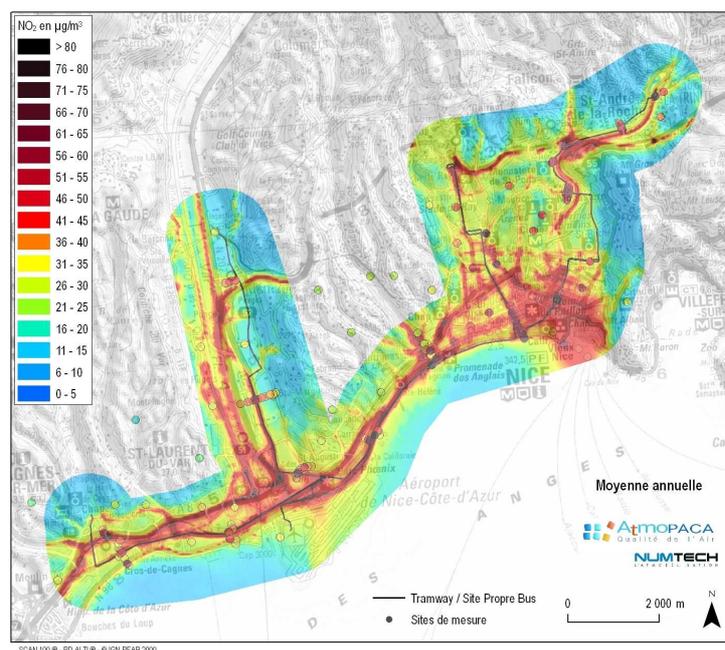




# ETAT INITIAL DE LA QUALITE DE L'AIR PROJET NCA-TRAMWAY



## BILAN TECHNIQUE MESURES, EMISSIONS, MODELISATIONS

AVEC LE CONCOURS DE **NUMTECH**  
L'ATMOMODELISATION

**Mots-cléf :**

---

Modélisation, état initial, qualité de l'air, NCA, Nice, tramway

**Auteurs :** Alexandre Armengaud, Céline Pesin, Marie-Noëlle Rolland, Frédéric Pradelle

**Relecteurs :** Gaëlle Luneau, Jonathan Virga, Florence Peron, Carole Génévé

# SOMMAIRE

<b>1. CONTEXTE ET OBJECTIFS</b>	<b>5</b>
<b>2. LES MESURES DE LA QUALITE DE L'AIR</b>	<b>7</b>
2.1. CARACTERISATION DE LA ZONE D'ETUDE	7
2.1.1. ENVIRONNEMENT GENERAL DE NCA	7
2.1.2. LA ZONE D'ETUDE	8
2.2. PARAMETRES MESURES	8
2.2.1. PARAMETRES PHYSICO-CHIMIQUES	8
2.2.2. PARAMETRES METEOROLOGIQUES	9
2.3. MOYENS MIS EN ŒUVRE	9
2.3.1. PRELEVEURS ACTIFS OU ANALYSEURS PHYSICO-CHIMIQUES	9
2.3.2. LES ECHANTILLONNEURS PASSIFS	11
2.4. CALENDRIER RECAPITULATIF DES MOYENS UTILISES	13
2.5. RESULTATS DES CAMPAGNES DE MESURES	14
2.5.1. DIOXYDE D'AZOTE (NO <sub>2</sub> )	14
2.5.2. LES HYDROCARBURES POLYCYCLIQUES (HAP)	37
2.5.3. BENZÈNE (C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> ), TOLUÈNE (C <sub>7</sub> H <sub>8</sub> ), XYLÈNES (C <sub>8</sub> H <sub>10</sub> )	40
2.5.4. PARTICULES EN SUSPENSION (PM <sub>10</sub> ET PM <sub>2,5</sub> )	56
2.5.5. MONOXYDE DE CARBONE (CO)	62
2.5.6. OZONE (O <sub>3</sub> )	65
2.5.7. DIOXYDE DE SOUFRE (SO <sub>2</sub> )	69
<b>3. LES EMISSIONS SUR LE TERRITOIRE DE NCA</b>	<b>71</b>
3.1. UN NOUVEL INVENTAIRE	71
3.2. METHODOLOGIE	71
3.3. BILAN D'EMISSIONS	73
3.4. ANALYSE SECTORIELLE ET GEOGRAPHIQUE DES EMISSIONS	74
<b>4. MODELISATION DE LA DISPERSION DES POLLUANTS</b>	<b>82</b>
4.1. MODELE ADMS-URBAN	82
4.1.1. MODELE MATHEMATIQUE DE DISPERSION	82
4.1.2. ECHELLE SPATIALE	82
4.1.3. PRINCIPAUX MODULES INTEGRES AU SYSTEME	83
4.1.4. PRINCIPALES DONNEES D'ENTREE	83
4.1.5. TYPES DE SORTIES ET RESULTATS ISSUS DE ADMS	83
4.2. PHENOMENES PHYSIQUES PRIS EN COMPTE	84
4.3. MODELISATION DE L'AGGLOMERATION NIÇOISE	85
4.3.1. DOMAINE D'ETUDE	85
4.3.2. TOPOGRAPHIE ET NATURE DES SOLS	88
4.3.3. METEOROLOGIE	89
4.3.4. LES POLLUANTS	91
4.4. INTEGRATION DES DONNEES D'EMISSION	92
4.4.1. DETAIL DES EMISSIONS INTEGrees	92
4.4.2. CADASTRE KILOMETRIQUE DES EMISSIONS	93
4.4.3. GRANDES SOURCES PONCTUELLES (GSP)	96
4.4.4. TRAFIC ROUTIER PRINCIPAL	96
4.4.5. RESEAU ROUTIER SECONDAIRE	98
4.4.6. AUTRES SOURCES	99
4.5. EVALUATION DE LA CHAINE DE MODELISATION	100

4.6.	PROCEDURES DE CALAGE MODELE / MESURE .....	101
4.6.1.	METHODOLOGIE .....	101
4.6.2.	OPTIMISATION DE LA MODELISATION DANS LE CADRE DE L'ETUDE DU TRAMWAY .....	102
4.6.3.	SENSIBILITE DE LA MODELISATION A LA POLLUTION DE FOND .....	102
4.6.4.	SENSIBILITE DE LA MODELISATION A LA DESCRIPTION DE L'ENVIRONNEMENT .....	103
4.6.5.	SENSIBILITE DE LA MODELISATION AUX DONNEES METEOROLOGIQUES .....	103
4.6.6.	SENSIBILITE DE LA MODELISATION A LA DESCRIPTION DES SOURCES DU RESEAU ROUTIER SECONDAIRE .....	103
<b>5.</b>	<b>RESULTATS ET CARTOGRAPHIES .....</b>	<b>105</b>
5.1.	PERIODE HIVERNALE .....	105
5.1.1.	CARTOGRAPHIES DES CONCENTRATIONS EN NO <sub>2</sub> , C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> ET PM <sub>10</sub> .....	105
5.1.2.	SYNTHESE .....	115
5.2.	PERIODE ESTIVALE .....	116
5.2.1.	CARTOGRAPHIES DES CONCENTRATIONS EN NO <sub>2</sub> , C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> ET PM <sub>10</sub> .....	116
5.2.2.	SYNTHESE .....	126
5.3.	PERIODE ANNUELLE .....	127
5.3.1.	CARTOGRAPHIES DES CONCENTRATIONS EN NO <sub>2</sub> , C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> ET PM <sub>10</sub> .....	127
5.3.2.	SYNTHESE .....	137
5.4.	PERSPECTIVES D'OPTIMISATION DE LA CHAINE DE MODELISATION .....	141
<b>6.</b>	<b>CONCLUSION GENERALE.....</b>	<b>143</b>
<b>7.</b>	<b>PERSPECTIVES : LES FUTURES PLATEFORMES URBAINES AUX SERVICES DES COMMUNAUTES D'AGGLOMERATIONS .....</b>	<b>146</b>
<b>8.</b>	<b>REFERENCES .....</b>	<b>149</b>
<b>9.</b>	<b>LISTE DES TABLEAUX ET FIGURES.....</b>	<b>150</b>
<b>10.</b>	<b>ANNEXE I : ROSE DES VENTS : AEROPORT DE NICE.....</b>	<b>154</b>
<b>11.</b>	<b>ANNEXE II : PRESENTATION DU MODULE FLOWSTAR .....</b>	<b>155</b>
<b>12.</b>	<b>ANNEXE III : UTILISATION DES DONNEES DE POLLUTION DE FOND FONCTION DES DIRECTIONS DE VENT.....</b>	<b>156</b>
<b>13.</b>	<b>ANNEXE IV : DESCRIPTION DES ACTIVITES DEFINIES DANS L'INVENTAIRE DES EMISSIONS .....</b>	<b>157</b>
<b>14.</b>	<b>ANNEXE V : LONGUEUR DE MONIN OBUKHOV .....</b>	<b>158</b>
<b>15.</b>	<b>ANNEXE VI : INDICATEURS STATISTIQUES.....</b>	<b>159</b>

# 1. CONTEXTE ET OBJECTIFS

Dans le cadre de l'élaboration du dossier d'utilité publique pour l'extension du réseau des lignes du tramway de la communauté d'agglomération de Nice Côte d'Azur (NCA), Atmo PACA a effectué deux campagnes de mesures de la qualité de l'air entre mars et juillet 2008. L'objectif principal est d'évaluer l'état initial de la qualité de l'air dans la zone d'étude. L'année 2008 est l'année de référence.

Les cibles de cette étude sont :

- la caractérisation des niveaux de fond et de pointe de la pollution de l'air sur le tracé du futur tramway et dans son environnement proche,
- la comparaison des teneurs mesurées avec les normes actuelles avec une estimation des concentrations annuelles.

Le présent document fait suite aux trois documents précédents intitulés :

- Etat initial de la qualité de l'air projet NCA Tram : phase I. Mesures hiver 2008.
- Etat initial de la qualité de l'air projet NCA Tram : phase II. Mesures hiver, été 2008, estimation annuelle.
- Etat initial de la qualité de l'air projet NCA Tram : phase III : Modélisation hiver, été, année 2008.

Cette étude a pour objectif de cartographier le plus finement possible les concentrations en dioxyde d'azote (NO<sub>2</sub>), particules (PM10) et en benzène (C<sub>6</sub>H<sub>6</sub>) le long du trajet du futur tramway de NCA. Pour ce faire, il est proposé d'utiliser une méthode dite « déterministe » autrement dit, discrétiser la zone d'étude le plus finement possible et prendre en compte le cycle complet des polluants, depuis les émissions dans l'atmosphère jusqu'au dépôt en passant par le transport et la transformation chimique.

Cette méthode suppose en amont une connaissance approfondie des émissions surfaciques sur la zone d'étude. Elle offre un panel important de possibilités dans l'étude et la compréhension des phénomènes de pollution : il est en effet possible de disposer pour chaque heure d'une distribution 3D d'un polluant donné. De fait l'échelle de temps considérée pour la réalisation des cartographies peut aller de la moyenne horaire à la moyenne annuelle. Les cycles saisonniers peuvent aussi être appréhendés.

Dans ce contexte, Atmo PACA a choisi d'utiliser un des modèles d'agglomération de la nouvelle génération : ADMS-Urban. Le calage et la validation du modèle sur la ville de Nice ont été confiés à la société NUMTECH. Grâce à cette collaboration étroite, les cartes élaborées ont été calées avec le plus grand soin. Cette méthode a permis de restituer les concentrations moyennes sur une période estivale (été 2008), une période hivernale (hiver 2008) et les concentrations moyennes annuelles de trois polluants spécifiques à la pollution urbaine : le dioxyde d'azote, le benzène et les particules (PM10) dans une bande de 1km de part et d'autre du tracé du tramway. Le présent document rassemble la méthodologie mise en œuvre et les résultats obtenus lors de cette évaluation.

Un premier chapitre rassemble les résultats des campagnes de mesures.

Un second chapitre rappelle la méthodologie et les résultats du calcul des émissions sur l'ensemble du territoire de NCA.

Un troisième chapitre présente le modèle ADMS-Urban, la configuration employée pour modéliser l'état initial de la qualité de l'air ainsi que la méthodologie de calage modèle/mesure basée sur les résultats de deux campagnes de mesures réalisées par Atmo PACA du 6 mars au 2 avril 2008 (période hivernale) et du 4 juin au 3 juillet 2008 (période estivale) sur la région.

Un quatrième chapitre rassemble les résultats de modélisation qui comportent la restitution spatiale des concentrations moyennes en NO<sub>2</sub>, benzène et PM10 du modèle sous la forme de cartographies ainsi que l'évaluation des performances de la chaîne de modélisation. Le travail de modélisation est associé aux mesures effectuées en s'appuyant sur l'utilisation d'indicateurs statistiques.

Une dernière partie expose des pistes d'optimisation de la chaîne de modélisation dans le cadre de la mise en place de la plate-forme URBAN'AIR System sur la zone d'étude en discutant de la sensibilité des concentrations simulées aux données d'entrée.



## 2. LES MESURES DE LA QUALITE DE L'AIR

### 2.1. CARACTERISATION DE LA ZONE D'ETUDE

#### 2.1.1. ENVIRONNEMENT GENERAL DE NCA

Nice Côte d'Azur (NCA) est constituée de 24 communes regroupées dans une agglomération de 500 000 habitants, soit plus de la moitié du département des Alpes-Maritimes. En période touristique (150 000 résidences secondaires), NCA peut compter jusqu'à 670 000 habitants répartis sur 35 000 ha. La densité de population est très hétérogène, elle est en moyenne de 1 500 habitants/km<sup>2</sup>. L'espace littoral est très urbanisé avec Nice (346 900 habitants ; 4 771 habitants/km<sup>2</sup>) contrastant avec un espace rural montagneux peu habité comme le village de Coaraze (654 habitants, 38 habitants/km<sup>2</sup>). De larges zones restent faiblement peuplées.

L'occupation du sol est à 70 % naturelle. Sur les 35 000 ha, 2 % sont occupés par les centres urbains (700 ha), 23 % par un habitat résidentiel ou rural (8 050 ha), 2 % par les zones d'activités économiques (700 ha), 3 % par les équipements publics et les espaces verts urbains (1 050 ha), 5 % par des terres agricoles (1 750 ha) et 65 % par les forêts ou espaces naturels (22 750 ha).

La topographie est très hétérogène. Seulement 10 % de la surface du territoire est plane, le reste est vallonné voire montagneux, l'altitude varie du niveau zéro de la mer à 1 500 m d'altitude (Roca Sera : 1 504 m). Deux vallées irriguent la zone, les vallées du Var et du Paillon.

La Figure 1 présente ci-après la localisation et les principales caractéristiques du territoire de NCA.

L'économie de NCA est fortement axée sur les services ; l'industrie lourde est absente. La présence de l'aéroport de Nice Côte d'Azur génère un trafic annuel de 10 millions de passagers. L'incinérateur d'ordures ménagères de l'Ariane (SONITHERM) fait également partie de la zone d'étude. L'essentiel de la pollution atmosphérique est issu des transports routiers (cf. chapitre 3, « Les émissions sur le territoire de NCA », page 71).

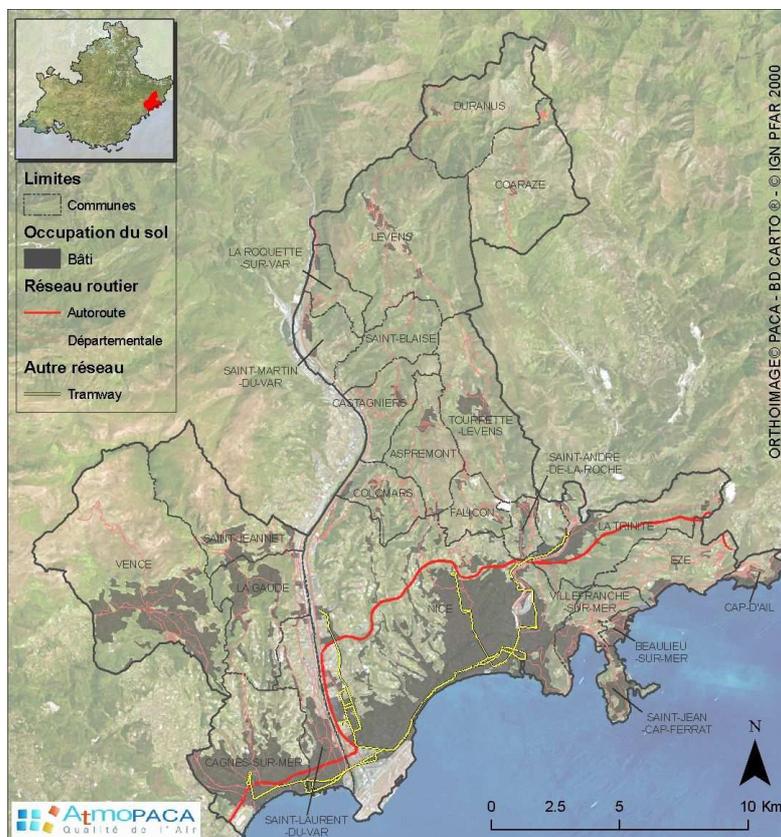


Figure 1 : Le territoire de NCA

## 2.1.2. LA ZONE D'ETUDE

La présente étude porte sur les futures lignes du tramway : T1 extension, T2 et T3.

Le secteur d'étude se situe en priorité sur le corridor de ces futurs axes, ce qui représente environ 27 km de linéaire (cf. Figure 2 ci-après). La largeur de ce corridor est déterminée suivant le schéma de déplacement urbain engendré par la création de ces nouveaux équipements. Les capteurs de mesures sont placés en priorité sur cette zone.

Des points de mesures sont également placés en sites de fond et sont nécessaires pour déterminer la pollution de fond de l'unité urbaine, ce qui induit **une zone d'étude plus large que le corridor des futures lignes** (cf. Figure 7 : Positionnement des préleveurs passifs, page 12).

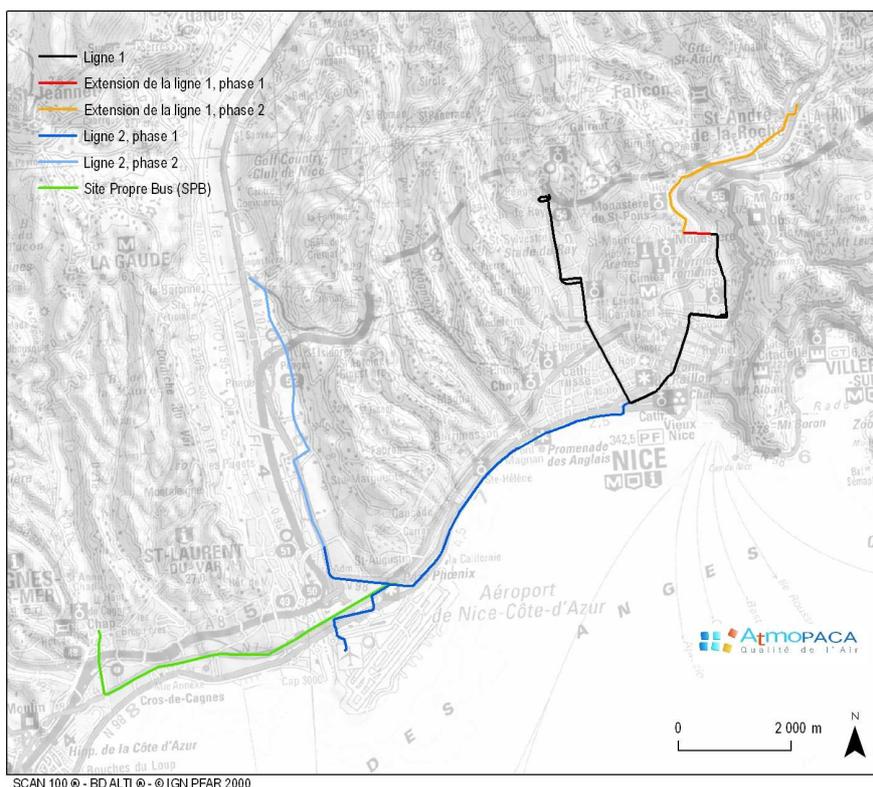


Figure 2 : Schéma directeur de l'extension du réseau tramway de NCA

## 2.2. PARAMETRES MESURES

### 2.2.1. PARAMETRES PHYSICO-CHIMIQUES

- NO/NO<sub>2</sub> (monoxyde et dioxyde d'azote) : traceur de la pollution automobile
- CO (monoxyde de carbone) : traceur de la pollution automobile
- PM<sub>10</sub>/PM<sub>2.5</sub> (particules en suspension) : traceur de la pollution automobile et industrielle selon les contextes
- O<sub>3</sub> (ozone) : traceur de la pollution photochimique
- SO<sub>2</sub> (dioxyde de soufre) : traceur de la pollution industrielle et des chauffages domestiques
- BTX (benzène, toluène et xylène) : traceur de la pollution automobile
- HAP (hydrocarbure polycyclique aromatique) : traceur de la pollution automobile

## 2.2.2. PARAMETRES METEOROLOGIQUES

- Température à 2 m
- Humidité
- Direction et vitesse de vent à 10 m

## 2.3. MOYENS MIS EN ŒUVRE

---

Pour cette étude, deux types de techniques de mesures ont été utilisés :

- Les préleveurs actifs : les analyseurs automatiques présents dans les stations permanentes, les laboratoires mobiles et le préleveur « DA80 » ;
- les échantillonneurs passifs (capteurs de NO<sub>2</sub> et BTX).

### 2.3.1. PRELEVEURS ACTIFS OU ANALYSEURS PHYSICO-CHIMIQUES

#### LES STATIONS PERMANENTES FIXES

Atmo PACA dispose de quatre stations fixes situées sur la zone d'étude (cf. Figure 3). Ces stations sont équipées d'analyseurs permanents et mesurent, sur un pas de temps quart horaire, plusieurs polluants et paramètres météorologiques.

Les stations fixes exploitées pour cette étude sont :

- Cagnes-sur-Mer Ladoumègue (station urbaine ; mesure en continu des NO<sub>x</sub>, PM<sub>10</sub>, O<sub>3</sub>, température) ;
- Nice Aéroport (station périurbaine ; mesure en continu des NO<sub>x</sub>, PM<sub>10</sub>, O<sub>3</sub>, SO<sub>2</sub>) ;
- Nice Ouest Botanique (station urbaine ; mesure en continu de O<sub>3</sub>, température) ;
- Nice Pellos (station trafic ; mesure en continu des NO<sub>x</sub>, CO, SO<sub>2</sub>).

La station de Cagnes-sur-Mer Ladoumègue, située à proximité de l'avenue de Nice, semble particulièrement intéressante du fait du prochain passage sur cet axe du futur tramway.

#### LES LABORATOIRES TEMPORAIRES MOBILES

Deux laboratoires mobiles ont été utilisés. Ils permettent la mesure en continu avec un pas de temps quart horaire de plusieurs polluants et de paramètres météorologiques. Ils sont équivalents aux stations fixes car équipés des mêmes types d'analyseurs (même méthodologie).

Les deux laboratoires mobiles ont été positionnés à proximité des voies pressenties pour accueillir le nouveau tramway (cf. Figure 3). Deux sites de mesures ont été sélectionnés pour réaliser un échantillonnage de plusieurs mois :

- le site de **La Trinité** (sur le parking de l'Ecole de Musique, Boulevard François Suarez) dont l'objectif est de donner l'état initial du niveau de fond de la qualité de l'air à proximité du futur terminus de l'extension de la ligne T1. Les polluants mesurés sont les NO<sub>x</sub>, PM<sub>2.5</sub>, O<sub>3</sub>, SO<sub>2</sub> et le CO. Plusieurs paramètres météorologiques sont également mesurés.
- le site de **la place Wilson** à Nice dont l'objectif est de fournir le niveau de pollution de fond d'une zone fortement urbanisée. Ce site est représentatif du paysage urbain traversé par la future ligne T2. Les polluants mesurés sont les NO<sub>x</sub>, PM<sub>2.5</sub> et O<sub>3</sub>.

#### LE PRELEVEUR HAUT DEBIT DA80

Cet appareil à haut débit (30 m<sup>3</sup>/h environ) permet des mesures en Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP) selon un échantillonnage journalier. Deux périodes de mesures de 28 jours ont été réalisées (du 15 avril au 15 mai et du 1<sup>er</sup> au 31 juillet 2008). Ces mesures sont les premières de ce type mises en œuvre dans les Alpes-Maritimes.

L'appareil a été placé sur la place Wilson à côté du laboratoire mobile (cf. Figure 5). L'objectif est de connaître les teneurs de fond de 7 HAP dont le benzo(a)pyrène (polluant réglementé) sur une zone très urbanisée de Nice.

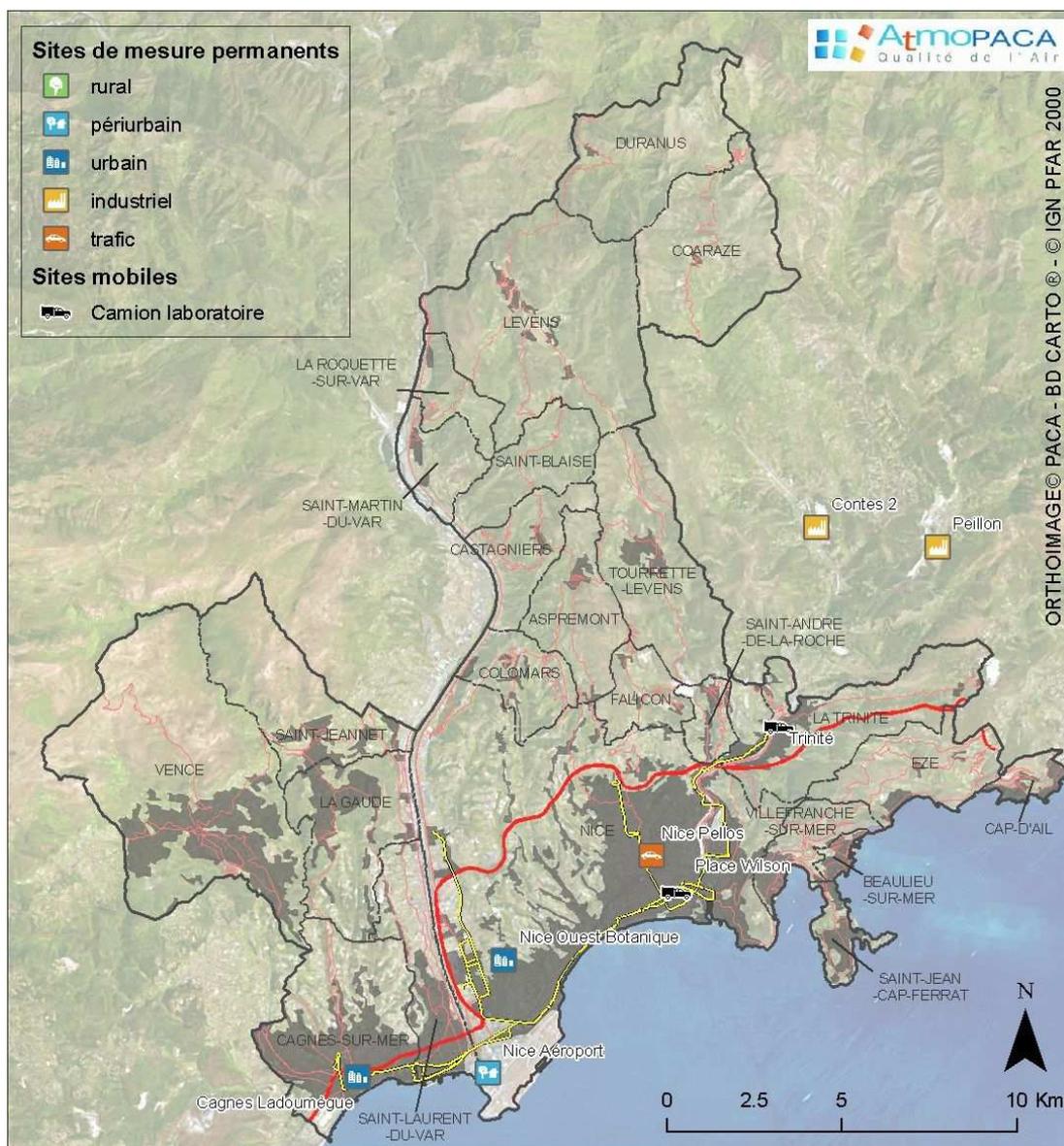


Figure 3 : Localisation des préleveurs actifs



Figure 4 : Laboratoire mobile



Figure 5 : DA80 et laboratoire mobile sur la Place Wilson à Nice

### 2.3.2. LES ECHANTILLONNEURS PASSIFS

Afin de disposer d'un échantillonnage plus important sur le domaine d'étude, deux campagnes de mesures par échantillonneurs passifs en NO<sub>2</sub> et BTX ont été réalisées (mars et juin 2008). Les capteurs se présentent sous la forme de « cartouches » de quelques centimètres de longueur et sont positionnés de la manière la plus homogène possible sur la zone d'étude. La répartition des points d'échantillonnage a été définie de façon à couvrir l'ensemble du domaine d'étude et à prendre en compte tous les types d'environnements : proximité du trafic, zone urbaine, zone rurale, transects afin d'observer l'« abattement » de la pollution de part et d'autre d'un axe. Un transect est une coupe perpendiculaire à un axe routier pour étudier l'évolution spatiale de la pollution de chaque côté de celui-ci. Ces transects seront commentés un à un dans la suite du document.



Figure 6 : Présentation des capteurs passifs

Chacune des deux campagnes de un mois et a été décomposée en deux séries de mesures de 15 jours. Chaque série contient plus de 160 mesures. Il est alors possible de reconstituer une estimation annuelle des niveaux de polluants sur chaque point échantillonné.

Le positionnement des capteurs passifs a été très conditionné par les tracés envisagés pour le futur tramway. Parmi les treize transects réalisés, dix ont été disposés le long des tracés.

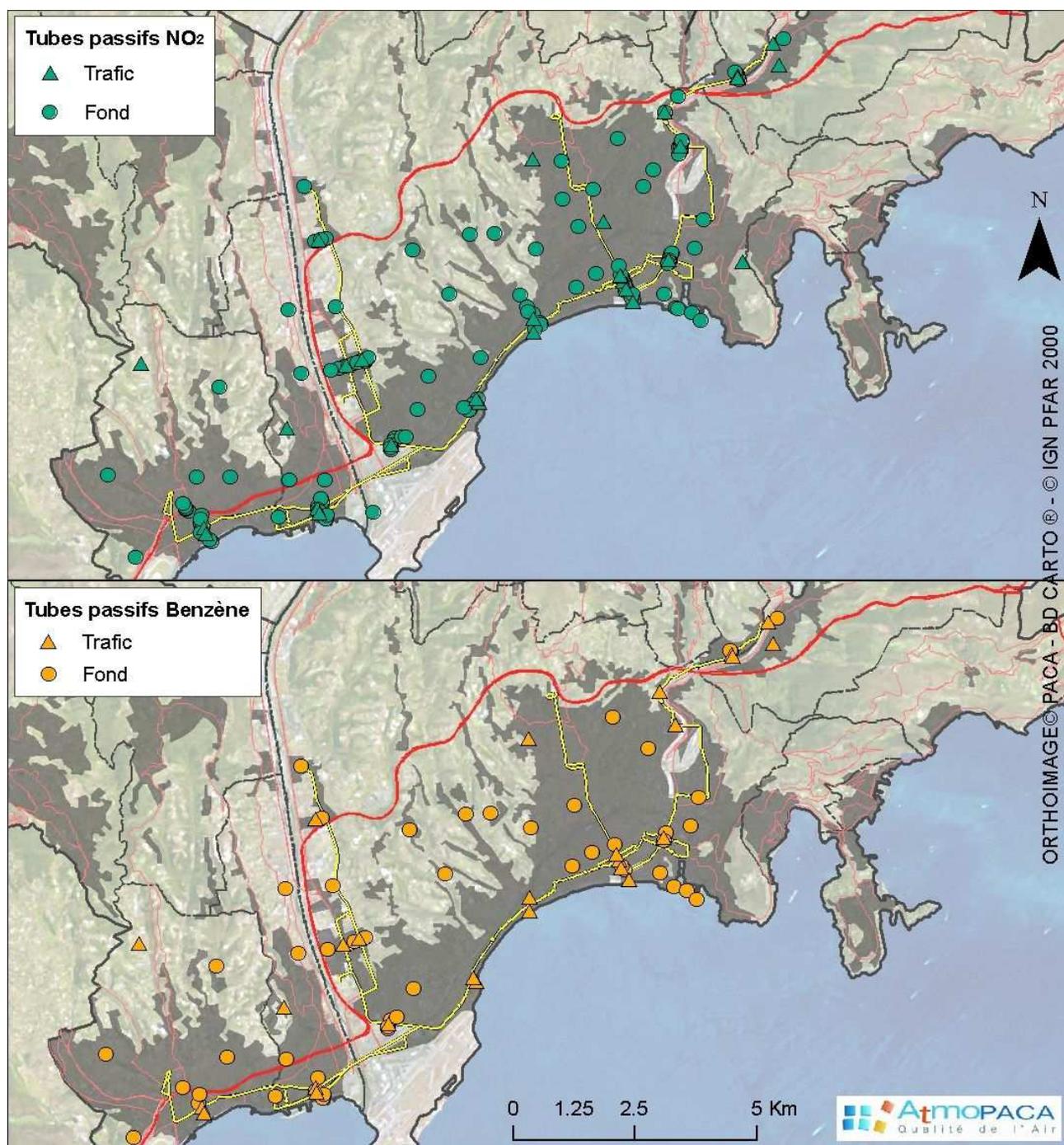


Figure 7 : Positionnement des préleveurs passifs

Les capteurs passifs de typologie « trafic » sont positionnés à moins de cinq mètres d'un axe routier. Leur représentativité est très locale. Ils servent à estimer la pollution maximale issue du trafic routier. Ils se distinguent des capteurs passifs dits de « fond » dont l'objectif est d'estimer le niveau de fond en pollution d'une zone plus large, en général de la taille d'un quartier.

## 2.4. CALENDRIER RECAPITULATIF DES MOYENS UTILISES

Le Tableau 1 ci-dessous résume les périodes des mesures réalisées pour cette étude.

Tableau 1 : Calendrier d'utilisation des outils de mesures

Mois	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet
Station fixes					
La Trinité - laboratoire mobile 1					
Place Wilson – laboratoire mobile 2					
DA 80 (HAP)					
Capteurs passifs (NO <sub>2</sub> & BTX)					

## 2.5. RESULTATS DES CAMPAGNES DE MESURES

### 2.5.1. DIOXYDE D'AZOTE (NO<sub>2</sub>)

#### ORIGINE ET DYNAMIQUE

Le NO<sub>2</sub> (dioxyde d'azote) est un polluant dont l'origine principale est le trafic routier.

Le monoxyde d'azote (NO) est issu de l'oxydation de l'azote atmosphérique et du carburant lors des combustions à très hautes températures. C'est le NO qui est émis à la sortie du pot d'échappement, il est oxydé en quelques minutes en NO<sub>2</sub>. La rapidité de cette réaction explique pourquoi le NO<sub>2</sub> est considéré comme un polluant primaire. On le retrouve en quantité relativement plus importante à proximité des axes de forte circulation et dans les centres-villes.

Il est particulièrement présent lors des conditions de forte stabilité atmosphérique, *i.e.* les situations anticycloniques associées aux vents faibles et aux cas d'inversions thermiques hivernales. Les inversions thermiques sont à l'origine des « couvercles naturels » de l'atmosphère qui emprisonnent la pollution. Ce phénomène est particulièrement marqué les matins d'hiver : le sol se refroidit pendant la nuit et, au matin, la température de l'air près du sol se trouve plus froide que la température de l'air en altitude, freinant la dispersion verticale des polluants.. Dans ces conditions, le NO<sub>2</sub> émis à hauteur des pots d'échappements est peu brassé, il se disperse peu et s'accumule à proximité du sol.

Les oxydes d'azote sont des précurseurs de la pollution photochimique et de dépôts acides (formation d'acide nitrique).

#### EFFETS SANITAIRES

Ses principaux effets sur la santé sont une altération de la fonction respiratoire, en particulier chez l'enfant, une hyper réactivité bronchique chez l'asthmatique et des troubles de l'immunité du système respiratoire.

#### RESULTATS DES LABORATOIRES MOBILES ET DES STATIONS FIXES DU 14/03 AU 03/07

Tableau 2 : Evaluation des niveaux de NO<sub>2</sub>

NO <sub>2</sub> en µg/m <sup>3</sup>	Station mobile Périurbaine La Trinité	Station mobile Urbaine Nice Wilson	Station fixe Trafic Nice Pellos		Station fixe Urbaine Cagnes / Mer		Station fixe Périurbaine Nice aéroport	
Moyenne sur la période du 14/03/08 au 03/07/08	35	36	60		24		24	
<b>Moyenne annuelle (du 01/07/07 au 01/07/08)</b> Valeur limite annuelle pour la protection de la santé humaine : <b>40 µg/m<sup>3</sup>/an</b> : objectif 01/01/10	41 <b>Estimation<sup>1</sup></b>	42 <b>Estimation<sup>3</sup></b>	68		28		26	
<b>Maximum horaire</b> (Seuil de recommandation : <b>200 µg/m<sup>3</sup>/h</b> )	92	107	du 14/03/08 au 03/07/08	193	du 14/03/08 au 03/07/08	99	du 14/03/08 au 03/07/08	127
			du 01/07/07 au 01/07/08	241	du 01/07/07 au 01/07/08	121	du 01/07/07 au 01/07/08	138
Nombre d'heures de dépassement de l'objectif de qualité (PRQA PACA : <b>135 µg/m<sup>3</sup>/h</b> , tolérance <b>17</b> jours/an)	0	0	du 14/03/08 au 03/07/08	81	du 14/03/08 au 03/07/08	0	du 14/03/08 au 03/07/08	0
			du 01/07/07 au 01/07/08	401	du 01/07/07 au 01/07/08	0	du 01/07/07 au 01/07/08	6
Nombre d'heures de dépassement de la valeur limite horaire pour la protection de la santé humaine ( <b>200 µg/m<sup>3</sup>/h</b> , tolérance <b>18</b> h/an : obj. 01/01/10)	0	0	du 14/03/08 au 03/07/08	0	du 14/03/08 au 03/07/08	0	du 14/03/08 au 03/07/08	0
			du 01/07/07 au 01/07/08	5	du 01/07/07 au 01/07/08	0	du 01/07/07 au 01/07/08	0
<b>Maximum journalier (période)</b>	56	55	98		48		52	

Sur l'année considérée, du 1<sup>er</sup> juillet 2007 au 1<sup>er</sup> juillet 2008, les concentrations en dioxyde d'azote des deux laboratoires mobiles (41 µg/m<sup>3</sup> pour la Trinité et 42 µg/m<sup>3</sup> pour Wilson) dépassent la valeur limite réglementaire pour ce

<sup>1</sup> L'estimation annuelle est réalisée à partir d'une régression linéaire entre les moyennes annuelles et les moyennes sur la période de toutes les stations mesurant le polluant étudié (cf. Annexe page **Erreur ! Signet non défini.**).

polluant :  $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$  à l'échéance 2010, mais respectent les valeurs limites pour les années civiles 2007 :  $46 \mu\text{g}/\text{m}^3$  et 2008 :  $44 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

Avec  $68 \mu\text{g}/\text{m}^3$  en moyenne annuelle, la station Nice Pellos dépasse la valeur limite la plus stricte de  $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$  mais aussi les valeurs limites de  $46 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (2007) et  $44 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (2008).

Les stations fixes urbaines (Cagnes avec  $28 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) ou périurbaine (Nice aéroport avec  $26 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) respectent ces seuils règlementaires.

La station de Nice Pellos présente les valeurs les plus élevées, ce qui s'explique par sa proximité avec le trafic automobile. Les deux laboratoires mobiles ont enregistré des moyennes supérieures aux deux stations fixes de Nice aéroport et Cagnes-sur-Mer. Le caractère urbain plus prononcé des deux sites mobiles explique en partie ce résultat. Les stations permanentes de Cagnes-sur-Mer et Nice aéroport sont plus excentrées par rapport au noyau urbain niçois que les deux sites de mesures temporaires utilisés pour cette étude.

### PROFILS MOYENS JOURNALIERS ET HEBDOMADAIRES

La Figure 8 représente les profils moyens journaliers du  $\text{NO}_2$  pour les 5 stations fixes pendant la campagne. Deux augmentations sont constatées pour l'ensemble des stations : le matin entre 7h et 10h et le soir de 18h à 23h.

La Figure 9 présente la répartition horaire du trafic pour le département des Alpes-Maritimes pour un jour ouvré en période non estivale. Cette évolution est à mettre en parallèle de la Figure 8 : les profils de  $\text{NO}_2$  sont corrélés aux mouvements pendulaires domicile-travail de l'agglomération (pics de trafic le matin aux alentours de 7h et le soir vers 18h).

Les concentrations en  $\text{NO}_2$  sont plus élevées le matin que l'après-midi du fait notamment d'une hauteur de couche limite très basse le matin en milieu côtier. Le brassage vertical de l'air est moins important. Les polluants et notamment le  $\text{NO}_2$  émis à proximité du sol, ont tendance à s'accumuler dans les premières strates de l'atmosphère urbaine.

Les laboratoires mobiles enregistrent des concentrations inférieures à celles du site « trafic » de Nice Pellos mais présentent un profil plus urbain que les stations de Cagnes-sur-Mer et Nice aéroport.

