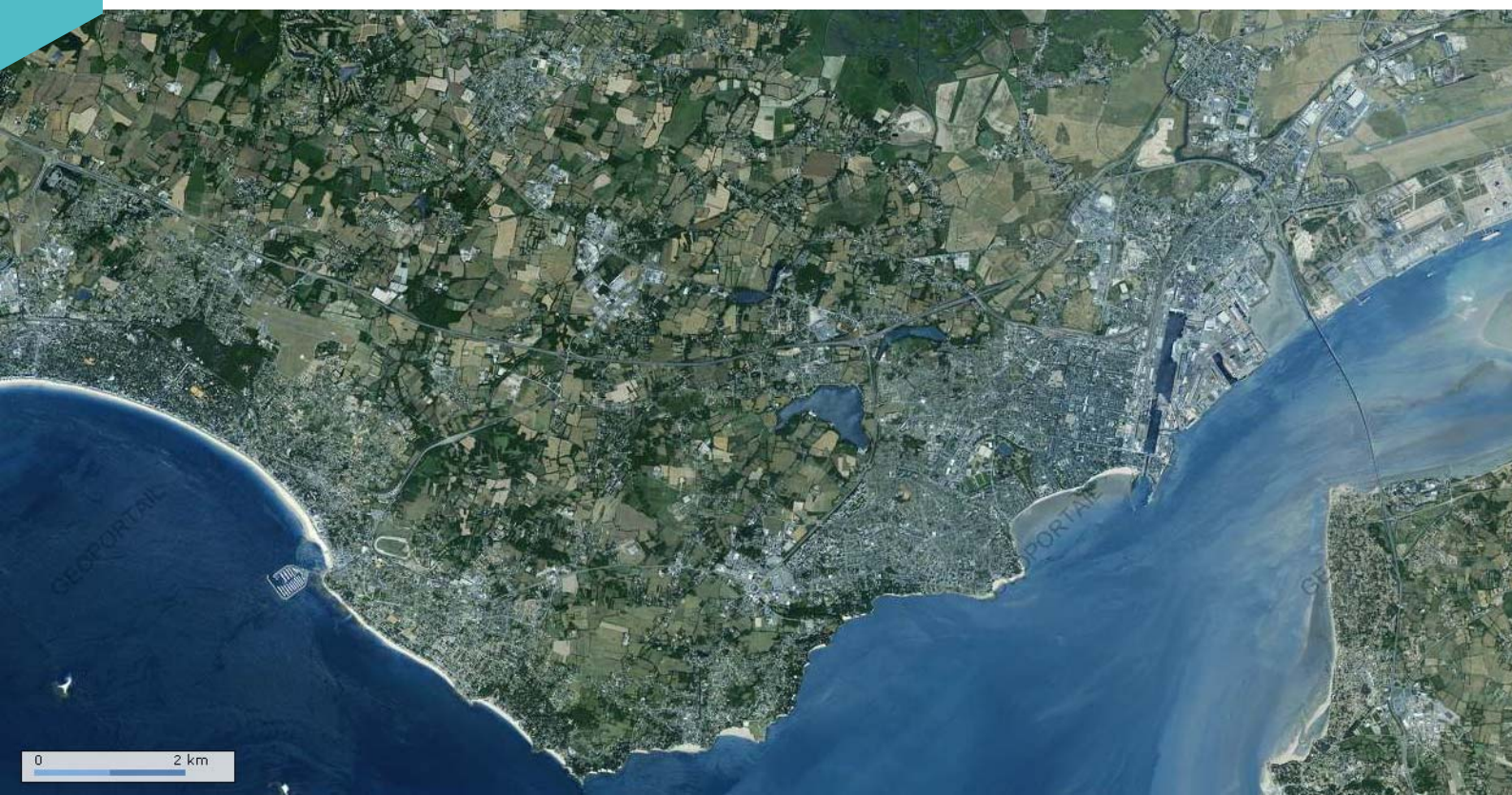


# la CARENE

## cartographies de la qualité de l'air

année 2008

janvier 2010



# sommaire

<b>synthèse .....</b>	<b>1</b>
<b>introduction .....</b>	<b>13</b>
<b>domaine d'étude .....</b>	<b>14</b>
zone d'étude .....	15
sites de mesure .....	16
<b>système de modélisation .....</b>	<b>17</b>
système de modélisation .....	18
données d'entrée nécessaires .....	21
données de sortie .....	24
<b>méthodologie d'évaluation de la qualité de l'air.....</b>	<b>25</b>
choix de l'année étudiée.....	26
inventaire routier .....	26
inventaire industriel.....	31
météorologie .....	32
pollution de fond .....	36
maillage de sortie .....	40
exposition de la population .....	44
<b>méthodologie de calage et de validation .....</b>	<b>48</b>
scores .....	49
profils.....	49
paramètres du calage .....	50
paramètres retenus et scores associés.....	50
<b>résultats .....</b>	<b>54</b>
cartographies de la moyenne annuelle.....	55
cartographies des niveaux de pointe.....	65
exposition de la population .....	77
<b>conclusions et perspectives .....</b>	<b>79</b>
<b>annexes .....</b>	<b>80</b>
annexe 1 : Air Pays de la Loire .....	81
annexe 2 : techniques d'évaluation.....	82
annexe 3 : types des sites de mesure .....	83
annexe 4 : polluants et effets sur la santé .....	84
annexe 5 : seuils de qualité de l'air 2008 .....	86
annexe 6 : utilitaire PROGHW .....	87
annexe 7 : ADMS-urban .....	89
annexe 8 : caractéristiques des installations industrielles.....	90
annexe 9 : étude de sensibilité du modèle aux paramètres d'entrée.....	91
annexe 10 : apport de la hauteur de couche limite dans la description météorologique .....	102
annexe 11 : cartes de moyennes annuelles complémentaires .....	106
annexe 12 : cartes de percentiles 98 complémentaires.....	117
<b>bibliographie .....</b>	<b>128</b>
<b>glossaire .....</b>	<b>129</b>
abréviations .....	129
définitions .....	130
précisions sur les calculs statistiques .....	130

## contributions

Coordination de l'étude : Arnaud Rebours – Rédaction, Cartographie, Exploitation statistique : Frédéric Penven, Préparation des données d'entrée : Florence Guillou, Mise en page : Bérangère Poussin, Photographies : GEOPORTAIL, Validation : Arnaud Rebours, Luc Lavrilleux.

## conditions de diffusion

Air Pays de la Loire est l'organisme agréé pour assurer la surveillance de la qualité de l'air dans la région des pays de la Loire, au titre de l'article L. 221-3 du code de l'environnement, précisé par l'arrêté du 1er août 2007 pris par le Ministère chargé de l'Environnement.

A ce titre et compte tenu de ses statuts, Air Pays de la Loire est garant de la transparence de l'information sur les résultats des mesures et les rapports d'études produits selon les règles suivantes :

Air Pays de la Loire, réserve un droit d'accès au public aux résultats des mesures recueillies et rapports produits dans le cadre de commandes passées par des tiers. Ces derniers en sont destinataires préalablement.

Air Pays de la Loire a la faculté de les diffuser selon les modalités de son choix : document papier, communiqué, résumé dans ses publications, mise en ligne sur son site Internet [www.airpl.org](http://www.airpl.org), etc...

Air Pays de la Loire ne peut en aucune façon être tenu responsable des interprétations et travaux intellectuels, publications diverses ou de toute œuvre utilisant ses mesures et ses rapports d'études pour lesquels Air Pays de la Loire n'aura pas donné d'accord préalable.

## remerciements

Nous tenons à remercier Mr Dufour responsable transports et déplacements, Mme Urvoye, M. Grondin et M. Douaud du service SIG de la CARENE, M. Pragalacis du bureau d'études de la ville de Pornichet, Mr Delaunay des Services techniques de la commune de Trignac pour la fourniture de données de trafic routier sur leur territoire sans lesquelles la modélisation de la pollution atmosphérique n'aurait pas été possible.

Nous remercions également les établissements industriels ayant bien voulu répondre à notre questionnaire concernant les caractéristiques des émissions de leurs installations :

- M. Daudon de YARA France à Montoir-de-Bretagne ;
- M. Pavageau de FAMAT à Saint-Nazaire ;
- Melle Loizeil de la COMMUNAUTE DE COMMUNES de PORNIC ;
- M. Harrosaren de EDF Cordemais ;
- M. Monaco de CEZUS à Paimboeuf ;
- M. Lamour de la Société de Cogénération de Montoir-de-Bretagne ;
- Mme Palaupla de ISOBOX TECHNOLOGIES à Saint-Nazaire ;
- Mme Méchin de AKER YARDS à Saint-Nazaire ;
- M. De Stankiewicz de Total à Donges ;
- M. Martin d'AIRBUS FRANCE à Saint-Nazaire.

Nous souhaitons également remercier l'équipe du support ADMS-urban de Numtech (Céline Pesin, Guilène Lenègre, Emmanuelle Lafont, Emmanuelle Duthier) pour leur aide fort utile.

Enfin, nous remercions nos pairs (Charles Schillinger de l'ASPA, Julien Galineau d'AILLOR, Fabrice Duguay d'AIRPARIF) pour leurs précieux conseils.

# synthèse

## contexte → des attentes locales et nationales

Air Pays de la Loire a proposé à la Communauté d'Agglomération de la Région Nazairienne et de l'Estuaire (CARENE) une étude de modélisation et de cartographie offrant ainsi une évaluation globale de la qualité de l'air sur la partie urbaine de l'agglomération. En effet, la modélisation complète la surveillance par les stations fixes en fournissant une information en tout point du domaine.

L'étude de modélisation répond à plusieurs attentes :

Le Plan de Protection de l'Atmosphère de Nantes Saint-Nazaire, adopté le 30 août 2005, demande un recensement des voies routières génératrices de concentrations élevées de polluants. Ce recensement a été en partie réalisé sur Nantes mais quasiment aucune donnée n'est disponible sur Saint-Nazaire ;

Le PSQA (Programme de Surveillance de la Qualité de l'Air) des Pays de la Loire, adopté en novembre 2005, prévoit une modélisation des principales rues des centres-villes dans les zones urbaines de la région ;

Selon la Directive Européenne 2008/50/CE, la surveillance doit permettre de fournir des renseignements sur le niveau d'exposition de la population mais également dans les endroits où s'observent les plus fortes concentrations auxquelles la population est exposée pendant une période significative. Des indicateurs de la superficie des zones et du nombre d'habitants exposés à des dépassements des valeurs limites sont exigés tous les ans par l'Union Européenne via le Ministère en charge de l'écologie (MEEDDM).

En agglomération urbaine, la dégradation de la qualité de l'air et les risques de dépassement des seuils réglementaires sont principalement observés à proximité des axes de circulation. La ville de Saint-Nazaire est également potentiellement exposée aux activités de la zone industrialo-portuaire.

Le projet d'étude épidémiologique ELFE qui consiste, pour l'aspect qualité de l'air, à un suivi au plan national de l'exposition d'une cohorte de 20 000 enfants en France de la naissance à l'âge adulte nécessitera la mise en place de systèmes opérationnels de modélisation en particulier en milieu urbain. L'étude sur Saint-Nazaire en 2008 constitue un point de lancement de l'application des travaux ELFE sur l'agglomération.

## objectifs → évaluer la qualité de l'air à l'échelle de la partie urbaine de la CARENE

Les objectifs de l'étude tels qu'ils ont été présentés et affinés lors de la réunion avec les services de la Communauté d'Agglomération de la Région Nazairienne et de l'Estuaire du 3 octobre 2007 sont :

- cartographier la qualité de l'air sur la partie urbaine de la CARENE (Saint-Nazaire - Pornichet-Trignac) ;
- comparer les niveaux de pollution avec les seuils réglementaires ;
- identifier les zones les plus exposées et les secteurs préservés ;
- évaluer l'impact des activités spécifiques de la zone industrialo-portuaire ;
- contribuer à une aide à la décision pour la CARENE par une intégration des enseignements de l'étude dans les projets de développement de l'agglomération.



## moyens → modèle ADMS-urban

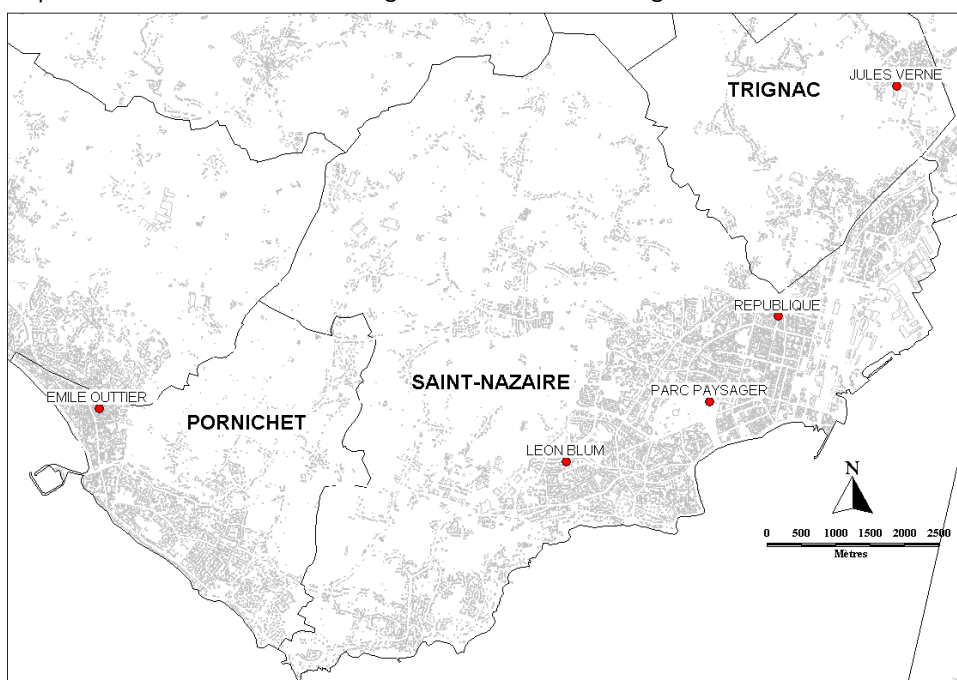
### période d'étude : année 2008

L'étude de modélisation a été mise en œuvre sur l'année la plus récente au lancement du projet soit 2008 de manière à fournir une information la plus à jour possible.

Ce choix a également permis de valider les résultats du modèle sur un site de trafic. En effet, l'avenue de la République à Saint-Nazaire a été instrumentée durant toute l'année 2008.

### domaine d'étude : partie urbaine de la CARENE

Le périmètre de l'étude est celui des trois communes de Saint-Nazaire, Pornichet et Trignac. Toutefois le domaine de calcul a été étendu à l'Est de manière à prendre en compte les sources explicites des communes de Donges et Montoir-de-Bretagne.



Domaine d'étude

Le réseau de mesure d'Air Pays de la Loire dans ce périmètre se compose d'une station de trafic (République), de deux stations urbaines (Léon Blum et Parc Paysager), d'une station périurbaine (Emile Outtier) et d'une station industrielle (Jules Verne).

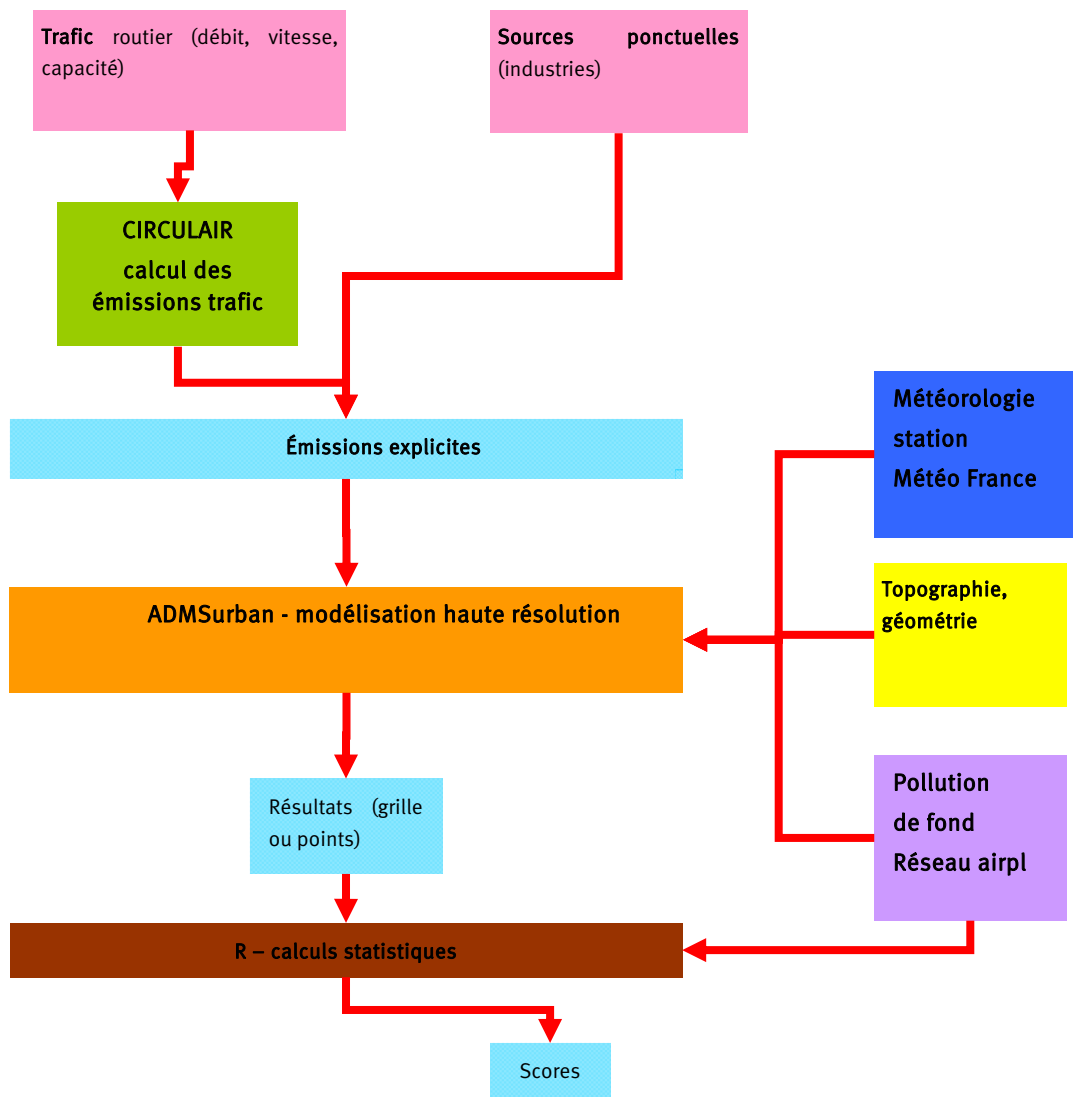
### modèle : ADMS-urban

Le modèle mis en œuvre est le système de référence ADMS (Atmospheric Dispersion Modeling System) développé en Grande Bretagne par le CERC (Cambridge Environmental Research Consultants).

Il s'agit d'un modèle gaussien de seconde génération qui utilise une description continue de la couche limite plutôt que les classes de stabilité de Pasquill.

## méthodologie : préparation du modèle

La mise en œuvre du modèle ADMS-urban sur l'année 2008 a nécessité des travaux préliminaires sur les données d'entrée (émissions du trafic et industrielles, topographie des rues, météorologie, pollution de fond) comme sur le maillage définissant la résolution des cartographies de résultat.



Logigramme du système de modélisation

La constitution des inventaires routiers (1 438 sections de voies) et industriels (34 émetteurs ponctuels) est la première étape de ces travaux préparatoires. Elle consiste en un recensement des sources avec leurs caractéristiques topographiques et une description des émissions.

Les émissions liées au trafic maritime n'ont pas été prises en compte, aussi la représentation cartographique présente par défaut un niveau de fond urbain sur la zone océanique.

De même, les émissions de poussières totales dues aux opérations de déchargement des navires n'ont pas été modélisées en l'absence de données précises pour les caractériser.

Les conditions météorologiques ont été obtenues à partir des mesures de la station Météo-France de Gron à Montoir-de-Bretagne et des simulations du modèle météorologique de la plate-forme régionale de prévision IRIS.

La pollution de fond urbaine a été caractérisée par la station urbaine Léon Blum à Saint-Nazaire.

Le maillage de sortie a fait l'objet d'une étude dans le but d'obtenir un rendu cartographique réaliste.

Enfin, un calcul de la population exposée à un dépassement de valeur limite a également été réalisé pour le dioxyde d'azote. Une méthodologie a été définie afin d'affiner le plus précisément possible cette estimation.

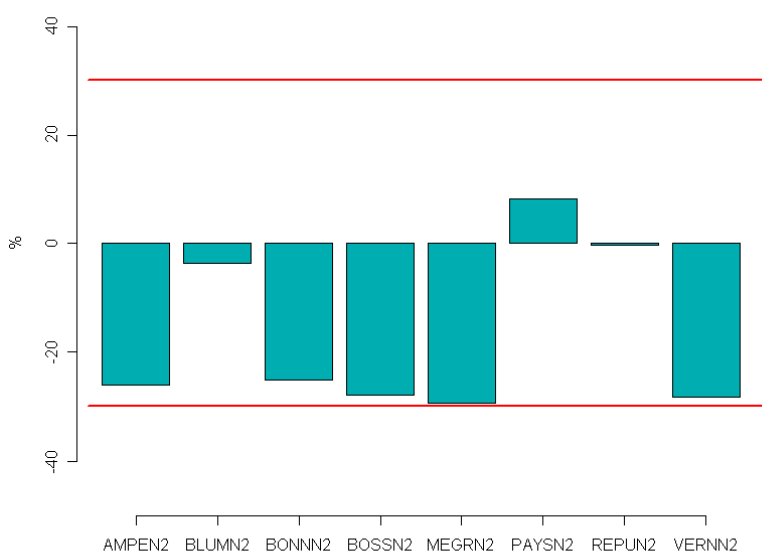
## validation : calage du modèle

L'étape de préparation des données d'entrée achevée, les résultats ont été validés suite à l'ajustement des paramètres du modèle sur la base de scores d'évaluation de l'accord mesure-modèle sur les stations urbaines du réseau d'Air Pays de la Loire.

Cette validation a conduit à la sélection de valeurs des paramètres déterminant les concentrations sur la partie urbaine de la CARENE :

- paramètres indépendants du temps : rugosité, stabilité de l'atmosphère caractérisée par la LMO (longueur minimale de Monin Obukov) ;
- paramètres dépendants du temps : pollution de fond, météorologie, profils d'émission.

À titre d'exemple, les biais normalisés annuels correspondant au paramétrage final sont représentés ci-dessous pour le dioxyde d'azote :



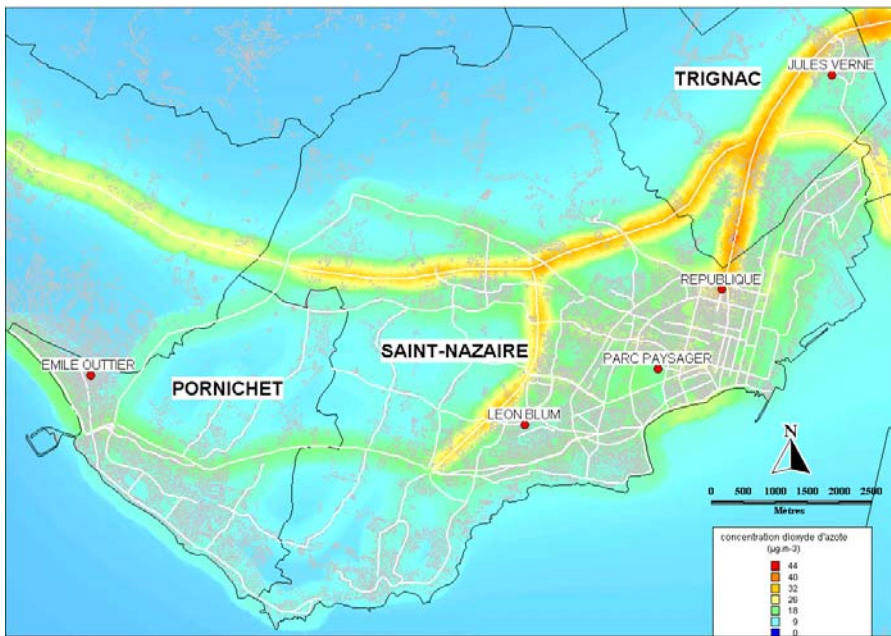
### *Erreurs absolues relatives annuelles pour le dioxyde d'azote avec le paramétrage final*

Ils n'excèdent pas en valeur absolue le seuil de 30% requis par la directive européenne pour le dioxyde d'azote.

## résultats ➔ cartographies annuelles

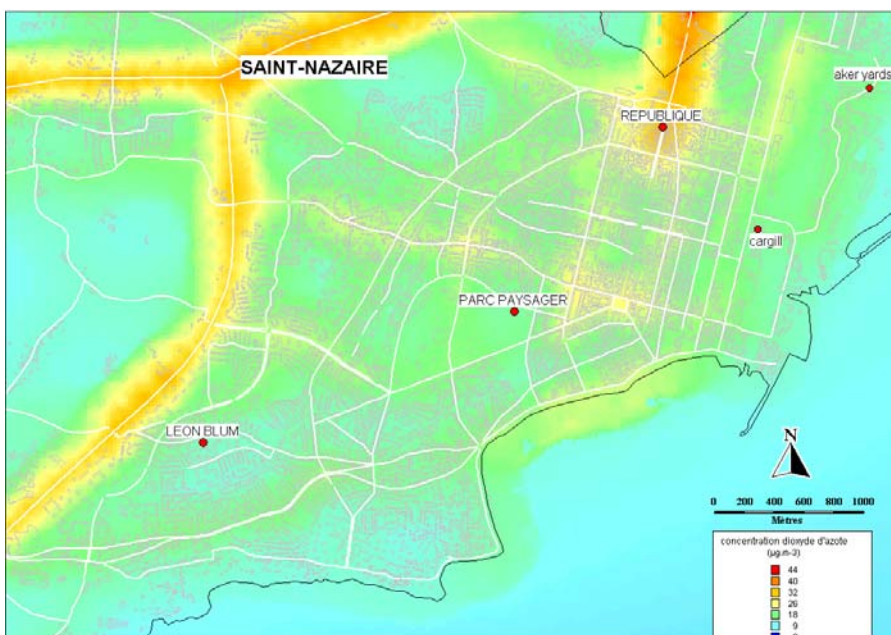
Les cartes ci-dessous représentent la moyenne annuelle des principaux polluants atmosphériques.

### dioxyde d'azote : dépassement de la valeur limite aux abords des grands axes de circulation



Carte de la moyenne annuelle 2008 pour le dioxyde d'azote

Il apparaît sur cette carte que les zones se situant à proximité des axes à forte circulation approchent la valeur limite annuelle fixée à  $44 \mu\text{g.m}^{-3}$  en 2008. Il s'agit des voies rapides (RD 213, RN 171 et RN 471) et du boulevard de contournement RD492. La commune de Trignac se trouvant au croisement de deux d'entre elles apparaît influencée par celles-ci. Pornichet est plus préservée de la pollution par le dioxyde d'azote sauf sur le boulevard de l'Océan et les deux grandes voies d'accès au centre-ville.



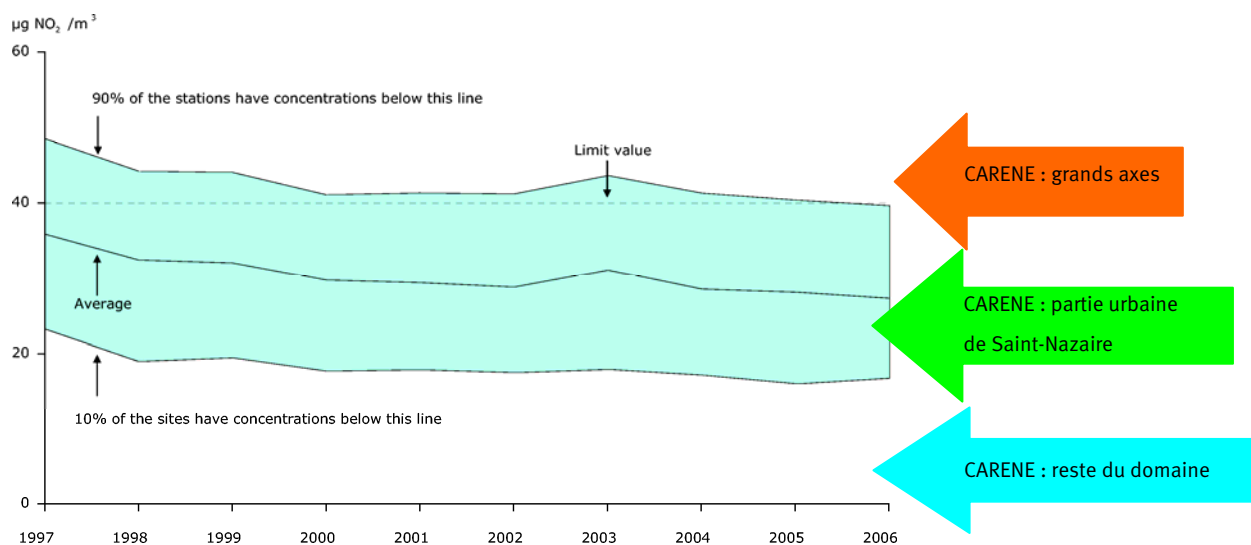
Carte de la moyenne annuelle 2008 pour le dioxyde d'azote sur le centre-ville de Saint-Nazaire



Du fait de la densité des voies de circulation, la partie urbaine de Saint-Nazaire présente un niveau moyen supérieur à  $18 \mu\text{g.m}^{-3}$  soit 40% de la valeur limite alors que la majorité du territoire des trois communes reste largement en dessous des  $9 \mu\text{g.m}^{-3}$  soit 20% de la valeur limite. Il existe des zones préservées comme le littoral de Saint-Marc à Ville-es-Martin qui correspond à des quartiers résidentiels. Sur cette carte, les concentrations de l'espace maritime doivent être considérées comme proches de la valeur nulle étant donné l'absence de source de proximité.

Le front de mer (bd Albert 1<sup>er</sup> et bd du président Wilson) et les grands carrefours comme la place François Blancho apparaissent comme plus exposés.

Selon l'agence européenne pour l'environnement, la moyenne des stations de fond de l'Union Européenne se situait en 2006 à  $27 \mu\text{g.m}^{-3}$  et 80% d'entre elles se trouvaient dans la plage de concentration de  $20 \mu\text{g.m}^{-3}$  à  $40 \mu\text{g.m}^{-3}$  soit juste en dessous de l'objectif de qualité comme le montre ce graphique :

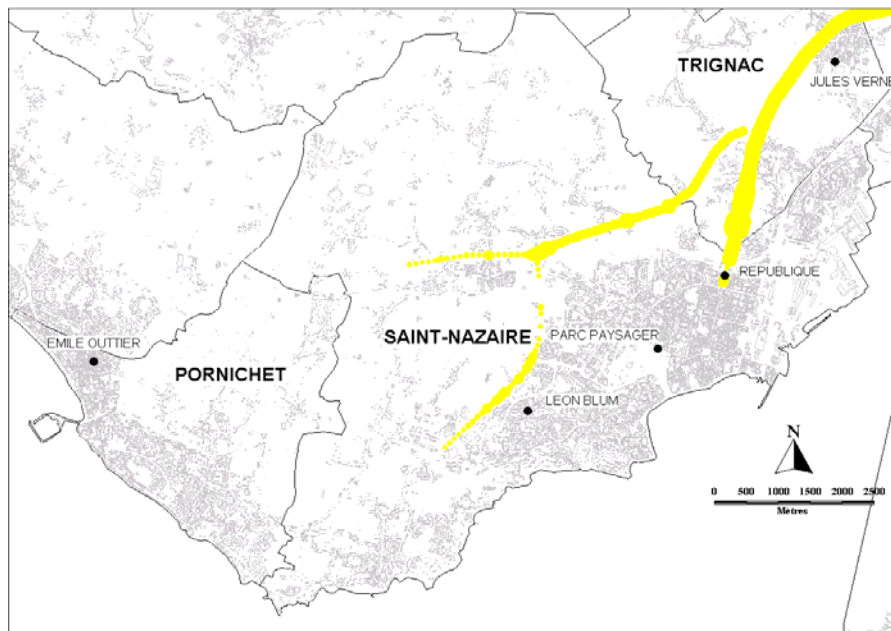


Moyennes annuelles de dioxyde d'azote des stations de fond de l'Union Européenne (source : EEA - AirBase - 16 Apr 2008)

La grande majorité de la zone d'étude se trouve donc au niveau des 10% de sites les moins pollués alors que la partie urbaine de Saint-Nazaire se situe dans la partie inférieure de l'intervalle de confiance à 80 % autour de la moyenne. Enfin, les zones se trouvant à proximité des grands axes dépassent l'objectif de qualité ( $40 \mu\text{g.m}^{-3}$ ).

Le quartier de l'avenue de la République se trouvant à l'entrée de la pénétrante (RN 471) dans un réseau dense de voiries présente un niveau moyen mesuré en 2008 par la station d'Air Pays de la Loire dépassant la valeur limite annuelle en dioxyde d'azote ( $44 \mu\text{g.m}^{-3}$ ).

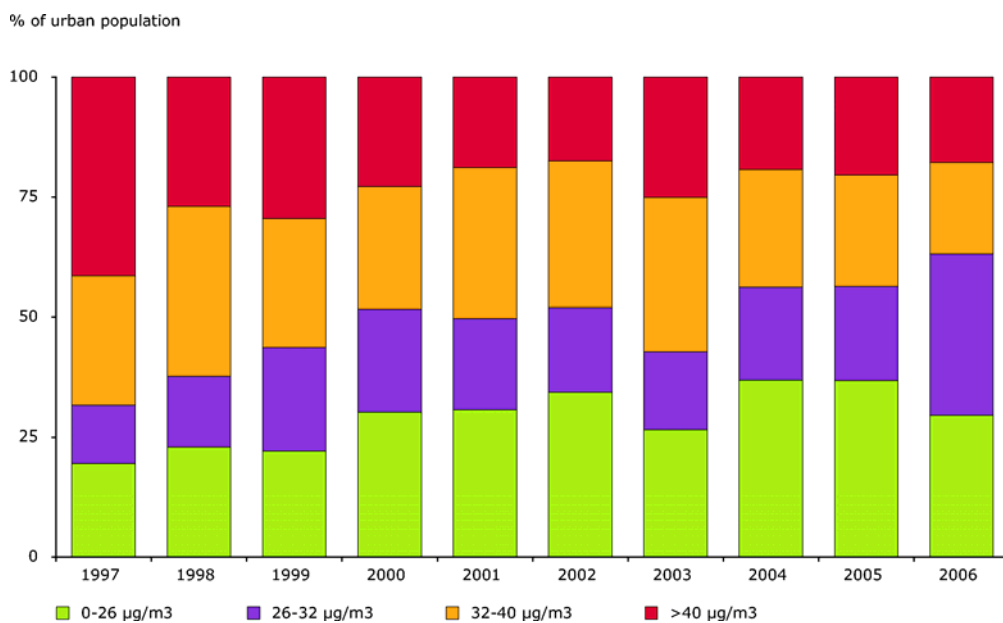
Suite à ce constat, une évaluation de la population de la CARENE exposée à ce dépassement a été réalisée. La zone en dépassement est représentée en jaune sur la carte ci-dessous :



Carte de l'aire de dépassement de la valeur limite pour le dioxyde d'azote

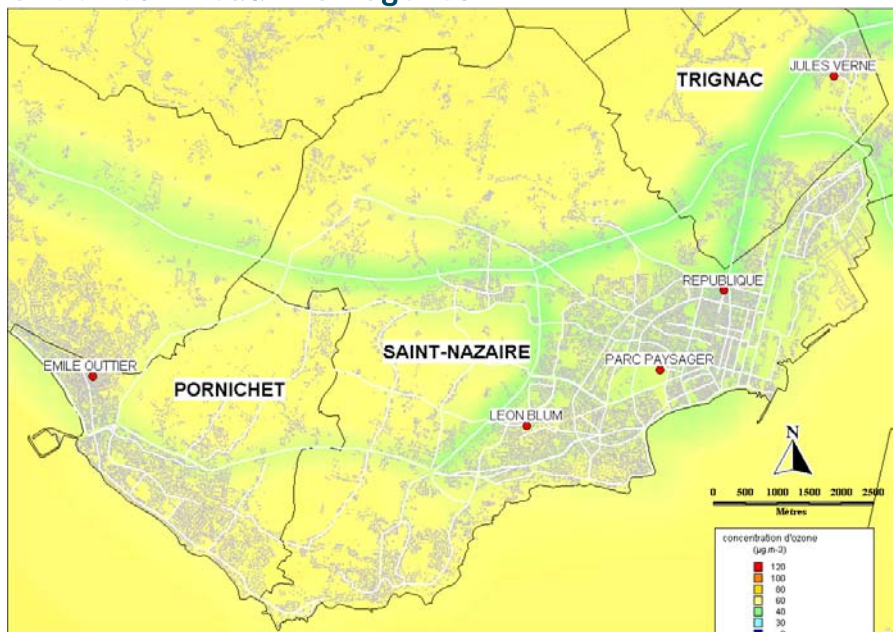
Le croisement avec la population répartie sur le bâti conduit à une estimation d'environ 2,4% soit **2 000 résidents** exposés au dépassement de la valeur limite annuelle pour le dioxyde d'azote. Ces informations ont été rapportées à l'Union Européenne en 2009.

L'agence européenne pour l'environnement a évalué que la population urbaine de l'Union était exposée à un dépassement de l'objectif de qualité était passé sous la barre des 18% en 2006.



Exposition au dioxyde d'azote de la population urbaine européenne (source : EEA - AirBase - 16 Apr 2008)

## ozone : des niveaux homogènes

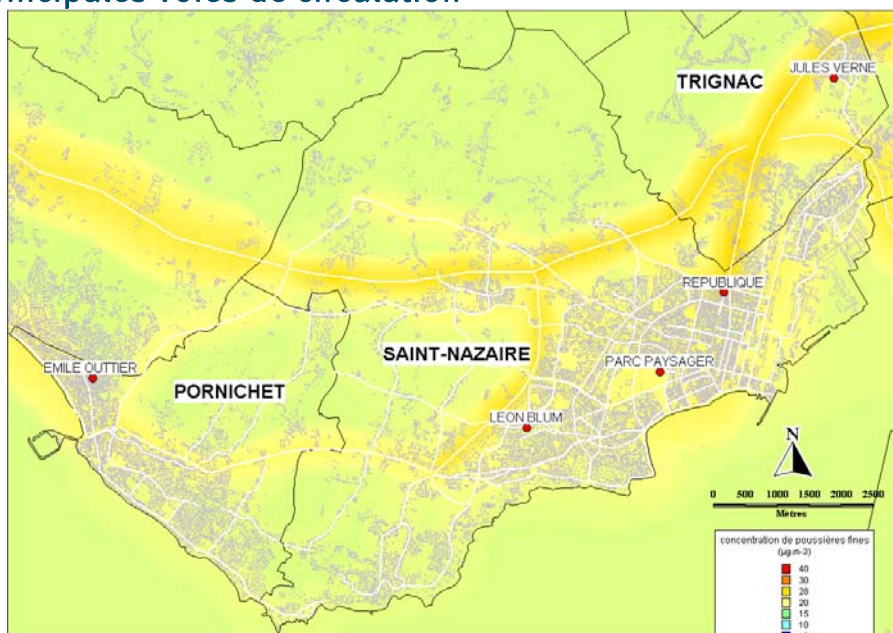


Carte de la moyenne annuelle 2008 pour l'ozone

La carte apparaît relativement uniforme ce qui témoigne du fait que l'ozone est un polluant à grande échelle.

Les zones à forte densité de trafic bénéficient d'une concentration moyenne annuelle légèrement plus faible que le reste du domaine. Cela s'explique par la consommation d'une partie de l'ozone par réaction avec les polluants primaires émis par les véhicules.

## poussières fines : atteinte de l'objectif de qualité à proximité des principales voies de circulation

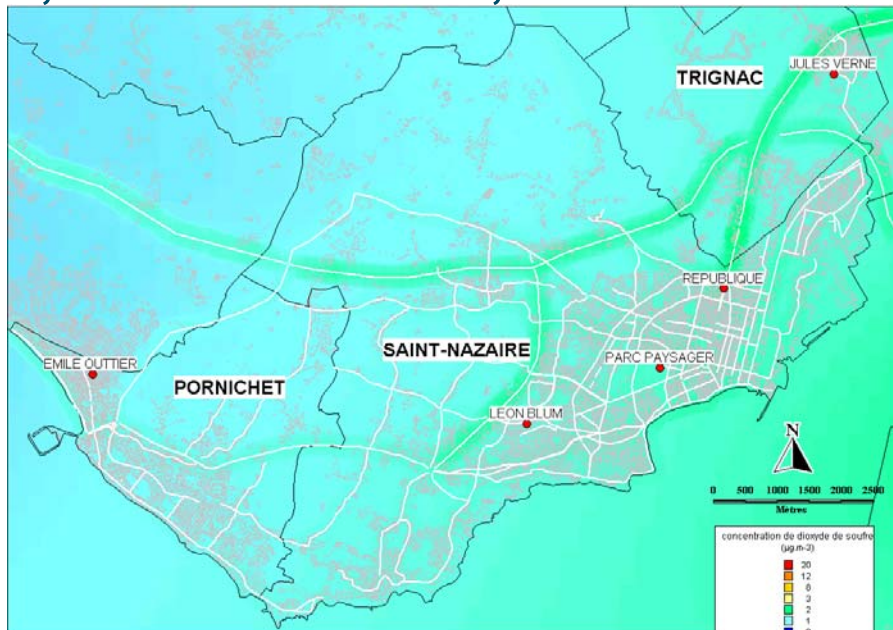


Carte de la moyenne annuelle 2008 pour les poussières fines

Compte tenu de l'inventaire disponible, les niveaux en poussières fines sont proches de l'objectif de qualité s'élevant à  $30 \mu\text{g.m}^{-3}$  autour des voies de fort trafic (RD213, RN171, RN471, RD492) mais ne le dépassent pas. Le reste du domaine se situe assez uniformément entre  $15$  et  $20 \mu\text{g.m}^{-3}$  ce qui atteste le fait que la pollution par les poussières fines est un phénomène à grande échelle.

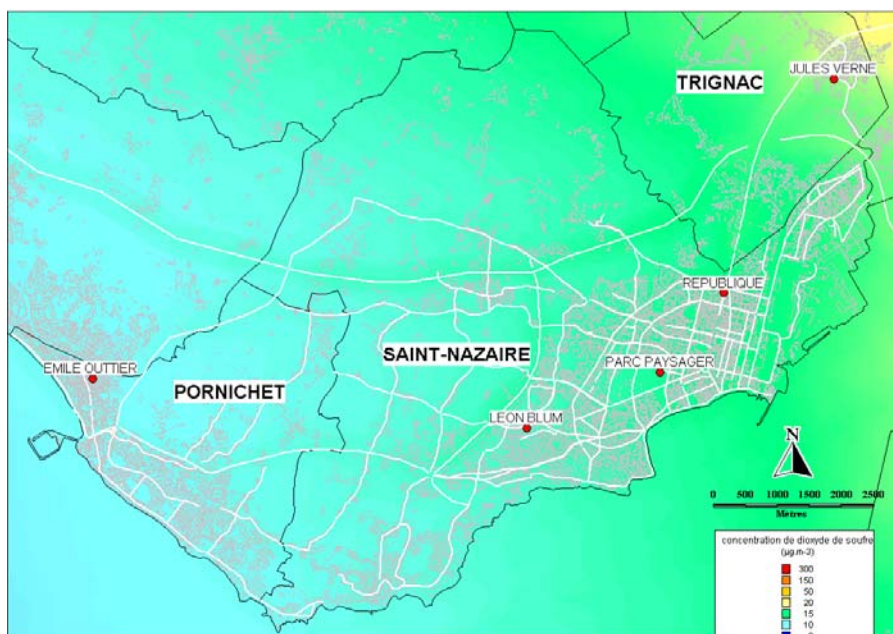


## dioxyde de soufre : un niveau moyen très faible et assez homogène



Carte de la moyenne annuelle 2008 pour le dioxyde de soufre

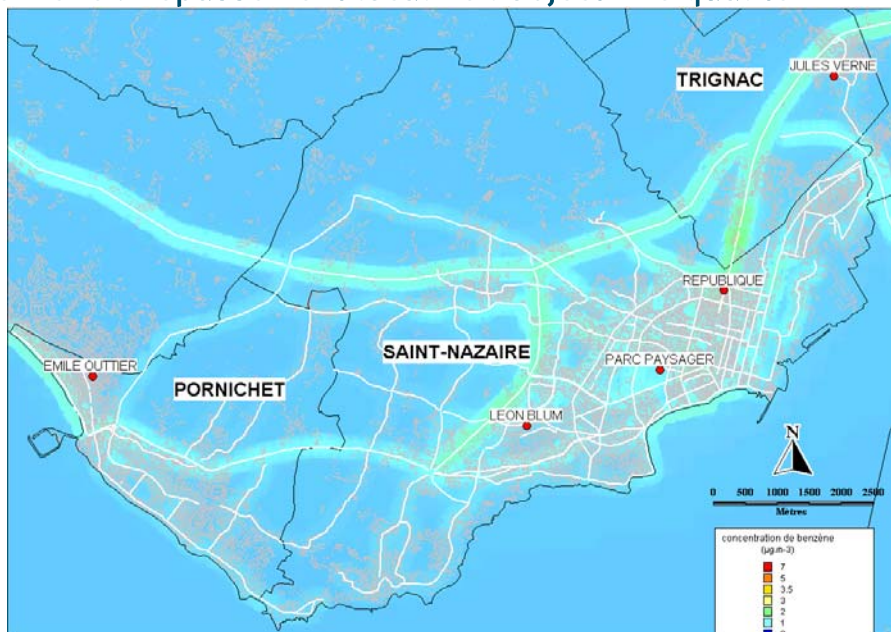
Les concentrations de dioxyde de soufre simulées sont très faibles puisqu'elles atteignent au maximum entre 10% et 15% de la valeur limite annuelle. En revanche, l'étude des niveaux de pointe montre l'influence locale de la raffinerie de Donges sur la partie nord-est de Trignac. Cette influence reste toutefois limitée puisque les valeurs des percentiles 98 (valeur de pointes) dépassent seulement les 20 µg.m<sup>-3</sup>. soit 6% du seuil de recommandation et d'information.



Carte du percentile 98 de l'année 2008 pour le dioxyde de soufre

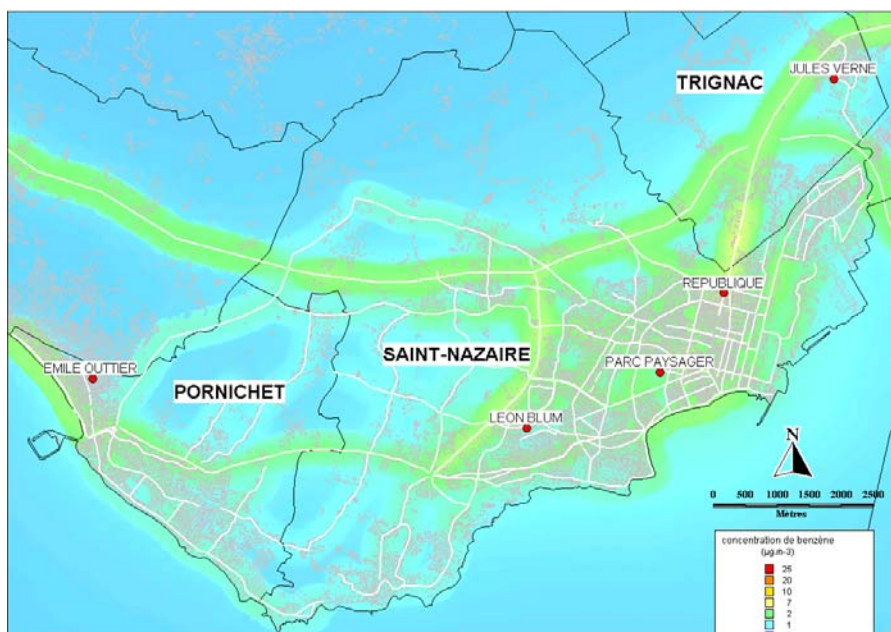
Alors que l'influence du réseau routier n'est ici pas perceptible, celle de l'activité industrialo-portuaire, dont celle de la raffinerie de Donges, combinée aux conditions météorologiques (flux de sud-ouest majoritaire) est présente sur cette carte comme le montre le gradient de concentrations du Sud-Ouest au Nord-Est. En effet, le Sud-Ouest du domaine apparaît plus préservé avec des niveaux de pointe entre 10 et 15 µg.m<sup>-3</sup> alors que le Nord-Est du secteur se situe entre 15 et 20 µg.m<sup>-3</sup>.

## benzène : dépassement local de l'objectif de qualité



Carte de la moyenne annuelle 2008 pour le benzène

Le benzène se retrouve à proximité des voies de circulation mais les niveaux moyens atteints sont très en deçà de la valeur limite fixée à  $7 \mu\text{g.m}^{-3}$  en 2008. L'objectif de qualité ( $2 \mu\text{g.m}^{-3}$ ) est lui atteint sur la pénétrante de Saint-Nazaire (RN 471).

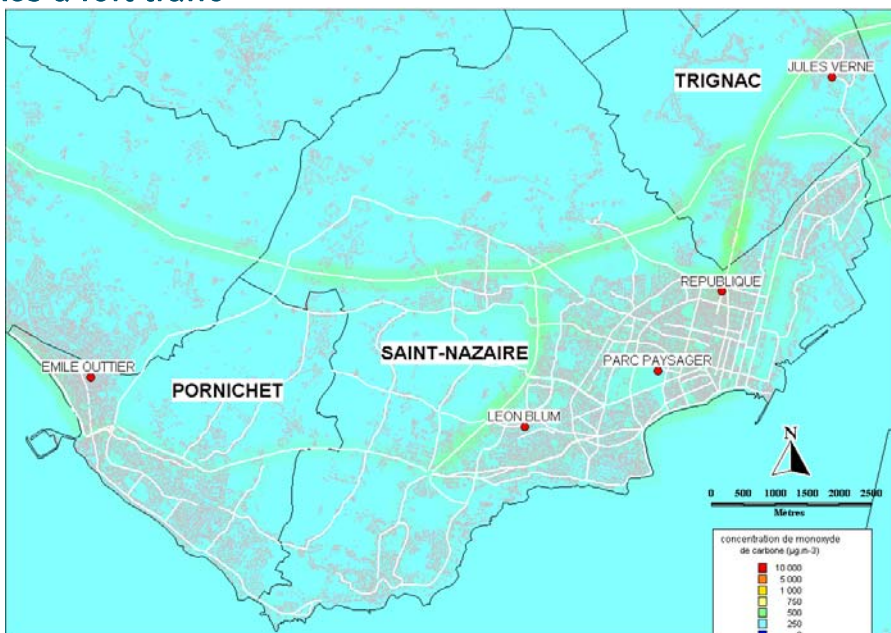


Carte du percentile 98 (niveaux de pointe) de l'année 2008 pour le benzène

De plus, la carte de niveaux de pointe montre que certaines zones aux abords des voies à forte circulation peuvent ponctuellement faire l'objet d'élévation importante des concentrations sans pour autant atteindre le seuil de  $25 \mu\text{g.m}^{-3}$  fixé par le Conseil Supérieur de l'Hygiène Publique de France. Il s'agit des voies rapides (RD213, RN171, RN471), du boulevard de contournement (RD492), des boulevards côtiers de Pornichet (bd de l'Océan) et de Saint-Nazaire (bd Albert 1<sup>er</sup> et bd du président Wilson).



## monoxyde de carbone : des concentrations très faibles même près des axes à fort trafic



Carte de la moyenne annuelle 2008 pour le monoxyde de carbone

Les teneurs en monoxyde de carbone sont faibles en moyenne sur l'année 2008 puisqu'elles ne dépassent que très rarement les 500 µg.m<sup>3</sup> soit 5 % de la valeur limite aux abords des axes structurants.

## conclusions et perspectives ..... campagne de mesure

### Grands axes de circulation

Cette étude a permis d'évaluer la qualité de l'air sur le territoire urbain de la CARENE. Les niveaux moyens des principaux polluants n'excèdent pas les seuils réglementaires sauf en certaines zones se trouvant aux abords des grands axes de circulation qui bénéficient d'une qualité de l'air dégradée. C'est par exemple le cas pour le dioxyde d'azote pour lequel une population estimée à 2 000 habitants est exposée au dépassement de la valeur limite annuelle.

### Zone économique industrialo-portuaire

Concernant les activités industrielles du port de Saint-Nazaire l'inventaire des données d'émissions actuellement disponibles n'a pas permis d'établir d'impact ; les émissions du trafic routier étant prépondérantes. Il conviendrait toutefois de le confirmer en réalisant une campagne de mesure dans les quartiers avoisinants comme Ville-Port ou Penhouet, par exemple, en complément des campagnes de surveillance de la pollution dans l'environnement industrialo-portuaire de Saint-Nazaire déjà menées en 2002 et 2003 ou en menant une étude de modélisation plus fine sur la zone en prenant en compte notamment les poussières totales émises lors des opérations de déchargement des navires qui constituent une forte préoccupation des nazairiens. Par ailleurs, une légère influence de la raffinerie de Donges pour le dioxyde de soufre a été modélisée dans la partie Nord-Est de la commune de Trignac où les niveaux de pointes sont plus élevés de 30% par rapport au reste du domaine étudié.

### Zone côtière

Cette étude fait également ressortir les boulevards côtiers de Pornichet et Saint-Nazaire comme présentant des niveaux de dioxyde d'azote et de benzène deux fois plus élevés. L'étude construite pour le calcul d'indicateurs annuels ne permet pas à ce stade de valider l'hypothèse d'une augmentation des niveaux de polluants liée à la hausse de trafic lors de la saison estivale... Il serait pertinent de réaliser une étude de modélisation spécifique avec notamment des comptages plus précis permettant de distinguer les mois d'été ou de mettre en place une campagne de mesure pendant et en dehors de la saison touristique.

### Perspectives

Les résultats de cette étude ont fait l'objet d'une validation par comparaison des mesures aux simulations du modèle sur la base du réseau de mesure existant. Cependant, celui-ci ne couvre pas complètement l'ensemble du domaine modélisé. En particulier pour le dioxyde d'azote qui présente des probabilités de dépassement de valeurs seuils, il pourrait être envisagé de mettre en œuvre une campagne de mesure sur une trentaine de sites environ afin de compléter l'évaluation.

Plus spécifiquement c'est en ce sens qu'Air Pays de la Loire projette la mise en place annuelle d'un laboratoire mobile à proximité de la RN171 sur la commune de Trignac dans une des zones exposées aux dépassements de la valeur limite pour le dioxyde d'azote.

La CARENE a lancé en 2009 un projet renouvelant en profondeur l'offre de transports collectifs urbains. La refonte totale du réseau de bus qui s'appuiera sur une nouvelle ligne « épine dorsale » traversant d'Est en Ouest le cœur de Saint-Nazaire, vise à proposer, là où les besoins de déplacements sont les plus importants, une desserte en bus particulièrement efficace, dotée d'une bonne fréquence sur des horaires élargis, confortable et complètement fiable (grâce aux couloirs sur certains tronçons et aux priorités aux feux).

Ce projet devrait avoir une influence positive sur la qualité de l'air de l'agglomération. A son issue, une évaluation de la qualité de l'air est à envisager par de nouvelles mesures avenue de la République et une nouvelle modélisation pour le territoire de la CARENE.

# introduction

**D**ans le cadre de sa mission de surveillance de la qualité de l'air dans les Pays de la Loire, Air Pays de la Loire met en œuvre des études de modélisation à haute résolution afin de pouvoir appréhender les phénomènes de pollution à l'échelle d'une agglomération.

Air Pays de la Loire a ainsi proposé à la Communauté d'Agglomération de la Région Nazairienne et de l'Estuaire (CARENE) une étude de modélisation et de cartographie de la qualité de l'air sur la partie urbaine de l'agglomération, prenant en compte les phénomènes de proximité des sources, en complément de la surveillance par station fixe réalisée au niveau de l'avenue de la République durant l'année 2008.

L'étude de modélisation répond à plusieurs attentes : le Plan de Protection de l'Atmosphère demande un recensement des voies routières génératrices de concentrations élevées de polluants ; le Programme de Surveillance de la Qualité de l'Air des Pays de la Loire prévoit une modélisation des principales rues des centres-villes ; des indicateurs de la superficie des zones et du nombre d'habitants exposés à des dépassements des valeurs limites sont exigés tous les ans par l'Union Européenne.

En agglomération urbaine, la dégradation de la qualité de l'air et les risques de dépassement des seuils réglementaires sont principalement observés à proximité des axes de circulation. La ville de Saint-Nazaire est également potentiellement exposée aux activités de la zone industrialo portuaire.

Les objectifs généraux de l'étude tels qu'ils ont été présentés et affinés lors de la réunion avec les services de la CARENE du 3 octobre 2007 sont :

- cartographier la qualité de l'air sur la partie urbaine de la CARENE (Saint-Nazaire – Pornichet-Trignac) ;
- comparer les niveaux de pollution avec les seuils réglementaires ;
- identifier les zones les plus exposées et les secteurs préservés ;
- évaluer l'impact des activités spécifiques de la zone industrialo portuaire ;
- contribuer à une aide à la décision pour la CARENE par une intégration des enseignements de l'étude dans les projets de développement de l'agglomération.

