides : le laboratoire IANESCO de Poitiers ;
- Pour les hydrocarbures aromatiques polycycliques : le laboratoire GIE LIC de Schiltigheim ;
- Pour les dioxines, les furanes et les polychlorobiphényles dioxin like : le laboratoire Micropolluants de Saint-Julien-les-Metz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

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



Annexe 3 : Des émissions aux concentrations

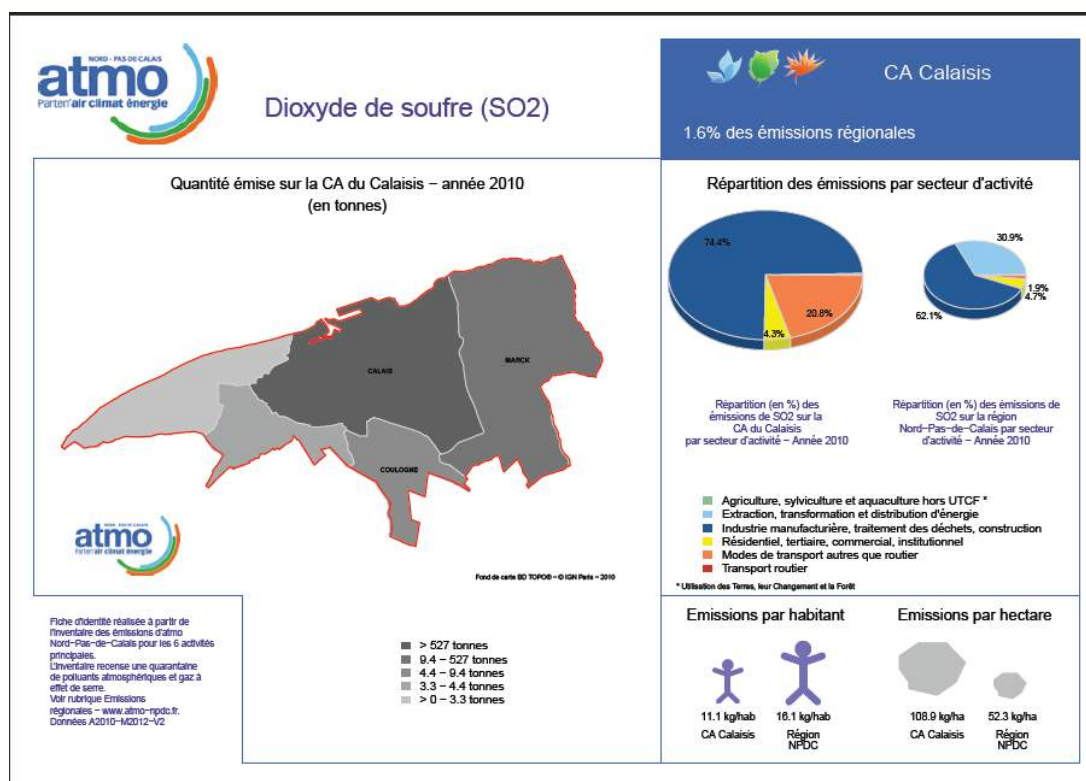