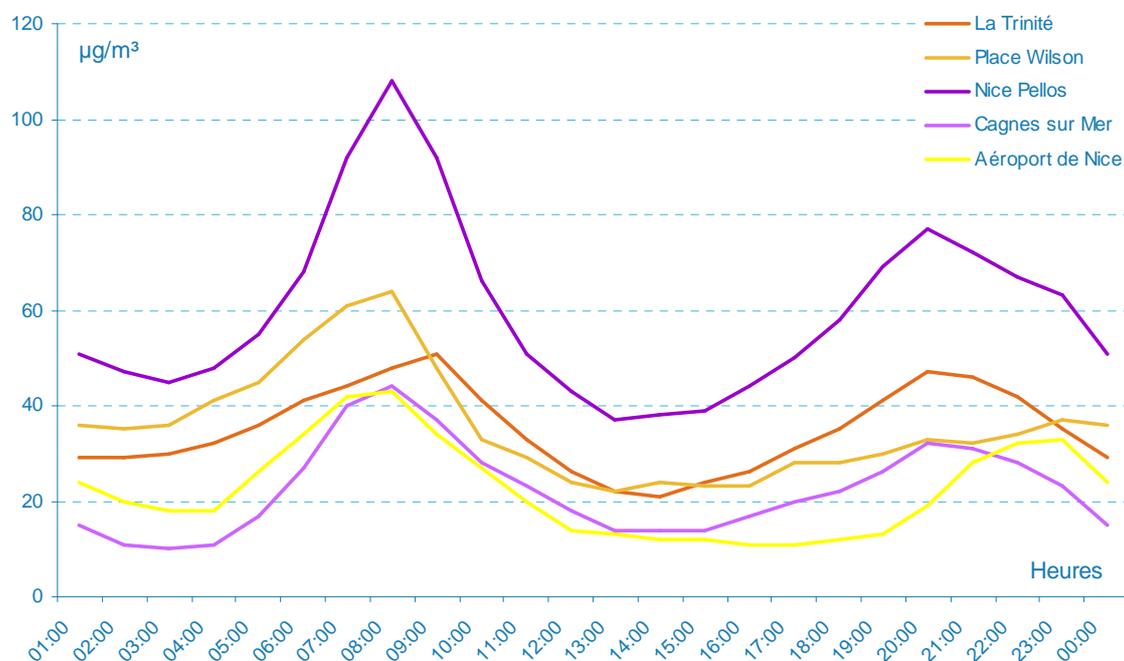


Figure 8 : Profils moyens journaliers du  $\text{NO}_2$  durant la campagne

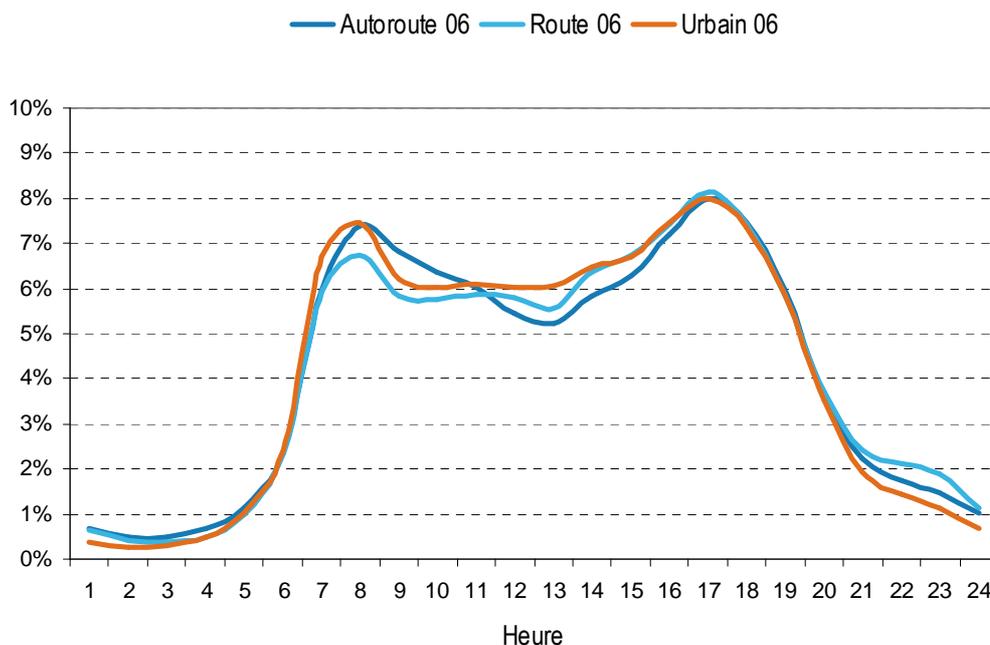


Figure 9 : Répartition horaire du trafic routier, jours ouvrés, période hors estivale, Alpes Maritimes

La Figure 10 ci-dessous présente l'évolution hebdomadaire moyenne des concentrations de NO<sub>2</sub> pendant la durée de la campagne. Les jours ouvrés enregistrent des teneurs plus élevées que celles du samedi et du dimanche (jusqu'à plus de 30 % de baisse). Cette diminution des teneurs le week-end indique le lien étroit existant entre activité anthropique et concentrations en dioxyde d'azote.

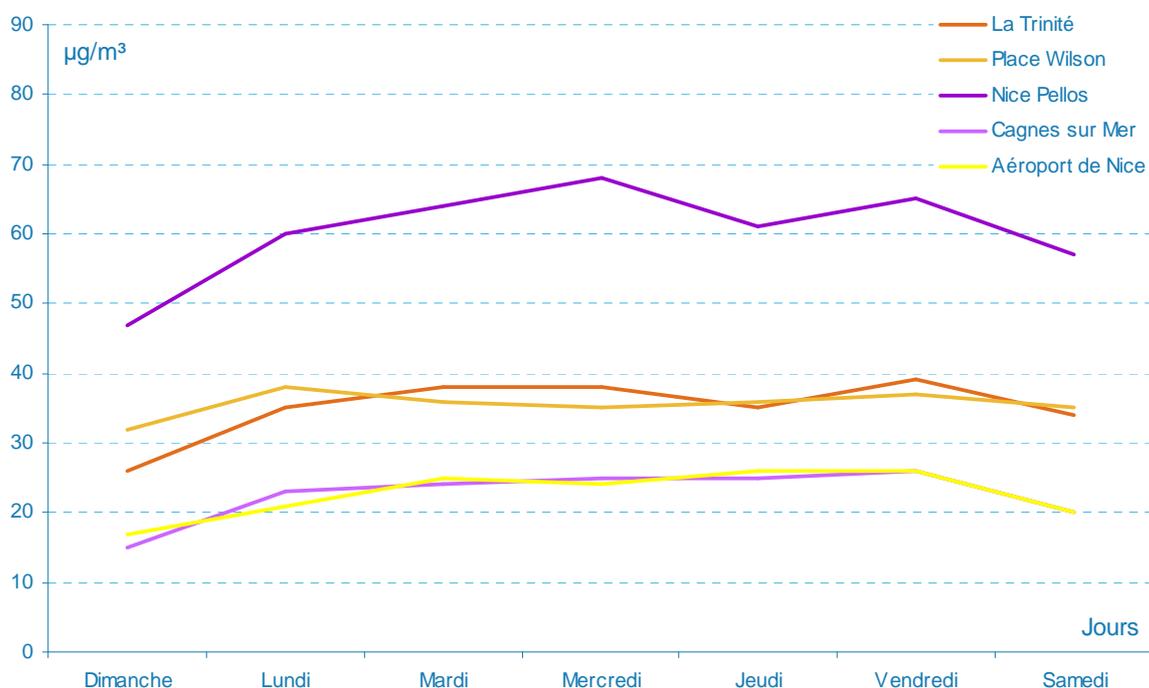


Figure 10 : Profils moyens hebdomadaires du NO<sub>2</sub> durant la campagne

### EVOLUTION JOURNALIERE DURANT LA PERIODE D'ETUDE

La Figure 11 présente l'évolution des concentrations journalières en NO<sub>2</sub> mesurées pendant la campagne. Elle permet de vérifier le bon fonctionnement des analyseurs de NO<sub>2</sub> des laboratoires mobiles par comparaison avec les mesures observées aux stations permanentes. Les mesures enregistrées ne présentent pas de comportement atypique en comparaison avec les niveaux mesurés aux stations fixes. Les pointes et les minima sont souvent concomitants.

Les discontinuités observées sur les courbes sont dues à la maintenance des appareils de mesure. Chaque analyseur est étalonné par comparaison avec une bouteille étalon de gaz. Les valeurs mesurées pendant cette période de manutention des appareils ne sont pas utilisées.

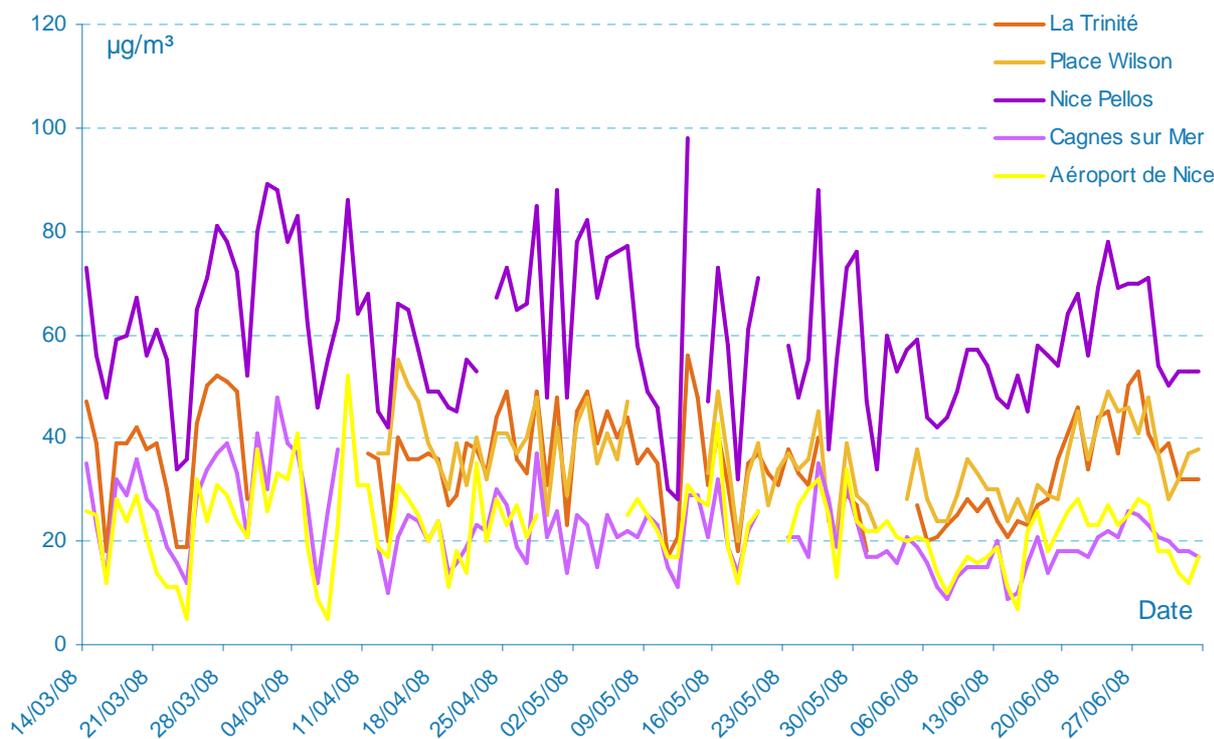


Figure 11 : Evolution journalière du NO<sub>2</sub> durant la campagne

**RESULTATS DES CAMPAGNES HIVERNALE ET ESTIVALE DES MESURES PAR ECHANTILLONNEURS PASSIFS**

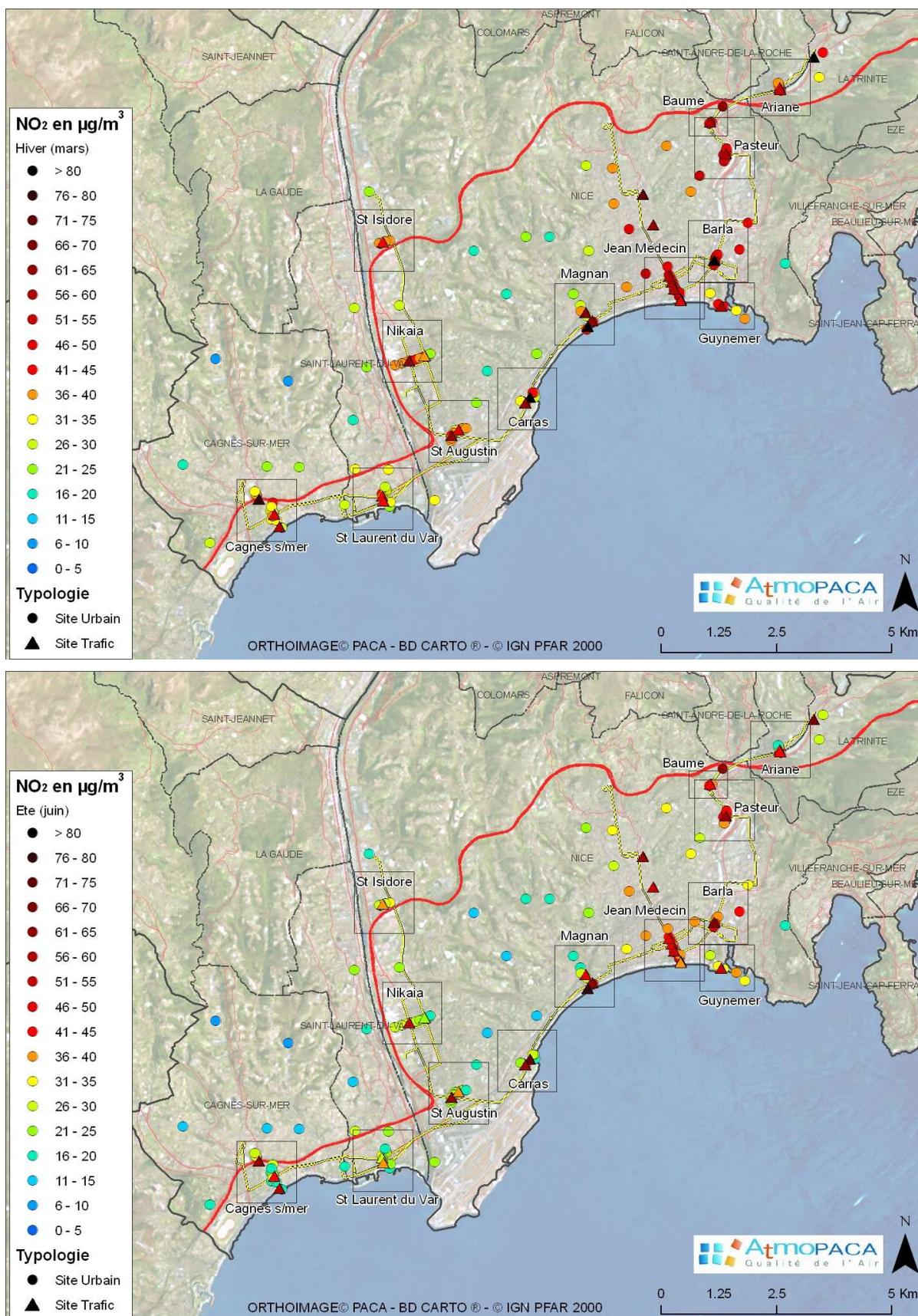


Figure 12 : Concentrations moyennes en NO<sub>2</sub>, campagnes hivernale et estivale

Les deux campagnes de mesures, hiver et été, montrent une répartition spatiale assez similaire des concentrations en dioxyde d'azote. Les valeurs les plus élevées ont été mesurées autour des axes principaux.

En revanche, des différences de niveaux sont observées entre les deux campagnes. Les concentrations « hivernales » sont supérieures d'environ  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$  en moyenne aux concentrations « estivales ». En effet, la saison « hivernale » est davantage propice à l'accumulation de la pollution primaire notamment du fait de la plus grande stabilité atmosphérique.

### ESTIMATIONS DES MOYENNES ANNUELLES EN $\text{NO}_2$

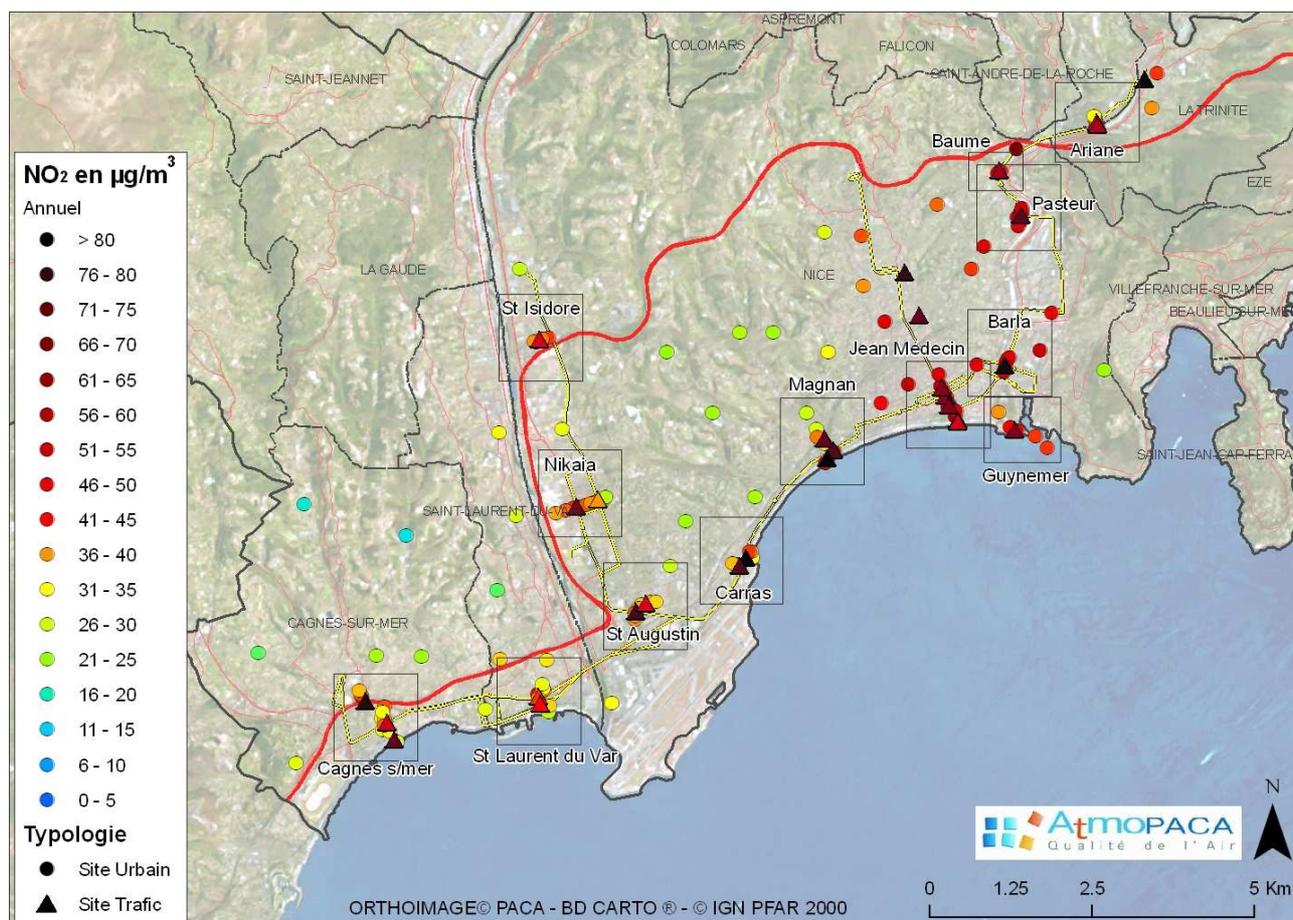


Figure 13 : Estimations des moyennes annuelles en  $\text{NO}_2$

**METHODE D'ESTIMATION DE LA VALEUR ANNUELLE A PARTIR DES DEUX CAMPAGNES DE MESURES HIVERNALE ET ESTIVALE :**

Les moyennes annuelles sur les sites de mesure sont reconstituées à partir des résultats des deux campagnes et des données enregistrées sur les stations permanentes d'Atmo PACA (mesures en continu sur la totalité de l'année).

Dans le cadre de ce projet, il est important de constater que les concentrations annuelles estimées sont dans l'ensemble égales ou légèrement supérieures à la concentration mesurée lors de la campagne d'hiver.

Le tableau ci-dessous indique les concentrations moyennes en NO<sub>2</sub> relevées sur les stations fixes pour plusieurs périodes : campagne hivernale (mars), campagne estivale (juin), moyenne annuelle (du 03/07/07 au 03/07/08), moyenne sur les deux campagnes de mesure (du 06/03/08 au 01/04/08 et du 04/06/08 au 02/07/08). Ces résultats mettent en évidence une moyenne annuelle globalement supérieure à la moyenne sur la période des 2 campagnes (3 µg/m<sup>3</sup> en plus en moyenne). Ces résultats trouvent leur explication dans les périodes des deux campagnes de mesure : la campagne hivernale a été réalisée au mois de mars, ce qui correspond à la fin de l'hiver – début du printemps. Les conditions de stabilité de l'atmosphère caractéristiques de la période hivernale n'étaient pas maximales. Ceci a donc pour conséquence l'obtention de concentrations en polluants plus importantes lors de la reconstitution des moyennes annuelles.

**Tableau 3 : Mesures en NO<sub>2</sub> des stations fixes Atmo PACA sur la région**

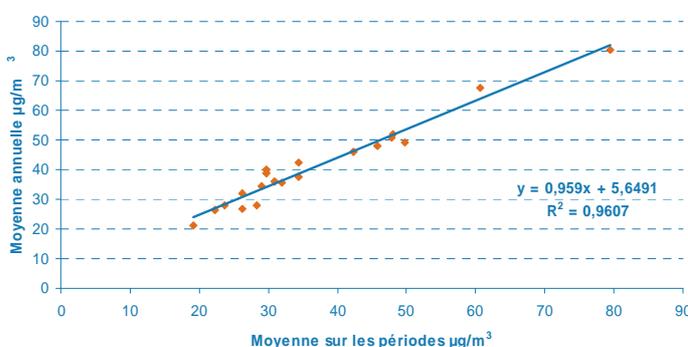
Station	Concentration moyenne en NO <sub>2</sub> sur la campagne Hiver (mars)	Taux de fonctionnement	Concentration moyenne en NO <sub>2</sub> sur la campagne Été (juin)	Taux de fonctionnement	Concentration moyenne annuelle en NO <sub>2</sub> du 03/07/07 au 03/07/08	Taux de fonctionnement	Moyenne sur les deux campagnes(hiver, été)
Marseille Timone	50.8	100%	48.5	100%	49.2	99%	49.7
Marseille Plombières	74.4	99%	84.5	100%	80.5	99%	79.4
Marseille Rabatau	40.6	100%	55.6	100%	52.1	98%	48.1
Marseille Saint Louis	26.2	100%	37.6	100%	35.6	97%	31.9
Aix Roy René	47.8	100%	47.7	78%	50.9	89%	47.8
Aix Ecole d'Art	33.3	100%	24.9	100%	34.6	100%	29.1
Marseille Cinq Avenue	31.7	100%	30.1	99%	35.9	99%	30.9
Marseille Thiers	35.3	100%	33.5	100%	37.6	98%	34.4
Toulon Chalucet	32.6	100%	36.0	100%	42.4	99%	34.3
Toulon Arsenal	32.5	100%	26.9	88%	38.6	96%	29.7
Avignon Mairie	19.0	100%	19.2	100%	21.4	98%	19.1
Avignon Charles De Gaulle	45.1	100%	39.6	78%	46.1	98%	42.4
Nice Pellos	64.5	100%	57.0	100%	67.7	94%	60.7
Antibes Guynemer	50.1	100%	41.6	100%	48.1	100%	45.8
Antibes Jean Moulin	34.9	100%	24.6	97%	40.1	99%	29.8
Cannes Broussailles	28.9	91%	23.5	100%	32.1	99%	26.2
Grasse Clavecin	29.5	100%	27.2	100%	28.1	98%	28.3
Cagnes Ladoumegue	29.8	100%	17.7	100%	28.1	99%	23.7
Cortes 2	28.2	100%	24.1	100%	26.9	98%	26.2
Aéroport Nice	25.0	100%	19.7	100%	26.4	94%	22.3
Moyenne sur les stations	38.0		36.0		41.1		37.0

Pour estimer les concentrations annuelles en chacun des points de prélèvements, une régression linéaire est calculée à partir des données des stations fixes entre la concentration moyenne annuelle et la concentration moyenne pendant la période étudiée (campagnes).

L'équation de droite obtenue est ensuite appliquée aux valeurs moyennes des échantillonneurs passifs sur les deux campagnes (été et hiver).

La droite de régression du NO<sub>2</sub> est présentée dans la Figure 14 : Régression linéaire du NO<sub>2</sub> ci-contre. Elle permet de calculer une estimation de la concentration annuelle pour chacun des points de mesures.

**Corrélation des données stations entre les moyennes des périodes de mesures et les moyennes annuelles**



**Figure 14 : Régression linéaire du NO<sub>2</sub> pour estimation des concentrations moyennes annuelles**

## TYPOLOGIES DES SITES EN REGARD DE LA CLASSIFICATION DE L'ADEME<sup>2</sup> :

159 des 161 sites étudiés ont été échantillonnés en NO<sub>2</sub> sur le domaine NCA.

La grande majorité (environ 80 %) est de typologie trafic ou urbaine.

Ces deux typologies sont celles que l'on retrouve associées à des concentrations supérieures à 40 µg/m<sup>3</sup> (valeur limite 2010), avec quelques sites d'observation.

Les sites périurbains ou ruraux enregistrent des concentrations inférieures à cette valeur limite.

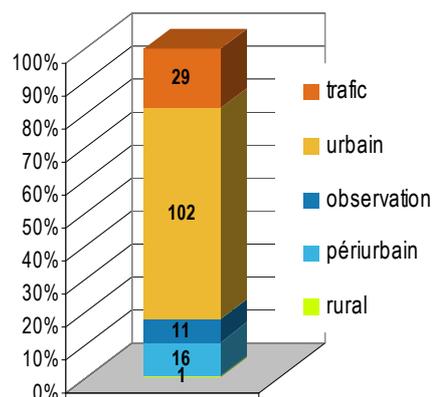


Figure 15 : Typologie des sites de mesure en NO<sub>2</sub>

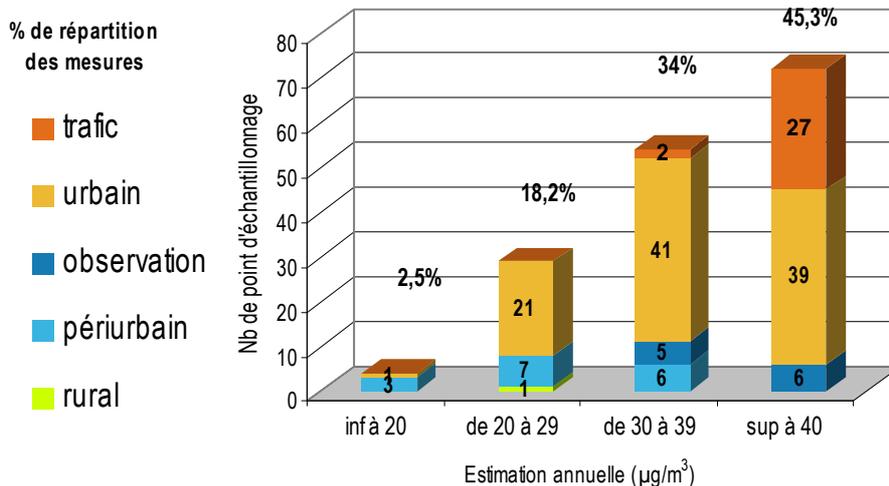


Figure 16 : Répartition des typologies de sites en fonction des estimations annuelles en NO<sub>2</sub>

### RESULTATS :

- 81 sites de mesures (sur les 159 échantillonnés) enregistrent des valeurs supérieures à la valeur limite de 40 µg/m<sup>3</sup> pour le dioxyde d'azote (2010) :
  - 58 dépassent 46 µg/m<sup>3</sup> (valeur limite pour 2007),
  - 23 ont des concentrations comprises entre 40 µg/m<sup>3</sup> et 46 µg/m<sup>3</sup>.

En majorité ces sites sont de typologie « trafic » ou « urbain ». Les sites « trafic » sont situés à proximité des autoroutes, ronds-points, passerelles et artères de trafic important. Les sites « urbains » sont représentatifs des quartiers les plus urbanisés de l'agglomération notamment au centre et au niveau de la Trinité.

<sup>2</sup> ADEME, 2002 - « Classification et critères d'implantation des stations de surveillance de la qualité de l'air »

Les concentrations les plus élevées de la campagne ont été relevées au niveau des sites suivants :

- promenade des Anglais, dans le quartier Carras, avec 84  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ,
  - promenade des Anglais, dans le quartier Magnan, avec 82  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ,
  - rond-point entre le bd Général de Gaulle et le pont Anatole France, avec 80  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ,
  - intersection entre le bd de la République et la rue Barla, avec 78  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ,
  - A8-La Provençale au niveau du pont de la D36 (av. Cyrille Besset), avec 74  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ,
  - quai des Etats-Unis, avec 70  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ,
  - avenue St Lambert, avec 70  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ,
  - ... etc.
- 47 sites ont des concentrations comprises entre 30 et 39  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  : ce sont pour la plupart des sites urbains. Environ 10 % d'entre eux sont périurbains.
  - 27 sites ont des concentrations comprises entre 20 et 29  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  : ce sont des sites urbains, périurbains ou ruraux.
  - 4 sites ont des concentrations inférieures à 19  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Ils sont éloignés du trafic routier, localisés en zones résidentielles et en situation aérée :
    - chemin de Bel Azur, au Nord de Saint-Laurent-du-Var, avec 19  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ,
    - chemin de Combe, dans Nice au niveau de Saint-Roman de Bellet, avec 19  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ,
    - chemin des Salles, à Carros, avec 14  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ,
    - chemin de Campanette, au Nord de Cagnes-sur-Mer, avec 14  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .

En résumé, les niveaux de pollution les plus élevés, avec constat de dépassement de la valeur limite pour le dioxyde d'azote, concernent les axes majeurs de Nice, et l'ensemble des quartiers du centre ville. Il est possible que les concentrations en dioxyde d'azote mesurées sur la jetée du port de Nice puissent provenir pour une part des activités liées au trafic maritime.

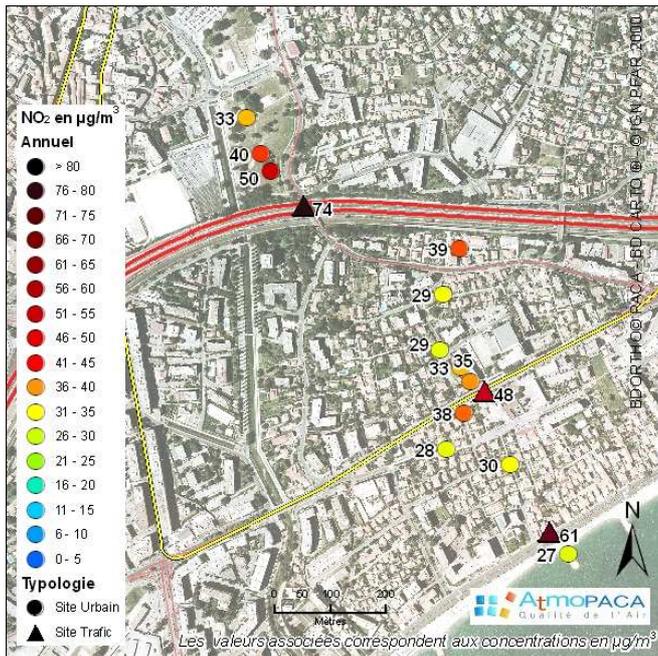
Les communes situées sur le pourtour de Nice font état d'une pollution modérée car le bâti urbain moins dense favorise la dispersion des polluants. Cependant des dépassements de valeur limite subsistent, en liaison avec un trafic important.

Enfin, sur le contrefort des reliefs (Mont Chauve, Saint-Jeannet) au Nord de Nice et de Saint-Laurent-du-Var, la qualité de l'air est meilleure du fait d'une ventilation plus marquée et d'un trafic routier moins dense.

### **ANALYSES DES MESURES EN $\text{NO}_2$ : TRANSECTS**

Le long du tracé du futur tramway, des coupes perpendiculaires (transects) ont été réalisées afin d'étudier la dispersion latérale des niveaux en polluants de part et d'autre d'un axe. L'ensemble des 13 transects est documenté dans ce chapitre.

### MESURES DE NO<sub>2</sub> SUR LE TRANSECT DE CAGNES-SUR-MER



Ce transect met en évidence l'évolution des teneurs en NO<sub>2</sub> autour de 3 axes routiers (du Nord au Sud : autoroute A8, av. de Nice, bd de la plage).

Les concentrations les plus élevées sont mesurées au niveau des axes :

- autoroute A8, avec 74 µg/m<sup>3</sup>,
- avenue de Nice, avec 48 µg/m<sup>3</sup>,
- boulevard de la plage, avec 61 µg/m<sup>3</sup>.

Le passage du tramway est prévu sur l'avenue de Nice (48 µg/m<sup>3</sup>), soit le troisième point le plus pollué de cette zone. Dans la première centaine de mètres autour de cet axe, les concentrations diminuent d'environ 30 % au Nord (35 µg/m<sup>3</sup>) et d'environ 20 % au Sud (38 µg/m<sup>3</sup>). Le niveau de fond de la zone (28 - 30 µg/m<sup>3</sup>) est atteint à environ 200 m des axes.

A noter l'écart important entre les deux points situés sur le bord de mer : 34 µg/m<sup>3</sup> de différence entre le point de mesure trafic (61 µg/m<sup>3</sup>) et celui positionné sur la jetée (27 µg/m<sup>3</sup>) : la pollution générée par le trafic de l'axe du bord de mer se dissipe rapidement côté mer : les émissions sont moins importantes et la ventilation s'exerce mieux sur la mer, favorisant la dispersion des polluants.

Estimations annuelles en NO<sub>2</sub> (µg/m<sup>3</sup>)

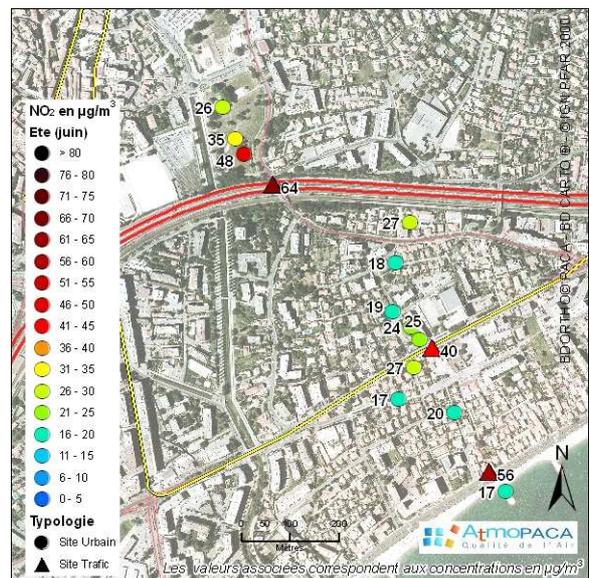
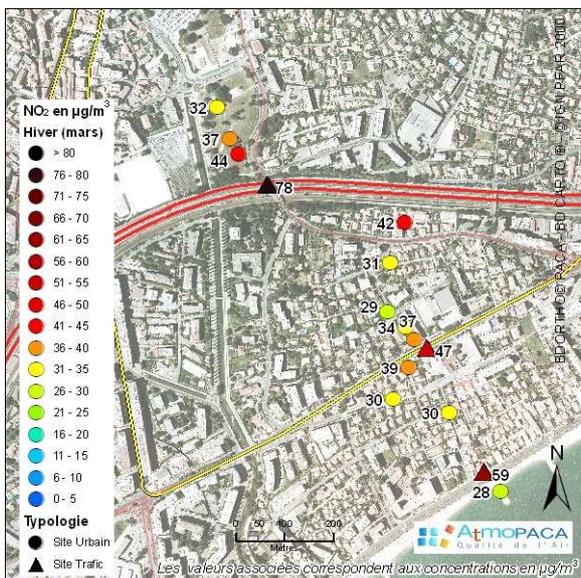
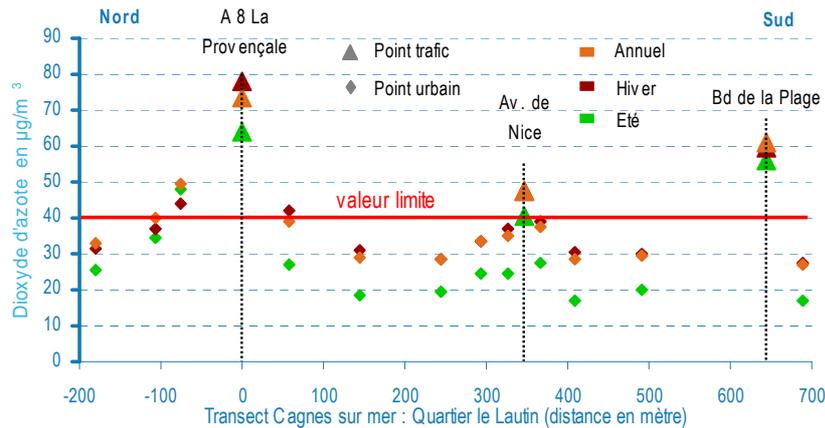
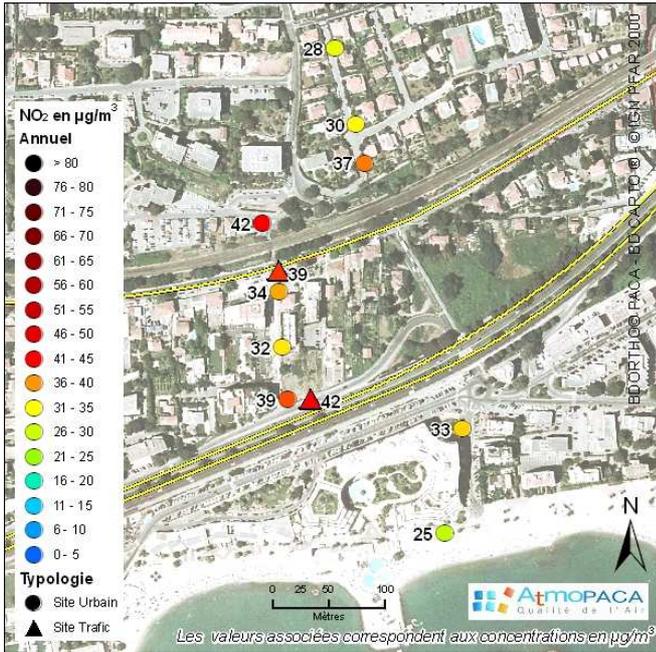


Figure 17 : Concentrations hiver et été en NO<sub>2</sub> sur Cagnes-sur-Mer (µg/m<sup>3</sup>)

### MESURES DE NO<sub>2</sub> SUR LE TRANSECT DE SAINT-LAURENT-DU-VAR



Estimations annuelles en NO<sub>2</sub> (µg/m<sup>3</sup>)

Ce transect concerne la dispersion de la pollution de part et d'autre de deux axes (la route des Vespins au Nord et la route du bord de mer au Sud).

Les deux points situés près des axes envisagés pour le futur tramway enregistrent des teneurs élevées en NO<sub>2</sub> : la route des Vespins, avec 39 µg/m<sup>3</sup> et la route du bord de mer, avec 42 µg/m<sup>3</sup>.

Malgré une distance de 50 m de l'axe des Vespins, le point de mesure situé au Nord de cette route présente une concentration de 42 µg/m<sup>3</sup>. Ce point subit les apports de la route des Vespins mais également les émissions du rond-point sur lequel il est situé et celles des parkings résidentiels proches.

Les points situés à plus de 100 m des axes ont des concentrations variant entre 28 et 33 µg/m<sup>3</sup>, ce qui correspond au niveau de fond. Avec 25 µg/m<sup>3</sup>, le point du bord de mer, en situation ventilée, indique la concentration la plus faible.

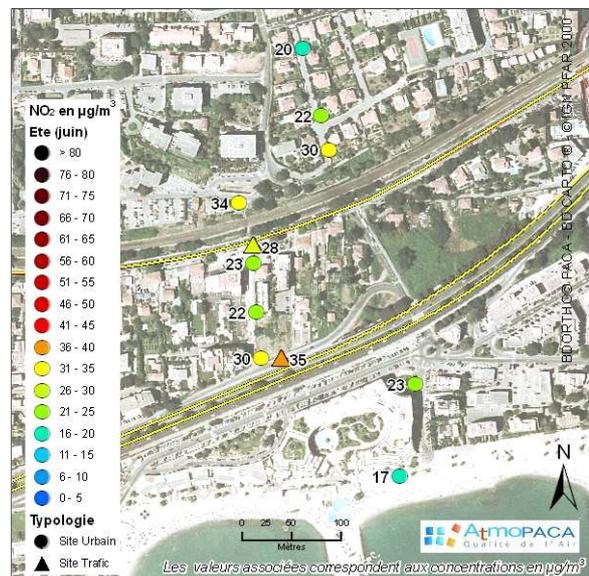
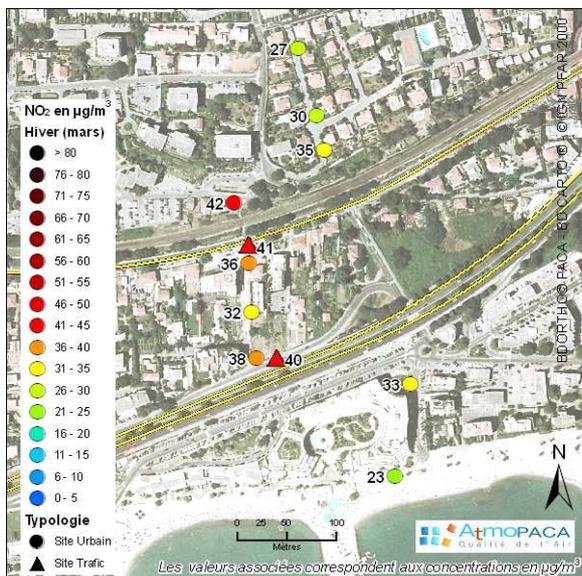
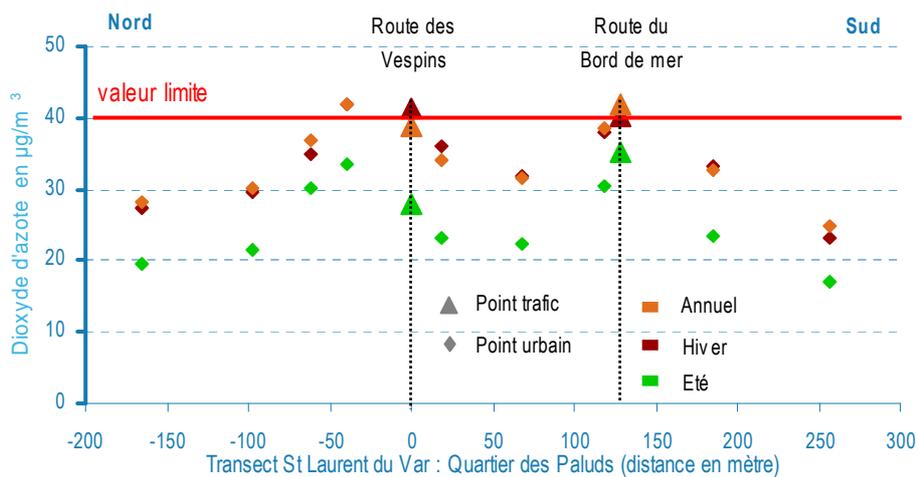
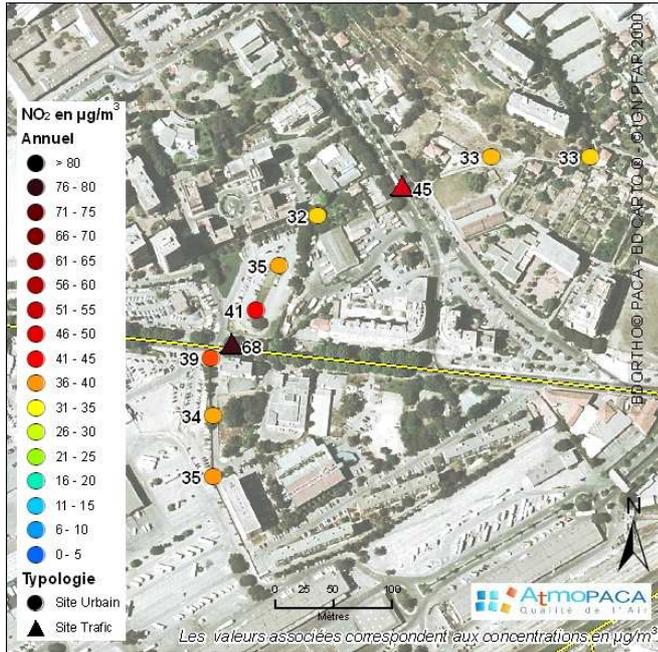


Figure 18 : Concentrations hiver et été en NO<sub>2</sub> sur St-Laurent-du-Var (µg/m<sup>3</sup>)

### MESURES DE NO<sub>2</sub> SUR LE TRANSECT DE SAINT-AUGUSTIN



Le transect de Saint-Augustin est localisé de part et d'autre de la route de Grenoble.

La concentration en NO<sub>2</sub> la plus élevée de la zone, 68 µg/m<sup>3</sup>, est mesurée au point en proximité de l'axe. Les teneurs y sont plus élevées que sur le Boulevard Paul Montel (45 µg/m<sup>3</sup>).