## domaine d'étude

**L**e périmètre de l'étude est composé d'un domaine de calcul et d'un domaine de résultat. Le domaine de calcul est le plus étendu de manière à prendre en compte les installations industrielles de Montoir-de-Bretagne et Donges. Le domaine de résultat couvre le territoire des trois communes urbaines de la CARENE : Saint-Nazaire, Pornichet et Trignac pour lesquelles la configuration du bâti a été prise en compte. Air Pays de la Loire dispose de quatre stations urbaines de mesure sur cette zone et d'une dizaine de stations industrielles.

## zone d'étude

La communauté d'agglomération de la région nazairienne et de l'estuaire (CARENE) est une structure intercommunale composée de dix communes situées sur la rive droite de l'estuaire de la Loire :

- Besné, la plus petite commune de l'agglomération regroupe 2 237 habitants est située au cœur des marais de Brière ;
- Donges est située sur les bords de Loire et regroupe 6 338 habitants ;
- La Chapelle-des-Marais est une commune située dans le Parc naturel régional de Brière et compte 3 199 habitants ;
- Montoir-de-Bretagne regroupe 6 310 habitants aux portes de la Presqu'île de Guérande et au seuil de la Brière ;
- Pornichet est la station balnéaire de l'agglomération. Sa population, de 10 423 habitants à l'année, se voit multipliée en période estivale pour atteindre jusqu'à 50 000 habitants au cœur du mois d'août ;
- Saint-André-des-Eaux accueille 4 917 habitants au cœur du marais ;
- Saint-Joachim et ses 3 915 habitants sont également membres du Parc régional de Brière ;
- Saint-Malo-de-Guersac, au cœur du Parc régional de Brière héberge 3 112 habitants ;
- Saint-Nazaire, ville centre et la plus importante de l'agglomération, compte 68 838 habitants ;
- Trignac compte 7 230 habitants.

L'étude porte, conformément aux attentes des représentants de la CARENE, sur la partie urbaine de l'agglomération :

- Pornichet;
- Saint-Nazaire ;
- Trignac.

Deux domaines ont été définis pour mener à bien cette étude :

- un domaine de résultat (en bleu sur la carte) qui couvre les trois communes citées précédemment ;
- un domaine de calcul (en rouge sur la carte) qui s'étend davantage à l'Est pour prendre en compte les sources industrielles des communes de Montoir-de-Bretagne et Donges qui peuvent potentiellement influencer la qualité de l'air dans les communes environnantes.

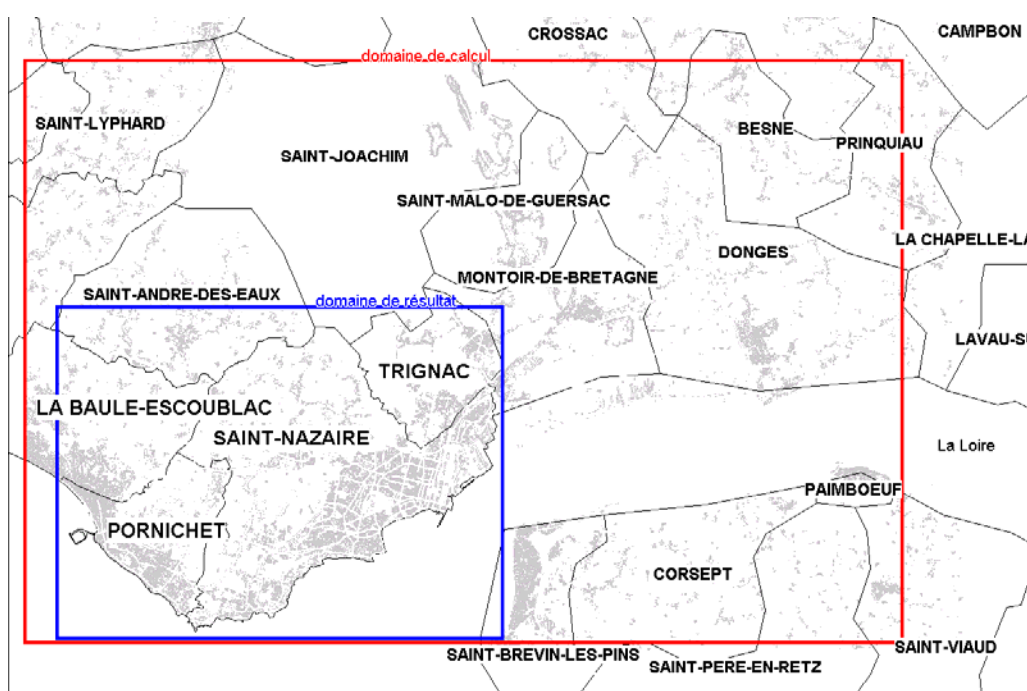


Figure 1 : domaines d'étude



## sites de mesure

- en 2008, le réseau permanent d'Air Pays de la Loire se compose des stations permanentes suivantes (les polluants mesurés sont indiqués entre parenthèses) :
- stations urbaines de Saint-Nazaire :
  - ⇨ Léon Blum (dioxyde d'azote, ozone, poussières fines) ;
  - ⇨ Parc Paysager (dioxyde d'azote, dioxyde de soufre, poussières fines).
- Station périurbaine de Pornichet :
  - ⇨ Emile Outtier (ozone).
- Stations industrielles de Basse-Loire :
  - ⇨ Bossènes à Donges (dioxyde d'azote) ;
  - ⇨ Pasteur à Donges (dioxyde de soufre) ;
  - ⇨ Ampère à Donges (dioxyde de soufre, dioxyde d'azote) ;
  - ⇨ Parscau du Plessis à Donges (dioxyde de soufre, poussières fines) ;
  - ⇨ La Mégretais à Donges (dioxyde de soufre, dioxyde d'azote) ;
  - ⇨ Bonne Fontaine à Montoir-de-Bretagne (dioxyde de soufre, dioxyde d'azote) ;
  - ⇨ Cutullic à Paimboeuf (dioxyde de soufre) ;
  - ⇨ Jules Verne à Trignac (dioxyde d'azote).

De plus, un site de mesure temporaire en proximité de circulation automobile a été installé avenue de la République à Saint-Nazaire durant l'année 2008. Des mesures de benzène, dioxyde d'azote, de monoxyde de carbone et de poussières fines y ont été effectuées.

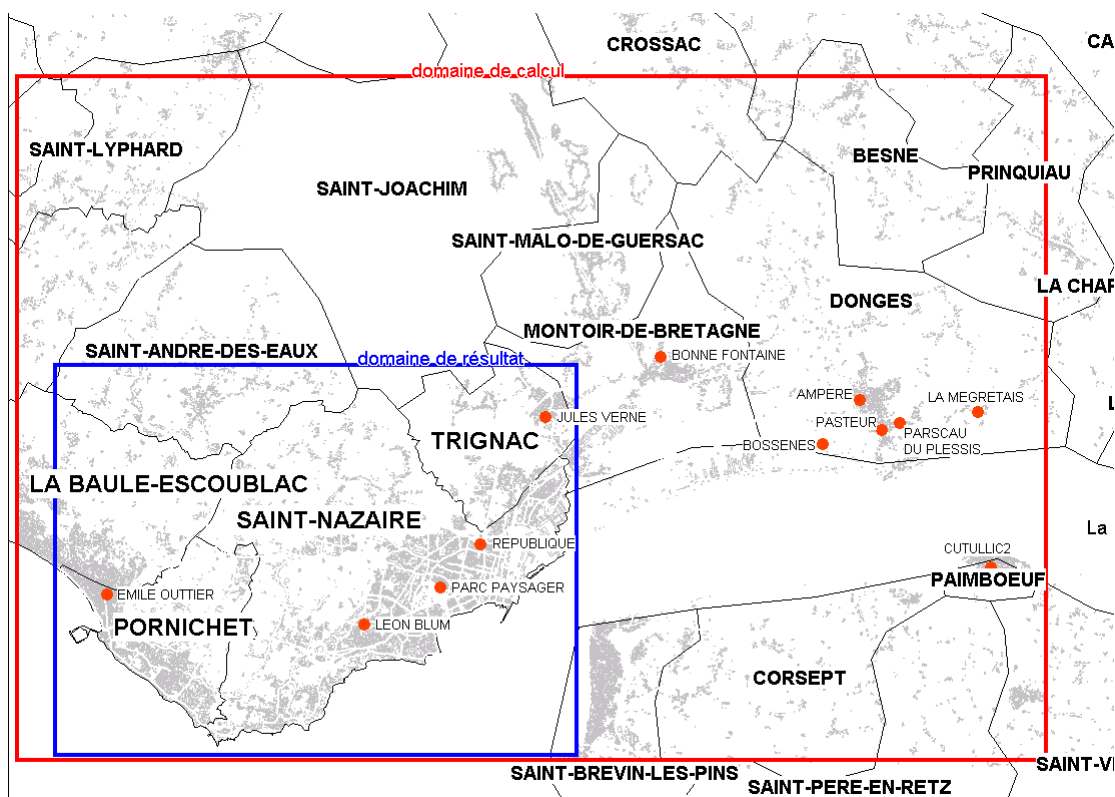


Figure 2 : carte d'implantation des sites de mesure d'Air Pays de la Loire

# systeme de modelisation

**L**e système de modélisation mis en œuvre dans le cadre de cette étude s'appuie sur le logiciel ADMS-urban qui nécessite l'utilisation d'outils intermédiaires en amont pour le calcul des émissions routières (CIRCUL'AIR) comme en aval pour l'exploitation statistique des résultats (R) et la représentation cartographique (Mapinfo).

## système de modélisation

### logigramme du système de modélisation

L'articulation des outils mis en œuvre dans le cadre de cette étude et des données d'entrée recueillies est présentée dans le schéma ci-dessous :

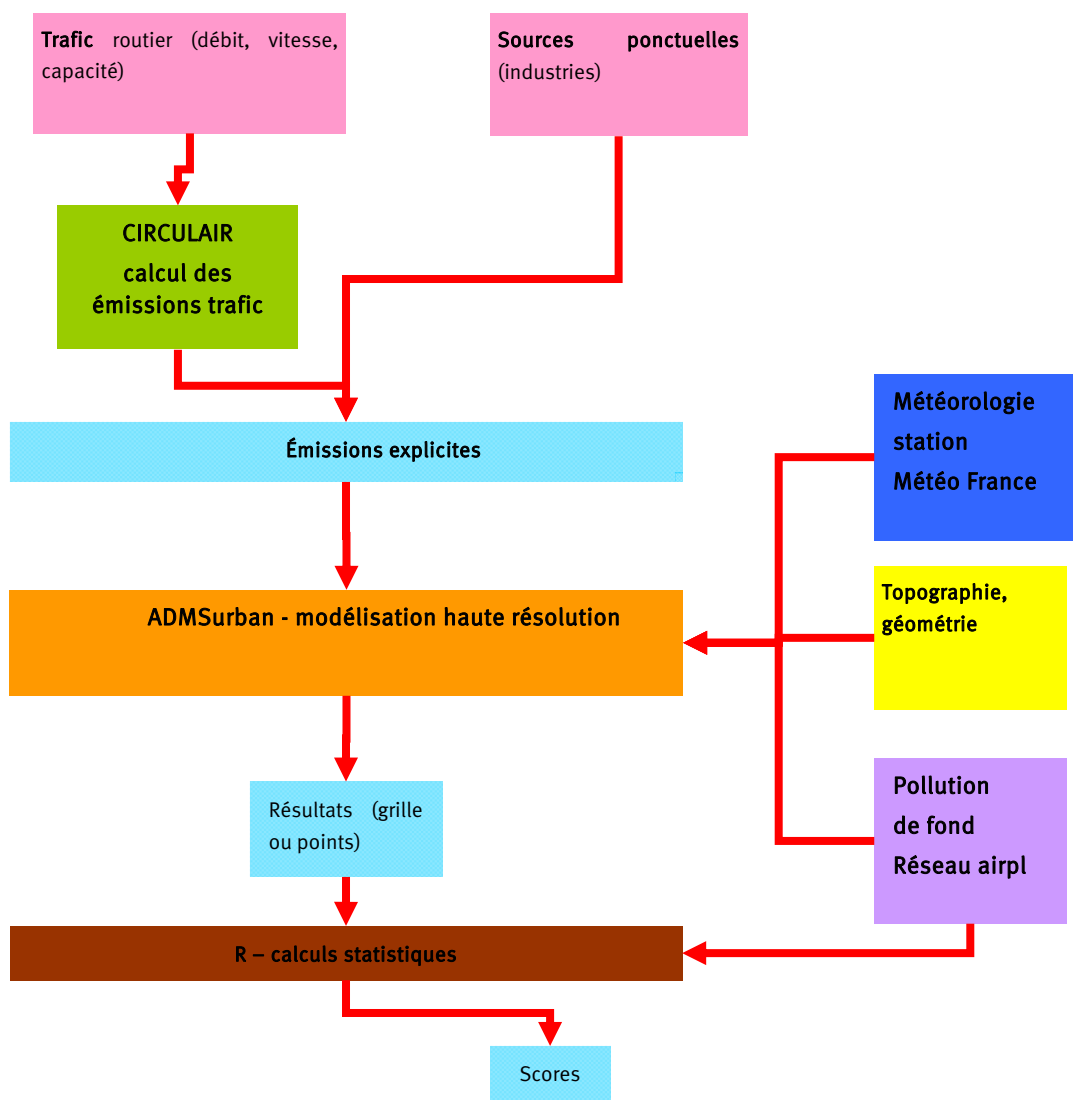


Figure 3 : logigramme du système de modélisation

Afin de pouvoir prendre en compte la pollution issue du trafic routier, il est nécessaire de calculer les émissions pour chaque rue. Pour cela, l'outil CIRCUL'AIR calcule à partir des caractéristiques de la rue et de données du parc national, un taux d'émission. Celui-ci est entré dans ADMS-urban comme pour les sources industrielles.

Les autres données d'entrée prises en compte sont la météorologie, la topographie et la pollution de fond.

ADMS-urban produit alors des résultats sous la forme de grille, à la base de la réalisation de cartographies, ou de points récepteurs qui permettent d'évaluer l'accord mesure-modèle via le calcul de scores avec le logiciel statistique R.

## calcul des émissions du trafic routier : Circul'air

L'outil CIRCUL'AIR a été développé par l'Association pour la Surveillance et l'étude de la Pollution atmosphérique en Alsace (ASPA) en 2003 dans le cadre du projet transfrontalier Atmo-rhéna INTERREG III. Il se basait alors sur la méthodologie de calcul des émissions routières COPERT III. En 2007, il a été mis à jour en utilisant la version COPERT IV.

CIRCUL'AIR permet de calculer les émissions annuelles des axes routiers en distinguant les parts des principaux types de véhicules (véhicules particuliers essence, diesel et GPL, véhicules utilitaires légers essence et diesel, poids lourds, motos, bus diesel et GNV et autocars). CIRCUL'AIR utilise les données de Trafic Moyen Journalier Annuel (TMJA) qui sont désagrégés au niveau horaire à partir de clés temporelles (issues des données des stations permanentes de comptage SIREDO). Les vitesses horaires sont intégrées dans les équations de COPERT IV afin de calculer des émissions horaires, puis ré-agrégées afin d'obtenir un résultat annuel. Ces émissions comprennent la combustion à chaud, le démarrage à froid, la pente de la route, les évaporations, l'abrasion des freins, des pneus et de la route et la remise en suspension. CIRCUL'AIR intègre également des corrections dues à l'âge du véhicule et à l'évolution des carburants. L'ensemble des calculs est réalisé dans une macro Excel et les résultats sont ensuite visibles sous la forme d'une base MySQL.

Le principe du calcul réalisé par CIRCUL'AIR est schématisé dans la figure suivante.

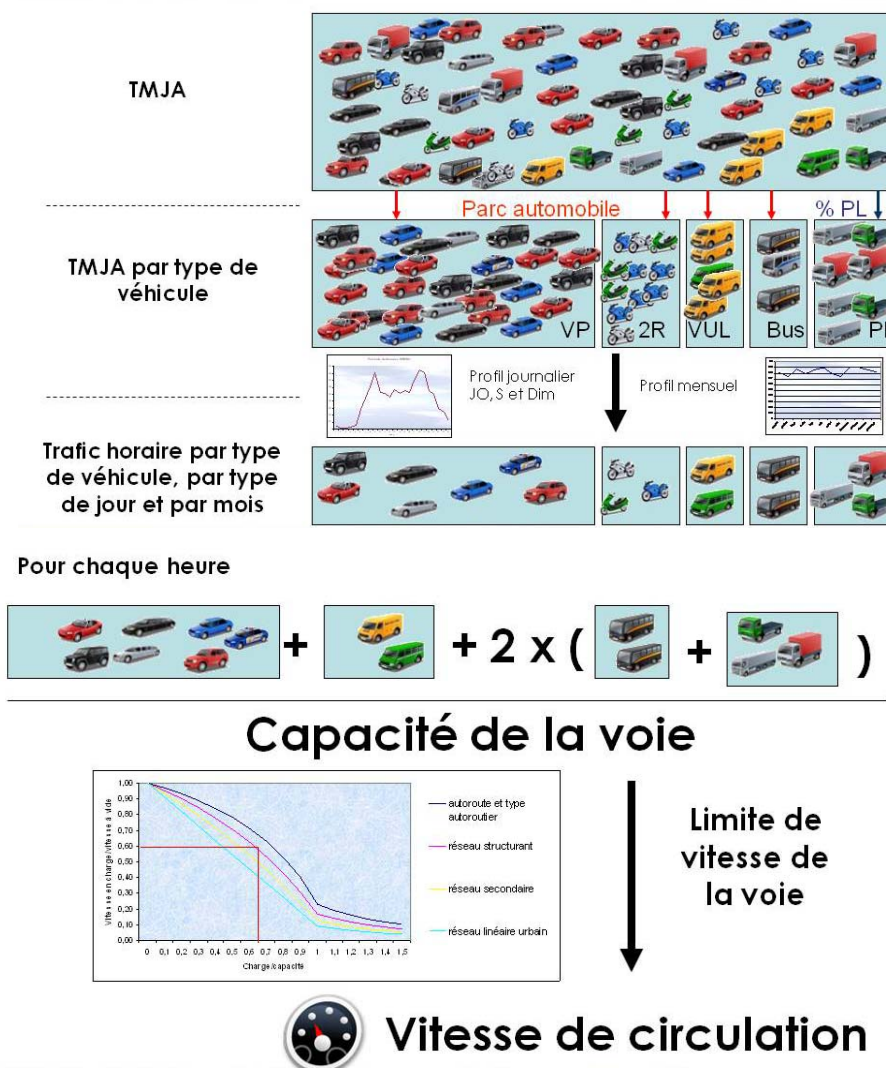


Figure 4 : logigramme du système de modélisation

## modélisation de dispersion des polluants : ADMS-urban

ADMS-urban est une version du Système de Modélisation de Dispersion Atmosphérique (ADMS) développé par les chercheurs du CERC (Cambridge Environmental Research Consultant). Ce modèle est actuellement commercialisé en France par la société NUMTECH.

En utilisant des modèles de sources linéiques, ponctuelles, surfaciques et volumiques, il permet de traiter dans des zones urbaines, les émissions issues de sources routières, industrielles et domestiques et de décrire, selon une approche essentiellement gaussienne, les concentrations en polluants dans une zone constituée de rues ouvertes ou bordées de bâtiments. Pour le traitement de la pollution dans chacune des rues canyons considérées comme sources individuelles, un calcul spécifique de la concentration est réalisé à l'aide du modèle OSPM (Operational Street Pollution Model). ADMS-urban offre la possibilité d'évaluer la pollution atmosphérique sur une échelle spatiale allant de la rue à l'agglomération et sur une période allant de l'heure à l'année. Dans les cas simples, le temps de calcul est de l'ordre de quelques minutes. Comme pour tous les modèles, ce temps CPU dépend fortement du nombre de sources modélisées et du nombre de points de calculs demandés en sortie. Afin d'évaluer les niveaux annuels en polluants d'une agglomération, le temps de calcul peut aller jusqu'à quelques semaines.

ADMS-urban a été validé par de nombreuses comparaisons avec des mesures. Il est utilisé pour modéliser la qualité de l'air sur de grandes villes européennes : Londres, Budapest, Birmingham, Strasbourg, Mulhouse, Nice, Aix-en-Provence, Toulon...

Une description complète des caractéristiques d'ADMS-urban est disponible en annexe 7.

## calcul de scores : R

Le langage R est un langage de programmation et un environnement mathématique utilisés pour le traitement de données et l'analyse statistique. R dispose de nombreuses fonctions graphiques.

Il est fondé sur le langage S qui a été développé par John Chambers des laboratoires Bell et est décrit dans Evolution of the S Language.

Il est librement disponible sous licence publique générale et est disponible pour Microsoft Windows, Macintosh, et de nombreux systèmes de type Unix.

De plus amples informations sont disponibles sur le site Internet [www.r-project.org](http://www.r-project.org)

Il a été utilisé dans le cadre de cette étude pour évaluer l'accord mesure-modèle aux stations d'Air Pays de la Loire.

## représentation cartographique : Mapinfo

MapInfo est un Système d'Information Géographique (SIG) distribué en France par Pitney Bowes Software.

Il est interfacé avec ADMS-urban et permet notamment de faciliter la saisie et le traitement des données d'entrée et de représenter le champ de pollution sous la forme de cartes d'iso-concentration.



## données d'entrée nécessaires

### inventaire routier

#### topographie des rues

Dans le calcul de dispersion des polluants en milieu urbain, la configuration du bâti revêt une importance déterminante en particulier dans les rues dites de type « canyons » qui sont des voies bordées de bâtiments élevés présentant de ce fait une configuration encaissée. Le rapport H/L de la hauteur moyenne des bâtiments (H) sur la largeur moyenne de la rue (L) permet de déterminer le régime d'écoulement de l'air.

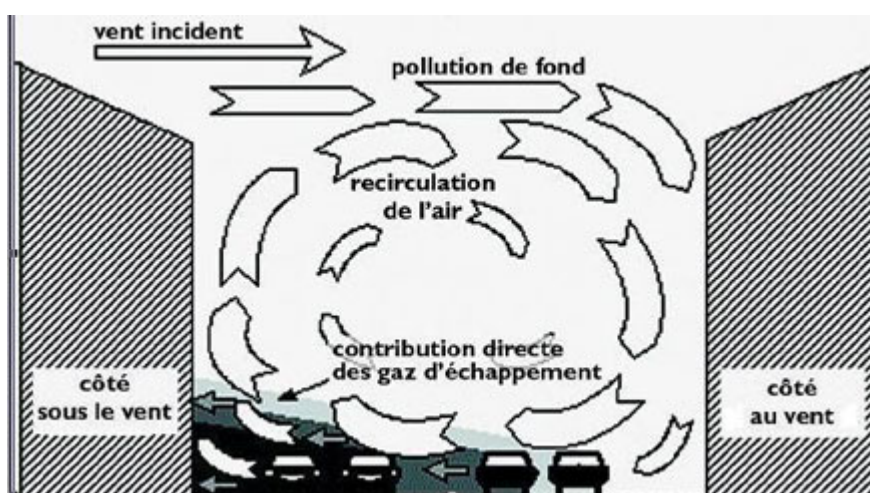


Figure 5 : écoulement dans une rue « canyon »

#### caractérisation du trafic

Afin de calculer un taux d'émission de polluant, il est nécessaire de caractériser le trafic sur chaque voie par le Trafic Moyen Journalier Annuel, la capacité des voies et la vitesse maximale des véhicules. Par ailleurs, la météorologie intervient sur le calcul des émissions à froid des véhicules. Enfin, la description du parc automobile est nécessaire. Elle permet de répartir le Trafic Moyen Journalier Annuel par type de véhicule et de tenir compte des caractéristiques des véhicules en termes d'émissions (pourcentage de véhicules non catalysés, par exemple).

Les caractéristiques suivantes pour chaque voie modélisée ont été obtenues auprès de différents organismes ou bien calculées :

- longueur de l'axe, calculée sous Système d'Information Géographique ;
- pente de la voie, considérée comme nulle sur l'agglomération de Saint-Nazaire ;
- type de voie ;
- trafic moyen journalier annuel (TMJA) ;
- capacité de la voie ;
- pourcentage de véhicule à froid ;
- pourcentage de poids lourds ;
- pourcentage de bus ;
- pourcentage d'autocar ;
- pourcentage de deux roues ;
- profils temporels des comptages ;
- météorologie (pression, température minimale, température maximale mensuelles) ;
- répartition du parc automobile.

Le type de voies est une catégorie (autoroute, route, urbaine) qui détermine la vitesse maximale autorisée.

La capacité de la voie est le débit maximal atteint avant la saturation d'un axe routier. Elle est représentée sur le graphique suivant :

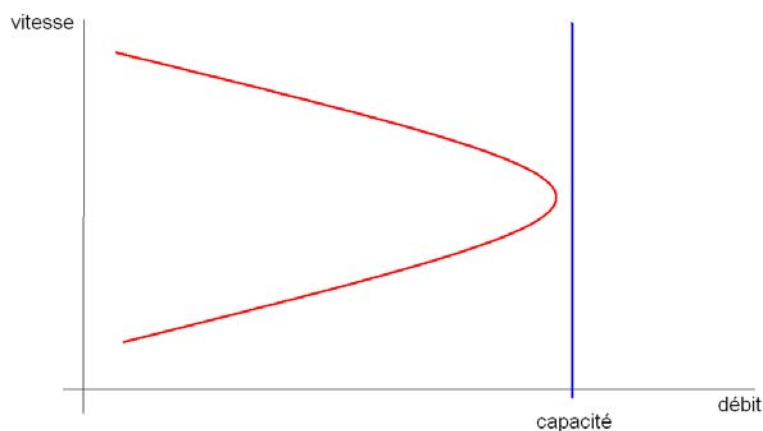


Figure 6 : capacité d'un axe routier

Les profils temporels permettent de désagréger les trafics journaliers annuels en données horaires. Les profils journaliers et annuels sont établis pour 3 types de jours :

- JO : jours ouvrés ;
- SVF : samedi et veille de jour férié ;
- DF : dimanche et jour férié.

Les profils journaliers tiennent également compte de la période estivale puisqu'un profil spécifique aux mois d'été est établi.

La météorologie est utilisée dans le calcul des émissions à froid des véhicules et des évaporations.

Le parc automobile donne la répartition du trafic en type de véhicules classés notamment en fonction des normes EURO NCAP. Il est issu du parc national roulant du Centre Interprofessionnel Technique d'Etudes sur la Pollution Atmosphérique (CITEPA) qui est mis à jour chaque année.

## inventaire industriel

De même que pour les sources linéiques du trafic routier, il est nécessaire de caractériser les émissions et la topographie des installations industrielles présentes dans le domaine de calcul.

La définition d'une source ponctuelle dans ADMS-urban nécessite de connaître :

- position géographique (longitude et latitude) ;
- hauteur d'émission de la source (m) ;
- diamètre de la cheminée (m) ;
- débit volumique ( $m^3 \cdot s^{-1}$ ) ;
- température à l'émission ( $^{\circ}C$ ) ;
- taux d'émission de polluant ( $g \cdot s^{-1}$ ).

Dans le cas d'une source surfacique, il faut définir les coordonnées des points du périmètre et le taux d'émission est exprimé en unité de surface ( $g \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$ ).

## météorologie

Les paramètres minimaux nécessaires pour réaliser un calcul de dispersion avec ADMS-urban sont :

- la vitesse du vent ;
- la direction du vent ;
- la température.

et l'un des paramètres suivants :

- la nébulosité ;
- la longueur de Monin Obukhov ;
- le flux de chaleur sensible.

La résolution temporelle des données est l'heure.

## pollution de fond

Les choix de caractérisation de la pollution de fond et des sources d'émissions complémentaires au trafic routier à intégrer au modèle sont des étapes déterminantes dans une étude de modélisation en milieu urbain. Pour réaliser ces choix, il est tout d'abord essentiel de comprendre les différentes contributions régionales et locales dans la structure de la pollution urbaine. Celles-ci peuvent ainsi être décrites par le schéma suivant :

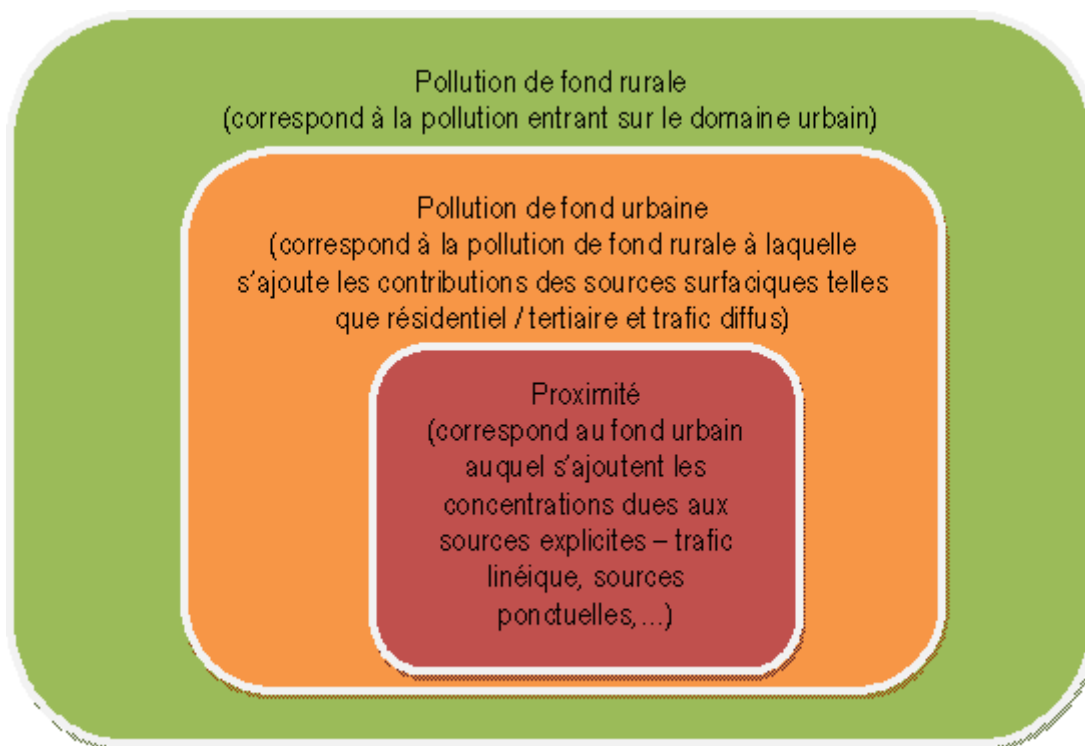


Figure 7 : Les principales échelles de pollution en milieu urbain

La pollution urbaine de fond apparaît donc comme la somme d'une pollution de fond régionale et d'une pollution locale.

## données de sortie

La préparation de l'étude consiste également à définir les produits de sortie souhaités.

### maillage de sortie

ADMS-urban permet de calculer les concentrations de polluants sur une grille régulière ou sur un ensemble de points.

Une autre option est d'activer le maillage intelligent qui densifie la grille dans les zones présentant une forte densité de sources émettrices.

Il est également possible de définir soit même le maillage comme cela a été réalisé dans cette étude.

### indicateurs

Il est nécessaire de définir le type de calcul souhaité en sortie d'ADMS-urban :

- à court terme : les concentrations de polluants sont données au même pas de temps que les données d'entrée ;
- à long terme : des indicateurs statistiques (moyenne, percentiles) sur la période étudiée sont calculés.

# méthodologie d'évaluation de la qualité de l'air

**C**e chapitre décrit les caractéristiques des données d'entrée obtenues et utilisées et les méthodologies mises en œuvre pour mailler le domaine et évaluer l'exposition des populations aux dépassements de seuils réglementaires.



## choix de l'année étudiée

L'étude de modélisation a été mise en œuvre sur l'année la plus récente au lancement du projet soit 2008 de manière à fournir une information la plus à jour possible.

Cela a également permis de valider les résultats du modèle sur un site de trafic. En effet, l'avenue de la République à Saint-Nazaire a été instrumentée durant toute l'année 2008.

## inventaire routier

La circulation des véhicules au sein d'une agglomération urbaine constitue une des principales sources de pollution atmosphérique. Afin de la prendre en compte, il est nécessaire de recenser les voies ayant le trafic le plus dense. Pour estimer les émissions de polluants issues de ces sources, des informations de topographie et de caractérisation du trafic ont été intégrées au modèle.

### réseau de brins modélisés

Le filaire de voies fourni par le service SIG de la CARENE contenait près de 11 000 brins correspondant à un découpage des rues à chaque intersection.

Une première sélection a consisté à ne retenir que les brins pour lesquels un comptage de véhicules est disponible.

Cependant, afin d'assurer une continuité dans le réseau de rues, une affectation manuelle et experte des caractéristiques d'un brin à ses brins voisins a été réalisée, en prenant en compte également des estimations complémentaires de trafic fournies par la ville de Saint-Nazaire.

Au final, ce sont 1438 brins qui ont été intégrés à l'étude.

La carte ci-dessous présente les voies de circulation prises en compte.

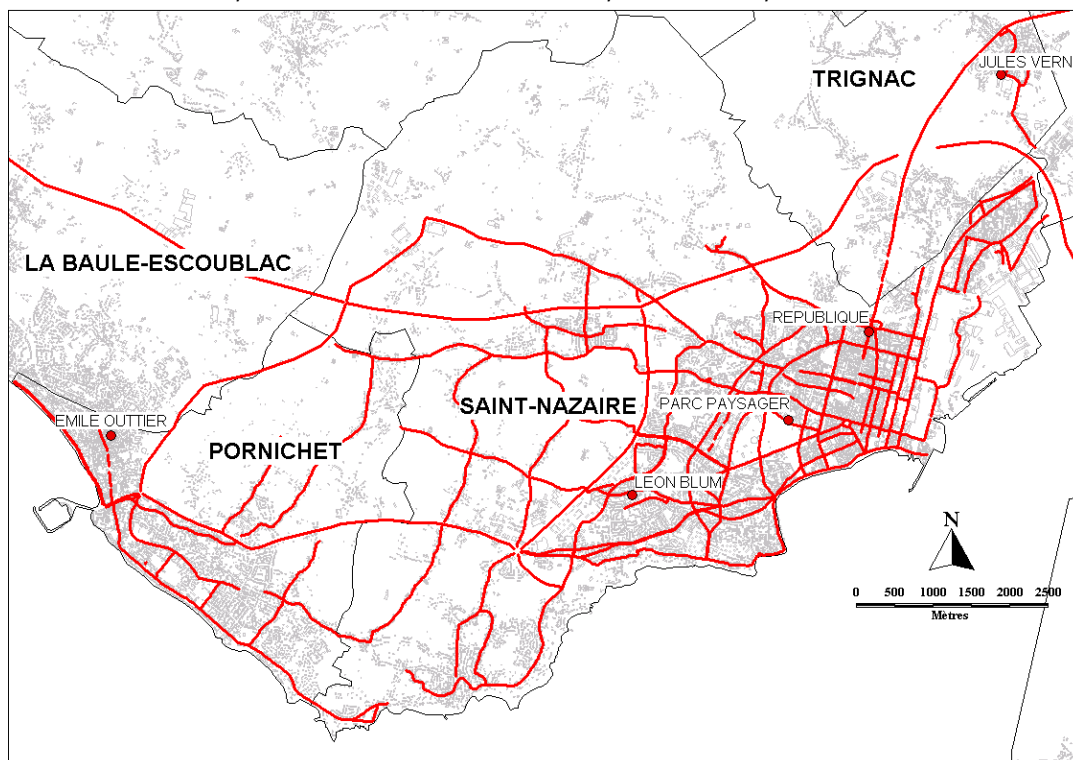


Figure 8 : carte du réseau routier modélisé

Le réseau est plus dense sur la partie urbaine de Saint-Nazaire et contient l'essentiel des axes structurants sur les autres zones.

## topographie des rues

Les hauteurs et largeurs de toutes les voies prises en compte dans l'étude ont été calculées par la société NUMTECH à partir des informations disponibles dans la BD Topo transmise par le service SIG de la CARENE et à l'aide de l'utilitaire ProgHW développé par l'école centrale de Lyon.

La méthode de l'utilitaire ProgHW détermine le type de rue (canyon ou ouverte) selon 3 principaux critères : il s'agit de conditions de hauteur, de largeur et de porosité (part d'occupation des bâtiments au sein d'une rue).

L'annexe 6 décrit en détail la méthodologie mise en œuvre dans cet outil.

## caractérisation du trafic

### longueur de l'axe et pente

La longueur des voies modélisées a été calculée sous système d'information géographique.

Compte tenu du faible relief du domaine d'étude, la pente a été considérée comme nulle pour l'ensemble des voies.

### type de voie

Les voies ont été réparties en grandes catégories (autoroute, routes, voies urbaines et voies de l'hyper-centre) permettant de déterminer notamment la vitesse maximale autorisée.

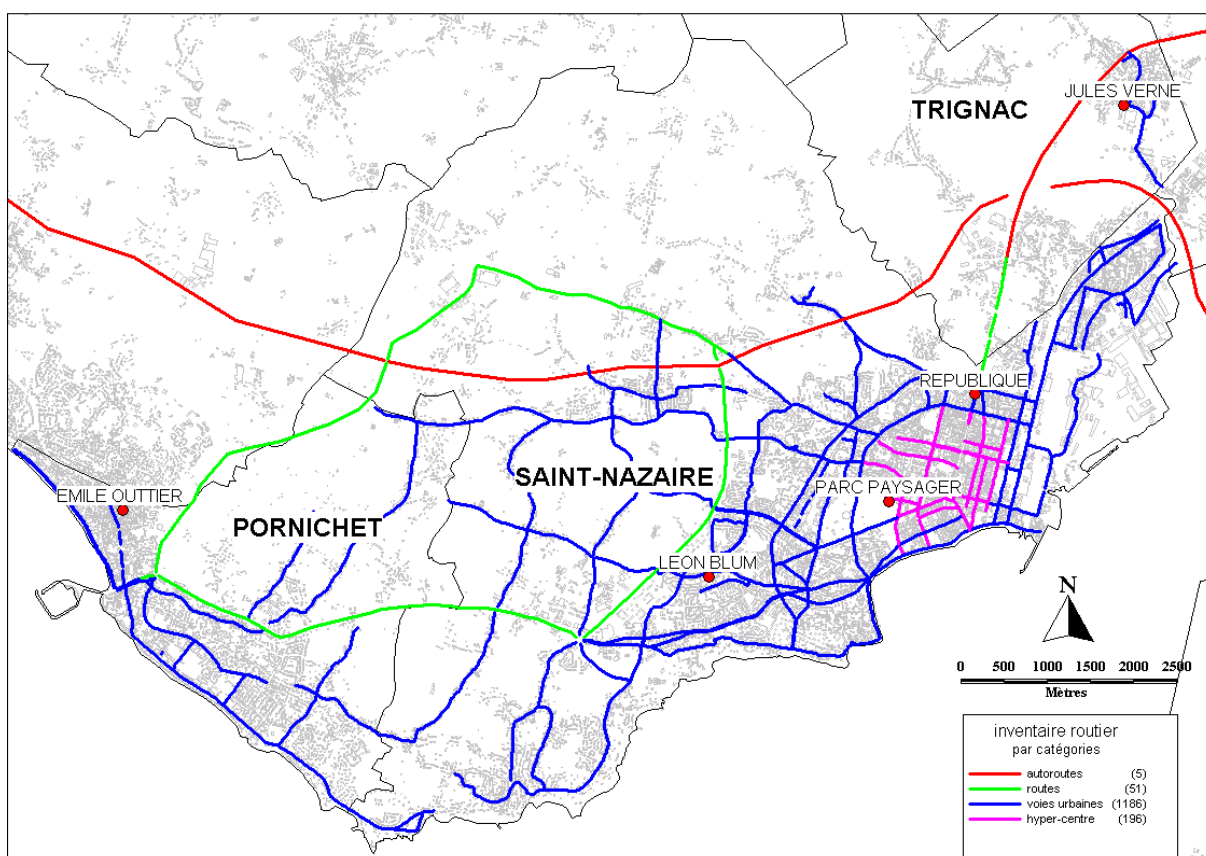


Figure 9 : répartition des catégories de voies

**trafic moyen journalier annuel (TMJA)**

Les comptages de véhicules disponibles auprès des trois communes de Saint-Nazaire, Pornichet et Trignac ont été recensés : il s’agit d’un historique de données de 1999 à 2007, l’année modélisée étant 2008.

Pour traiter cet historique, un coefficient d’ajustement annuel a été calculé à partir des données fournies par le Comité des Constructeurs Français d’Automobiles (CCFA) sur l’évolution du trafic entre 1999 et 2007.

années	99/98	00/99	01/00	02/01	03/02	04/03	05/04	06/05	07/06
coefficient d'ajustement	1,02628	0,99409	1,04016	1,00453	1,003	0,99595	0,98602	0,99083	1,00288
années	07/98	07/99	07/00	07/01	07/02	07/03	07/04	07/05	07/06
coefficient d'ajustement	1,04334	1,01662	1,02267	0,98318	0,97874	0,97582	0,97979	0,99368	1,00288

Tableau 1 : catégories de voies.

**capacité de la voie**

La capacité des voies a été fixée par catégories à partir d’informations fournies par le Centre d’Études Techniques de l’Équipement (CETE) de l’Ouest.

**pourcentages de véhicules**

Les pourcentages de poids lourds, de bus, d’autocar et de 2 roues ont également été attribués en fonction de la catégorie de la voie dans CIRCUL’AIR.

Le pourcentage de véhicule à froid a été déterminé à partir de la formule issue de la méthodologie COPERT III :

$$P_{vf} = 0,6474 - 0,02545 L - (0,00974 - 0,000385 L) T$$

où L est la longueur moyenne d’un trajet évalué à 7,7 km par le modèle DAVIS sur la ville de Nantes.

et T la température moyenne annuelle estimée à 11,7 °C pour l’année 2008 à Gron.

Pour l’année 2008, le pourcentage de véhicule à froid a donc été établi à 37%.

**profils temporels journaliers et annuels**

Les profils temporels ont été calculés à partir des deux comptages horaires permanents de la Direction Interdépartementale des Routes Ouest (DIRO) localisés sur la RD 213 entre Escoublac et Saint-Nazaire et sur la RN 171 à hauteur de Montoir-de-Bretagne.

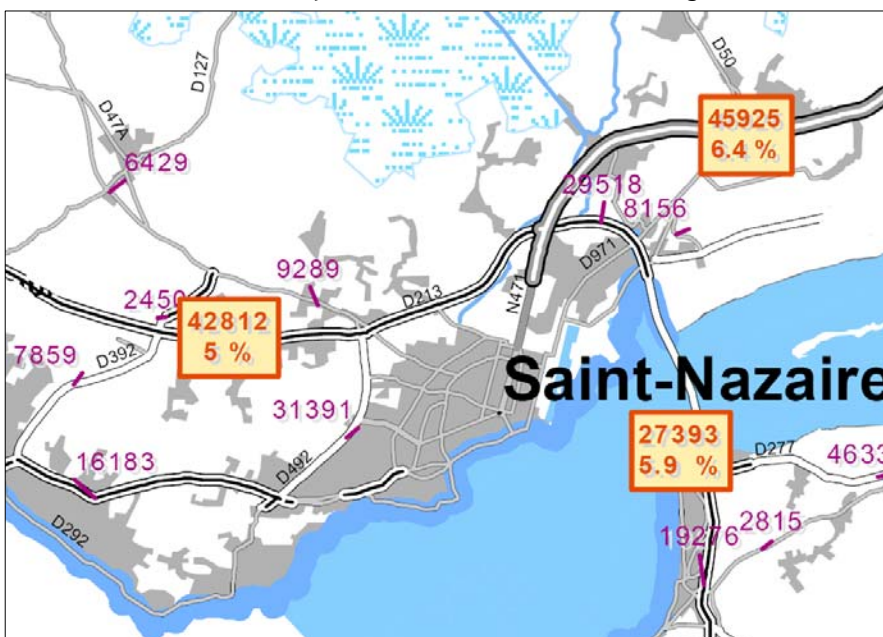


Figure 10 : point de comptage de la Direction Interdépartementale des Routes Ouest

Compte tenu de leur emplacement et afin de tenir compte de l'activité estivale, les profils temporels du point de comptage d'Escoublac ont été affectés aux voies de Pornichet alors que ceux de Montoir-de-Bretagne ont été affectés à celles de Trignac et Saint-Nazaire.

Les profils pour les jours ouvrés sont représentés ci-après :

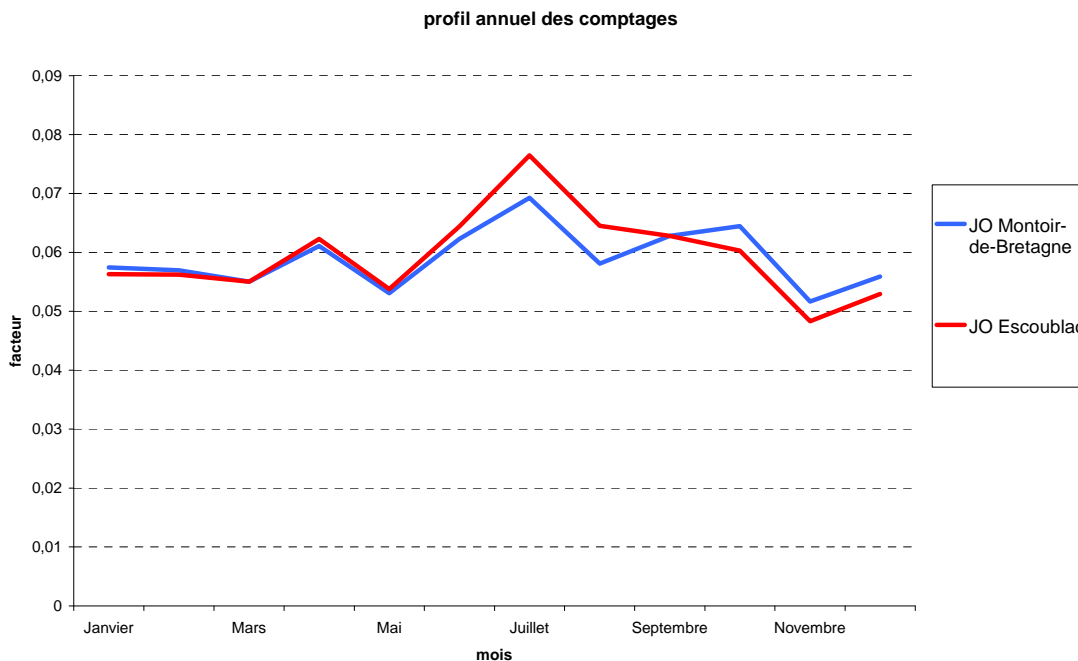


Figure 11 : profil annuel pour les jours ouvrés (JO)

Il apparaît sur ce graphique un pic de circulation estivale plus marqué à Escoublac qu'à Montoir-de-Bretagne.

Le graphique ci-dessous permet de comparer la saison estivale au reste de l'année sur les profils journaliers.

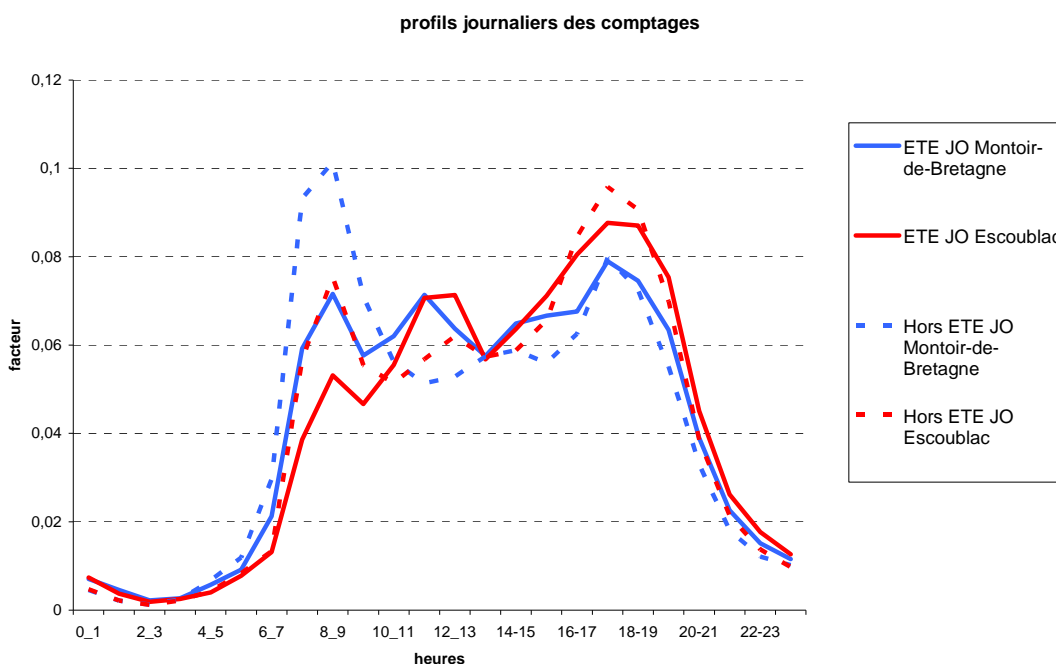


Figure 12 : profil journalier pour les jours ouvrés estivaux (ETE JO) et hors période estivale (Hors ETE JO)

La saison estivale est marquée par une baisse du pic de circulation du matin à Montoir-de-Bretagne et à Escoublac. Le pic du soir reste quant à lui quasi inchangé.

### météorologie

La pression et les températures minimales, moyennes et maximales mensuelles servant au calcul des émissions des véhicules à froid sont issues de la station Météo-France de Gron.

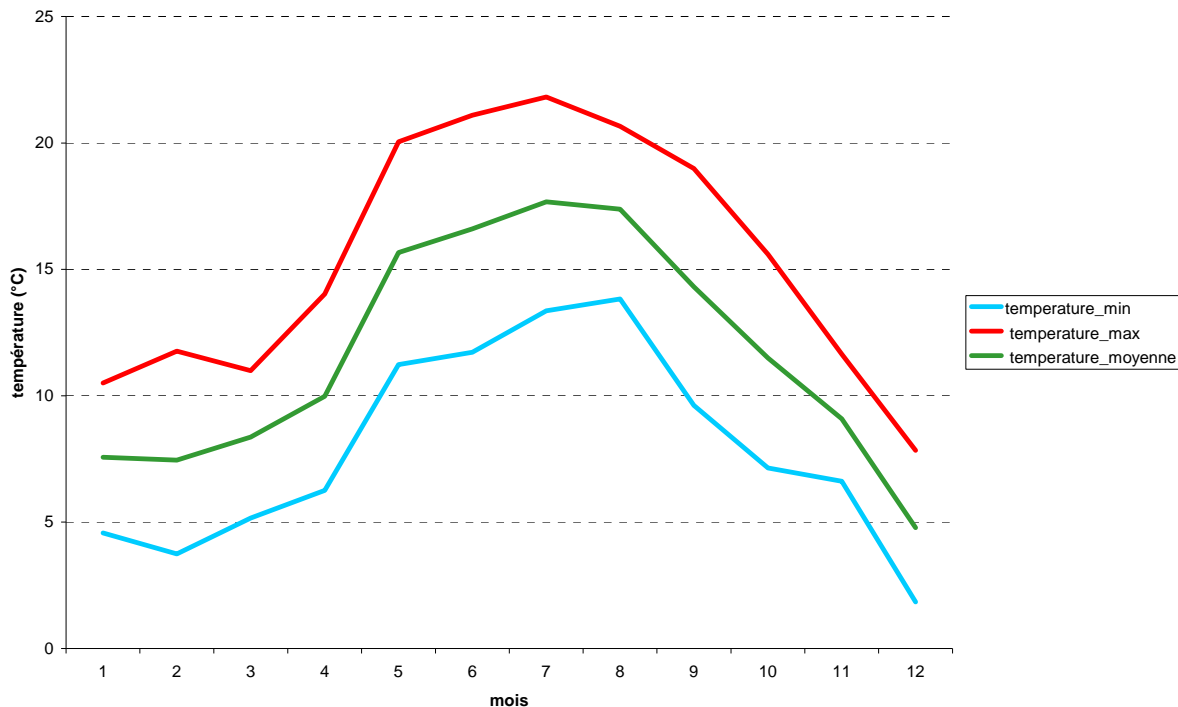


Figure 13 : profil annuel des températures

### parc automobile

Le parc national roulant 2007 nous a été mis à disposition par le Centre Interprofessionnel Technique d'Etudes de la Pollution Atmosphérique (CITEPA) suite à la signature d'une convention d'utilisation. Ce parc a été préféré aux données de l'Institut National de Recherche sur les Transports et leur Sécurité (INRETS) parce qu'il est calé sur les immatriculations les plus récentes.

## inventaire industriel

Un questionnaire a été transmis aux principaux industriels présents dans la zone. Dix d'entre eux ont répondu de manière directe ou par voie indirecte par transmission de rapports d'études :

- YARA France Usine de Montoir-de-Bretagne ;
- FAMAT à Saint-Nazaire ;
- Electricité De France à Cordemais ;
- CEZUS à Paimboeuf ;
- COFATECH Société de Cogénération de Montoir-de-Bretagne ;
- ISOBOX TECHNOLOGIES à Saint-Nazaire ;
- AKER YARDS à Saint-Nazaire ;
- TOTAL France à Donges ;
- AIRBUS FRANCE à Saint-Nazaire) ;
- CARGILL à Saint Nazaire.

La plupart de ces établissements se trouvent dans la zone de Basse-Loire à l'Est de la CARENE. Deux d'entre eux se situent dans la zone portuaire de Saint-Nazaire : CARGILL et AKER YARDS.

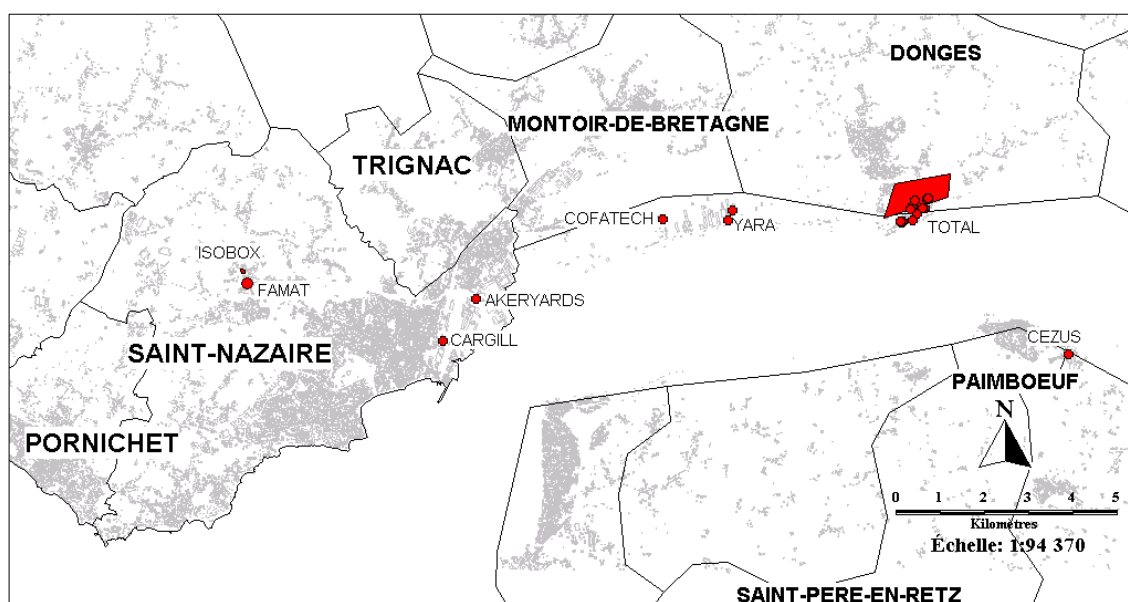


Figure 14 : carte des installations industrielles prises en compte dans la modélisation

Les quantités annuelles de polluants émises par les sources industrielles prises en compte dans cette étude sont présentées dans l'annexe 8.

Les émissions liées au trafic maritime n'ont pas été prise en compte dans cette étude. Aussi, les cartographies produites représentent un niveau de fond urbain sur la zone océanique.

De même, les émissions de poussières totales dues aux opérations de déchargement des navires n'ont pas été modélisées en l'absence de données fiables pour les caractériser.



## météorologie

Les données météorologiques de la station Météo-France de Gron ont été utilisées pour définir heure par heure les conditions atmosphériques de l'année 2008.

### vent

La direction et la vitesse de vent à Gron en 2008 présentent un excellent taux de fonctionnement (99%).

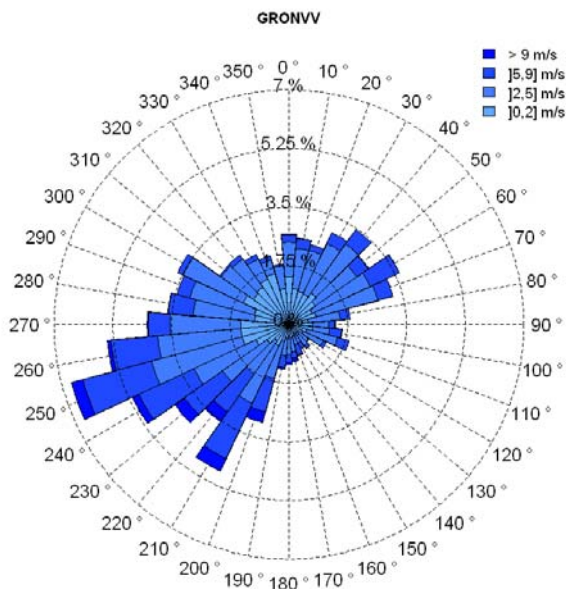


Figure 15 : rose de vent à Gron en 2008

La rose de vent à Gron est marquée par des vents dominant de secteur sud-ouest avec une proportion de vent fort plus importante que les autres secteurs. Cette situation correspond généralement à des flux dépressionnaires océaniques. Les vents de secteur nord-est sont également bien représentés. Ils sont associés le plus souvent à des conditions anticycloniques.