DES ÉMISSIONS AUX CONCENTRATIONS DE POLLUANTS DANS L'ATMOSPHÈRE



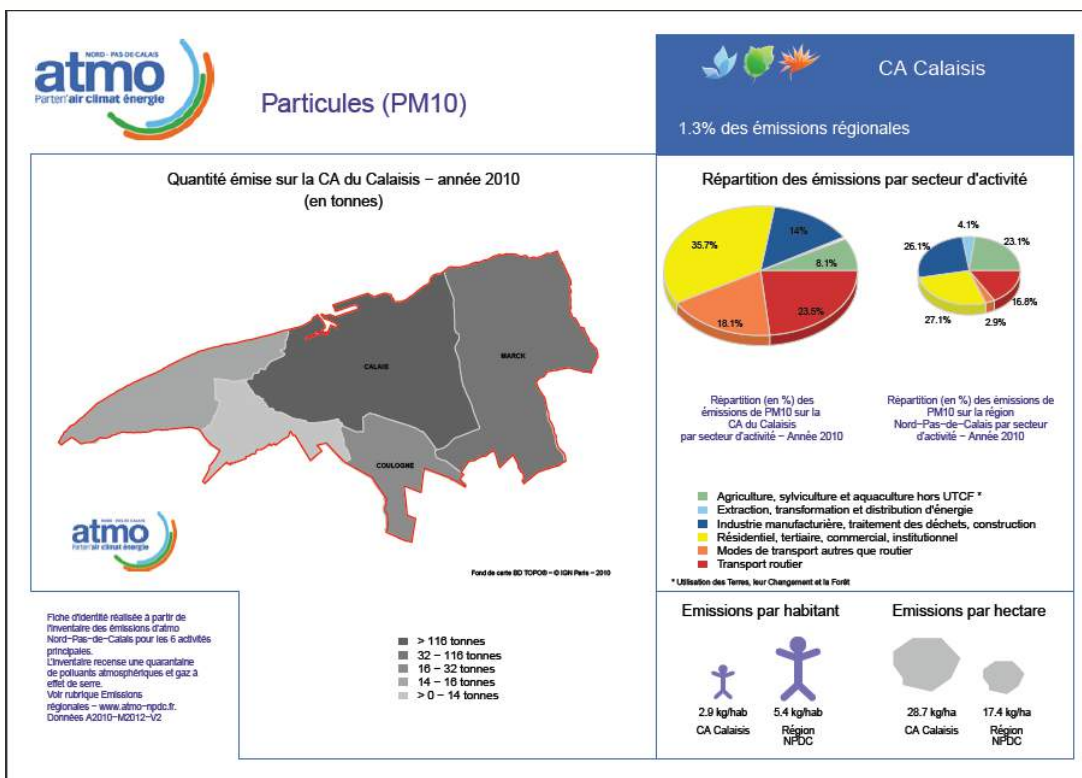
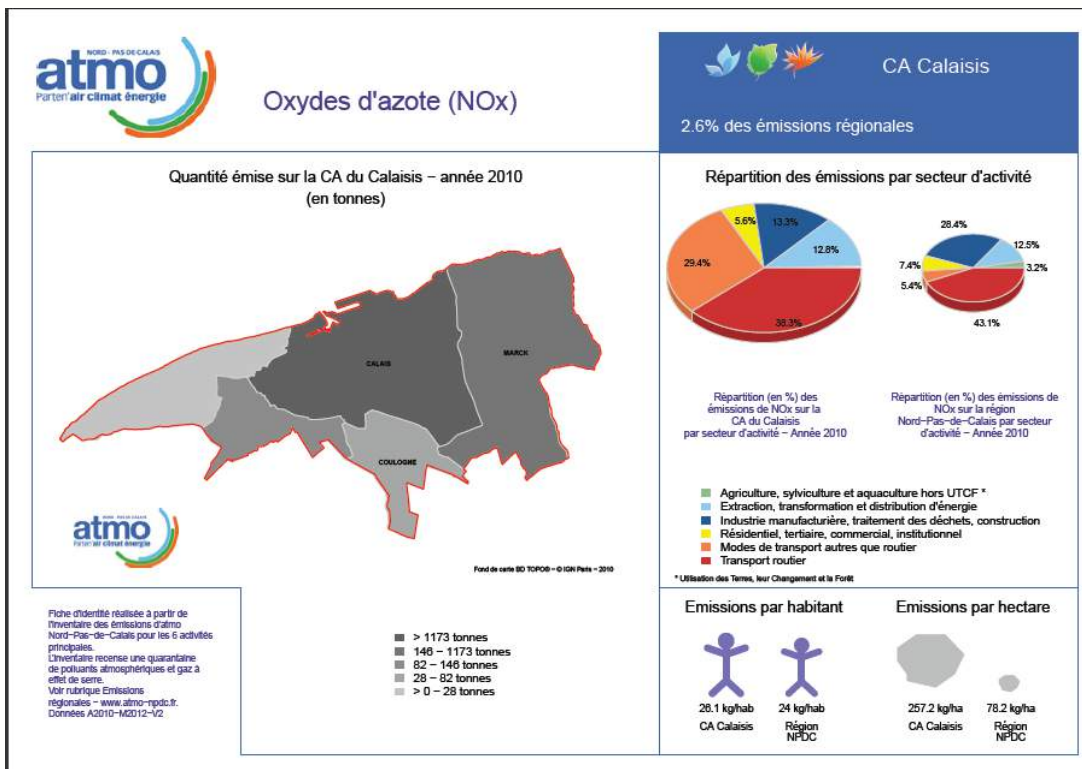


Annexe 4 : Fiches des émissions de polluants

Les émissions totales représentées ne prennent pas en compte le brûlage des déchets agricoles, le transport maritime, les stations-services et le stockage des combustibles solides (données non disponibles ou avec un niveau d'incertitude trop élevé). Pour en savoir plus voir le guide méthodologique¹.