Les niveaux restent élevés à distance de ces axes ; la décroissance est moins rapide que sur les transects présentés précédemment. Le niveau de fond, à plus de 100 m des axes majeurs, est compris entre 32 et 35 µg/m<sup>3</sup>.

Cette concentration de fond plus élevée peut s'expliquer par les émissions du trafic généré par la zone d'activité et la proximité de l'échangeur de l'autoroute à l'entrée de Nice. Au Sud de la zone, le MIN (Marché d'Intérêt National) abrite un important parking de poids lourds.

Estimations annuelles en NO<sub>2</sub> (µg/m<sup>3</sup>)

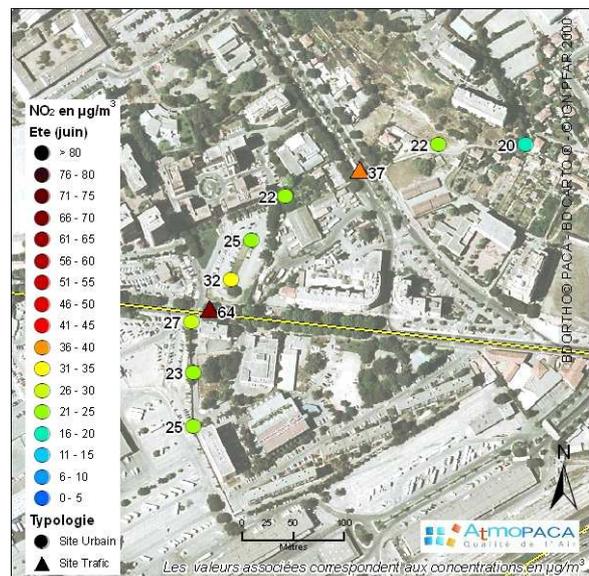
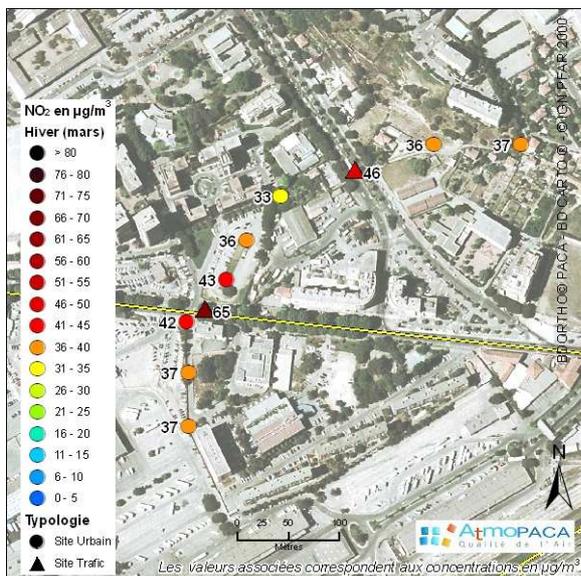
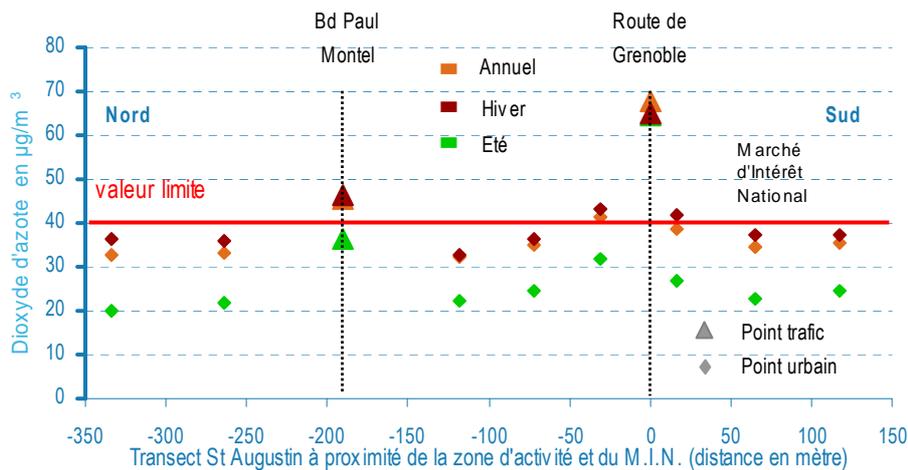
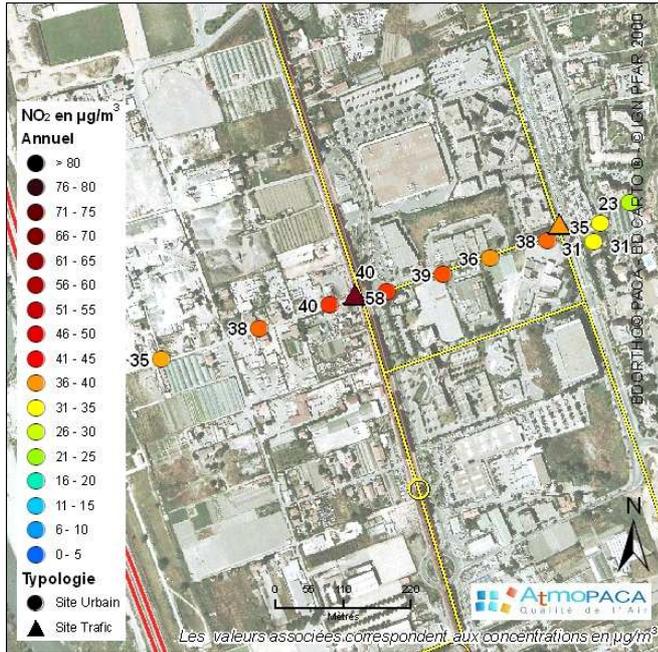


Figure 19 : Concentrations hiver et été en NO<sub>2</sub> sur Saint-Augustin (µg/m<sup>3</sup>)

### MESURES DE NO<sub>2</sub> SUR LE TRANSECT DE NIKAIA



Ce transect met en exergue l'écart de pollution existant entre la route de Grenoble RN 202 (axe à l'ouest, 58 µg/m<sup>3</sup>) et le boulevard Maître Maurice Slama (axe à l'est, 35 µg/m<sup>3</sup>).

Entre les deux axes, les teneurs restent supérieures à 35 µg/m<sup>3</sup>. Les niveaux de pollution diminuent entre la RN 202 et le bd Maurice Slama.

Sur les contreforts des collines du quartier Sainte-Marguerite (à l'est de la zone), les concentrations diminuent rapidement : la ventilation des lieux permet une meilleure dispersion des polluants. De plus, les émissions dues au trafic sont moins importantes. Le niveau de fond est de 23 µg/m<sup>3</sup>.

### Estimations annuelles en NO<sub>2</sub> (µg/m<sup>3</sup>)

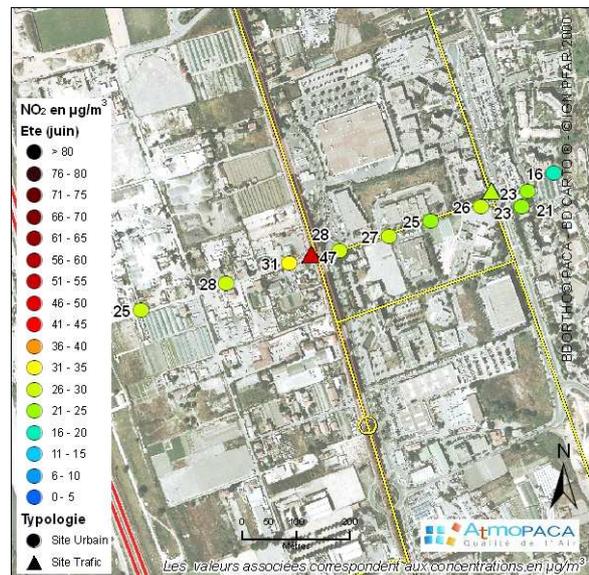
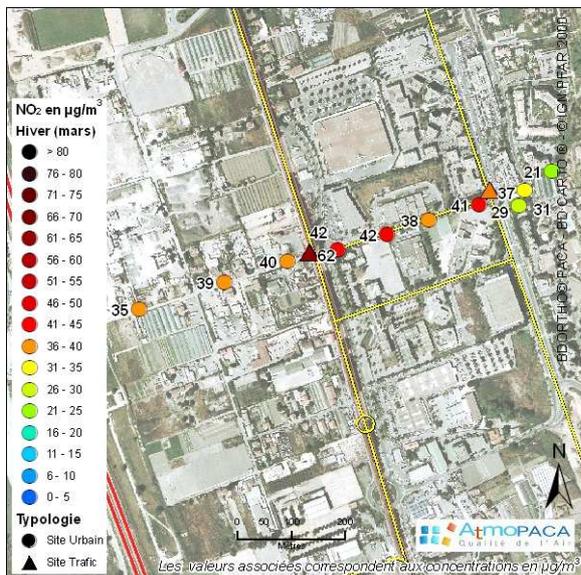
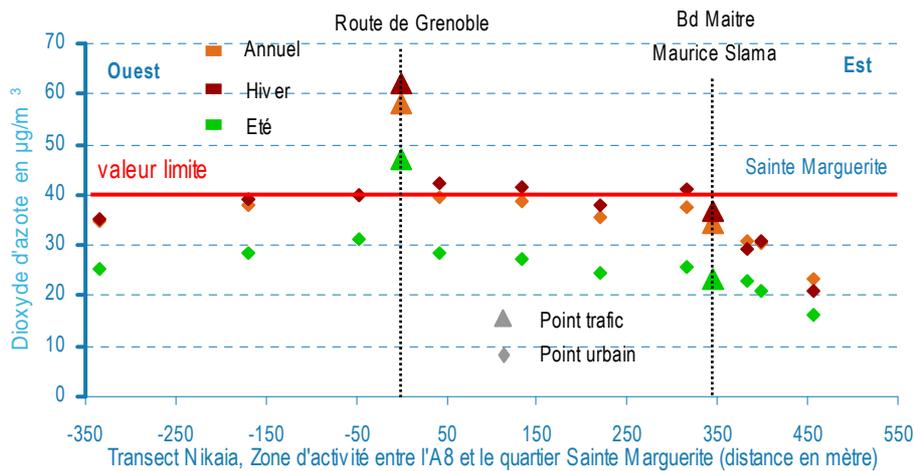
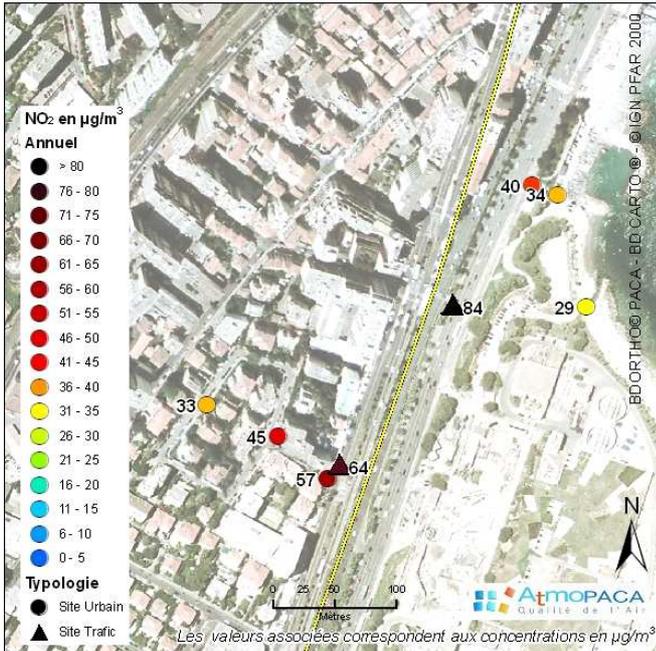


Figure 20 : Concentrations hiver et été en NO<sub>2</sub> sur Nikaia (µg/m<sup>3</sup>)

### MESURES DE NO<sub>2</sub> SUR LE TRANSECT DE CARRAS



Le transect de Carras présente une disposition particulière des sites de mesures, en raison des contraintes de terrain. Cependant, le profil est tracé en fonction de l'éloignement des points à l'axe.

Le quartier de Carras a enregistré la valeur de NO<sub>2</sub> la plus forte de la campagne : à la jonction de l'avenue de Californie avec la promenade des Anglais, la concentration est de 84 µg/m<sup>3</sup>.

Cette valeur souligne ainsi la pollution induite la promenade des Anglais qui reste un des axes les plus chargés de Nice.

Il est intéressant de noter la rapide décroissance des concentrations de NO<sub>2</sub> entre la promenade des Anglais et le point situé à un peu plus de 100 m côté mer, enregistrant 29 µg/m<sup>3</sup>. La différence entre ces 2 points est de 55 µg/m<sup>3</sup>.

### Estimations annuelles en NO<sub>2</sub> (µg/m<sup>3</sup>)

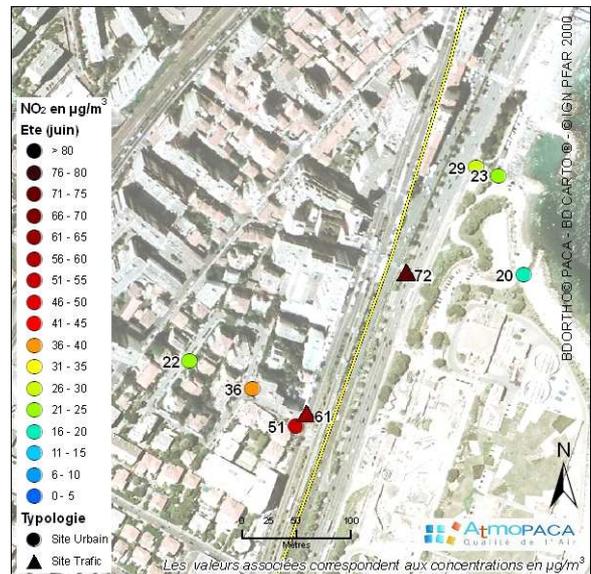
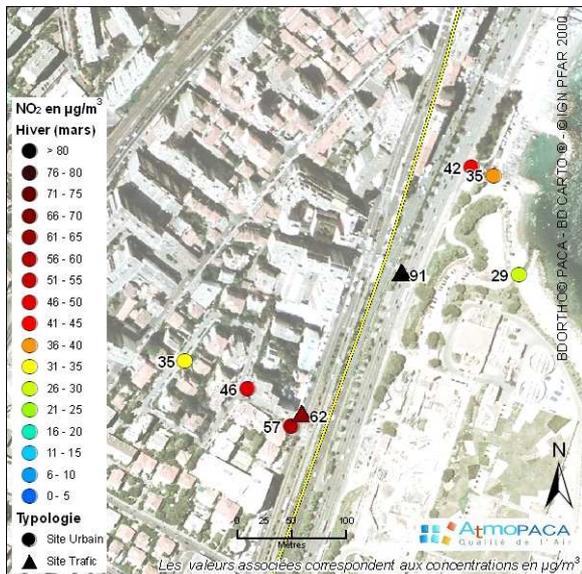
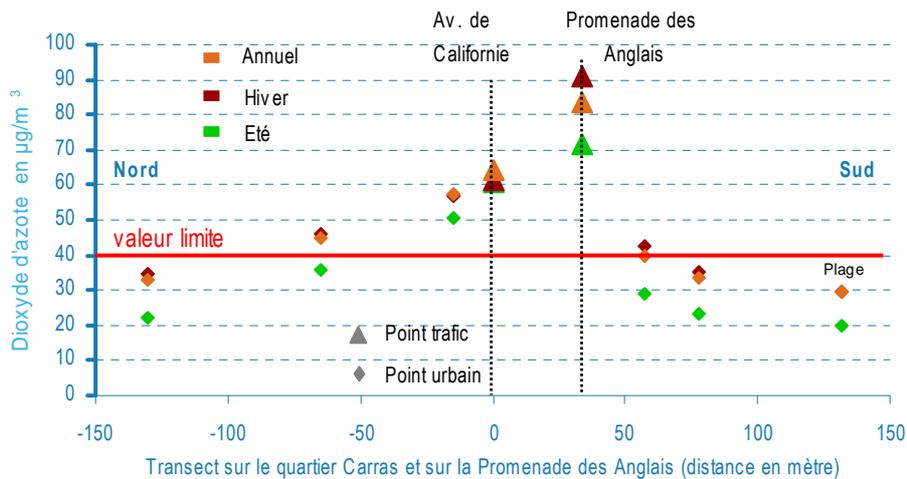
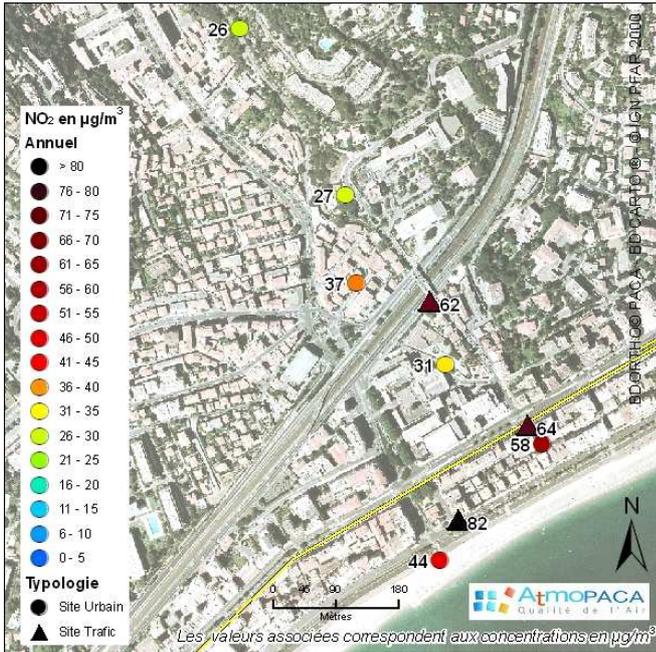


Figure 21 : Concentrations hiver et été en NO<sub>2</sub> à Carras (µg/m<sup>3</sup>)

### MESURES DE NO<sub>2</sub> SUR LE TRANSECT DE MAGNAN



Le transect de Magnan concerne les principaux axes de circulation du secteur, du Nord au Sud :

- la voie rapide,
- la rue de France,
- la promenade des Anglais.

Le point le plus pollué est situé sur la promenade des Anglais avec 82 µg/m<sup>3</sup>. La rue de France, axe sur lequel est prévu le passage du tramway, enregistre une concentration de 64 µg/m<sup>3</sup>. Enfin, le point à proximité de la voie rapide (62 µg/m<sup>3</sup>) est le troisième point le plus pollué.

On note l'écart important (d'environ 50 %) entre les deux points de la Promenade des Anglais, de 82 µg/m<sup>3</sup> côté bâti à 44 µg/m<sup>3</sup> côté mer.

La diminution des taux de NO<sub>2</sub> est plus marquée du côté de la colline au Nord, avec un niveau de fond avoisinant 26 à 27 µg/m<sup>3</sup>.

Estimations annuelles en NO<sub>2</sub> (µg/m<sup>3</sup>)

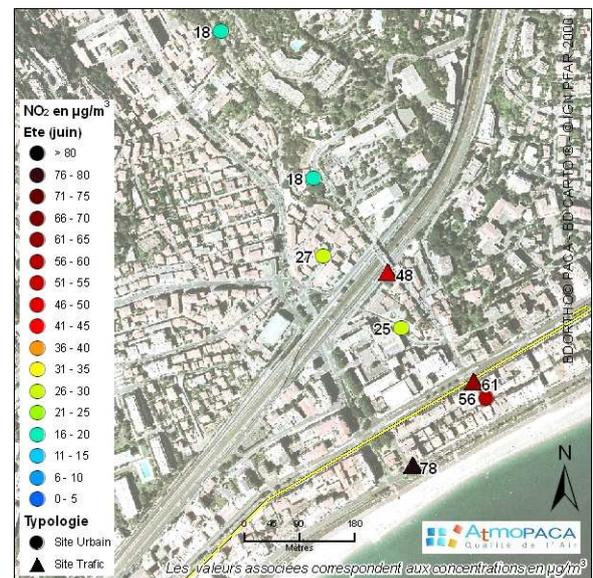
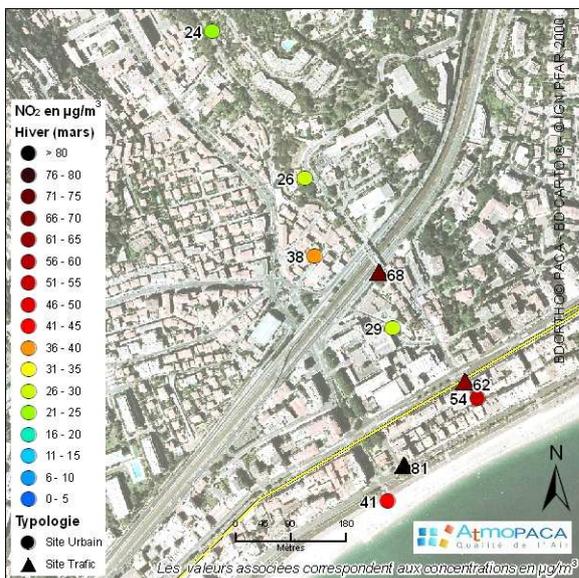
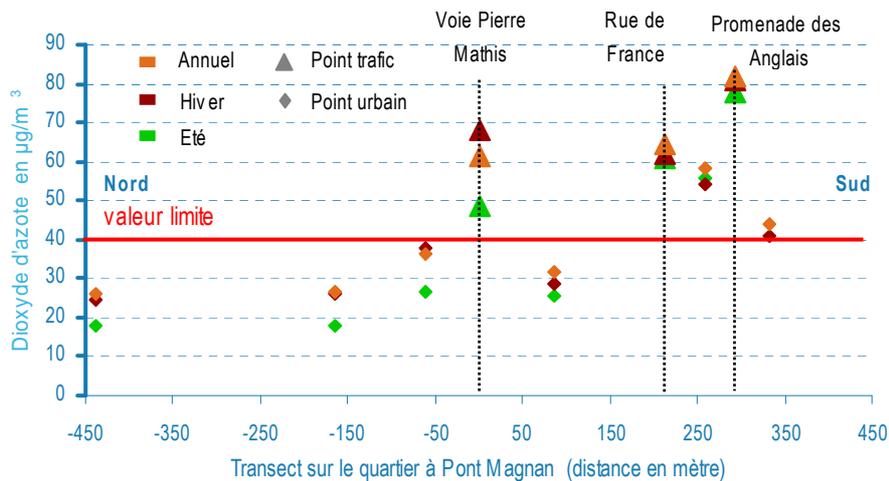
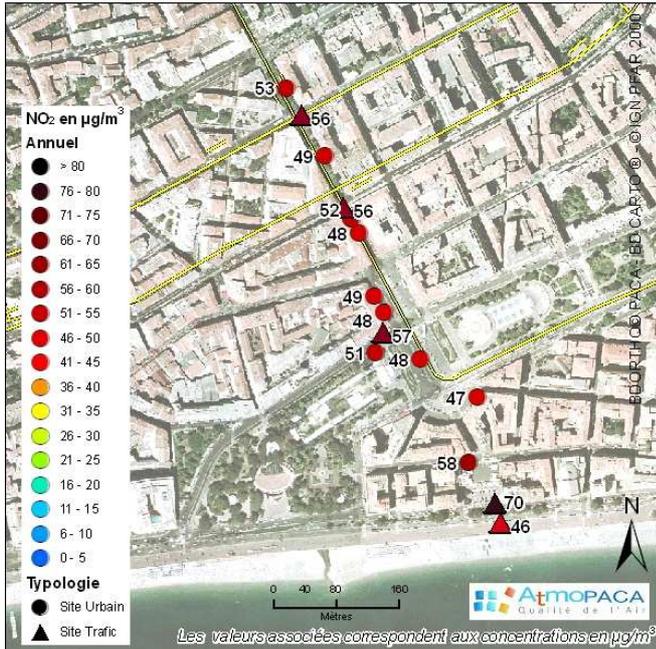


Figure 22 : Concentrations hiver et été en NO<sub>2</sub> à Magnan (µg/m<sup>3</sup>)

## MESURES DE NO<sub>2</sub> SUR LE BOULEVARD JEAN MEDECIN



Estimations annuelles en NO<sub>2</sub> (µg/m<sup>3</sup>)

Ce transect est situé sur l'avenue Jean Médecin, depuis le bd Victor Hugo (au Nord) jusqu'au quai des Etats-Unis (au Sud).

Cette coupe s'avère très intéressante dans le sens où elle montre une pollution de fond très importante : aucun point n'est situé en dessous de la valeur limite annuelle de 46 µg/m<sup>3</sup> à respecter en 2007. A fortiori, les mesures ne respectent pas non plus la valeur limite de 40 µg/m<sup>3</sup> applicable en 2010.

L'avenue Jean Médecin est située dans l'hyper centre de Nice. Il s'agit de l'une des principales artères commerciales de la ville. Elle accueille déjà la première ligne de tramway, ce qui a permis une réduction importante du trafic en regard des années antérieures. La concentration de fond urbaine est élevée dans cette zone très attractive (entre 47 et 49 µg/m<sup>3</sup>).

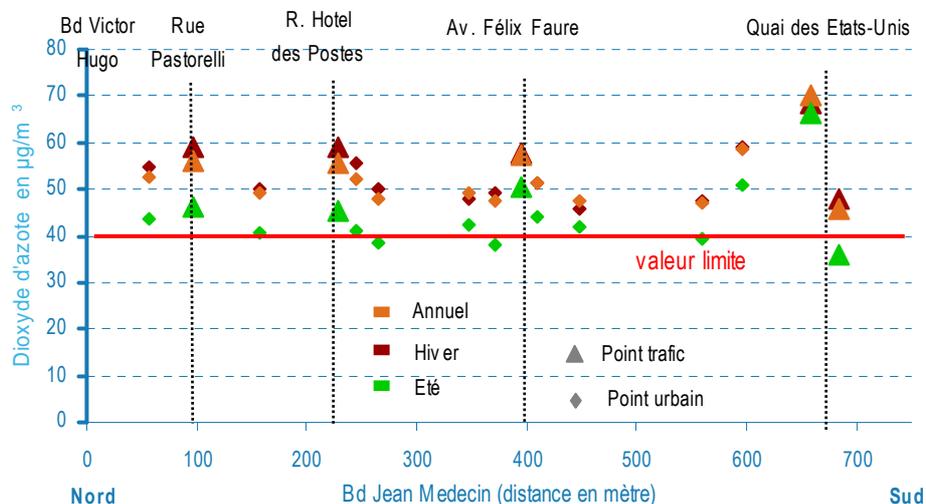
Mais les concentrations les plus élevées sont enregistrées aux intersections sur lesquelles le trafic des avenues perpendiculaires est ajouté à celui de l'avenue Jean Médecin ainsi qu'au niveau de fond du quartier.

Ces mesures en situation de trafic concernent le quai des Etats-Unis (70 µg/m<sup>3</sup>), la rue de l'Hôtel des Postes (57 µg/m<sup>3</sup>), la rue Pastorelli (56 µg/m<sup>3</sup>) et l'avenue Félix Faure (56 µg/m<sup>3</sup>).

A la différence des transects précédents, la dispersion de la pollution entre le point le plus côtier (46 µg/m<sup>3</sup>) et le point le plus à l'intérieur de la ville (53 µg/m<sup>3</sup>) est relativement faible.

La piétonisation de l'avenue Jean Médecin pourrait diminuer les concentrations sur l'axe. En parallèle, la pollution de fond chronique sur l'hyper centre niçois devrait être aussi réduite pour arriver à respecter les valeurs limites pour la protection de la santé.

Enfin, la comparaison des deux points trafic situés sur le quai des Etats-Unis montre l'existence d'un fort gradient de pollution entre le « côté ville » (70 µg/m<sup>3</sup>) et le « côté mer » (46 µg/m<sup>3</sup>) de cet axe. L'accumulation et la concentration des polluants sont favorisées lorsque le bâti urbain est dense et élevé.



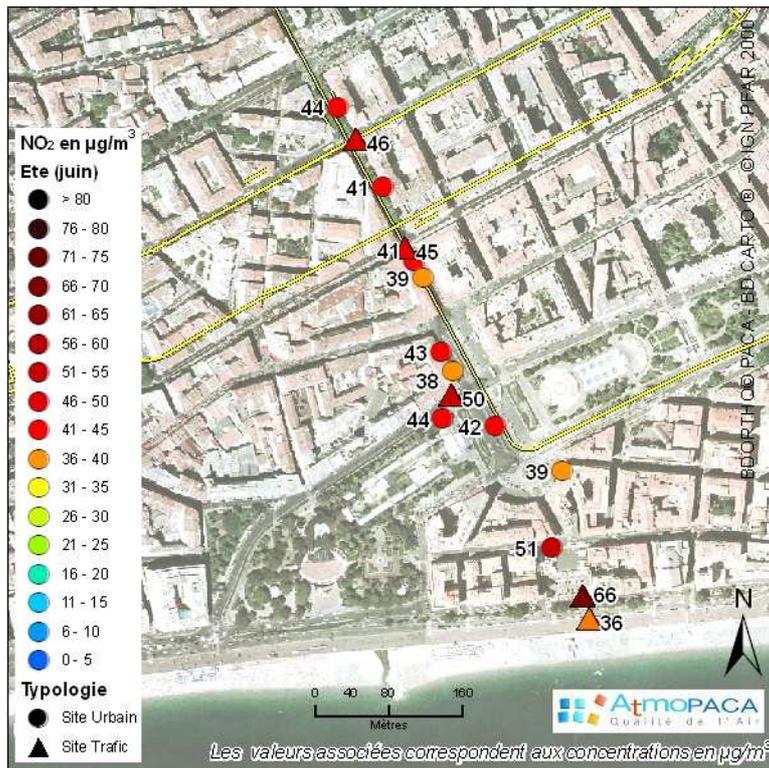
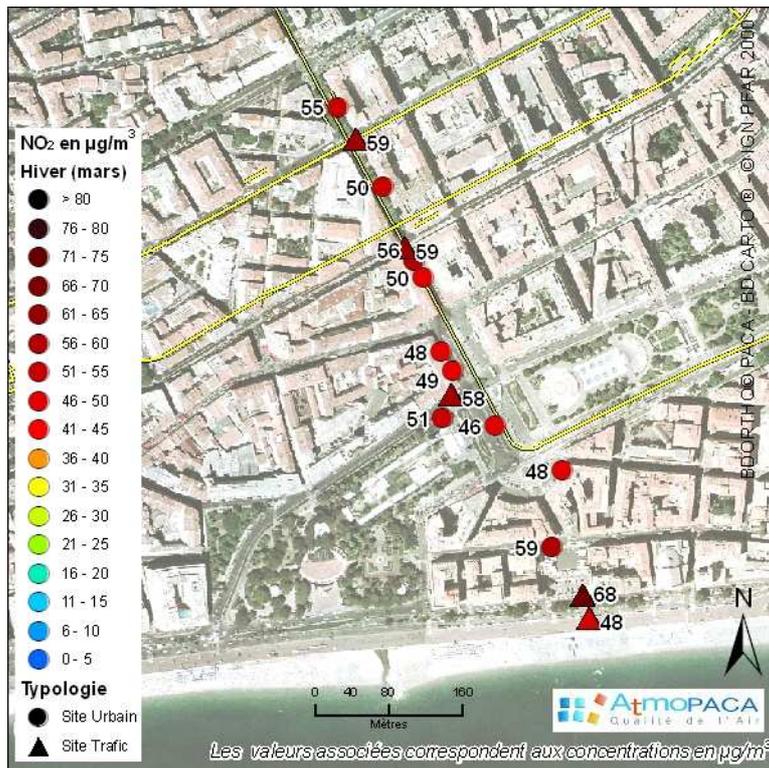
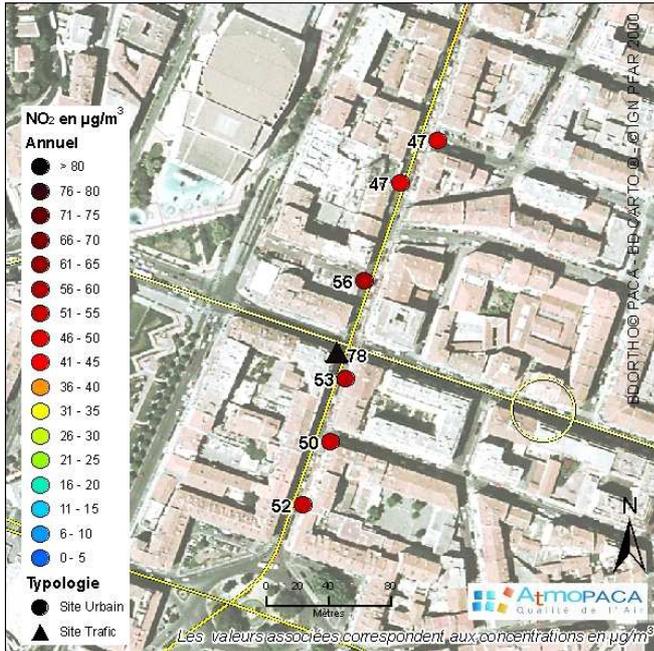


Figure 23 : Concentrations hiver et été en NO<sub>2</sub> sur le Bd Jean Médecin (µg/m<sup>3</sup>)

### MESURES DE NO<sub>2</sub> SUR LE TRANSECT DE BARLA



Ce transect est situé sur l'avenue de la République depuis la place Garibaldi (au Sud). Il indique l'évolution de la pollution de part et d'autre de la rue Barla.

Les valeurs mesurées en NO<sub>2</sub> sont importantes. Aucun point n'est situé en dessous de 46 µg/m<sup>3</sup> (valeur limite 2007) : la pollution de fond est conséquente sur ce quartier très urbanisé, en cœur de ville.

Le point situé à l'intersection de la rue Barla et de l'avenue de la République montre la concentration la plus élevée (78 µg/m<sup>3</sup>). De part et d'autre de la rue Barla, sur l'avenue de la République, moins passante, l'abattement des concentrations est bien marqué. La ligne 1 du tramway passe actuellement par l'avenue de la République.

La présence du tramway au dépend des voitures influe sur la réduction des concentrations mesurées sur l'avenue de la République. Cependant, la pollution de fond chronique mesurée sur cette zone reste élevée tant sur la période hivernale qu'estivale (cf. carte ci-dessous).

Estimations annuelles en NO<sub>2</sub> (µg/m<sup>3</sup>)

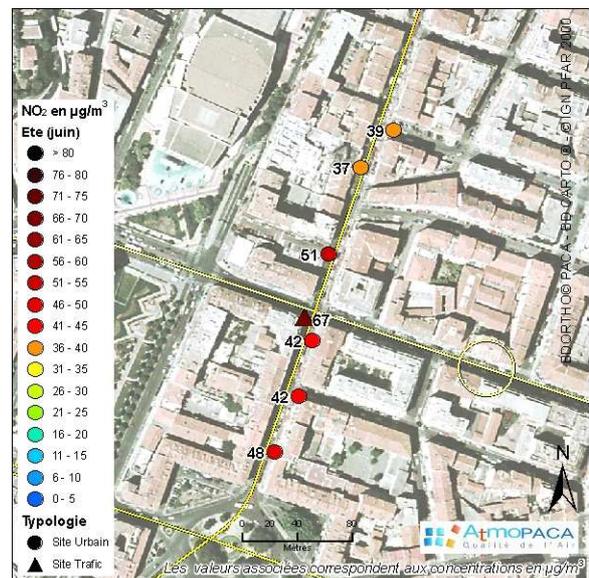
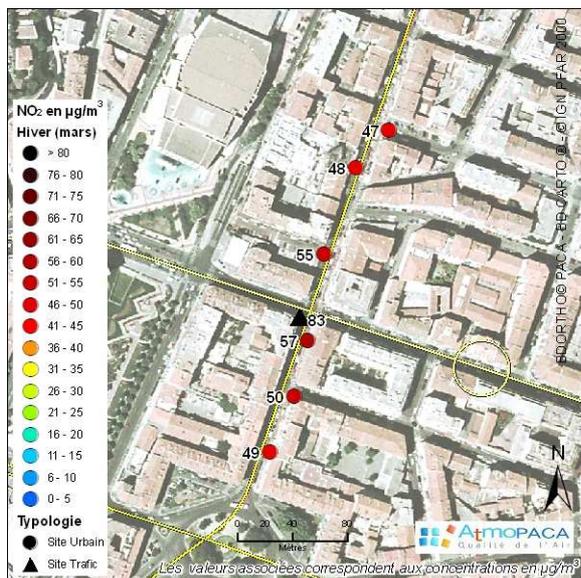
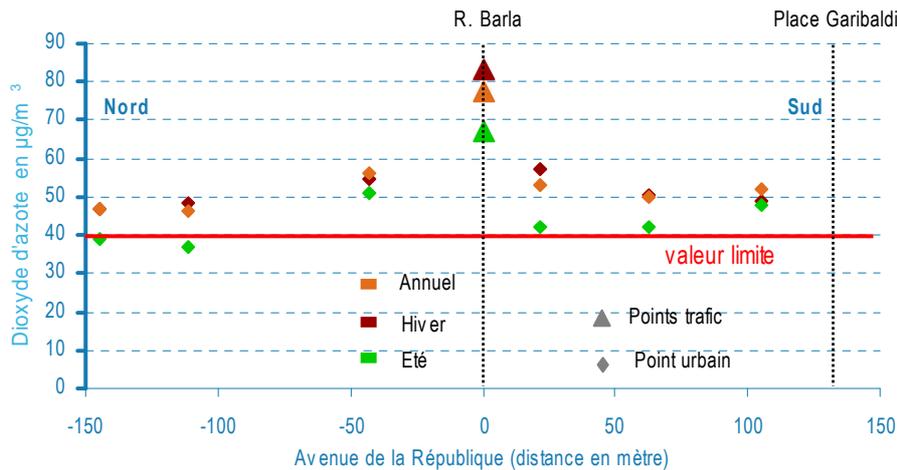
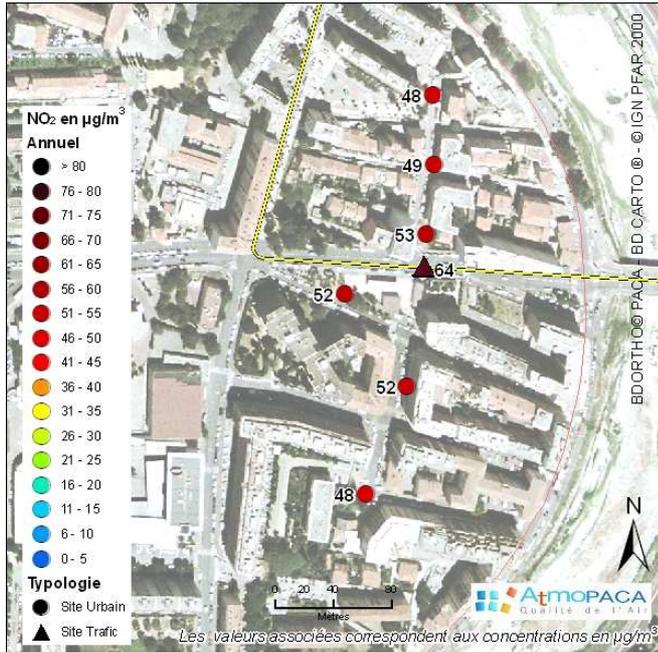


Figure 24 : Concentrations hiver et été en NO<sub>2</sub> sur Barla (µg/m<sup>3</sup>)

### MESURES DE NO<sub>2</sub> SUR LE TRANSECT VOIE ROMAINE (PASTEUR)



Ce transect est réalisé perpendiculairement à la Voie Romaine, sur les rues Jean-François Fulconis (au Nord) et Colonel Gassin (au Sud).

Aucune valeur n'est située en dessous de 46 µg/m<sup>3</sup> (valeur limite 2007 pour le dioxyde d'azote), indiquant un niveau de fond chronique élevé sur ce secteur.

Le point le plus pollué avec 64 µg/m<sup>3</sup> est situé sur la Voie Romaine, sur laquelle est prévu le futur passage du tramway.

#### Estimations annuelles en NO<sub>2</sub> (µg/m<sup>3</sup>)

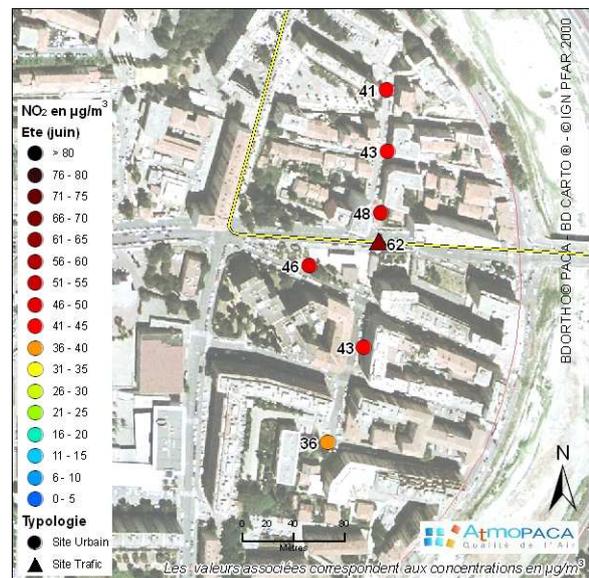
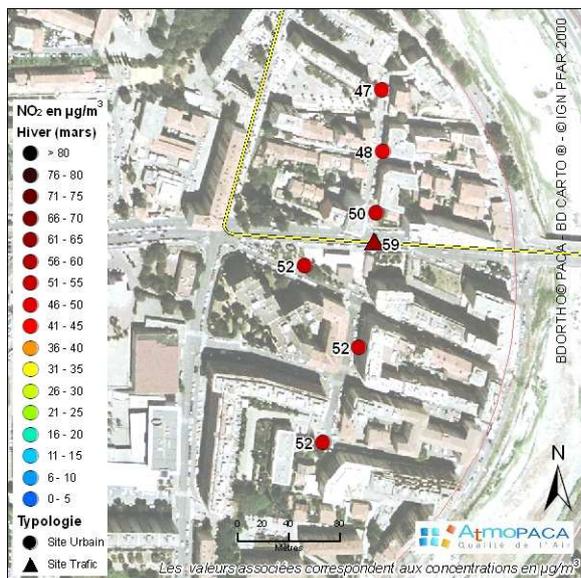
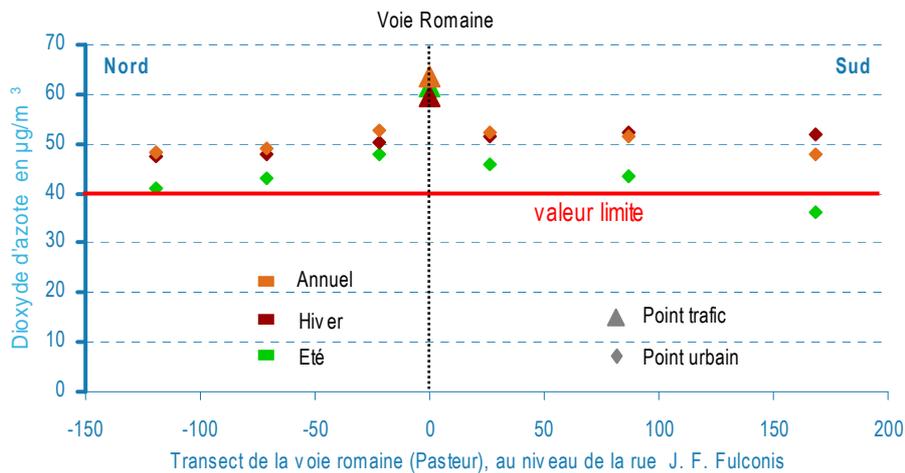
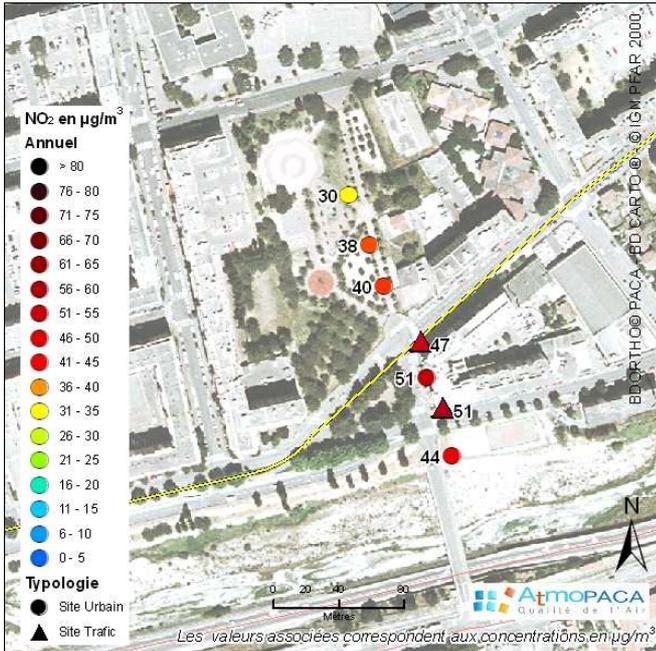


Figure 25 : Concentrations hiver et été en NO<sub>2</sub> de Pasteur (µg/m<sup>3</sup>)

### MESURES DE NO<sub>2</sub> SUR LE TRANSECT ARIANE



Ce transect indique l'évolution de la pollution de part et d'autre de l'avenue Emile Ripert, sur le chemin du vallon de l'Ariane au Nord et le boulevard de l'Ariane au Sud.