### température

Le taux de fonctionnement de la température à Gron est également très bon (99%).

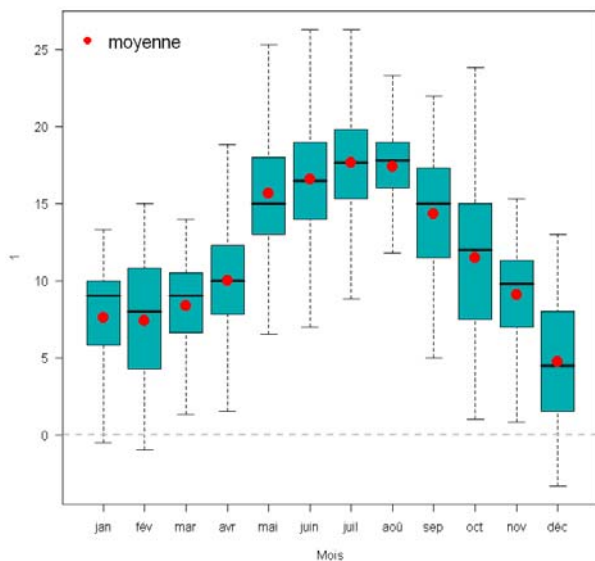


Figure 16 : profil annuel de la température à Gron en 2008

Le graphique ci-dessus représente le profil annuel des températures. Il montre une dispersion des températures plus ou moins élevée d'un mois à l'autre, le mois les plus stable étant août et le mois le plus dispersé octobre.

## nébulosité

La nébulosité représente le taux de couverture nuageuse.

Elle est mesurée par Météo-France dans le cadre de prestation pour l'aéronautique à Gron (Montoir-de-Bretagne), il s'agit d'une mesure automatique qui vise essentiellement à estimer les fortes valeurs de nébulosité (plus de 5 octas) et qui est limitée à la basse altitude (inférieures à 4 500 m). C'est pourquoi la mesure de nébulosité de la station de Gron ne présente qu'un taux de fonctionnement de 49%.en 2008. Aussi, la mesure de la nébulosité de la station de Nantes-Atlantique qui elle est une mesure humaine et qui présente un meilleur taux de fonctionnement a été utilisée pour compléter celle de Gron et obtenir ainsi une représentativité de 100% sur l'année 2008.

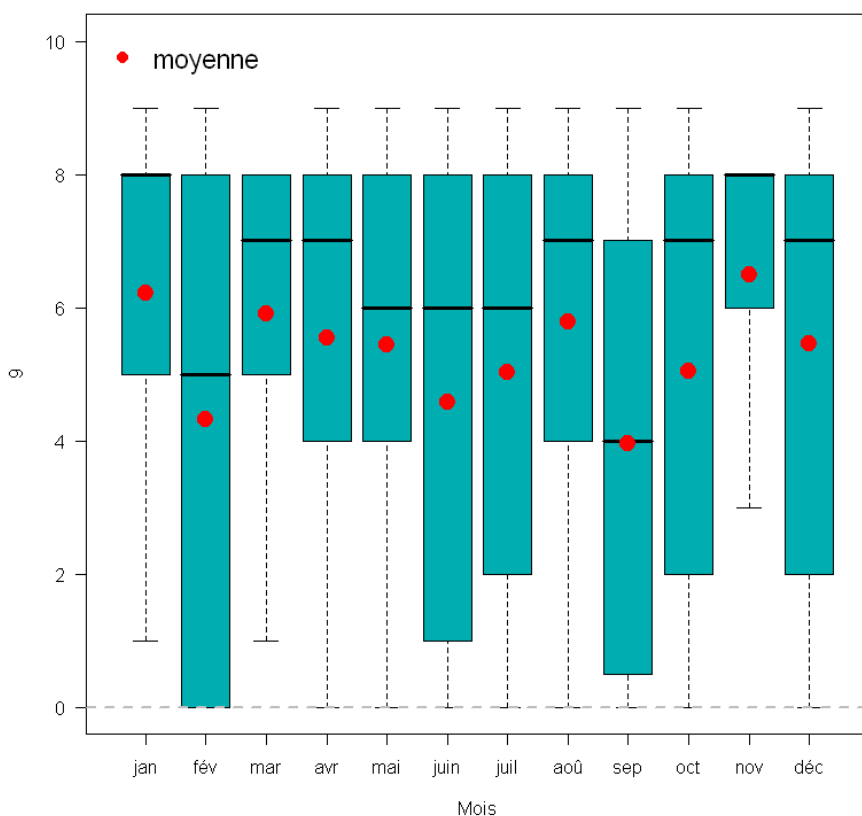


Figure 17 : profil annuel de la nébulosité à Gron en 2008

La nébulosité peut être très stable sur certains mois comme en novembre et beaucoup plus variable au cours du mois comme en février.

## hauteur de couche limite

La couche limite atmosphérique est la zone de la troposphère qui est influencée par la surface terrestre c'est-à-dire où la friction liée à la rugosité du sol génère de la turbulence et ralentit le déplacement de l'air.

L'épaisseur de cette couche limite varie au cours de l'année et également de la journée en fonction de paramètres météorologiques comme l'ensoleillement ou la force du vent. En effet, le rayonnement solaire crée des tourbillons convectifs qui élève sa limite supérieure.

C'est à l'intérieur de cette couche que les polluants atmosphériques se dispersent. Plus la hauteur de la couche limite est élevée plus le volume de dispersion des polluants est important et par conséquent plus les concentrations de ceux-ci sont faibles.

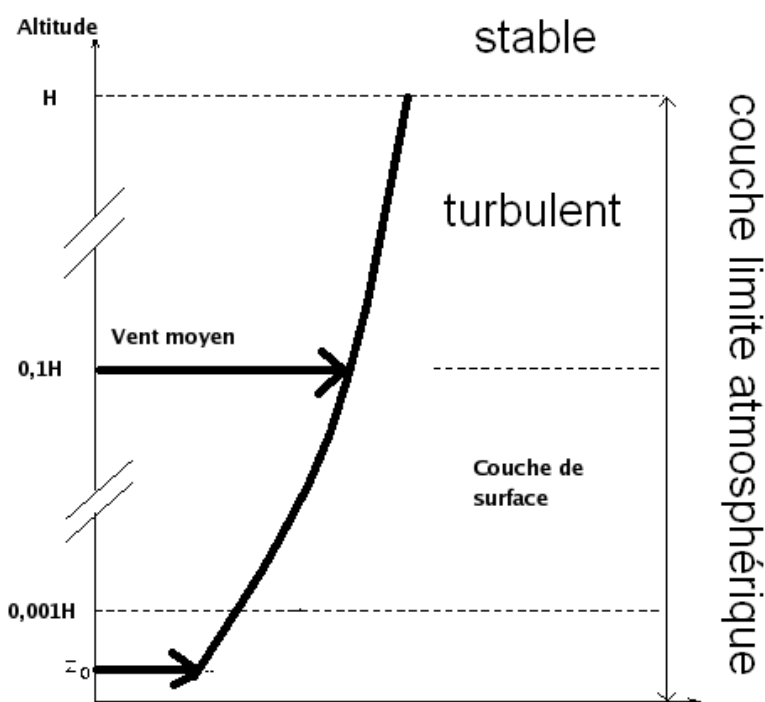


Figure 18 : schéma de la couche limite atmosphérique

La hauteur de la couche limite n'est pas directement mesurable mais elle constitue un des paramètres que les modèles de prévision météorologique estiment comme cela est le cas du modèle météorologique (MM5) de la plateforme régionale de prévision de la qualité de l'air IRIS (cf. annexe 2).

Afin de compléter l'information fournie par la nébulosité mesurée par les stations Météo-France, la hauteur de couche limite modélisée par la plateforme régionale IRIS a donc été extraite sur Saint-Nazaire et intégrée au fichier de données météorologique utilisé par ADMS-urban.

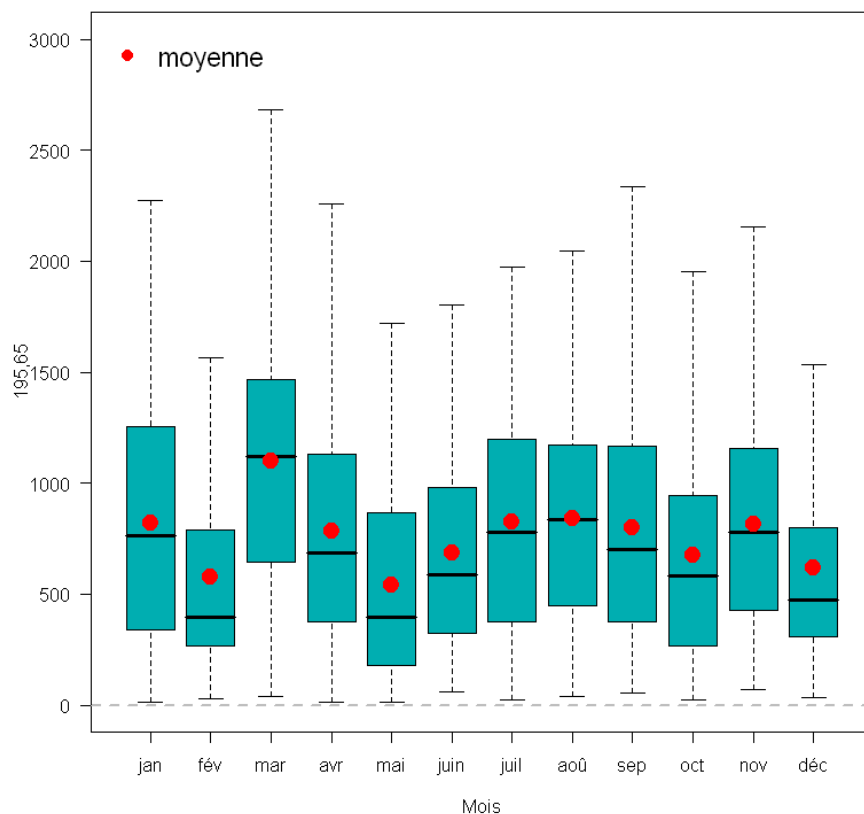


Figure 19 : profil annuel de la hauteur de couche limite à Saint-Nazaire en 2008

La hauteur de couche limite moyenne mensuelle oscille entre 500 m et 1 000 m avec une dispersion assez forte puisqu'elle peut atteindre 2500 m certains mois de l'année, d'où l'intérêt de bien déterminer sa valeur.

Une évaluation de la pertinence de l'utilisation de la hauteur de couche limite a été menée et sera présentée dans la partie suivante de façon synthétique et en annexe 10 de façon plus détaillée.

## pollution de fond

Le choix de la station permettant de caractériser la pollution de fond sur la zone d'étude a été effectué sur la base d'une étude de comparaison des concentrations observées sur les sites de mesure d'Air Pays de la Loire.

### dioxyde d'azote

Les niveaux de dioxyde d'azote sont représentés sur le graphique ci-dessous.

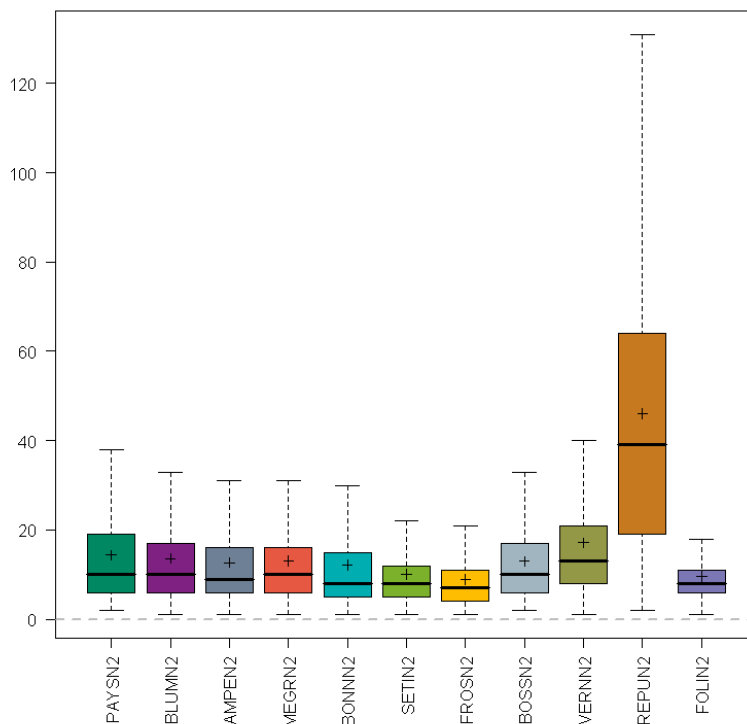


Figure 20 : concentrations de dioxyde d'azote sur les stations du domaine de calcul

La station République (REPUN2) située en proximité de circulation automobile se distingue nettement des autres stations par des concentrations plus élevées.

Les deux stations urbaines du Parc Paysager (PAYSAN2) et Léon Blum (BLUMN2) présentent une distribution des teneurs en dioxyde d'azote sensiblement plus élevées que la station rurale de la Tardière (FOLIN2), localisée en Vendée.

La station Léon Blum (BLUMN2) semble légèrement moins influencée par les sources routières et elle est donc retenue pour caractériser le niveau de fond urbain sur la partie urbaine de la CARENE qui comme présenté dans la partie précédente ne doit représenter que la somme du niveau de fond rural et des contributions des sources diffuses (chauffage résidentiel, trafic diffus).

Enfin, les autres stations de typologie industrielle présentent des distributions assez distinctes entre elles. Cela est lié à leur proximité avec des établissements industriels.

## poussières fines

Les concentrations de poussières fines mesurées sur le domaine de calcul sont représentées ci-dessous :

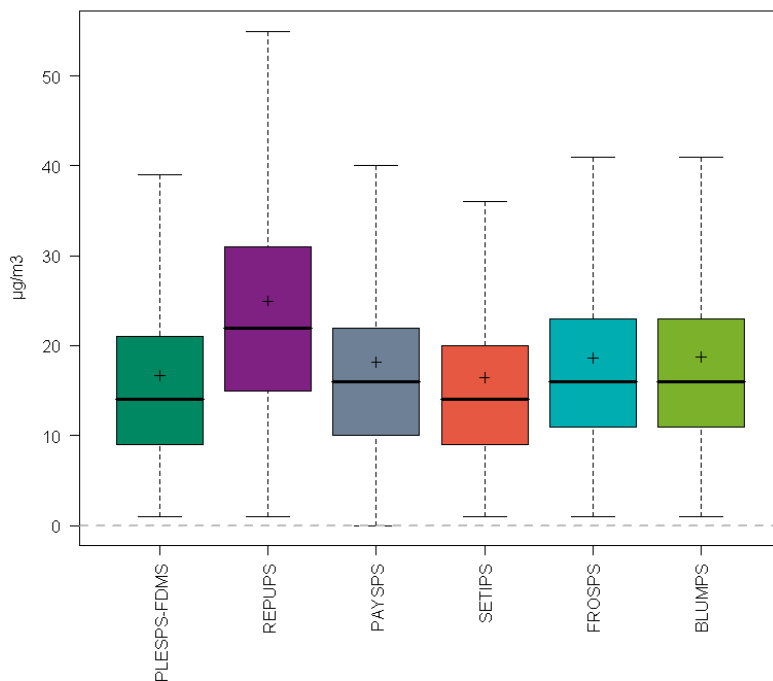


Figure 21 : concentrations de poussières fines sur les stations du domaine de calcul

Comme pour le dioxyde d'azote, la station République (REPUPS) présente des niveaux de concentrations plus élevés que les autres sites de mesure.

Il y a ici très peu d'écart entre les deux stations urbaines (BLUMPS et PAYSPS) aussi l'une ou l'autre des deux stations peut convenir à la caractérisation des niveaux de fond urbain. Par conformité avec la station choisie pour le dioxyde d'azote, le site Léon Blum est également retenu.



## dioxyde de soufre

Les concentrations de dioxyde de soufre mesurées sont représentées sur ce graphique.

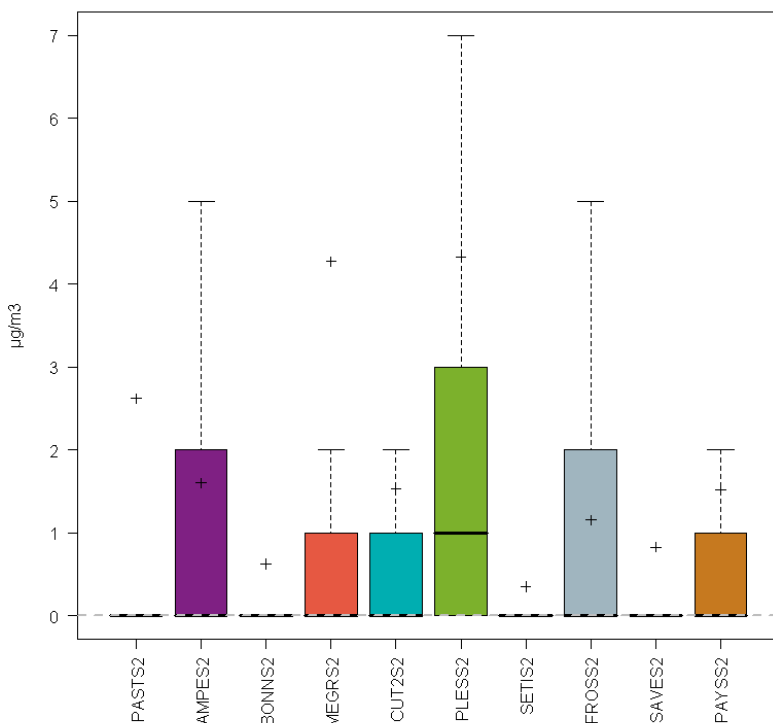


Figure 22 : concentrations de dioxyde de soufre sur les stations du domaine de calcul

Il apparaît une forte disparité entre les stations de mesure du dioxyde de soufre.

Les sites industriels étant influencés par les installations industrielles situées dans leur environnement présentent des niveaux de dioxyde de soufre plus ou moins importants. La station urbaine du Parc Paysager (PAYSS2) se situe à un niveau moyen parmi l'ensemble des stations. Etant donné qu'elle est la seule de typologie urbaine, elle sera utilisée pour caractériser la pollution de fond urbaine sur la CARENE.

## ozone

L'ozone étant un polluant à grande échelle majoritairement importé sur notre région, les concentrations ne diffèrent pas beaucoup d'un site à l'autre comme le montre le graphique ci-dessous :

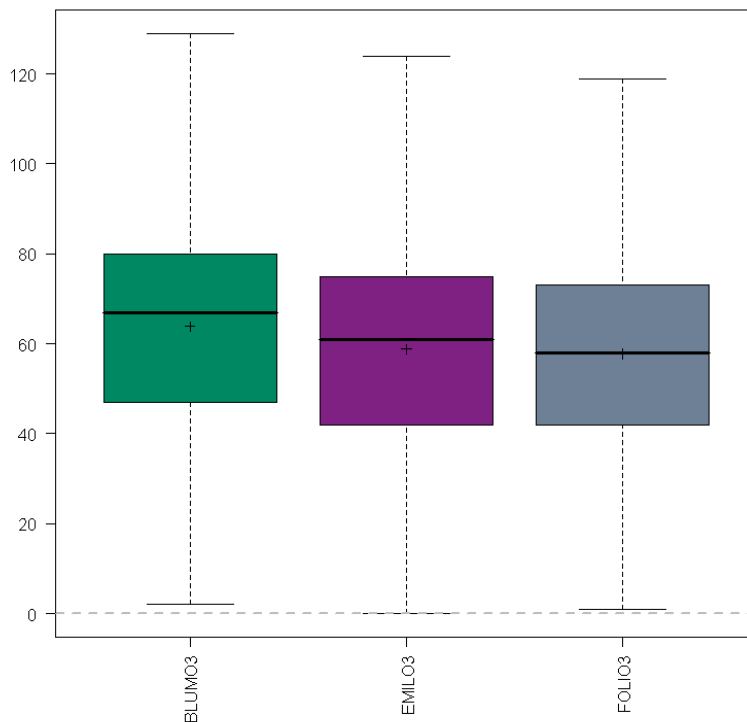


Figure 23 : concentrations d'ozone sur les stations du domaine de calcul

La comparaison des distributions de concentrations montre que le site Emile Outtier (EMILO<sub>3</sub>) est proche du niveau de fond régional représenté par la station de la Tardière (FOLIO<sub>3</sub>). Il ne prend donc pas en compte les contributions locales de précurseurs de l'ozone. Par conséquent, les données de Léon Blum (BLUMO<sub>3</sub>) ont été privilégiées pour caractériser le niveau de fond urbain de la CARENE.

## monoxyde de carbone et benzène

Aucune station de fond urbaine ne mesure le monoxyde de carbone ni le benzène en continu sur l'année 2008. Aussi, une valeur constante de fond pour ces polluants a été attribuée :

- monoxyde de carbone : 250  $\mu\text{g.m}^{-3}$  ;
- benzène : 0,78  $\mu\text{g.m}^{-3}$  (moyenne annuelle reconstituée du benzène sur la station du Parc Paysager).

## maillage de sortie

Afin d'obtenir le meilleur rendu cartographique possible, un maillage intelligent propre à l'étude a été défini. Il consiste à combiner une grille régulière de points récepteurs avec un ensemble de points complémentaires placés à proximité des voies de circulation.

### grilles régulières

Deux grilles régulières ont été définies : une grille à résolution fine sur le domaine extérieur aux territoires de Saint-Nazaire, Pornichet et Trignac et une grille à résolution très fine à l'intérieur du périmètre des trois communes.

### grille à résolution fine

La grille à résolution fine est un ensemble de points récepteurs régulièrement espacé de 300 m et placé en dehors du territoire des trois communes étudiées comme le montre la carte ci-dessous.

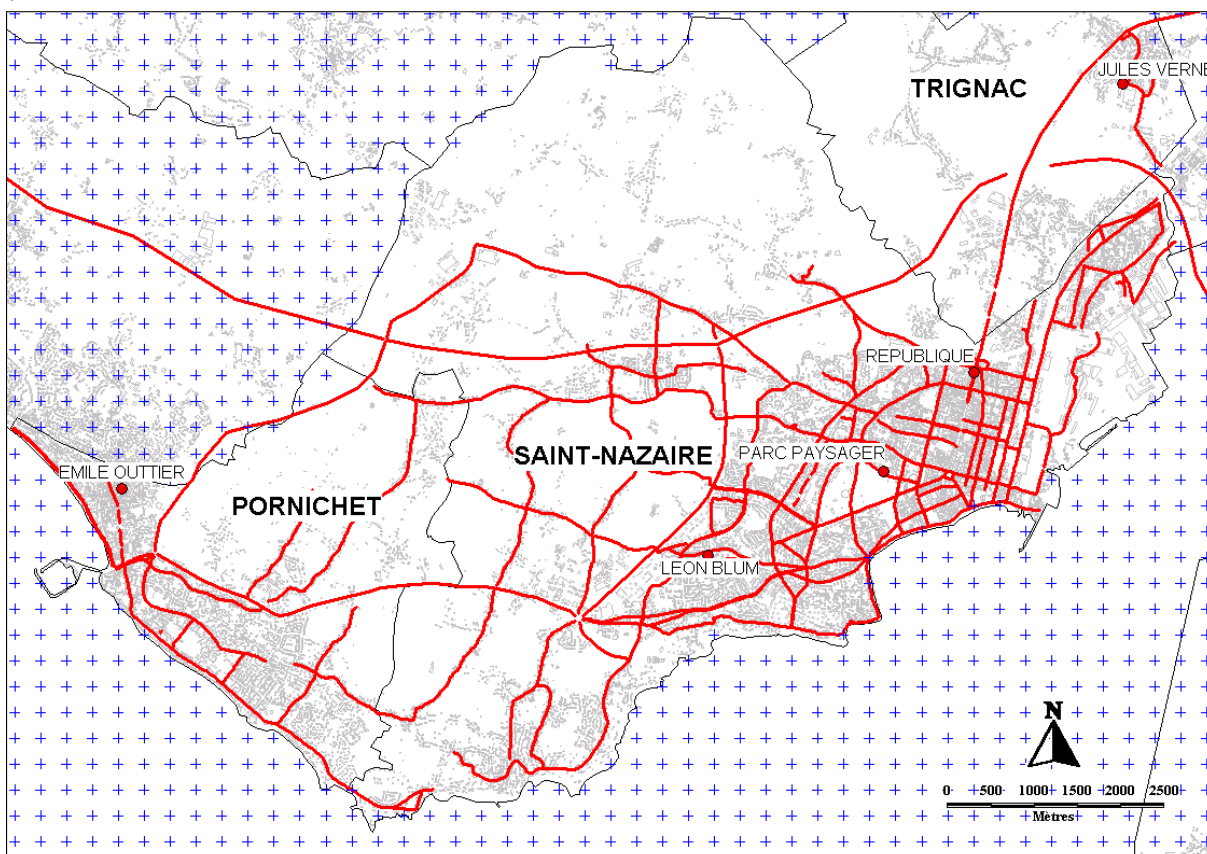


Figure 24 : carte de la grille de points récepteurs à résolution fine

Cette première grille comporte 1351 points.

**grille à résolution très fine**

Une autre grille à résolution très fine a été définie sur l'aire des trois communes étudiées. Les points récepteurs de celle-ci sont distants de 150 m.

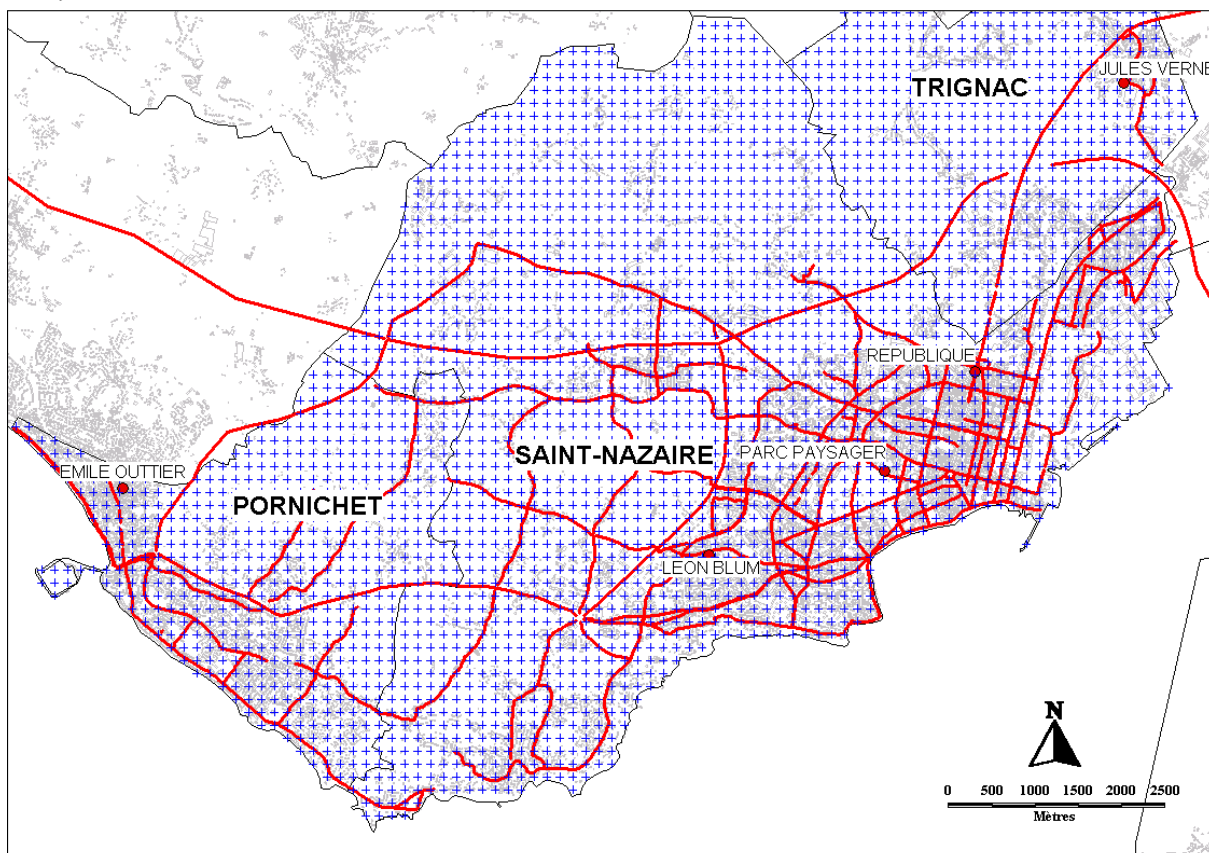


Figure 25 : carte de la grille de points récepteurs à résolution très fine

Cette deuxième grille rassemble 3310 points.

## maillage sur le réseau routier modélisé

Enfin, un ensemble de points récepteurs a été placé le long des axes de circulation afin d'obtenir une cartographie plus précise des polluants à proximité des sources routières.

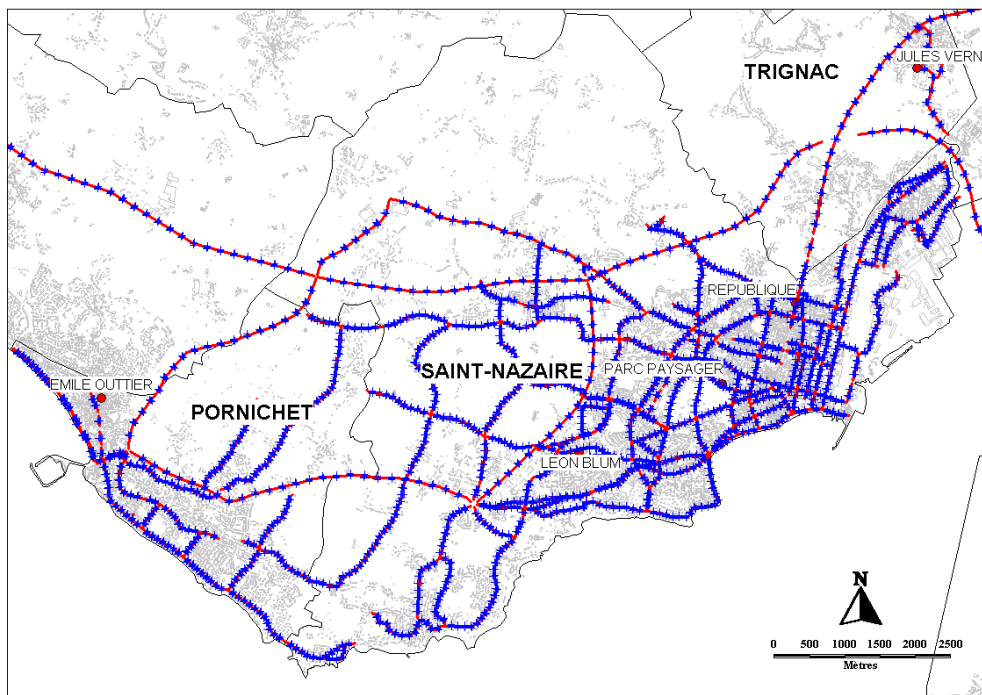


Figure 26 : carte des points récepteurs placés le long du réseau routier modélisé

Ce réseau de point est dense puisqu'il compte 5493 points.

Le principe de positionnement de ces points a été le suivant :

- un transect de 4 points est placé tous les 100 m le long des voies ;
- chaque transect est constitué de 2 points situés de part et d'autre de l'axe à 5m et de 2 points également placé de part et d'autre de la rue à 20 m.

Ces transects permettent d'appréhender la dispersion des polluants liée à l'éloignement de la voie de circulation.

La carte ci-dessous présente la répartition des points le long des voies modélisées à proximité de la station de mesure Léon Blum. Sur cette carte apparaissent également les points de la grille très fine.



Figure 27 : carte des points récepteurs placés le long du réseau routier modélisé près de la station Léon Blum

## maillage final

Enfin, les trois ensembles de points récepteurs ont été fusionnés en un maillage final comportant des points régulièrement espacés sur le domaine et des points le long des voies modélisées.

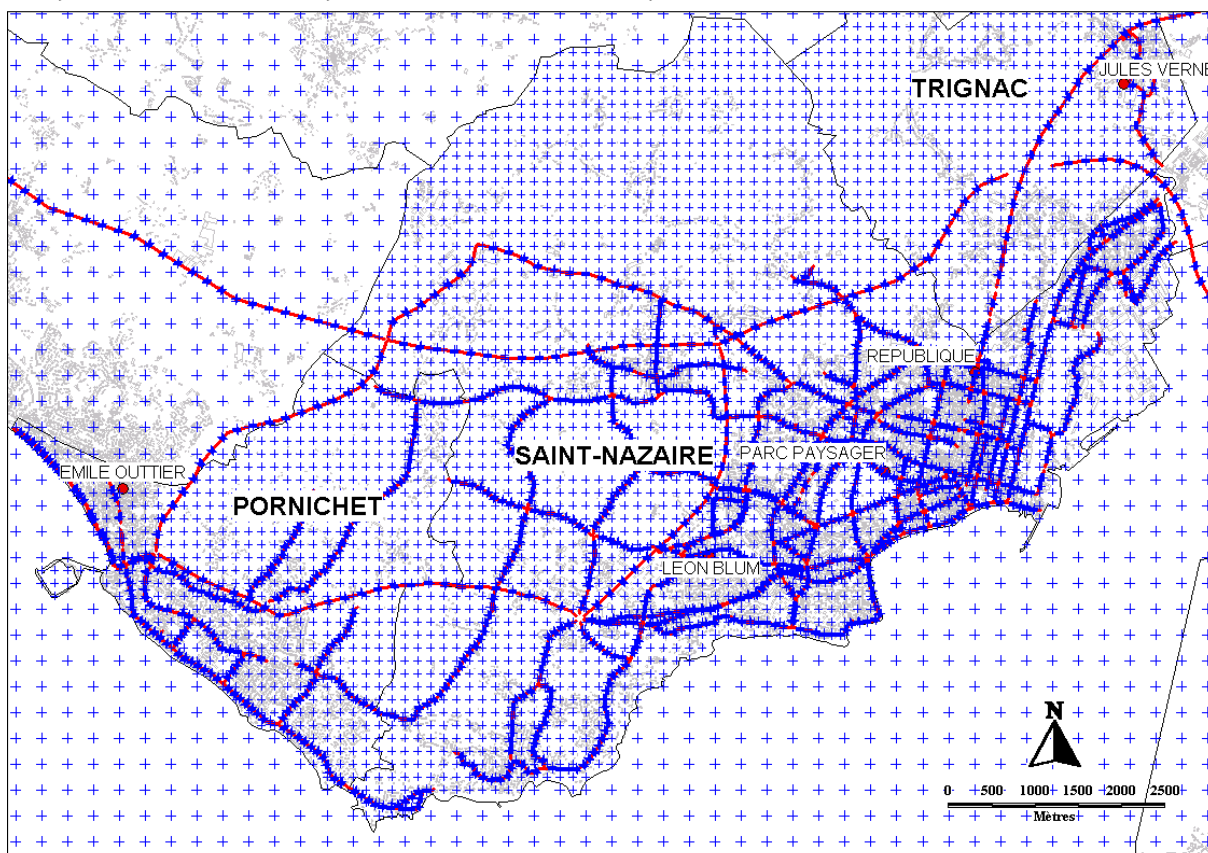


Figure 28 : carte des points récepteurs sur le domaine CARENE

Ce maillage complet comporte au total 10 154 points dont la moitié est placé autour du réseau routier.



## exposition de la population

L'étude de modélisation produit des cartes d'iso-concentration pour chaque espèce chimique modélisée. La présence du bâti sur ces cartes permet d'identifier les zones sensibles dans lesquelles les niveaux de concentration et la densité de population sont élevés.

Une méthodologie d'évaluation de l'exposition de la population aux dépassements de valeurs limites réglementaires a donc été élaborée.

### points en dépassement

La première étape consiste à identifier les points récepteurs du maillage concernés par un éventuel dépassement de valeur limite réglementaire.

A titre d'exemple, la carte ci-dessous représente quelques points du maillage en dépassement de la valeur limite annuelle pour le dioxyde d'azote en 2008 ( $44 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ ).

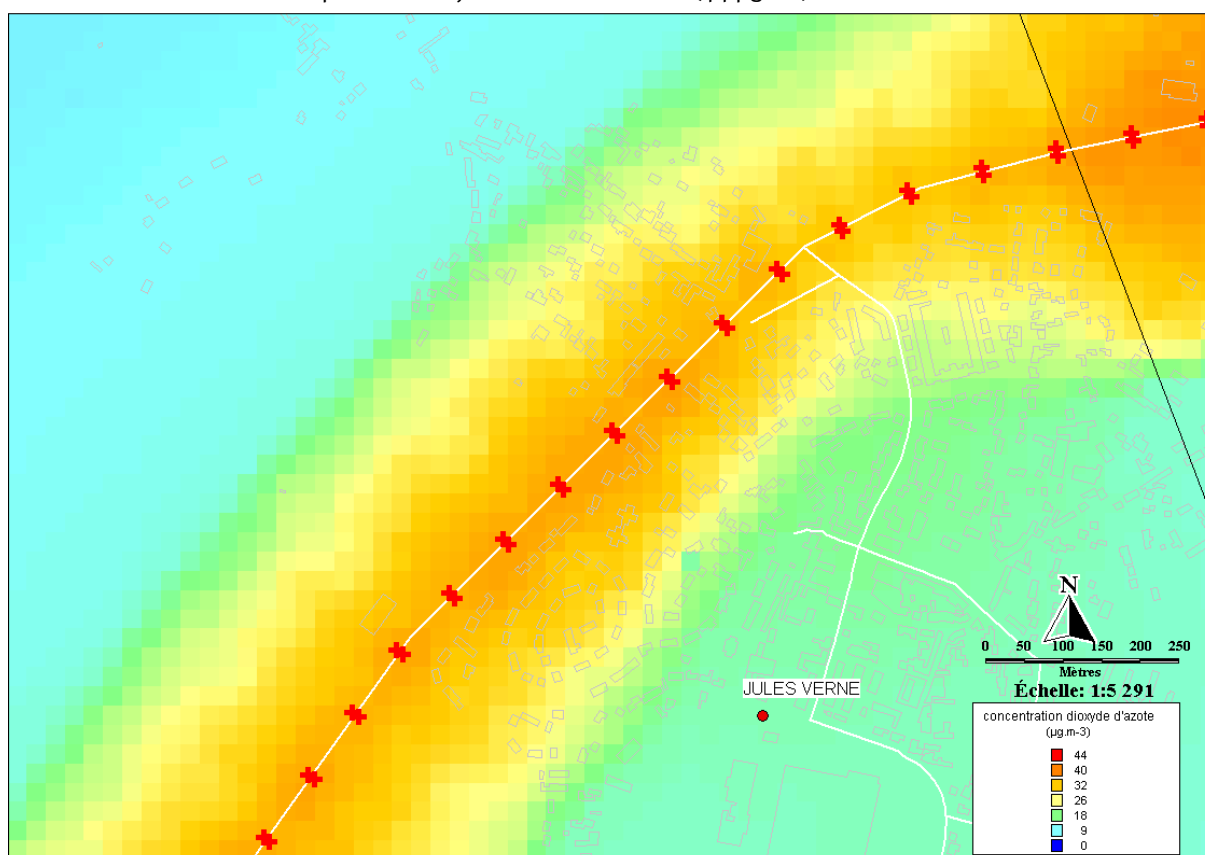


Figure 29 : exemple de carte des points récepteurs en dépassement de la valeur limite pour le dioxyde d'azote

## aire de dépassement

L'estimation de la surface exposée au dépassement repose sur l'hypothèse d'une fonction permettant d'estimer la baisse de la concentration des polluants en fonction de la distance à la voie.

Après plusieurs calages sur une base de données de campagne de mesure autour de voies urbaines, il a été décidé de retenir une fonction de type gaussienne centrée et d'écart-type 200.

Ainsi, en fonction de la concentration estimée sur le point récepteur en dépassement, le rayon de l'aire de représentativité de ce point de dépassement a été calculé.

Le tableau ci-dessous donne quelques distances associées aux concentrations simulées sur les points récepteurs :

concentration du point récepteur ( $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ )	45	46	48	53	61	73
rayon de l'aire de dépassement (m)	40	50	80	120	160	200

Tableau 2 : rayon de l'aire de représentativité du dépassement en fonction de concentration.

À titre d'exemple, la carte ci-dessous représente l'aire de représentativité des points récepteurs en dépassement de la valeur limite pour le dioxyde d'azote dans l'avenue de la République.

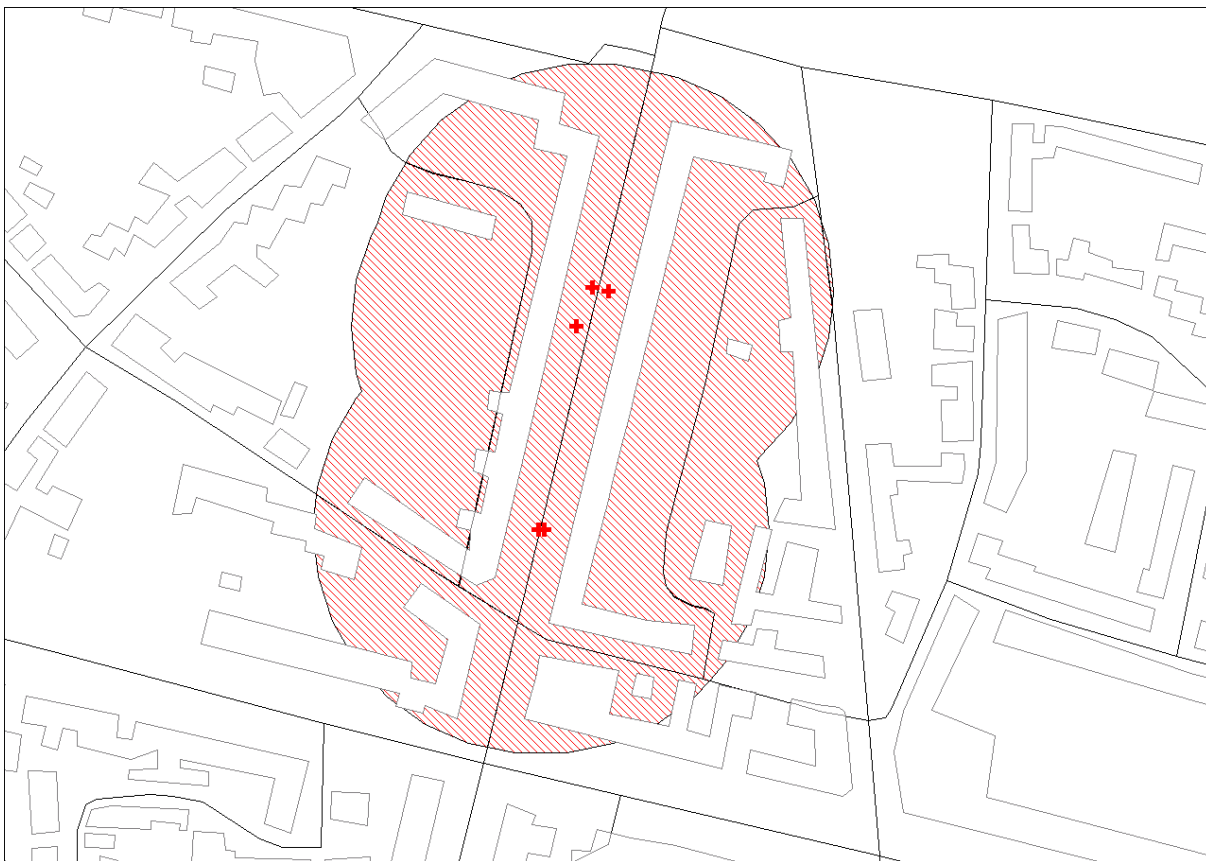


Figure 30 : carte de l'aire en dépassement de la valeur limite pour le dioxyde d'azote autour de l'avenue de la République

Cette méthode permet d'obtenir une surface concernée par un dépassement de la valeur limite pour le dioxyde d'azote sur l'ensemble du domaine de calcul.

Il reste à présent à croiser cette superficie avec les données de population disponibles.

## données de population

Les données de population de l'Institut National de la Statistique et des Etudes Economiques (INSEE) sont disponibles soit à l'îlot c'est-à-dire au quartier sur la commune de Saint-Nazaire soit à l'iris c'est-à-dire à un regroupement d'îlots pour les autres communes.

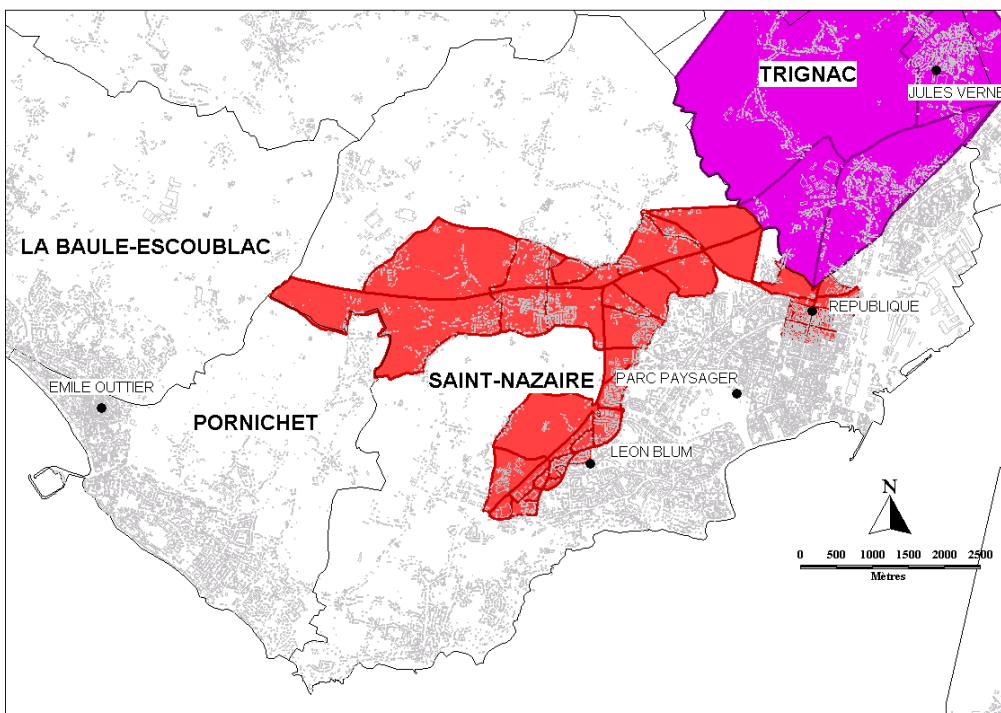


Figure 31 : carte des irises et îlots INSEE concernés par un dépassement de valeur limite pour le dioxyde d'azote

Afin d'estimer la population incluse dans l'aire de dépassement, un calcul simple consisterait à évaluer celle-ci proportionnellement à la surface de chaque îlot ou iris couvert par l'aire de dépassement.

Cependant, cette démarche repose sur l'hypothèse d'une homogénéité de la répartition de la population sur chaque iris ou îlot.

Hors la simple observation du bâti sur les irises ou îlots montre que cette hypothèse n'est pas réaliste. Elle conduirait à sur estimer la population concernée par un dépassement de valeur limite.

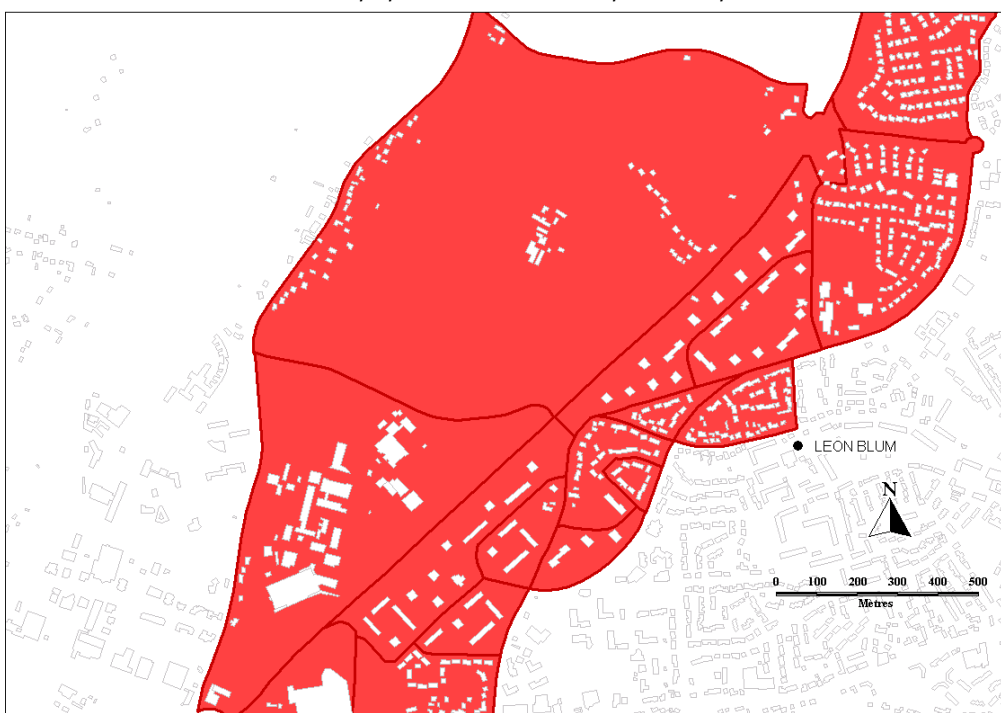


Figure 32 : carte de répartition du bâti sur les irises INSEE à Saint-Nazaire

### estimation de la population exposée au dépassement

Il est donc nécessaire de répartir la population de chaque îlot ou iris sur leur surface de bâtiments avant de calculer la population résidant dans l'aire de dépassement de la valeur limite par proportionnalité à la surface de bâti incluse dans l'aire de dépassement.

Sur la carte ci-dessous les bâtiments en vert sont inclus dans la zone de dépassement de la valeur limite pour le dioxyde d'azote qui elle est en jaune. La surface totale de ces bâtiments rapportée à la surface de l'ensemble des bâtiments de l'îlot ou iris permet de déterminer la proportion de population de l'îlot ou iris concerné par ce dépassement.



Figure 33 : carte des bâtiments inclus dans l'aire de dépassement à proximité de la station Léon Blum

Ce calcul peut être réalisé pour chaque îlot ou iris et il ne reste plus qu'à faire la somme des populations exposées par iris pour obtenir la population totale exposée.

# méthodologie de calage et de validation

L'étape de calage du modèle est une phase importante car elle permet d'ajuster les paramètres d'entrée du modèle afin d'obtenir le meilleur accord avec les mesures

La validation a été réalisée à partir des stations de mesure permanentes d'Air Pays de la Loire.

Des critères statistiques aussi appelés « scores » ont été calculés et les profils journaliers et annuels des concentrations ont été représentés.

L'analyse de ces scores et de ces profils a permis de d'évaluer la qualité de l'accord mesure-modèle et du paramétrage.

Le calage du modèle a consisté en des ajustements successifs sur les paramètres d'entrée du modèle dans le but d'améliorer les scores produits. Une trentaine d'essais a été menée afin d'aboutir à un paramétrage présentant des critères d'accord mesure-modèle correspondant aux objectifs de qualité et d'incertitude de la Directive 2008/50/CE relative à l'air ambiant et à un air pur pour l'Europe.



## scores

Les paramètres statistiques permettent de quantifier les écarts entre le modèle et les mesures et donc d'évaluer la pertinence d'un modèle vis-à-vis d'une expérience. Les grandeurs utilisées mettent en évidence trois types d'erreurs : l'erreur systématique, l'erreur locale et l'erreur totale.

L'erreur est systématique lorsque le modèle contribue à toujours surévaluer ou toujours sous-évaluer la valeur mesurée. L'erreur locale est la variabilité entre les individus. Elle caractérise la « précision » des données du modèle c'est à dire leur étalement autour de leur moyenne. Quant à l'erreur totale, elle caractérise la « justesse » globale des données du modèle par rapport à la réalité.

Les scores habituellement calculés sont les suivants :

- biais : Il s'agit de la moyenne de la différence entre les données simulées et les données observées. Il permet de rendre compte de l'erreur systématique commise par le modèle ;
- biais normalisé : 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 ;
- erreur absolue : il s'agit de la moyenne de la valeur absolue de la différence entre les données simulées et observées. Cette grandeur est exprimée en %. Ce paramètre représente l'erreur totale ;
- RMSE : c'est la racine carrée de la moyenne empirique de la différence au carré entre les données simulées et les observations. Il caractérise l'erreur totale ;
- NMSE : 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 ;
- corrélation : compris entre  $-1$  et  $1$ , sans dimension, plus le coefficient est élevé, plus le modèle reproduit bien les variations temporelles des observations. Le coefficient de corrélation permet de quantifier l'erreur locale.

La législation européenne impose des objectifs de qualité des données modélisées en termes d'incertitude (Directive 2008/50/CE). Pour l'estimation de la moyenne annuelle, elle est de 30 % pour le dioxyde d'azote, le dioxyde de soufre et le monoxyde de carbone et de 50% pour le benzène et les particules fines. Il n'y a pas de valeur pour la moyenne annuelle d'ozone.

## profils

Les profils temporels permettent d'évaluer la qualité du modèle à reproduire les phénomènes saisonniers.

Il s'agit de graphiques représentant les données mesurées par une station et simulées par le modèle aux coordonnées géographiques de la station.

Les deux types de profils utilisés pour le calage du modèle sont :

- journaliers : courbes moyennes de chaque heure de la journée ;
- annuels : courbes moyennes de chaque mois de l'année.

## paramètres du calage

La comparaison des scores par polluant et par sites a conduit à des choix de certaines données d'entrée du modèle. Les paramètres déterminants testés sont :

- les paramètres indépendants du temps :
  - la rugosité de surface retenue pour représenter l'occupation des sols caractéristique du domaine d'étude. Plus la rugosité est élevée, plus l'étalement du panache est important et plus les niveaux de concentrations sont faibles ;
  - la stabilité thermique minimale pour les conditions nocturnes représentée par la longueur minimale de Monin-Obukhov, notamment pour prendre en compte les phénomènes d'îlots de chaleur. L'augmentation de la longueur minimale de Monin-Obukhov permet de réduire la formation de conditions stables et donc de réduire le niveau des concentrations ;
- les paramètres dépendants du temps :
  - le choix des données de pollution de fond entre l'ensemble des stations disponibles ;
  - le choix des données météorologiques ;
  - les profils temporels d'émission.

## paramètres retenus et scores associés

Une trentaine d'essais a été réalisée au total. Entre deux tests, des ajustements d'un ou plusieurs paramètres ont été mis en œuvre. Cette succession de comparaison des scores et des profils a conduit à retenir les paramètres décrits ci-dessous :

- paramètres statiques :
  - rugosité = 0,7 qui correspond à la rugosité retenue pour une agglomération comme Toulon ;
  - longueur minimale de Monin-Obukhov : 30 m soit la valeur préconisée pour les zones mixtes urbaines et industrielles.
- paramètres variables dans le temps :
  - pollution de fond : la station Léon Blum a été retenue pour représenter le niveau de fond urbain ;
  - météorologie : la hauteur de couche limite modélisée par la plateforme régionale IRIS a été ajoutée à la description des conditions météorologiques ;
  - les facteurs d'émission ont été ajustés de façon à obtenir la meilleure adéquation des profils journaliers et annuels sur les stations urbaines de la zone d'étude.

L'annexe 9 présente en détail les tests de sensibilité du modèle à ces paramètres.

Les biais normalisés annuels associés à ce choix de paramètres sont représentés ci-dessous pour chaque polluant :

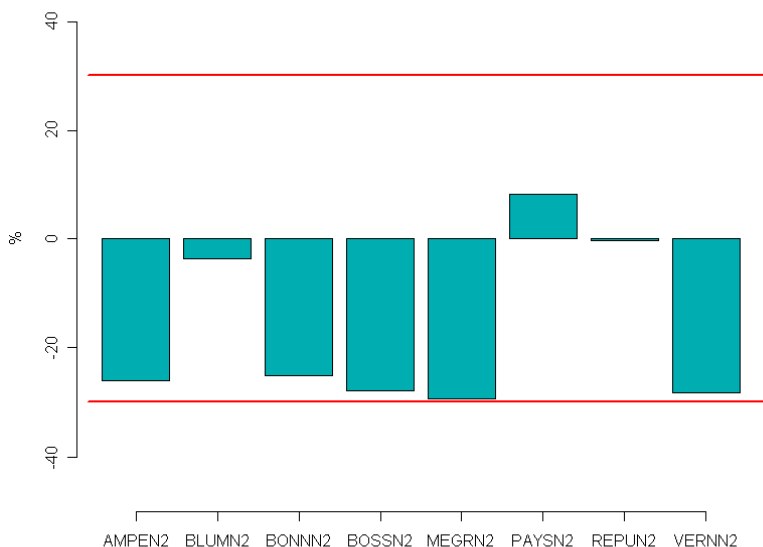


Figure 34 : erreurs absolues relatives annuelles pour le dioxyde d'azote avec le paramétrage final

Les biais normalisés n'excèdent pas en valeur absolue le seuil de 30% requis par la directive européenne pour le dioxyde d'azote.

Il est quasiment nul sur le site de trafic de l'avenue de la République (REPUN2).