¹ <http://www.atmo-npdc.fr/emissions-regionales/inventaire-des-emissions/methodologie-de-l-inventaire-des-emissions.html>





Annexe 5 : Valeurs réglementaires

Polluant	Normes en 2014		
	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>	-

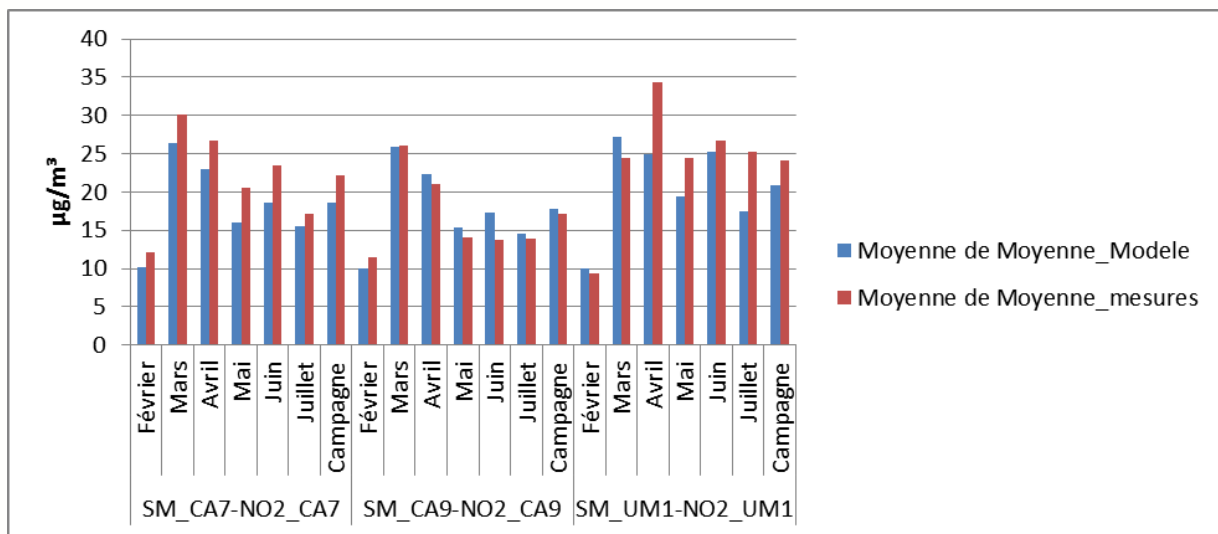
(Source : Décret n°2010-1250 du 21 octobre 2010 relatif à la qualité de l'air)



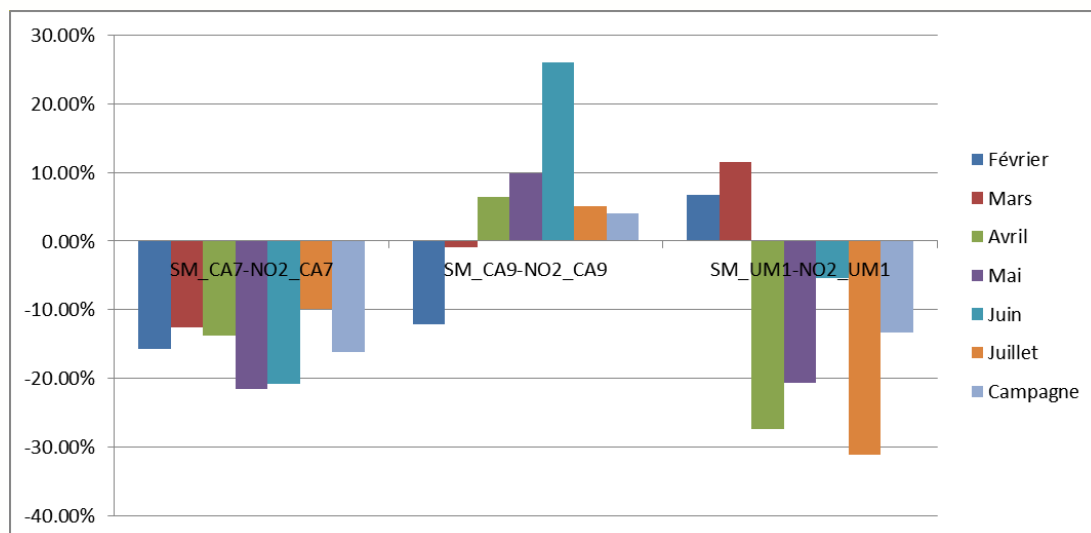
Annexe 6 : graphes mensuels de comparaison modèle-mesure