Les concentrations en dioxyde d'azote sont plus importantes au niveau des sites de typologie « trafic » du boulevard de l'Ariane (51 µg/m<sup>3</sup>) et de l'avenue Emile Ripert, (47 µg/m<sup>3</sup>).

Cette zone est certainement moins soumise à la pollution automobile que la zone niçoise « centre » fortement urbanisée. En effet, le niveau de fond semble être de 30 µg/m<sup>3</sup> au Nord du secteur.

Au Sud, les concentrations de fond sont de 44 µg/m<sup>3</sup>, influencées par les voies suivantes : pénétrante du Paillon et boulevard Riba Roussa.

Estimations annuelles en NO<sub>2</sub> (µg/m<sup>3</sup>)

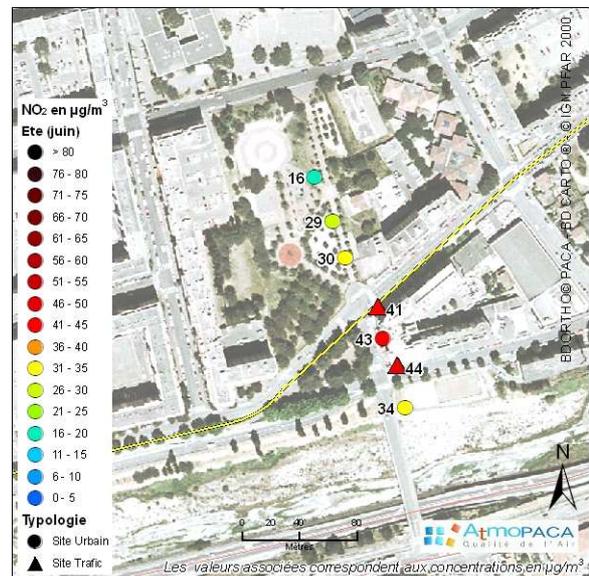
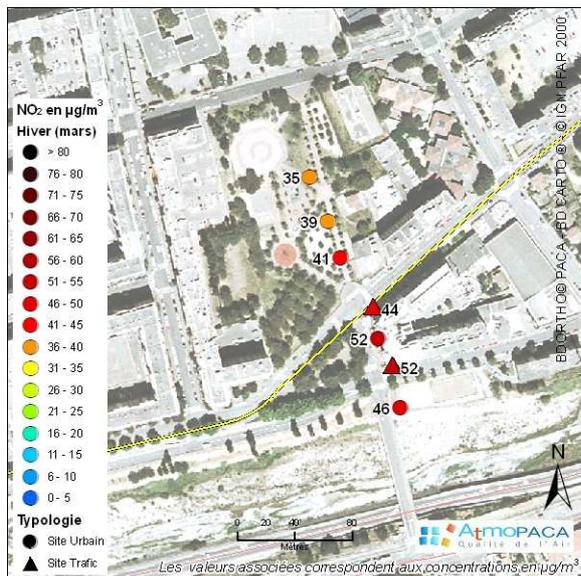
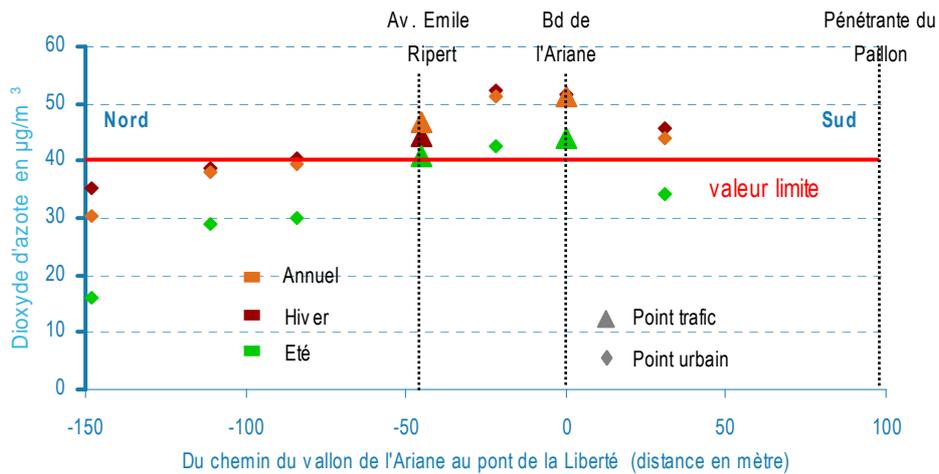
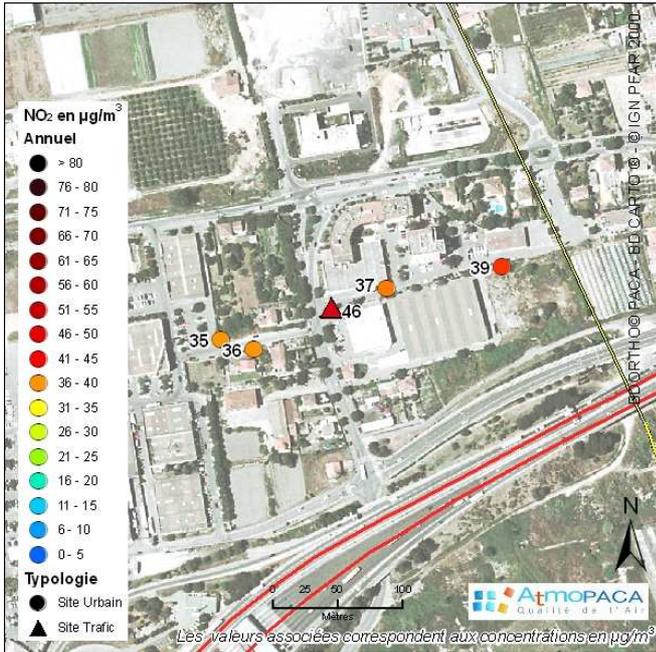


Figure 26 : Concentrations hiver et été en NO<sub>2</sub> de Ariane (µg/m<sup>3</sup>)

### MESURES DE NO<sub>2</sub> SUR LE TRANSECT SAINT-ISIDORE



Ce transect est réalisé au cœur d'une zone d'activité, perpendiculairement au boulevard des Jardiniers. L'autoroute A8 est située au Sud de ce secteur.

La concentration la plus élevée est relevée sur le boulevard des Jardiniers, la plus passante du secteur, avec 46 µg/m<sup>3</sup>, atteignant la valeur limite 2007 pour ce polluant.

De part et d'autre du boulevard, la pollution décroît légèrement (jusqu'à 35 µg/m<sup>3</sup>). Le trafic y est moins important. Cependant, la présence de nombreux parkings situés dans la zone, la proximité de l'A8 et probablement un trafic poids lourds significatif contribuent à ce niveau de fond modéré du secteur entre 35 et 39 µg/m<sup>3</sup>.

Estimations annuelles en NO<sub>2</sub> (µg/m<sup>3</sup>)

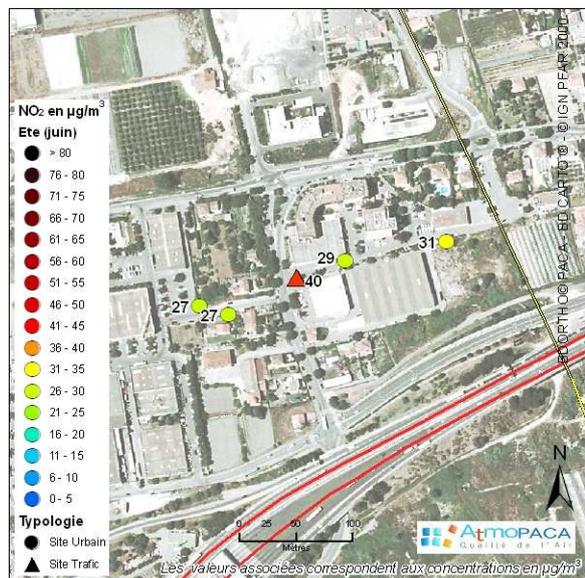
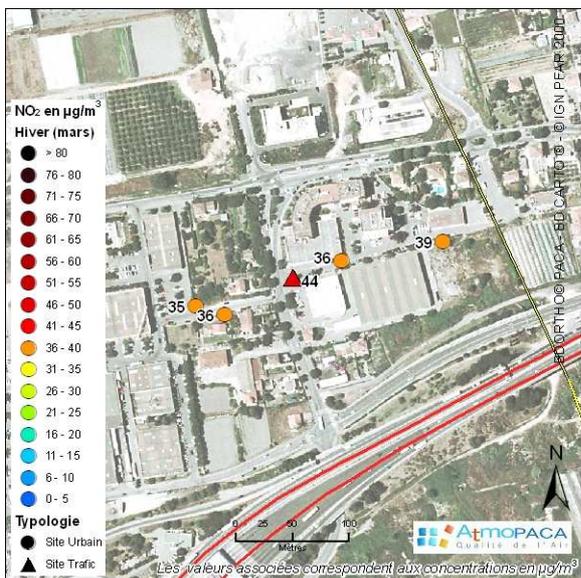
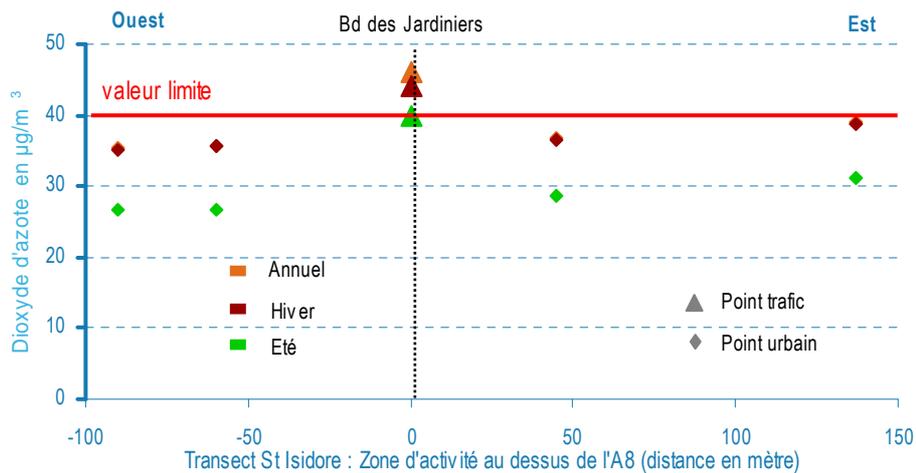
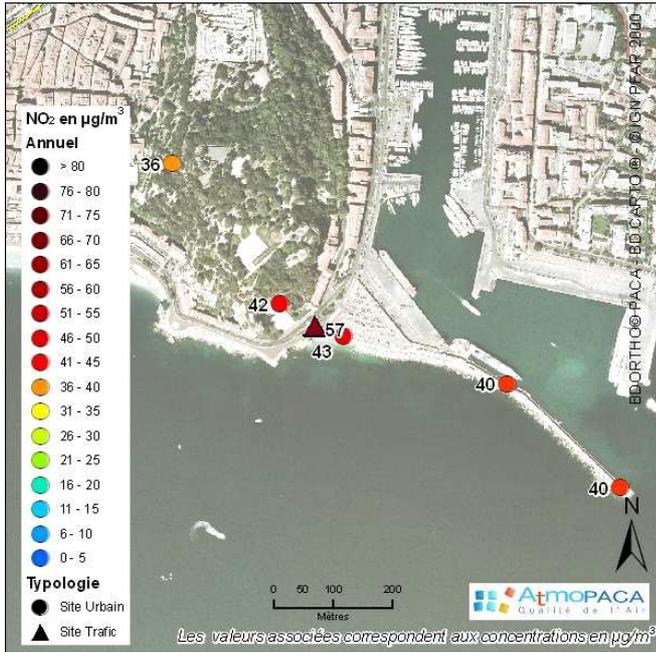


Figure 27 : Concentrations hiver et été en NO<sub>2</sub> à Saint-Isidore (µg/m<sup>3</sup>)

### MESURES DE NO<sub>2</sub> SUR LE TRANSECT SUR LA PLACE GUYNEMER



Estimations annuelles en NO<sub>2</sub> (µg/m<sup>3</sup>)

Ce transect est situé de part et d'autre de la place Guynemer, depuis la montée du château, dans le parc, jusqu'à la jetée du port.

La place Guynemer, en situation de proximité du trafic automobile, avec 57 µg/m<sup>3</sup>, dépasse la valeur limite 2007 pour le dioxyde d'azote, de 46 µg/m<sup>3</sup>.

Sur la majorité des autres sites urbains du transect, la valeur limite de 40 µg/m<sup>3</sup> à l'échéance 2010 est quant à elle dépassée, en raison de l'influence du trafic des quais (quai Rauba Capeu et quai de Lunel), mais également des émissions générées par le trafic maritime au port. Cette dernière influence est visible sur le point au bout de la jetée : la ventilation liée à la mer devrait faire diminuer cette concentration. Elle reste aussi importante en raison de l'impact du transit maritime.

La montée du château, peu empruntée et jouxtant le parc, relève une mesure modérée de 36 µg/m<sup>3</sup>.

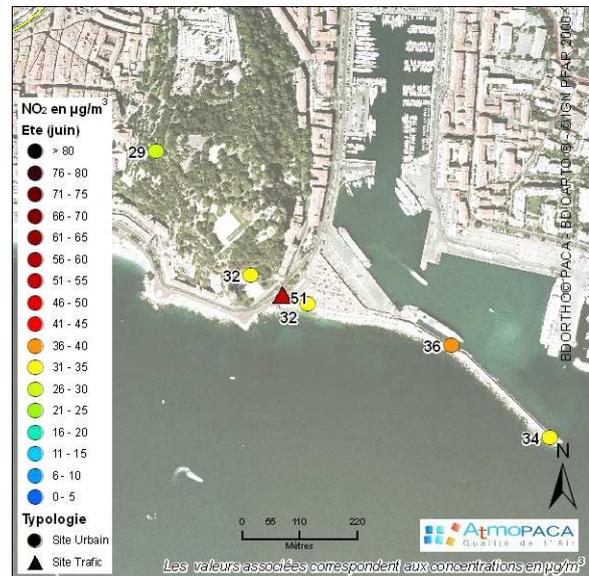
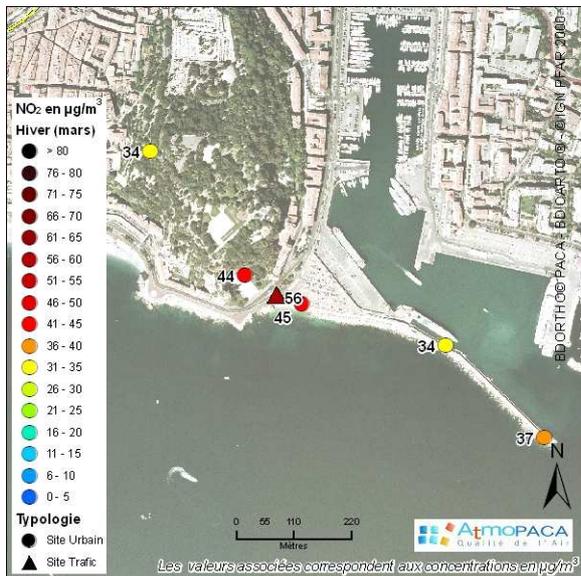
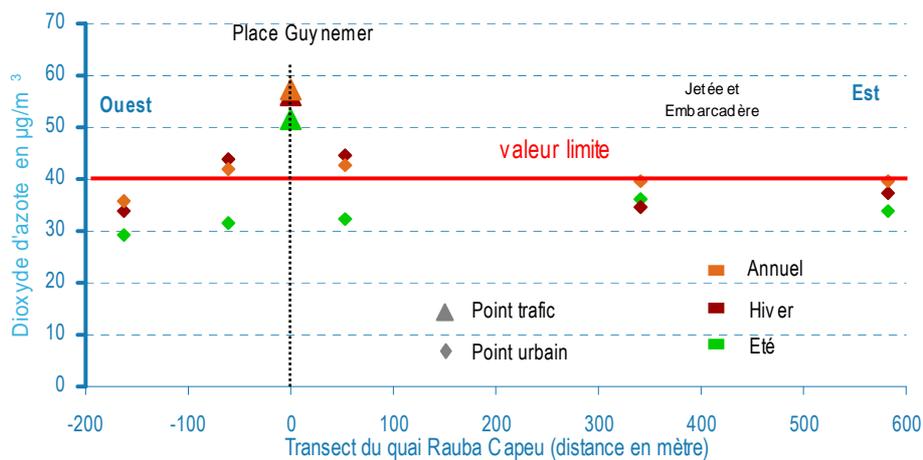
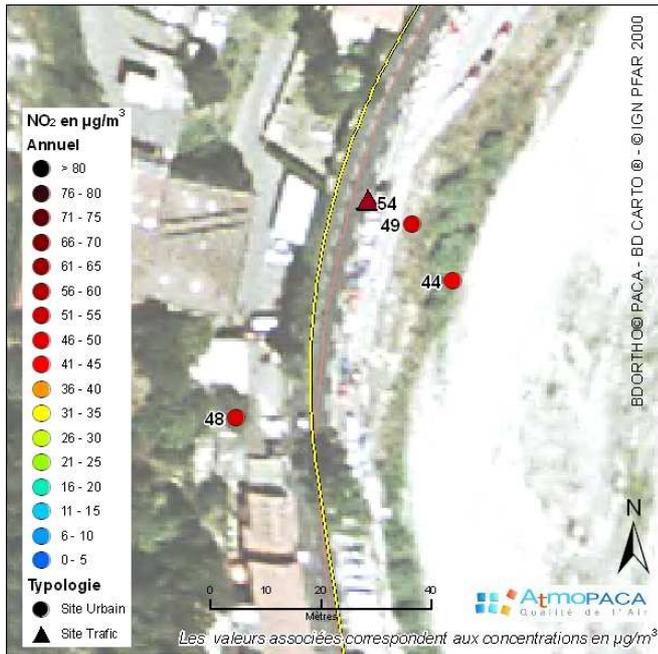


Figure 28 : Concentrations hiver et été en NO<sub>2</sub> à Guynemer (µg/m<sup>3</sup>)

### MESURES DE NO<sub>2</sub> SUR LE TRANSECT BAUME



Ce transect a été réalisé sur une distance très faible (environ 40 m) afin de quantifier au mieux la dispersion des polluants de part et d'autre de l'avenue Joseph Raybaud, qui constitue l'une des voies entrantes au Nord de Nice.

Sur l'avenue, en situation de proximité du trafic routier, la concentration est de 54 µg/m<sup>3</sup>, supérieure à la valeur limite annuelle de 40 µg/m<sup>3</sup> à l'échéance 2010.

Dans la première quinzaine de mètres de part et d'autre de l'axe, les concentrations sont de 48 µg/m<sup>3</sup>, à l'ouest et de 49 µg/m<sup>3</sup> à l'est.

Après 20 m, du côté Est, la concentration diminue jusqu'à 44 µg/m<sup>3</sup>. Ce point est encore sous l'aire d'influence de l'avenue.

#### Estimations annuelles en NO<sub>2</sub> (µg/m<sup>3</sup>)

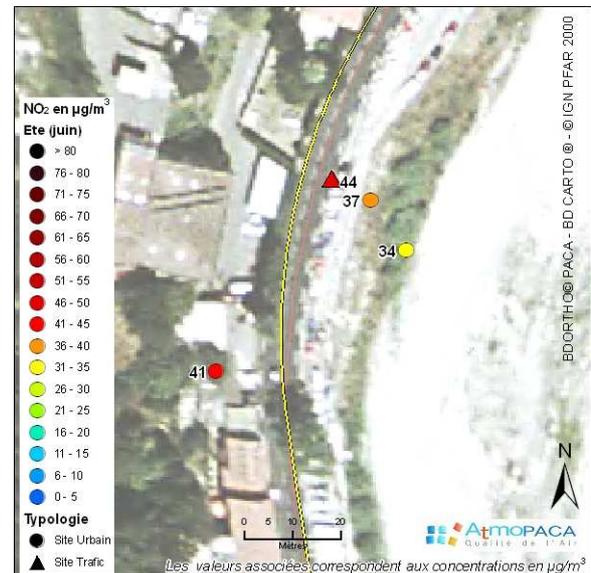
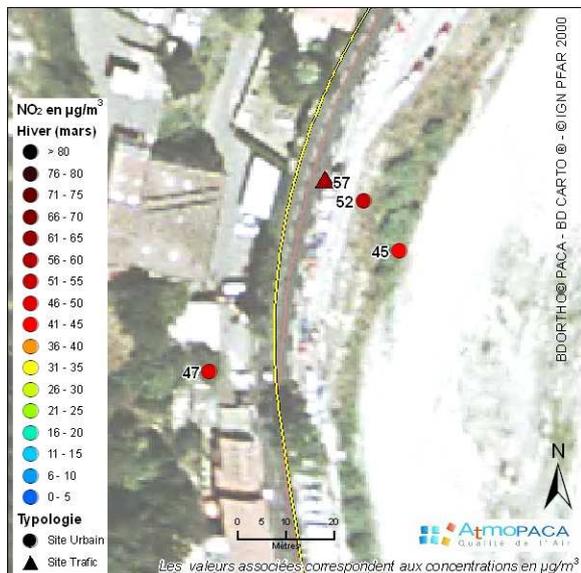
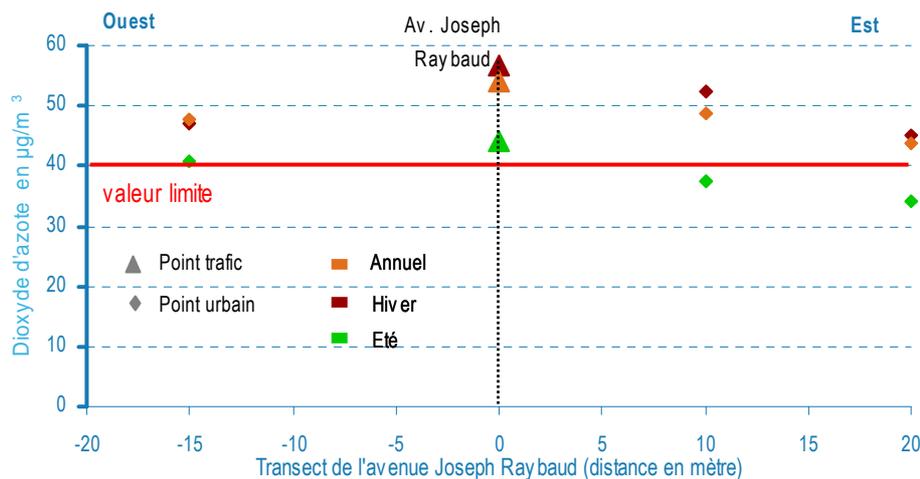


Figure 29 : Concentrations hiver et été en NO<sub>2</sub> à Baume (µg/m<sup>3</sup>)

## 2.5.2. LES HYDROCARBURES POLYCYCLIQUES (HAP)

### ORIGINE ET DYNAMIQUE

Ces polluants organiques, sous forme gazeuse ou particulaire, sont persistants. Ils s'accumulent dans l'environnement et passent aisément dans la chaîne alimentaire. Les HAP doivent tout à l'être humain. Celui-ci en émet dans nombre d'activités, surtout quand il génère des combustions qui restent incomplètes. L'homme en émet donc quand il fume, quand il incinère ses ordures, quand il roule avec un véhicule à moteur et même, dans certaines conditions, quand il cuit ses aliments. Les émissions ont toutefois diminué d'un bon tiers au cours des années 90, en raison du recul de la consommation de bois de chauffage. La tendance pourrait s'inverser avec le regain actuel de l'énergie bois.

### EFFETS SANITAIRES

L'effet cancérigène des HAP est démontré, surtout celui du benzo(a)pyrène issu de la combustion des carburants automobiles et de la biomasse, quand elle s'effectue dans des conditions mal maîtrisées (par exemple en foyer ouvert) dans le secteur résidentiel. Or, comme pour l'énergie bois, il s'agit de pratiques qui se développent.

Les HAP sont aussi suspectés de provoquer des effets neurotoxiques, pénalisant en particulier le développement cérébral. Des études menées sur des rates en gestation ont montré que ces hydrocarbures étaient transférés à l'embryon. Les HAP, persistants, voyagent loin : ils sont retrouvés dans les glaces polaires.

### RESULTATS DES MESURES DU 14/04 AU 17/05 ET DU 02/07 AU 29/07

B(a)P en ng/m <sup>3</sup>	Station mobile urbaine Place Wilson
Moyenne journalière du 14/04 au 17/05	0,09
Maximum journalier du 14/04 au 17/05	0,269 le 15/04

B(a)P en ng/m <sup>3</sup>	Station mobile urbaine Place Wilson
Moyenne journalière du 02/07 au 29/07	0,031
Maximum journalier du 02/07 au 29/07	0,052 le 16/07

Le B(a)P est réglementé avec une valeur cible annuelle de 1 ng/m<sup>3</sup> issue de la directive européenne du 15 décembre 2004.

Durant les deux périodes de mesure, le seuil de 1 ng/m<sup>3</sup> n'a jamais été dépassé. Ce résultat est à moduler du fait que les deux périodes d'échantillonnage, au printemps et en été, n'ont pas été propices à la formation de ce polluant. En effet, les périodes hivernales avec des journées courtes sont plus favorables à l'accumulation du benzo(a) pyrène car, en été, sa réactivité vis-à-vis de la photochimie est importante. De plus, les HAP sont des polluants émis par les chauffages urbains qui ne devaient pas être fortement actifs sur l'agglomération niçoise durant cette période de l'année (15,5°C en moyenne sur l'aéroport).

Un échantillonnage du site sur l'ensemble de l'année serait à prévoir pour déterminer avec certitude la situation du B(a)P vis-à-vis de la norme.

A noter les concentrations plus importantes au printemps (cf. : Figure 32), ce qui s'explique par :

- la moindre présence de photochimie et corrélativement une moindre destruction de benzo(a)pyrène,
- le fonctionnement des chauffages urbains au début du printemps.

EVOLUTION JOURNALIERE DURANT LA PERIODE D'ETUDE

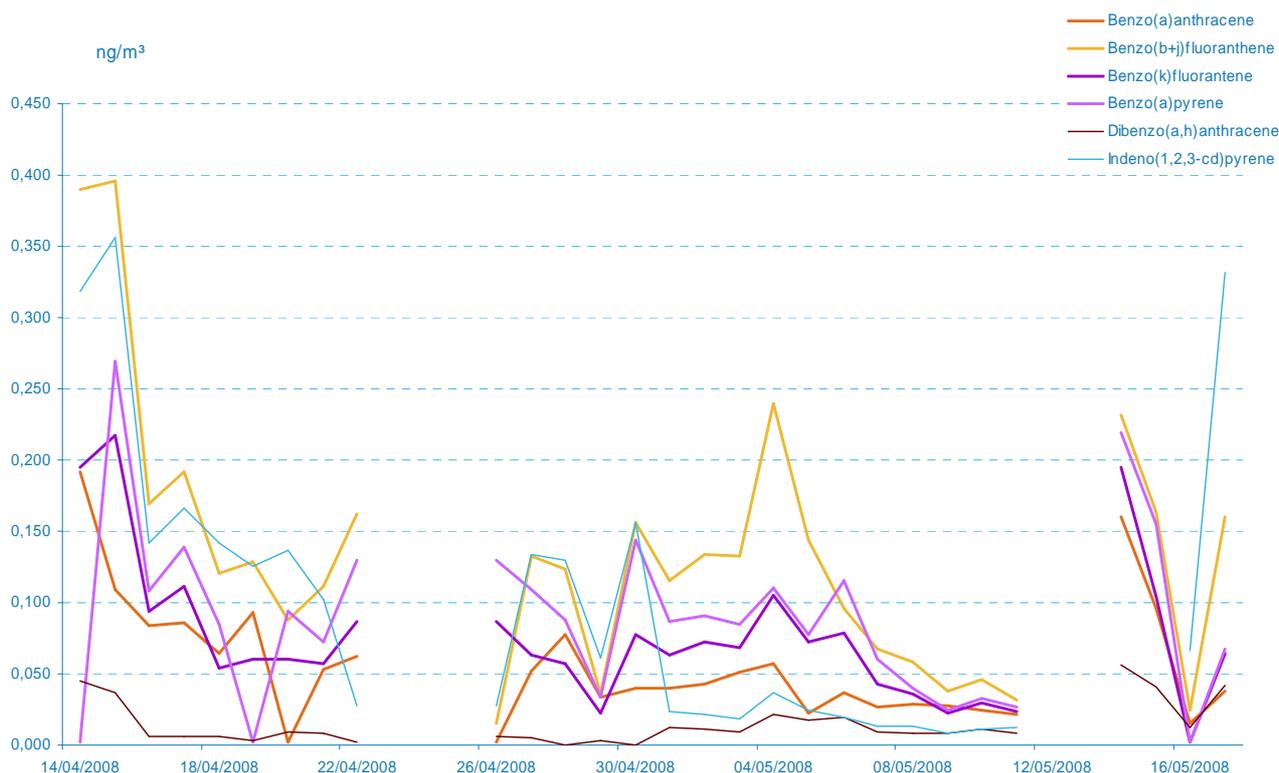


Figure 30 Evolution journalière des 6 HAP entre le 14/04 et le 17/05

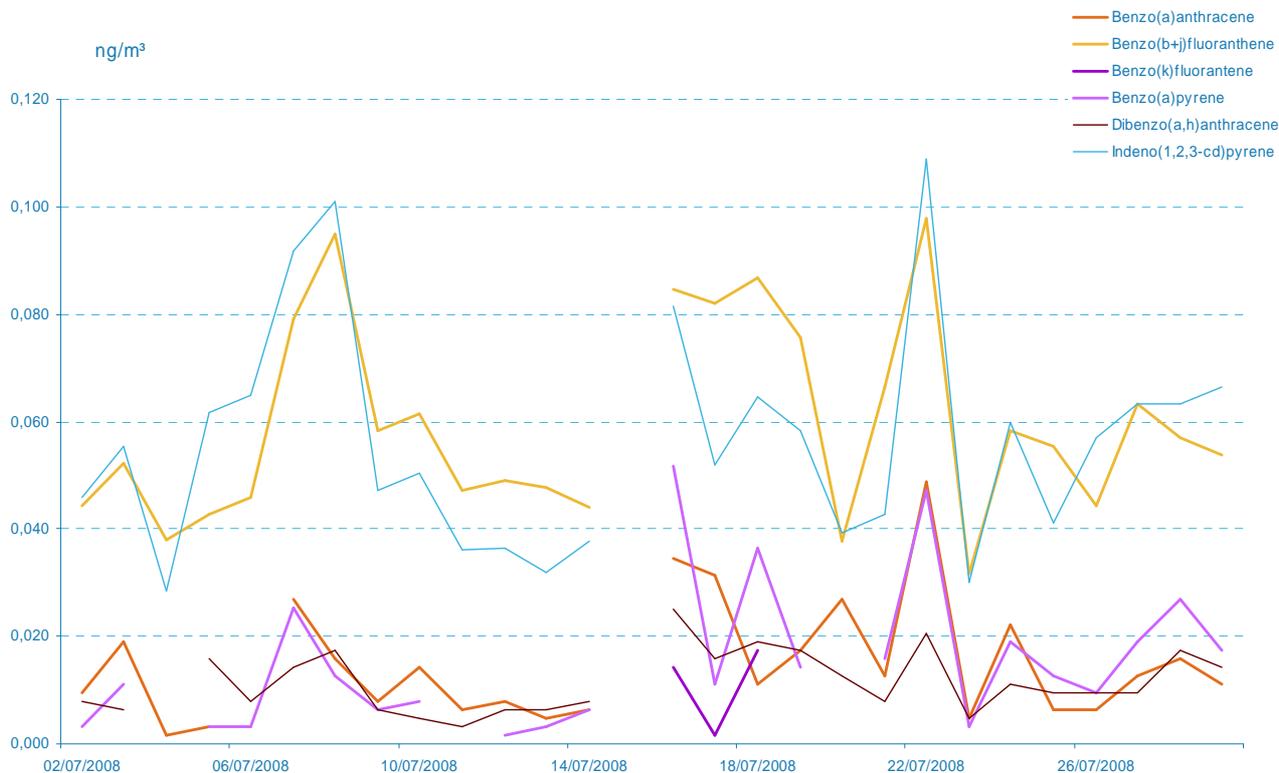


Figure 31 : Evolution journalière des 6 HAP entre le 02/07 et le 29/07

Pendant les deux périodes de prélèvements, quelques journées sont manquantes car les relevés terrains, qui doivent être réalisés quotidiennement, n'ont pas pu l'être pour des raisons techniques ou de planning.

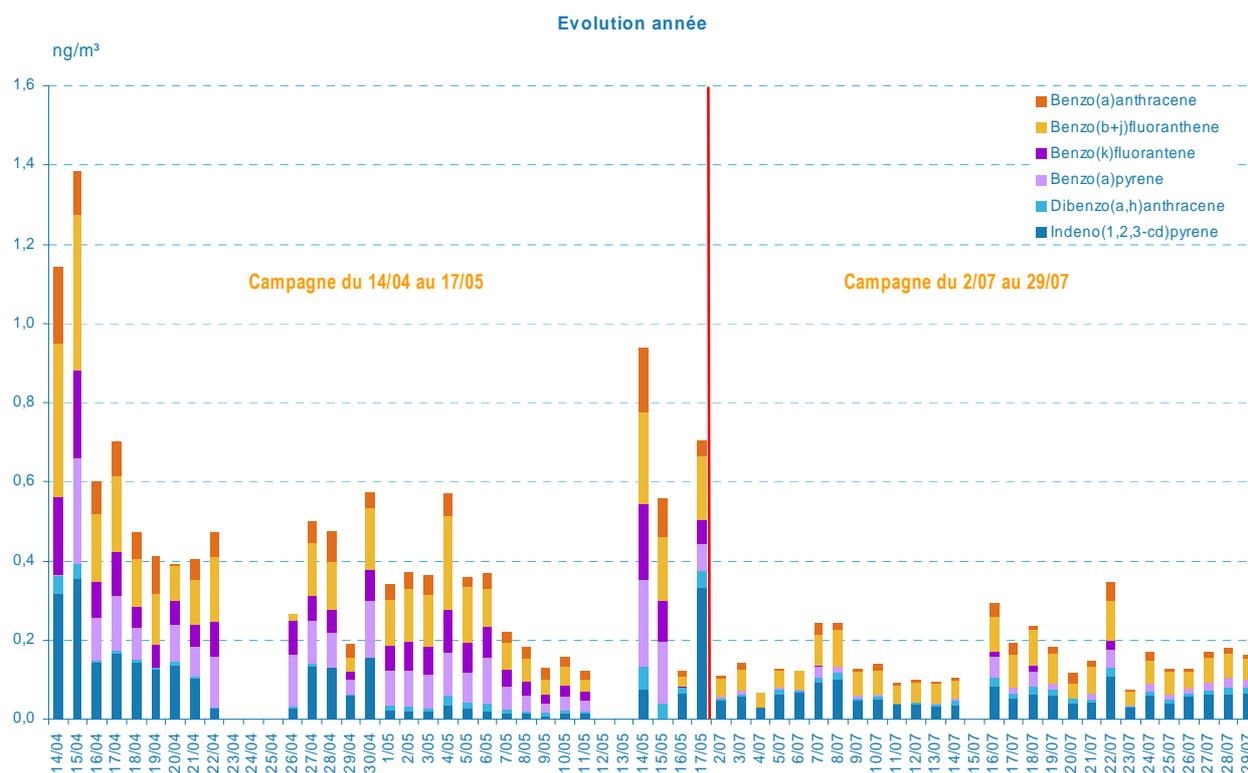


Figure 32 : Evolution des HAP sur les deux campagnes de mesure

## 2.5.3. BENZÈNE (C<sub>6</sub>H<sub>6</sub>), TOLUÈNE (C<sub>7</sub>H<sub>8</sub>), XYLÈNES (C<sub>8</sub>H<sub>10</sub>)

### ORIGINE ET DYNAMIQUE ET EFFETS SANITAIRES

#### *Benzène*

Le benzène est un polluant majoritairement issu, en milieu urbain, des transports. Il est particulièrement présent sur les axes encombrés où les véhicules circulent à petite vitesse et sont amenés à faire de fréquents changements de régime.

Le benzène est un hydrocarbure aromatique. Il est produit naturellement par les combustibles fossiles (évaporation) et les activités humaines qui impliquent une combustion de matière organique, telle que le bois, le charbon et des produits pétroliers.

Les émissions des véhicules à essence sont la source la plus importante de benzène dans l'environnement bien que les industries de raffinage puissent également contribuer aux niveaux globaux.

La communauté internationale porte un intérêt tout particulier aux concentrations de benzène dans l'atmosphère. En France, il est réglementé depuis le 15 février 2002 par le décret n° 2002-213 : un objectif de qualité de 2 µg/m<sup>3</sup> en moyenne annuelle a été fixé par ce décret. La valeur limite annuelle est de 10 µg/m<sup>3</sup> en 2005 et de 5 µg/m<sup>3</sup> à l'échéance 2010.

Le benzène est un toxique et un cancérigène pour l'homme (classé dans le premier groupe du CIRC<sup>3</sup>). Son impact sur la santé peut se faire soit par exposition brève à des doses fortes, soit par exposition chronique à des doses relativement faibles.

Le benzène est reconnu comme cancérigène par l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS). Elle estime que le risque est de 6.10<sup>-6</sup> par µg/m<sup>3</sup> pour une exposition continue à vie.

#### *Toluène*

Le toluène est produit par la combustion de la matière organique telle que les produits pétroliers, bois et charbon. Les émissions de véhicules à moteur sont la source prédominante du toluène. Les peintures, diluants, adhésifs et la fumée de cigarette en contiennent (ces dernières sources se retrouvent plutôt en air intérieur).

Les effets sanitaires du toluène se manifestent par des difficultés respiratoires principalement dues à des irritations.

L'OMS a fixé une valeur guide de 260 µg/m<sup>3</sup> pour une semaine d'exposition.

#### *Xylènes*

Dans ce rapport, le terme de xylènes désigne la somme de quatre substances : ortho-, para- et méta-xylène.

Les émissions des véhicules et les combustions de matières organiques sont la source principale des xylènes dans l'environnement urbain. Le xylène est un hydrocarbure pouvant être émis également par évaporation de l'essence et par l'utilisation de produits contenant les dissolvants et les diluants.

Ces composés ne possèdent pas de valeur guide concernant les recommandations de l'OMS, mais ils jouent un rôle important en tant que précurseurs de la pollution photochimique.

---

<sup>3</sup> Centre International de Recherche sur le Cancer

### RESULTATS DES CAMPAGNES HIVERNALES ET ESTIVALES DES MESURES PAR ECHANTILLONNEURS PASSIFS

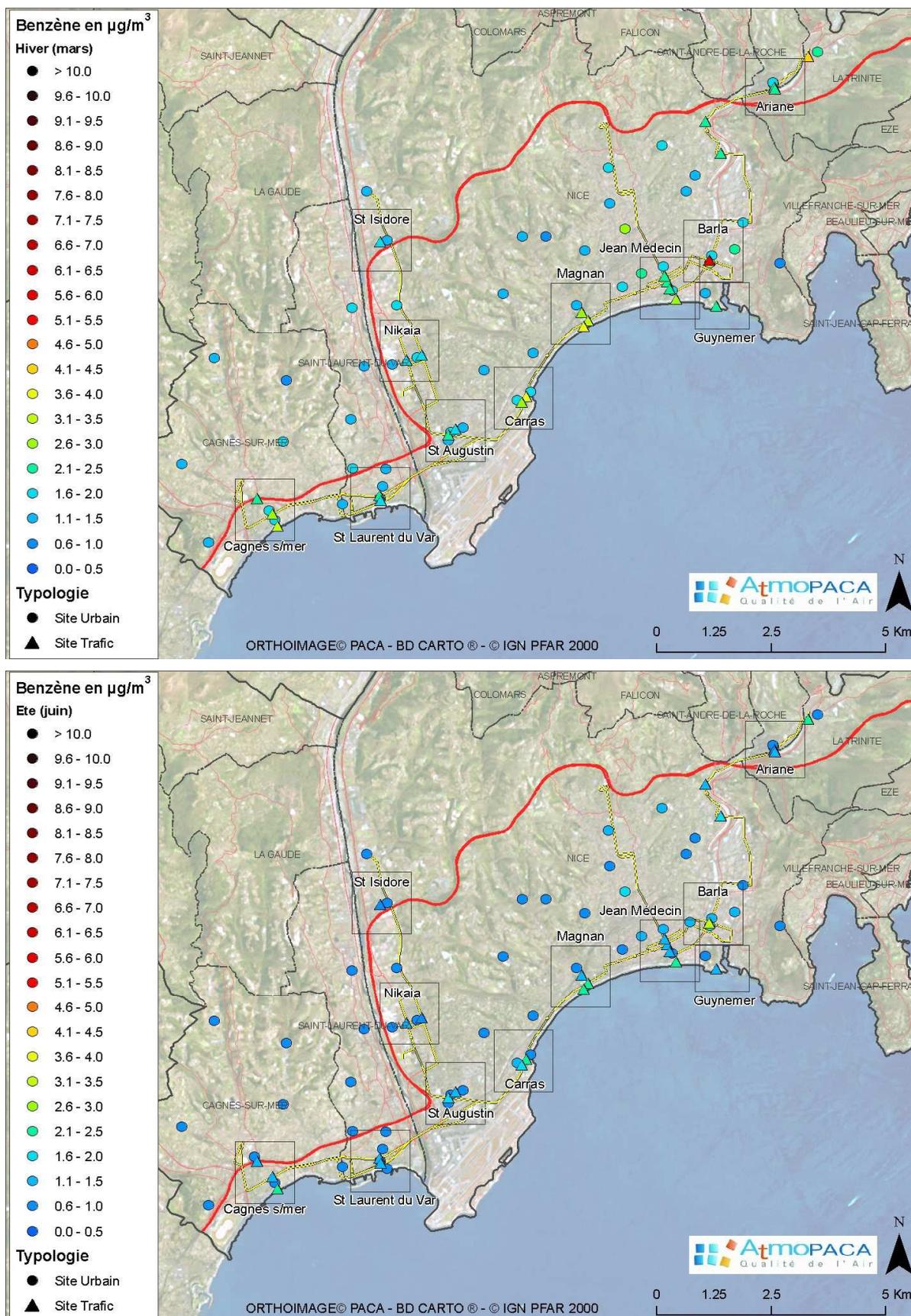


Figure 33 : Concentrations moyennes en benzène, campagnes hivernale et estivale

## Résultats

Sur NCA, 80 sites ont fait l'objet d'un échantillonnage en benzène.