Il est positif au Parc Paysager (PAYSN2) ce qui indique une légère surestimation du modèle alors qu'il est légèrement négatif sur la station Léon Blum (BLUMN2).

Les sites industriels sont eux plus largement sous estimés dans la limite des 30%.

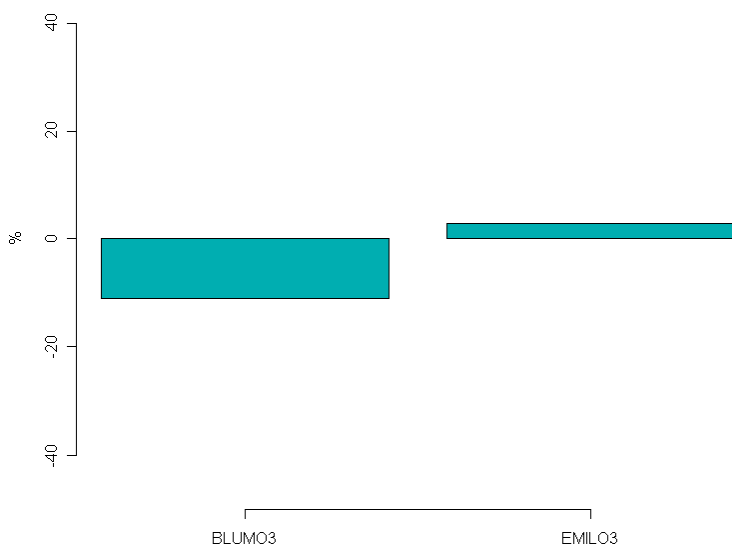


Figure 35 : erreurs absolues relatives annuelles pour l'ozone avec le paramétrage final

Le biais normalisé est faible pour l'ozone. Il est de +3% sur le site périurbain Emile Outtier (EMILO3) indiquant une surestimation très légère et -11% sur le site urbain Léon Blum (BLUMO3) témoignant d'une sous estimation plus importante.

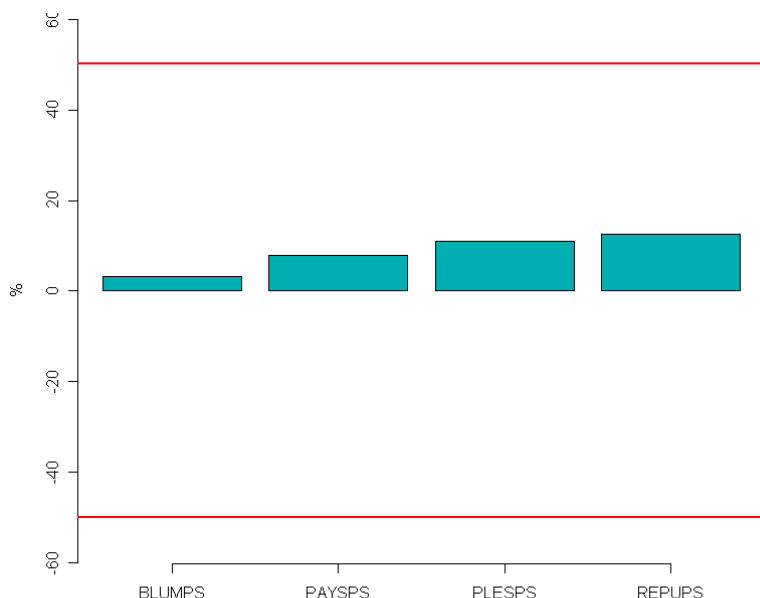


Figure 36 : erreurs absolues relatives annuelles pour les poussières fines PM10 avec le paramétrage final

L'objectif de qualité de la directive européenne fixé à 50% pour les poussières fines PM10 est largement respecté sur l'ensemble des sites. Il existe toutefois des disparités entre les sites urbains (BLUMPS et PAYSPS).

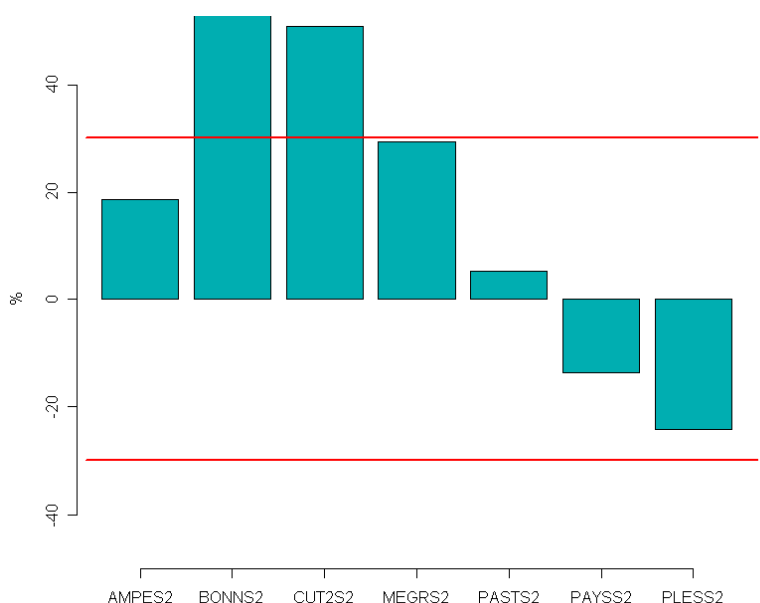


Figure 37 : erreurs absolues relatives annuelles pour le dioxyde de soufre avec le paramétrage final

La station urbaine du Parc Paysager (PAYSS2) présente un biais normalisé de -14% indiquant une sous estimation du modèle tout en respectant la recommandation de la directive européenne de 30%.

Les biais normalisés pour le dioxyde de soufre sont généralement positifs sur les sites industriels ce qui signifie que les concentrations simulées sont surestimées sur ces stations. Cela s'explique par le faible niveau des concentrations moyennes mesurées.

Les biais excèdent le seuil de + 30% recommandé par la directive sur les sites de Montoir-de-Bretagne (BONNS2) et Paimboeuf (CUT2S2).

Par contre, le biais est de -24% sur le site de Parscau du Plessis à Donges (PLESS2) indiquant une sous estimation du modèle sur cette station qui présente des niveaux moyens mesurés plus élevés que les autres sites de Donges (AMPES2 et PASTS2).



Figure 38 : erreurs absolues relatives annuelles pour le benzène avec le paramétrage final

Le biais normalisé pour le benzène calculé sur la station de trafic de l’avenue de la République est de + 13%. Il respecte donc l’objectif de la directive européenne (50%). Les teneurs annuelles en benzène sur ce site sont légèrement surestimées.

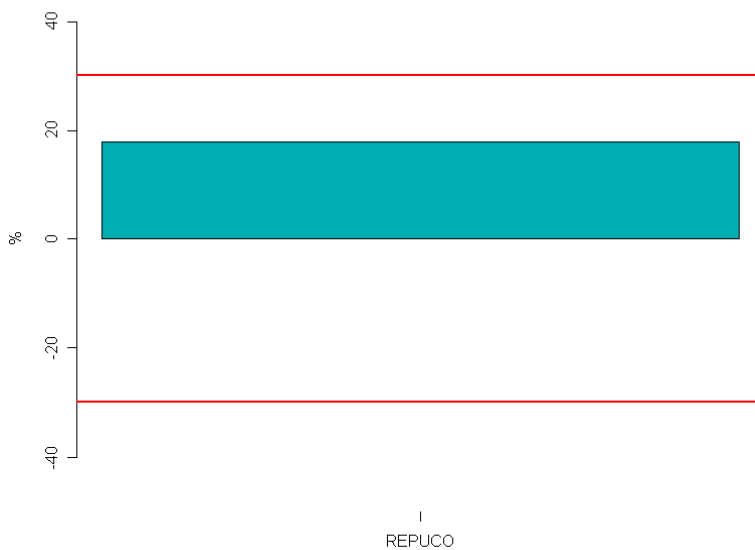


Figure 39 : erreurs absolues relatives annuelles pour le monoxyde de carbone avec le paramétrage final

Le biais normalisé annuel sur la station de trafic de l’avenue de la République indique une surestimation de + 18% des concentrations de monoxyde de carbone. L’objectif de qualité de la directive européenne (30%) est donc respecté.

Les critères de qualité fixés par la directive européenne sont donc respectés à l’exception du dioxyde de soufre sur certains sites industriels mais les concentrations moyennes annuelles y sont faibles.

# résultats

Les résultats sont présentés sous la forme de cartes d'iso-concentration représentant la moyenne annuelle pour l'année 2008 mais également un indicateur permettant d'appréhender les niveaux de pointes.



## cartographies de la moyenne annuelle

L'un des objectifs de l'étude de modélisation est de permettre un suivi réglementaire de la qualité de l'air sur le territoire de la CARENE. Afin de répondre à cette attente, les cartes de moyennes annuelles, période sur laquelle sont calculés la majorité des seuils réglementaires, des principaux polluants ont été produites.

Les cartographies présentées ci-dessous couvrent l'ensemble du domaine de résultat de manière à fournir une vision d'ensemble du champ de pollution modélisé. Elles sont agrémentées de zooms sur chaque commune lorsque cela est nécessaire.

### dioxyde d'azote

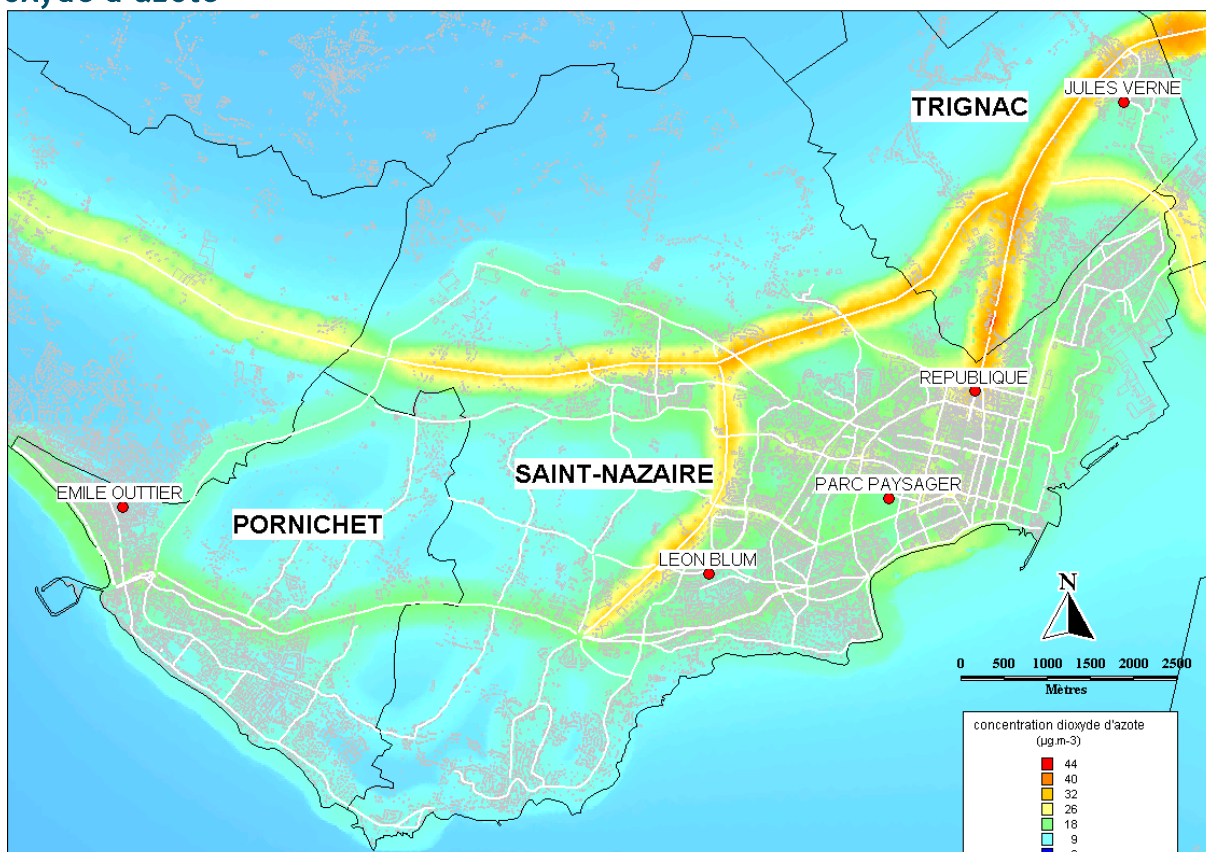


Figure 40 : carte de la moyenne annuelle 2008 pour le dioxyde d'azote

Il apparaît sur cette carte que les zones se situant à proximité des axes à forte circulation approchent la valeur limite annuelle fixée à  $44 \mu\text{g.m}^{-3}$  en 2008. Il s'agit des voies express (RD 213, RN 171 et RN 471) et du boulevard de contournement RD 492.

Du fait de la densité des voies de circulation, la partie urbaine de Saint-Nazaire présente un niveau moyen supérieur à  $18 \mu\text{g.m}^{-3}$  alors que la majorité du territoire des trois communes reste largement en dessous de cette valeur.

Pour information, la moyenne des stations de fond de l'Union Européenne se situait en 2006 à  $27 \mu\text{g.m}^{-3}$  et 80% d'entre elles se trouvaient dans la plage de concentration de  $20 \mu\text{g.m}^{-3}$  à  $40 \mu\text{g.m}^{-3}$  comme le montre ce graphique :

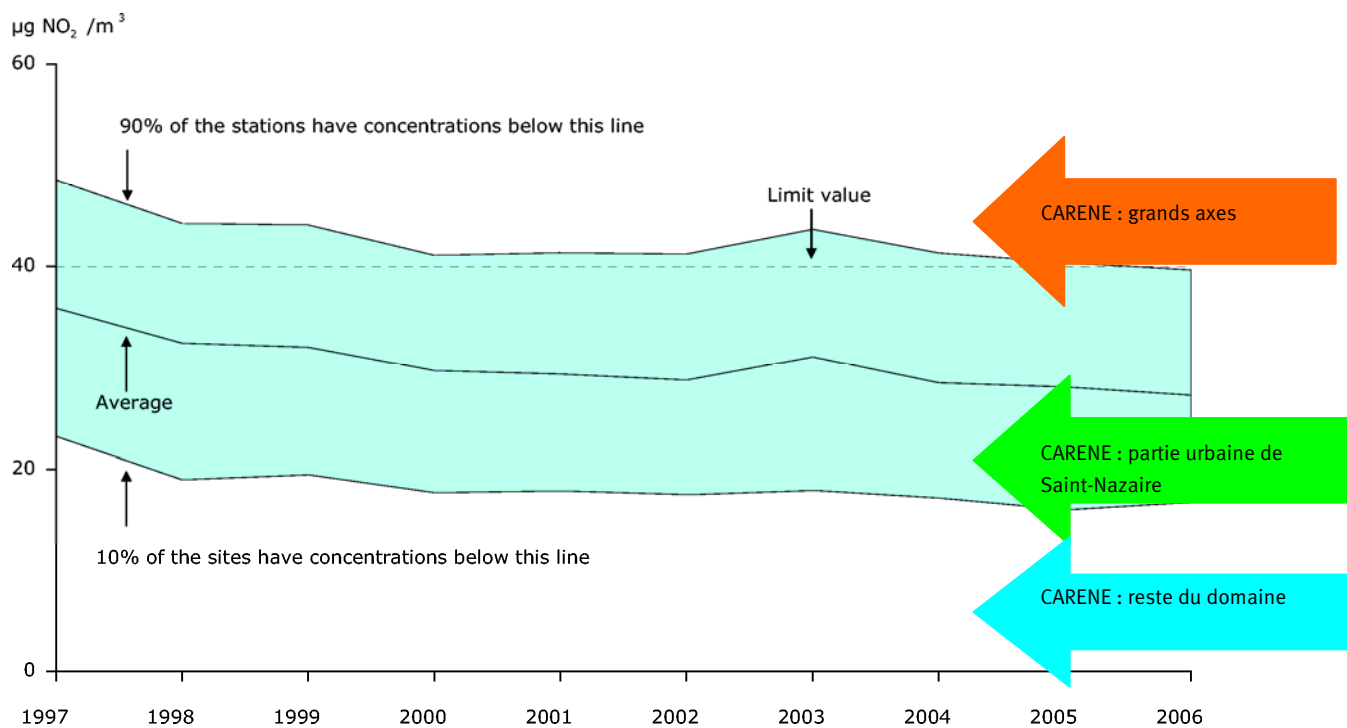


Figure 41 : moyennes annuelles de dioxyde d'azote des stations de fond de l'Union Européenne (source : EEA - AirBase - 16 Apr 2008)

Il apparaît donc que la grande majorité de la zone d'étude se trouve au niveau des 10% de sites les moins pollués alors que la partie urbaine de Saint-Nazaire se situe dans la partie inférieure de l'intervalle de confiance à 80 % autour de la moyenne.

La carte ci-après correspond à un agrandissement sur le centre-ville de Saint-Nazaire.

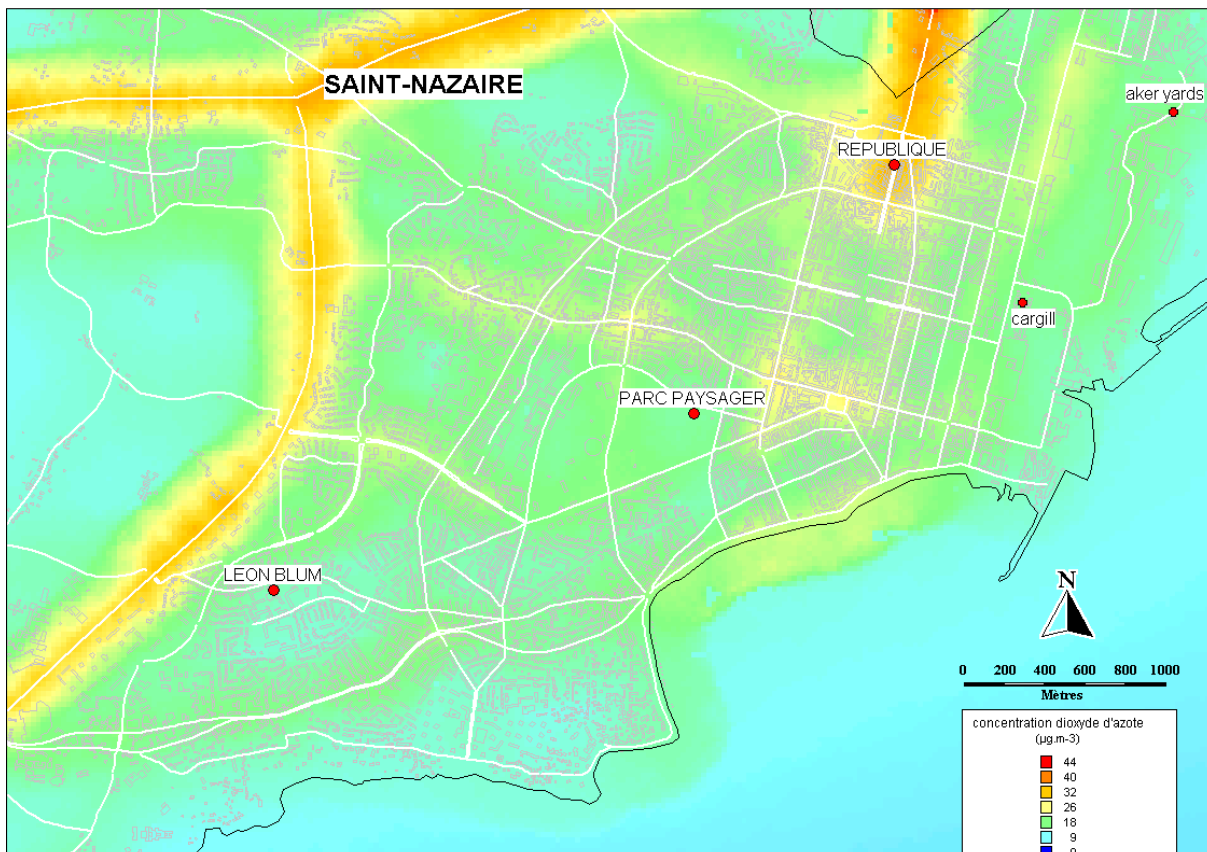


Figure 42 : carte de la moyenne annuelle 2008 pour le dioxyde d'azote

Comme indiqué précédemment, le centre-ville de Saint-Nazaire présente une densité de voies de circulation importante qui a pour conséquence un niveau moyen en dioxyde d'azote plus élevé que le reste du domaine.

Il existe tout de même des zones préservées correspondant à des quartiers résidentiels (exemple : de Ville-es-Martin à Saint-Marc).

Les zones les plus exposées à une pollution chronique sont celles à proximité des grands axes (RD 213, RD 492, RN 471). Le quartier de l'avenue de la République se trouve à l'embouchure de la pénétrante (RN 471) dans un réseau dense de voiries et présente donc un niveau moyen dépassant la valeur limite annuelle en dioxyde d'azote comme nous avons pu le constater à partir des données enregistrées dans ce quartier en 2008 par la station d'Air Pays de la Loire.

Les boulevards côtiers (bd Albert 1<sup>er</sup> et bd du président Wilson) et les grands carrefours (exemple : place François Blancho) apparaissent également comme plus exposés.

Enfin, l'influence du trafic routier lié à l'activité industrialo portuaire est perceptible à l'Est du quartier de l'avenue de la République notamment sur le boulevard Paul Leferme.

La carte présentée ci-dessous couvre la commune de Pornichet.

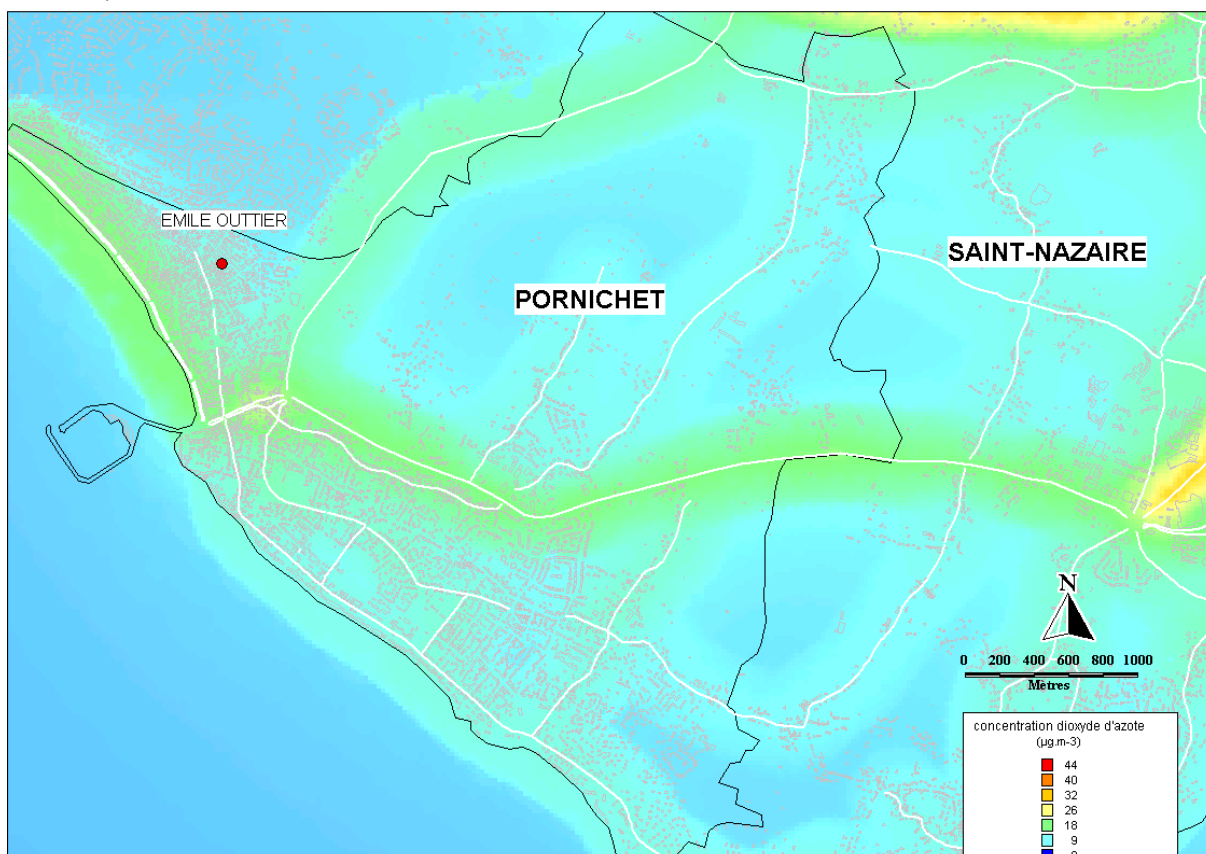


Figure 43 : carte de la moyenne annuelle 2008 pour le dioxyde d'azote

Pornichet apparaît comme plus préservé que Saint-Nazaire de la pollution par le dioxyde d'azote puisqu'il n'y a pas de voie à forte taux de circulation qui traverse la commune. Cependant, le boulevard côtier (bd des Océanides) et les deux axes de pénétration (avenue du Baulois et bd de Saint-Nazaire) se démarquent avec des niveaux supérieurs à  $18 \mu\text{g.m}^{-3}$ .

La carte ci-dessous correspond à un zoom sur la partie habitée de la commune de Trignac.

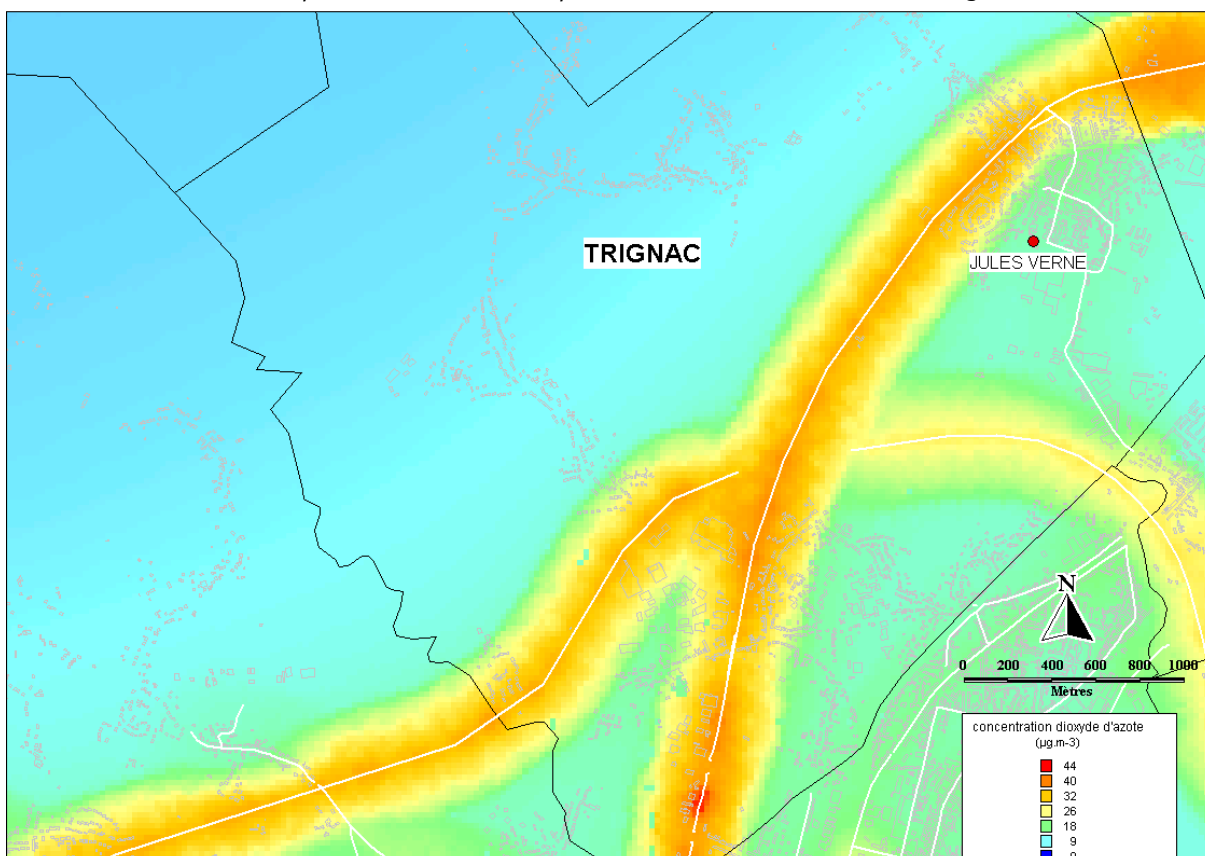


Figure 44 : carte de la moyenne annuelle 2008 pour le dioxyde d'azote

Trignac est traversée par un axe de grande circulation desservant le centre de Saint-Nazaire d'une part et une seconde voie rapide reliant les stations balnéaires au Sud Loire par le pont d'autre part. Ces axes à très fort trafic (le Trafic moyen Journalier Annuel de véhicules est de 45 000 véhicules) est un important émetteur de dioxyde d'azote comme le montre le gradient de concentrations sur la carte des moyennes annuelles. La valeur limite de 44 µg.m<sup>-3</sup> pour 2008 est dépassée tout au long de ces deux voies. La partie Nord du centre-ville de Trignac est donc influencée tout comme la zone à proximité de la jonction entre les deux voies cités.



## ozone

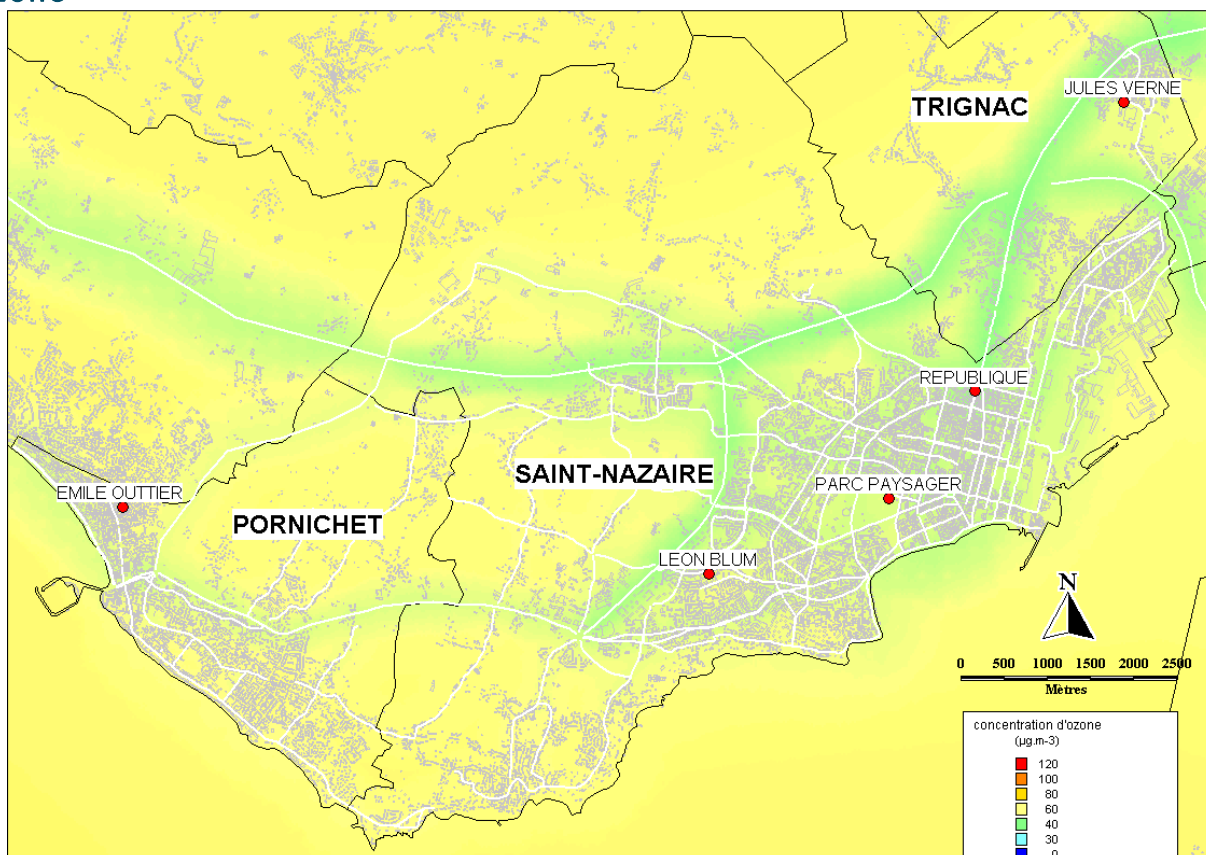


Figure 45 : carte de la moyenne annuelle 2008 pour l'ozone

La carte est relativement uniforme avec des niveaux moyens situés entre  $60 \mu\text{g.m}^{-3}$  et  $80 \mu\text{g.m}^{-3}$ , ce qui démontre que l'ozone est un polluant à grande échelle.

La carte de la moyenne annuelle d'ozone est comme l'on pouvait s'y attendre anti-corrélée avec celle du dioxyde d'azote. Les zones à forte densité de trafic bénéficient d'une concentration moyenne annuelle plus faible que le reste du domaine. Cela s'explique par la consommation d'ozone par les oxydes d'azote émis par les véhicules.

## poussières fines

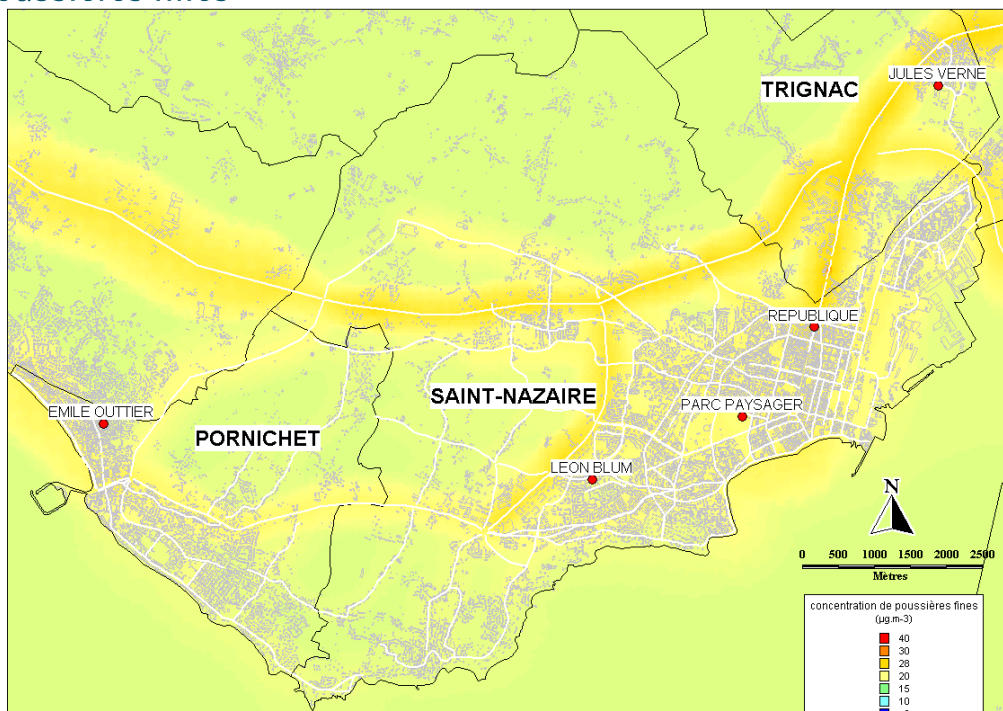


Figure 46 : carte de la moyenne annuelle 2008 pour les poussières fines

Les niveaux en poussières fines sont proches de l'objectif de qualité s'élevant à  $30 \mu\text{g.m}^{-3}$  autour des voies de fort trafic mais ne le dépassent pas selon la modélisation. Le reste du domaine se situe assez uniformément entre  $15$  et  $20 \mu\text{g.m}^{-3}$  ce qui atteste le fait que la pollution par les poussières fines est un phénomène à grande échelle.

La carte suivante permet de mieux visualiser la répartition des concentrations de poussières fines sur le centre ville de Saint-Nazaire.

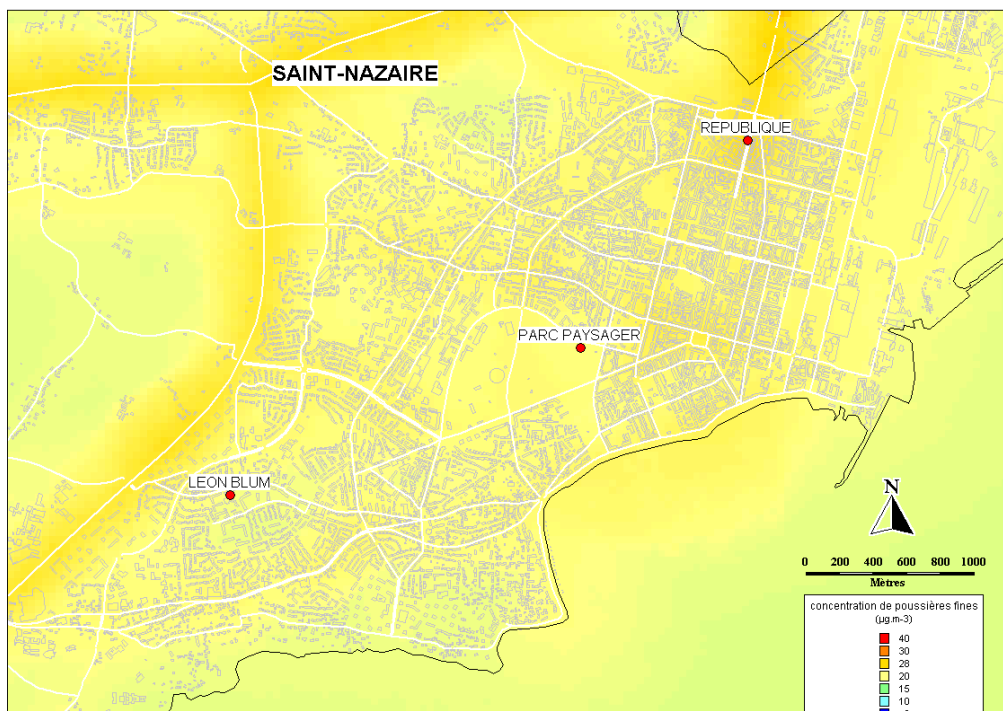


Figure 47 : carte de la moyenne annuelle 2008 pour les poussières fines

Les concentrations de poussières fines sont réparties de façon assez homogène sur le domaine. Les zones à forte densité de circulation ressortent légèrement pour lesquelles l'objectif de qualité est approché.



La carte ci-dessous représente Pornichet.

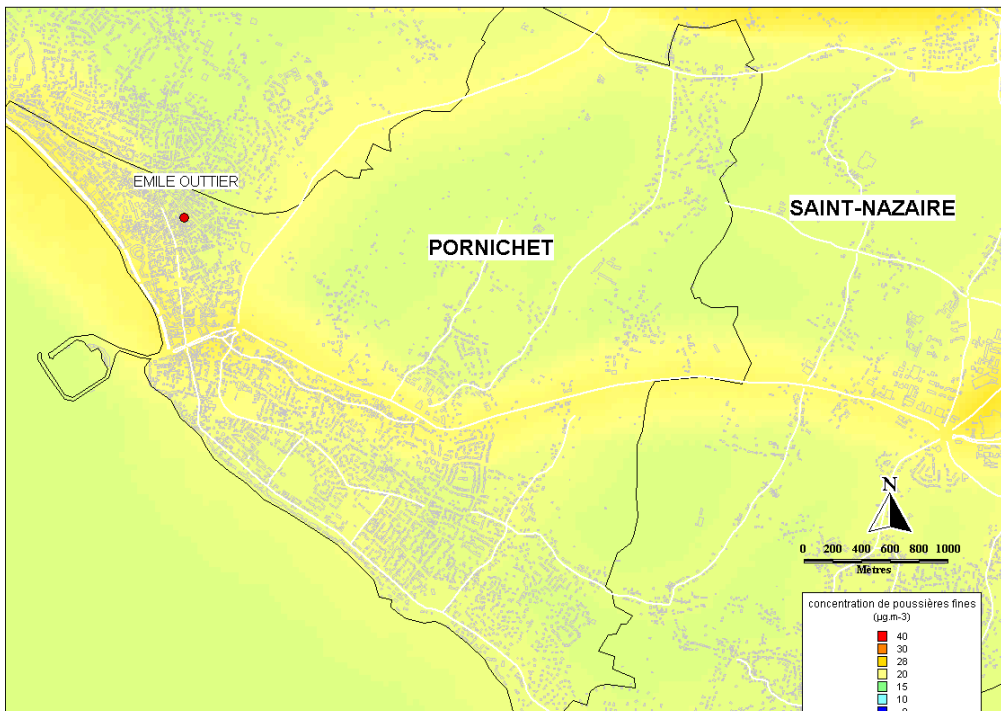


Figure 48 : carte de la moyenne annuelle 2008 pour les poussières fines

Les concentrations en poussières fines se situent de façon homogène entre 15 et 20  $\mu\text{g.m}^{-3}$  sur l'ensemble de la commune. Les trois axes principaux ressortent légèrement avec une moyenne annuelle supérieure à 20  $\mu\text{g.m}^{-3}$ .

La situation sur la commune de Trignac est différente comme le montre la carte suivante :

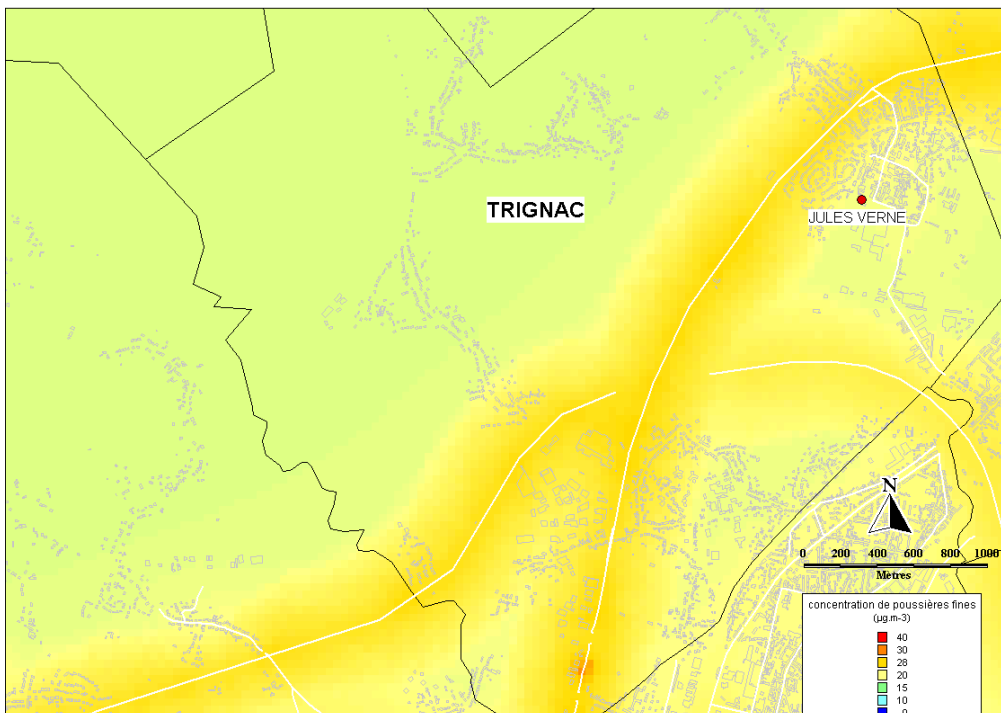


Figure 49 : carte de la moyenne annuelle 2008 pour les poussières fines

De même que pour le dioxyde d'azote, les deux axes à très fort trafic constituent des émetteurs importants de poussières fines (véhicules diesel). La carte montre une élévation forte des teneurs lorsque l'on se rapproche de ces voies. Celles-ci dépassent l'objectif de qualité de 30  $\mu\text{g.m}^{-3}$ .

## dioxyde de soufre

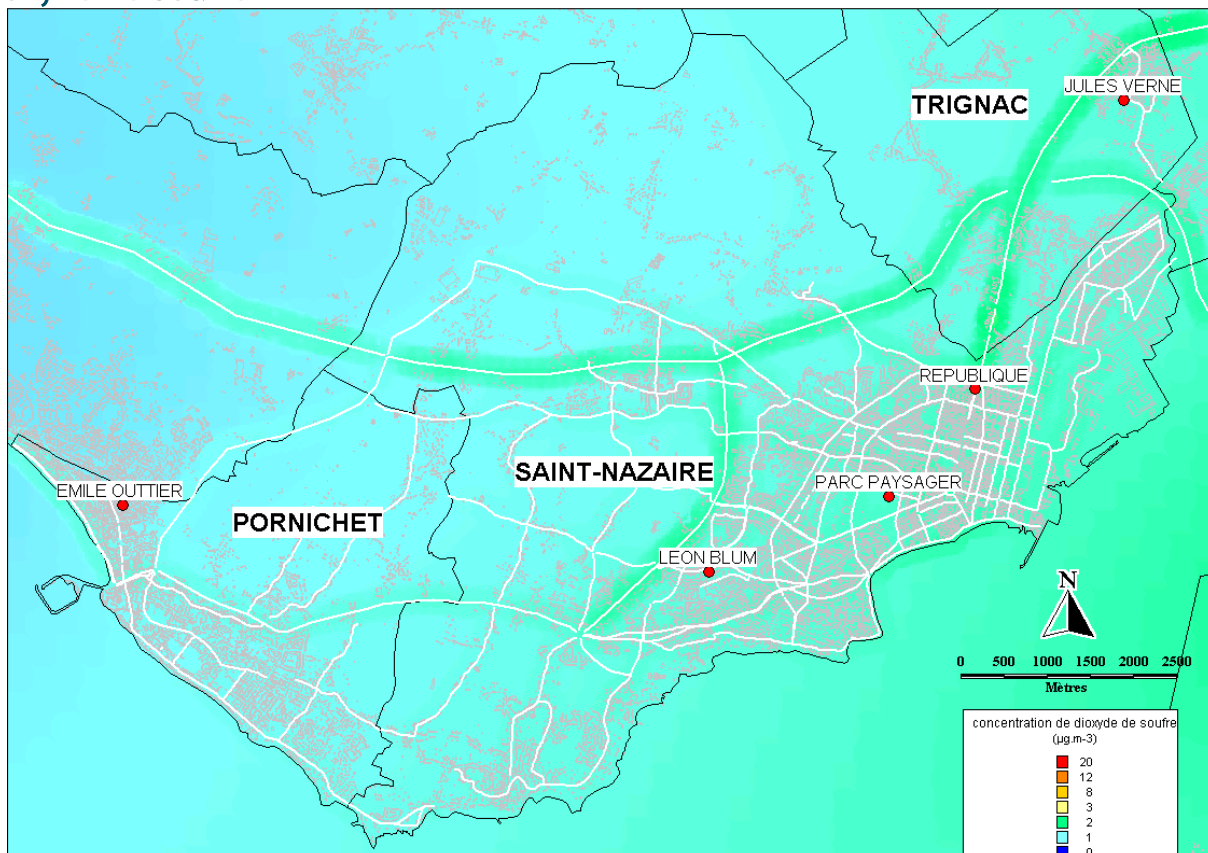


Figure 50 : carte de la moyenne annuelle 2008 pour le dioxyde de soufre

Les concentrations annuelles de dioxyde de soufre simulées sont très faibles puisqu'elles atteignent au maximum entre 10% et 15% de la valeur limite annuelle fixée à 20 µg.m<sup>-3</sup>. Aucune influence des sites industriels de la zone portuaire n'est mise en évidence à l'échelle annuelle.

## benzène

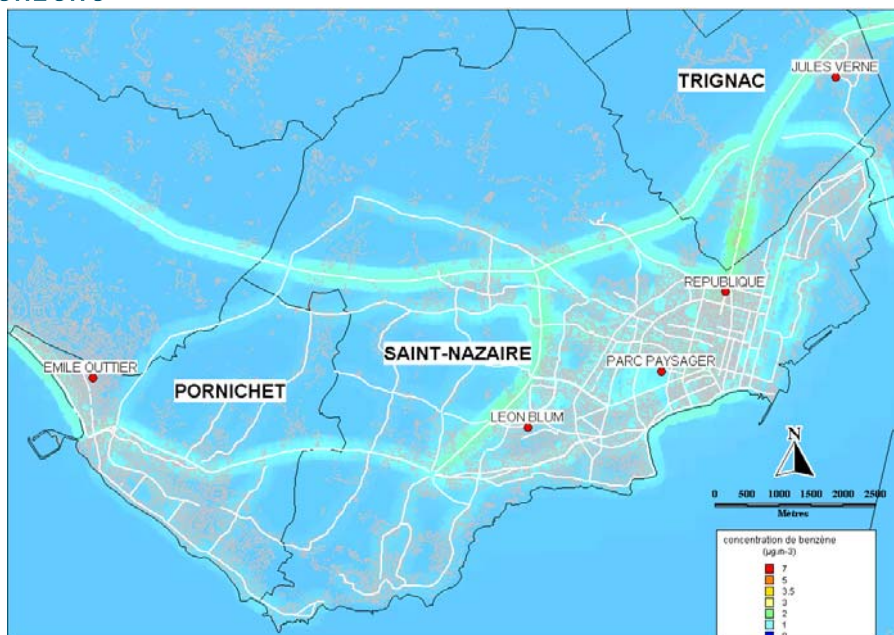


Figure 51 : carte de la moyenne annuelle 2008 pour le benzène

Le benzène se retrouve à proximité des voies de circulation mais les niveaux atteints sont très en deçà de la valeur limite fixée à  $7\mu\text{g.m}^{-3}$ .

Par contre, l'objectif de qualité de  $2\mu\text{g.m}^{-3}$  en moyenne sur l'année est franchi à proximité des voies de circulation les plus importantes (RN 471 et R 492).

La carte agrandit sur la partie urbaine de Saint-Nazaire permet de mieux le visualiser :



Figure 52 : carte de la moyenne annuelle 2008 pour le benzène

Le benzène est très lié à la présence des voies de circulation mais les concentrations ne dépassent que ponctuellement l'objectif de qualité de  $2\mu\text{g.m}^{-3}$  en moyenne annuelle et restent très en dessous de la valeur limite annuelle fixée à  $7\mu\text{g.m}^{-3}$  en 2008.

Les zones concernées par ce dépassement de l'objectif de qualité sont :

- la pénétrante RN 471 débouchant sur l'avenue de la République ;
- le boulevard de contournement RD 492 ;
- le carrefour des boulevards du général de Gaulle, Ferdinand Lesseps et Léon Gambetta ;
- la place François Blancho.

## monoxyde de carbone

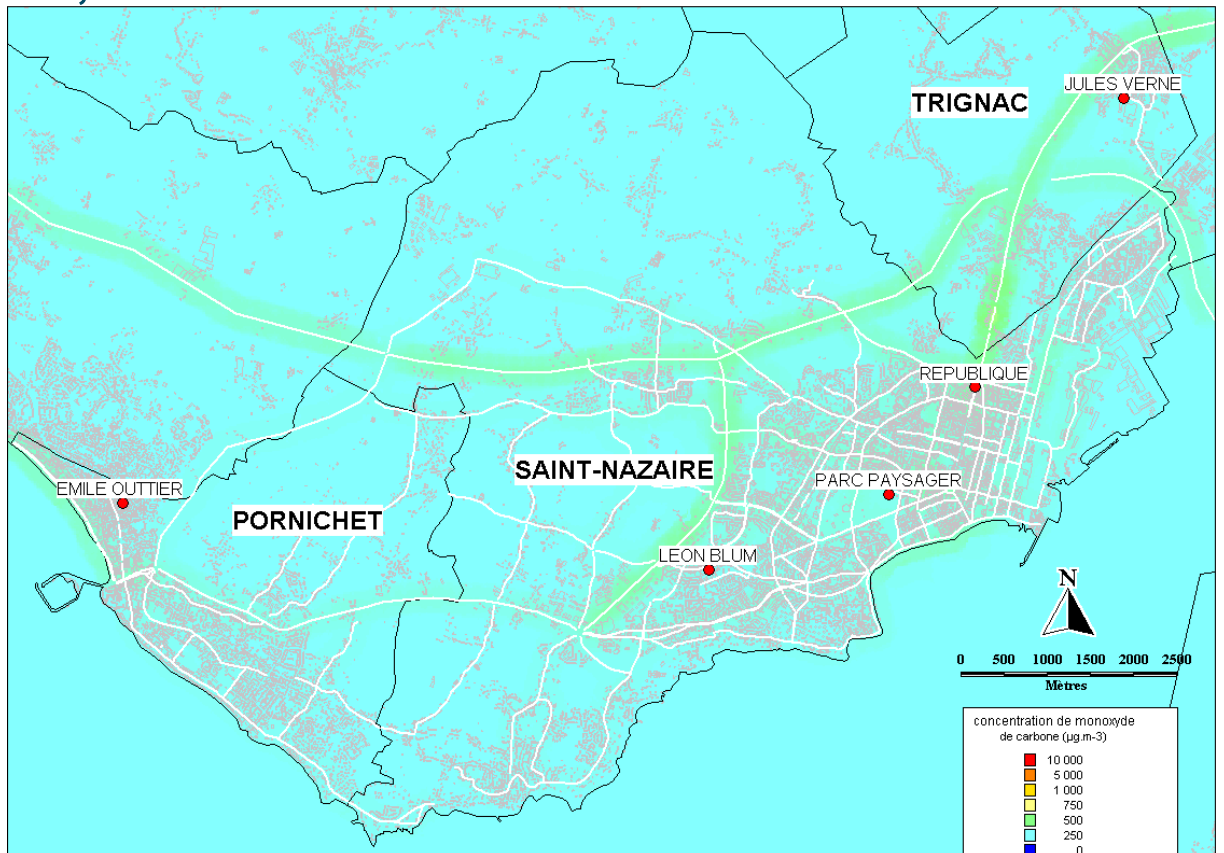


Figure 53 : carte de la moyenne annuelle 2008 pour le monoxyde de carbone

Les teneurs en monoxyde de carbone sont faibles puisqu'elles ne dépassent que très rarement les 500 µg.m<sup>-3</sup> en moyenne sur l'année 2008 aux abords des grands axes de circulation.



## cartographies des niveaux de pointe

En dehors des indicateurs réglementaires souvent basés sur une moyenne annuelle, les cartographies de percentiles 98 renseignent sur les niveaux de pointes atteints au cours de l'année 2008. En effet, le percentile 98 représente la valeur atteinte par 2% des concentrations de l'année. Il s'agit d'un indicateur plus robuste que les maximums qui ne représentent qu'une valeur de l'année et qui peut être beaucoup plus élevée que le reste des valeurs extrêmes.

### dioxyde d'azote

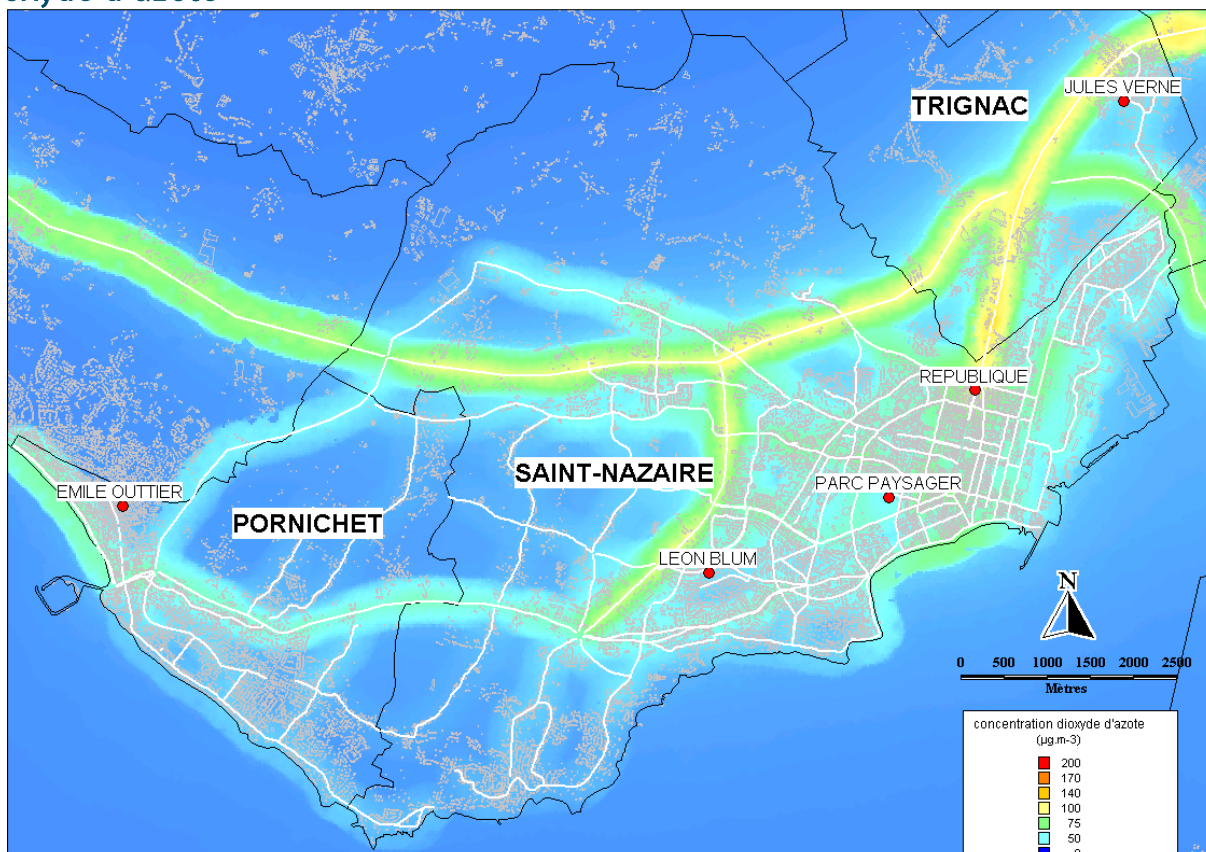


Figure 54 : carte du percentile 98 de l'année 2008 pour le dioxyde d'azote

La structure de la carte des niveaux de pointes est sensiblement la même que celle de la carte des moyennes annuelles. Les grands axes de circulation sont mis en évidence. Cependant, le contraste est plus marqué. Les niveaux de pointes à proximité de ces axes atteignent les  $100 \mu\text{g.m}^{-3}$  alors que les zones plus préservées affichent des teneurs inférieures à  $50 \mu\text{g.m}^{-3}$ .