Campagne 2014

Dioxyde d'azote NO₂



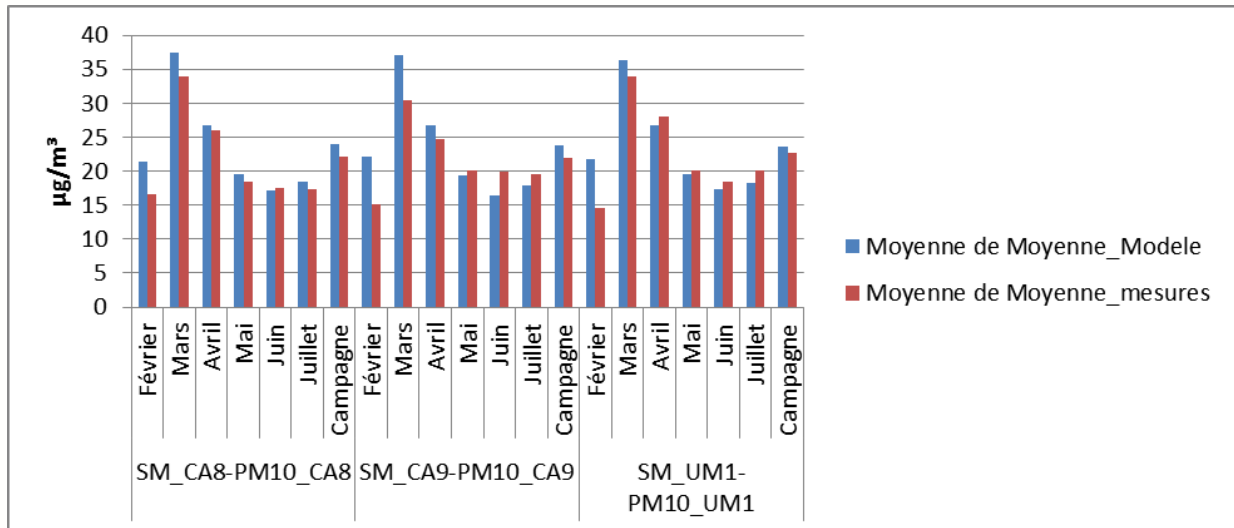
Concentrations en µg/m³



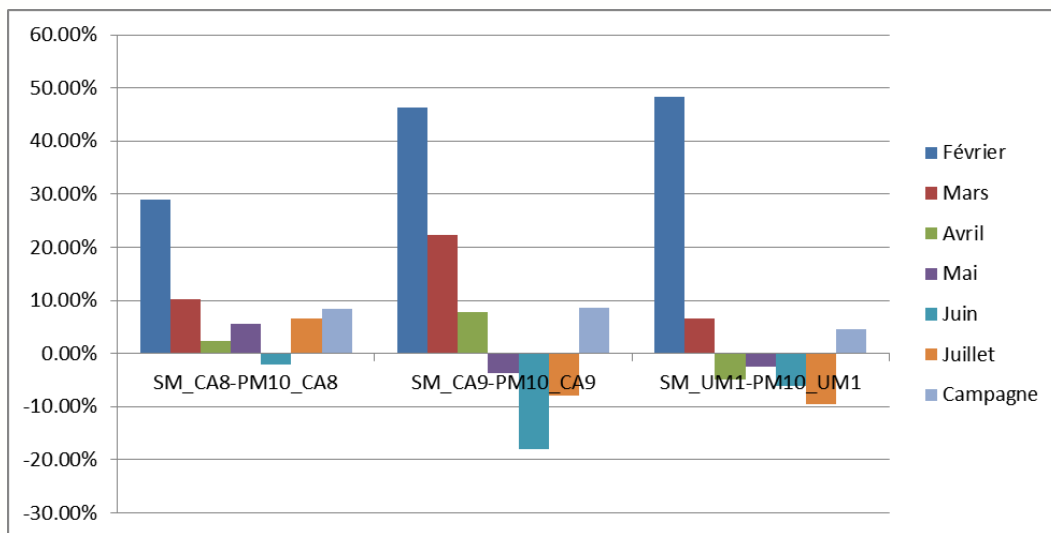
Écarts relatifs modèle / mesure %



Particules en suspension, PM10



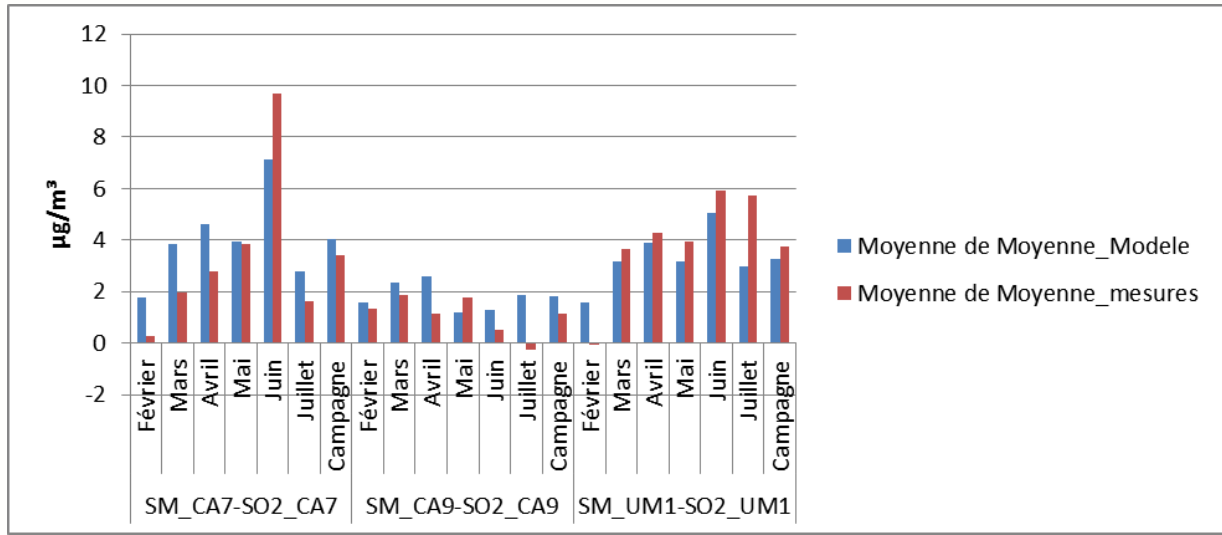