Les concentrations en benzène sont plus importantes durant la période hivernale correspondant au mois de mars. En effet, les conditions de stabilité de l'atmosphère sont plus fréquentes en cette période et conduisent à une concentration des polluants dans l'air. Sur l'ensemble des sites échantillonnés en mars, les concentrations mensuelles varient de 1 à 5,5  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , avec une moyenne de 1,9  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  pour la série.

En juin, période estivale, la moyenne baisse : 1,1  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , avec une série de valeurs s'échelonnant de 0,5 à 3,1  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .

### ESTIMATIONS DES MOYENNES ANNUELLES EN BENZENE A PARTIR DES MESURES PAR ECHANTILLONNEURS PASSIFS

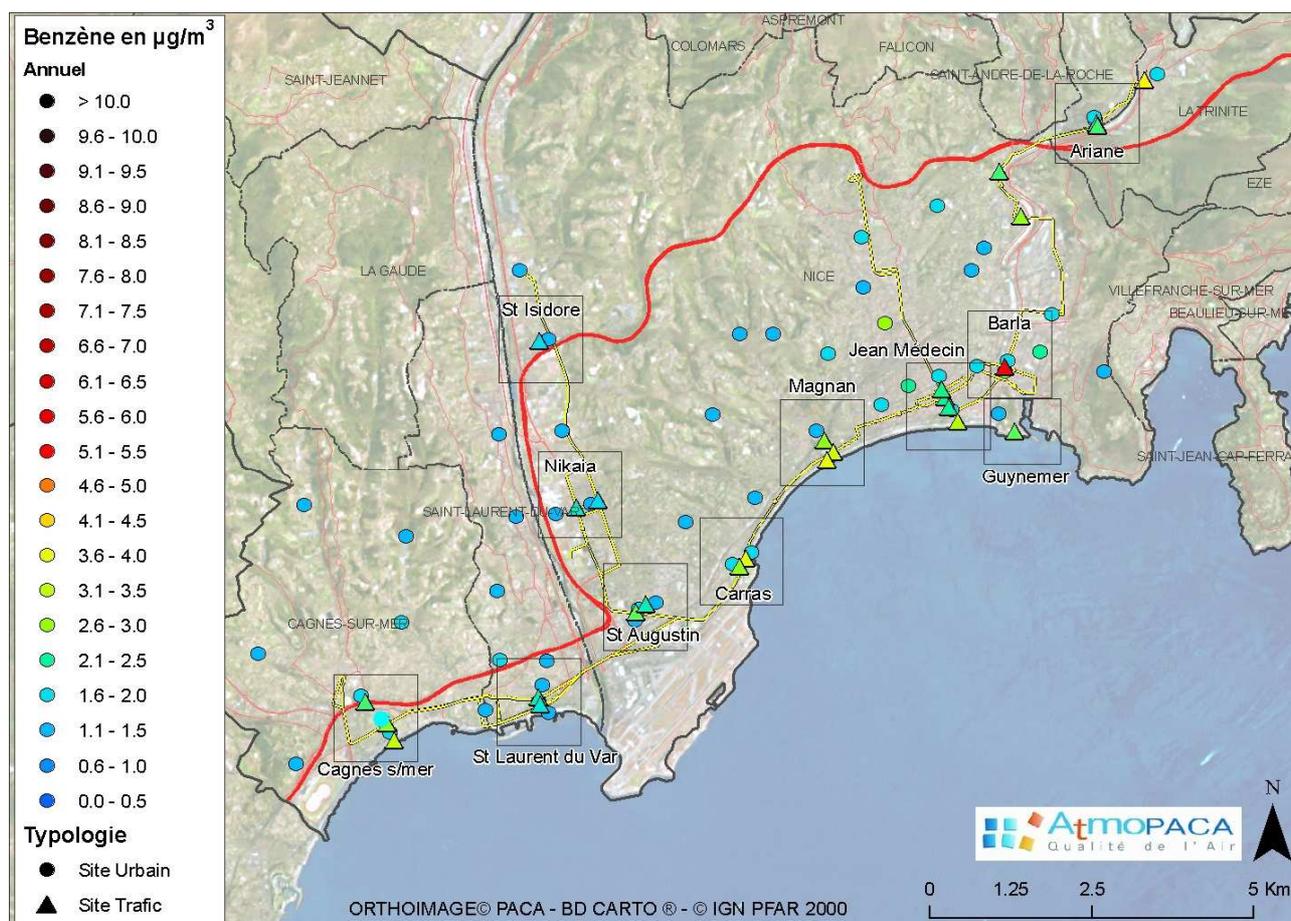


Figure 34 : Estimations des annuelles moyennes en benzène

## EXPLICATION DE LA METHODE D'ESTIMATION DE LA VALEUR ANNUELLE EN BTX A PARTIR DES DEUX CAMPAGNES DE MESURES HIVERNALE ET ESTIVALE :

Les moyennes annuelles sur les sites de mesure sont reconstituées à partir des résultats des deux campagnes et des données enregistrées sur les 16 stations permanentes d'Atmo PACA (mesures en continu sur la totalité de l'année en benzène, toluène, éthylbenzène et xylènes).

Dans le cadre de ce projet, il est important de constater que les concentrations annuelles estimées sont dans l'ensemble égales ou légèrement supérieures à la concentration mesurée lors de la campagne d'hiver.

Ces résultats trouvent leur explication dans les périodes des deux campagnes de mesure : la campagne hivernale a été réalisée au mois de mars, ce qui correspond à la fin de l'hiver – début du printemps. Les conditions de stabilité de l'atmosphère caractéristiques de la période hivernale n'étaient pas maximales. Ceci a donc pour conséquence l'obtention de concentrations en polluants plus importantes lors de la reconstitution des moyennes annuelles.

Pour estimer les concentrations annuelles de chacun des points de prélèvements, une régression linéaire est calculée à partir des données des stations fixes pour chacun de ces polluants entre la concentration moyenne annuelle et la concentration moyenne pendant les périodes étudiées.

- La concentration moyenne annuelle est calculée sur la période du 3/07/07 au 3/07/08<sup>4</sup>.
- La concentration moyenne sur les périodes de la campagne est calculée entre le 6/03 et le 1/04/2008 et entre le 04/06 et le 02/07/2008.

Les équations de droite obtenues (cf. : Figure 35) sont ensuite appliquées aux valeurs moyennes des échantillonneurs passifs sur les deux campagnes (été et hiver). Ce qui permet de calculer une estimation des concentrations annuelles pour chacun des points de mesures.

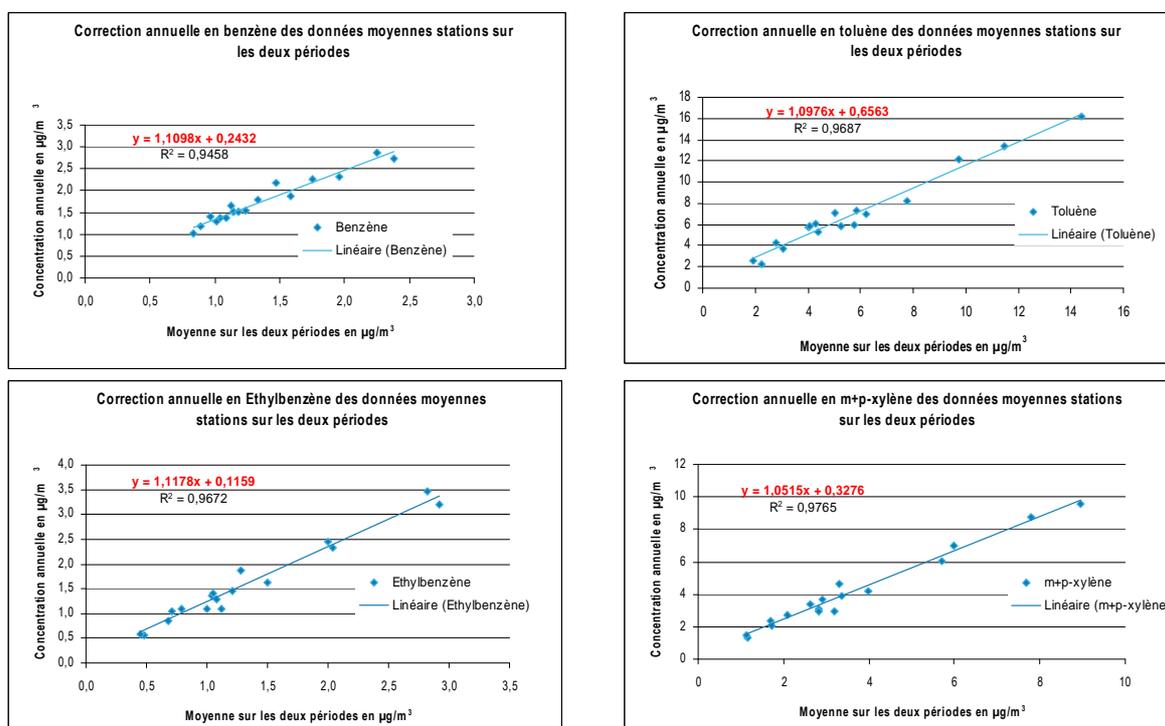


Figure 35 : Régression linéaire pour l'estimation des concentrations annuelles des échantillonneurs passifs en BTX

<sup>4</sup> Habituellement les concentrations annuelles sont calculées sur la période de l'année civile du 1er janvier au 1er janvier. En raison des délais de la campagne et des rendus, il n'a pas été possible d'attendre fin 2008. La période annuelle choisie s'étend donc du 3/07/2007 au 3/07/2008.

### Typologies des sites en regard de la classification de l'ADEME<sup>5</sup> :

80 sites ( sur les 161 étudiés) ont été échantillonnés en BTX.

La majorité des sites échantillonnés (64 %) est de typologie urbaine.

18 % sont de typologie trafic.

Les sites d'observation, périurbains et ruraux sont moins représentés, avec moins de 10 % dans chacune de ces typologies.

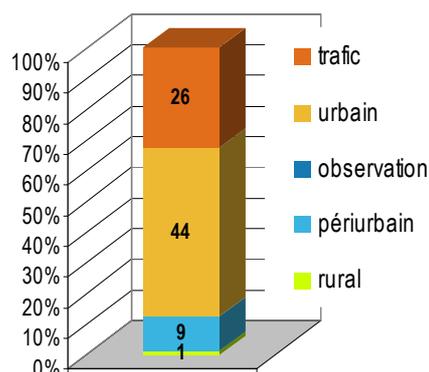


Figure 36 : Typologies des sites de mesure en benzène

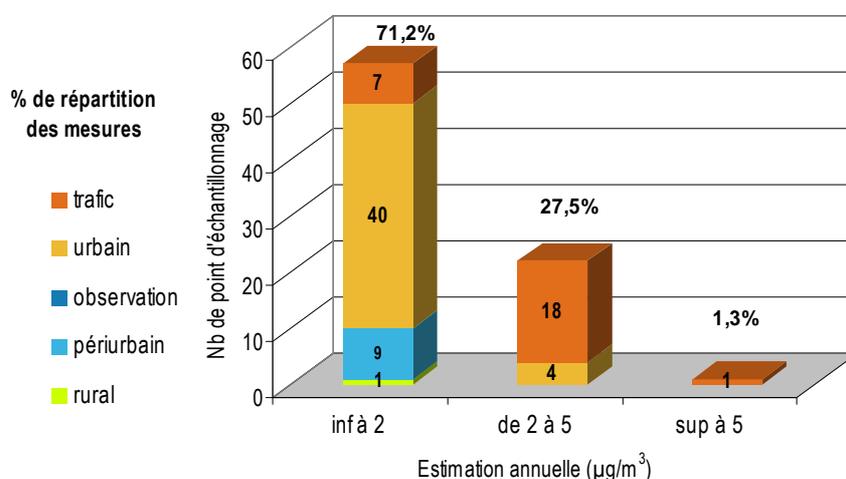


Figure 37 : Répartition des typologies de sites en fonction des estimations annuelles en benzène

#### Résultats :

Sur les 80 sites de NCA, les valeurs annuelles en benzène (moyenne annuelle du 1er juillet 2007 au 1er juillet 2008) varient de 1,1 à 5 µg/m<sup>3</sup>.

La valeur limite annuelle pour le benzène, de 5 µg/m<sup>3</sup>, est atteinte sur un site du quartier Barla « intersection de la rue Barla avec l'avenue de la République ». Le benzène est apporté par les émissions en quantité importante du trafic routier.

L'objectif de qualité annuel pour ce polluant, de 2 µg/m<sup>3</sup>, est dépassé sur 24 sites, en majorité de typologie trafic.

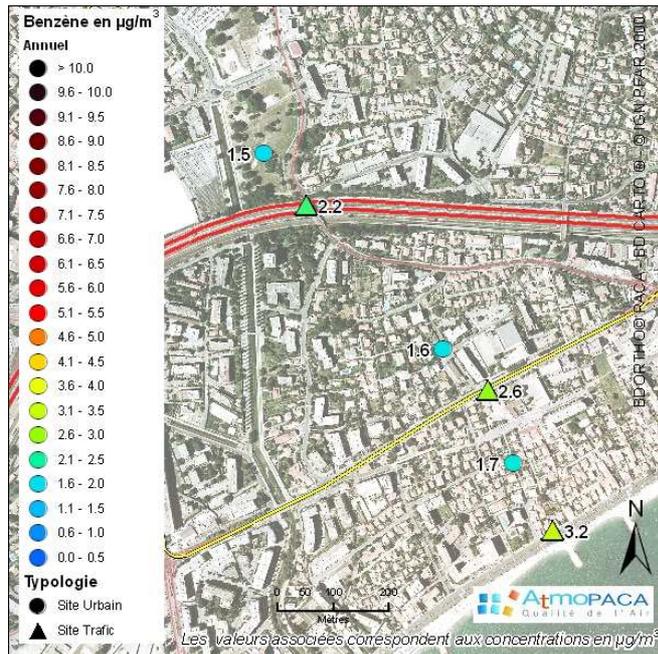
Les 55 autres sites, inférieurs à 2 µg/m<sup>3</sup>, sont plutôt urbains et périurbains. La concentration annuelle de 1,1 µg/m<sup>3</sup>, la plus basse de l'échantillonnage, est relevée sur trois sites : le chemin de la Campanette (au Nord de Cagnes-sur-Mer), le fort du mont Alban (Mont-Boron, entre Nice et Villefranche), et le Chemin du haut Magnan (Nord-Ouest de Nice).

### ANALYSE DES TRANSECTS DE MESURE EN BENZENE

Pour le benzène, 11 transects sont présentés dans le paragraphe suivant.

<sup>5</sup> ADEME, 2002 - « Classification et critères d'implantation des stations de surveillance de la qualité de l'air »

### MESURES DE BENZENE SUR LE TRANSECT DE CAGNES-SUR-MER



Ce transect met en évidence l'évolution des teneurs en benzène autour de 3 axes routiers (du Nord au Sud : autoroute A8, av. de Nice, bd de la plage).

Comme pour le dioxyde d'azote, les axes routiers à fort trafic enregistrent les valeurs les plus importantes de benzène, supérieures à l'objectif de qualité annuelle pour ce polluant de 2 µg/m³ :

- l'autoroute A8, avec 2,2 µg/m³,
- l'avenue de Nice, avec 2,6 µg/m³ où la ligne de tramway est pressentie,
- Bd de la plage, avec 3,2 µg/m³.

La pollution de fond du quartier varie de 1,7 à 1,5 µg/m³ en s'éloignant du bord de mer.

#### Estimations annuelles en benzène (µg/m³)

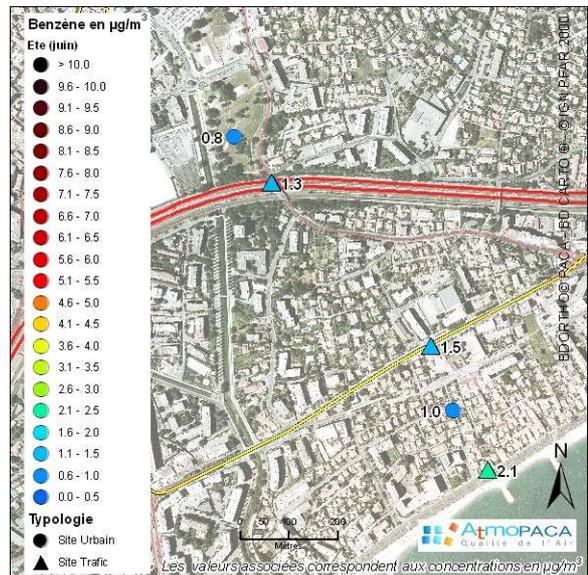
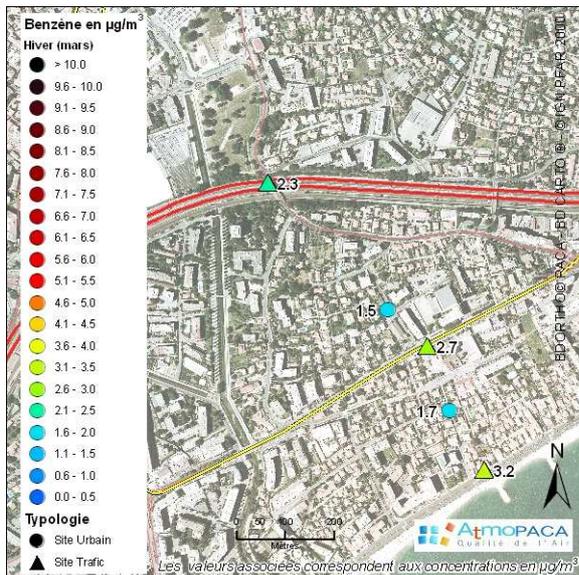
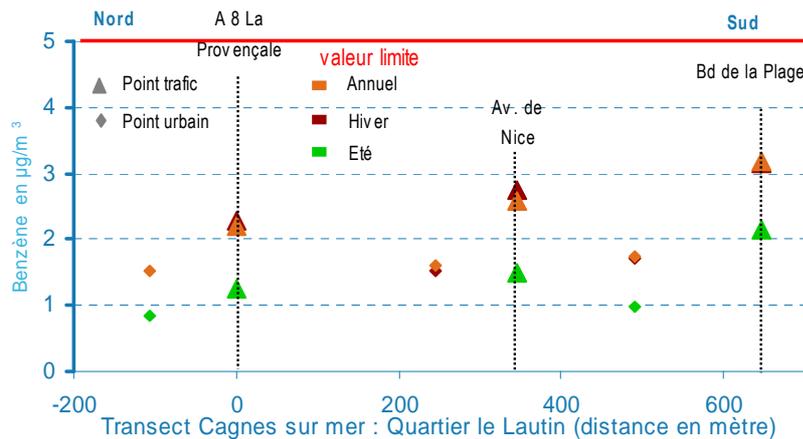
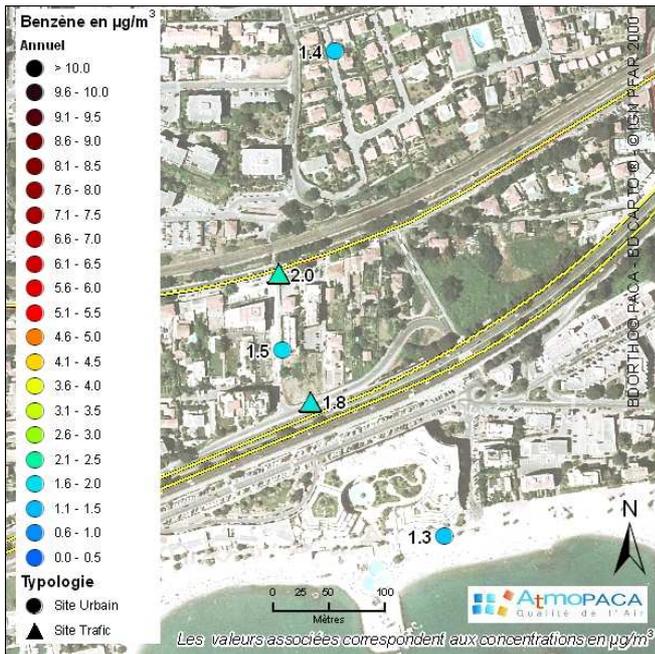


Figure 38 : Concentrations hiver et été en benzène à Cagnes-sur-Mer (µg/m³)

### MESURES DE BENZENE SUR LE TRANSECT DE SAINT-LAURENT-DU-VAR



Ce transect concerne la dispersion de la pollution de part et d'autre de deux axes (la route des Vespins au Nord et la route du bord de mer au Sud).

Le site localisé sur la route des Vespins enregistre la plus forte concentration en benzène du transect : 2 µg/m³.

Sur la route du bord de mer, malgré le trafic important, la concentration est de 1,8 µg/m³, légèrement inférieure à l'objectif de qualité annuel pour le benzène de 2 µg/m³.

La pollution de fond du quartier est évaluée entre 1,3 et 1,5 µg/m³ de benzène.

Estimations annuelles en benzène (µg/m³)

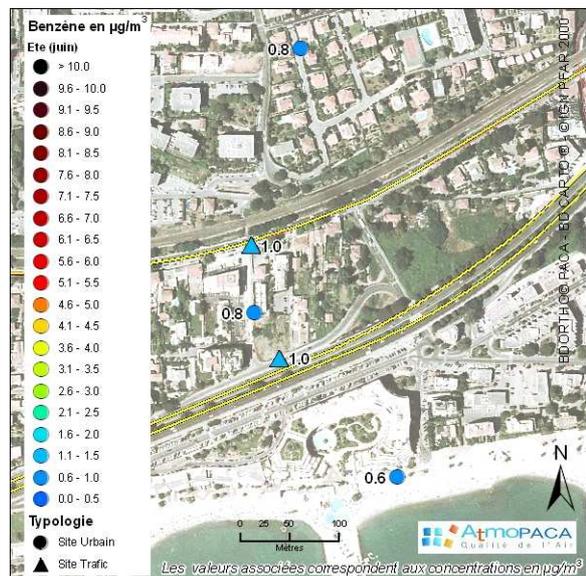
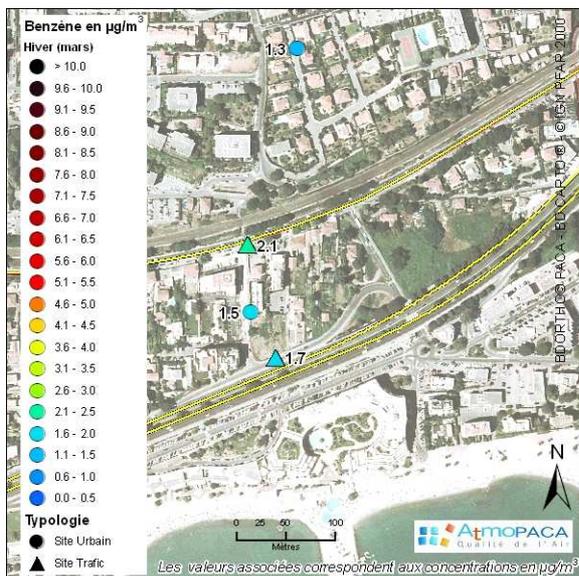
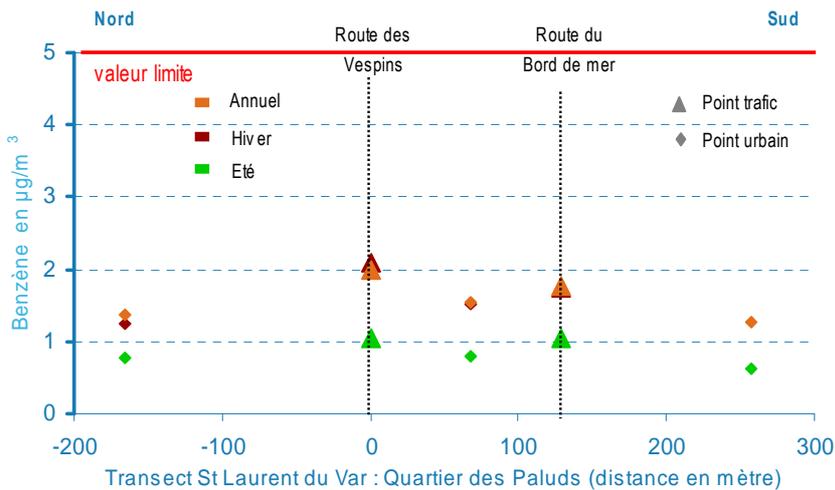
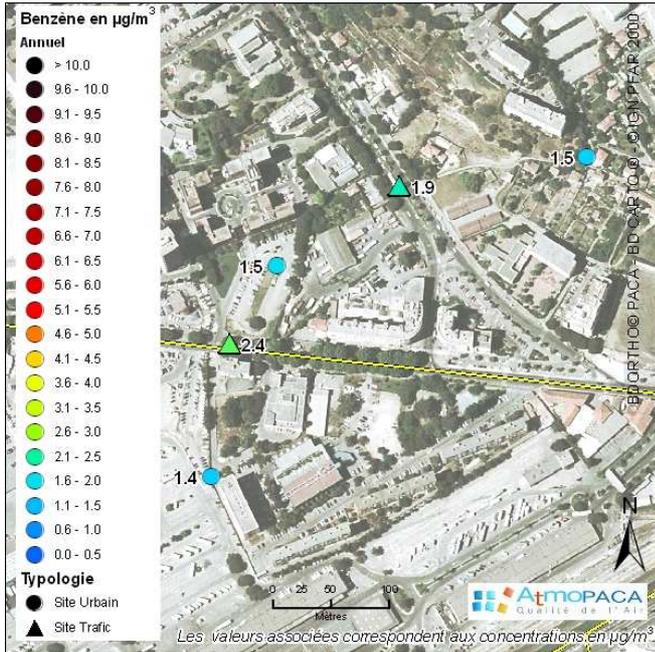


Figure 39 : Concentrations hiver et été en benzène à St-Laurent-du-Var (µg/m³)

### MESURES DE BENZENE SUR LE TRANSECT DE SAINT-AUGUSTIN



Le transect de Saint-Augustin est localisé de part et d'autre de la route de Grenoble.

Comme pour le dioxyde d'azote, la route de Grenoble et le boulevard Paul Montel sont les points où les valeurs de benzène sont les plus importantes de la zone (respectivement 2,4 et 1,9 µg/m<sup>3</sup>), approchant ou dépassant l'objectif de qualité pour ce polluant, de 2 µg/m<sup>3</sup>.

La route de Grenoble (2,4 µg/m<sup>3</sup>) est plus polluée que le boulevard Paul Montel (1,9 µg/m<sup>3</sup>). La différence de trafic routier entre ces deux axes est certainement à l'origine de ce résultat, ainsi que la fluidité du trafic et la vitesse des véhicules qui sont des facteurs déterminants.

Le niveau de fond du secteur se situe entre 1,4 et 1,5 µg/m<sup>3</sup>.

Estimations annuelles en benzène (µg/m<sup>3</sup>)

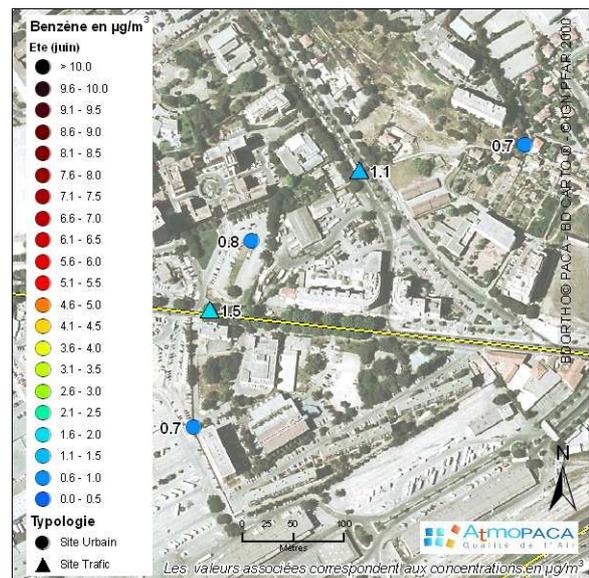
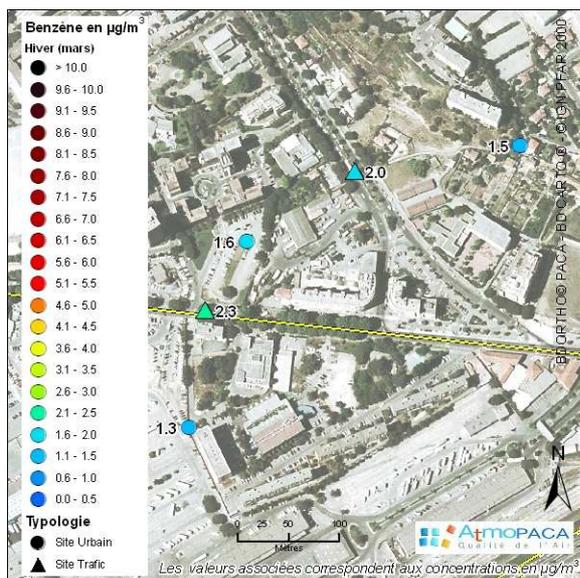
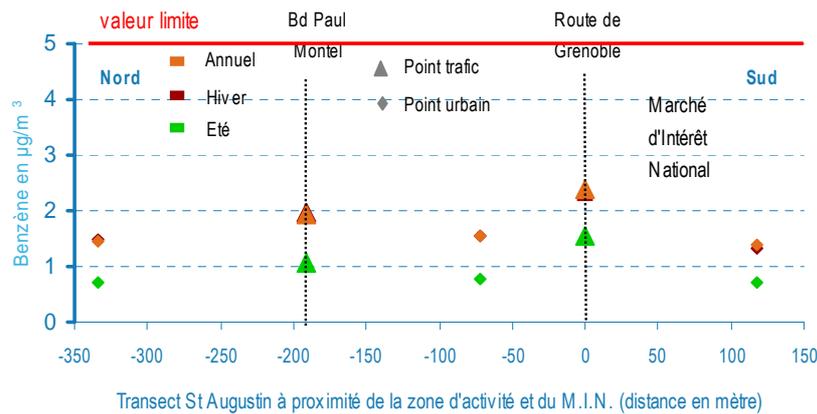
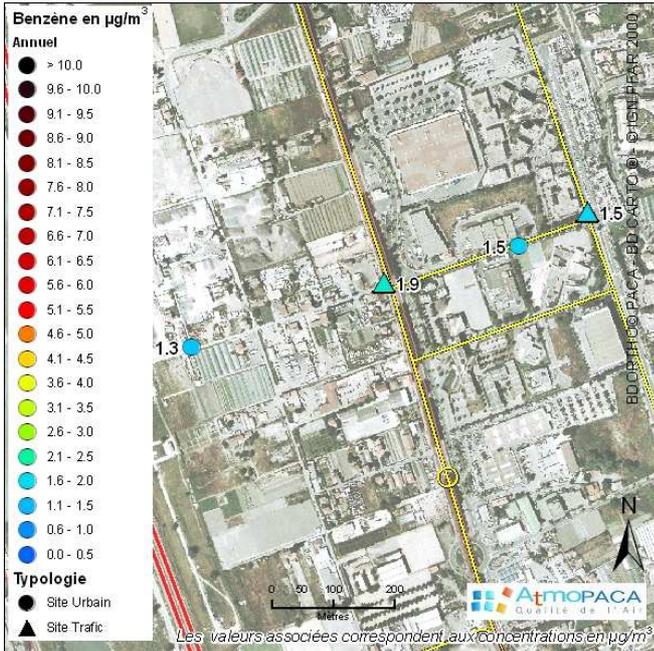


Figure 40 : Concentrations hiver et été en benzène à St-Augustin (µg/m<sup>3</sup>)

### MESURES DE BENZENE SUR LE TRANSECT DE NIKAIKA



Ce transect met en exergue l'écart de pollution existant entre la route de Grenoble RN 202 (axe à l'ouest) et le boulevard Maître Maurice Slama (axe à l'est).

La concentration la plus haute, de  $1,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$  est relevée sur la RN 202 (rappel : objectif de qualité pour le benzène :  $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ )

Du côté Est, le boulevard Maître Maurice Slama, parallèle à la RN, est également passant, avec une concentration de  $1,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Cette même mesure est relevée sur l'avenue Emmanuel Pontremoli, reliant l'avenue au boulevard.

Du côté Ouest, au niveau de l'avenue des Palmiers,  $1,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$  correspondent au niveau de fond du secteur.

#### Estimations annuelles en benzène ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )

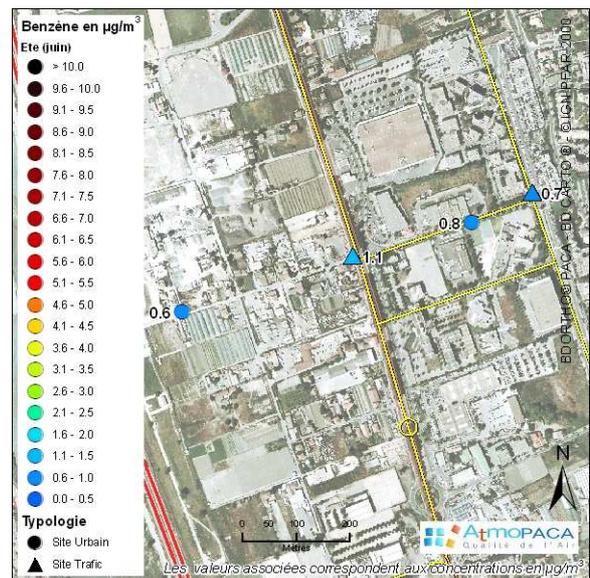
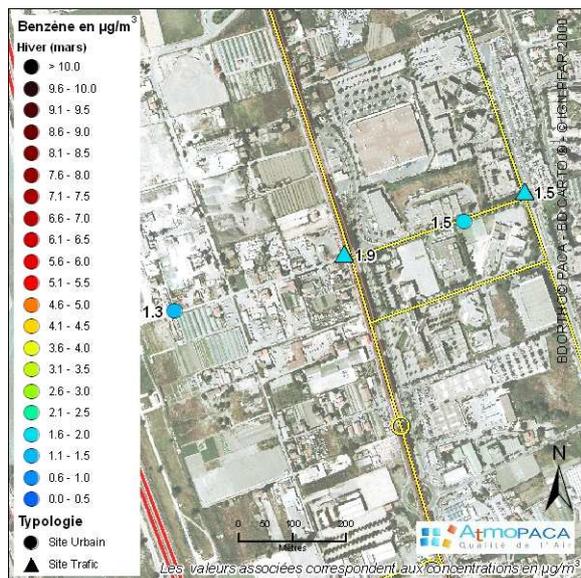
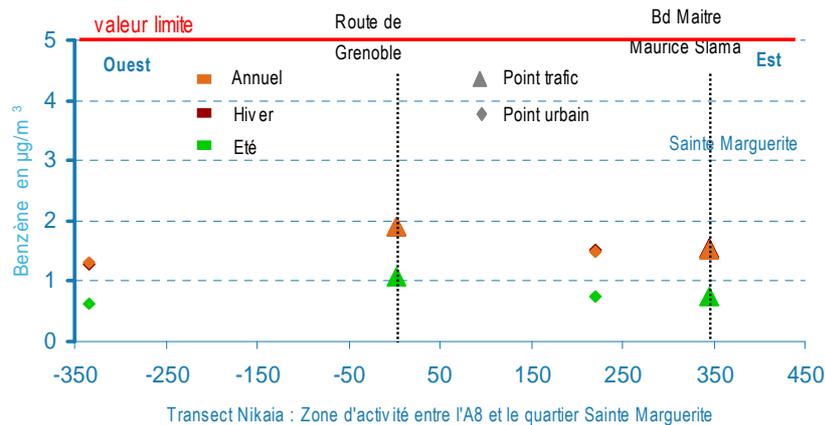
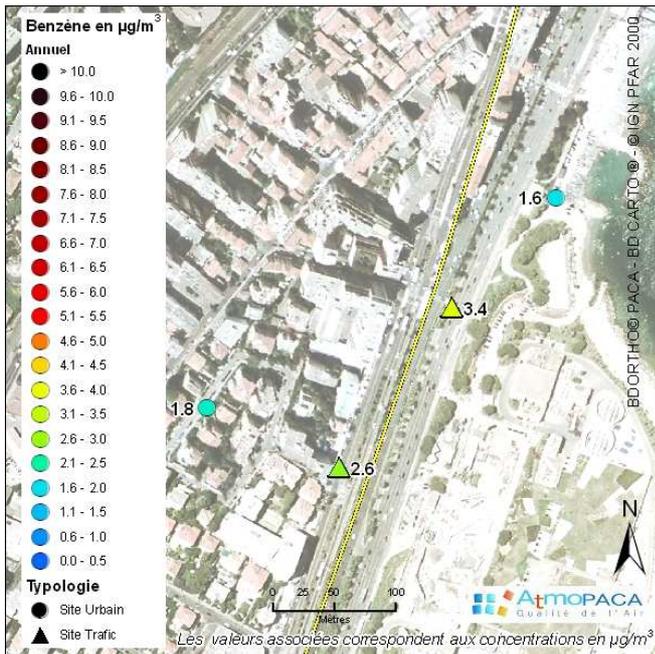


Figure 41: Concentrations hiver et été en benzène sur le transect Nikaia ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )

### MESURES DE BENZENE SUR LE TRANSECT DE CARRAS



Le transect de Carras présente une disposition des sites de mesures particulière, en raison des contraintes de terrain. Cependant, le profil est tracé en fonction de l'éloignement des points à l'axe.

Les deux valeurs les plus fortes en benzène, supérieures à l'objectif de qualité annuel pour ce polluant, de 2 µg/m³, concernent la promenade des Anglais :

- 3,4 µg/m³ sont relevés à la jonction de la promenade des Anglais avec l'avenue de Californie,
- 2,6 µg/m³ sont enregistrés plus au Sud directement sur la promenade.

Du côté « ville » le niveau de fond est de 1,8 µg/m³. Du côté « mer », il est de 1,6 µg/m³, car les conditions sont un peu plus dispersives.

Estimations annuelles en benzène (µg/m³)

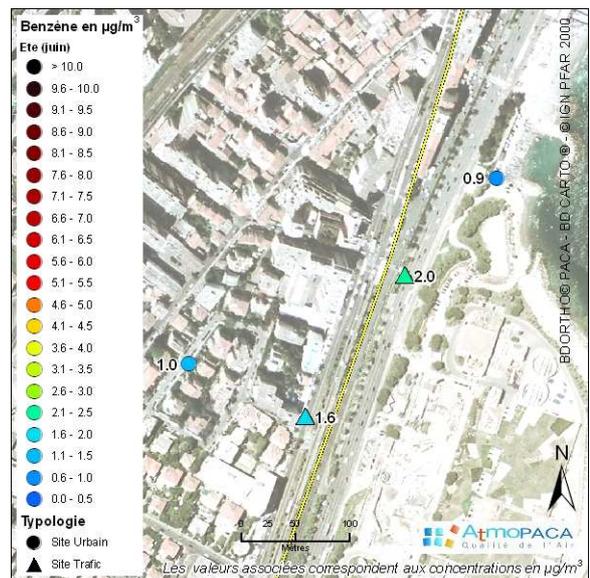
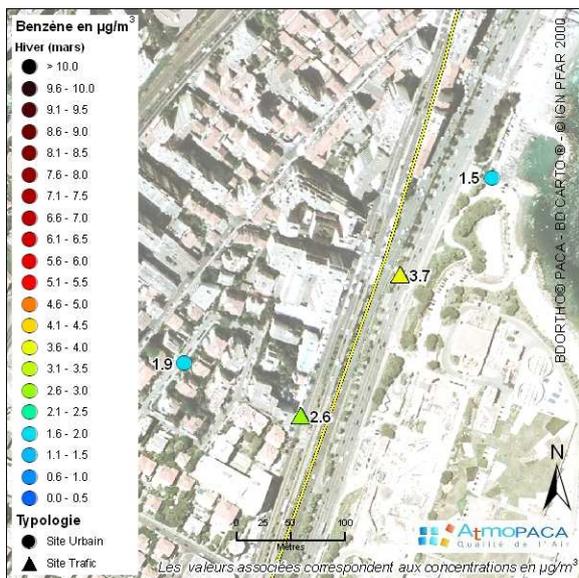
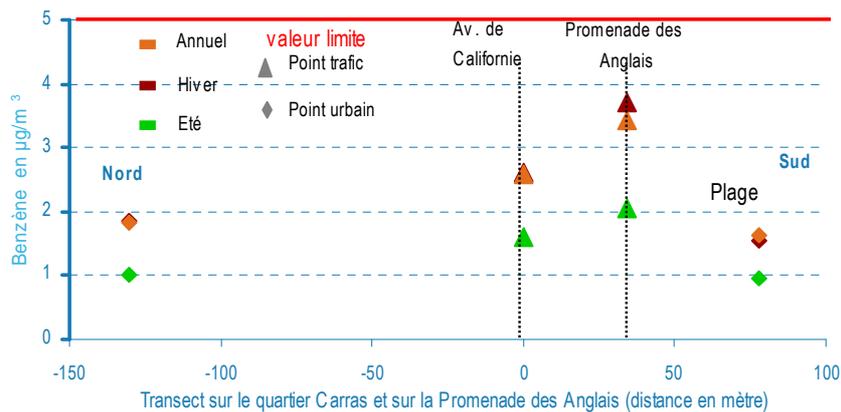
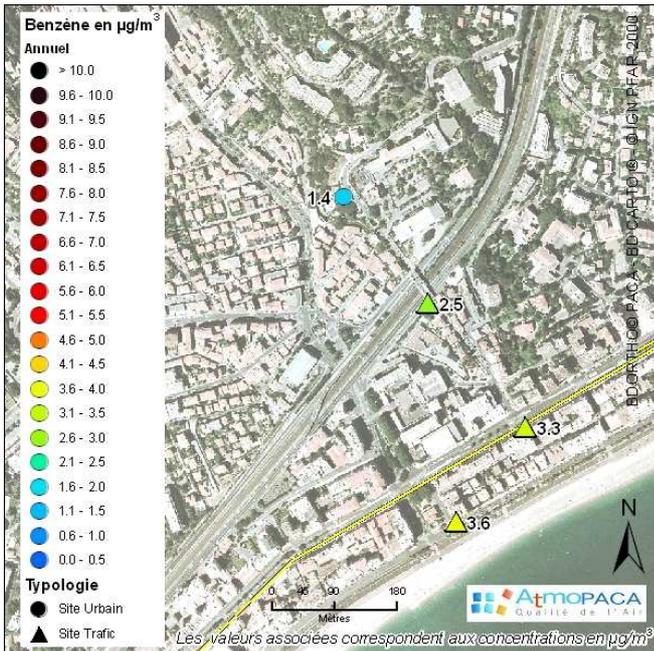


Figure 42 : Concentrations hiver et été en benzène sur le transect de Carras (µg/m³)

### MESURES DE BENZENE SUR LE TRANSECT DE MAGNAN



Estimations annuelles en benzène ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )

Le transect de Magnan concerne les principaux axes de circulation de la zone, du Nord au Sud :

- la voie Pierre Mathis ( $2,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) ;
- la rue de France ( $3,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) ;
- la promenade des Anglais ( $3,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ).