L'agrandissement sur le centre ville de Saint-Nazaire permet de dégager les zones les plus influencées par le trafic automobile :

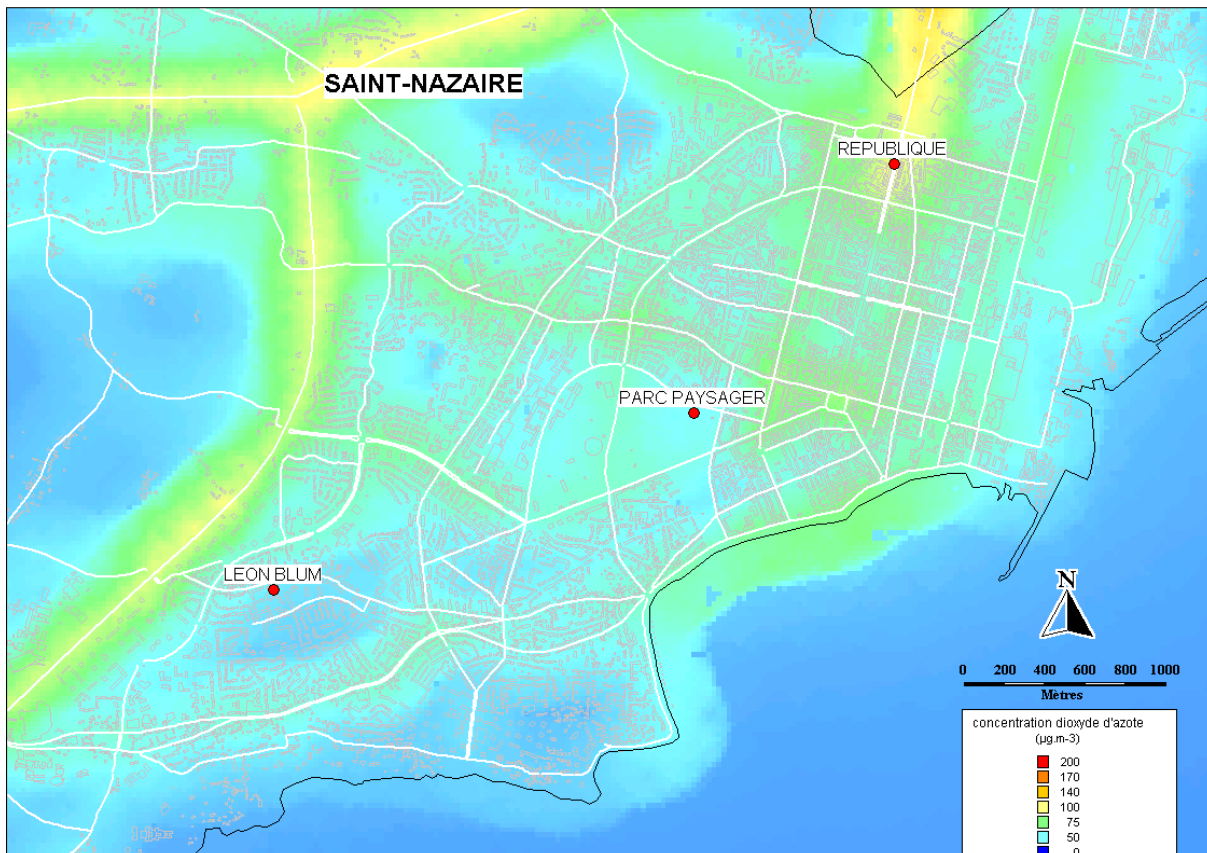


Figure 55 : carte du percentile 98 de l'année 2008 pour le dioxyde d'azote

La carte des concentrations de pointe de dioxyde d'azote sur le centre ville de Saint-Nazaire fait ressortir les grands axes de trafic et certains croisements où les teneurs dépassent les 100 µg.m<sup>-3</sup>. Le seuil d'information et de recommandation fixé à 200 µg.m<sup>-3</sup> sur une heure n'est pas atteint, selon la modélisation.



La commune de Pornichet apparaît plus préservée des pointes de dioxyde d'azote :

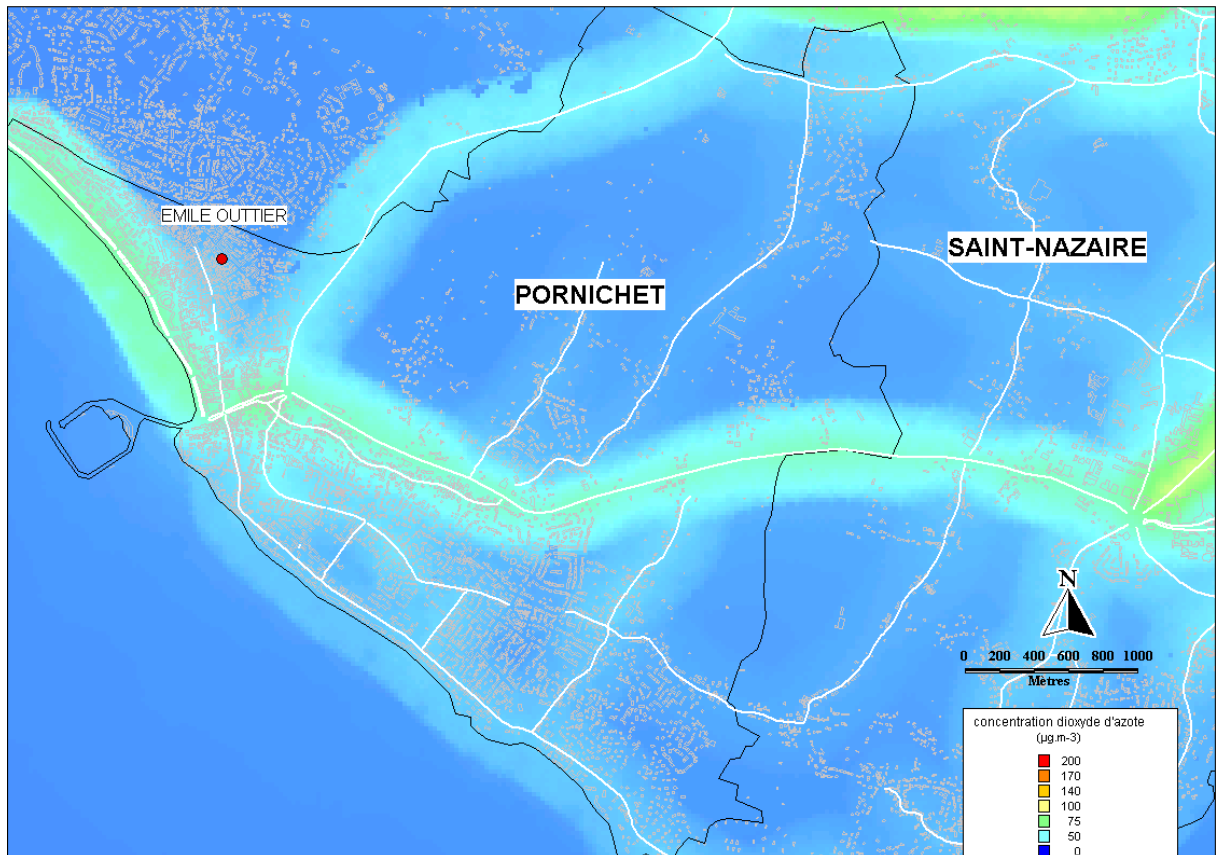


Figure 56 : carte du percentile 98 de l'année 2008 pour le dioxyde d'azote

Les deux voies d'accès à Pornichet (bd de Saint-Nazaire et RD 392) et le boulevard côtier (bd des Océanides) présentent des niveaux de pointes simulés entre 75 et 100  $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ . Le reste du territoire de la commune apparaît plutôt préservé d'une pollution par le dioxyde d'azote.

L'agrandissement sur Trignac met en évidence le rôle de fort émetteur des deux voies de grande circulation :

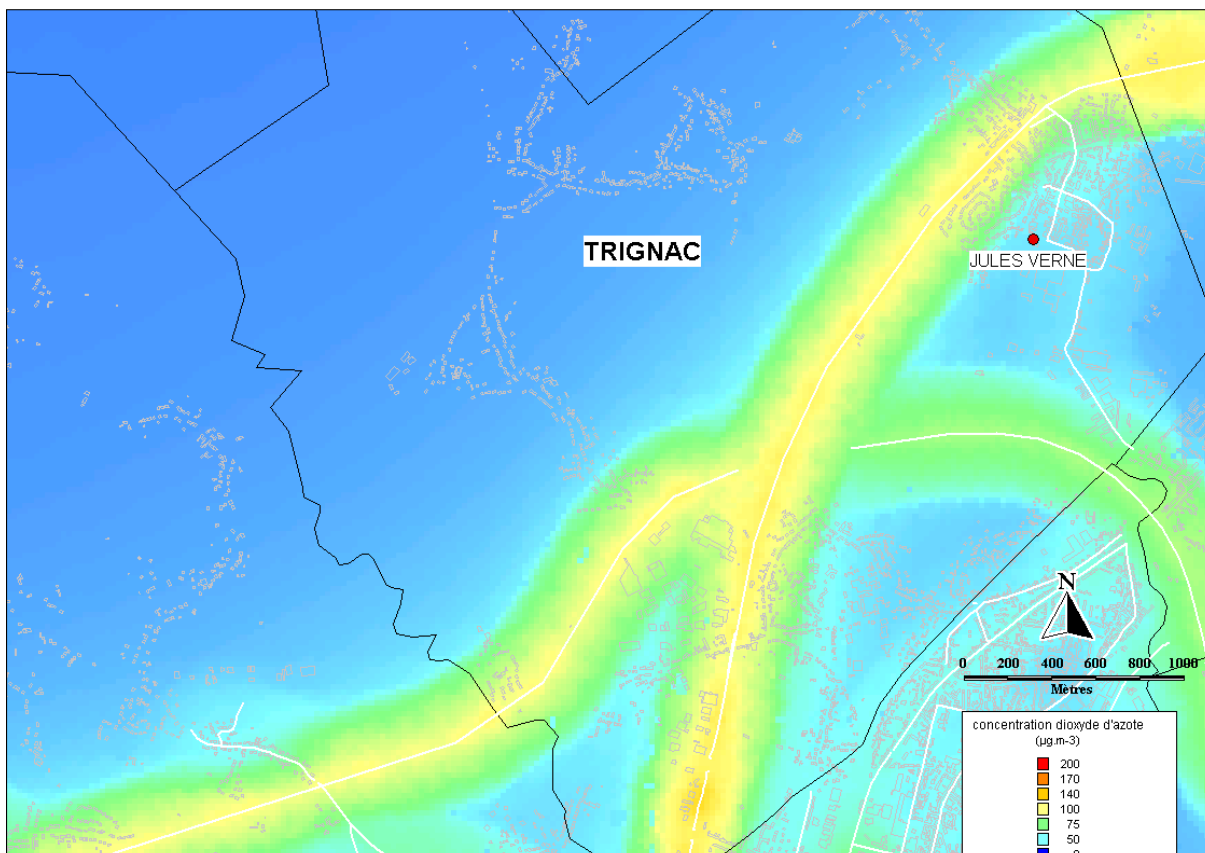


Figure 57 : carte du percentile 98 de l'année 2008 pour le dioxyde d'azote

Comme le montrait déjà la carte des moyennes annuelles, la commune de Trignac est traversée par deux axes à très fort trafic constituant des émetteurs importants de dioxyde d'azote. Les concentrations les plus fortes produites par le modèle dans les zones à proximité de ces axes dépassent les 100 µg.m<sup>-3</sup>. Le seuil de recommandation et d'information fixé à 200 µg.m<sup>-3</sup> n'a tout de même pas été dépassé.

Le contraste sur la carte entre les zones à proximité de ces axes et le reste du territoire montre que la dispersion du dioxyde d'azote est assez rapide. Cependant, les zones influencées incluent des îlots à forte densité de population comme le centre ville de Trignac.

## ozone

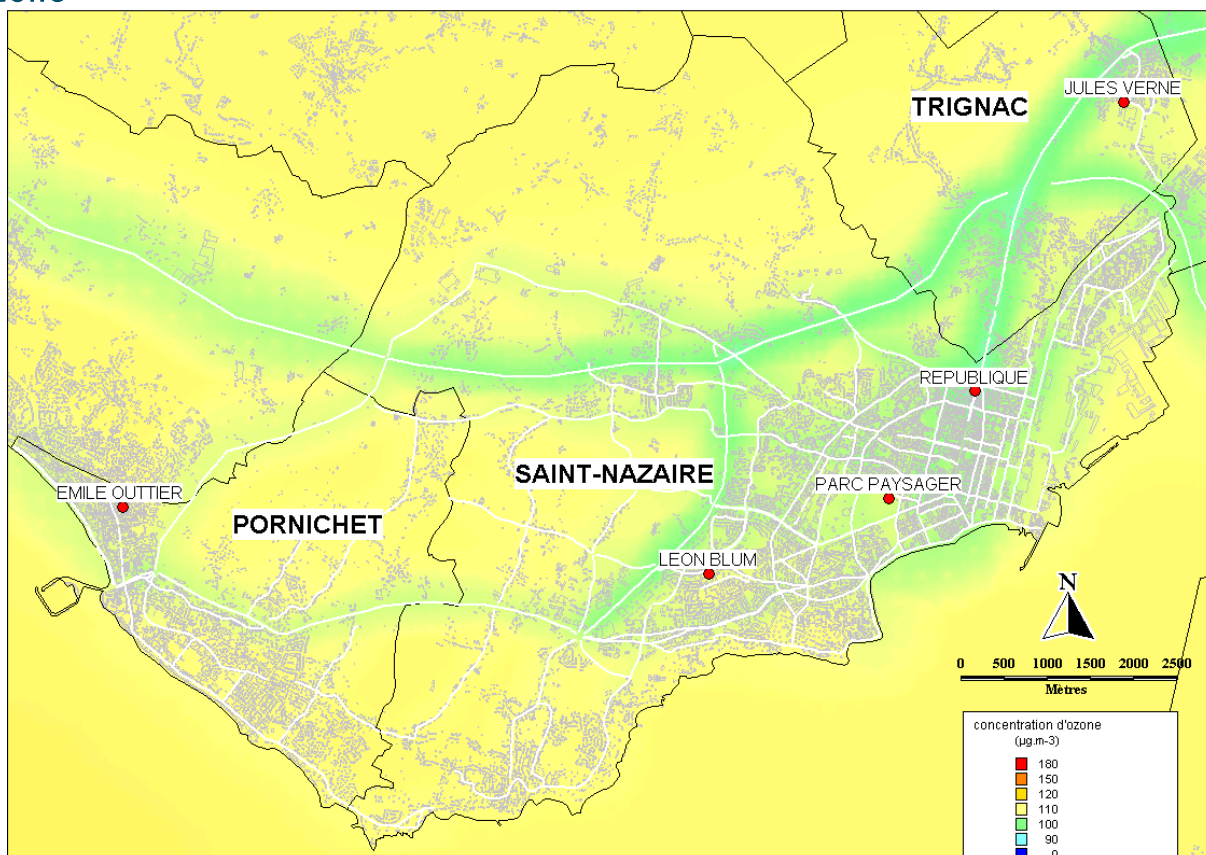


Figure 58 : carte du percentile 98 de l'année 2008 pour l'ozone

À l'inverse, les niveaux de pointes d'ozone sont estimés de façon très homogène. En dehors des abords des voies de circulation, les concentrations atteignent les 120  $\mu\text{g.m}^{-3}$  alors qu'elles s'établissent entre 100 et 110  $\mu\text{g.m}^{-3}$  à proximité des sources d'émission d'oxydes d'azote responsables de la destruction d'une partie de l'ozone. Cela illustre bien le fait que l'ozone est un polluant à grande échelle.

Le contraste terre/mer n'est pas plus visible ici. L'influence océanique est donc fortement marquée sur le domaine.

Le seuil de recommandation et d'information fixé à 180  $\mu\text{g.m}^{-3}$  n'a pas été atteint en 2008.

## poussières fines

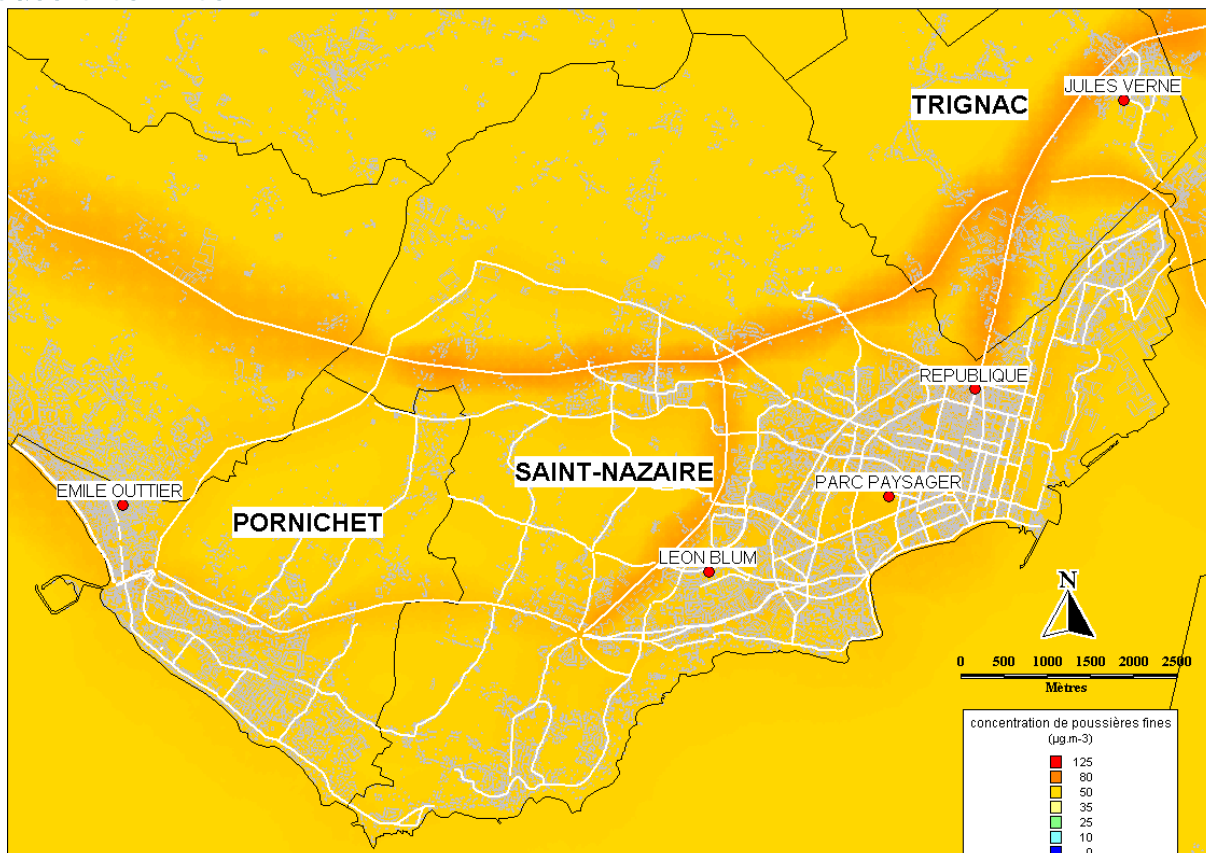


Figure 59 : carte du percentile 98 de l'année 2008 pour les poussières fines

De même que pour l'ozone, la répartition des concentrations de pointe de poussières fines est assez uniforme sur tout le domaine. Seules les zones à proximité des voies ayant les plus fort taux de trafic dépassent le seuil de  $80 \mu\text{g.m}^{-3}$  alors que le reste du domaine se situe au maximum entre  $50 \mu\text{g.m}^{-3}$  et  $80 \mu\text{g.m}^{-3}$ .

Les épisodes de poussières fines sont donc également liés à des phénomènes de transport à grande échelle.



## dioxyde de soufre

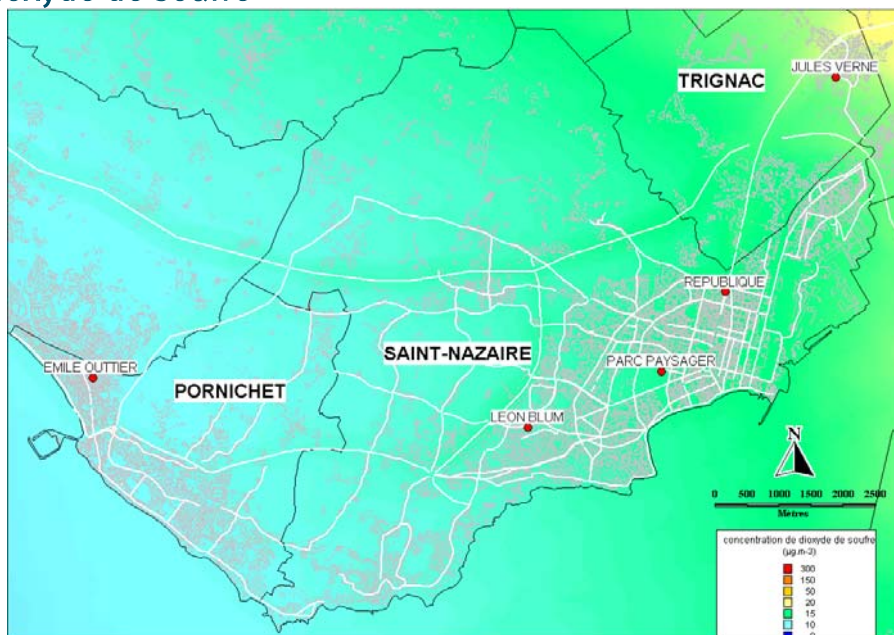


Figure 60 : carte du percentile 98 de l'année 2008 pour le dioxyde de soufre

Comme cela a été constaté sur la carte des moyennes annuelles, les teneurs en dioxyde de soufre sont très faibles sur le territoire des trois communes de Saint-Nazaire, Pornichet et Trignac.

Les teneurs les plus élevées ne dépassent que très localement (au nord est du centre ville de Trignac) les 20 µg.m<sup>3</sup>

Alors que l'influence du réseau routier n'est ici pas perceptible, celle de l'activité industrielle portuaire, en particulier de la raffinerie de Donges, est toutefois visible comme le montre le gradient de concentrations d'Ouest en Est. L'Ouest du domaine apparaît en effet plus préservé avec des niveaux de pointe entre 10 et 15 µg.m<sup>3</sup> alors que l'Est du secteur se situe entre 15 et 20 µg.m<sup>3</sup>.

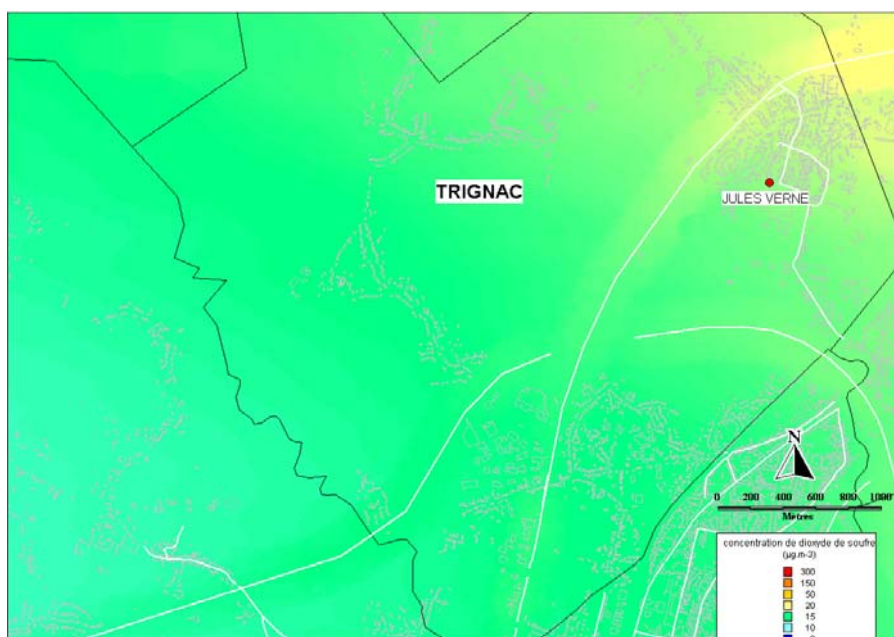


Figure 61 : carte du percentile 98 de l'année 2008 pour le dioxyde de soufre

La commune de Trignac ne semble toutefois pas fortement influencée par les activités industrielles puisque les teneurs maximales atteignent les 20 µg.m<sup>3</sup> à l'Est du centre ville de Trignac, sous l'influence des émissions de dioxyde de soufre de la raffinerie de Donges. Ces concentrations restent faibles au regard du seuil horaire de recommandation et d'information qui est fixé à 300 µg.m<sup>3</sup>.

## benzène

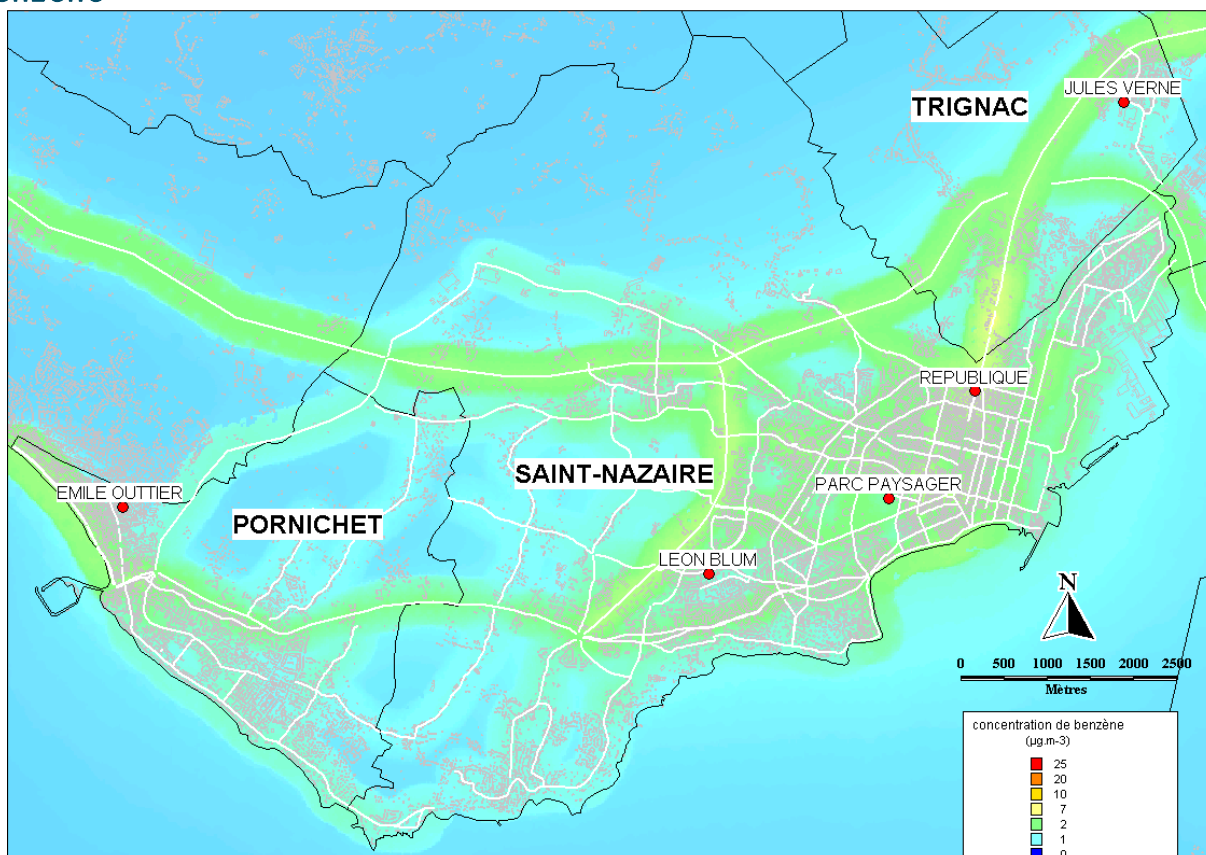


Figure 62 : carte du percentile 98 de l'année 2008 pour le benzène

La carte des niveaux de pointes de benzène permet de faire ressortir que certaines zones situées à proximité des voies de forte circulation automobile peuvent être soumises à des concentrations de plus de  $10 \mu\text{g.m}^{-3}$ . Il s'agit principalement de la pénétrante de Saint-Nazaire (RN 471), du boulevard de contournement (RD 492) et des boulevards côtiers (bd Albert 1<sup>er</sup>, bd du président Wilson à Saint-Nazaire et bd des Océanides à Pornichet).

Cependant le seuil de  $25 \mu\text{g.m}^{-3}$  en moyenne journalière recommandé par le Conseil Supérieur de l'Hygiène Publique de France n'est pas atteint.



La carte ci-dessous met en évidence les zones les plus sujettes à des niveaux de pointes élevés sur la partie urbaine de Saint-Nazaire :

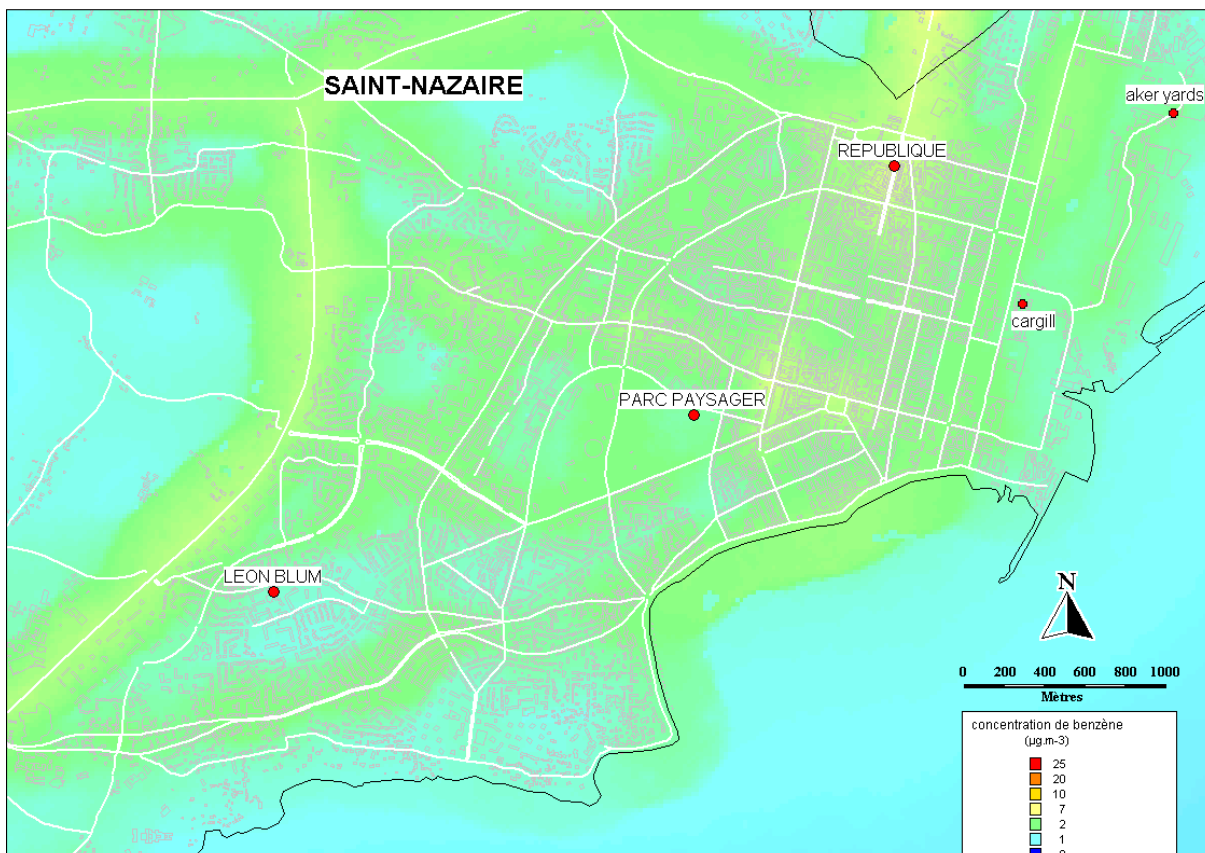


Figure 63 : carte du percentile 98 de l'année 2008 pour le benzène

L'influence du trafic automobile sur les concentrations de benzène modélisé est particulièrement visible sur cette carte.

Les zones à proximité des voies de forte circulation subissent des élévations de la concentration de benzène au-delà des  $10 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ . Il s'agit :

- de la pénétrante (RN 471) débouchant sur le quartier de l'avenue de la République ;
- du boulevard de contournement (RD 492) ;
- de la place François Blaino ;
- des carrefours à l'Est du Parc Paysager (boulevard du général de Gaulle et Ferdinand Lesseps) ;
- des boulevards côtiers (bd Albert 1<sup>er</sup> et Président Wilson) dans une moindre proportion.

Cependant le contraste de la carte est plus net dans les quartiers moins denses en voies de circulation que sur les cartes de moyenne annuelle ce qui signifie que la dispersion du benzène se fait en quelques dizaines de mètres.

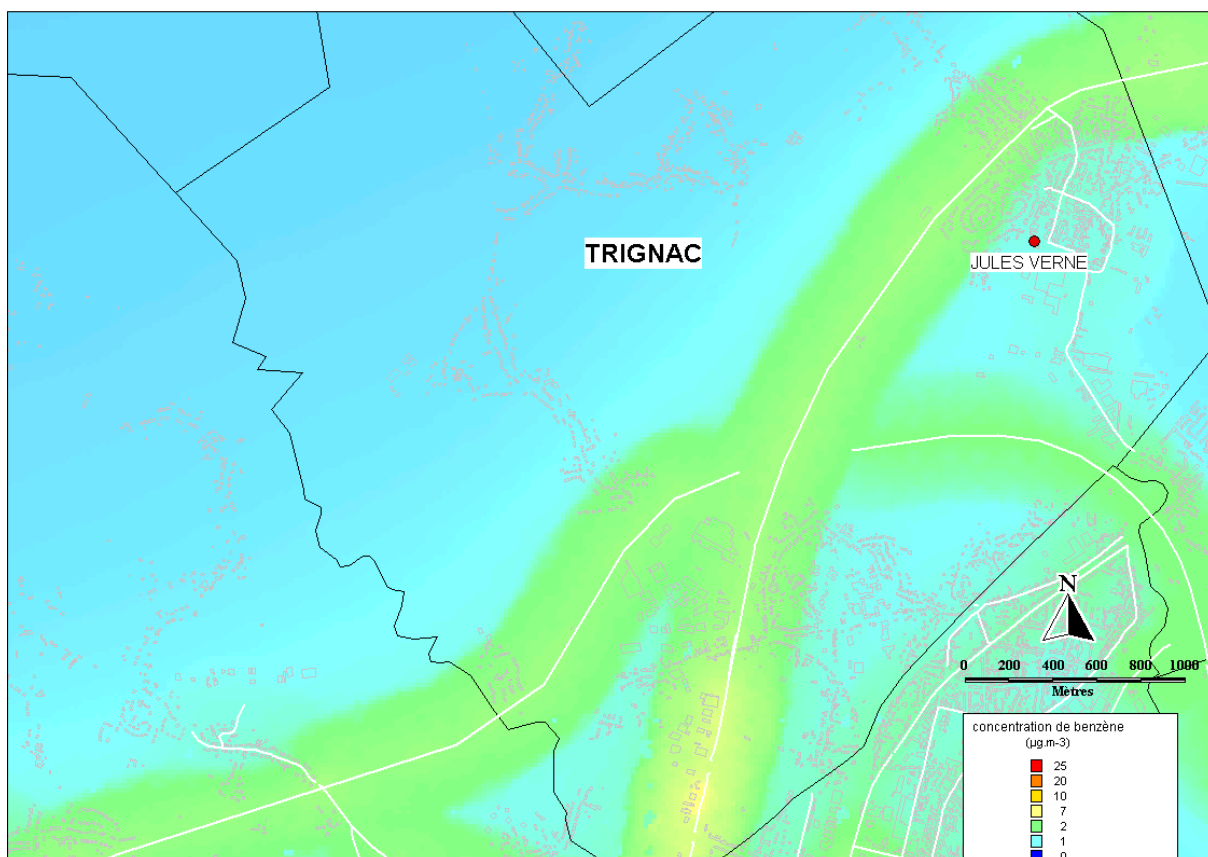


Figure 64 : carte du percentile 98 de l'année 2008 pour le benzène

La carte ci-dessus montre que ponctuellement des concentrations de plus de 10 µg.m<sup>-3</sup> ont été simulés sur la pénétrant de Saint-Nazaire (RN 471).

Tout au long des axes de fort trafic, des niveaux de pointe supérieurs à l'objectif de qualité (2 µg.m<sup>-3</sup>) sont atteints.

Le reste de la commune apparaît plutôt préservé puisque les concentrations restent comprises entre 1 µg.m<sup>-3</sup> et 2 µg.m<sup>-3</sup>.

Pornichet apparaît globalement plus préservé des niveaux de pointe en benzène sauf sur le boulevard des Océanides :

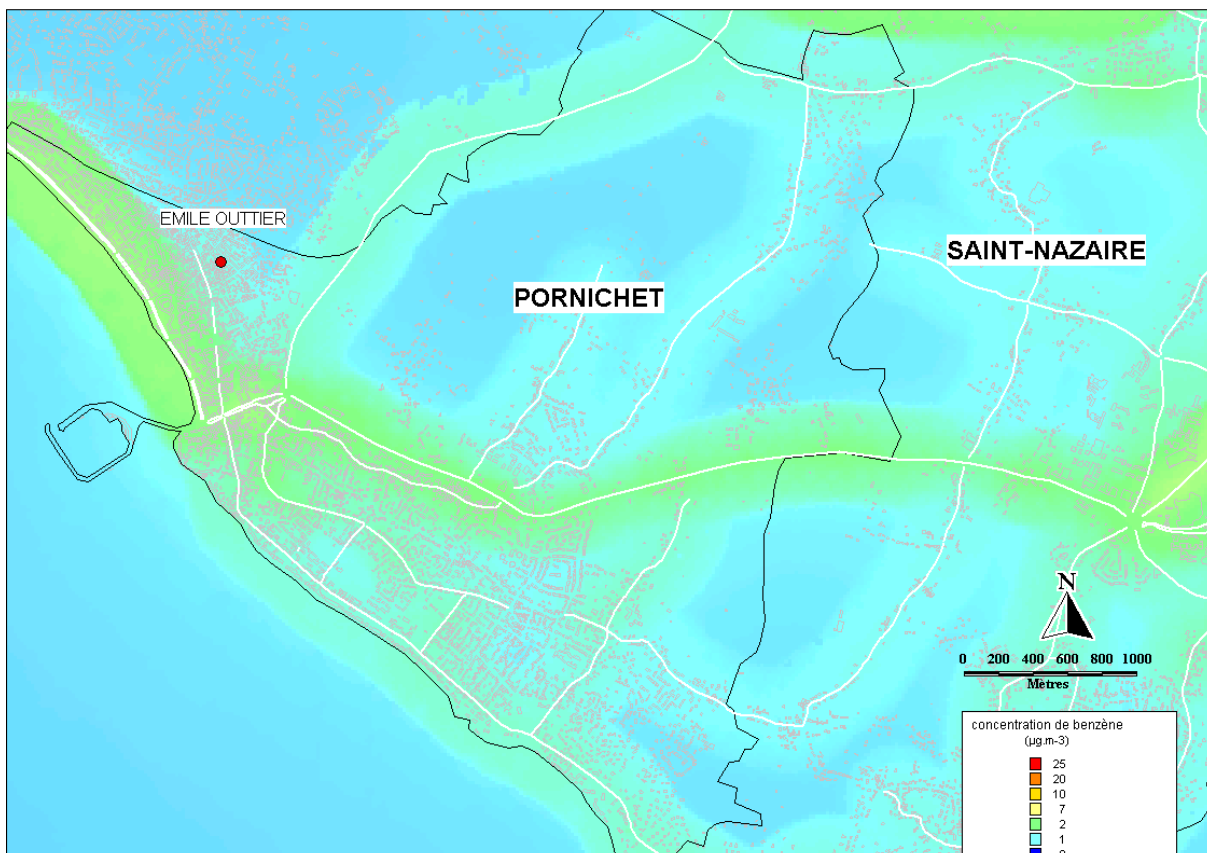


Figure 65 : carte du percentile 98 de l'année 2008 pour le benzène

La carte des concentrations les plus élevées de benzène fait particulièrement ressortir le boulevard côtier (bd des Océanides) sur lequel des pointes dépassant les  $2 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ . Ces valeurs élevées par rapport au reste de la commune sont certainement liées à l'activité touristique estivale.

Le boulevard de Saint-Nazaire présente des niveaux de pointe plus élevés que la RD 392.

## monoxyde de carbone

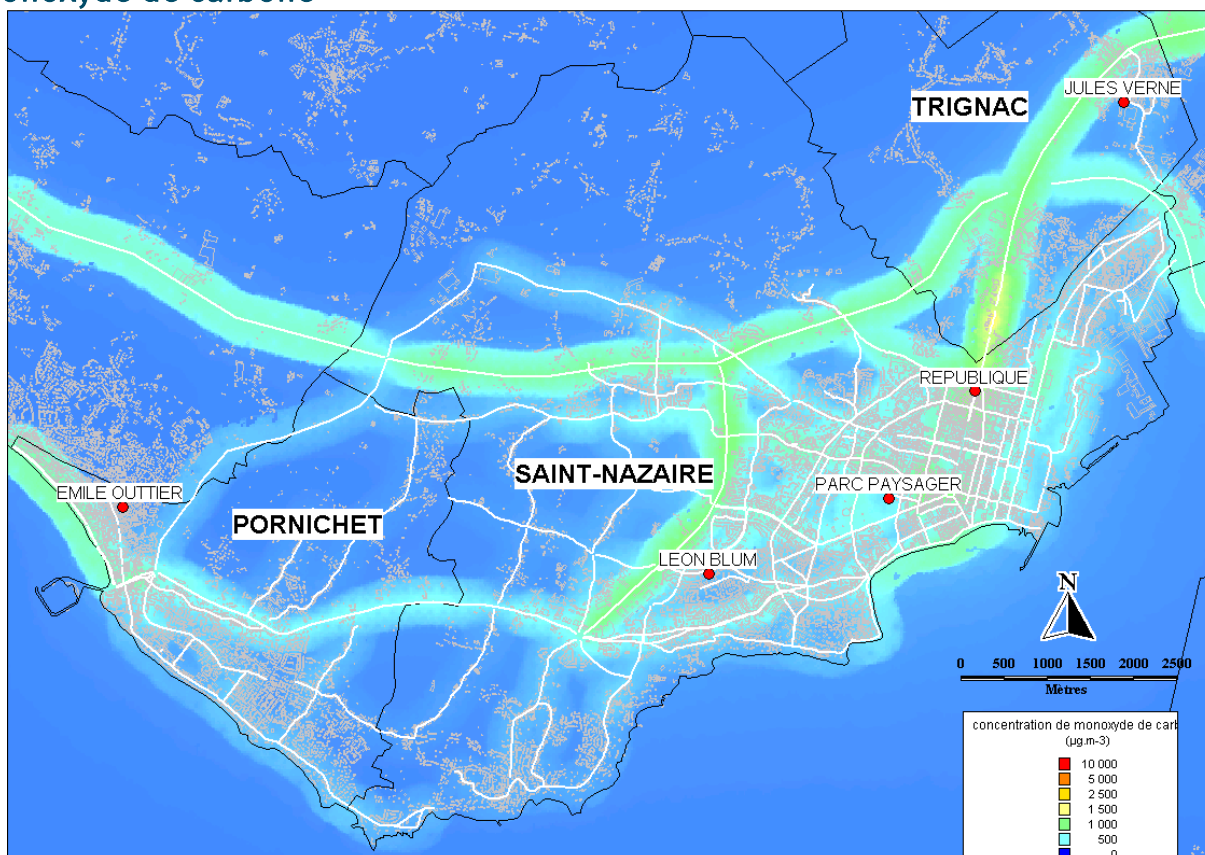


Figure 66 : carte du percentile 98 de l'année 2008 pour le monoxyde de carbone

Le monoxyde de carbone est un polluant primaire issu de la combustion automobile comme le montre cette carte des concentrations les plus élevées de l'année 2008 où le réseau routier modélisé ressort nettement. Le contraste entre les zones à proximité des brins et les zones plus éloigné est marqué ce qui atteste que la dispersion de ce polluant est locale.

Les concentrations de pointe restent faibles puisqu'elles sont bien en dessous de la valeur limite en moyenne sur 8 heures fixée à  $10\,000\ \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ .

## exposition de la population

Suite au dépassement de la valeur limite annuelle ( $44 \mu\text{g.m}^{-3}$  en moyenne annuelle) pour le dioxyde d'azote observé en 2008 sur la station de mesure de l'avenue de la République, Air Pays de la Loire a souhaité évaluer la population globale de la CARENE exposée à ce dépassement.

La méthode d'évaluation de la population exposée à des dépassements de seuils réglementaires présentée dans le chapitre précédent a été appliquée ici.

Elle conduit à l'estimation de l'aire de dépassement représentée en jaune sur la carte ci-dessous :

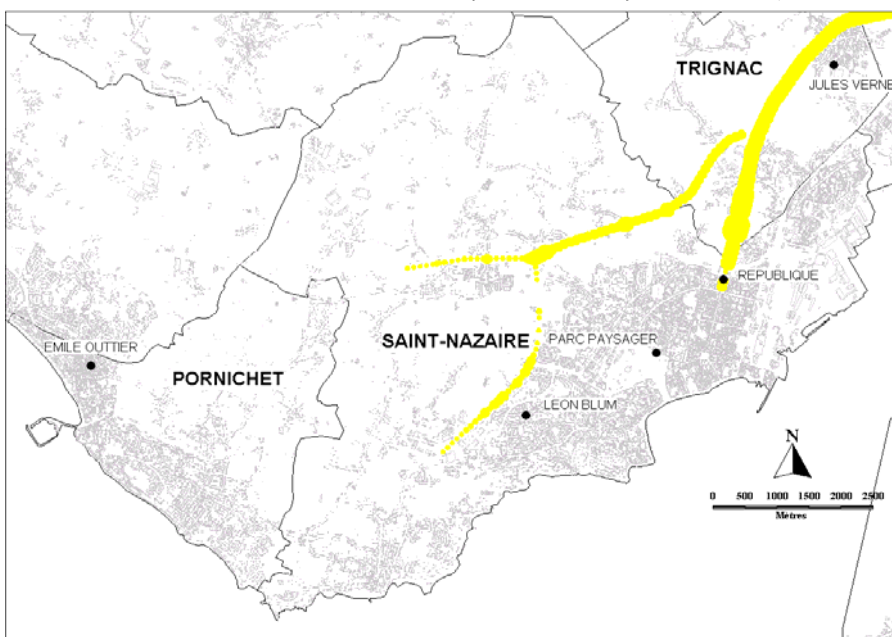


Figure 67 : carte de l'aire de dépassement de la valeur limite pour le dioxyde d'azote

Le croisement avec la population répartie sur le bâti conduit à une estimation de 2,4% soit **2 000 résidents environ** exposés au dépassement de la valeur limite annuelle en dioxyde d'azote fixée à  $44 \mu\text{g.m}^{-3}$  en 2008.

A titre d'information, l'agence européenne pour l'environnement estime qu'en 2006 18% de la population urbaine de l'Union a été exposée au dépassement de l'objectif de qualité fixé à  $40 \mu\text{g.m}^{-3}$ .

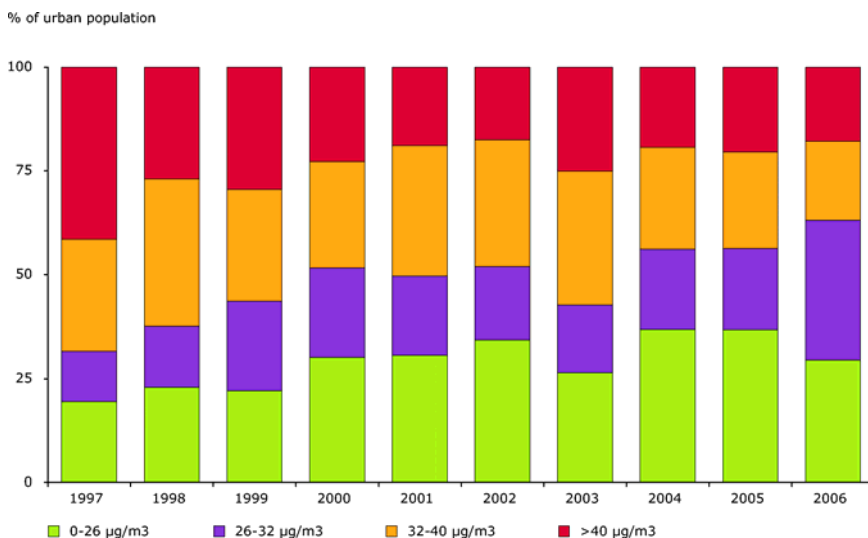


Figure 68 : exposition de la population urbaine européenne (source : EEA - AirBase - 16 Apr 2008)



L'évaluation de l'exposition de la population menée par AIRPARIF montre que 3,2 millions de Franciliens sont concernés par un dépassement de l'objectif de qualité (valeur limite 2010 :  $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) pour le dioxyde d'azote en 2008.

(source : [http://www.airparif.asso.fr/airparif/pdf/cp\\_bilan\\_2008\\_20090217.pdf](http://www.airparif.asso.fr/airparif/pdf/cp_bilan_2008_20090217.pdf)). Cependant, ces résultats correspondent à l'agglomération parisienne dont la population est bien évidemment supérieure à 100 000 habitants et ne peuvent être comparés à ceux de la CARENE.

D'après une étude de l'ASPA, environ 5% de la population (soit 11 000 habitants) de Mulhouse (200 000 habitants) est potentiellement exposée à un dépassement de la valeur limite 2010 en  $\text{NO}_2$  de  $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$  en 2009.

Comme le prévoit la réglementation européenne, ces informations ont été rapportées en 2009 à l'Union Européenne via le Ministère français en charge de l'écologie (MEEDDM).

## conclusions et perspectives

Cette étude de modélisation de la qualité de l'air sur la partie urbaine de la CARENE a abouti à une évaluation globale de la qualité de l'air. Les niveaux moyens des principaux polluants n'excèdent que localement les seuils réglementaires.

En effet, certaines zones se trouvant aux abords des grands axes de circulation sont soumises à une qualité de l'air dégradée puisque certaines valeurs limites réglementaires y sont dépassées. C'est par exemple le cas pour le dioxyde d'azote pour lequel environ 2 000 habitants résident dans un quartier sujet au dépassement de la valeur limite annuelle. Ces informations ont été rapportées à l'Union Européenne en 2009.

Concernant les activités industrielles du port de Saint-Nazaire, l'inventaire disponible n'a pas permis d'établir d'impact : les émissions du trafic routier étant prépondérantes. Il conviendrait toutefois de le confirmer en réalisant une campagne de mesure des principaux polluants d'origine industrielle dans les quartiers environnants comme Ville-Port ou le quartier de Penhouet, par exemple, en complément des campagnes de surveillance de la pollution dans l'environnement industrialo-portuaire de Saint-Nazaire déjà menée en 2002 et 2003 ou en menant une étude de modélisation plus fine sur la zone prenant en compte les émissions de poussières totales liées au déchargement des navires qui sont une forte préoccupation des nazairiens. Par ailleurs, une légère influence de la raffinerie de Donges a été modélisée dans la partie Nord-Est de la commune de Trignac où les niveaux de pointe de dioxyde de soufre sont plus élevés de 30% par rapport au reste du domaine étudié.

Cette étude fait également ressortir les boulevards côtiers de Pornichet et Saint-Nazaire comme présentant des niveaux de dioxyde d'azote et de benzène deux fois plus élevés que les zones éloignées des voies de circulation. L'étude construite pour le calcul d'indicateurs annuels ne permet pas à ce stade de valider l'hypothèse d'une augmentation des niveaux de polluants liée à la hausse du trafic lors de la saison estivale. Il serait pertinent de réaliser une étude de modélisation spécifique avec notamment des comptages plus précis sur le littoral permettant d'isoler les mois d'été ou de mettre en place une campagne de mesure pendant et en dehors de la saison touristique.

Les résultats de cette étude ont fait l'objet d'une validation par comparaison des mesures aux simulations du modèle sur la base du réseau de mesure existant. Cependant, celui-ci n'a pas été bâti pour cet exercice. Il ne couvre pas l'ensemble du domaine modélisé. Aussi, afin de valider les résultats obtenus, en particulier pour le dioxyde d'azote qui présente des risques de dépassement de la valeur limite, il pourrait être envisagé d'organiser une campagne sur une trentaine de points de mesure afin de compléter l'évaluation.

Plus spécifiquement, c'est en ce sens qu'Air Pays de la Loire projette de mettre en place en 2010 un camion laboratoire à proximité de la RN171 sur la commune de Trignac dans une des zones exposées au dépassement de la valeur limite pour le dioxyde d'azote.

La CARENE a lancé en 2009 un projet renouvelant en profondeur l'offre de transports collectifs urbains. La refonte totale du réseau de bus qui s'appuiera sur une nouvelle ligne « épine dorsale » traversant d'Est en Ouest le cœur de Saint-Nazaire, vise à proposer, là où les besoins de déplacements sont les plus importants, une desserte en bus particulièrement efficace, dotée d'une bonne fréquence sur des horaires élargis, confortable et complètement fiable (grâce aux couloirs sur certains tronçons et aux priorités aux feux).

Ce projet devrait avoir une influence positive sur la qualité de l'air de l'agglomération. A son issue, une évaluation de la qualité de l'air est à envisager par de nouvelles mesures avenue de la République et une nouvelle modélisation pour le territoire de la CARENE.



# annexes

- annexe 1 : Air Pays de la Loire
- annexe 2 : techniques d'évaluation
- annexe 3 : types de sites de mesure
- annexe 4 : polluants et effets sur la santé
- annexe 5 : seuils de qualité de l'air 2008
- annexe 6 : utilitaire PROGHW
- annexe 7 : ADMS-urban
- annexe 8 : caractéristiques des installations industrielles
- annexe 9 : paramètres retenus et scores associés
- annexe 10 : scores comparés de l'apport de la hauteur de couche limite dans la description météorologique
- annexe 11 : cartes de moyennes annuelles complémentaires
- annexe 12 : cartes de percentiles 98 complémentaires

## annexe 1 : Air Pays de la Loire

Dotée d'une solide expertise riche de trente ans d'expérience, Air Pays de la Loire est agréée par le Ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement Durable et de la Mer pour surveiller la qualité de l'air de la région des Pays de la Loire. Air Pays de la Loire regroupe de manière équilibrée l'ensemble des acteurs de la qualité de l'air : services de l'État et établissements publics, collectivités territoriales, industriels et associations et personnalités qualifiées.

Air Pays de la Loire mène deux missions d'intérêt général : surveiller et informer.

### surveiller pour savoir et comprendre



#### l'air de la région sous haute surveillance

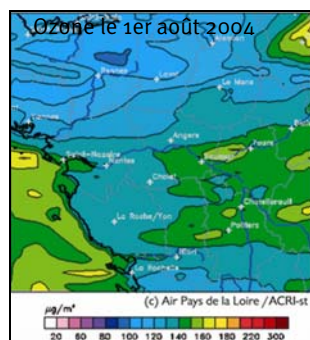
Fonctionnant 24 heures sur 24, le dispositif permanent de surveillance est constitué d'une quarantaine de sites de mesure, déployés sur l'ensemble de la région : principales agglomérations, zones industrielles et zones rurales.

#### mesurer où et quand c'est nécessaire

Air Pays de la Loire s'est doté de systèmes mobiles de mesure (laboratoires mobiles, préleveurs...). Ces appareils permettent d'établir un diagnostic complet de la qualité de l'air dans des secteurs non couverts par le réseau permanent. Des campagnes de mesure temporaires et ciblées sont ainsi menées régulièrement sur l'ensemble de la région.

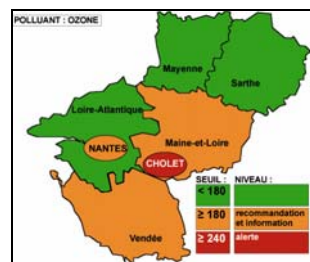
#### la fiabilité des mesures garantie

Les mesures de qualité de l'air consistent le plus souvent à détecter de très faibles traces de polluants. Elles nécessitent donc le respect de protocoles très précis. Pour assurer la qualité de ces mesures, Air Pays de la Loire dispose d'un laboratoire d'étalonnage, airpl.lab accrédité par le Cofrac et raccordé au Laboratoire National d'Essais.