Concentrations en µg/m³



Écarts relatifs modèle / mesure %



 Dioxyde de soufre SO₂

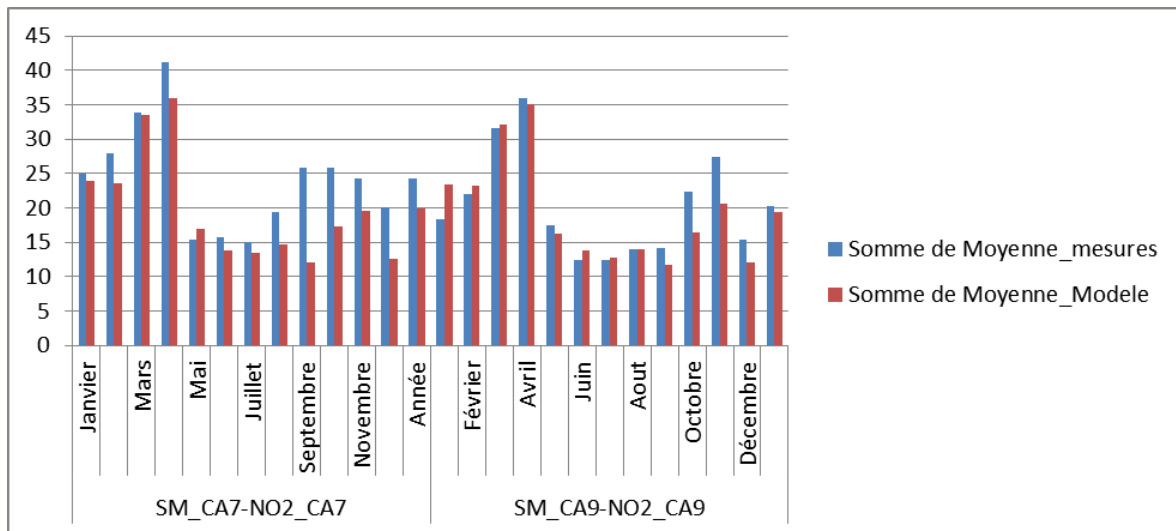


Concentrations en µg/m³

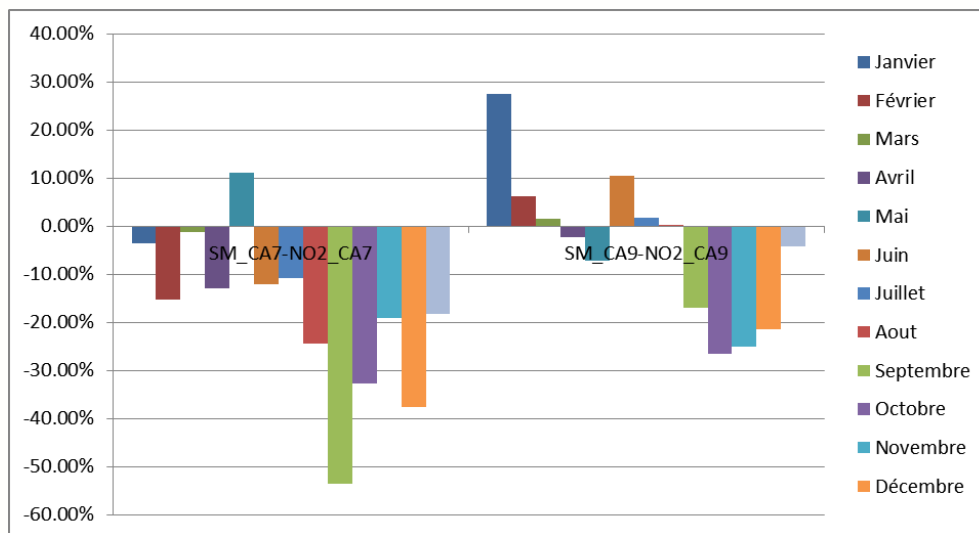


Année 2011

Dioxyde d'azote NO2