Ces trois sites dépassent l'objectif de qualité annuel pour le benzène de  $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

Le gradient de concentration est très élevé entre ces trois points et le point positionné au niveau des collines ( $1,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) dans la zone plus aérée de la corniche de Magnan (altitude plus élevée). Effectivement, les concentrations passent du simple au double, voire du simple au triple de la corniche au milieu urbain.

Le tracé du transect ne peut être réalisé en raison du manque de points de mesures entre les trois principaux axes de circulation. Il ne serait pas représentatif, La figure ci-dessous présente donc uniquement les concentrations mesurées.

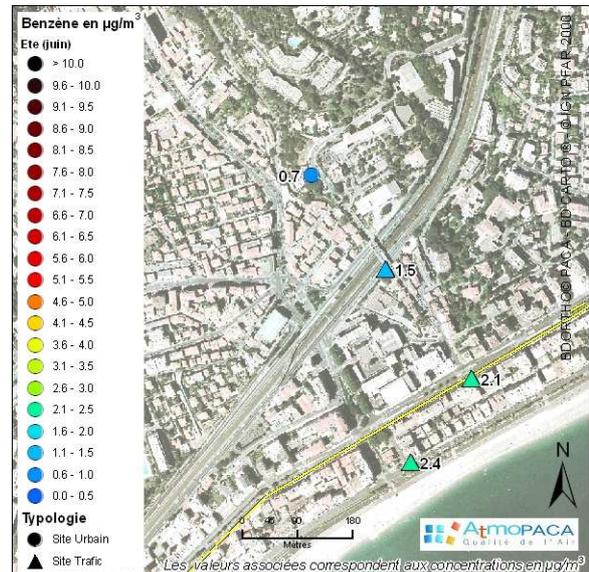
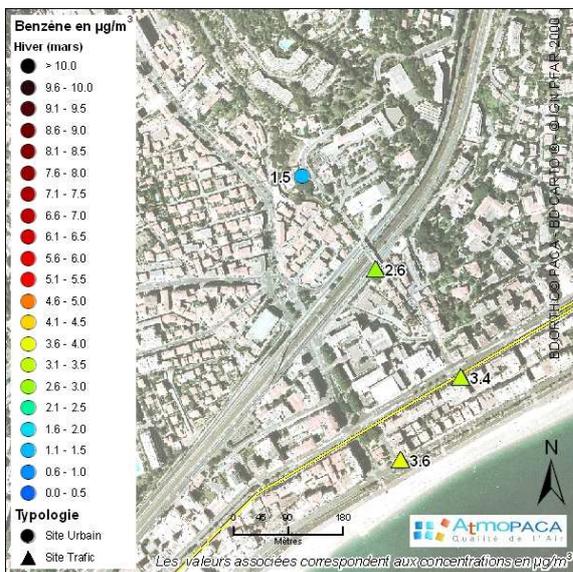
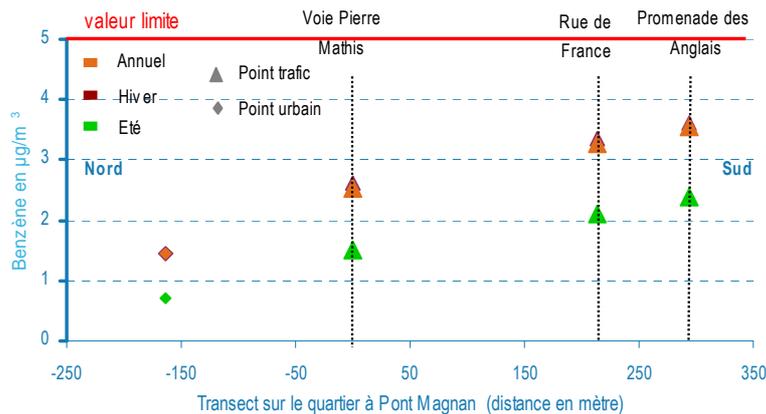


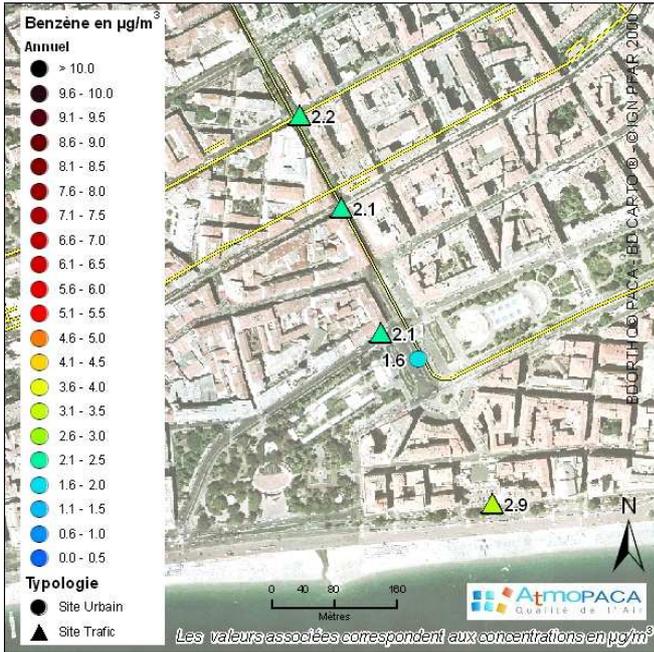
Figure 43 : Concentrations hiver et été en benzène sur le transect Magnan ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )

MESURES DE BENZENE SUR LE BOULEVARD JEAN MEDECIN

Ce transect est situé sur l'avenue Jean Médecin, depuis le bd Victor Hugo (au Nord) jusqu'au quai des Etats-Unis (au Sud).

Les intersections de l'avenue Jean Médecin avec les avenues perpendiculaires et au niveau du quai des Etats-Unis sont les lieux les plus circulés de la zone. Les concentrations y sont logiquement les plus hautes (variant de 2,1 à 2,9  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ), supérieures à l'objectif de qualité annuel pour le benzène de 2  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .

Sur la place Masséna, à l'écart de la circulation, la concentration diminue pour atteindre le niveau de fond de ce secteur d'hyper centre : 1,6  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .



Estimations annuelles en benzène ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )

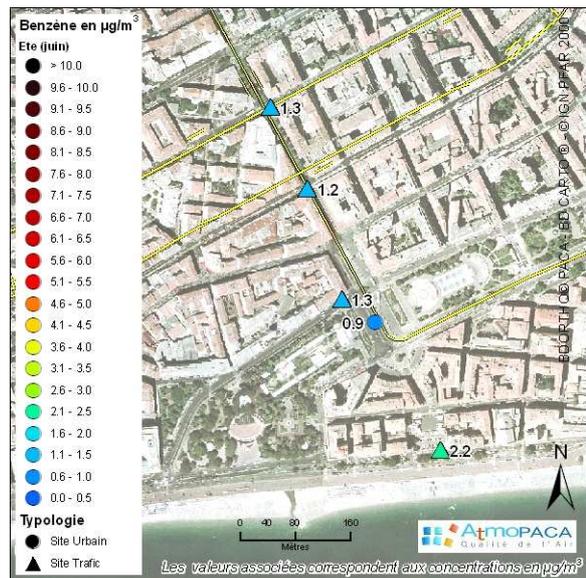
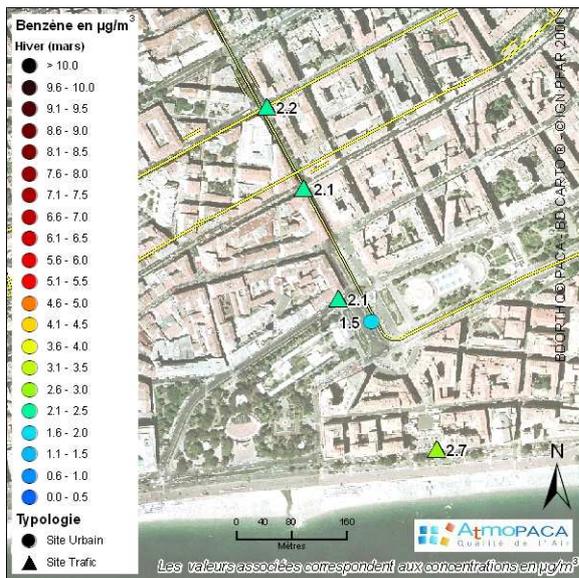
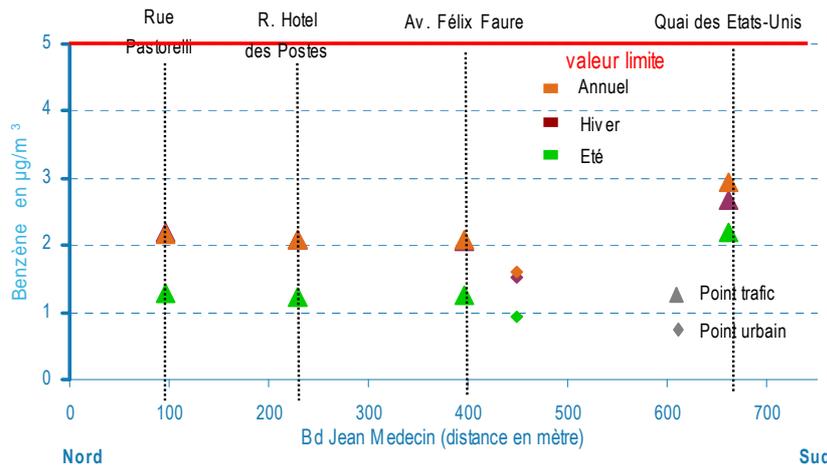


Figure 44 : Concentrations hiver et été en benzène sur Jean Médecin ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )

### MESURES DE BENZENE SUR LE TRANSECT DE BARLA



Ce transect est situé sur l'avenue de la République depuis la place Garibaldi (au Sud). Il indique l'évolution de la pollution de part et d'autre de la rue Barla.

Ce « zoom » met en évidence le point le plus pollué en benzène de la zone d'étude, avec  $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , équivalent à la valeur limite annuelle pour le benzène.

Les émissions sont importantes aux intersections des deux axes en raison de la quantité de véhicules, des vitesses réduites et des embouteillages.

Ce point est situé à l'intersection de la rue de la République (occupée actuellement par la ligne T1) et le boulevard Barla (pressenti pour la ligne T2).

Comme pour le dioxyde d'azote, l'abattement du benzène de part et d'autre de la rue Barla est bien marqué, montrant une diminution de plus de moitié.

Les deux sites, au Nord et au Sud de la rue Barla, ont enregistré respectivement 1,9 et  $2,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$  en benzène. Le site Sud dépasse l'objectif de qualité annuel pour le benzène de  $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

Estimations annuelles en benzène ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )

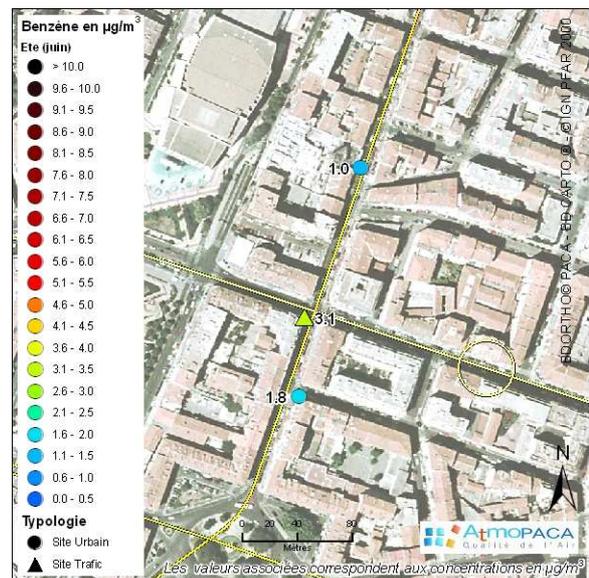
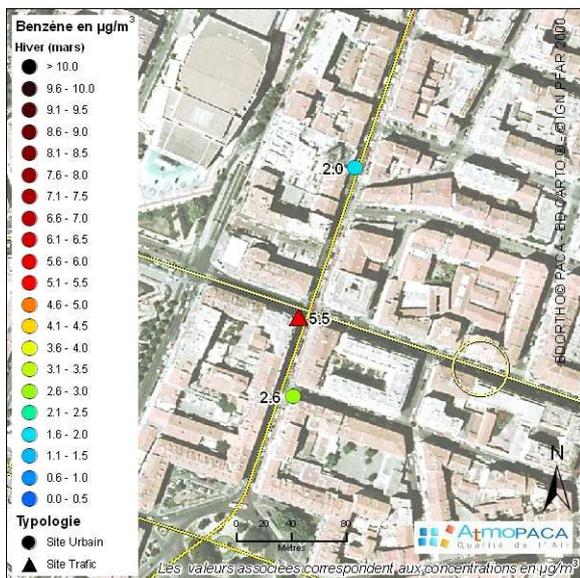
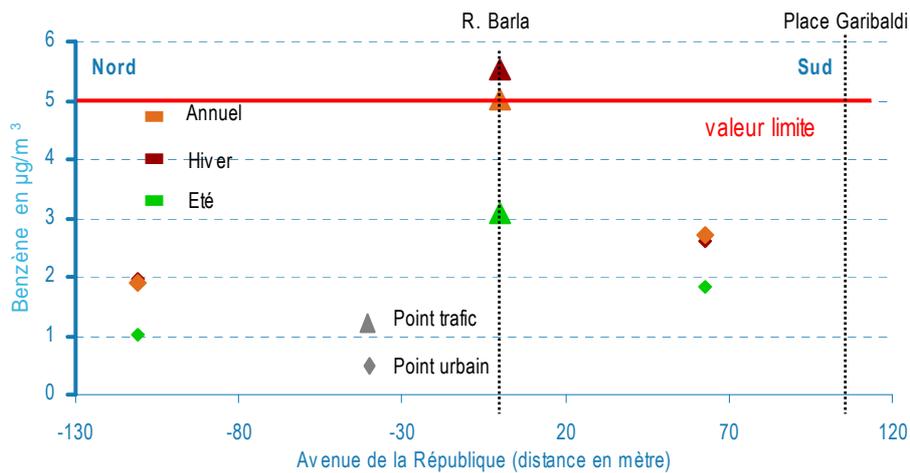
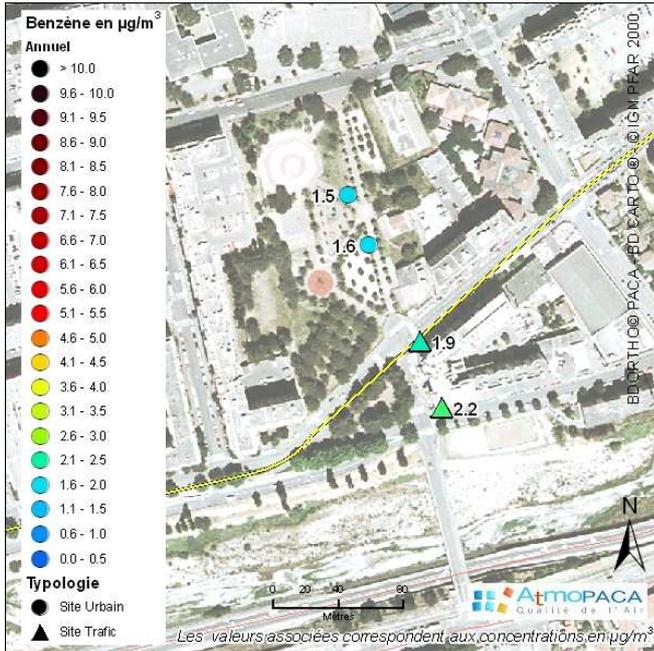


Figure 45 : Concentrations hiver et été en benzène sur le transect de Barla ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )

### MESURES DE BENZENE SUR LE TRANSECT ARIANE

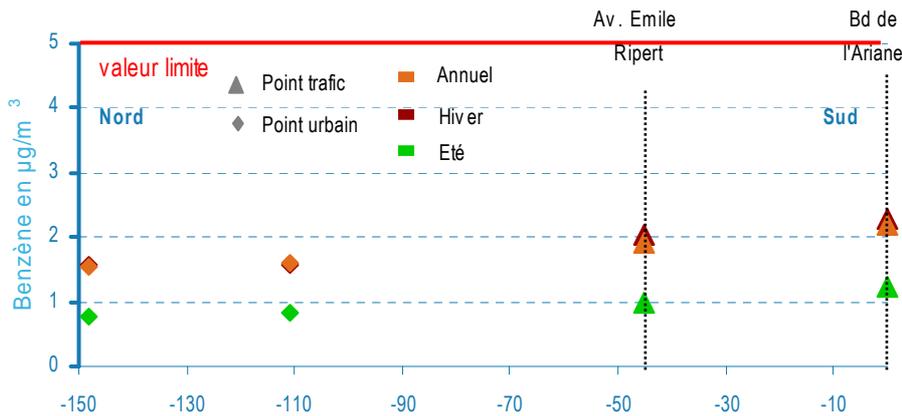


Ce transect indique l'évolution de la pollution de part et d'autre de l'avenue Emile Ripert, sur le chemin du vallon de l'Ariane au Nord et le boulevard de l'Ariane au Sud.

Les concentrations les plus hautes (avoisinant ou dépassant l'objectif annuel de qualité pour le benzène de  $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) sont situées sur l'avenue Emile Ripert avec  $1,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , et sur le boulevard de l'Ariane, avec  $2,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

Sur le Nord du secteur, les concentrations relevées correspondent au niveau de fond: entre  $1,5$  et  $1,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

Estimations annuelles en benzène ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )



Du chemin du vallon de l'Ariane au pont de la Liberté

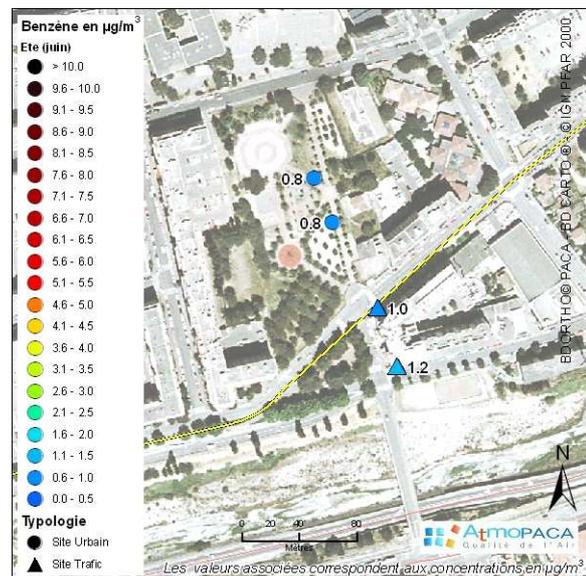
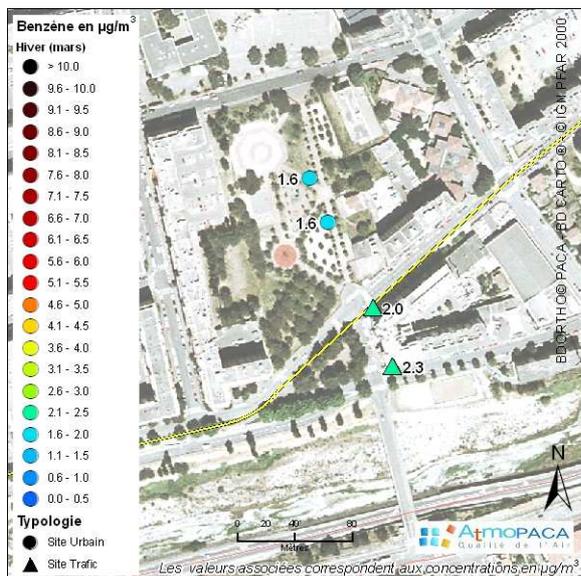
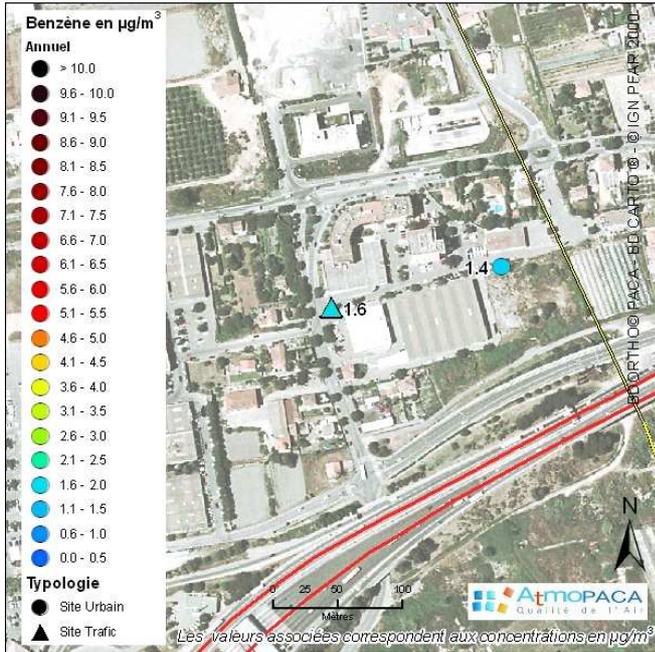


Figure 46 : Concentrations hiver et été en benzène sur le transect Ariane ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )

## MESURES DE BENZENE SUR LE TRANSECT SAINT-ISIDORE



Ce transect est réalisé au cœur d'une zone d'activité, perpendiculairement au boulevard des Jardiniers. L'autoroute A8 est située au Sud de ce secteur.

Au niveau de l'avenue des Jardiniers (site de trafic), la concentration est de  $1,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , inférieure à l'objectif de qualité annuel pour ce polluant de  $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

A l'Est de l'avenue,  $1,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$  sont enregistrés, correspondant au niveau de fond de cette zone d'activité.

Celle-ci est desservie par des poids lourds ; cependant, l'urbanisation lâche favorise la dispersion du benzène.

Estimations annuelles en benzène ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )

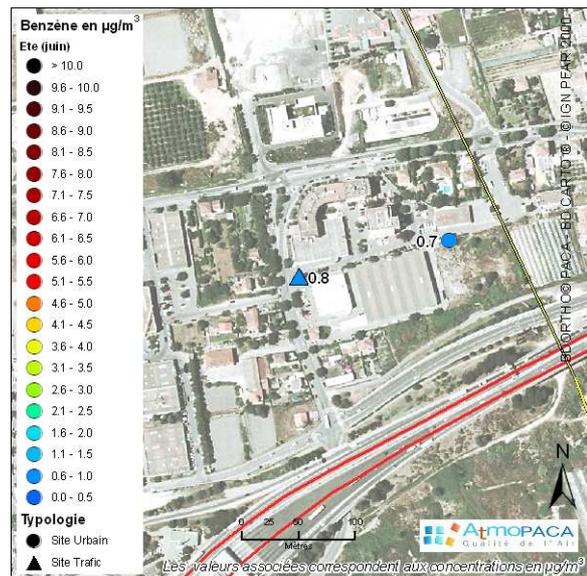
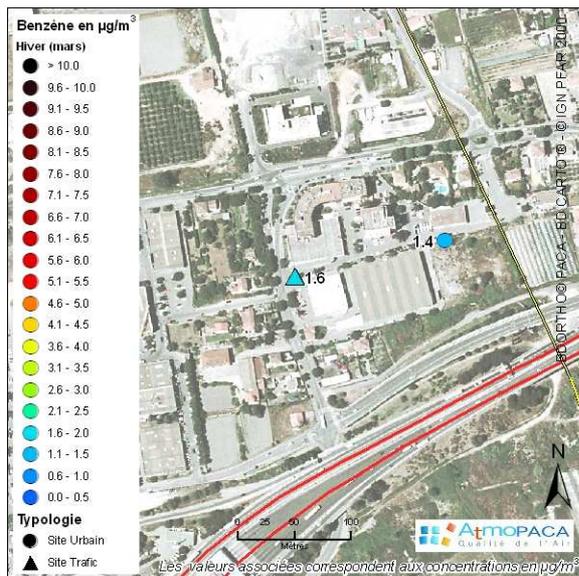
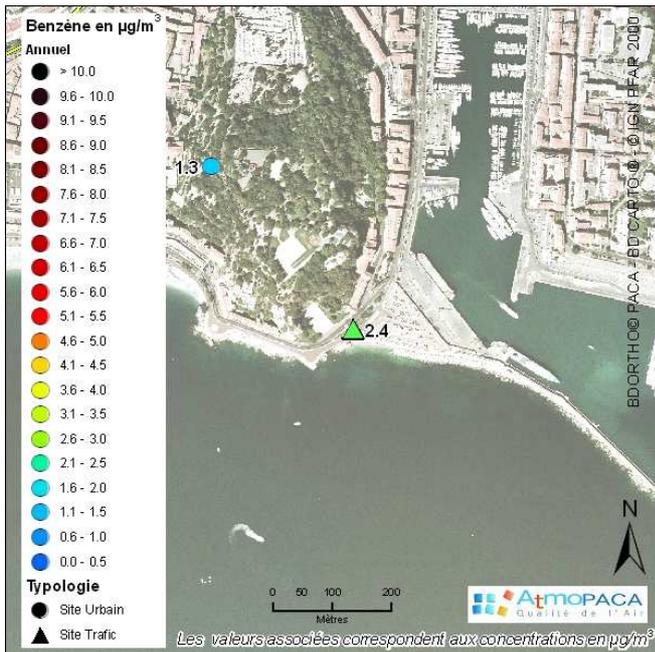


Figure 47 : Concentrations hiver et été en benzène sur le transect St Isidore ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )

### MESURES DE BENZENE SUR LE TRANSECT SUR LA PLACE GUYNEMER



Ce transect est situé de part et d'autre de la place Guynemer, depuis la montée du château, dans le parc, jusqu'à la place.

Sur la place Guynemer, par laquelle transite la circulation du quai des Etats-Unis et du quai de Lunel, la concentration en benzène est de  $2,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Celle-ci est supérieure à l'objectif de qualité annuel pour ce polluant de  $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

Au niveau de la montée du château, vers le parc, la concentration est plus faible, de  $1,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . les émissions sont bien moins importantes localement et l'altitude et la ventilation favorisent la dispersion du benzène.

Estimations annuelles en benzène ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )

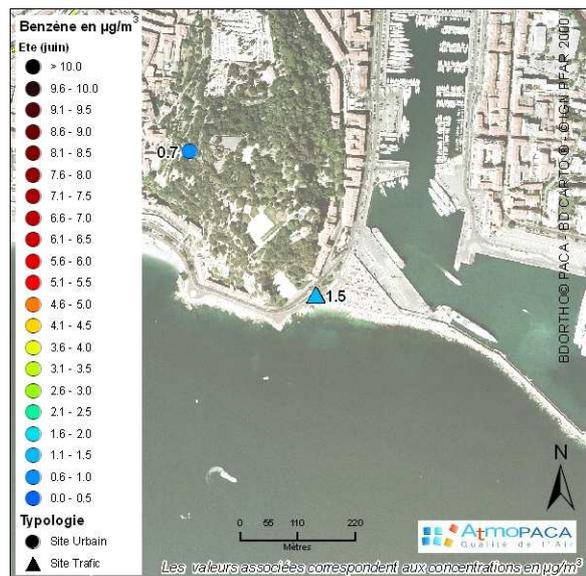
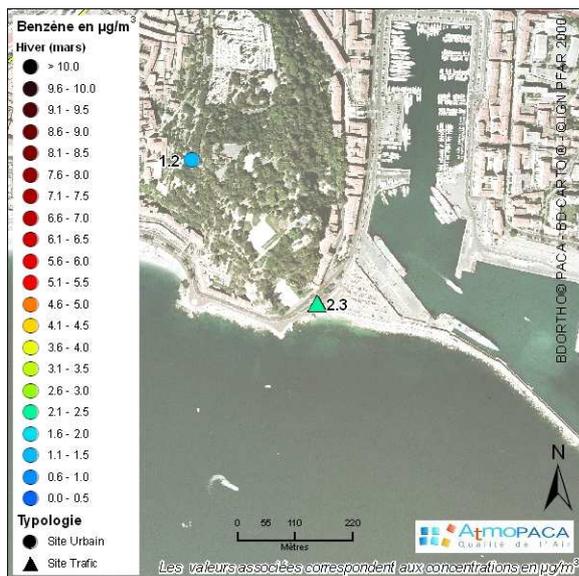


Figure 48 : Concentrations hiver et été en benzène sur le transect Guynemer ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )

## 2.5.4. PARTICULES EN SUSPENSION (PM<sub>10</sub> ET PM<sub>2,5</sub>)

### ORIGINE ET DYNAMIQUE

Les particules sont des polluants atmosphériques constitués d'un mélange complexe de substances organiques et minérales en suspension dans l'air, sous forme solide et/ou liquide. Ces particules sont de taille, de composition et d'origine diverses. Leurs propriétés se définissent en fonction de leur diamètre aérodynamique appelé taille particulaire :

- la fraction thoracique des particules appelée PM<sub>10</sub> (particules de diamètre aérodynamique inférieur à 10 µm),
- les particules plus fines, ou fraction alvéolaire, appelées PM<sub>2,5</sub> (diamètre aérodynamique inférieur à 2,5 µm).

La taille des particules influence leurs temps de suspension dans l'atmosphère. Les PM<sub>10</sub> auront tendance à se déposer plus rapidement au sol que les PM<sub>2,5</sub>.

Les particules peuvent être primaires ou secondaires en fonction de leur mécanisme de formation.

L'émission directe des particules primaires dans l'atmosphère est le résultat de procédés anthropiques ou naturels. Les principales sources anthropiques sont la combustion de gazole des véhicules automobiles, l'utilisation de combustibles domestiques solides (charbon, lignite et biomasse), les activités industrielles (construction, secteur minier, cimenteries, fabrication de céramique et de briques, fonderie), l'érosion des chaussées sous l'effet de la circulation routière et l'abrasion des pneus et des freins et les travaux d'excavation et activités minières.

Les particules secondaires sont formées dans l'atmosphère, généralement sous l'effet de la réaction chimique des polluants gazeux. Elles sont le résultat de la transformation atmosphérique des oxydes d'azote principalement émis par la circulation automobile et certains procédés industriels, et de l'anhydride sulfureux provenant de combustibles contenant du soufre. Les particules secondaires sont surtout présentes dans les matières fines.

### EFFETS SANITAIRES

Leurs effets sur la santé sont une altération de la fonction respiratoire chez l'enfant en particulier, une irritation des voies respiratoires inférieures, des effets mutagènes et cancérigènes (dus notamment aux hydrocarbures aromatiques polycycliques, HAP, adsorbés à la surface des particules) et une mortalité prématurée. Selon leurs tailles, ces particules fines ont une pénétration différente dans le système respiratoire : plus elles sont fines, plus elles sont susceptibles de pénétrer profondément dans le système respiratoire, jusqu'au niveau des alvéoles pulmonaires pour les PM<sub>2,5</sub> où leur impact sur la santé est plus important.

Les études les plus récentes, effectuées dans le cadre du programme CAFE (Clean Air for Europe) permettent de chiffrer les impacts des PM<sub>2,5</sub> sur les populations des pays de l'Union européenne : en Europe (UE-25), les études estiment à 350 000 le nombre de décès prématurés (dont 680 enfants) attribuables à la pollution par les poussières fines. Les PM<sub>2,5</sub> présentes dans l'atmosphère raccourcissent actuellement l'espérance de vie statistique dans l'UE de plus de 8 mois, soit une perte annuelle totale de 3,6 millions d'années de vie (CAFE, 2006).

### RESULTATS DES MESURES EN PM<sub>10</sub> DU 14/03 AU 03/07

Atmo PACA dispose à l'heure actuelle de deux stations mesurant les PM<sub>10</sub> sur le territoire de NCA : les stations de Cagnes-sur-Mer Ladoumègue et Nice Aéroport. Durant la période d'étude, les normes réglementaires ont été respectées par ces deux stations dont les moyennes annuelles sont respectivement 30 et 34 µg/m<sup>3</sup>. L'historique de ces points de mesures montre que les seuils sont généralement respectés (les concentrations moyennes de l'année 2007 ont été intégrées dans le Tableau 4 : Evaluation des niveaux de PM<sub>10</sub> pour exemple).

A titre d'information, la station de Peillon (située sur la commune du même nom) enregistre des teneurs plus élevées, de 37 µg/m<sup>3</sup> en moyenne annuelle. Cette station a une vocation de surveillance industrielle, la présence d'une cimenterie à proximité influence largement les teneurs enregistrées en particules.

Tableau 4 : Evaluation des niveaux de PM<sub>10</sub>

PM <sub>10</sub> en µg/m <sup>3</sup>	Station fixe Urbaine Cagnes-sur-Mer	Station fixe Périurbaine Nice aéroport	Station fixe Industrielle Peillon
Moyenne sur la période du 14/03/08 au 03/07/08	30	34	37
Moyenne annuelle (du 01/07/07 au 01/07/08) (Valeur limite annuelle pour la protection de la santé humaine : 40 µg/m <sup>3</sup> /an : objectif 01/01/05)	32	35	40
	2007 : 32	2007 : 35	2007 : 42
Maximum horaire (du 14/03/08 au 03/07/08)	96	132	179
	2007 : 323	2007 : 203	2007 : 292
Maximum journalier (du 14/03/08 au 03/07/08)	74	74	93
	2007 : 74	2007 : 84	2007 : 84
Nombre de jours de dépassement de la valeur limite journalière pour la protection de la santé humaine (50 µg/m <sup>3</sup> /jour, tolérance 35 jours/an : objectif 01/01/05)	4	12	19
	2007 : 17	2007 : 27	2007 : 95

### PROFILS MOYENS DES PM<sub>10</sub> JOURNALIERS ET HEBDOMADAIRES

Le comportement des particules en suspension est similaire à celui du dioxyde d'azote. En effet, le principal émetteur de particules est, comme pour le NO<sub>2</sub>, le transport routier. Les pointes de pollution se situent majoritairement le matin durant les jours ouvrés.

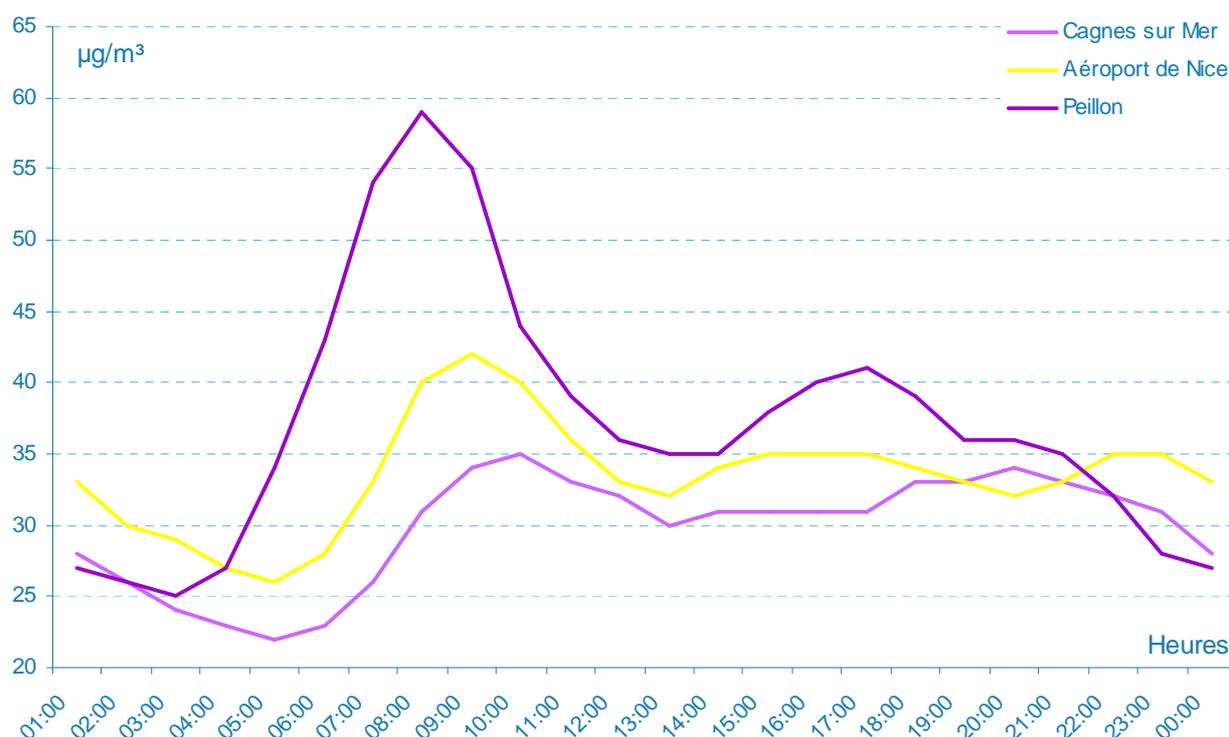


Figure 49 : Profils moyens journaliers des PM<sub>10</sub> durant la campagne

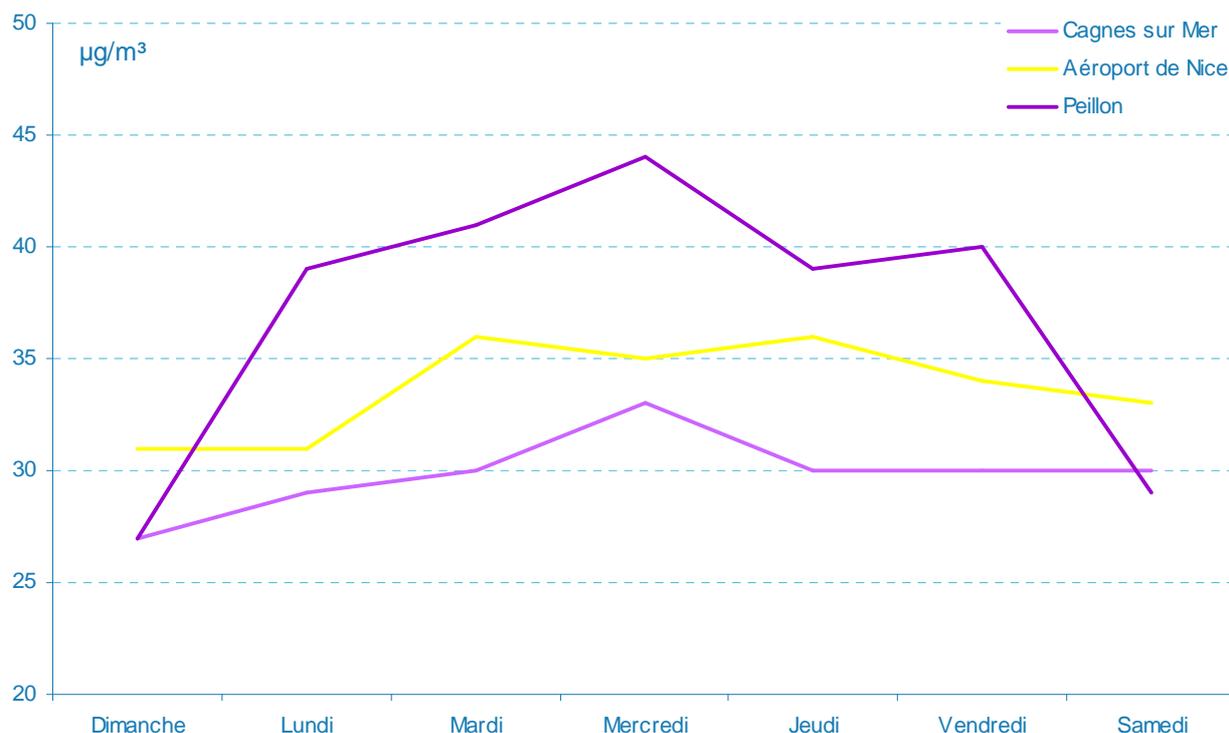


Figure 50 : Profils moyens hebdomadaires des PM<sub>10</sub> durant la campagne

### EVOLUTION JOURNALIERE DES PM<sub>10</sub> DURANT LA PERIODE D'ETUDE

L'évolution similaire entre les trois sites de mesure traduit l'homogénéité du comportement des PM<sub>10</sub> sur le littoral azuréen.

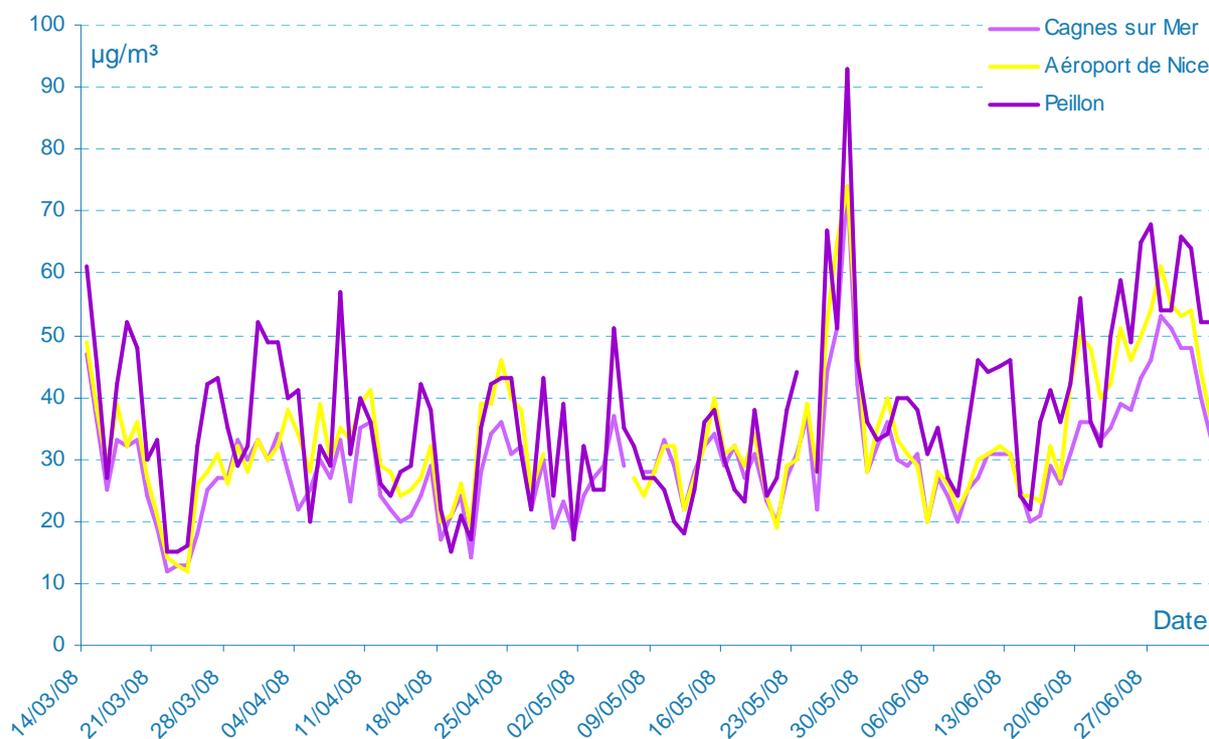


Figure 51 : Evolution journalière des PM<sub>10</sub> durant la campagne

### RESULTATS DES MESURES EN PM<sub>2,5</sub> DU 14/03 AU 03/07

Pour cette étude, la mesure des PM<sub>2,5</sub> a été préférée aux PM<sub>10</sub> sur l'équipement des deux moyens mobiles. Deux raisons à ce choix : les PM<sub>2,5</sub> sont de meilleurs traceurs de la pollution automobile car leur origine routière est plus prononcée (cf. Chapitre 2 page 7) et leur dangerosité est plus importante (elles pénètrent plus profondément dans le système respiratoire).

La mesure des PM<sub>2,5</sub> est très récente dans le département des Alpes-Maritimes. Seule la station de Peillon est équipée d'une mesure de ce type depuis le 01/01/08.