#### simuler et cartographier la pollution

Pour évaluer la pollution dans les secteurs non mesurés, Air Pays de la Loire utilise des logiciels de modélisation. Ces logiciels simulent la répartition de la pollution dans le temps et l'espace et permettent d'obtenir une cartographie de la qualité de l'air. La modélisation permet par ailleurs d'estimer l'impact de la réduction, permanente ou ponctuelle, des rejets polluants. Elle constitue un outil d'aide à la décision pour les autorités publiques compétentes et les acteurs privés.



#### prévoir la qualité de l'air

Si le public souhaite connaître la pollution prévue pour le lendemain afin de pouvoir adapter ses activités, les autorités politiques ont, elles, besoin d'anticiper les pics de pollution pour pouvoir prendre les mesures adaptées. En réponse à cette attente, Air Pays de la Loire réalise des prévisions de la pollution atmosphérique grâce à sa plateforme IRIS.

### informer pour prévenir



#### pics de pollution : une vigilance permanente

En cas d'épisodes de pollution, une information spécifique est adressée aux autorités publiques et aux médias. Suivant les concentrations de pollution atteintes, le préfet de département prend, si nécessaire, des mesures visant à réduire les émissions de polluants (limitations de vitesse, diminution d'activités industrielles...)

#### sur Internet : tous les résultats, tous les dossiers

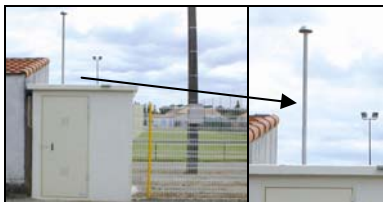
Le site Internet [www.airpl.org](http://www.airpl.org) donne accès à de très nombreuses informations sur la qualité de l'air des Pays de la Loire. Elles sont actualisées toutes les heures. On y trouve les cartes de pollution et de vigilance, les communiqués d'alerte, les indices de la qualité de l'air (Atmo, IQA), les mesures de pollution heure par heure, les actualités, toutes les publications d'Air Pays de la Loire...

#### des publications largement diffusées

Tous les deux mois, Air Pays de la Loire publie des informations sur la qualité de l'air de la région, grâce à son bulletin bimestriel d'information *Au fil de l'air*. Un rapport annuel dresse par ailleurs un état très complet de la qualité de l'air.

## annexe 2 : techniques d'évaluation

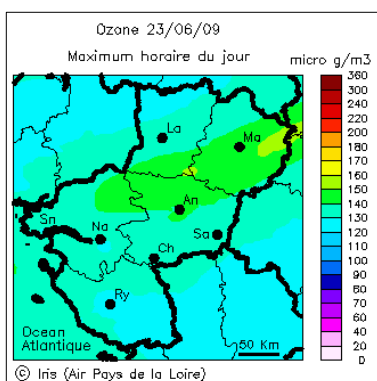
### mesures



#### les sites fixes

C'est le principal moyen de surveillance : il existe une cinquantaine de sites fixes dans les Pays de la Loire. Ils surveillent en continu la qualité de l'air des principales agglomérations de la région, des zones industrielles de Basse-Loire, et également dans un secteur rural dans l'est de la Vendée. Fonctionnant 24 heures sur 24, ils sont équipés d'analyseurs spécifiques des principaux indicateurs de pollution atmosphérique : dioxyde de soufre, oxydes d'azote, ozone, particules PM10 ou PM2,5, monoxyde de carbone, BTX. Ces stations sont reliées au poste central d'Air Pays de la Loire où les données sont traitées et servent le cas échéant à activer les procédures d'information et d'alerte.

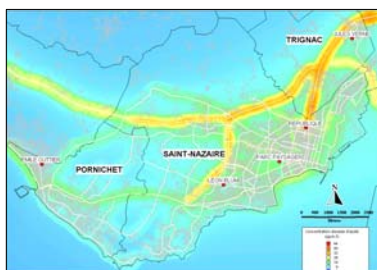
### modélisation



#### le système de prévision IRIS

La plateforme IRIS réalise quotidiennement une prévision de la qualité de l'air sur la région des Pays de la Loire.

Elle comprend un ensemble de modèles déterministes (météo, émissions, chimie-transport) permettant d'obtenir des cartes horaires d'ozone et de dioxyde d'azote pour les 4 échéances allant de la veille au surlendemain.



#### modélisation de la pollution de fond et industrielle : ADMS

ADMS est un système de modélisation qui permet de simuler la pollution provenant de sources urbaines (trafic automobile, chauffage,...) et des sources fixes (établissements industriels). Ce système nécessite la connaissance de paramètres géophysiques (relief, occupation des sols,...), de la météorologie et des émissions. ADMS est utilisé pour la production de cartographies ou bien pour évaluer des scénarii.

## annexe 3 : types des sites de mesure

Les sites de mesure sont localisés selon des objectifs précis de surveillance de la qualité de l'air, définis au plan national.



### sites urbains

Les sites urbains sont localisés dans une zone densément peuplée en milieu urbain et de façon à ne pas être soumis à une source déterminée de pollution ; ils caractérisent la pollution moyenne de cette zone.



### sites périurbains

Les sites périurbains sont localisés dans une zone peuplée en milieu périurbain, de façon à ne pas être soumis à une source déterminée de pollution et à caractériser la pollution moyenne de cette zone.



### sites de trafic

Les sites de trafic sont localisés près d'axes de circulation importants, souvent fréquentés par les piétons ; ils caractérisent la pollution maximale liée au trafic automobile.



### sites industriels

Les sites industriels sont localisés de façon à être soumis aux rejets atmosphériques des établissements industriels ; ils caractérisent la pollution maximale due à ces sources fixes.

## annexe 4 : polluants et effets sur la santé

### **l'ozone (O<sub>3</sub>)**

C'est le polluant secondaire majeur qui se forme par l'action des ultraviolets du soleil sur les polluants primaires, directement émis par les sources, que sont les oxydes d'azote, les composés organiques volatils et le monoxyde de carbone. C'est un polluant chimique présent au niveau du sol : on parle d'ozone troposphérique que l'on distingue de l'ozone stratosphérique, observé à une vingtaine de kilomètres d'altitude et qui forme la couche d'ozone.

Capable de pénétrer profondément dans les poumons, l'ozone provoque à forte concentration une inflammation et une hyperréactivité des bronches. Des irritations du nez et de la gorge surviennent généralement, accompagnées d'une gêne respiratoire. Des irritations oculaires sont aussi observées.

Les enfants dont l'appareil respiratoire est en plein développement, les asthmatiques, les insuffisants respiratoires chroniques et les personnes âgées sont souvent plus sensibles à la pollution par l'ozone.

Les effets de l'ozone se trouvent accentués par les efforts physiques intenses, lesquels en augmentant le volume d'air inspiré, accroissent celui d'ozone inhalé.

### **les oxydes d'azote (NO<sub>x</sub>)**

Les NO<sub>x</sub> comprennent essentiellement le monoxyde d'azote (NO) et le dioxyde d'azote (NO<sub>2</sub>). Ils résultent de la combinaison de l'azote et de l'oxygène de l'air à haute température. Environ 95 % de ces oxydes sont la conséquence de l'utilisation des combustibles fossiles (pétrole, charbon et gaz naturel). Le trafic routier (59 %) en est la source principale. Ils participent à la formation des retombées acides. Sous l'action de la lumière, ils contribuent à la formation d'ozone au niveau du sol (ozone troposphérique).

Le monoxyde d'azote présent dans l'air inspiré passe à travers les alvéoles pulmonaires, se dissout dans le sang où il limite la fixation de l'oxygène sur l'hémoglobine. Les organes sont alors moins bien oxygénés.

Le dioxyde d'azote pénètre dans les voies respiratoires profondes. Il fragilise la muqueuse pulmonaire face aux agressions infectieuses, notamment chez les enfants. Aux concentrations rencontrées habituellement, le dioxyde d'azote provoque une hyperréactivité bronchique chez les asthmatiques.

### **les particules (ou poussières fines)**

Les particules ou poussières constituent en partie la fraction la plus visible de la pollution atmosphérique (fumées). Elles ont pour origine les différentes combustions, le trafic routier et les industries. Elles sont de nature très diverses et peuvent véhiculer d'autres polluants comme des métaux lourds ou des hydrocarbures. De diamètre inférieur à 10 µm (PM<sub>10</sub>), elles restent plutôt en suspension dans l'air. Supérieures à 10 µm, elles se déposent, plus ou moins vite, au voisinage de leurs sources d'émission. Les particules plus fines, appelées PM<sub>2,5</sub> (diamètre inférieur à 2,5 µm) pénètrent plus profondément dans les poumons. Celles-ci peuvent rester en suspension pendant des jours, voire pendant plusieurs semaines et parcourir de longues distances.

La profondeur de pénétration des particules dans l'arbre pulmonaire est directement liée à leurs dimensions, les plus grosses étant arrêtées puis éliminées au niveau du nez et des voies respiratoires supérieures. Le rôle des particules en suspension a été montré dans certaines atteintes fonctionnelles respiratoires, le déclenchement de crises d'asthme et la hausse du nombre de décès pour cause cardio-vasculaire ou respiratoire, notamment chez les sujets sensibles (enfants, bronchitiques chroniques, asthmatiques...).

Certains hydrocarbures aromatiques polycycliques portés par les particules rejetées par les véhicules sont classés comme probablement cancérogènes chez l'homme.

## les composés organiques volatils (COV)

Ils englobent des composés organiques gazeux que l'on rencontre dans l'atmosphère, dont les principaux sont des hydrocarbures.

Les trois sources principales sont le trafic routier (39 %), l'utilisation industrielle ou domestique de peinture, vernis, colle, etc, dont les solvants s'évaporent au cours du séchage, et l'évaporation à partir du stockage d'hydrocarbures. Avec les oxydes d'azote et le monoxyde de carbone, ils contribuent à la formation d'ozone troposphérique.

Les BTEX (appellation regroupant le benzène, le toluène, l'éthylbenzène et les xylènes) sont des hydrocarbures monocycliques (HAM) constitués d'un seul cycle benzénique. Les BTEX entrent dans la composition des carburants des réservoirs ou des stations services.

Les effets des COV sont très variables selon le polluant considéré.

Ils sont à l'origine de la formation des photo-oxydants tels que l'ozone, lui-même responsable de gêne respiratoire chez l'homme. Les COV peuvent aussi directement provoquer des irritations sensorielles (hydrocarbures et formaldéhydes). Des manifestations plus sévères telles que les troubles cardiaques (toluène, chloroforme) et digestifs ou les effets cancérigènes (benzène) et mutagènes, sont liés à des expositions chroniques ou intenses enregistrées dans le passé dans certaines ambiances de travail. Les concentrations relevées dans l'environnement sont très inférieures à ces atmosphères et n'entraînent pas d'expositions aiguës.

## le monoxyde de carbone (CO)

Ce gaz provient des combustions incomplètes. Il est émis en grande partie (59 %) par le trafic routier. Le chauffage urbain, collectif ou individuel, vient en deuxième position avec 21 % des émissions. Dans l'atmosphère, il se combine en partie et à moyen terme avec l'oxygène pour former du dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>). On le rencontre essentiellement au niveau du sol à proximité des sources d'émission. Il participe avec les oxydes d'azote et les composés organiques volatils, à la formation d'ozone troposphérique.

Le CO est dangereux car non décelable. Son effet toxique se manifeste à de très faibles concentrations en exposition prolongée. Le CO est principalement un poison sanguin. Il se fixe à la place de l'oxygène sur l'hémoglobine du sang conduisant à un manque d'oxygénation du système nerveux, du cœur et des vaisseaux sanguins. Les premiers symptômes de l'intoxication sont les seuls signaux d'alarme : maux de tête, une vision floue, des malaises légers, des palpitations. Si les concentrations de CO sont élevées, l'intoxication se traduit par des nausées, des vomissements, des vertiges ou, plus grave, un évanouissement puis la mort. La gravité de l'intoxication dépend de la quantité de CO fixé par l'hémoglobine. Elle est donc liée à plusieurs facteurs : la concentration de CO dans l'air, la durée d'exposition et le volume respiré.

## le dioxyde de soufre (SO<sub>2</sub>)

C'est le principal composant de la pollution « acide ». Malgré une diminution de 60 % en France entre 1980 et 1990, du essentiellement à la réduction de la production électrique par les centrales thermiques, le SO<sub>2</sub> provient à plus de 85 % de l'utilisation des combustibles contenant du soufre (fuel et charbon).

Le dioxyde de soufre est un gaz irritant, notamment pour l'appareil respiratoire. Les fortes pointes de pollution peuvent déclencher une gêne respiratoire chez les personnes sensibles (asthmatiques, jeunes enfants...). Les efforts physiques intenses accroissent les effets du dioxyde de soufre. Aux concentrations habituellement observées dans l'environnement, une très grande proportion du dioxyde de soufre inhalé est arrêtée par les sécrétions muqueuses du nez et des voies respiratoires supérieures. Le dioxyde de soufre qui atteint le poumon profond, passe dans la circulation sanguine puis est éliminé par voie urinaire. Des études épidémiologiques ont montré qu'une hausse des taux de dioxyde de soufre s'accompagnait notamment d'une augmentation du nombre de décès pour cause cardiovasculaire.



## annexe 5 : seuils de qualité de l'air 2008

TYPE DE SEUIL ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	DONNÉE DE BASE	POLLUANT												
		Ozone décrets 2002-213 du 15/02/02, 2003-1085 du 12/11/03 et 2007-1479 du 12/10/07 et 2008-1152 du 07/11/08 dir. 2008/50/CE du 21/05/08	Dioxyde d'azote décret 2002-213 du 15/02/02	Oxydes d'azote décret 2002-213 du 15/02/02	Poussières (PM10) décret 2002-213 du 15/02/02, avis de CSHPF du 06/06/96 et circulaire du 12/10/07	Poussières (PM2.5) dir. 2008/50/CE du 21/05/08	Plomb décret 2002-213 du 15/02/02 et 2007-1479 du 12/10/07	Benzène décret 2002-213 du 15/02/02	Monoxyde de carbone décret 2002-213 du 15/02/02	Dioxyde de soufre décret 2002-213 du 15/02/02	Arsenic	Cad- mium	Nickel	Benzo(a) pyrène
valeurs limites	moyenne annuelle	-	44 <sup>(1)</sup>	30 <sup>(2)</sup>	40	30 <sup>(17)</sup>	0,5	7 <sup>(3)</sup>	-	20 <sup>(4)</sup>	-	-	-	-
	moyenne hivernale	-	-	-	-	-	-	-	-	20 <sup>(4)</sup>	-	-	-	-
	moyenne journalière	-	-	-	50 <sup>(5)</sup>	-	-	-	-	125 <sup>(6)</sup>	-	-	-	-
	moyenne 8-horaire maximale du jour	-	-	-	-	-	-	-	10 000	-	-	-	-	-
	moyenne horaire	-	200 <sup>(7)</sup> 220 <sup>(8)</sup>	-	-	-	-	-	-	350 <sup>(9)</sup>	-	-	-	-
seuils d'alerte	moyenne horaire	1 <sup>er</sup> seuil : 240 <sup>(10)</sup> 2 <sup>e</sup> seuil : 300 <sup>(10)</sup> 3 <sup>e</sup> seuil : 360	400 200 <sup>(11)</sup>	-	-	-	-	-	-	500 <sup>(10)</sup>	-	-	-	-
	moyenne 24-horaire	-	-	-	125 <sup>(18)</sup>	-	-	-	-	-	-	-	-	-
seuils de recommandation et d'information	moyenne horaire	180	200	-	-	-	-	-	-	300	-	-	-	-
	moyenne 24-horaire	-	-	-	80 <sup>(18)</sup>	-	-	-	-	-	-	-	-	-
objectifs de qualité	moyenne annuelle	-	40	-	30	-	0,25	2	-	50	-	-	-	-
	moyenne journalière	65 <sup>(2)</sup>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	moyenne 8-horaire maximale du jour	120 <sup>(12)</sup>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	moyenne horaire	200 <sup>(2)</sup>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	AOT 40	6000 <sup>(13)</sup>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
valeurs cibles	AOT 40	18 000 <sup>(3) (14)</sup>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	moyenne annuelle	-	-	-	-	25 <sup>(16)</sup>	-	-	-	-	0,006	0,005	0,02	0,001
	moyenne 8-horaire maximale du jour	120 <sup>(15)</sup>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

(1) valeur intégrant la marge de tolérance applicable en 2008 : 4 (valeur applicable à compter du 01/01/2010 : 40)

(2) pour la protection de la végétation - applicable seulement sur les sites ruraux et périurbains

(3) valeur intégrant la marge de tolérance applicable en 2008 : 2 (valeur applicable à compter du 01/01/2010 : 5)

(4) pour la protection des écosystèmes - applicable seulement sur les sites ruraux

(5) à ne pas dépasser plus de 35j par an (percentile 90,4 annuel)

(6) à ne pas dépasser plus de 3j par an (percentile 99,2 annuel)

(7) à ne pas dépasser plus de 175h par an (percentile 98 annuel) – valeur applicable jusqu'au 31/12/2009

(8) à ne pas dépasser plus de 18h par an (percentile 99,8 annuel) – valeur intégrant la marge de tolérance applicable en 2008 : 20 (valeur applicable à compter du 01/01/2010 : 200)

(9) à ne pas dépasser plus de 24h par an (percentile 99,7 annuel)

(10) à ne pas dépasser plus de 3h consécutives

(11) si la procédure de recommandation et d'information a été déclenchée la veille et le jour même et que les prévisions font craindre un nouveau risque de déclenchement pour le lendemain

(12) pour la protection de la santé humaine : maximum journalier de la moyenne sur 8 heures, calculé sur une année civile

(13) pour la protection de la végétation : calculé à partir des valeurs enregistrées sur 1 heure de mai à juillet

(14) en moyenne sur 5 ans à respecter au 1 janvier 2010

(15) pour la protection de la santé humaine : à ne pas dépasser plus de 25 j par an en moyenne sur 3 ans à respecter au 1 janvier 2010

(16) valeur applicable au 1 janvier 2010

(17) valeur intégrant la marge de tolérance applicable en 2008 : 5 (valeur applicable à compter du 01/01/2015 : 25)

(18) seuils du CSHPF traduits en seuils de recommandation/information et d'alerte en avril 2008

**valeur limite** : niveau maximal de pollution atmosphérique, fixé dans le but d'éviter, de prévenir ou de réduire les effets nocifs de la pollution pour la santé humaine et/ou l'environnement.

**seuil d'alerte** : niveau de pollution atmosphérique au-delà duquel une exposition de courte durée présente un risque pour la santé humaine ou de dégradation de l'environnement et à partir duquel des mesures d'urgence doivent être prises.

**seuil de recommandation et d'information** : niveau de pollution atmosphérique qui a des effets limités et transitoires sur la santé en cas d'exposition de courte durée et à partir duquel une information de la population est susceptible d'être diffusée.

**objectif de qualité** : niveau de pollution atmosphérique fixé dans le but d'éviter, de prévenir ou de réduire les effets nocifs de la pollution pour la santé humaine et/ou l'environnement, à atteindre dans une période donnée.

**valeur cible** : niveau de pollution fixé dans le but d'éviter, de prévenir ou de réduire les effets nocifs sur la santé humaine et/ou l'environnement dans son ensemble, à atteindre dans la mesure du possible sur une période donnée.

## annexe 6 : utilitaire PROGHW

Cette annexe décrit un utilitaire développé pour les modèles SIRANE et ADMS : ProgHW.

Cet utilitaire a été développé au Laboratoire de Mécanique des Fluides et d'Acoustique de l'Ecole Centrale de Lyon.

L'utilitaire ProgHW permet de déterminer les caractéristiques de chaque rue du réseau filaire. Il s'applique sur des réseaux constitués de segments.

L'utilitaire 'ProgHW' permet de définir les caractéristiques du réseau filaire, à partir du fichier de rues et de nœuds produits par l'utilitaire 'bln2SIRANE'. Le fichier de rues permet d'identifier chaque rue par son nœud de début et son nœud de fin, et le fichier de nœuds contient les coordonnées de tous les nœuds du réseau.

### • méthodologie :

Il convient de fournir en entrée du 'ProgHW' les fichiers permettant d'identifier et localiser les nœuds et les rues du réseau, ainsi que les fichiers permettant de connaître la localisation et la hauteur des bâtiments qui entourent les rues du réseau. Au moyen de ces fichiers, l'utilitaire renvoie un fichier comportant les caractéristiques de chaque rue : hauteur H, largeur W, hauteur à droite et à gauche, la porosité à droite et à gauche.

### • détermination du type de rues « Canyon » ou « Ouverte » :

Les différentes caractéristiques fournies par l'utilitaire ProgHW permettent de déterminer le type de rue de chaque brin en utilisant les critères suivants :

- Si la rue possède une hauteur nulle alors elle est considérée comme ouverte.

Exemple : hauteur à droite = 0 m hauteur à gauche = 20 m, la rue est notifiée comme ouverte.

- Si la porosité  $\geq 0.6$  alors la rue est ouverte.

Exemple : porosité droite = 0.75 et porosité gauche = 0.1, la rue est notifiée comme ouverte.

### • exemple de résultats de l'utilitaire ProgHW :

Voici une succession de représentations graphiques des différents types de rues rencontrées lors d'études, avec leurs principales caractéristiques. Les rues ouvertes sont représentées par des brins bleus et les rues canyon par des brins rouges.



Figure 1 : Représentation graphique des caractéristiques d'une rue canyon ( $H= 20$  m,  $W= 34$  m,  $H/W = 1.7$ , Porosité Droite = 0.08, Porosité Gauche = 0.32)



Figure 2 : visualisation d'une rue ouverte dont la porosité est importante à cause de la faible densité de bâti (Porosité Droite = 0.75, Porosité Gauche= 0.69)

### • intervention humaine pour la validation des résultats :

L'utilitaire 'ProgHW' permet d'obtenir les caractéristiques de toutes les rues du réseau, néanmoins il convient d'effectuer une vérification des résultats afin de s'assurer de la qualité du calcul de dispersion.

On peut citer un certain nombre de configurations pour lesquelles l'utilisateur doit tout particulièrement porter son attention : Les places, les rues de zones résidentielles avec une largeur supérieure à 40m, ou encore les valeurs de largeur de rues négatives qui sont généralement dues au passage d'un brin sous un bâti.

Deux solutions sont envisageables pour régler ce problème :

- Copier les caractéristiques souhaitées d'une rue similaire et à proximité
- Rectifier les valeurs de W en relevant manuellement les caractéristiques de la rue (sur GoogleEarth).

Différentes corrections pour optimiser les résultats de l'utilitaire peuvent être effectuées :

- Les brins constituant les ronds-points sont tous de type 'ouvert'.
- Les brins du réseau ont été analysés afin que leurs caractéristiques (type, hauteur et largeur) soient les plus réalistes possibles.

## annexe 7 : ADMS-urban

ADMS urban (version 2.2)	
Type de modèle	Gaussien seconde génération
Echelle spatiale	Du quartier à l'agglomération
Echelle temporelle	Heure à l'année
Système d'exploitation	Windows
Interface utilisateur	Oui
Mode de calcul	Météorologie homogène sur le domaine considéré. Découpage possible du domaine d'étude en plusieurs zones afin de pallier le problème. Possibilité de forcer le modèle à l'aide de Hauteur de couche limite et de Longueur de Monin-Obukov provenant de modèle 3D.
Prise en compte du relief	Prise en compte du relief via le modèle FLOWSTAR. Calcul des paramètres météo 3D de la couche limite à partir des données de surface (recalcul des champs de vents et de la turbulence) sur la base du vecteur vitesse de vent fourni sur le domaine considéré. Possibilité d'utiliser des rugosités de surface variables.
Sources considérées	Ponctuelles, linéiques, surfaciques, volumiques
Cadastre d'émission	Gestion par grille imbriquée (système de soustraction des émissions des sources explicites)
Calcul intégré des émissions	Oui pour le trafic routier à partir d'une base de facteurs d'émissions anglais (DMRB) - optionnel
Mode de calcul	Stationnaire : les pas de temps sont considérés indépendamment les uns des autres
Prise en compte du dépôt sec et humide	oui
Sources industrielles	Surélévation du panache : modèle de trajectoire 3D Prise en compte de l'effet du bâtiment : oui
Sources trafic	Modèle canyon : oui (OSPM) Echange des polluants au niveau des carrefours : non Transport des polluants au dessus des toits : non
Modèles chimiques	Corrélation de Derwent et Middleton, Schéma GRS Schéma GRS + BOX model : modèle lagrangien pour le calcul de la dispersion de fond Chimie des sulfates
Types de sortie	Points de grille, Maillage intelligent au niveau des axes de circulation, Capteurs virtuels. Cartes exportables sous Mapinfo, ARCGIS et Surfer
Temps de calcul	Temps CPU pour une heure physique : 2,29 s

## annexe 8 : caractéristiques des installations industrielles

Cette annexe présente les quantités de polluants émises par les établissements industriels pris en compte dans l'étude de modélisation.

Nom de l'établissement	Benzène	Composés organiques volatils non méthaniques (COVNM)	Monoxyde de carbone (CO)	Oxydes d'azote (NOx)	Oxydes soufre (SOx)	de Particules de taille inférieure à 10 µm (PM10)
AKER YARDS		152870		2500	0	
CARGILL France		395110		29196	243	
CEZUS Paimboeuf				0		
FAMAT		330	713	1788	372	
ISOBOX TECHNOLOGIES		33400				
Société de Cogénération de MONTOIR				14490		
TOTAL FRANCE - Base de Donges	16780	1381216		1455644	8934866	
YARA France Usine de Montoir de Bretagne				640337	28596	
EDF Unité de Production CORDEMAIS	954	62631	489390	1	6328100	150230

## annexe 9 : étude de sensibilité du modèle aux paramètres d'entrée

Une trentaine d'essais a été réalisée au total. Entre deux tests, des ajustements d'un ou plusieurs paramètres ont été mis en œuvre. Cette succession de comparaison des scores et des profils a conduit à retenir les paramètres décrits ci-dessous.

### paramètres statiques

Les tests de sensibilité du modèle à la rugosité ont montré que ce paramètre influait peu sur les scores de comparaison aux stations comme le montre les graphiques ci-dessous représentant un score pour un polluant donné et trois valeurs de rugosité (0,7, 0,8 et 0,9) :

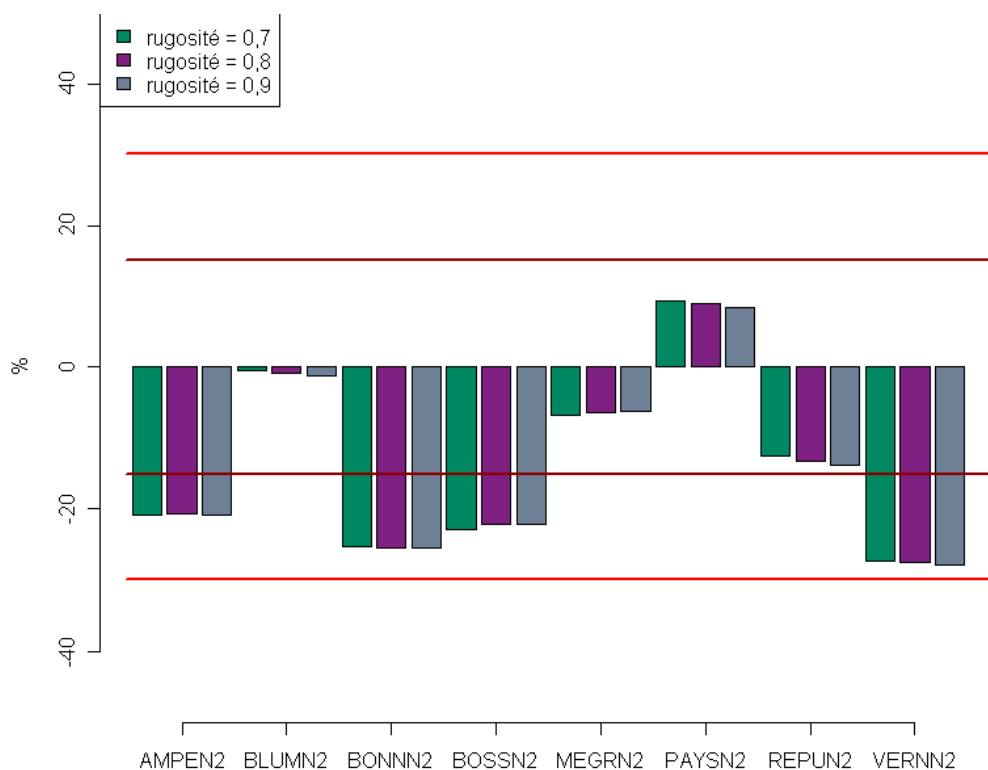


Figure 3 : comparaison des biais normalisés pour le dioxyde d'azote (NO2).

Les biais normalisés du dioxyde d'azote diffèrent de quelques dixièmes entre les trois essais de valeurs de rugosité.



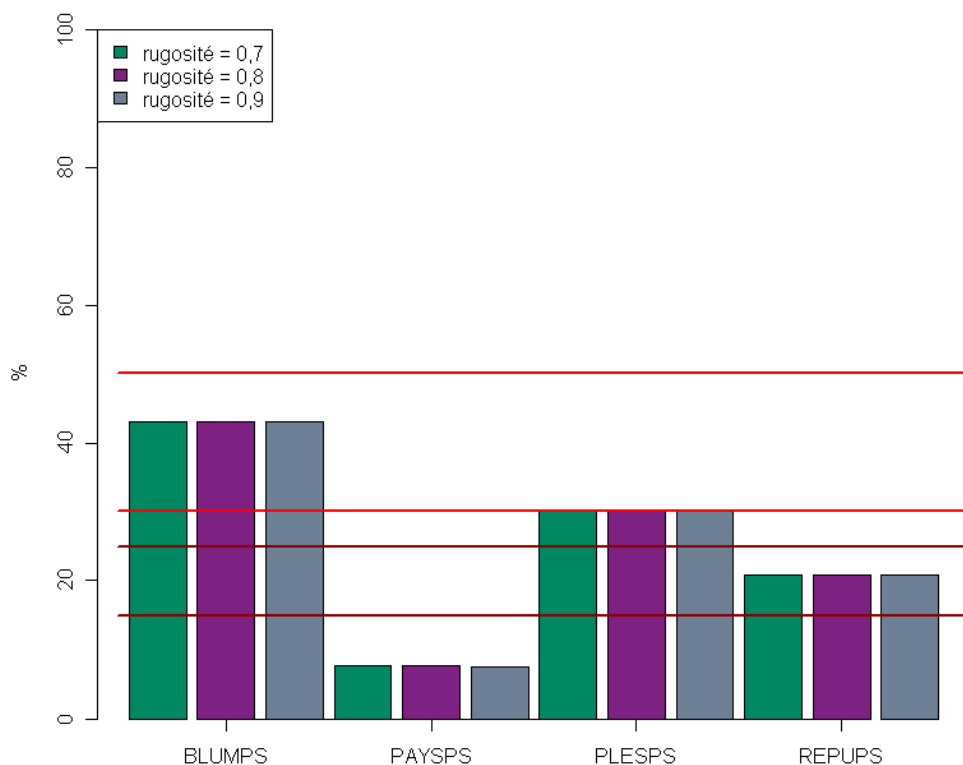


Figure 4 : comparaison des erreurs absolues pour les poussières fines (PM10)

Les erreurs absolues ne varient quasiment pas non plus d'une rugosité à l'autre.

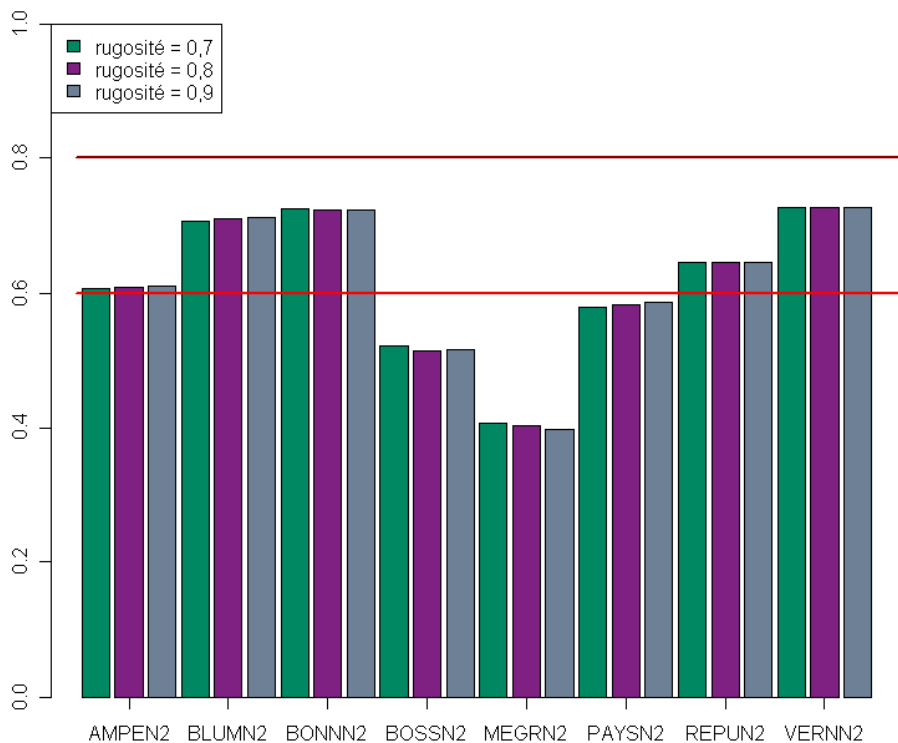


Figure 5 : comparaison des corrélations pour le dioxyde d'azote (NO2)

Les corrélations sont sensiblement les mêmes pour les trois valeurs de la rugosité.

La longueur de Monin-Obukov caractérisant la stabilité de l'atmosphère au dessus de la zone d'étude joue sensiblement sur les scores de comparaison aux stations de mesure comme le montre les graphiques ci-dessous.

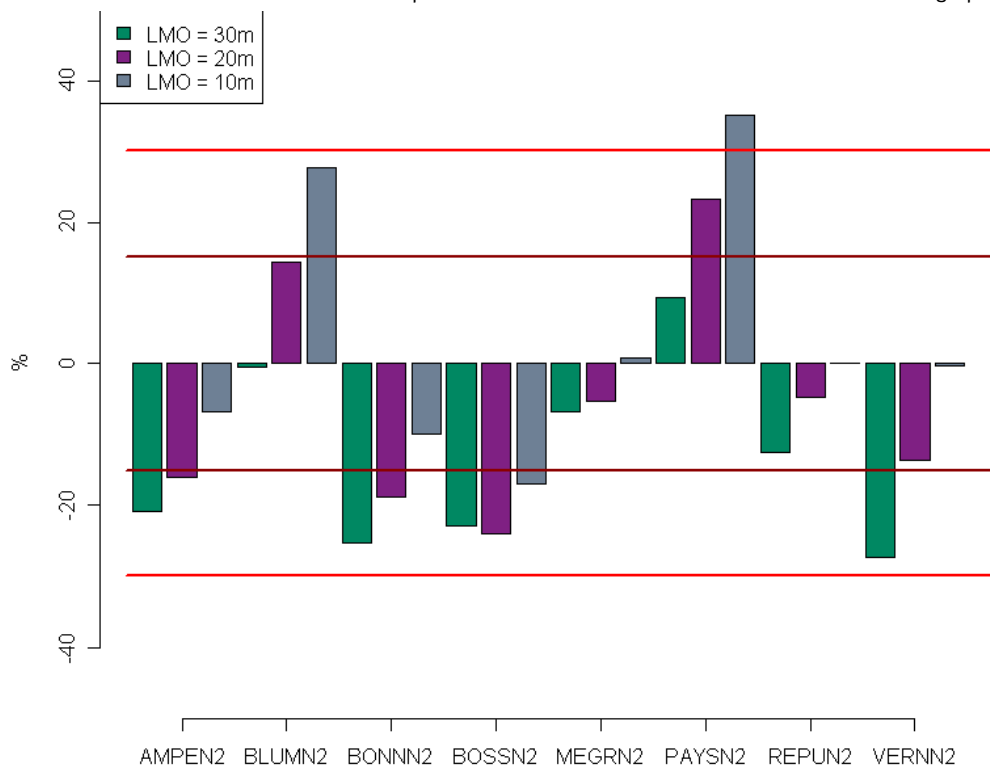


Figure 6 : comparaison des biais normalisés pour le dioxyde d'azote (NO2)

La baisse de la longueur de Monin-Obukov a pour effet de diminuer les biais négatifs observés pour le dioxyde d'azote sur les stations industrielles et d'augmenter les biais positifs observés sur les stations urbaines (BLUMN2 et PAYSN2). Dans tous les cas le biais normalisé n'excède pas ou de peu les 30%.

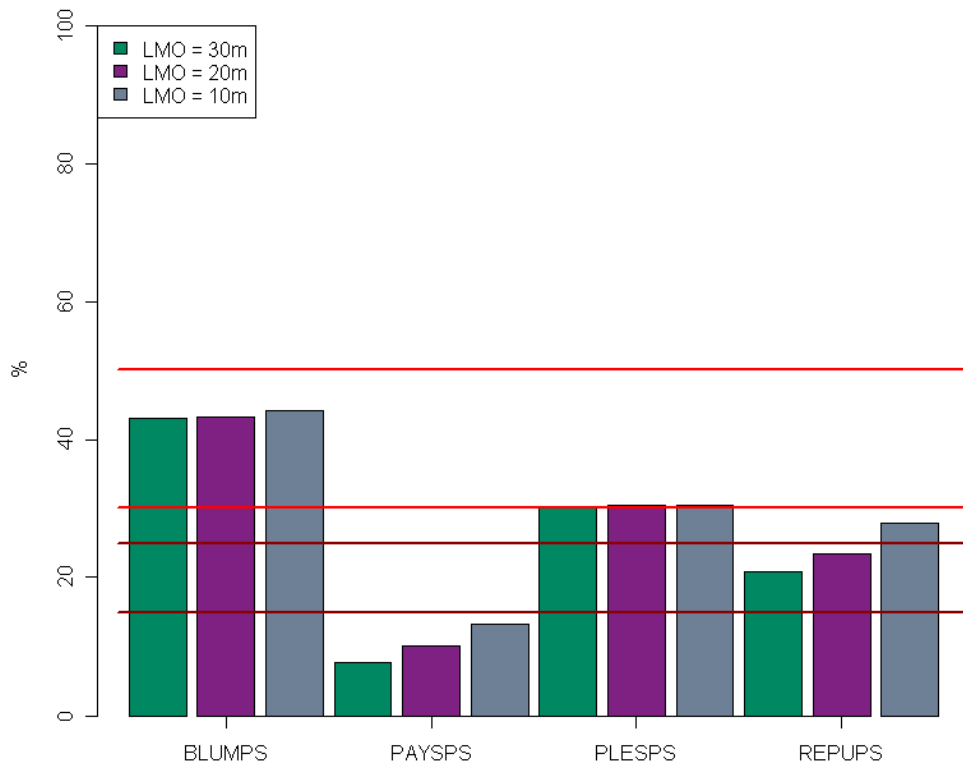


Figure 7 : comparaison des erreurs absolues pour les poussières fines (PM10)

Les erreurs absolues sont moins sensibles à l'effet de la longueur de Monin-Obukov sur certains sites par rapport à d'autre. La tendance est à l'augmentation de ce score avec la baisse du paramètre de stabilité.

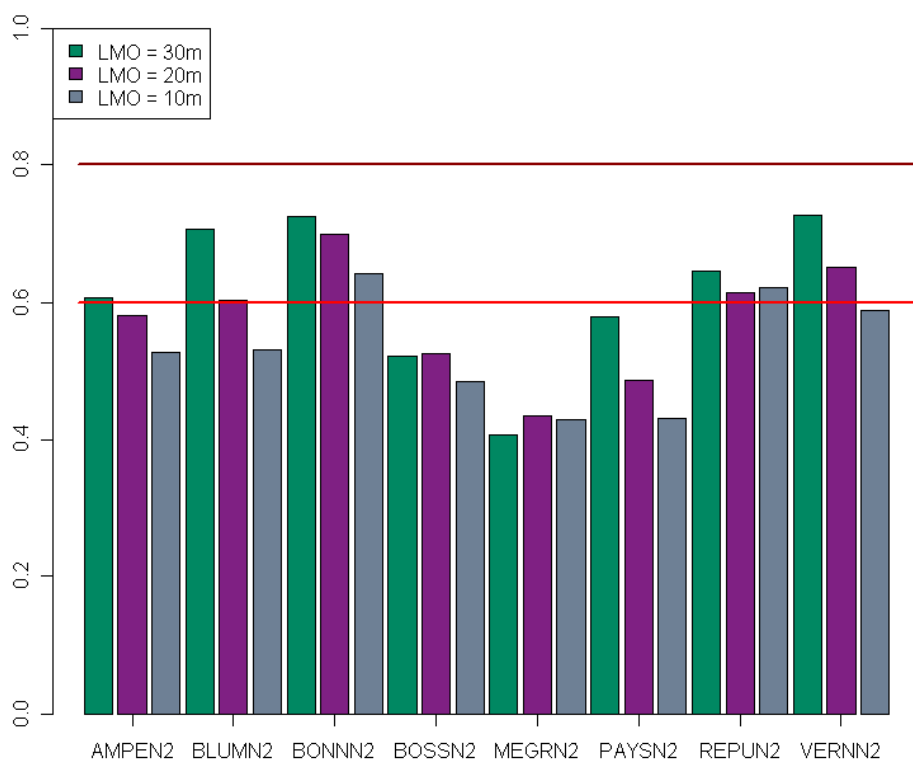


Figure 8 : comparaison des corrélations pour le dioxyde d'azote (NO2)

Les corrélations baissent lorsque la longueur de Monin-Obukov diminue.

Suite à ces tests de sensibilité du modèle aux paramètres rugosité et longueur minimale de Monin-Obukov, les valeurs retenues ont été les suivantes :

- rugosité = 0,7 correspondant à la valeur retenue pour une agglomération comme Toulon ;
- LMO = 30 m correspondant à la longueur généralement utilisée pour caractériser la stabilité et la turbulence au dessus des villes et des zones industrialisées.

## pollution de fond

Un travail important de calage des concentrations de pollution de fond a permis notamment d'améliorer l'ajustement des biais. Il a abouti à retenir la station Léon Blum comme représentative de la pollution de fond de l'agglomération même si celle-ci apparaît influencée pour le dioxyde d'azote du fait de sa proximité avec des voies de circulation modélisées. Une pondération a du être affectée aux concentrations de dioxyde d'azote de la station pour représenter au mieux le niveau de fond urbain.

Les graphiques ci-dessous permettent de comparer deux de ces pondérations.

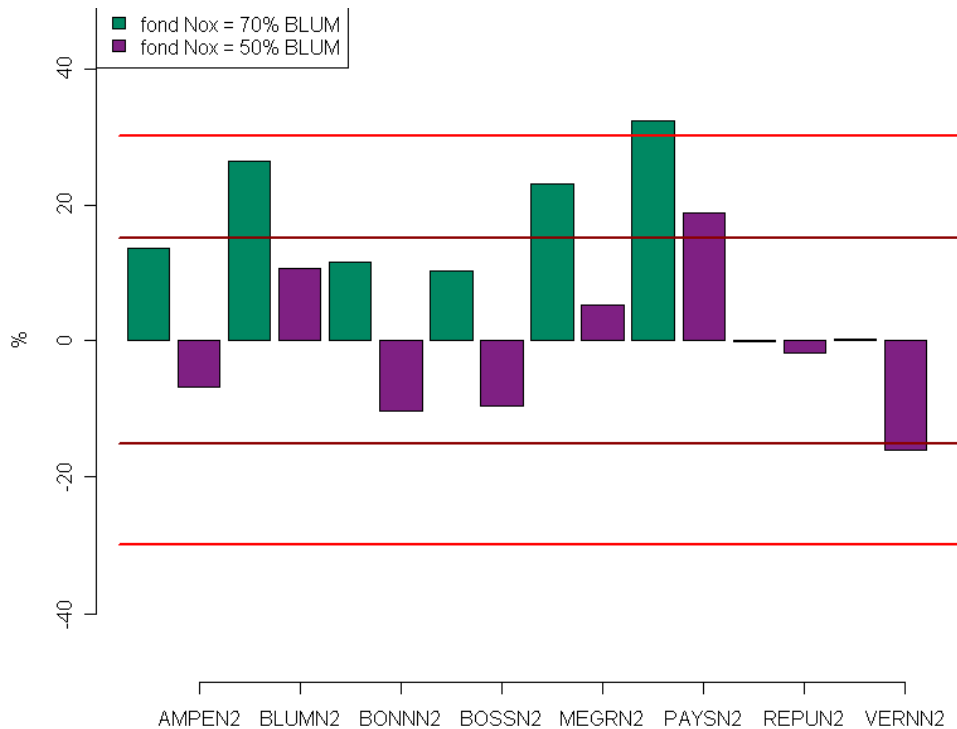


Figure 9 : comparaison des biais normalisés pour le dioxyde d'azote (NO2)

La baisse de la pollution de fond se traduit naturellement par un décalage des biais vers le bas.

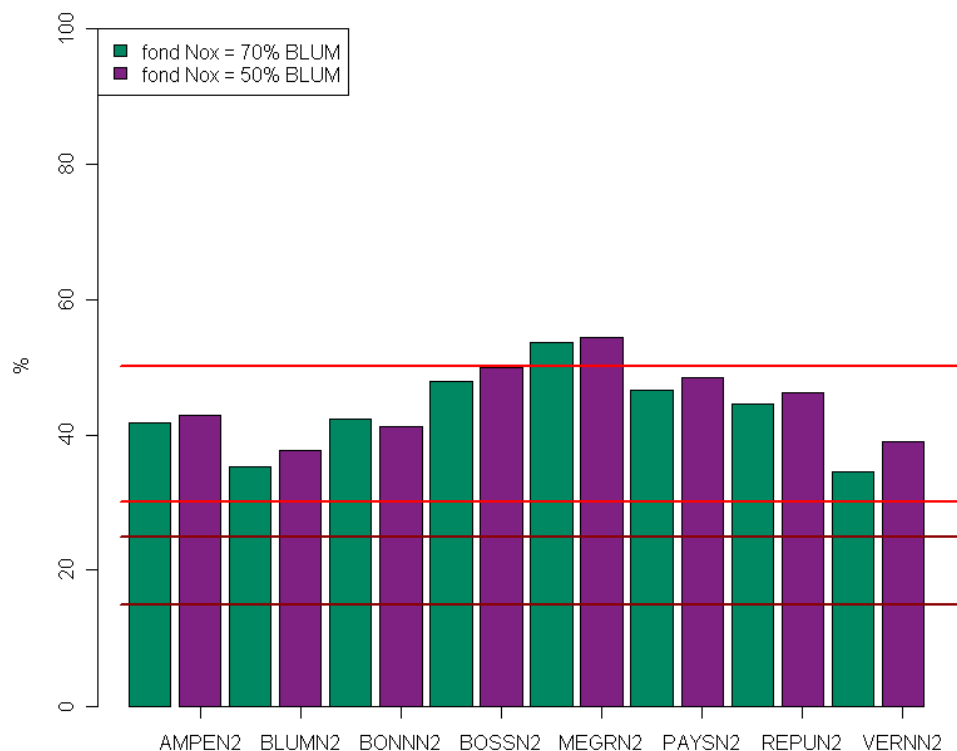


Figure 10 : comparaison des erreurs absolues pour le dioxyde d'azote (NO2)

Les erreurs absolues sont moins sensibles à la variation du niveau de fond et l'effet inverse semble se produire ici à savoir que l'erreur absolue augmente lorsque la pollution de fond diminue.

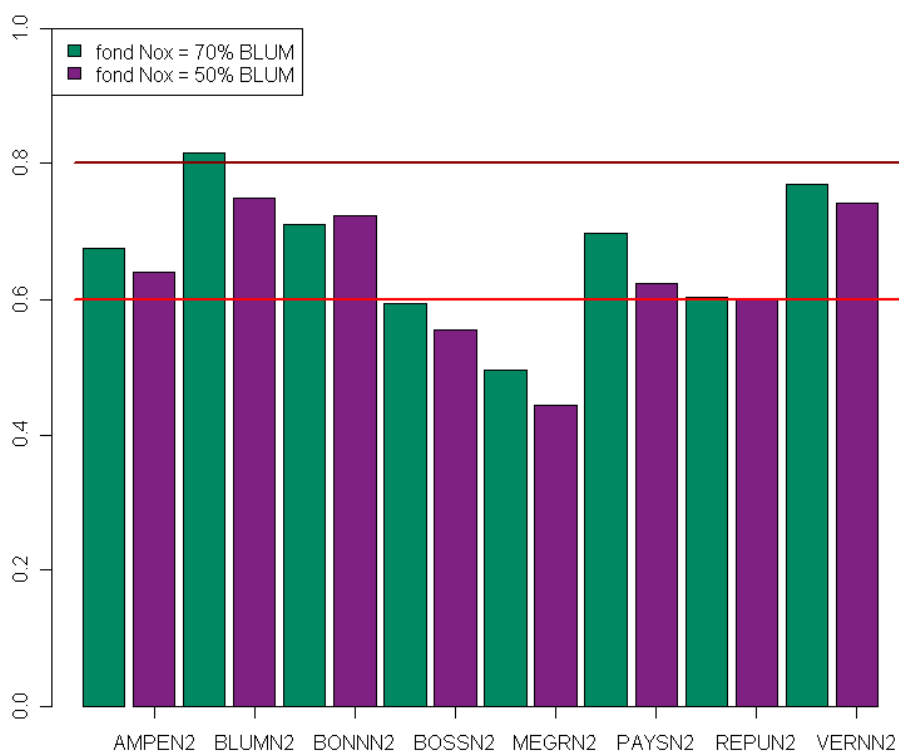


Figure 11 : comparaison des corrélations pour le dioxyde d'azote (NO2)

Ici, les corrélations diminuent avec la pondération affectée aux concentrations de la station de fond.

Cette comparaison conduit à la conclusion que la baisse du niveau de fond peut certes abaisser le biais normalisé mais peut également conduire à une dégradation de la corrélation et de l'erreur absolue.

## météorologie

La description des conditions météorologiques s’est appuyé sur les données de la station Météo-France de Gron à Montoir-de-Bretagne et l’information additionnelle de l’estimation de la hauteur de la couche limite fournie par le modèle régional IRIS d’Air Pays de la Loire a été finalement retenu même s’il l’amélioration des scores n’est pas sensible comme le montre les graphiques ci-dessous :

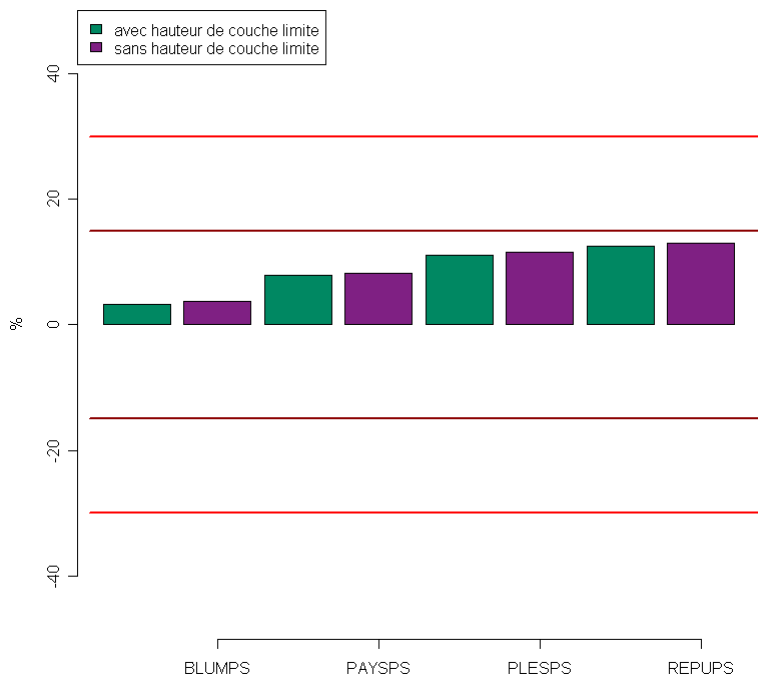


Figure 12 : comparaison des biais normalisés pour les poussières fines (PM10)

Les biais normalisés de la simulation des poussières fines (PM10) sont positifs ce qui signifie que le modèle surestime les concentrations par rapport à la mesure mais dans une proportion acceptable puisque le seuil de 15% n’est pas dépassé. L’introduction de la hauteur de la couche limite ne réduit que très légèrement les valeurs sur l’ensemble des stations.

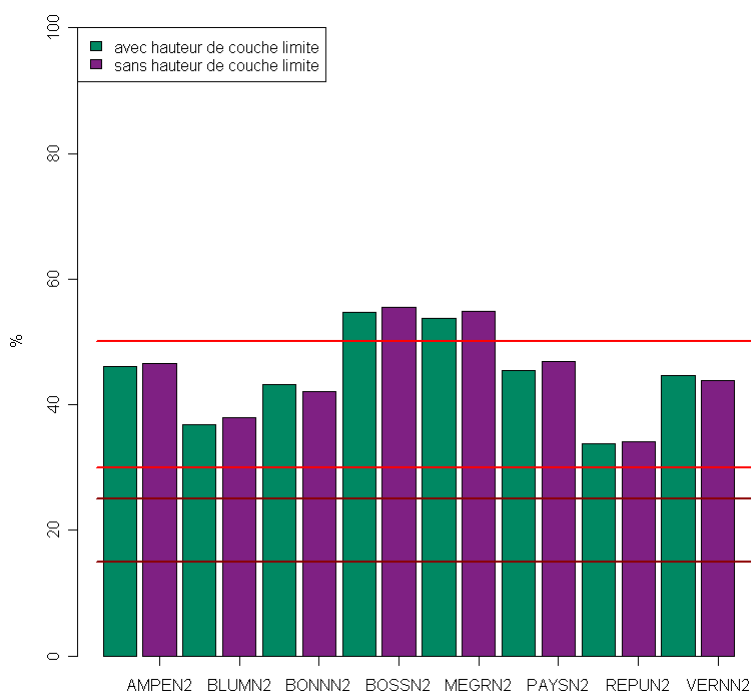


Figure 13 : comparaison des erreurs absolues relatives pour le dioxyde d’azote (NO2)

Les erreurs absolues relatives de la simulation du dioxyde d’azote (PM10) sont dans l’ensemble inférieures au seuil de 50 % requis par la directive européenne. Seuls les sites industriels de Montoir-de-Bretagne (BONNN2) et La Mégretais à Donges (MEGRS2) ne respectent pas ce critère. L’apport de la hauteur de couche limite est visible ici même s’il reste limité.



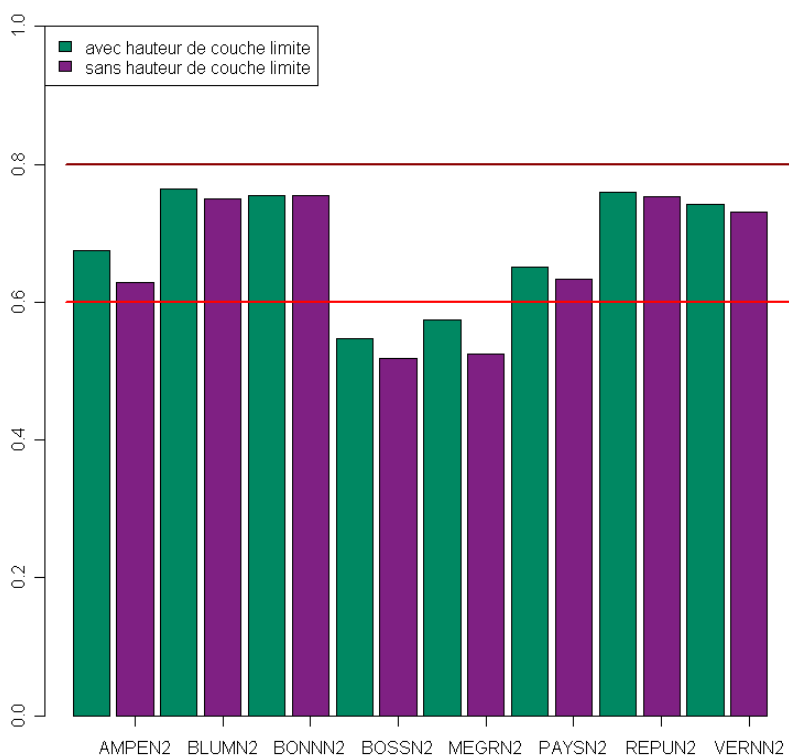


Figure 14 : comparaison des corrélations pour le dioxyde d'azote (NO2).

Les corrélations entre la mesure et la simulation du modèle sont globalement bonnes. Seuls les sites industriels de Montoir-de-Bretagne (BONNN2) et La Mégretais à Donges (MEGRS2) sont inférieurs au seuil de 60%. La hauteur de couche limite améliore sensiblement les corrélations sur toutes les stations.

L'ensemble des scores comparés du modèle avec et sans prise en compte de la hauteur de couche limite sont présentés dans l'annexe 8.

## facteurs d'émission

Différents ajustements sur les facteurs d'émission définissant la répartition temporelle des émissions ont conduit à une amélioration sensible du calage des profils temporels.

Les facteurs d'émission sont des coefficients de pondération. Ils sont définis sur deux échelles de temps :

- la journée : les pondérations sont alors fixées heure par heure ;
- l'année : les pondérations sont mensuelles.