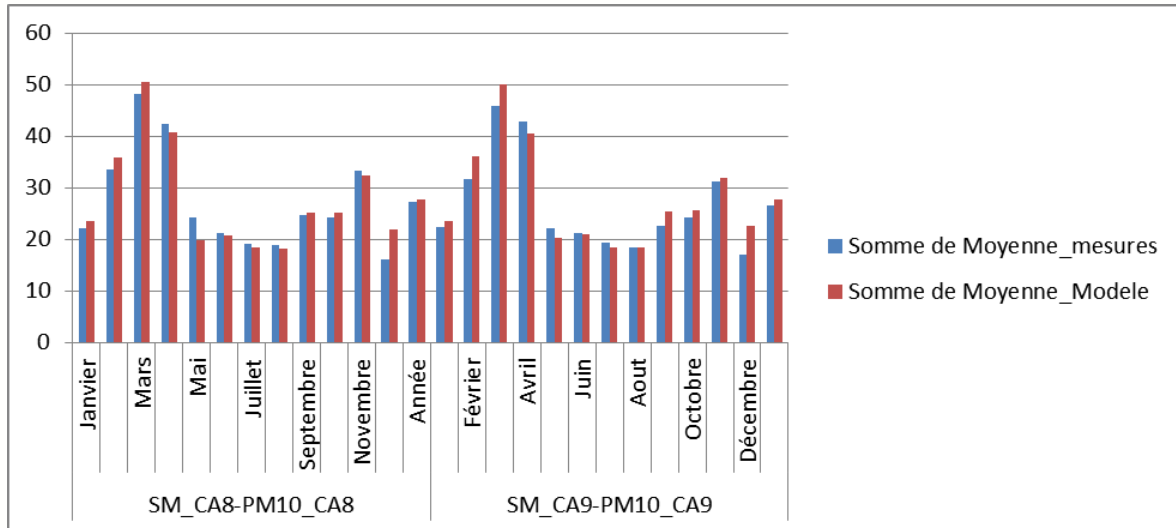
Concentrations en µg/m³



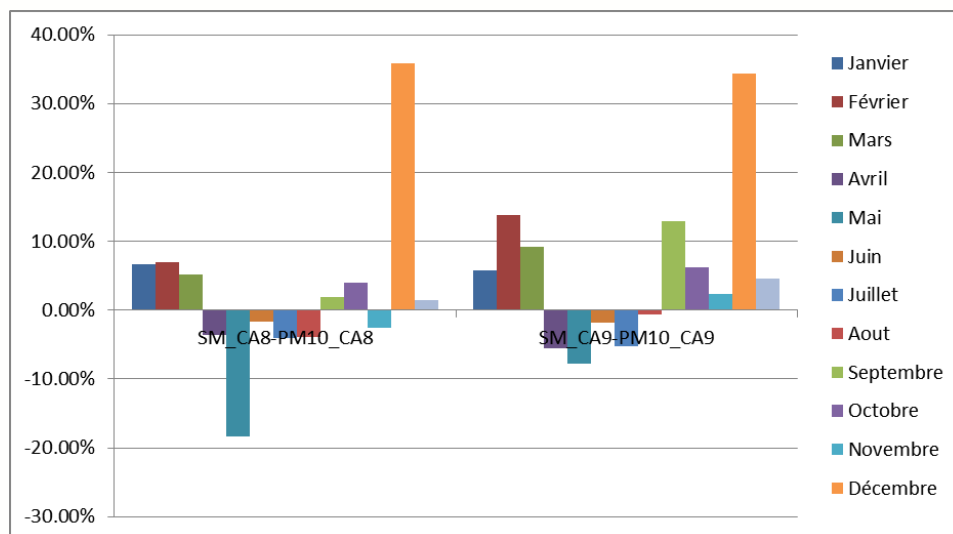
Écarts relatifs modèle / mesure %



Particules en suspension, PM10



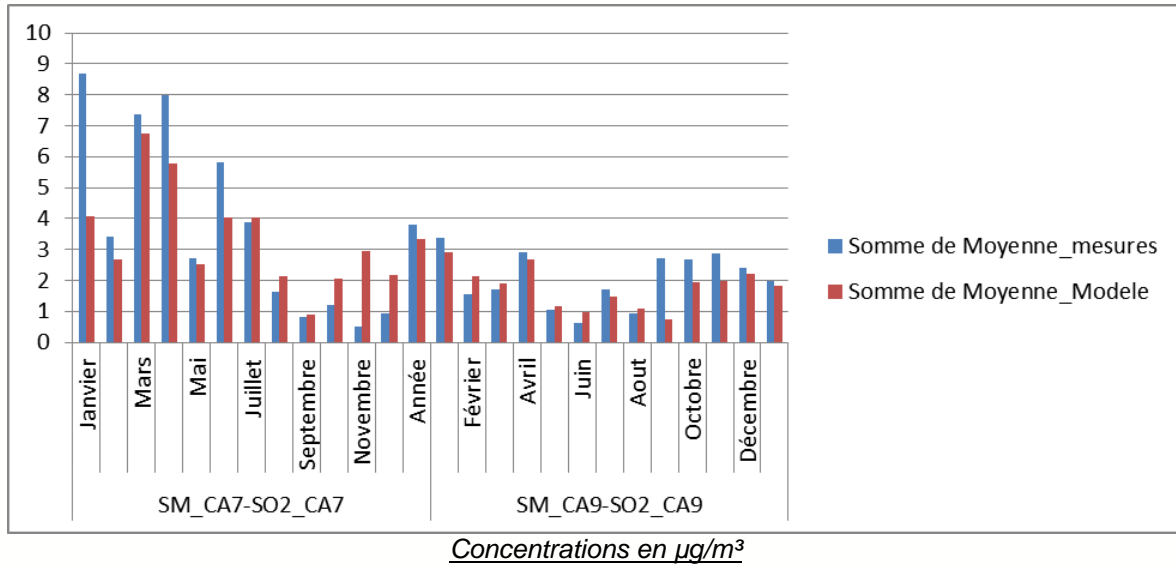
Concentrations en $\mu\text{g}/\text{m}^3$



Écarts relatifs modèle / mesure %



 Dioxyde de soufre SO2





Association
pour la surveillance
et l'évaluation
de l'atmosphère
en Nord - Pas-de-Calais

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

surveiller
accompagner informer