Les valeurs réglementaires en PM<sub>2,5</sub> sont actuellement en cours de définition aux niveaux européen et national. Les seuils actuellement discutés sont une valeur limite annuelle comprise entre 20 et 25 µg/m<sup>3</sup> et une valeur cible nationale de l'ordre de 15 µg/m<sup>3</sup> (Projet de directive européenne CAFE en cours d'élaboration). Ces valeurs ne sont pas encore arrêtées et font actuellement l'objet de discussion. L'OMS préconise actuellement une valeur de 10 µg/m<sup>3</sup> pour la moyenne annuelle.

Les deux laboratoires mobiles ne devraient pas respecter la valeur cible nationale de 15 µg/m<sup>3</sup>. Ceci d'autant plus que la partie volatile des particules fines n'a pas été prise en compte dans la mesure. Les résultats sont probablement plus élevés. Sur le constat de ces approximations, seule une mesure sur un an permettrait de vérifier le respect ou non de cette norme.

Tableau 5 : Evaluation des niveaux de PM<sub>2,5</sub>

PM <sub>2,5</sub> en µg/m <sup>3</sup>	Station mobile Périurbaine La Trinité	Station mobile Urbaine Nice Wilson	Station fixe Industrielle Peillon
Moyenne sur la période (14/03/08 au 03/07/08) (valeur limite annuelle entre 25 et 20 µg/m <sup>3</sup> )	16	14	13
A titre indicatif : nombre de jour dépassant 20 µg/m <sup>3</sup>	22	9	12
Maximum horaire	52 27/06/08 08:00	44 29/06/08 09:00	145 08/05/08 07:00
Maximum journalier	34 27/06/08	29 27/06/08	28 27/06/08

### PROFILS MOYENS DES PM<sub>2,5</sub> JOURNALIERS ET HEBDOMADAIRES

Comme pour les oxydes d'azote, les pics du matin et du soir peuvent être reliés aux trafics routiers (trajets domicile – travail). Les profils hebdomadaires confirment cette tendance avec des jours en semaine plus pollués que le week-end.

Il est aussi intéressant de noter que la station fixe de Peillon enregistre des teneurs plus faibles en PM<sub>2,5</sub>, ce qui n'est pas le cas pour les PM<sub>10</sub>. Etant donné que les PM<sub>2,5</sub> sont de meilleurs traceurs de la pollution automobile car leur origine routière est plus marquée, les deux laboratoires mobiles ont connu une pollution automobile plus soutenue que le site de Peillon.

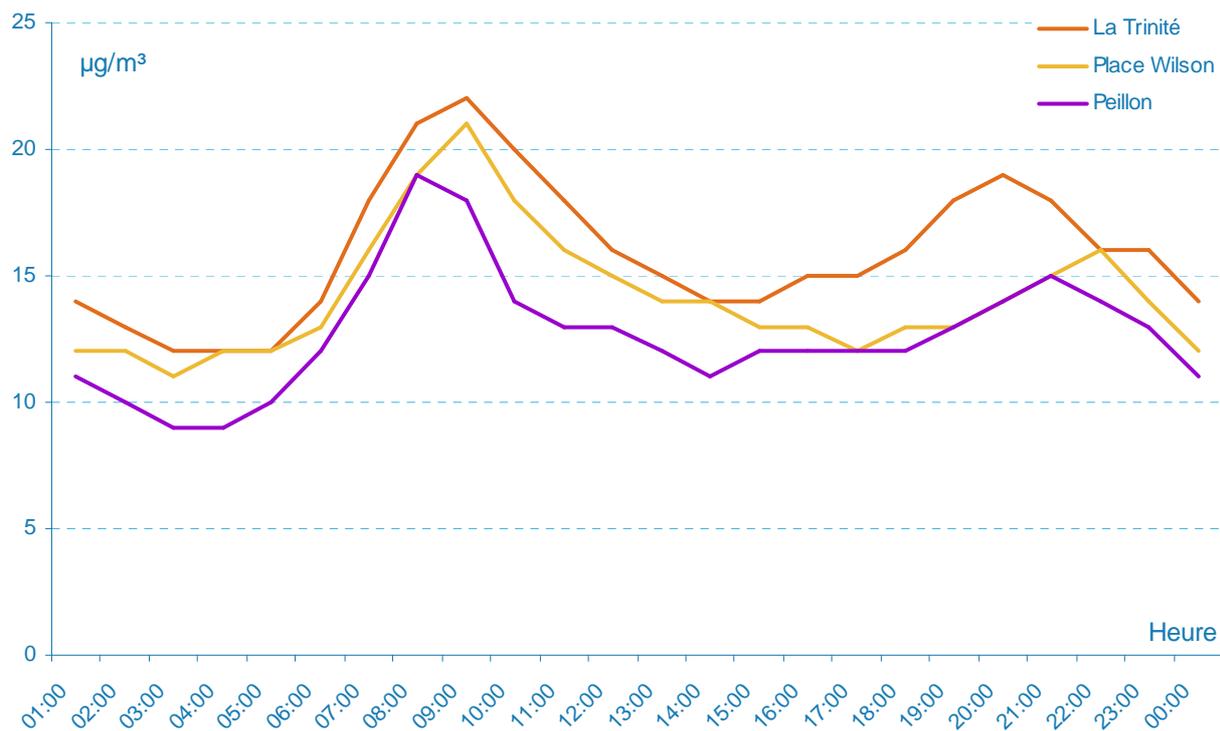


Figure 52 : Profils moyens journaliers des PM<sub>2,5</sub> durant la campagne

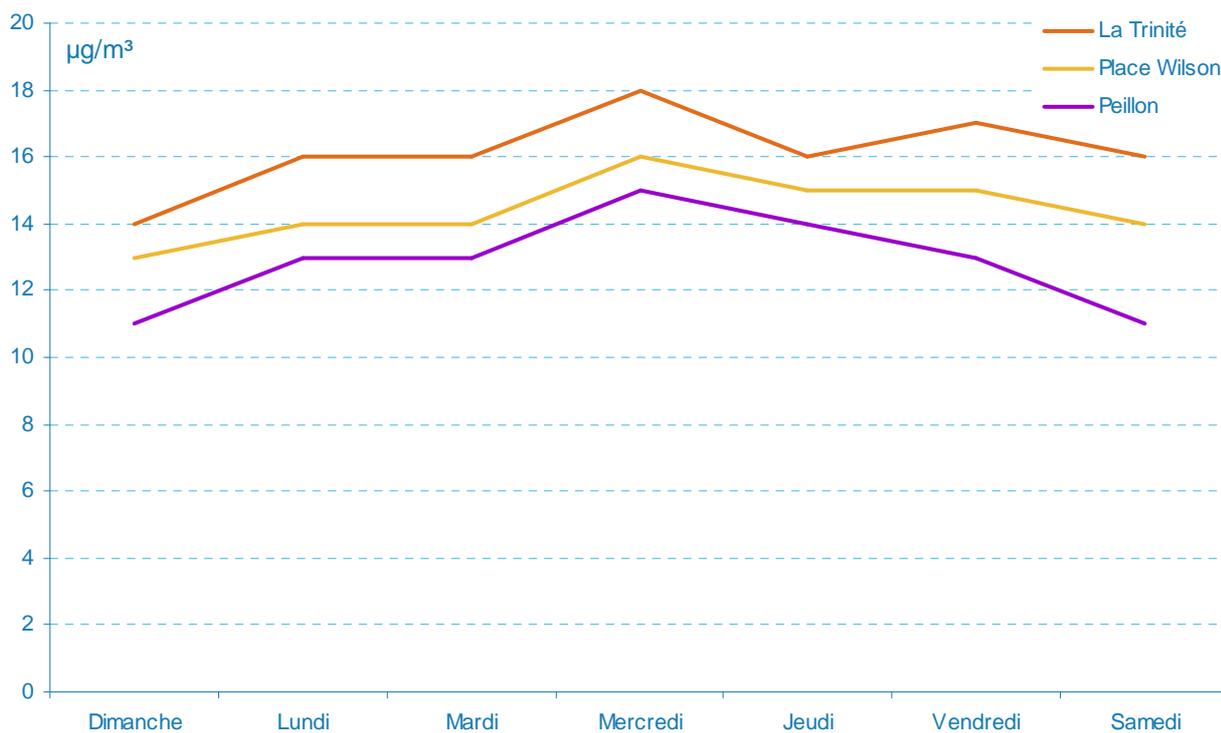


Figure 53 : Profils moyens hebdomadaires des PM<sub>2,5</sub> durant la campagne

**EVOLUTION JOURNALIERE DES  $PM_{2,5}$  DURANT LA PERIODE D'ETUDE**

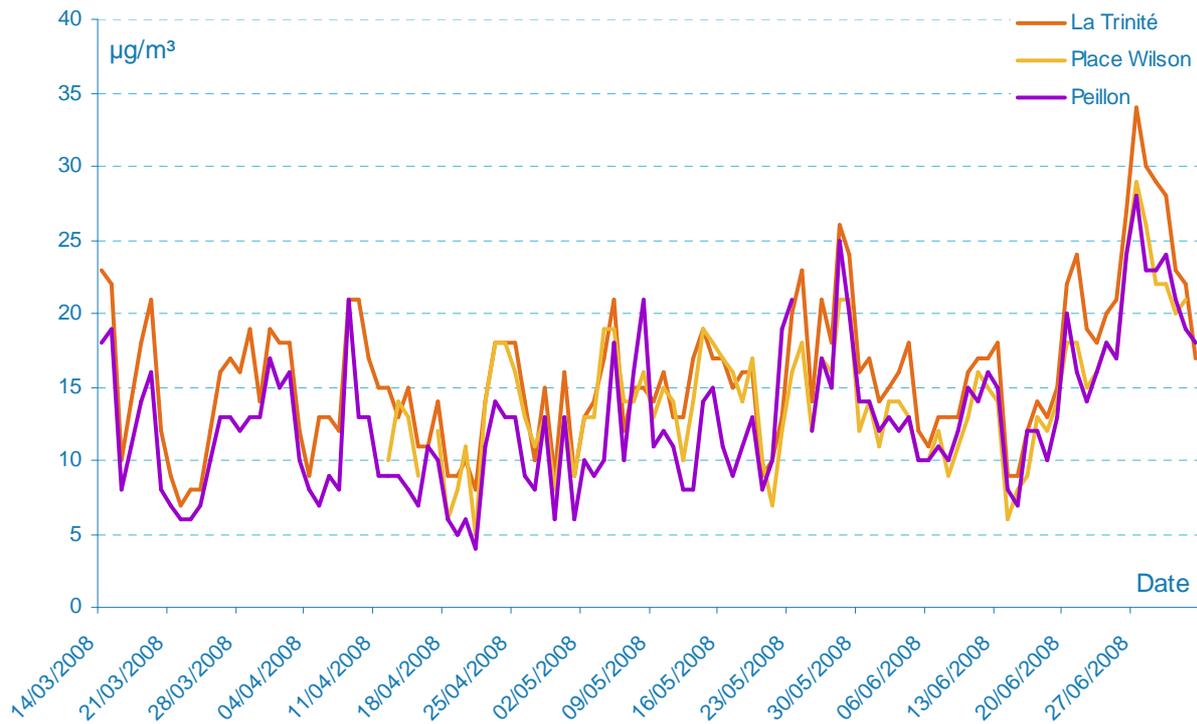


Figure 54 : Evolution journalière des  $PM_{2,5}$  durant la campagne

L'évolution des niveaux de  $PM_{2,5}$  est relativement homogène pour les trois sites de mesures présents sur la zone d'étude.

L'augmentation des concentrations en  $PM_{2,5}$  sur les trois sites en fin de campagne peut être liée à la période de forte production photochimique. Un apport de particules fines de type secondaire a probablement été à l'origine de cette augmentation (cf. Figure 61, page 68).

## 2.5.5. MONOXYDE DE CARBONE (CO)

### ORIGINE ET DYNAMIQUE

Le CO (monoxyde de carbone) est un polluant issu de combustions incomplètes.

Il est principalement émis par l'automobile (à faible vitesse : ralentissements, bouchons), mais aussi par les chauffages domestiques. Il est présent surtout à proximité des axes à fort trafic et en milieu confiné. Comme pour les autres polluants réglementaires, ses concentrations augmentent lors d'une forte stabilité atmosphérique : situations anticycloniques et inversions thermiques hivernales limitent sa dispersion.

### EFFETS SANITAIRES

Il provoque une baisse de l'oxygénation du sang (hypoxie) en se fixant à la place de l'oxygène sur l'hémoglobine. C'est aussi un neurotoxique (céphalées, troubles du comportement, vomissements) et un myocardiotoxique. Il provoque également des troubles sensoriels (vertiges).

### RESULTATS DES LABORATOIRES MOBILES ET DES STATIONS FIXES DU 14/03 AU 03/07

Tableau 6 : Evaluation des niveaux de CO

CO en mg/m <sup>3</sup>	Station mobile Périurbaine La Trinité	Station fixe Trafic Nice Pellos
Moyenne sur la période	0.2	0.9
Moyenne annuelle (du 01/07/07 au 01/07/08)	0.25 estimation <sup>6</sup>	0.9
Maximum horaire (du 01/07/07 au 01/07/08)	1 13/05/08 21:00	5.2 29/05/08 09:00 01/04/08 09:00
Nombre d'heures de dépassement de la recommandation (Organisation Mondiale de la Santé : 30 mg/m <sup>3</sup> /h)	0	0
Maximum journalier	0.5 13/05/08	1.7 26/05/08

Les mesures enregistrées dans la station mobile de La Trinité sont restées très faibles (0.25 mg/m<sup>3</sup> en moyenne annuelle). Les normes sont respectées et ne devraient pas être dépassées.

<sup>6</sup> L'estimation annuelle est réalisée à partir d'une régression linéaire entre les moyennes annuelles et les moyennes sur la période de toutes les stations mesurant le polluant étudié. Pour le CO, la courbe de régression linéaire a pour équation :  $Y = 1.344 X - 0.0144$  ;  $R^2 = 0.9775$ .

**PROFILS MOYENS JOURNALIERS ET HEBDOMADAIRES**

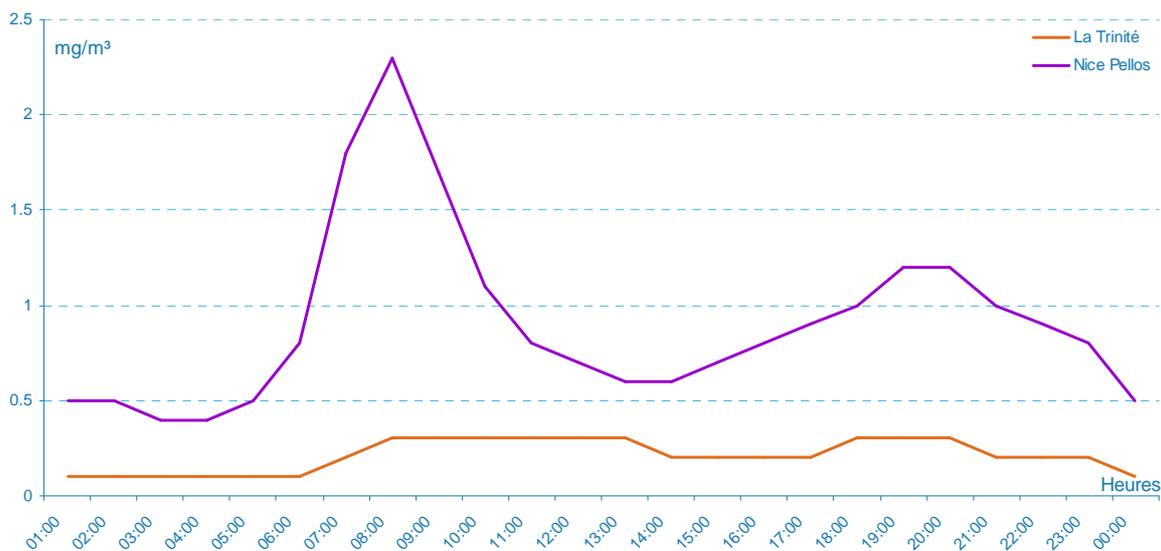


Figure 55 : Profils moyens journaliers du CO durant la campagne

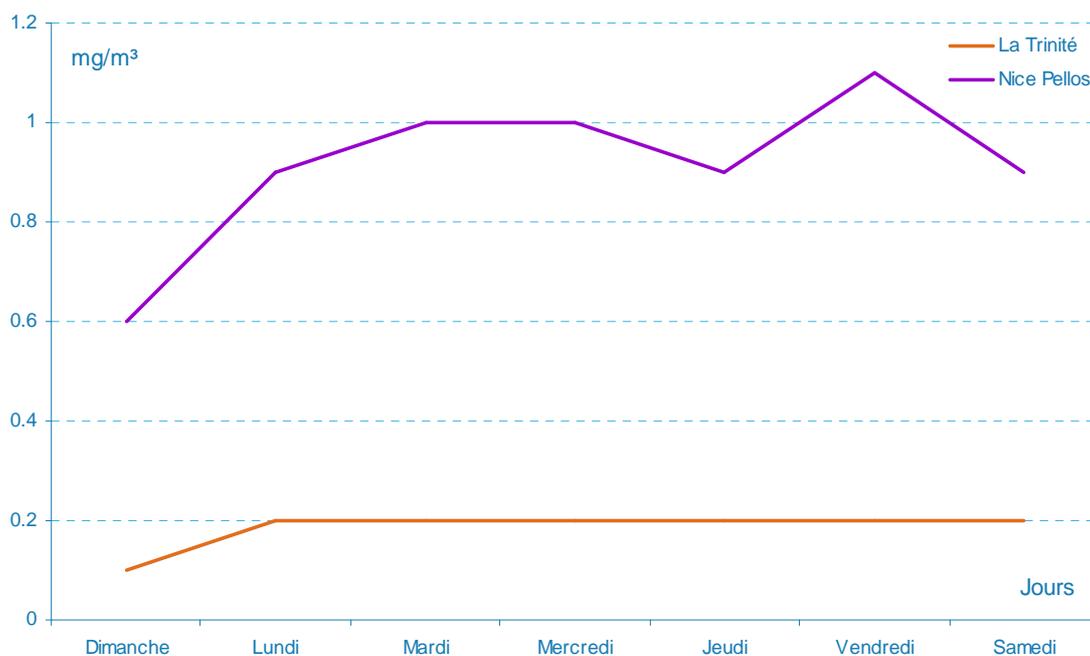
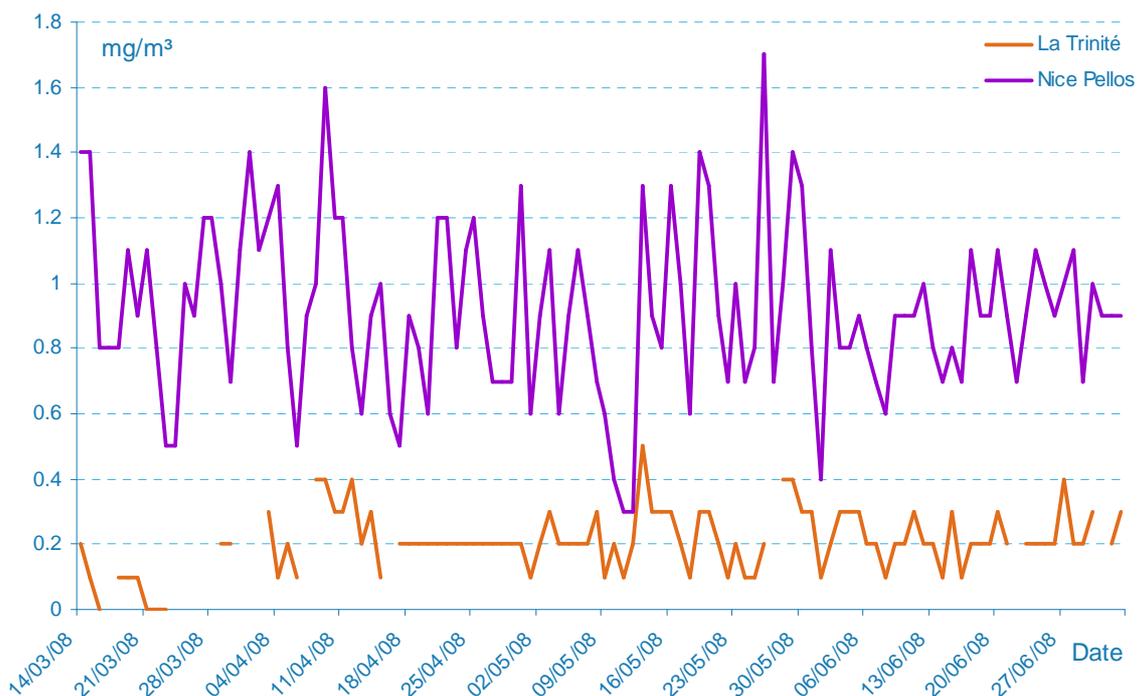


Figure 56 : Profils moyens hebdomadaires du CO durant la campagne

Le laboratoire mobile a enregistré très peu de variations hebdomadaires ou journalières. Par rapport à la station de Nice Pellos, les teneurs sont très faibles. La station fixe de Nice Pellos enregistre les deux pics horaires de trafic liés aux trajets domicile-travail.

**EVOLUTION JOURNALIERE DURANT LA PERIODE D'ETUDE**



**Figure 57 : Evolution journalière du CO durant la campagne**

Les teneurs enregistrées par le laboratoire mobile à la Trinité sont restées très en dessous de celles mesurées par le site de Nice Pellos davantage influencé par la circulation routière (0.2 mg/m³ contre 1 mg/m³ respectivement).

## 2.5.6. OZONE (O<sub>3</sub>)

### ORIGINE ET DYNAMIQUE

L'O<sub>3</sub> (ozone) est un polluant issu de réactions chimiques complexes faisant intervenir le NO<sub>2</sub> (dioxyde d'azote) et les COV (composés organiques volatils) sous l'action du rayonnement solaire. C'est donc un polluant secondaire, par opposition au NO<sub>2</sub> et aux COV qui sont des polluants précurseurs.

De par ses conditions de formation, l'ozone est présent surtout en été et pendant les heures les plus ensoleillées de la journée. De fortes concentrations d'ozone sont observées jusqu'à plusieurs dizaines de kilomètres des points d'émissions des polluants primaires, et ce sur des zones très vastes, fréquemment à l'échelle d'un département. A contrario, sur les centres villes la formation d'ozone n'est pas favorisée : il est consommé par le NO (monoxyde d'azote), entraînant la formation de dioxyde d'azote puis d'acide nitrique. Cette propriété des centres villes à agir comme des « puits d'ozone » fait souvent appeler la pollution photochimique « pollution des champs ».

### EFFETS SANITAIRES

Ses effets sur la santé correspondent à une irritation des muqueuses bronchiques et oculaires, une altération de la fonction respiratoire chez l'enfant en particulier, une hyper réactivité bronchique chez l'asthmatique.

### RESULTATS DES LABORATOIRES MOBILES ET DES STATIONS FIXES DU 14/03 AU 03/07

Tableau 7 : Evaluation des niveaux d'O<sub>3</sub>

O <sub>3</sub> en µg/m <sup>3</sup>	Station mobile Périurbaine La Trinité	Station mobile Urbaine Nice Wilson	Station fixe Urbaine Cagnes-sur-Mer	Station fixe Périurbaine Nice aéroport	Station fixe Urbaine Nice Botanique
<b>Moyenne sur la période</b>	46	59	64	59	81
<b>Maximum horaire</b> (Seuil de recommandation : 180 µg/m <sup>3</sup> /h)	152 29/06/08 14:00	162 29/06/08 14 :00	158 04/05/08 18 :00	147 09/05/08 19 :00	185 29/06/08 14 :00
<b>Nombre d'heures de dépassement du seuil de recommandation</b> (180 µg/m <sup>3</sup> /h)	0	0	0	0	1
<b>Dates de dépassements</b>					29/06/08 14 :00
<b>Nombre d'heures de dépassement du seuil d'alerte européen</b> (240 µg/m <sup>3</sup> /h)	0	0	0	0	0
<b>Maximum sur 8H</b>	157 21/04/08	135 04/05/08	145 04/05/08	140 10/05/08	159 29/06/08
<b>Nombre de jours de dépassement de la valeur cible européenne pour la protection de la santé humaine</b> (120 µg/m <sup>3</sup> /8h, tolérance 25 jours/an : objectif 01/01/2010)	2	6	13	9	24
<b>Maximum journalier</b>	86 29/06	92 04/05	108 10/05	113 10/05	127 10/05

Les concentrations enregistrées par les deux laboratoires mobiles ont respecté les seuils réglementaires pour l'ozone durant la période d'étude. En ce qui concerne les stations permanentes, seule celle de Nice Ouest Botanique enregistre un dépassement du seuil d'information (180 µg/m<sup>3</sup>) le 29 juin à 14:00.

Cette station ne pourra d'ailleurs pas respecter la valeur cible européenne (25 jours > 120 µg/m<sup>3</sup>/8h sont déjà relevés au 31 juillet 2008).

**PROFILS MOYENS JOURNALIERS ET EVOLUTION JOURNALIERE**

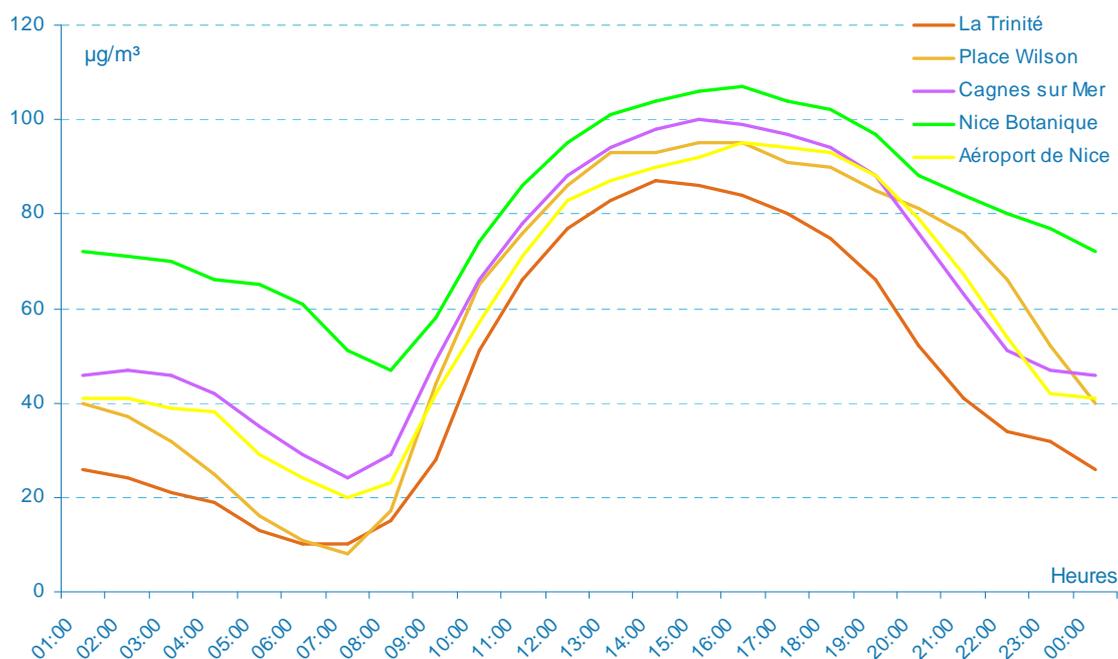


Figure 58 : Profils moyens journaliers en O<sub>3</sub> durant la campagne

Le profil « classique » (en cloche) de l’ozone se retrouve sur l’ensemble des sites de mesures de l’étude. A noter qu’en milieu de journée, le site de La Trinité enregistre des teneurs en ozone moins élevées que sur les autres points de mesures (20 µg/m<sup>3</sup> en dessous de la station Nice Botanique et 10 µg/m<sup>3</sup> en dessous de la station de Cagnes-sur-Mer).

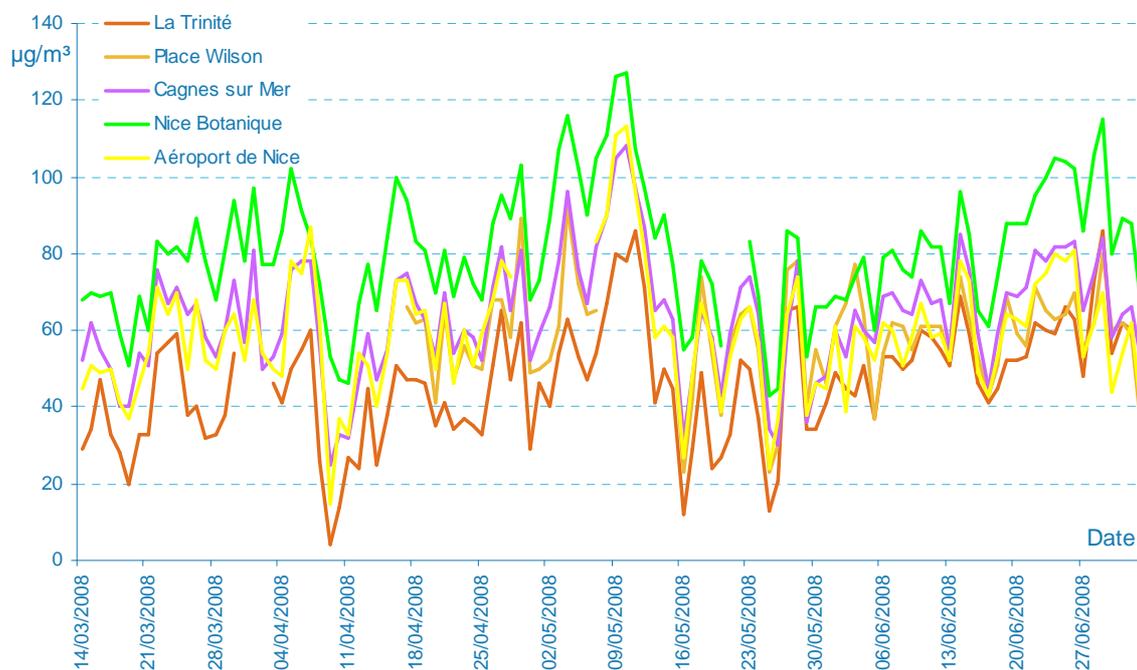


Figure 59 : Evolution journalière en O<sub>3</sub> durant la campagne

Les deux graphiques ci-dessus montrent bien la corrélation qui existe entre les sites de mesures d’ozone disposés sur le territoire de NCA. Les deux laboratoires mobiles n’ont pas eu un comportement atypique en comparaison avec les stations fixes. Ils ont bien suivi les grandes tendances d’augmentation et diminution de la pollution en ozone. Ces tendances sont en lien avec la météorologie : les périodes chaudes, ensoleillées et de forte stabilité atmosphérique entraînent une production photochimique soutenue. Cela a été le cas durant la fin du mois de juin.

Les valeurs en ozone des deux stations mobiles sont inférieures à celles des sites fixes : cette différence s'explique par des sites plus impactés par l'émission de polluants primaires (trafic, chauffage, industries ...). Les oxydes d'azote consomment l'ozone, ce qui induit des concentrations plus faibles dans le centre ville.

### EXEMPLE D'UN EPISODE DE POLLUTION A L'O<sub>3</sub> : LE 29/06/08



Figure 60 : Evolution horaire en O<sub>3</sub> du 28/06/08 au 01/07/08

Ce graphe présente l'évolution horaire de l'ozone durant les trois jours du 28 au 30 juin 2008. Ces journées ont été marquées par des températures élevées et une forte stabilité atmosphérique. Le 29 juin, la station de Nice Botanique a enregistré des valeurs dépassant le seuil d'information<sup>7</sup> (183 µg/m<sup>3</sup> à 14h). Durant cette journée, plusieurs analyseurs ont détecté des valeurs élevées en ozone, dont les deux laboratoires mobiles qui ont enregistré leur maximum horaire ce jour-là (152 et 162 µg/m<sup>3</sup> à 14h).

Des fortes concentrations en ozone ont aussi été enregistrées sur l'ensemble de la région PACA. Il s'agissait d'un phénomène général et non local (cf. Figure 61 : Cartographies du maximum horaire en ozone prévu le 29 juin 2008 (en µg/m<sup>3</sup>), région PACA (gauche), zoom Alpes-Maritimes (droite) - Plate forme AIRES : [www.aires-mediterranee.org](http://www.aires-mediterranee.org)).

<sup>7</sup> Ce jour là, la procédure d'information n'a pas été déclenchée sur le département, pour cela il est nécessaire que deux stations dépassent simultanément le seuil horaire de 180 µg/m<sup>3</sup>.

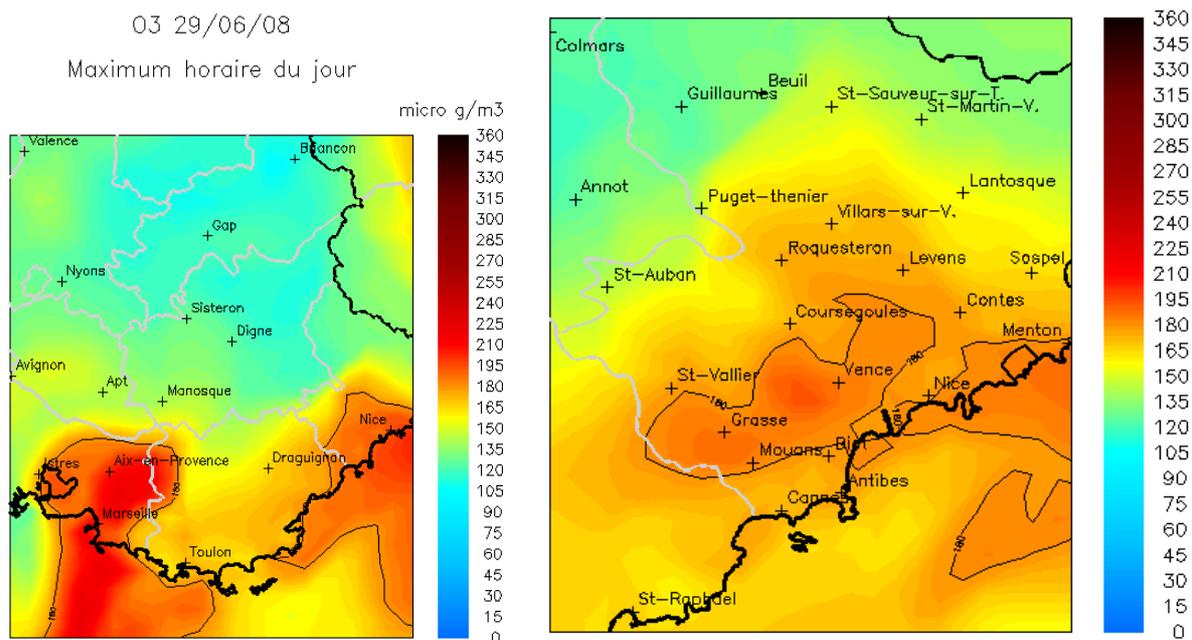


Figure 61 : Cartographies du maximum horaire en ozone prévu le 29 juin 2008 (en  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ), région PACA (gauche), zoom Alpes-Maritimes (droite) - Plate forme AIREs : [www.aires-mediterranee.org](http://www.aires-mediterranee.org)

## 2.5.7. DIOXYDE DE SOUFRE (SO<sub>2</sub>)

### ORIGINE ET DYNAMIQUE

Le SO<sub>2</sub> (dioxyde de soufre) est un polluant d'origine principalement industrielle, issu de la combustion de produits pétroliers. En ville, il provient des activités anthropiques et notamment des combustions au fuel (chauffages domestiques).

Il est particulièrement présent lors des conditions de forte stabilité atmosphérique : situations anticycloniques et inversions thermiques en hiver. De plus, en situation de vent moyen, la pollution industrielle peut être rabattue au sol sous le vent des points d'émissions (cheminées d'usine). Ce polluant est un précurseur des dépôts acides (acide sulfurique).

### EFFETS SANITAIRES

Ses effets sur la santé sont une altération de la fonction respiratoire chez l'enfant en particulier, une exacerbation des gênes respiratoires, des troubles de l'immunité du système respiratoire, un abaissement du seuil de déclenchement chez l'asthmatique, une mortalité prématurée. De plus, c'est un cofacteur de la bronchite chronique. Source de l'info

### RESULTATS DES LABORATOIRES MOBILES ET DES STATIONS FIXES DU 14/03 AU 03/07

Tableau 8 : Evaluation des niveaux de SO<sub>2</sub>

SO <sub>2</sub> en µg/m <sup>3</sup>	Station mobile Périurbaine <b>La Trinité</b>	Station fixe Périurbaine <b>Nice Aéroport</b>	Station fixe Trafic <b>Nice Pellos</b>
<b>Moyenne sur la période</b>	2	1	3
<b>Moyenne annuelle [2008 : du 01/07/07 au 01/07/08]</b> (Objectif de qualité : <b>50</b> µg/m <sup>3</sup> /an)	2.9 <b>Estimation<sup>8</sup></b>	2	5
<b>Maximum horaire</b> (Seuil de recommandation : <b>300</b> µg/m <sup>3</sup> /h)	49 01/04/08 10:00	11 28/03/08 22:00 :	34 01/04/08 10:00
<b>Nombre d'heures de dépassement de la valeur limite horaire pour la protection de la santé humaine</b> (350 µg/m <sup>3</sup> /h, tolérance <b>24</b> heures/an : objectif 01/01/05)	0	0	0
<b>Maximum journalier</b>	9 03/05/08	9 02/04/08	9 02/04/08
<b>Nombre de jours de dépassement de valeur limite journalière pour la protection de la santé humaine</b> (125 µg/m <sup>3</sup> /jour, tolérance <b>3</b> jours/an : objectif 01/01/05)	0	0	0

Les teneurs en SO<sub>2</sub> enregistrées durant la période d'étude ont été très faibles (3 et 5 µg/m<sup>3</sup> en moyenne annuelle respectivement pour les stations : la Trinité et Pellos) et ne présentent pas de problématiques particulières. Les valeurs enregistrées sont très en deçà des normes réglementaires.

Ce constat n'est pas étonnant, il souligne la « disparition » de ce polluant grâce aux progrès technologiques comme l'amélioration des processus de combustion et les meilleures formulations des carburants.

<sup>8</sup> L'estimation annuelle est réalisée à partir d'une régression linéaire entre les moyennes annuelles et les moyennes sur la période de toutes les stations mesurant le polluant étudié. Pour le SO<sub>2</sub>, la courbe de régression linéaire a pour équation :  $Y = 1.2667 X + 0.3333$  ;  $R^2 = 0.8914$ .



## 3. LES EMISSIONS SUR LE TERRITOIRE DE NCA

En 2007, Atmo PACA a réalisé la mise à jour complète de l'inventaire des émissions de polluants atmosphériques en région PACA, pour l'année de référence 2004. Cet inventaire a bénéficié des expériences issues du programme ESCOMPTE (2003) et de la réalisation de l'inventaire PACA 1999 (2005). La réussite de ce projet tient en partie à une coopération active avec l'ASPA<sup>9</sup>, matérialisée par un transfert de connaissances, de méthodologies, d'outils et d'appuis techniques.

La connaissance et la préparation des données d'émissions sur le territoire de Nice Côte d'Azur (NCA) constituent une étape essentielle et primordiale pour répondre précisément à la question de l'état initial de la qualité de l'air sur le futur tracé du tramway.

### 3.1. UN NOUVEL INVENTAIRE

Comme pour les versions précédentes, ce nouvel inventaire doit permettre de répondre aux objectifs courants : son utilisation comme **donnée d'entrée de la modélisation photochimique** ainsi que sa **contribution à la surveillance réglementaire**. En effet, le Code de l'Environnement demande une information sur la qualité de l'air en tout point du territoire, pouvant être issue d'une analyse (dite objective) des émissions ou de calculs de modélisation en dessous de certains seuils.

De nombreux polluants sont pris en compte dans l'inventaire : les polluants entrant dans les processus photochimiques, les polluants réglementés, les composés impliqués dans le phénomène de l'effet de serre (NO<sub>x</sub>, COVNM, SO<sub>2</sub>, CO, PM<sub>t</sub>, PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub>, Pb, Benzène, HCl, HF, Cr, Cu, Se, Zn, HAP, As, Cd, Hg, Ni, PCDD/F, NH<sub>3</sub>, CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O, CH<sub>4</sub>...). Certaines espèces chimiques sont obtenues par spéciations.

La mise à jour de l'inventaire régional des émissions concerne l'année de référence 2004. La résolution spatiale devant être la plus fine possible, les calculs ont été effectués dans la mesure du possible à l'IRIS (nomenclature INSEE).

La nomenclature utilisée est issue de la SNAP 97 (Selected Nomenclature for Air Pollution) au niveau le plus fin (niveau 3). Elle est modifiée dans les cas particuliers de méthodologies plus détaillées (par exemple méthodologie OFEFP, particularités régionales).

### 3.2. METHODOLOGIE

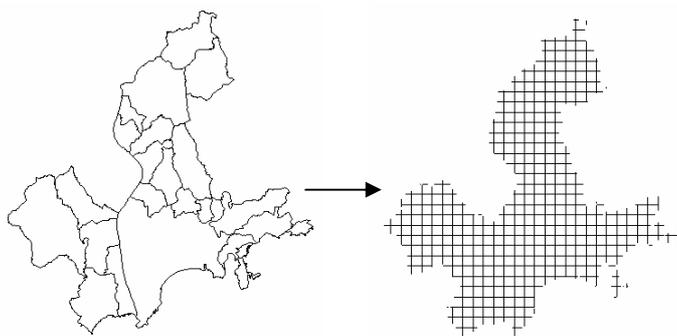
L'inventaire des émissions est un calcul théorique des flux de polluants émis dans l'atmosphère (masses de composés émis par unité de temps) pour divers types de sources (anthropiques et naturelles). Ce calcul est réalisé par un croisement entre des données dites primaires (statistiques, comptages, enquêtes...) et des facteurs d'émissions issus d'expériences métrologiques ou de modélisation.

#### **Données d'activités x Facteurs d'émissions = Emissions calculées**

Les émissions sont calculées à l'échelle de l'IRIS (découpage infra communal) en privilégiant une méthodologie dite « **bottom up** » pour laquelle sont utilisées les données primaires les plus précises possibles (à la différence d'une méthodologie « top-down » où les calculs sont effectués à une échelle plus large, régionale par exemple, les résultats étant désagrégés par la suite).

La dernière étape consiste en une redistribution spatiale des émissions sur une grille au maillage régulier (résolution kilométrique) : le **cadastre des émissions**. Cette allocation spatiale est réalisée à partir de clés de distributions basées sur l'occupation du sol. Ce format est indispensable pour une utilisation comme donnée d'entrée des outils de modélisation.

<sup>9</sup> Association pour la Surveillance et l'Etude de la Pollution Atmosphérique en Alsace  
Projet : 06MAR13I– Date de publication : 03/2009



L'inventaire des émissions concerne 35 polluants (une centaine de composés est obtenue après spéciation : distinction entre les différentes espèces possibles d'un élément). Dans ce rapport, les résultats concernant 6 polluants principaux sont présentés (les informations sur les autres composés étant disponibles auprès d'Atmo PACA).