A titre d'exemple, les profils journaliers du dioxyde d'azote mesuré et simulé lors du dernier essai sur le site du Parc Paysager sont représentés ci-dessous :

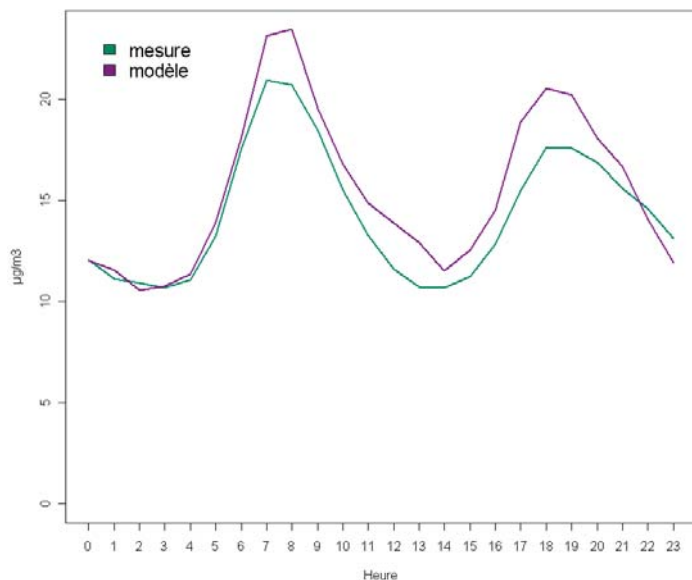


Figure 15 : comparaison des profils journaliers du dioxyde d'azote au Parc Paysager

Ces courbes montrent que le modèle reproduit bien les deux pics de pollution du matin et du soir classiquement observés sur les mesures.

À l'inverse, le profil journalier de l'ozone est marqué par une augmentation des concentrations aux heures où l'ensoleillement est le plus important à savoir l'après-midi comme le montre le graphique ci-dessous :

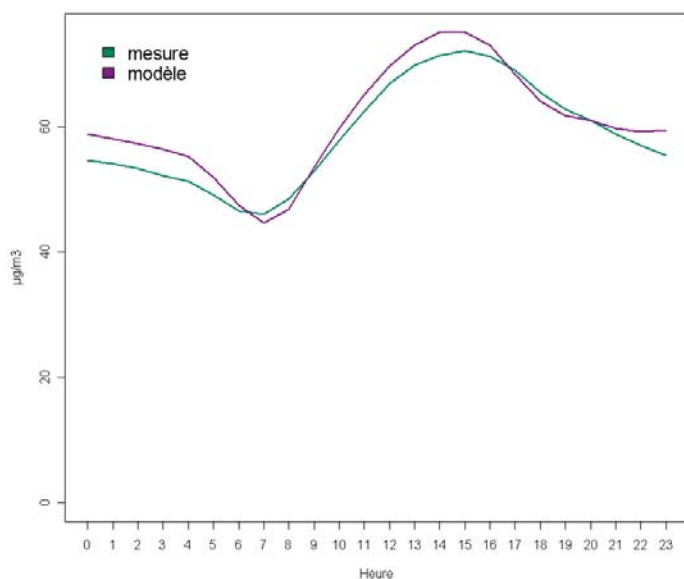


Figure 16 : comparaison des profils journaliers d'ozone à Emile Outtier

Le modèle reproduit également parfaitement ce phénomène.

Ce bilan positif de la comparaison des profils journaliers sur les sites urbains est modéré par celui des sites industriels qui sont plus difficiles à reproduire comme le montre la comparaison faite sur le site Ampère à Donges pour le dioxyde d'azote ci-dessous :

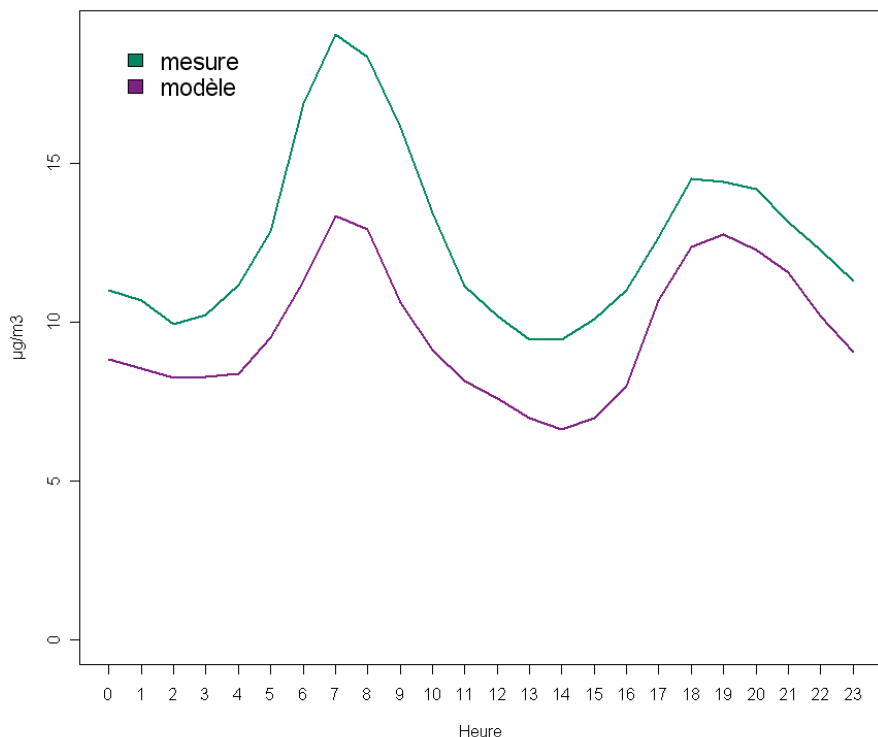


Figure 17 : comparaison des profils journaliers de dioxyde d'azote à Ampère (Donges)

Le modèle reproduit bien les périodes d'élévation des concentrations mais les valeurs sont sous estimées.

L'ajustement des facteurs mensuels a pu être réalisé suite à la comparaison des profils annuels pour aboutir au résultat suivant pour le dioxyde d'azote :

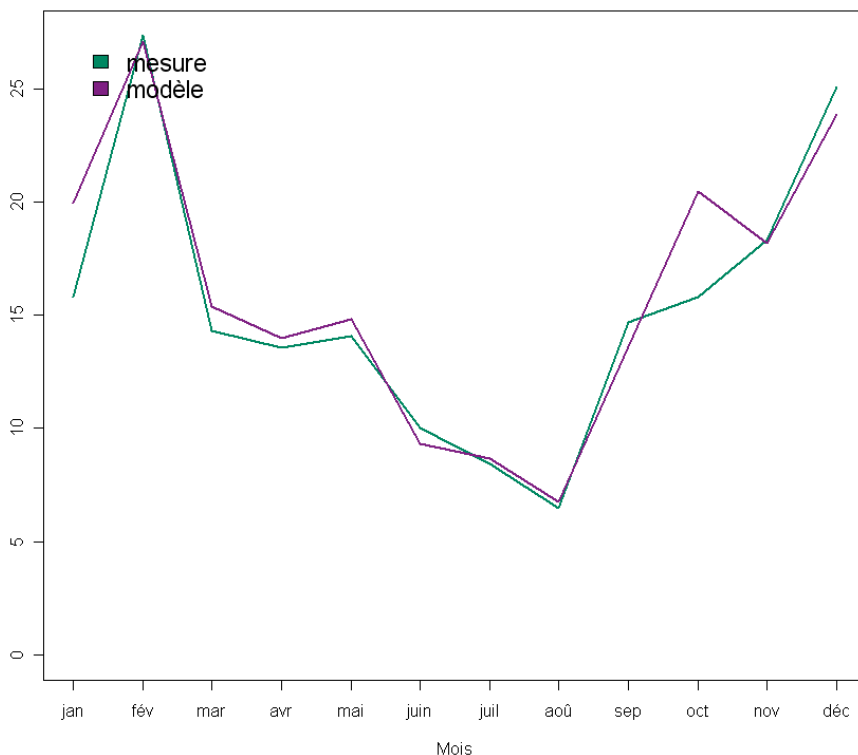


Figure 18 : comparaison des profils annuels de dioxyde d'azote au Parc Paysager

Le pic de pollution par le dioxyde d'azote (NO2) du mois de février est bien reproduit par le modèle.

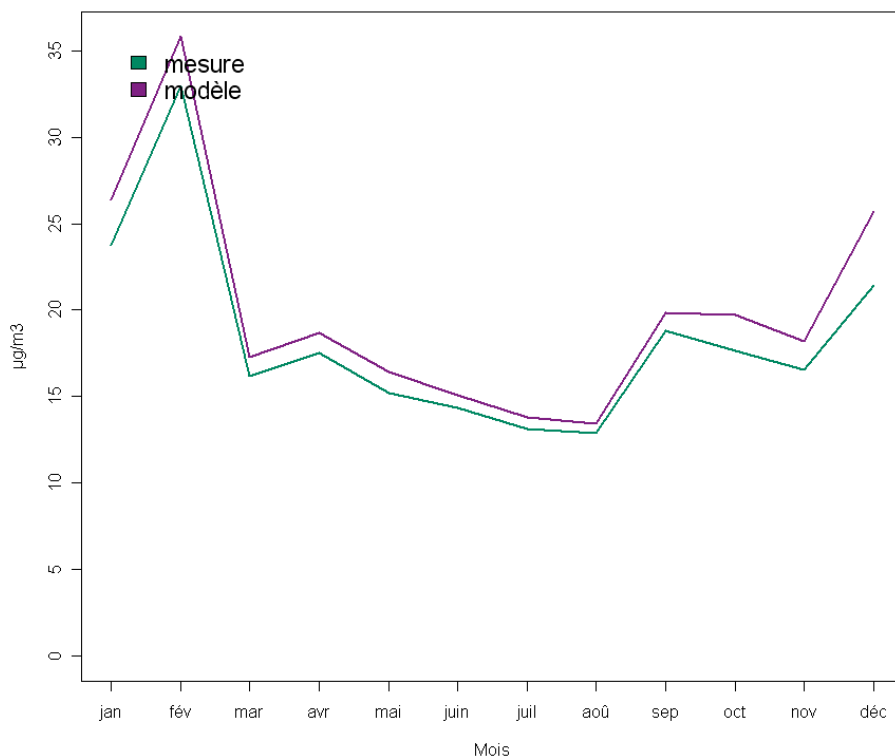


Figure 19 : comparaison des profils annuels de poussières fines PM10 au Parc Paysager

Le profil annuel des sorties du modèle pour les poussières fines (PM10) suit bien celui de la mesure sur la station du Parc Paysager même lors de l'élévation des concentrations de février.

De même, les profils annuels sur les sites industriels présentent des différences assez importantes comme le montre cette comparaison sur la station

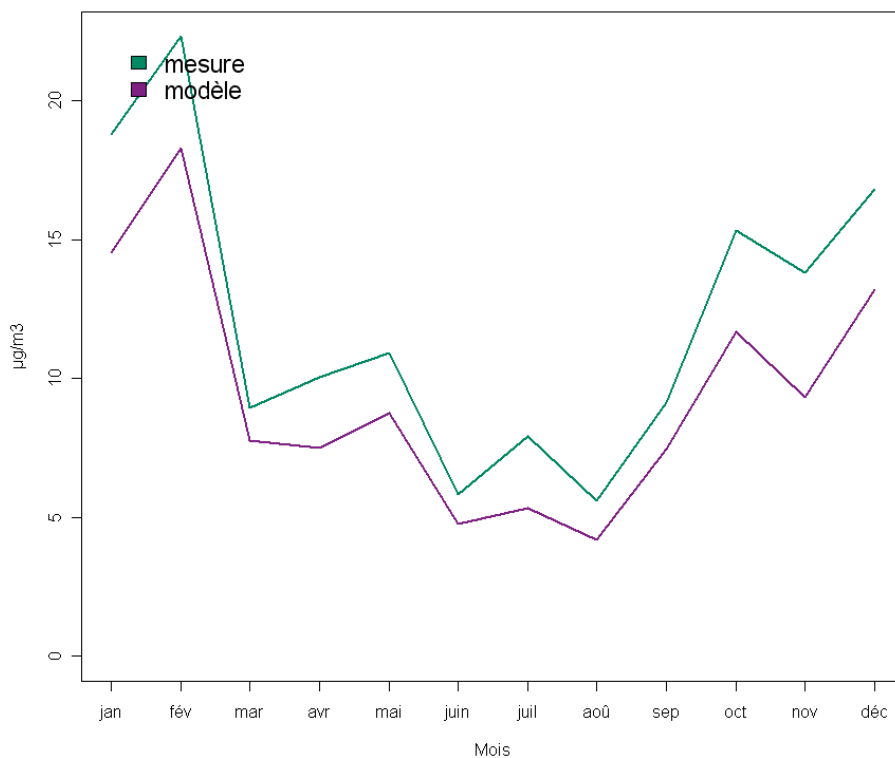


Figure 20 : comparaison des profils annuels de dioxyde d'azote sur la station Bonne Fontaine de Montoir-de-Bretagne

Le profil annuel de dioxyde d'azote à Bonne Fontaine (Montoir-de-Bretagne) est sous estimé.

# annexe 10 : apport de la hauteur de couche limite dans la description météorologique

Cette annexe présente l'ensemble des scores comparés avec et sans la prise en compte de la hauteur de couche limite fournie par le modèle régional IRIS pour l'ensemble des polluants simulés.

## biais normalisés

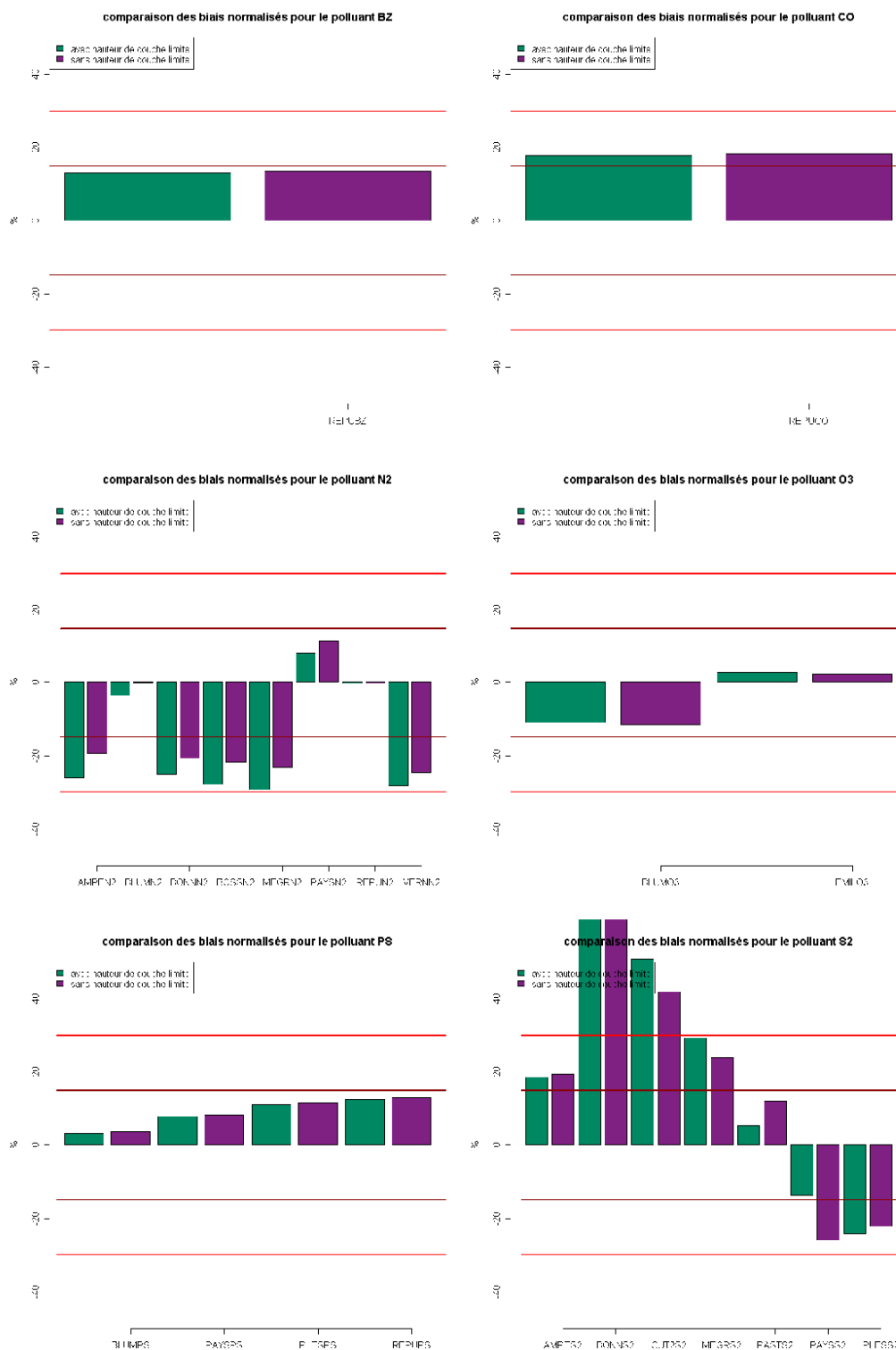


Figure 21 : biais normalisés avec (vert) et sans (violet) prise en compte de la hauteur de couche limite

## erreurs absolues relatives

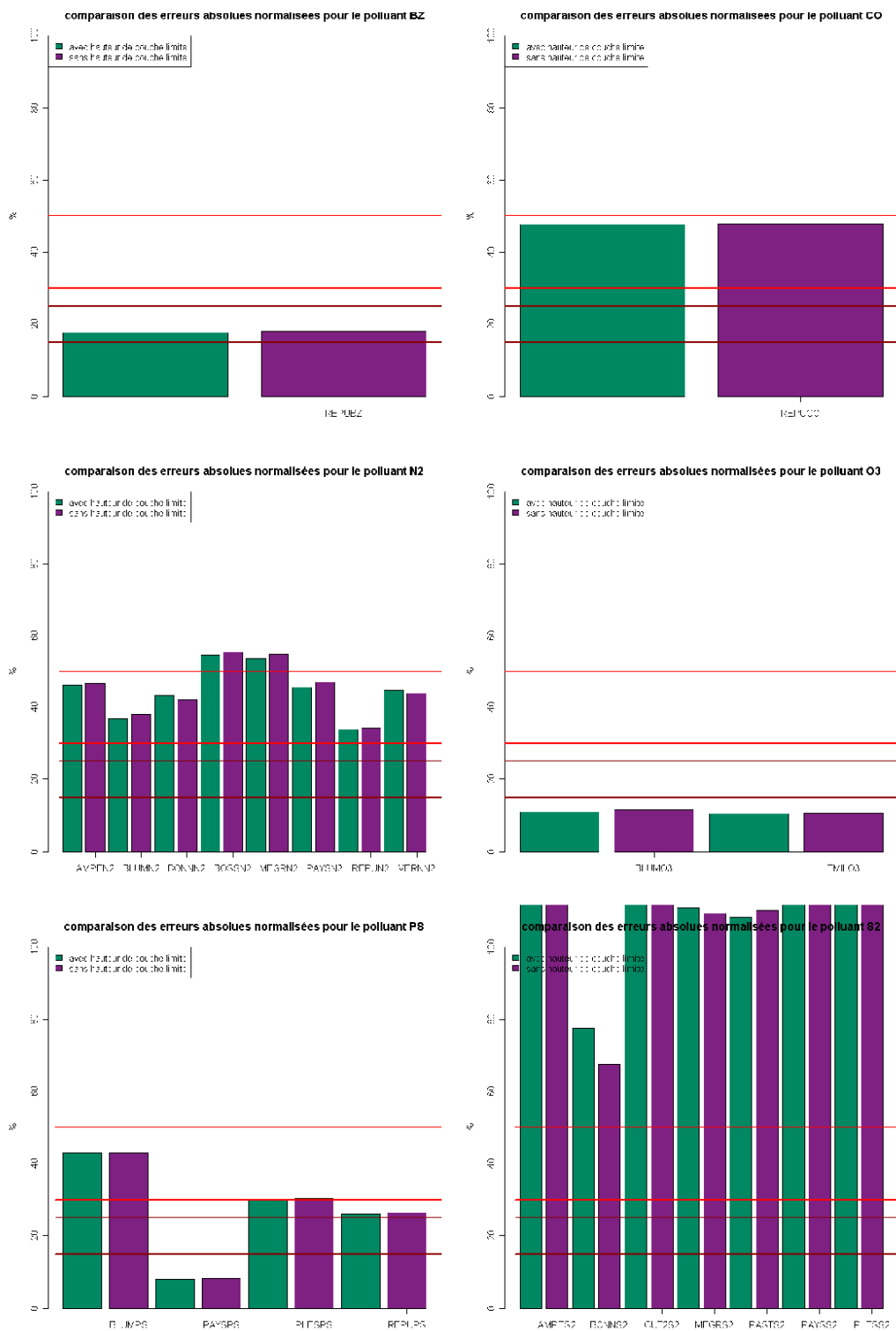


Figure 22 : erreurs absolues relatives avec (vert) et sans (violet) prise en compte de la hauteur de couche limite



## corrélations

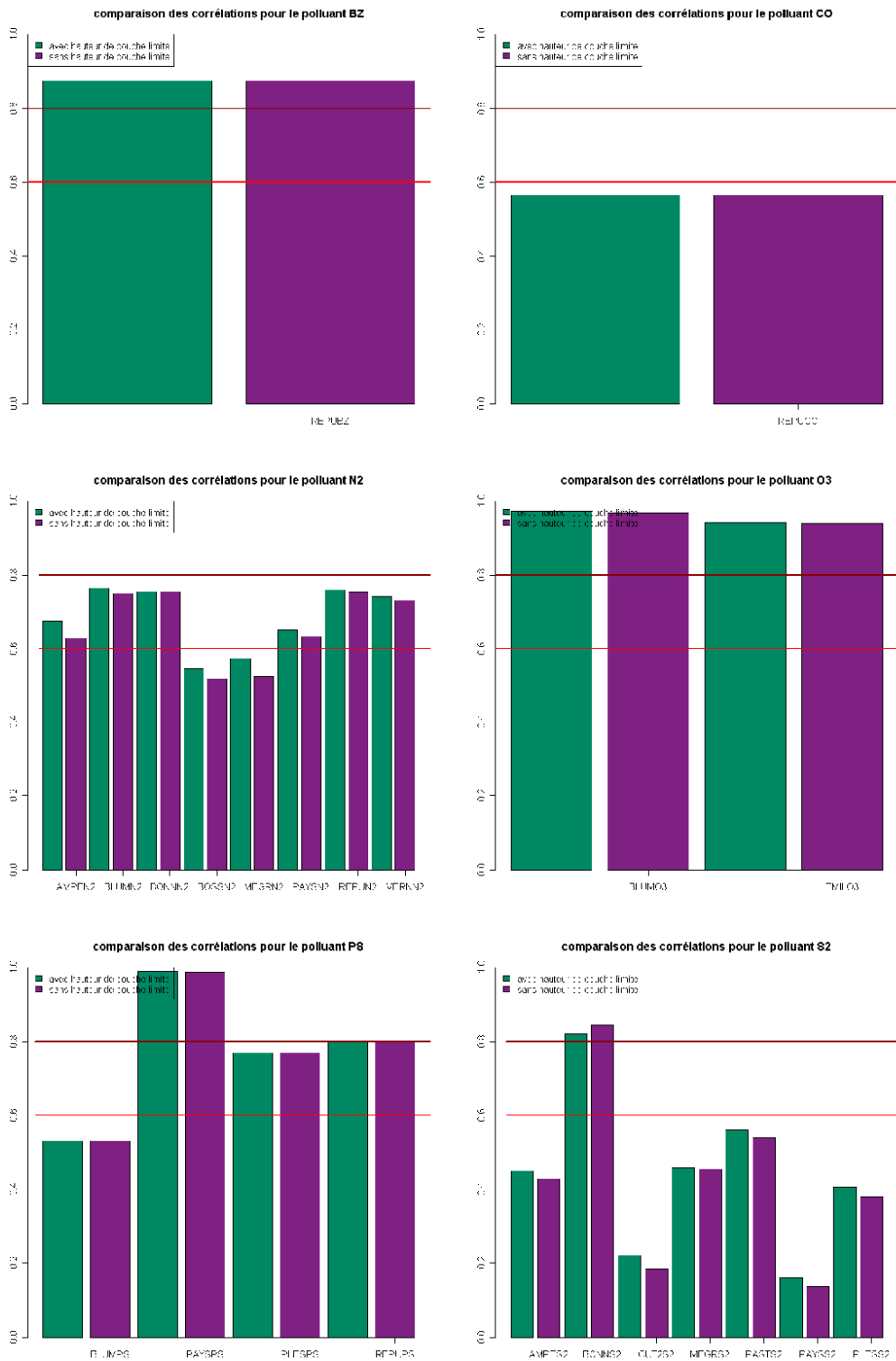


Figure 23 : corrélations avec (vert) et sans (violet) prise en compte de la hauteur de couche limite

# NMSE

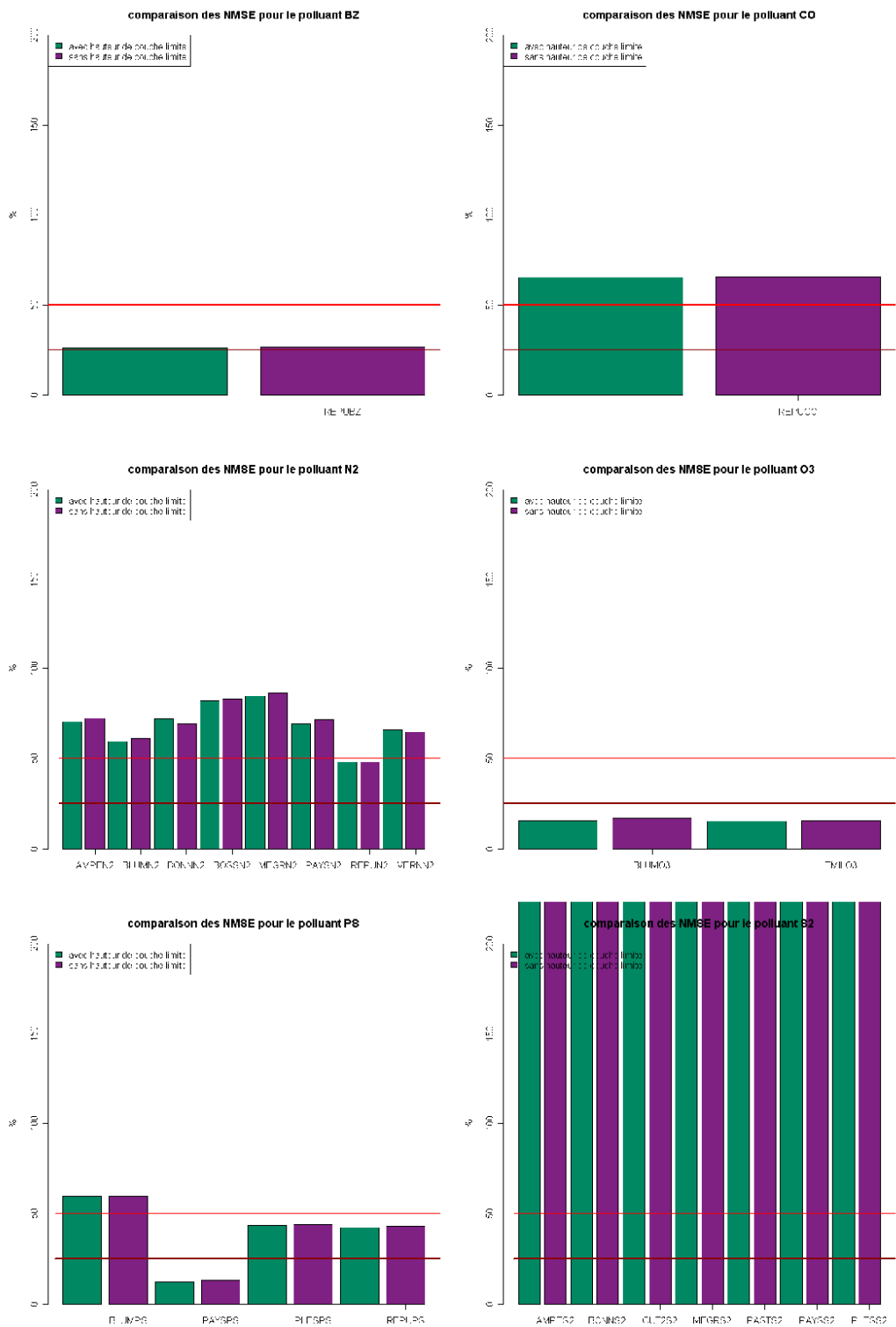


Figure 24 : NMSE avec (vert) et sans (violet) prise en compte de la hauteur de couche limite

## annexe 11 : cartes de moyennes annuelles complémentaires

### cartes de Saint-Nazaire

#### ozone

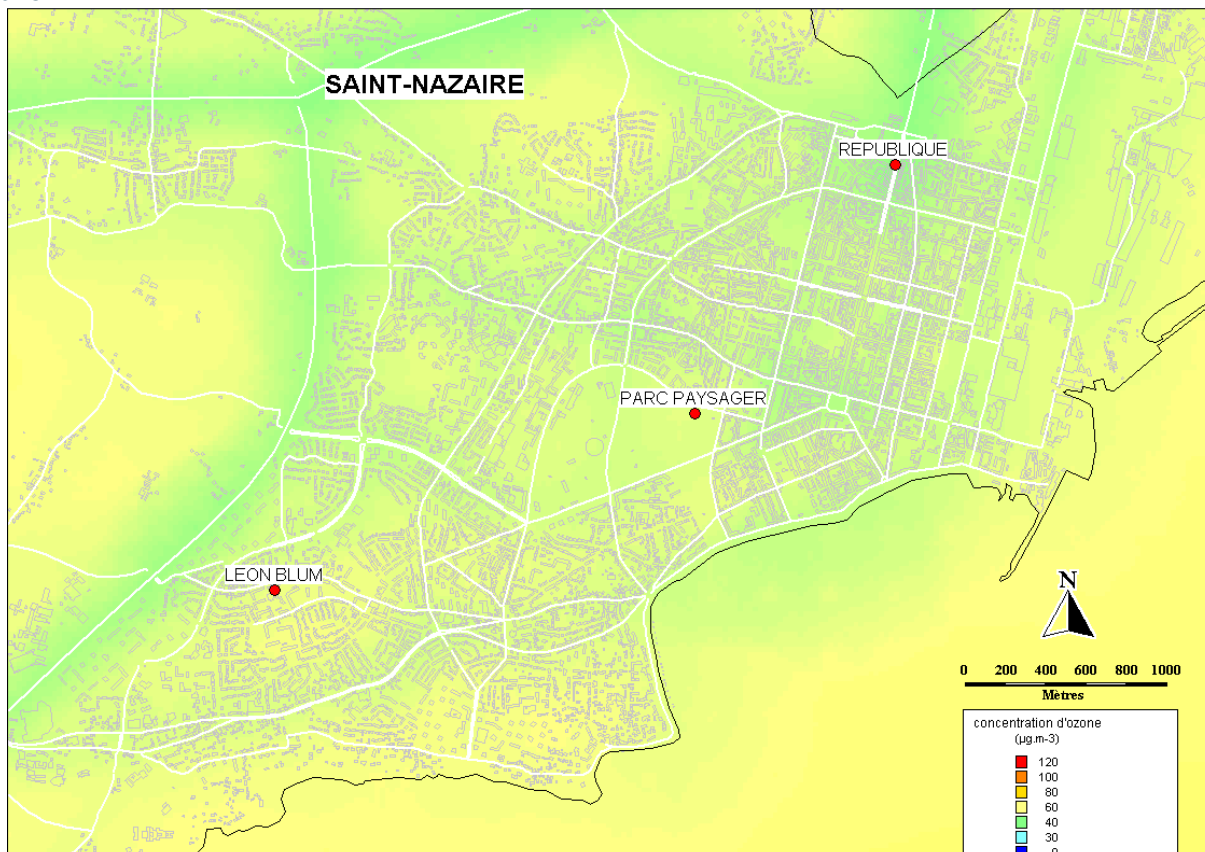


Figure 25 : carte de la moyenne annuelle 2008 pour l'ozone

L'ozone est un polluant à grande échelle. Par conséquent, la répartition des concentrations sur le domaine d'étude est assez homogène.

Le phénomène de consommation de l'ozone par les oxydes d'azote s'observe d'autant mieux sur cette carte à plus petite échelle. Les quartiers avec la plus faible pollution à l'ozone sont ceux ayant les plus forts niveaux en dioxyde d'azote.

**dioxyde de soufre**

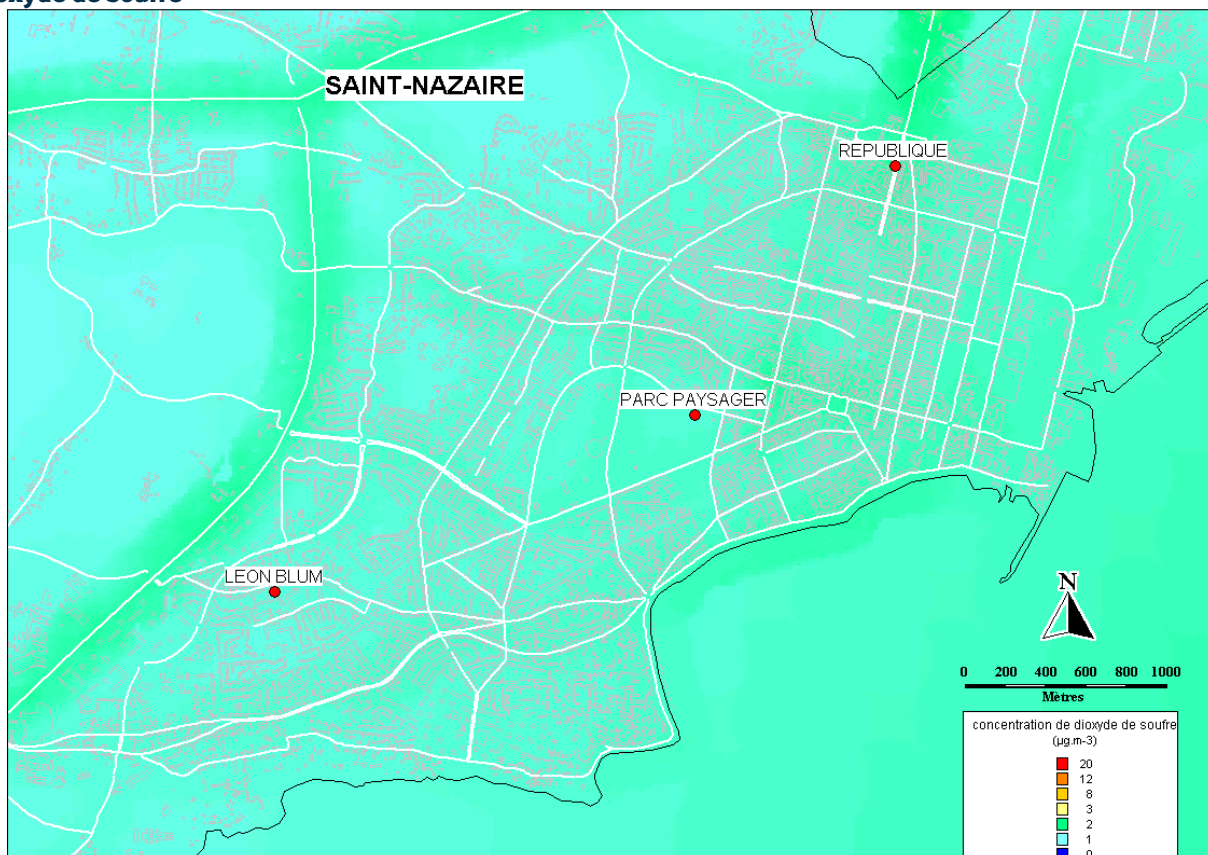


Figure 26 : carte de la moyenne annuelle 2008 pour le dioxyde de soufre

Comme sur la carte générale, les niveaux en dioxyde de soufre sont très faibles et seuls les axes à fort trafic se dégagent. L'influence des activités industrielles n'est pas perceptible sur cette carte à l'échelle annuelle.

**monoxyde de carbone**

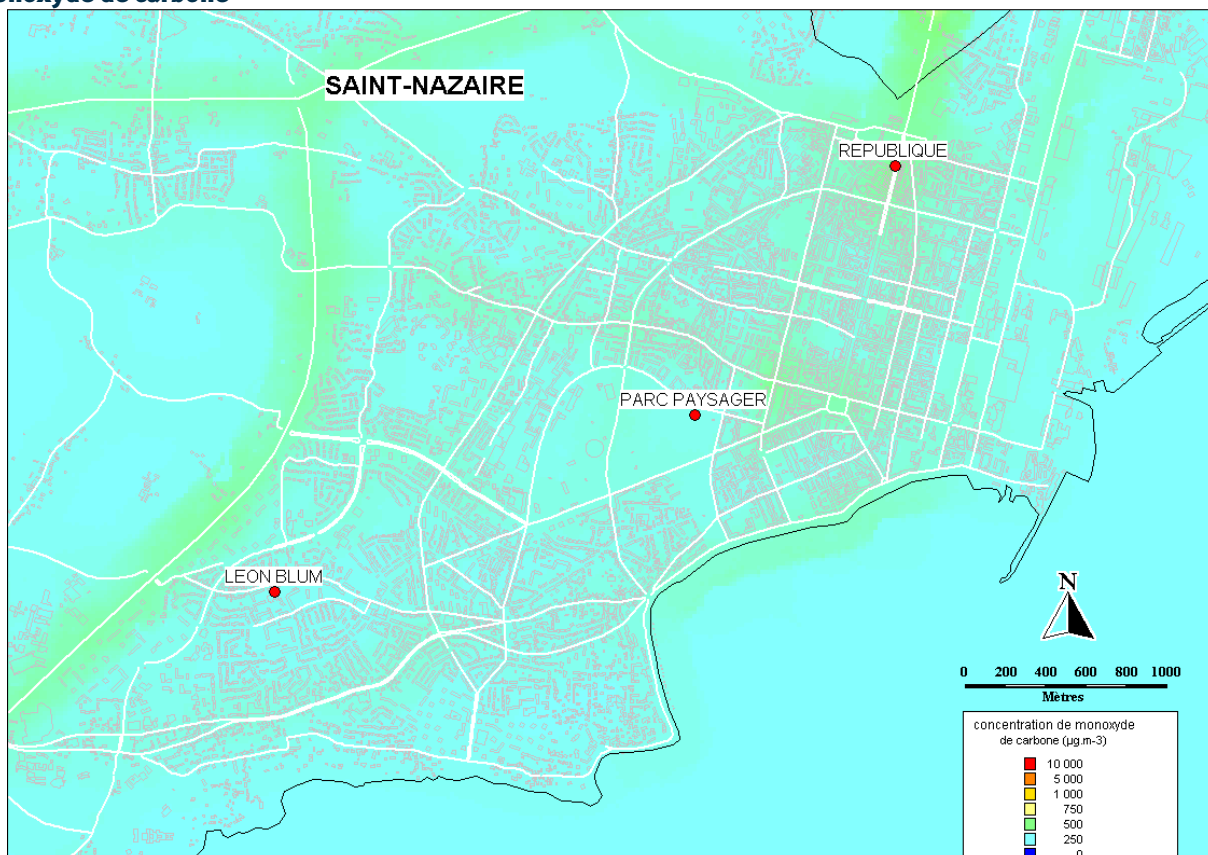


Figure 27 : carte de la moyenne annuelle 2008 pour le monoxyde de carbone

Le niveau moyen de monoxyde de carbone simulé sur l'année 2008 est très faible puisque seuls les axes à fort taux de trafic présentent des concentrations supérieures à  $500 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ . Il s'agit de la RN471 débouchant sur l'avenue de la République, le boulevard de contournement RD492, les boulevards côtiers Albert 1<sup>er</sup> et Président Wilson et la place François Blancho.

## cartes de Pornichet

### ozone

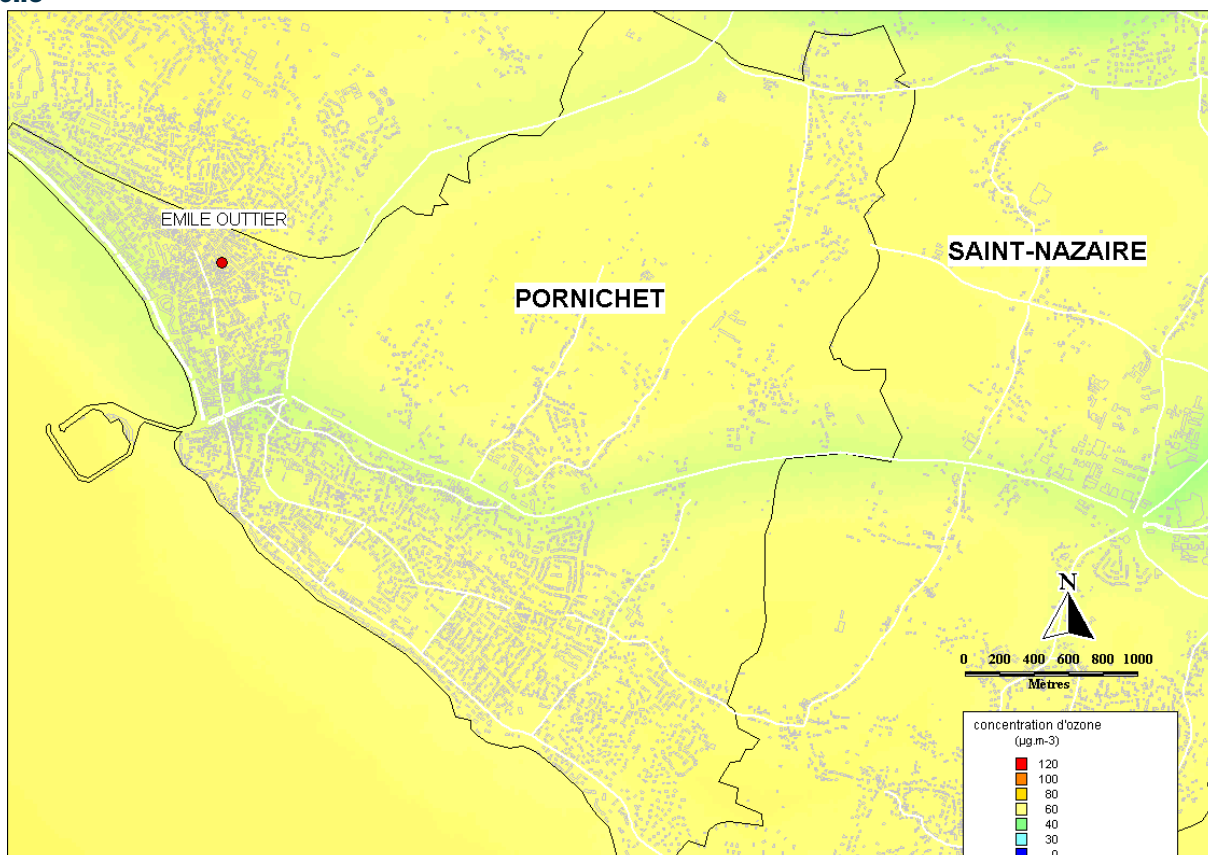


Figure 28 : carte de la moyenne annuelle 2008 pour l'ozone

Le niveau moyen d'ozone sur Pornichet est assez homogène et proche de celui observé sur l'océan entre 60 µg.m<sup>-3</sup> et 80 µg.m<sup>-3</sup>. Les abords des voies qui présentent une élévation des teneurs en oxydes d'azote se retrouvent en dessous des 60 µg.m<sup>-3</sup> en ozone.



**dioxyde de soufre**

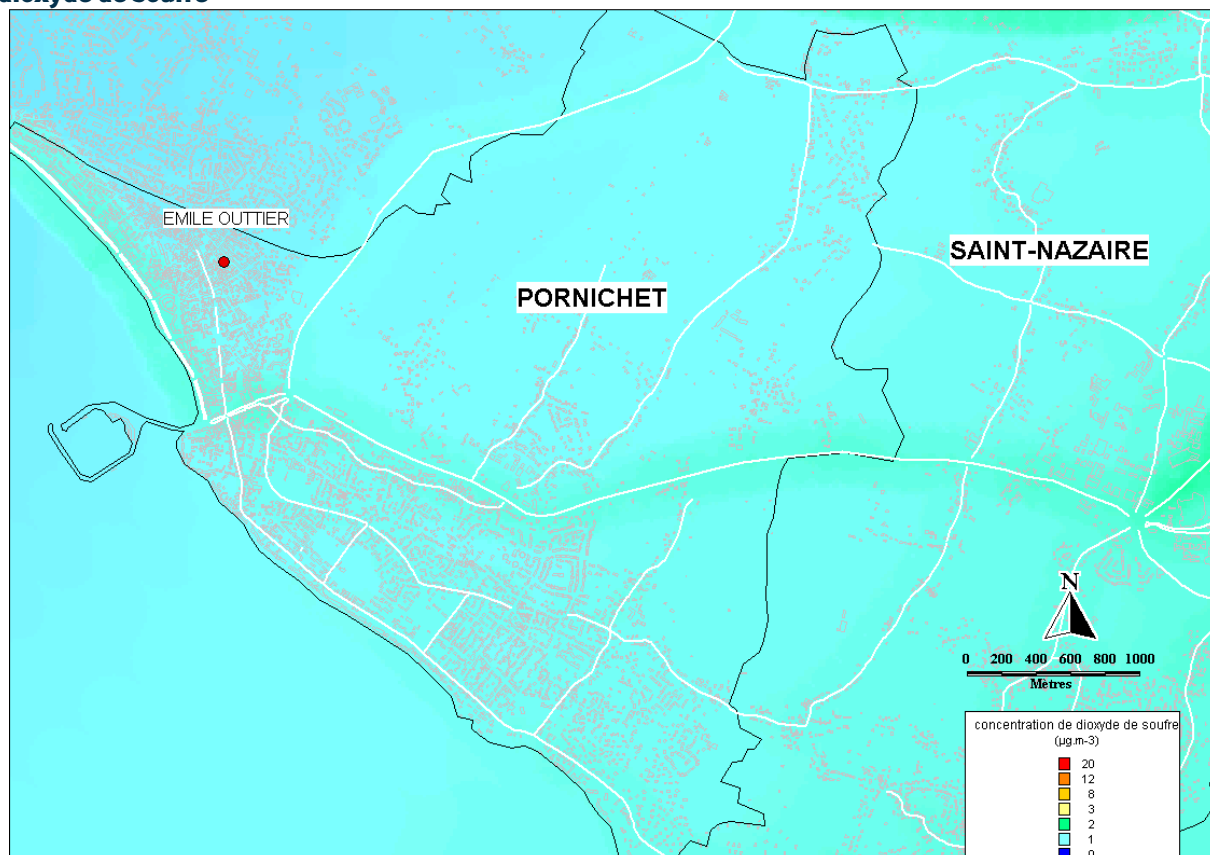


Figure 29 : carte de la moyenne annuelle 2008 pour le dioxyde de soufre

Il y a très peu de dioxyde de soufre simulé par le modèle sur la commune de Pornichet puisque les moyennes annuelles sont uniformément inférieures à 2 µg.m<sup>3</sup>.

### benzène

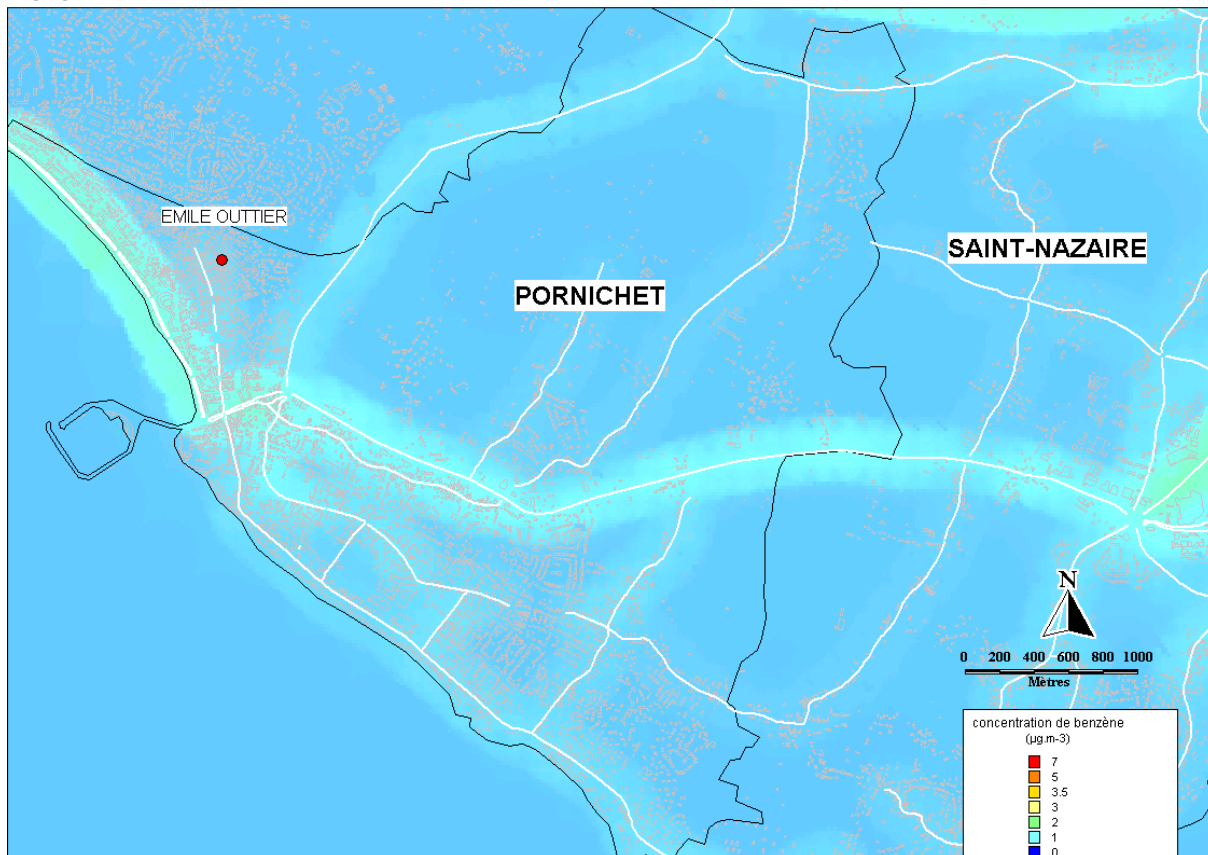


Figure 30 : carte de la moyenne annuelle 2008 pour le benzène

Le benzène est légèrement présent à proximité des deux voies de forte circulation automobile que sont le boulevard des océanides et le boulevard de Saint-Nazaire. Le reste de la commune est totalement préservé de ce polluant.

### monoxyde de carbone

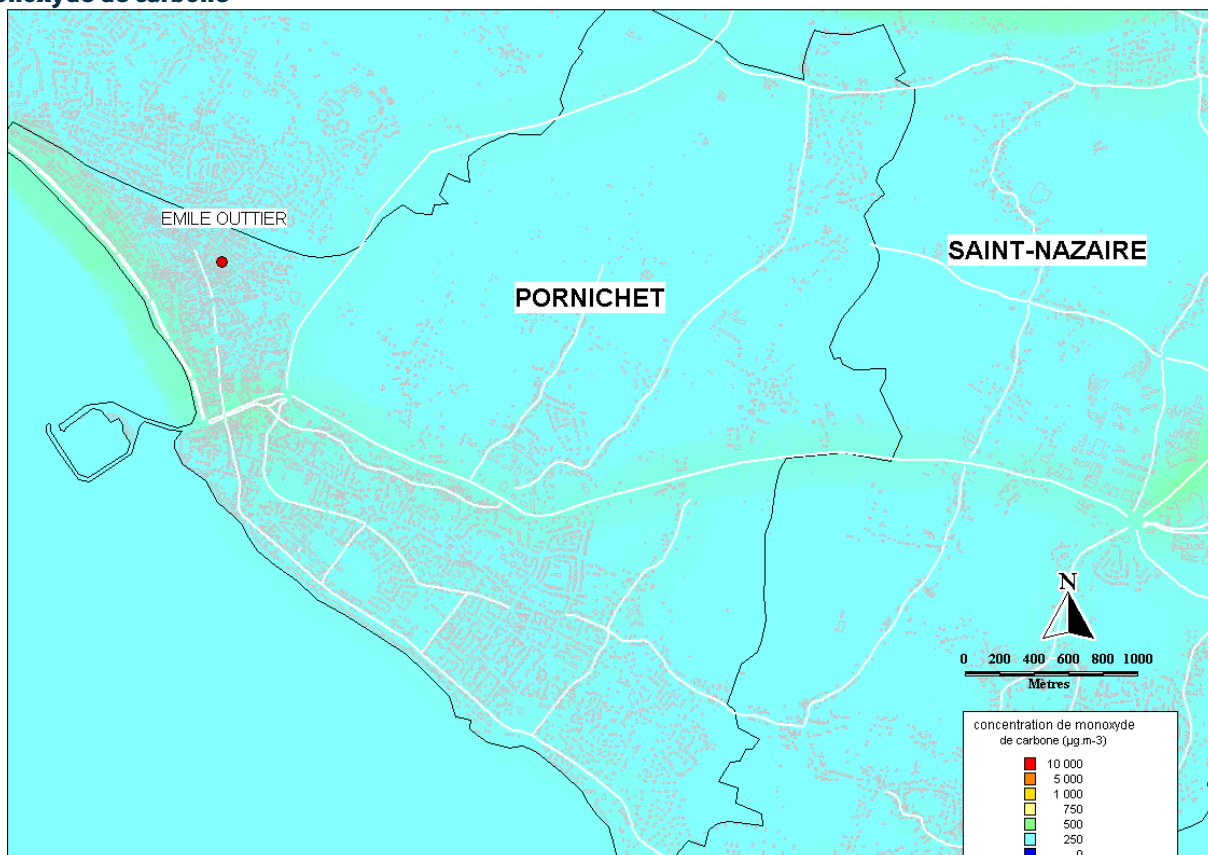


Figure 31 : carte de la moyenne annuelle 2008 pour le monoxyde de carbone

De même que pour le benzène, les teneurs en monoxyde de carbone sont très faibles sur la commune. En effet, seul le boulevard des océanides affiche une moyenne annuelle supérieure à  $500 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ .

## cartes de Trignac

### ozone

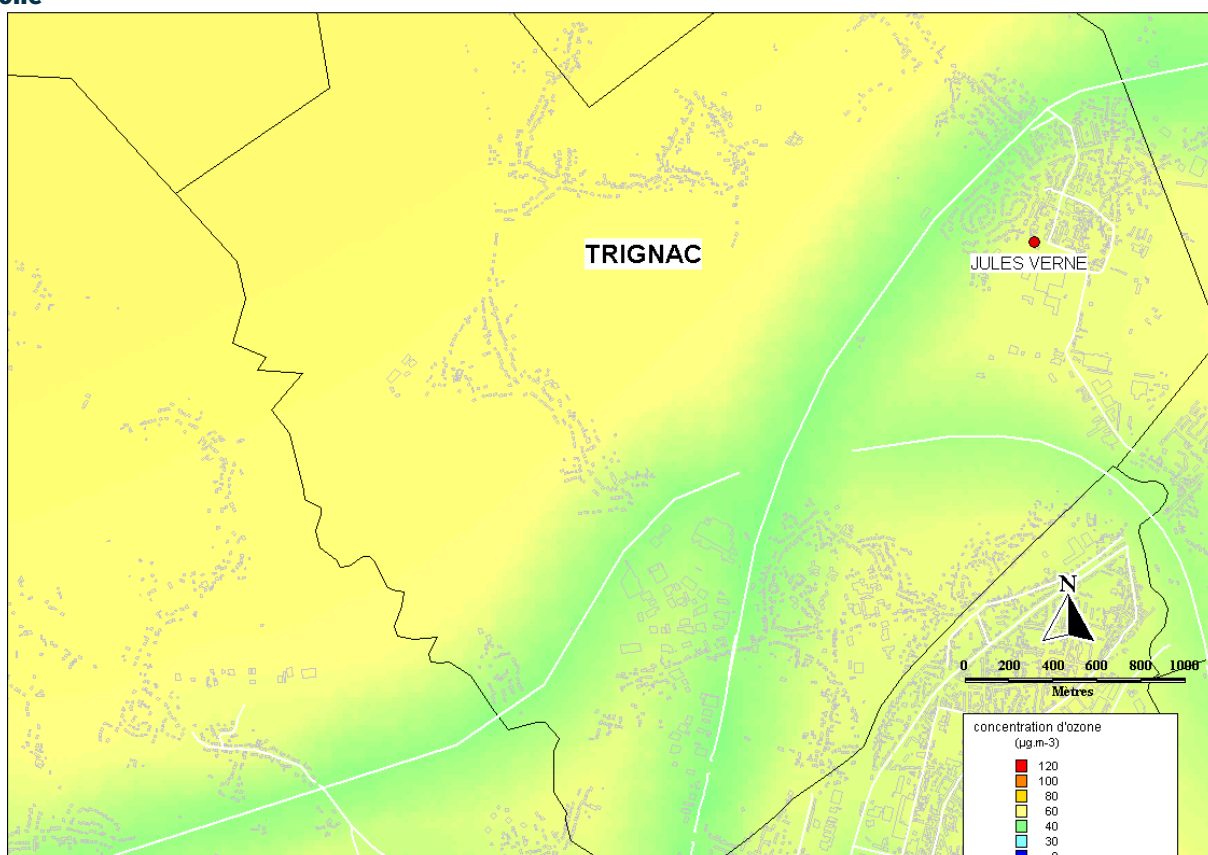


Figure 32 : carte de la moyenne annuelle 2008 pour l'ozone

En dehors de la zone d'influence des deux axes à fort trafic où la teneur en ozone est en moyenne inférieure à  $60 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ , la concentration d'ozone est uniformément répartie entre 60 et  $80 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ .

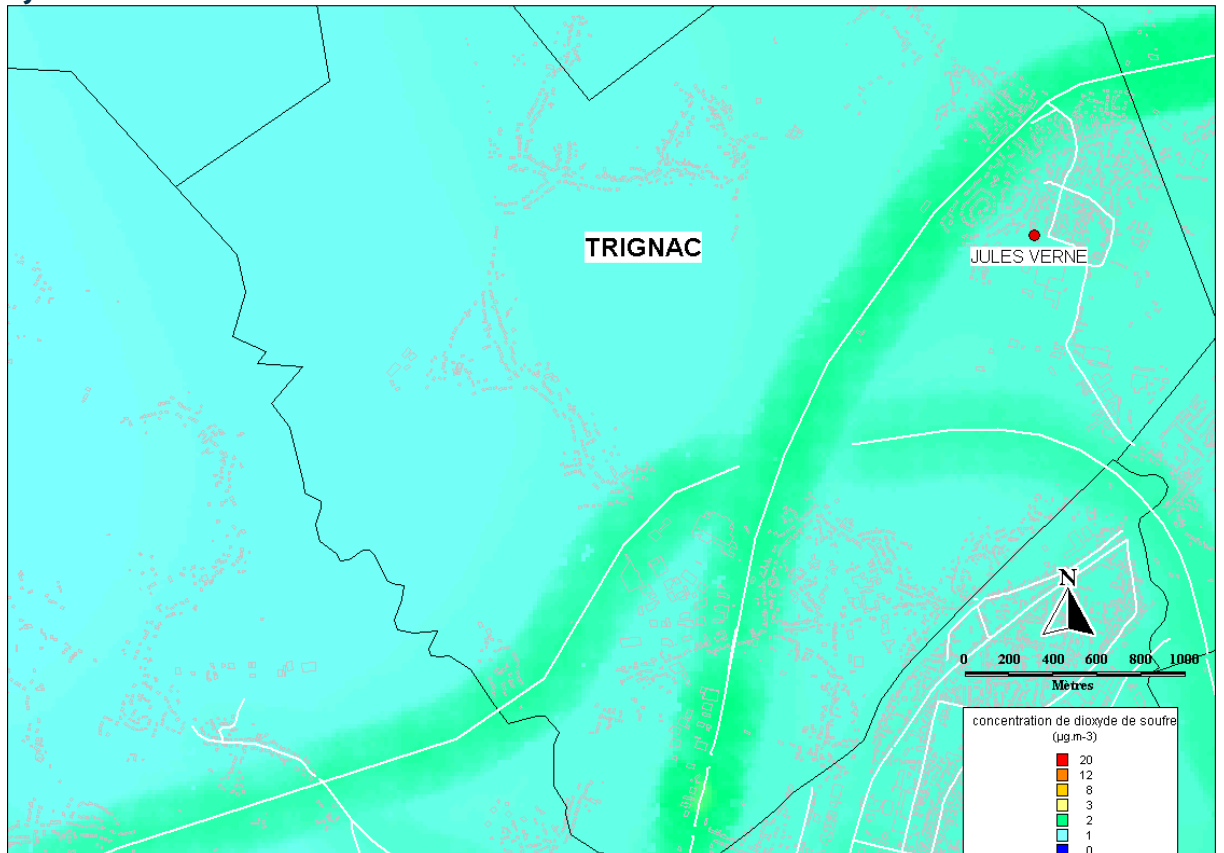
**dioxyde de soufre**

Figure 33 : carte de la moyenne annuelle 2008 pour le dioxyde de soufre

Les concentrations de dioxyde de soufre sont très faibles. Elles dépassent à peine les 2 µg.m<sup>-3</sup> autour des voies rapides alors que la valeur limite annuelle est fixée à 20 µg.m<sup>-3</sup>.

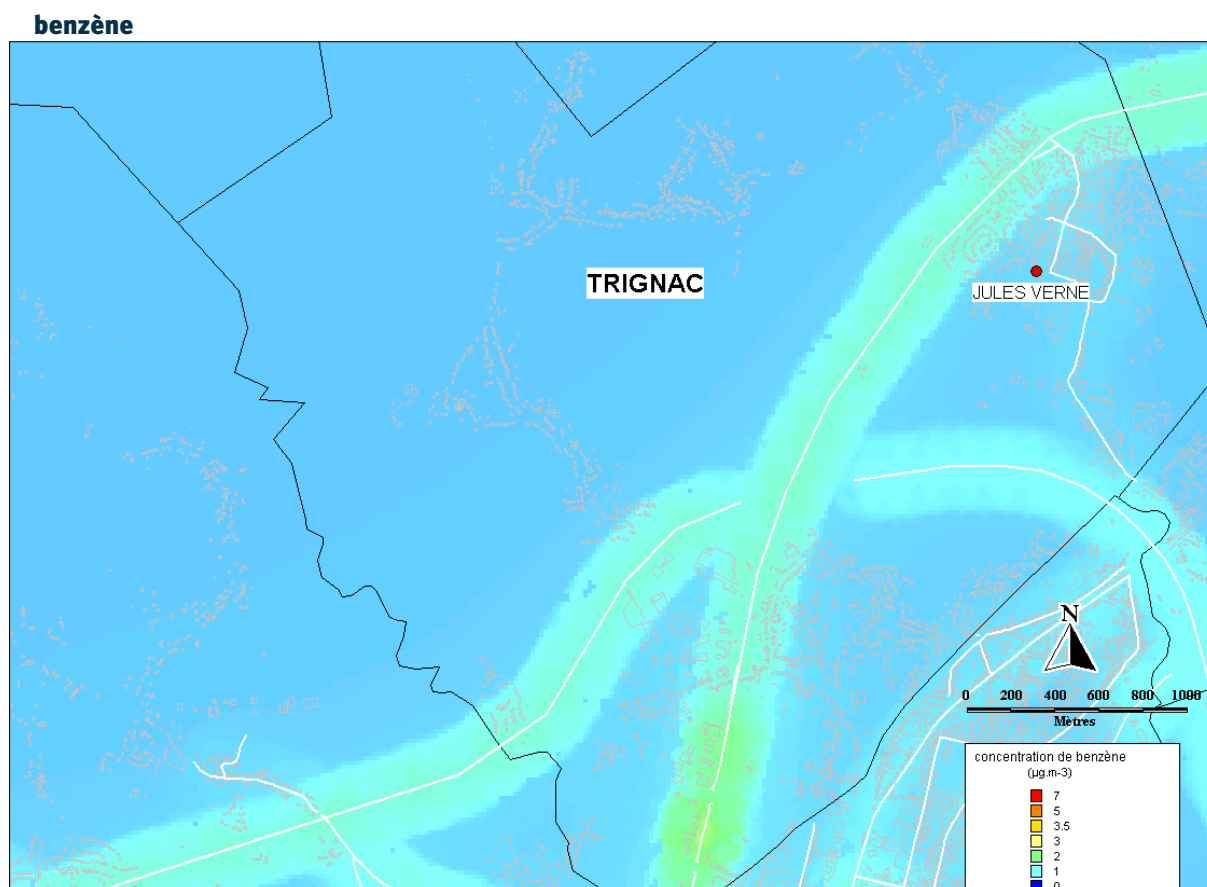


Figure 34 : carte de la moyenne annuelle 2008 pour le benzène

Les moyennes annuelles des concentrations de benzène ne dépassent que très localement  $1 \mu\text{g.m}^{-3}$  dans les zones à proximité des axes de circulation et  $2 \mu\text{g.m}^{-3}$  sur la pénétrante de Saint-Nazaire (RN471) alors que la valeur limite annuelle est fixée à  $7 \mu\text{g.m}^{-3}$  en 2008.



### monoxyde de carbone

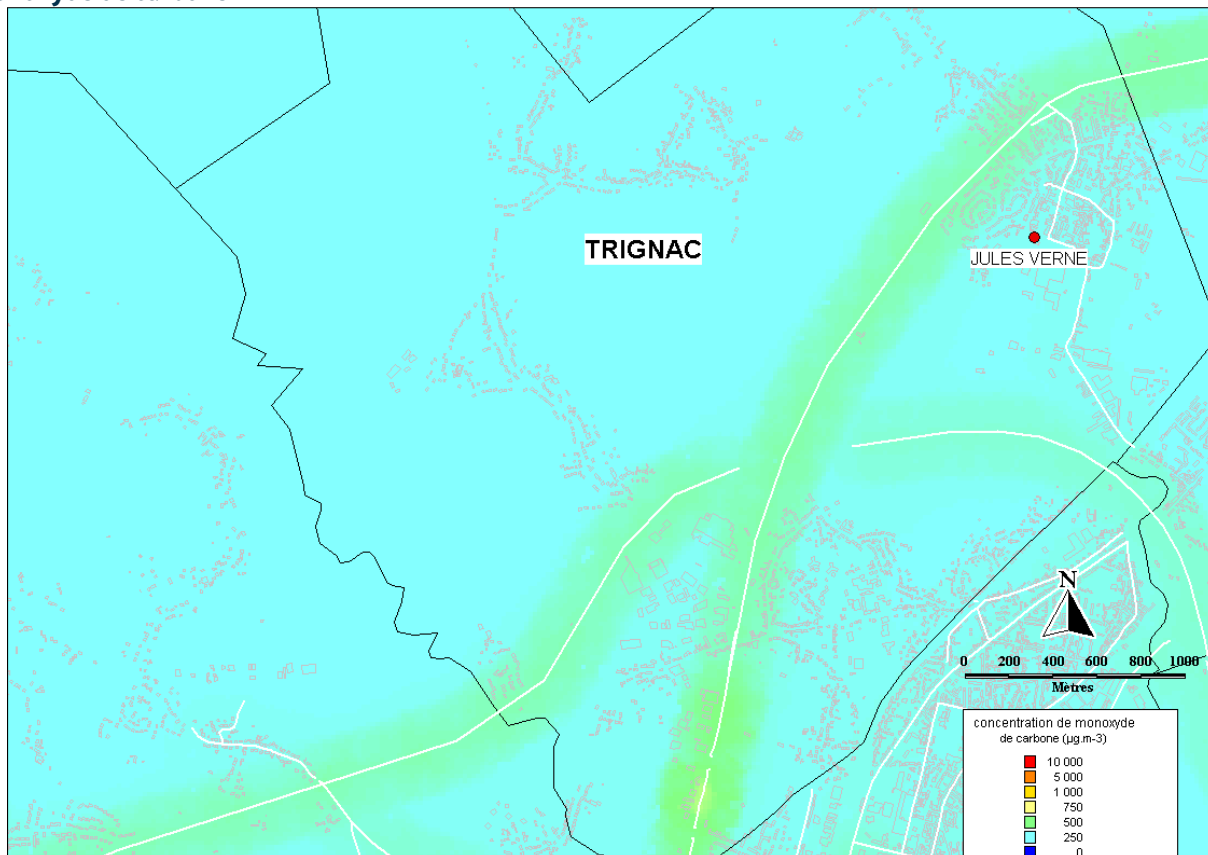


Figure 35 : carte de la moyenne annuelle 2008 pour le monoxyde de carbone

Le constat est le même pour le monoxyde de carbone qui en moyenne sur l'année est très peu élevé puisque le seuil de  $500 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$  est uniquement atteint à proximité des deux voies express.

## annexe 12 : cartes de percentiles 98 complémentaires

### cartes de Saint-Nazaire

Les cartes ci-dessous présentent les niveaux de pointes des principaux polluants sur le centre urbain de Saint-Nazaire.

#### ozone

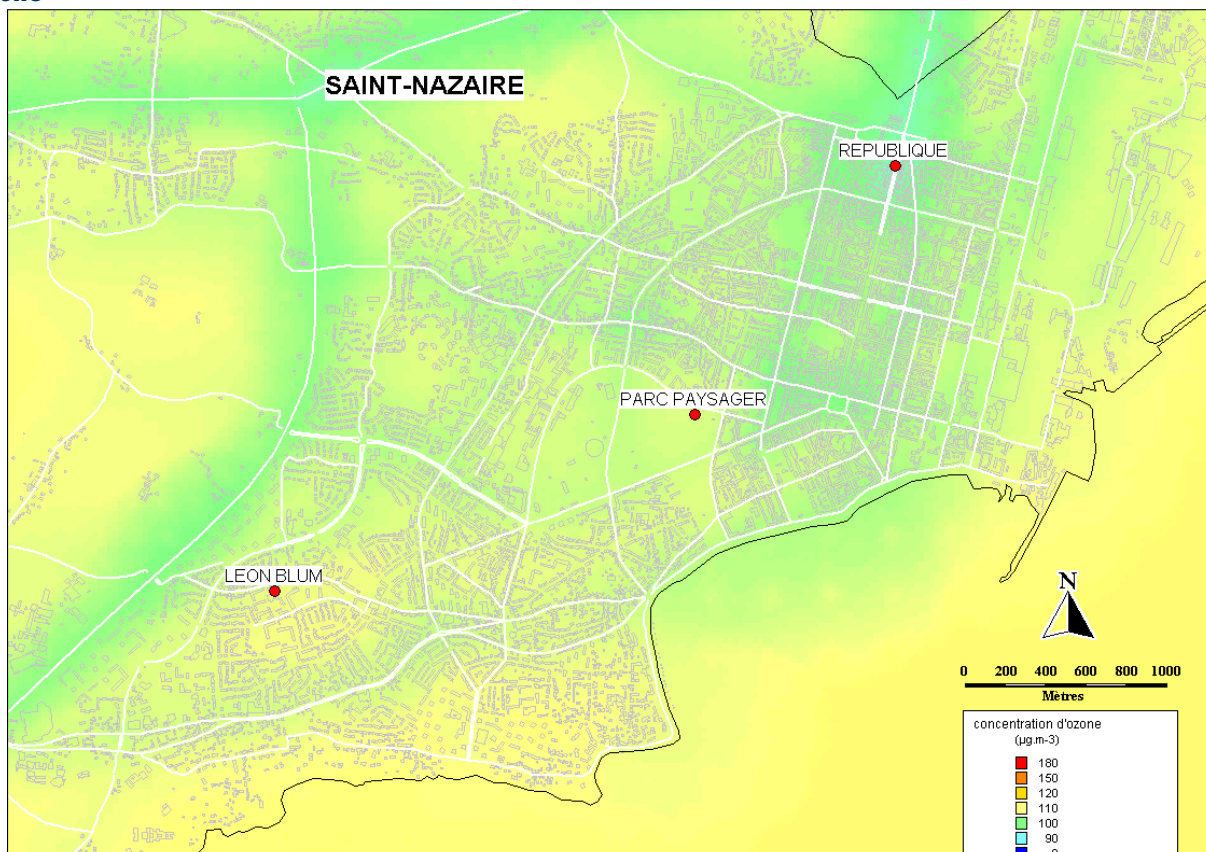


Figure 36 : carte du percentile 98 de l'année 2008 pour l'ozone

De part la densité de son réseau de brins routiers, le centre ville de Saint-Nazaire est relativement préservé des pics de pollution par l'ozone. Alors que les niveaux de pointes sur l'océan et dans les zones moins denses atteignent les  $110 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ , la majorité du centre-ville se situent dans la plage entre 100 et  $110 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ .

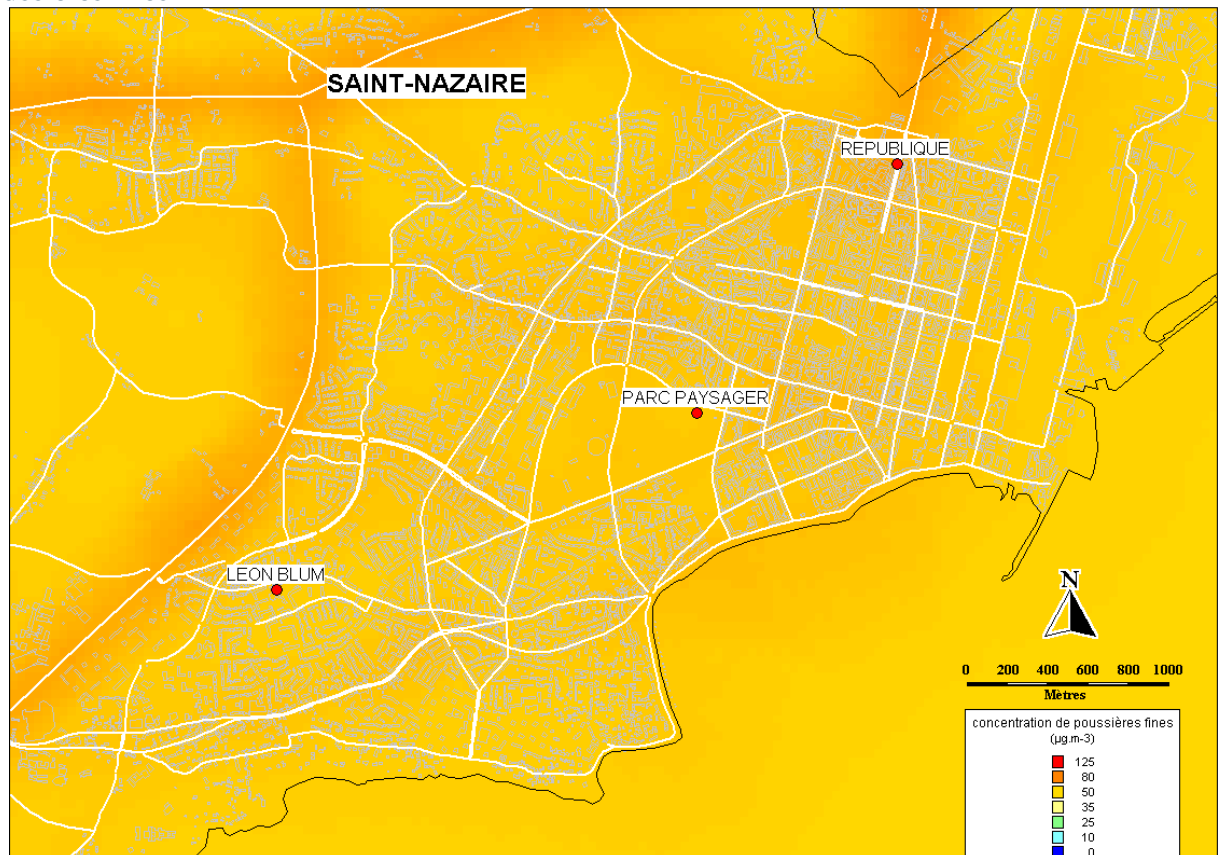
**poussières fines**

Figure 37 : carte du percentile 98 de l'année 2008 pour les poussières fines

La répartition des concentrations maximales de poussières fines est très uniforme sur le territoire de Saint-Nazaire. Elles se situent autour de  $50 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ . Seules les grandes voies de circulation (RD492, RN471) ressortent de la carte car elles dépassent les  $80 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ .

**dioxyde de soufre**

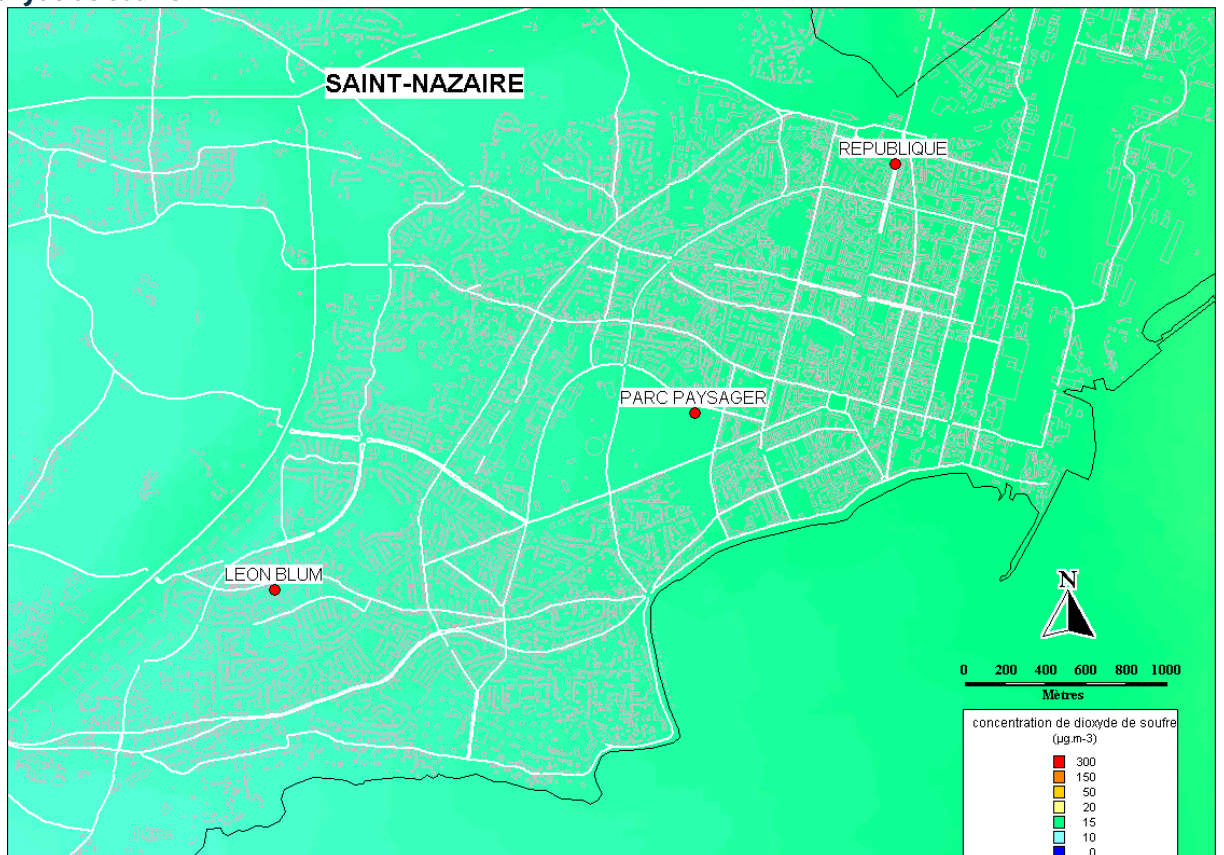


Figure 38 : carte du percentile 98 de l'année 2008 pour le dioxyde de soufre

Les valeurs maximales des concentrations de dioxyde de soufre sont très faibles sur le centre de Saint-Nazaire puisqu'elles se situent entre 15 et 20 µg.m<sup>-3</sup>.

L'influence du réseau routier n'est ici pas perceptible.

### monoxyde de carbone

La carte sur centre urbain de Saint-Nazaire présente les niveaux de pointes les plus élevés :

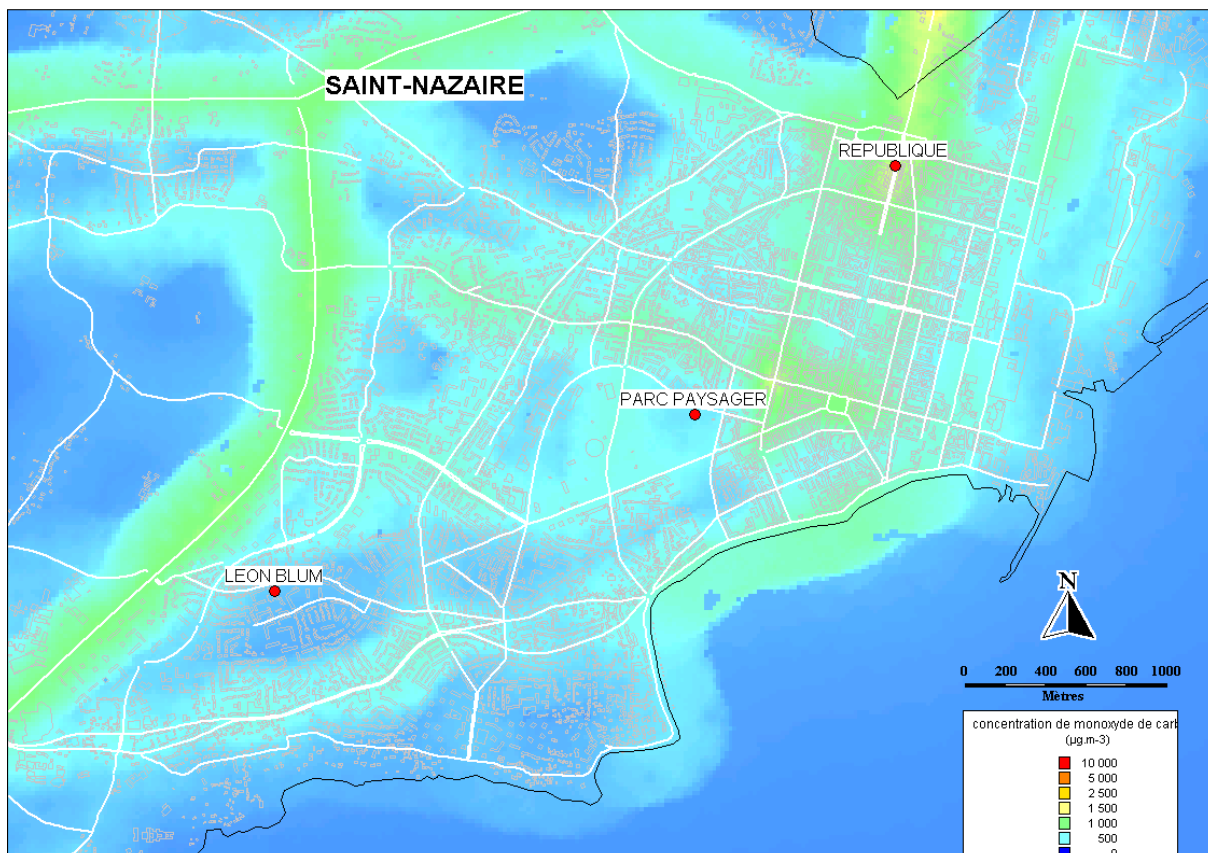


Figure 39 : carte du percentile 98 de l'année 2008 pour le monoxyde de carbone

Les teneurs en monoxyde de carbone sont également liées au trafic routier comme le montre cette carte du centre ville de Saint-Nazaire où les niveaux de pointes atteignent 1 000 µg.m<sup>-3</sup> aux abords des voies de plus forte circulation.

Cependant, les valeurs simulées restent faibles par rapport à la valeur limite fixée à 10 000 µg.m<sup>-3</sup> en moyenne sur huit heures.



## cartes de Pornichet

Les cartes présentées ci-dessous représentent les niveaux de pointe atteints sur la commune de Pornichet en 2008.

### ozone

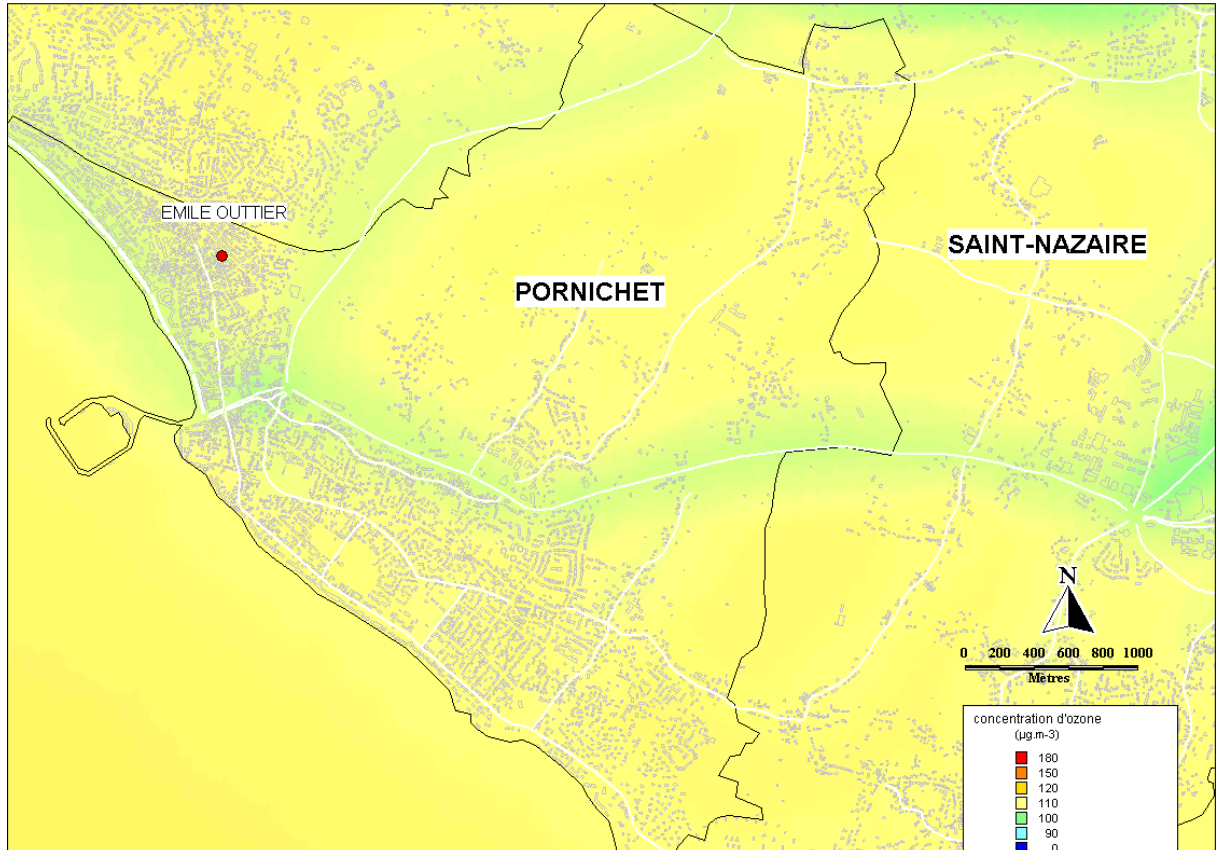


Figure 40 : carte du percentile 98 de l'année 2008 pour l'ozone

Les concentrations les plus importantes d'ozone en 2008 sont assez uniformément réparties entre 110 et 120  $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ . Les axes de circulation cités précédemment comme de forts émetteurs d'oxyde d'azote apparaissent ici comme des « puits » d'ozone.



**poussières fines**

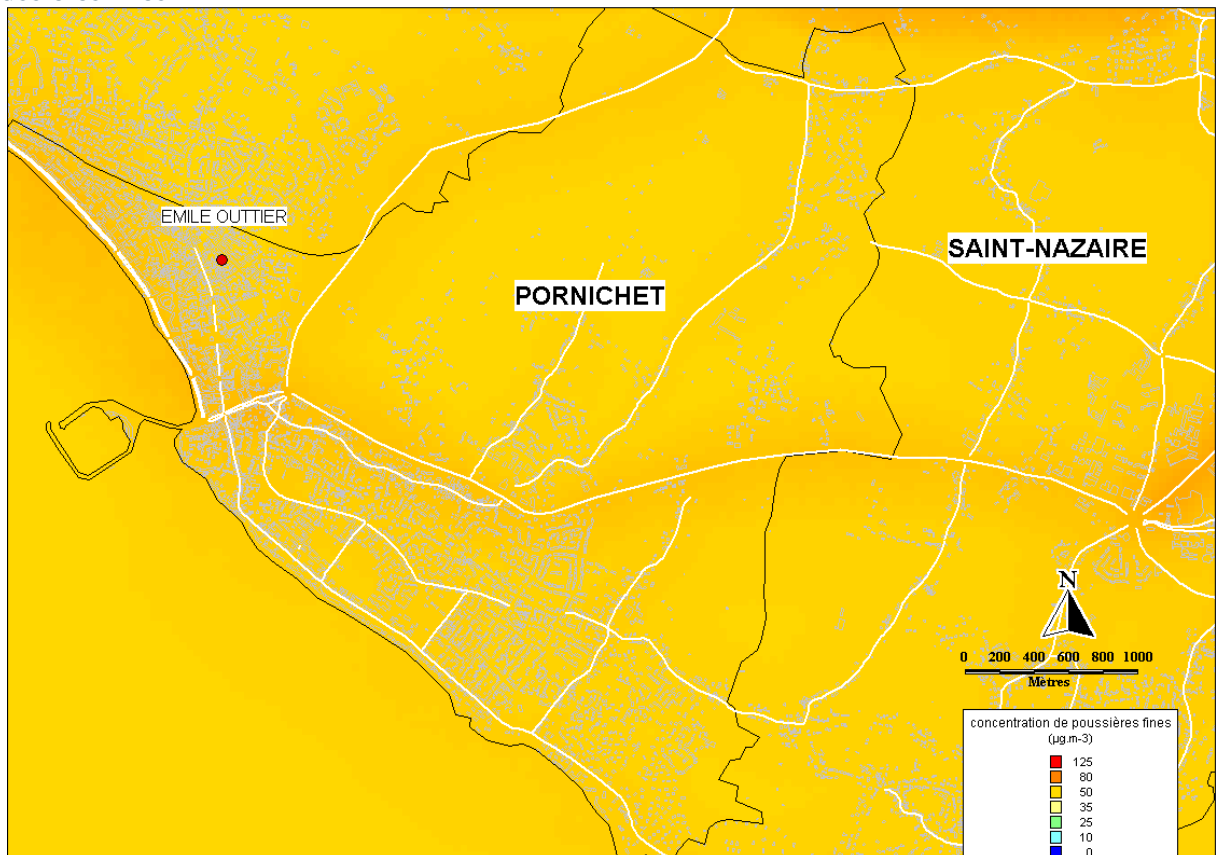


Figure 41 : carte du percentile 98 de l'année 2008 pour les poussières fines

Les niveaux de pointe de poussières fines sont très homogènes sur l'ensemble de la carte ci-dessus. Ils se situent entre 50 et 80 µg.m<sup>-3</sup>. L'influence des trois principaux axes est à peine perceptible ici.

### dioxyde de soufre

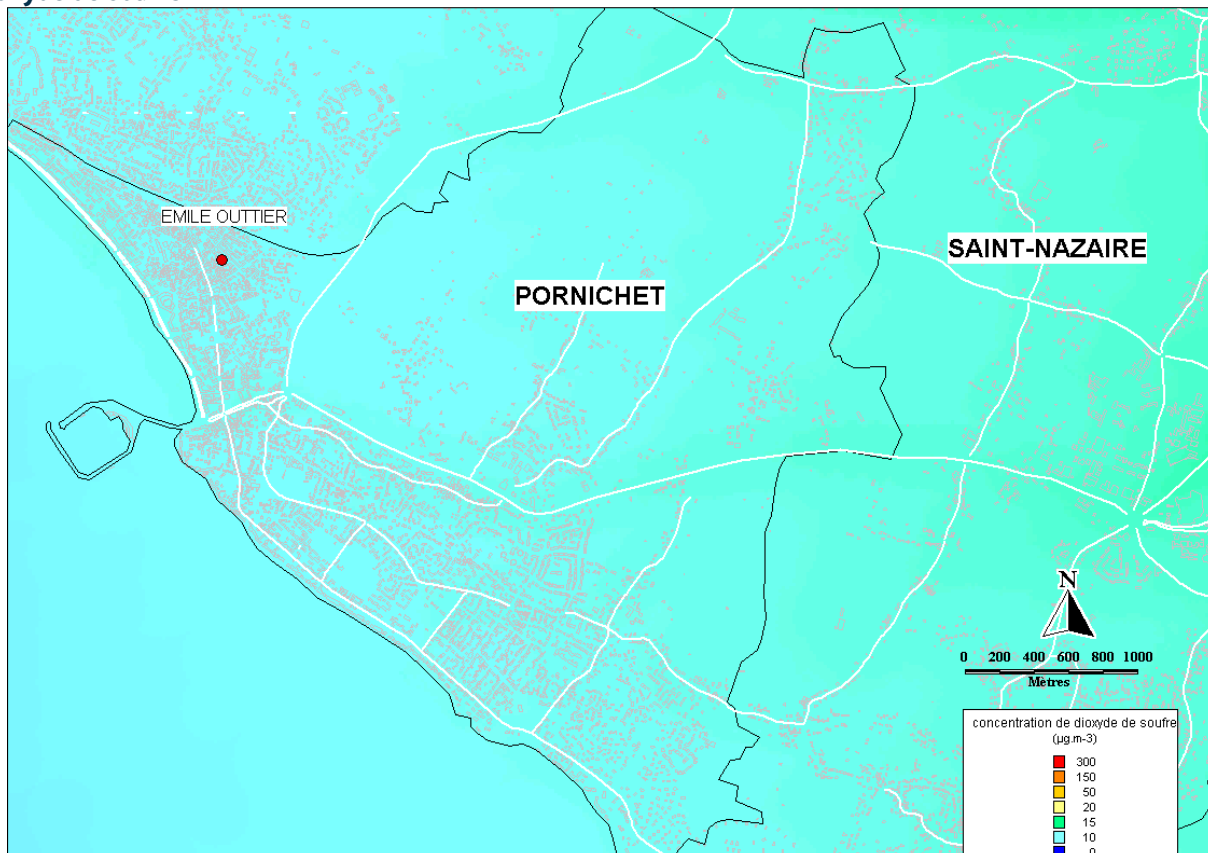


Figure 42 : carte du percentile 98 de l'année 2008 pour le dioxyde de soufre

Les concentrations de pointes de dioxyde de soufre sont très faibles sur la commune de Pornichet.

**monoxyde de carbone**

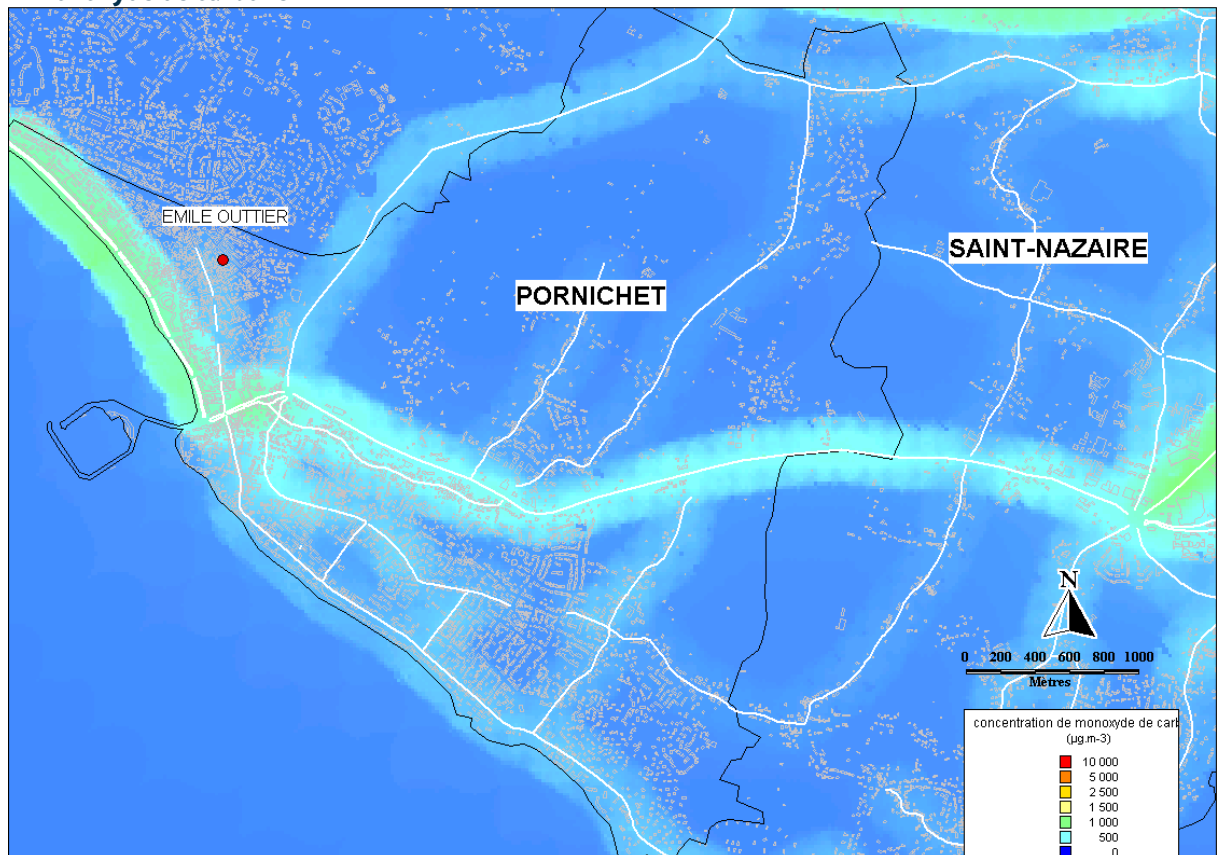


Figure 43 : carte du percentile 98 de l'année 2008 pour le monoxyde de carbone

Les niveaux de pointe du monoxyde de carbone simulé sur Pornichet atteignent  $1000 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$  sur le boulevard côtier (bd des Océanides) et sur le boulevard de Saint-Nazaire. Ces concentrations sont très faibles.

## cartes de Trignac

Les cartes ci-dessous représentent un indicateur des concentrations les plus élevées simulées sur la commune de Trignac en 2008.

### ozone

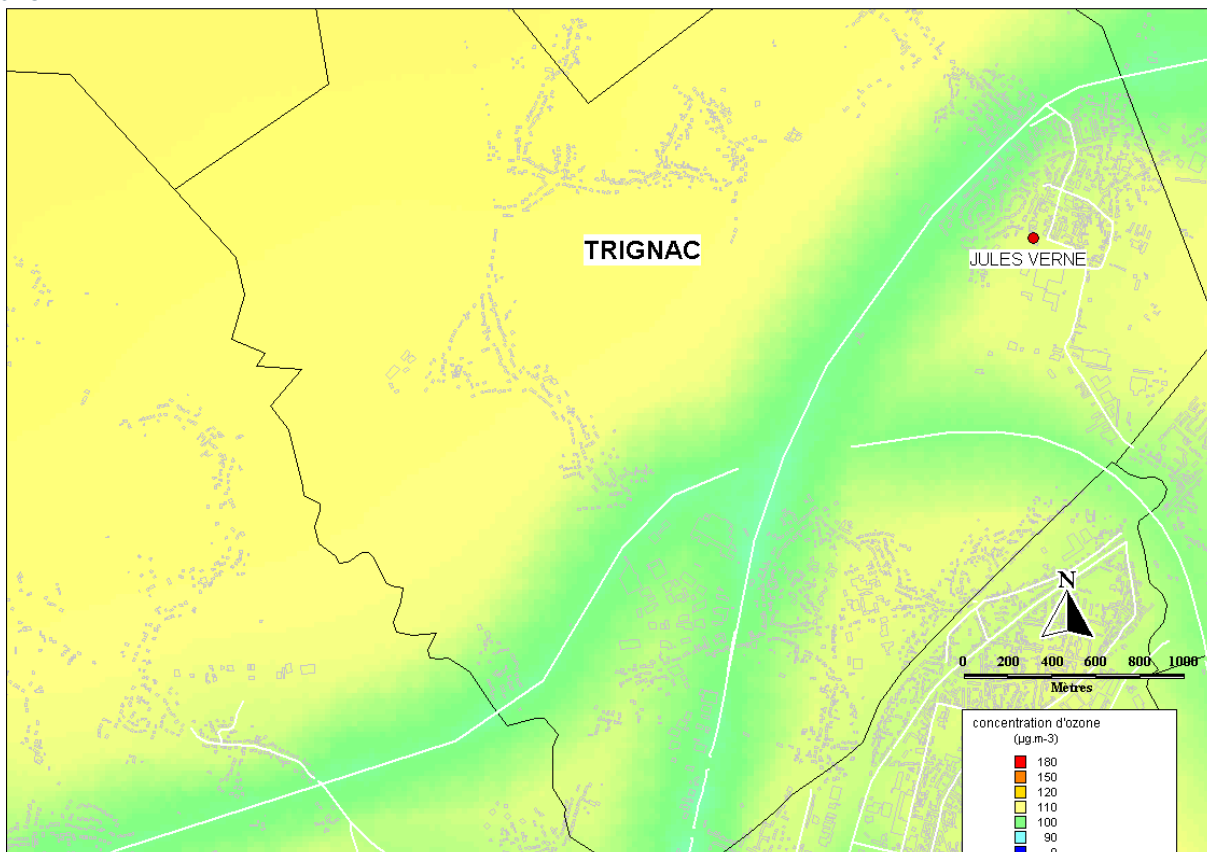


Figure 44 : carte du percentile 98 de l'année 2008 pour l'ozone

Les deux grandes voies de circulation étant de forts émetteurs d'oxydes d'azote qui consomment une partie de l'ozone présent dans l'atmosphère apparaissent sur la carte comme des zones avec une plus faible pollution à l'ozone.

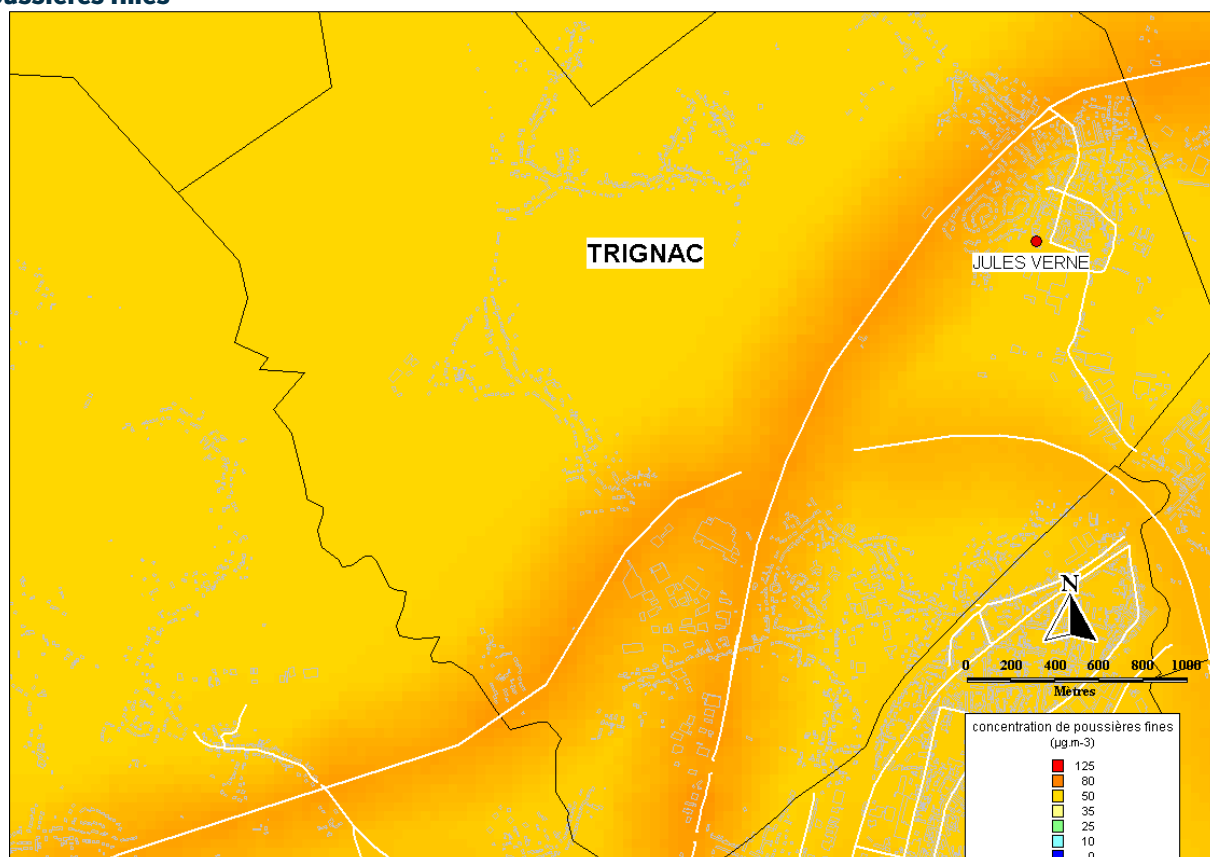
**poussières fines**

Figure 45 : carte du percentile 98 de l'année 2008 pour les poussières fines.

La carte ci-dessus fait ressortir assez nettement les concentrations élevées aux abords des deux voies express qui dépassent les 80 µg.m<sup>-3</sup> alors que le reste de la commune est caractérisé par des épisodes de pointes entre 50 et 80 µg.m<sup>-3</sup>.

### monoxyde de carbone

La carte centrée sur Trignac fait ressortir les grands axes :

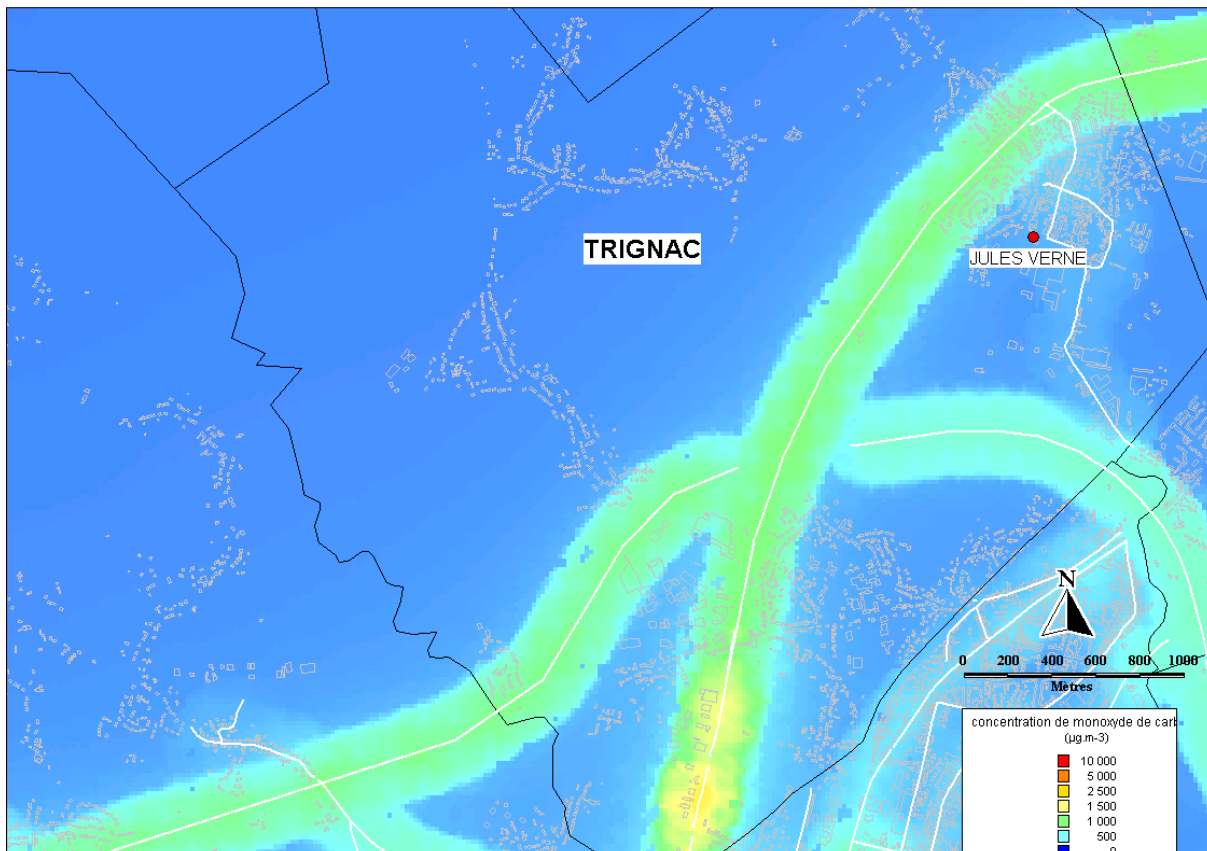


Figure 46 : carte du percentile 98 de l'année 2008 pour le monoxyde de carbone.

Les concentrations de pointe en monoxyde de carbone produites par le modèle sont basses même si à proximité des deux grandes voies de circulation des valeurs supérieures à  $1\,000\ \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$  sont simulées voire  $1\,500\ \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$  la pénétrante de Saint-Nazaire (RN471).



# bibliographie

[1] Charles Beugard (ATMO Nord Pas de Calais), Hervé Chanut (ATMO Rhône-Alpes), Hakim Chérigui (ATMO Nord Pas de Calais), Jérôme Cortinovis (AIRNORMAND), Fabrice Dugay (AIRPARIF), Julien Galineau (AIRLOR), Cécile Honoré (AIRPARIF), Agnès Hulin (ATMO Poitou-Charentes), Gaëlle Luneau (ATMO PACA), Arnaud Rebours (AIR Pays de la Loire), Charles Schillinger (ASPA) et Florence Troude (ATMO Rhône-Alpes), Simulation de l'exposition des populations à la pollution atmosphérique – guide d'application pour une résolution spatiale fine en milieu urbain, 23/07/2009- en cours de validation

# glossaire

## abréviations

$\mu\text{g.m}^{-3}$	microgramme (= 1 millionième de gramme) par mètre cube
Aasqa	Association agréée de surveillance de la qualité de l'air
ADMS	Atmospheric Dispersion Modeling System
ASPA	l'Association pour la Surveillance et l'étude de la Pollution atmosphérique en Alsace
BD Topo	Base de Données Topographique produit par l'Institut Géographique National (IGN) français
$\text{C}_6\text{H}_6$	benzène
CARENE	Communauté d'Agglomération de la Région Nazairienne et de l'Estuaire
CCFA	Comité des Constructeurs Français d'Automobiles
CERC	Cambridge Environmental Research Consultants
CETE	Centre d'Études Techniques de l'Équipement
CIRCUL'AIR	outil de calcul des émissions routières
CITEPA	Centre Interprofessionnel Technique d'Etudes sur la Pollution Atmosphérique
CO	monoxyde de carbone
COPERT IV	méthodologie de calcul des émissions routières
COV	composés organiques volatils
CPU	Central Processing Unit
CSHPF	Conseil supérieur d'hygiène publique de France
DAVIS	modèle de trafic mis en œuvre par le CETE
DF	Dimanche et Jour Férié
ELFE	Etude Longitudinale Française depuis l'Enfance
EURO NCAP	European New Car Assessment Program
GNV	Gaz Naturel de Ville
GPL	Gaz de Pétrole Liquéfié
INRETS	Institut National de Recherche sur les Transports et leur Sécurité
INSEE	Institut National de la Statistique et des Etudes Economiques
IRIS	plateforme régionale de prévision de la qualité de l'air sur les Pays de la Loire
JO	Jour ouvré
LMO	longueur minimale de Monin Obukov
MEEDDM	Ministère de l'Ecologie, de l'Energie, du Développement Durable et de la Mer
MySql	Système de Gestion de base de Données
NMSE	Normal Mean Squared Error
$\text{NO}_2$	dioxyde d'azote
$\text{NO}_x$	oxydes d'azote (= dioxyde d'azote + monoxyde d'azote)
NUMTECH	Société qui commercialise ADMS-urban en France
$\text{O}_3$	ozone
OMS	Organisation mondiale de la santé
OSPM	Operational Street Pollution Model
$\text{PM}_{10}$	particules en suspension de diamètre aérodynamique inférieur à 10 $\mu\text{m}$
$\text{PM}_{2,5}$	particules en suspension de diamètre aérodynamique inférieur à 2,5 $\mu\text{m}$
ProgHW	outil de calcul des caractéristiques des rues développé par l'école centrale de Lyon
R	logiciel libre de traitement statistique de données
RD	Route Départementale
RMSE	Random Mean Squared Error
RN	Route Nationale
SIG	Système d'information Géographique
SIREDO	Système informatisé de recueil de données du réseau routier et autoroutier français
$\text{SO}_2$	dioxyde de soufre
SVF	Samedi et Veille de Jour Férié
TMJA	taux de véhicules moyen journalier annuel
TU	temps universel

## définitions

année civile	période allant du 1er janvier au 31 décembre
AOT <sub>40</sub>	somme des différences entre les moyennes horaires supérieures à 80 µg/m <sup>3</sup> et 80 µg/m <sup>3</sup> , calculée sur l'ensemble des moyennes horaires mesurées entre 8 h et 20 h de mai à juillet
heure TU	heure exprimée en Temps Universel (= heure solaire)
hiver	période allant du 1er octobre au 31 mars
moyenne 8-horaire	moyenne sur 8 heures
percentile x	niveau de pollution respecté par x % des données de la série statistique considérée
taux de représentativité	pourcentage de données valides sur une période considérée
valeur cible	niveau de pollution fixé dans le but d'éviter à long terme des effets nocifs sur la santé humaine et/ou l'environnement, à atteindre là où c'est possible sur une période donnée

## précisions sur les calculs statistiques

Sauf indication contraire, les données de base utilisées dans les calculs statistiques sont bimensuelles pour les BTX, journalières pour les fumées noires et horaires pour les autres paramètres mesurés. Les calculs statistiques annuels sont validés seulement si au moins 75% des données sont valides sur l'année et s'il n'existe aucune période sans donnée de plus de 720 heures consécutives dans l'année. Pour le calcul de l'AOT<sub>40</sub>, 90% de données valides sont exigées. Les mesures indicatives sont considérées comme représentatives si l'air est prélevé pendant au moins 14 % de l'année (sauf pour l'ozone : plus de 10 % sur l'été et les dépôts totaux en HAP : 33 % de l'année).

# airpays de la loire

7, allée Pierre de Fermat – CS 70709 – 44307 Nantes cedex 3

**Tél + 33 (0)2 28 22 02 02**

Fax + 33 (0)2 40 68 95 29

**[contact@airpl.org](mailto:contact@airpl.org)**