### **SOURCES D'ÉMISSIONS CONSIDÉRÉES / DONNÉES D'ENTRÉE UTILISÉES**

L'inventaire régional des émissions a fait l'objet d'une mise à jour en 2007-2008. La nouvelle version porte sur l'année de référence 2004. Sur le territoire de NCA, la méthodologie est identique à celle appliquée sur la région PACA. Les sources considérées peuvent être classées selon trois types :

- Les **sources fixes anthropiques** concernent le secteur résidentiel / tertiaire (émissions dues au chauffage, utilisation de solvants, peintures, etc.) et l'industrie et l'énergie. Les données primaires sont variées (statistiques socio-économiques de l'INSEE<sup>10</sup>, statistiques industrielles du SESSI<sup>11</sup>, bilan énergétique régional de l'ORE<sup>12</sup>, etc.). Les principaux sites industriels fortement émetteurs sont considérés au cas par cas, ce sont les **Grandes Sources Ponctuelles**. Leur localisation est précise (cheminée ou autre type de rejet) et les émissions proviennent des déclarations annuelles des exploitants.
- Les **sources mobiles** concernent l'ensemble des sources dites « linéaires », c'est-à-dire le long des axes. Les transports considérés comprennent le transport routier mais aussi maritime, ferroviaire et aérien. Les transports ont été précisés suite à l'acquisition de données plus récentes sur NCA :  

Les données de trafic routier ont bénéficié d'une amélioration conséquente par la transmission, par les services de NCA, de la base de données Trafic réalisée dans le cadre de la Cartographie du Bruit par MVA Consultancy. Ces données récentes ont conduit à un calcul des émissions du trafic routier pour l'année de référence 2006 sur le territoire de NCA.
- Les **sources biotiques** concernent les émissions de sources naturelles telles que la végétation et les sols. Leurs émissions sont estimées par croisement entre l'occupation du sol et des données météorologiques.

<sup>10</sup> Institut National de la Statistique et des Etudes Economiques

<sup>11</sup> Service des Etudes et des Statistiques Industrielles

<sup>12</sup> Observatoire Régional de l'Energie

### 3.3. BILAN D'EMISSIONS

Tableau 9 : Emissions de NCA pour les principaux polluants

	NO <sub>x</sub>	CO	CO <sub>2</sub>	SO <sub>2</sub>	COVNM	PM <sub>tot</sub>	PM <sub>10</sub>	PM <sub>2.5</sub>
	t/an	t/an	t/an	t/an	t/an	t/an	t/an	t/an
Agriculture, sylviculture et nature	109	407	13 292	6	1 194	13	9	7
Production et distribution d'énergie	7	2	7 086	1	195	0	0	0
Industrie et traitement des déchets	641	46	338 419	46	785	35	21	8
Résidentiel et tertiaire	392	1 739	471 573	191	941	27	24	22
Transports non routiers	966	1 670	99 080	579	336	53	40	32
Transports routiers	7 154	24 212	1 206 804	214	3 416	729	533	419
<b>TOTAL CANCA</b>	<b>9 270</b>	<b>28 077</b>	<b>2 136 253</b>	<b>1 037</b>	<b>6 866</b>	<b>858</b>	<b>628</b>	<b>488</b>
Alpes Maritimes	20 292	69 652	6 172 976	1 985	29 507	2 958	1 863	1 212
PACA	147 599	546 651	49 727 074	90 380	225 060	26 280	12 919	9 123
<b>%CANCA / Alpes Maritimes</b>	<b>46%</b>	<b>40%</b>	<b>35%</b>	<b>52%</b>	<b>23%</b>	<b>29%</b>	<b>34%</b>	<b>40%</b>
<b>%CANCA / PACA</b>	<b>6%</b>	<b>5%</b>	<b>4%</b>	<b>1%</b>	<b>3%</b>	<b>3%</b>	<b>5%</b>	<b>5%</b>

COVNM : Composé Organique Non Méthanique

PM<sub>tot</sub> : Particules totales

Le bilan d'émissions pour les principaux polluants indique la part importante de la Communauté d'Agglomération de Nice Côte d'Azur dans les émissions régionales et départementales (Alpes-Maritimes). Selon les polluants, les émissions de NCA représentent de 1 à 6 % des émissions de la région PACA et de 23 à 46 % des émissions des Alpes-Maritimes<sup>13</sup>.

Cette part importante des émissions de polluants de NCA au sein des Alpes-Maritimes s'explique notamment par la taille de la Communauté d'Agglomération dont le nombre d'habitants correspond à plus de la moitié du département des Alpes-Maritimes.

La répartition géographique de ces émissions sur le territoire de NCA est toutefois très contrastée. La population et les activités sont principalement concentrées sur la zone littorale, du fait du relief important dans l'arrière pays. Les émissions sont donc majoritairement émises le long du littoral (cf. 3.4 Analyse sectorielle et géographique des émissions).

<sup>13</sup> La comparaison des émissions de NCA à celles des Alpes Maritimes et de la région est indicative : la référence temporelle n'est pas la même pour le calcul des émissions sur NCA (2006) et sur la région PACA (2004). Pour les besoins de l'étude, le calcul des émissions sur NCA a été affiné par rapport à l'inventaire régional 2004 (les trafics routiers de la NCA datent de 2006).

### 3.4. ANALYSE SECTORIELLE ET GEOGRAPHIQUE DES EMISSIONS

L'analyse sectorielle des émissions indique une nette importance du secteur des transports et ce quel que soit le polluant étudié ici (cf. Figure 62 page 74). Les transports routiers sont émetteurs d'environ 80 % des oxydes d'azote, du monoxyde de carbone et des particules. Les transports non routiers représentent plus de 50 % des émissions de SO<sub>2</sub>.

Cette répartition sectorielle s'explique par le trafic important présent sur les principaux axes circulants de l'agglomération (autoroute A8 : 70 000 véhicules/jour, Route Nationale 202: 50 000 véh./j, Promenade des anglais : 65 000 véh./j). De plus, les teneurs en soufre des carburants maritimes ont un impact important sur les émissions de dioxyde de soufre au port de Nice et en proximité<sup>14</sup>.

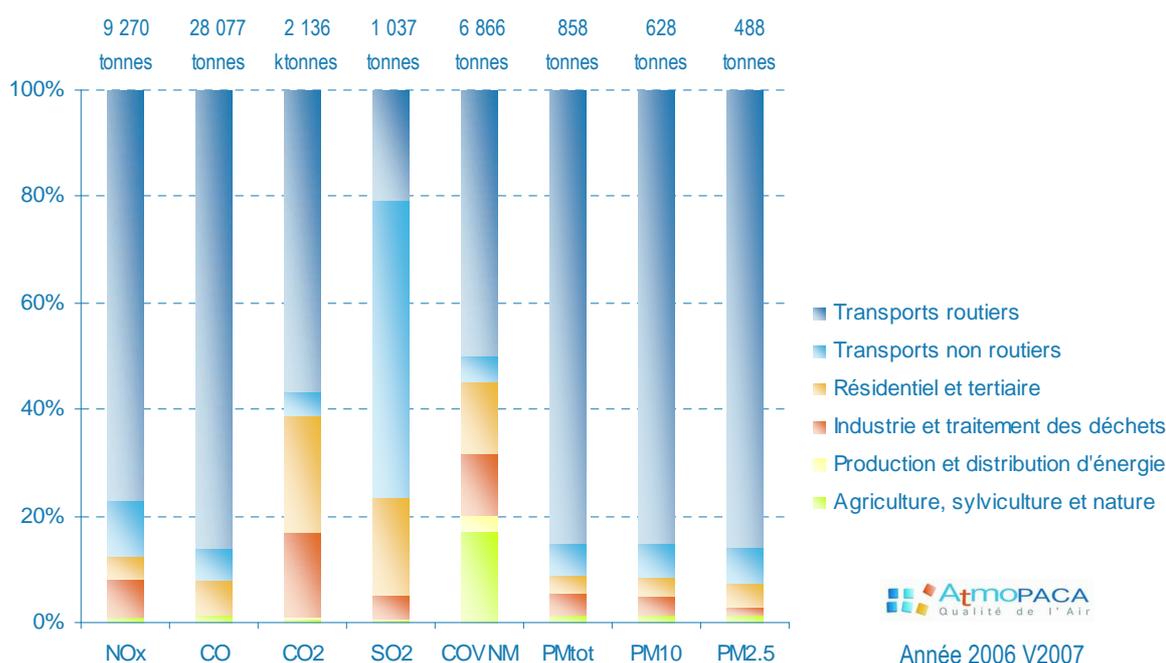
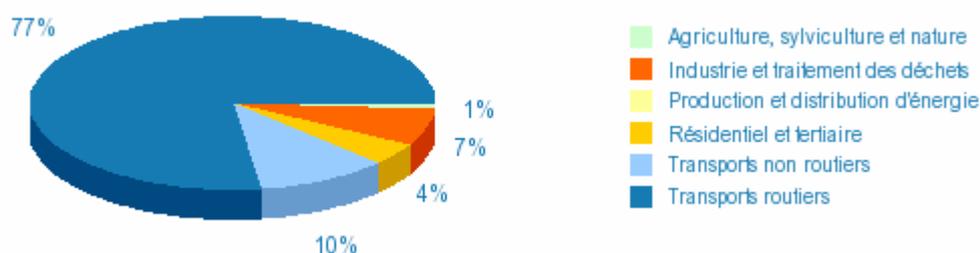


Figure 62 - Part de chaque secteur d'activité dans les émissions de NCA

<sup>14</sup> A noter que les émissions dues aux navires indiquées dans le bilan concernent les activités à proximité du port de Nice (phases d'attente à quai et phases de manœuvre en approche du port).

### EMISSIONS D'OXYDES D'AZOTE (9 270 TONNES/AN)

Les oxydes d'azote sont issus très majoritairement des transports (87 % des émissions au total). Les secteurs de l'industrie et du résidentiel / tertiaire ont des contributions beaucoup plus faibles et participent aux émissions de NO<sub>x</sub> à hauteur respectivement de 7 % et 4 %.



Oxydes d'azote | Année de référence 2006, méthodologie 2007, version 3

La représentation cartographique des émissions d'oxydes d'azote illustre l'analyse sectorielle précédente : les mailles les plus impactées sont situées à proximité des axes routiers et du port de Nice. De plus, la présence de l'usine d'incinération d'ordures ménagères indique également des émissions de NO<sub>x</sub> localement importantes.

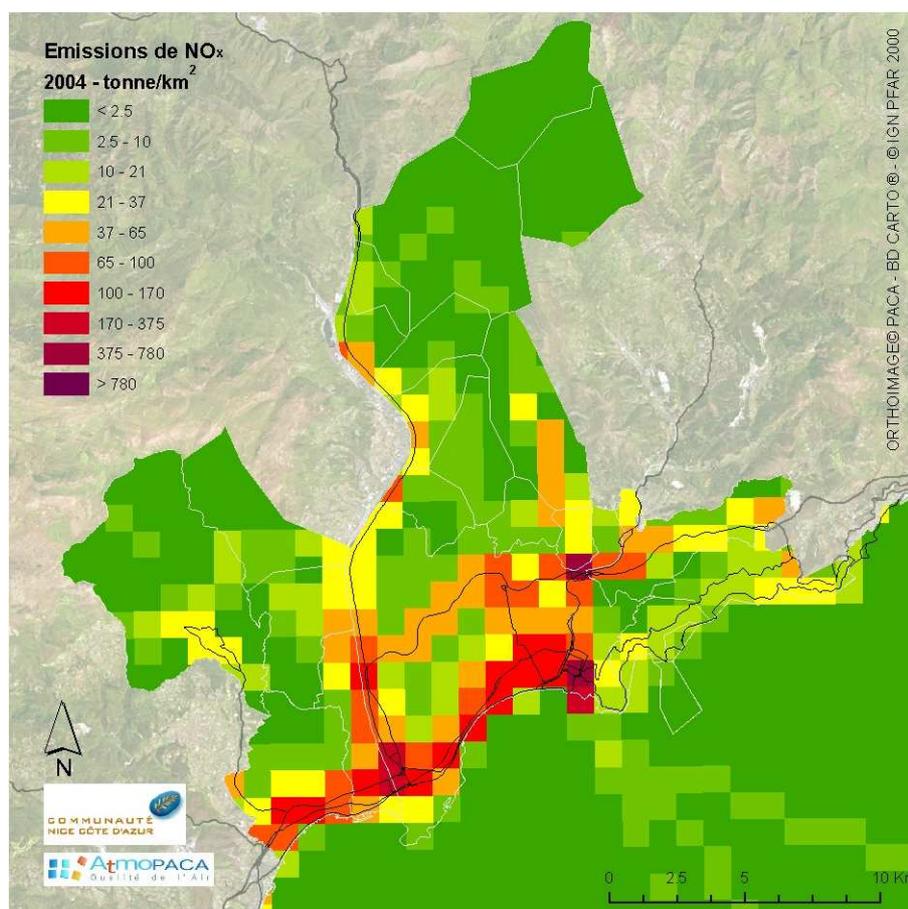
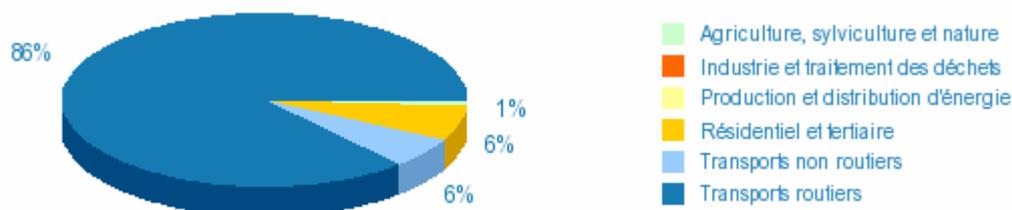


Figure 63 - Cadastre kilométrique des émissions de NO<sub>x</sub> sur NCA

### EMISSIONS DE CO (28 077 TONNES/AN)

Les émissions de CO sont elles aussi issues très majoritairement des transports (plus de 90 % des émissions totales). Le secteur résidentiel / tertiaire est le deuxième secteur émetteur de CO (6 %). Il est à noter, ici, la très faible part des activités industrielles dans les émissions de CO sur le territoire de NCA (à l'échelle de la région PACA, les activités industrielles participent à hauteur de 45 % aux émissions de CO).



Monoxyde de carbone | Année de référence 2006, méthodologie 2007, version 3

Les émissions de CO étant très largement issues des activités liées aux transports routiers, il est donc logique de les retrouver majoritairement aux abords des axes de circulation. Le monoxyde de carbone est émis lors des combustions incomplètes. Celles-ci ont lieu, pour les véhicules, lors des cycles à froid mais aussi pour des cycles de vitesses lentes en situation d'embouteillages par exemple. Ceci explique pourquoi les émissions de CO sont plus marquées au centre ville par rapport aux axes plus circulants comme les autoroutes ou pénétrantes.

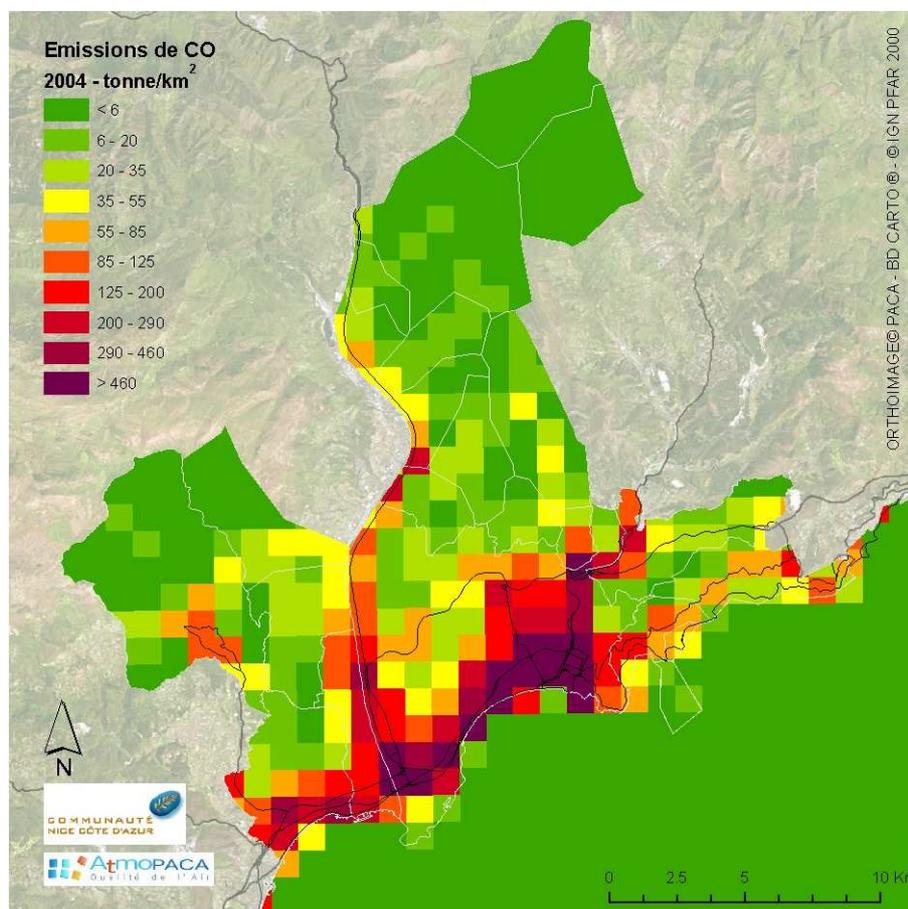
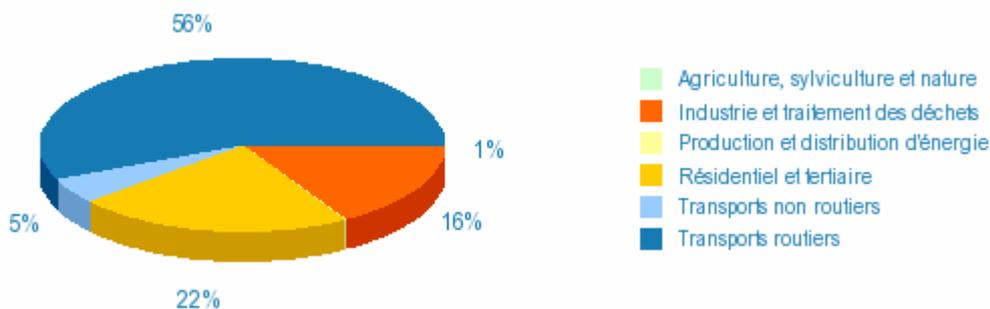


Figure 64 - Cadastre kilométrique des émissions de CO sur NCA

### EMISSIONS DE CO<sub>2</sub> (2 136 253 TONNES/AN)

Le secteur des transports reste majoritaire dans les émissions de CO<sub>2</sub>, malgré une dominance moins marquée que pour les autres polluants (61 % des émissions de CO<sub>2</sub> sont émis par l'ensemble des transports). Le résidentiel / tertiaire contribue à hauteur de 22 % aux émissions de CO<sub>2</sub>, 16 % pour les activités industrielles.



Dioxyde de carbone | Année de référence 2006, méthodologie 2007, version 3

La répartition spatiale des émissions de CO<sub>2</sub> indique nettement une concentration des émissions en zones urbaines, où se concentrent plusieurs types d'activités (combustions dues aux installations de chauffage, aux chaufferies industrielles, aux transports, etc.). L'UIOM de Nice se distingue clairement des autres sources émettrices de CO<sub>2</sub>, son impact local est bien marqué.

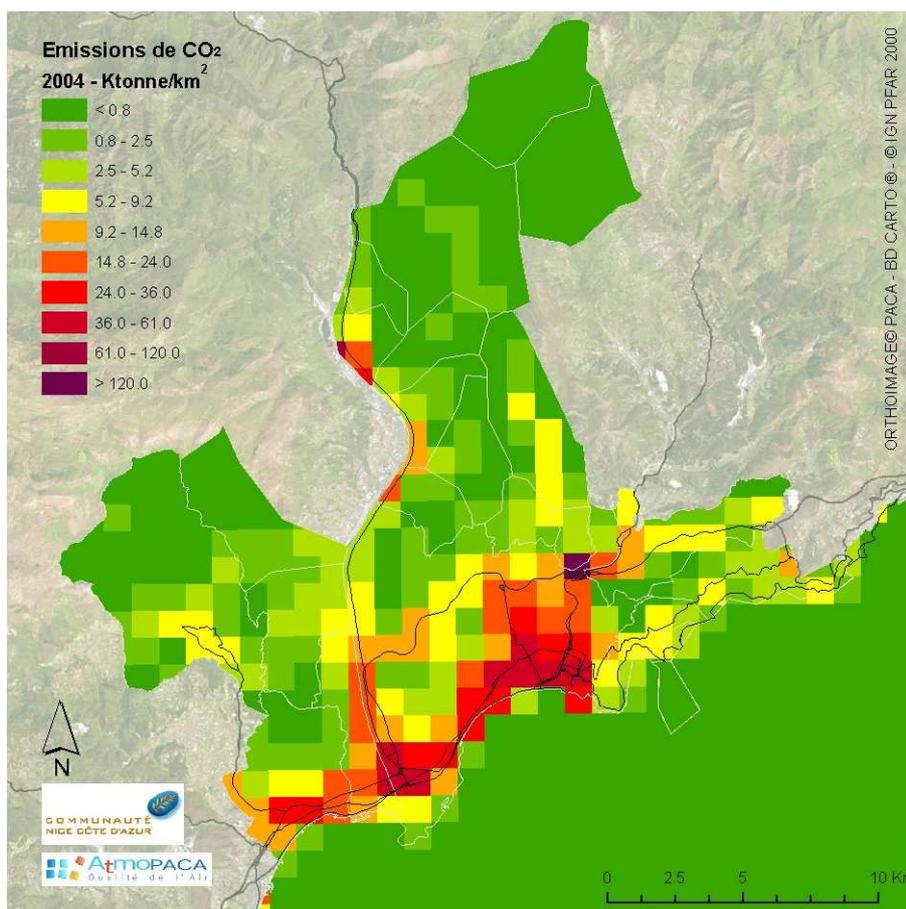
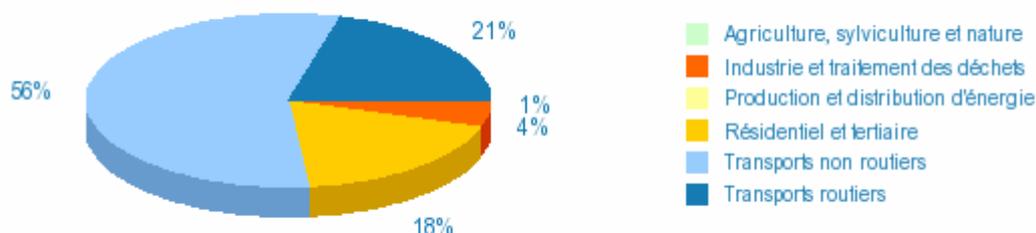


Figure 65 - Cadastre kilométrique des émissions de CO<sub>2</sub> sur NCA

### EMISSIONS DE SO<sub>2</sub> (1 037 TONNES/AN)

Les émissions de SO<sub>2</sub> proviennent principalement des transports non routiers (56 %). Les teneurs en soufre des combustibles utilisés pour les navires sont à l'origine de ces émissions. A noter toutefois que ces émissions correspondent à la fois aux activités au port (phases d'attente à quais des navires) et à proximité du port (phases de manœuvre aux abords du port). Les transports routiers émettent 21 % des émissions de SO<sub>2</sub>. Le secteur résidentiel/tertiaire est à l'origine de 18 % des émissions de SO<sub>2</sub>.



Dioxyde de soufre | Année de référence 2006, méthodologie 2007, version 3

La répartition spatiale des émissions de SO<sub>2</sub> confirme l'analyse sectorielle : l'impact des activités maritimes est nettement visible. Les quantités maximales de SO<sub>2</sub> émises se concentrent dans les mailles situées au niveau du port.

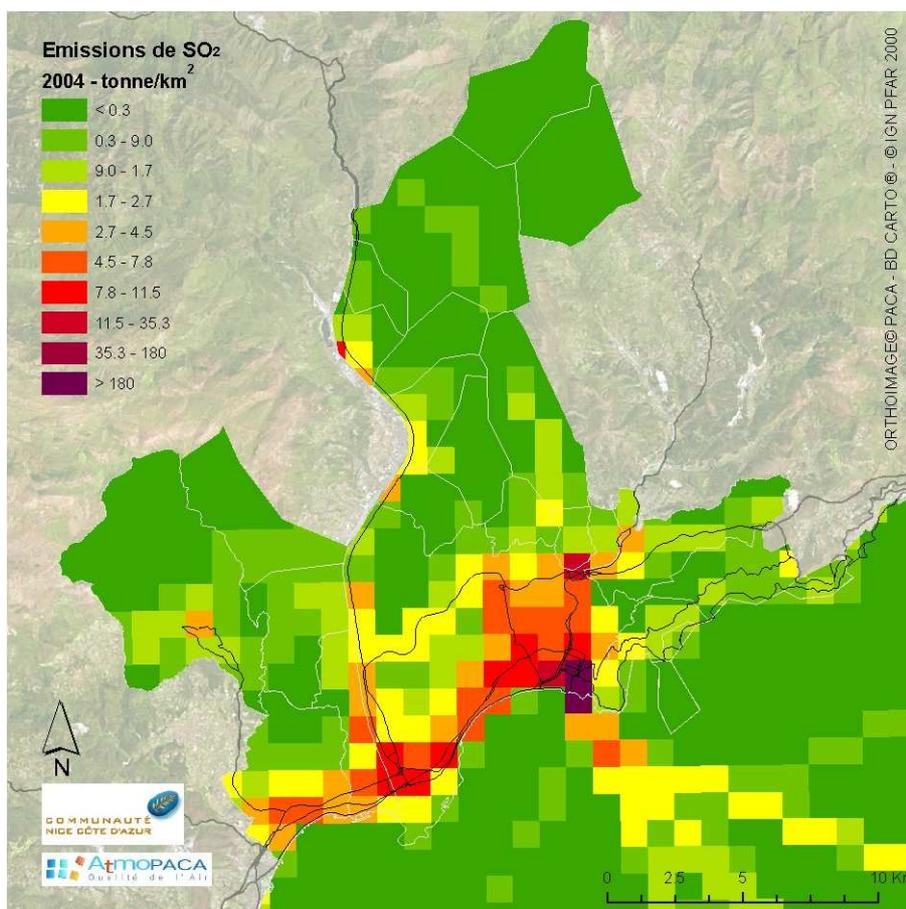


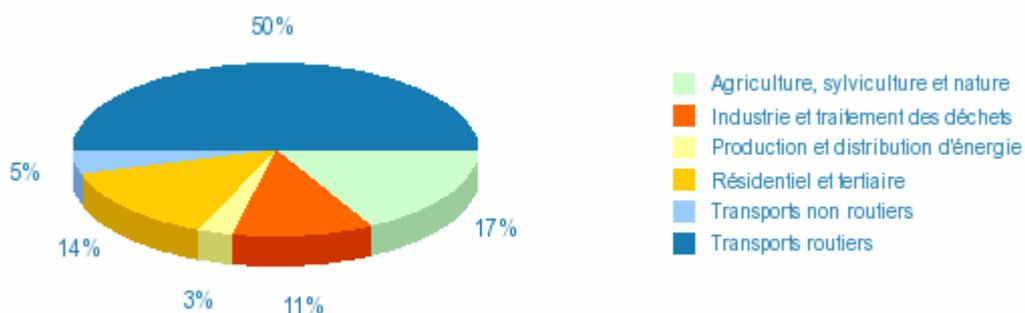
Figure 66 - Cadastre kilométrique des émissions de SO<sub>2</sub> sur NCA

### ÉMISSIONS DE COVNM (6 866 TONNES/AN)

Les transports routiers constituent la part prépondérante des émissions de COVNM (50 %). Ceci s'explique par la part importante du milieu urbain sur le territoire de NCA avec une zone littorale dense et fortement urbanisée.

Les émissions biotiques, c'est-à-dire d'origines naturelles, représentent le deuxième secteur émetteur de COVNM (17 %). Ces émissions, au contraire des émissions d'origine anthropique, sont diffuses et leur répartition sur le territoire conduit généralement à des concentrations faibles localement.

Les secteurs de l'industrie et du résidentiel / tertiaire contribuent respectivement à 11 % et 14 % des émissions de COVNM. Ces émissions sont issues notamment de l'utilisation de solvants, peintures...



Composés Organiques Volatils Non Méthaniques | Année de référence 2006, méthodologie 2007, version 3

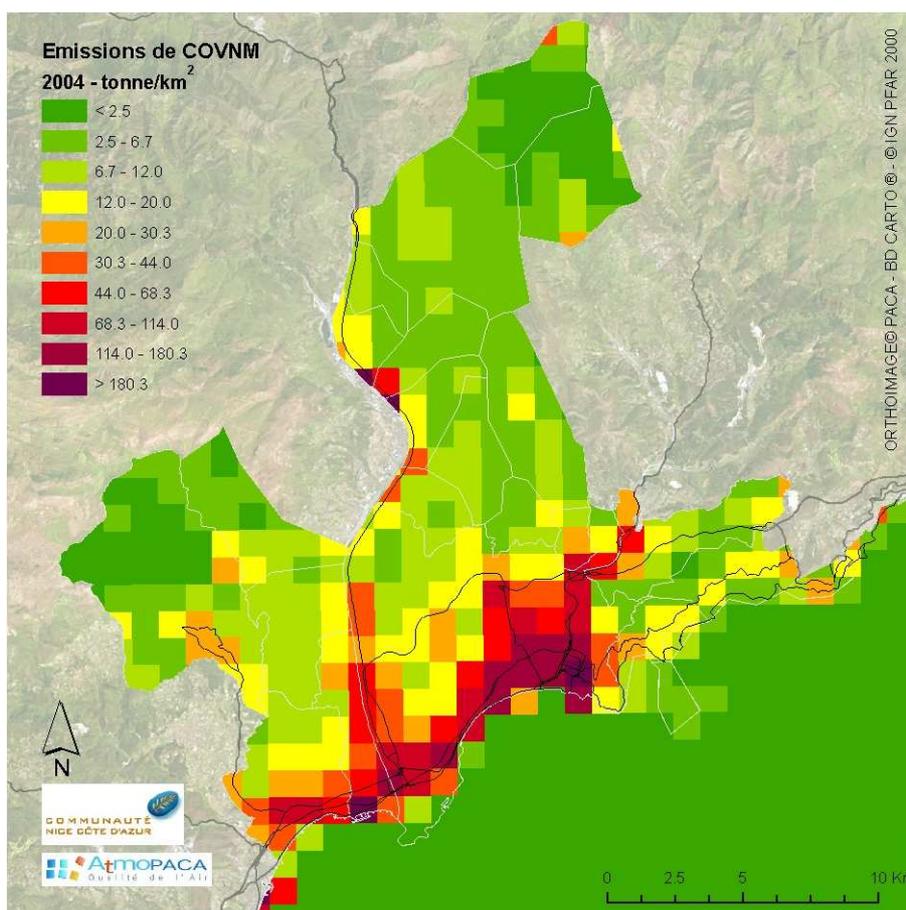
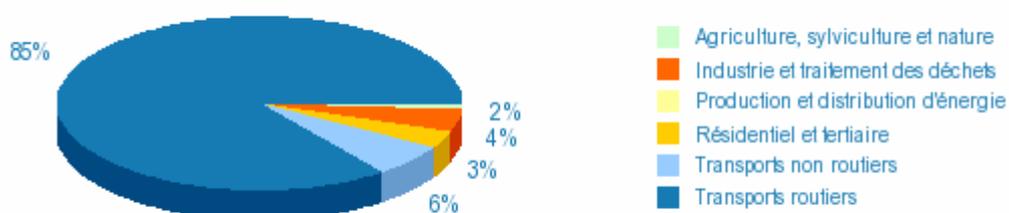


Figure 67 - Cadastre kilométrique des émissions de COVNM sur NCA

### ÉMISSIONS DE PARTICULES (858 TONNES/AN)

Les particules sont émises à 64 % par les transports routiers. Plus la taille des particules est fine, plus la part de ce secteur augmente (il passe à 80 % pour les particules fines inférieures à 2.5 µm).

Enfin, la composition chimique complexe des particules entraîne des impacts sur la santé et la chimie de l'atmosphère différents selon le type de particules. En outre, il existe des particules secondaires (formées a posteriori à partir d'autres composés particuliers ou non).



Particules totales | Année de référence 2006, méthodologie 2007, version 3

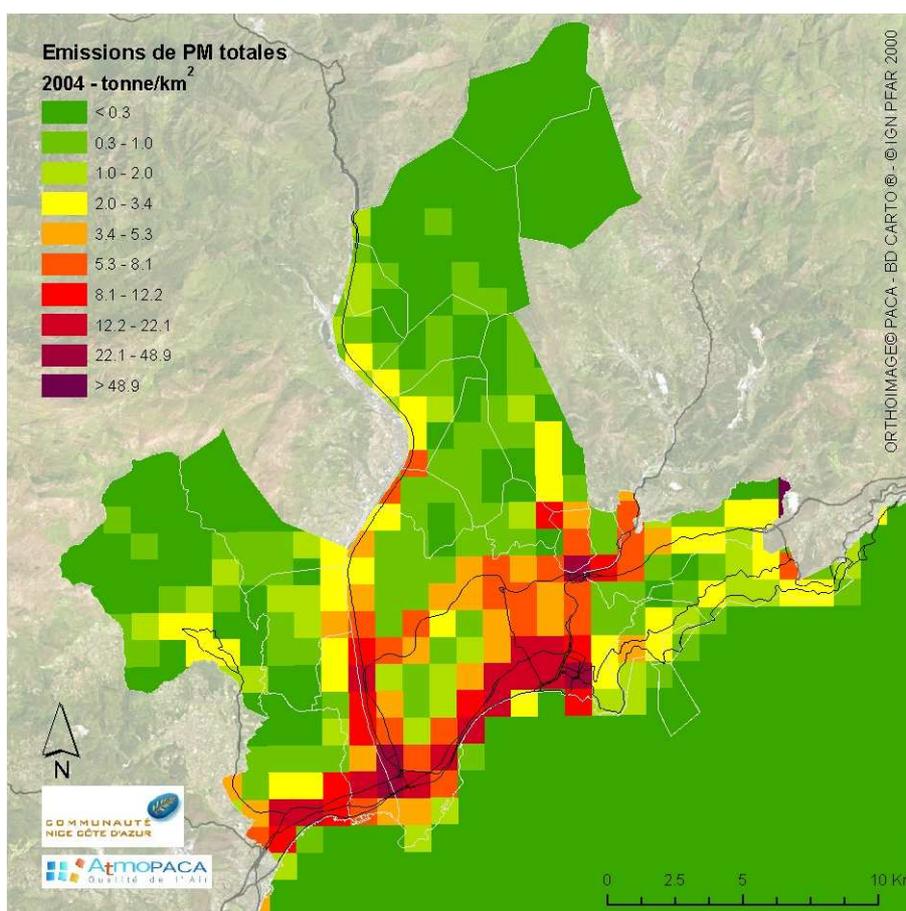


Figure 68 - Cadastre kilométrique des émissions de PM totales sur NCA



## 4. MODELISATION DE LA DISPERSION DES POLLUANTS

### 4.1. MODELE ADMS-URBAN

Le système de gestion de la qualité de l'air ADMS-Urban repose sur le modèle de dispersion atmosphérique ADMS (*Atmospheric Dispersion Modelling System*) développé depuis 1993 par le *Cambridge Environmental Research Consultant* (CERC). Il permet de modéliser à l'échelle de l'agglomération toutes les sources d'émissions (sources routières, sources industrielles, sources résidentielles et tertiaires, etc.) et ainsi de simuler à haute résolution la qualité de l'air de proximité à l'échelle de la rue et à l'échelle de l'agglomération en tenant compte de toutes ces sources. Il permet de prendre en compte la dispersion simultanée de plusieurs polluants (NO<sub>x</sub>, CO, SO<sub>2</sub>, COV, particules...) émis par plus de 4000 sources différentes telles que :

- les routes et les trafics associés (jusqu'à 75 000 brins peuvent être considérés),
- les sources industrielles ponctuelles et surfaciques,
- les sources diffuses (utilisées sous forme de cadastres).

Le système ADMS-Urban peut être appliqué à diverses études comme des études d'impact de la construction d'une nouvelle infrastructure routière, ou à but pronostique, en réalisant la prévision de la qualité de l'air à l'échelle de la rue, du quartier ou de l'agglomération.

#### 4.1.1. MODELE MATHEMATIQUE DE DISPERSION

ADMS intègre différents modules couplés, qui décrivent les effets complexes sur la dispersion des effluents : topographie, effets « canyons », turbulence liée au trafic, phénomènes météorologiques particuliers (inversion de température), ...

En fonctionnement normal, le modèle de dispersion travaille en régime stationnaire pour une situation météorologique donnée ; les situations météorologiques sont réactualisées toutes les heures. ADMS travaille en effet en mode séquentiel horaire, ce qui permet de prendre en compte l'évolution temporelle des conditions météorologiques durant la journée. L'utilisation de données statistiques annuelles donne des résultats peu satisfaisants en terme de dispersion des effluents. Pour une étude de qualité de l'air à l'échelle d'une rocade, d'un quartier ou d'une agglomération, l'utilisation d'un schéma de dispersion fonctionnant en régime stationnaire pendant des échelles de temps de l'ordre de l'heure est tout à fait adéquat, car celui-ci est précis en terme de dispersion et relativement peu coûteux en temps de calcul. Les valeurs réglementaires font d'ailleurs référence à des échantillonnages effectués généralement à une résolution temporelle horaire.

La grille de calcul est ajustable (discrétisation du domaine) : la résolution varie du mètre à quelques centaines de mètres. De plus, le système permet un maillage « intelligent », en plaçant lui-même jusqu'à 5000 points de calculs (capteurs virtuels) aux endroits où les gradients de concentration sont importants (le long et au bord des grands axes). Il permet également de disposer des points « spécifiques » correspondant à des localisations particulières, très utiles dans le cadre d'une comparaison modèle / mesure ou dans l'élaboration de courbes d'effluents en fonction de la distance à la source.

#### 4.1.2. ECHELLE SPATIALE

Le domaine de modélisation est choisi en fonction des spécificités et des objectifs de l'étude. Il peut s'étendre de la rue (« Canyon street »), avec une prise en compte des effets de turbulence liés au trafic et aux effets « canyons », jusqu'à l'agglomération (~ 40 x 40 km<sup>2</sup>), où des phénomènes tels que la photochimie ou la formation « d'îlots de chaleur urbains » sont considérés.

### 4.1.3. PRINCIPAUX MODULES INTEGRES AU SYSTEME

Outre le modèle de dispersion, le système comprend de nombreux modules permettant d'étudier la qualité de l'air à l'échelle de la rue/route, du quartier ou de l'agglomération :

- **Modèle de terrain** : à partir de paramètres météorologiques moyens, le modèle d'écoulements fluides FLOWSTAR (cf. Annexe II) calcule en 3D tous les champs de vent (résolution de l'ordre de 100 m) et de turbulence en prenant en compte l'effet de la topographie et de la rugosité du sol ;
- **Préprocesseur météorologique** : à partir de données météorologiques mesurées au sol, un préprocesseur météorologique calcule dans les 3 dimensions, les paramètres de la couche atmosphérique de dispersion (entre le sol et 2000 mètres d'altitude) ;
- **Modèle de dépôt** : calcul du dépôt sec et du lessivage par les pluies des effluents. Prise en compte de la taille des particules lors de la dispersion. Jusqu'à 10 tailles de particules peuvent être considérées, ce qui permet de prendre en compte des spectres dimensionnels de particules ;
- **Modèle de trajectoire des panaches** : pour les sources ponctuelles (cheminées industrielles...), un modèle dynamique calcule intégralement la trajectoire des panaches émis (surélévation) à partir des vitesses d'éjection et des températures des rejets ;
- **Modèle de bâtiment** : ce modèle dynamique permet de calculer l'influence turbulente des bâtiments proches des sources industrielles sur la dispersion, ainsi que les effets de sillage des cheminées ;
- **Modèle photochimique** : ADMS intègre un code photochimique incluant la chimie des polluants suivants : NO<sub>2</sub>, NO, O<sub>3</sub> et COV (schéma de 7 réactions). Il utilise notamment les données de rayonnements solaires pour calculer les taux de photolyse. Un tel module est indispensable si l'on souhaite correctement estimer les concentrations de NO<sub>2</sub>.notamment ;
- **Modèle des effets « Street Canyon »** : prise en compte des phénomènes de recirculations dans les rues et de la turbulence provoquée par le passage des véhicules entre les bâtiments ;
- **Module statistique** : ce module permet notamment de faire des comparaisons directes avec les valeurs réglementaires.

### 4.1.4. PRINCIPALES DONNEES D'ENTREE

- Météorologie : données météorologiques de surface, mesurées de préférence à fréquence horaire (format Météo France) : vitesse et direction du vent, température sous abri, nébulosité, précipitations...
- Paramètres d'émission : localisation des sources et tronçons, taux d'émission (horaires ou TMJA<sup>15</sup>, profils quotidiens), largeur des voies et hauteur du bâti, émissions industrielles (position et caractéristiques des cheminées) et diffuses (tertiaire, COV)...
- Topographie de la zone d'étude : relief et occupation des sols (milieu urbain, hauteur moyenne du bâti...).

### 4.1.5. TYPES DE SORTIES ET RESULTATS ISSUS DE ADMS

- Résultats à court terme (horaires, journaliers, études de cas) ou à long terme (moyennes annuelles, percentiles, valeurs maximales...),
- Présentation des résultats sous forme de cartographies facilitées par des liens directs avec des SIG (Système d'information Géographiques) et des systèmes logiciels graphiques reconnus (ex. SURFER),
- Tableaux synthétiques, comparaisons directes avec les valeurs réglementaires.

<sup>15</sup> Trafic Moyen Journalier Annuel

## 4.2. PHENOMENES PHYSIQUES PRIS EN COMPTE

Le Tableau 10 rappelle les phénomènes physiques pris en compte dans la modélisation de base de l'étude.

Tableau 10 : Phénomènes physiques pris en compte dans la modélisation

Phénomène physique	Pris en compte par le modèle dans l'étude	Commentaires
Météorologie locale	oui	Données horaires mesurées à la station Météo France de Nice Aéroport
Description verticale de la turbulence atmosphérique	oui	Analyse d'échelle de Monin-Obukhov
Cycle diurne du développement de la couche de mélange atmosphérique	oui	Les données météorologiques ne sont pas traitées de façon indépendante mais en considérant toujours les 24heures précédentes
Traitement spécifique des conditions météorologiques convectives (rabattement des panaches près du sol)	oui	Trajectoires gaussiennes « obliques » en situation convectives
Surélévation des panaches à l'émission	oui	Modèle intégral de trajectoire 3D pour les sources canalisées
Nature des sols rencontrés	oui	Hauteur de rugosité adaptée sur le domaine d'étude
Evolution chimique des rejets gazeux dans l'environnement	oui	Pour le calcul des concentrations en NO <sub>2</sub> , la corrélation NO <sub>x</sub> -NO <sub>2</sub> de Dewent-Middleton (1996) a été considérée
Pollution de fond	oui	Utilisation des mesures et des sorties modèle
Variabilité temporelle des émissions	oui	Suivant les profils
Effet de la topographie (relief) sur la dispersion des panaches	oui	Le modèle de dispersion est couplé au modèle d'écoulement fluide FLOWSTAR qui recalcule les champs de vent et de turbulence en 3D sur tout le domaine
Nature particulière des poussières	oui	Prise en compte du dépôt sec (chute par gravité) et humide (lessivage par les précipitations)

### 4.3. MODELISATION DE L'AGGLOMERATION NIÇOISE

Cette partie présente les données environnementales d'entrée du modèle utilisées dans le cadre de cette étude : le domaine d'étude et la grille de calcul, la topographie et la nature des sols, les données météorologiques, les polluants étudiés et la pollution de fond associée.

#### 4.3.1. DOMAINE D'ETUDE

Le domaine d'étude, de 15.5 x 13.2 km<sup>2</sup>, couvre la ville de Nice. Compte tenu des contraintes environnementales, des contraintes liées au modèle ADMS-Urban et du nombre important de sources modélisées, le domaine a été découpé en 8 grilles de calcul (Figure 69). Ce découpage tien compte des diversités environnementales (en terme de topographie et de météorologie) qui distinguent la partie ouest (grilles 1, 2, et 3) de la partie est (grilles 4 à 8) du domaine d'étude.

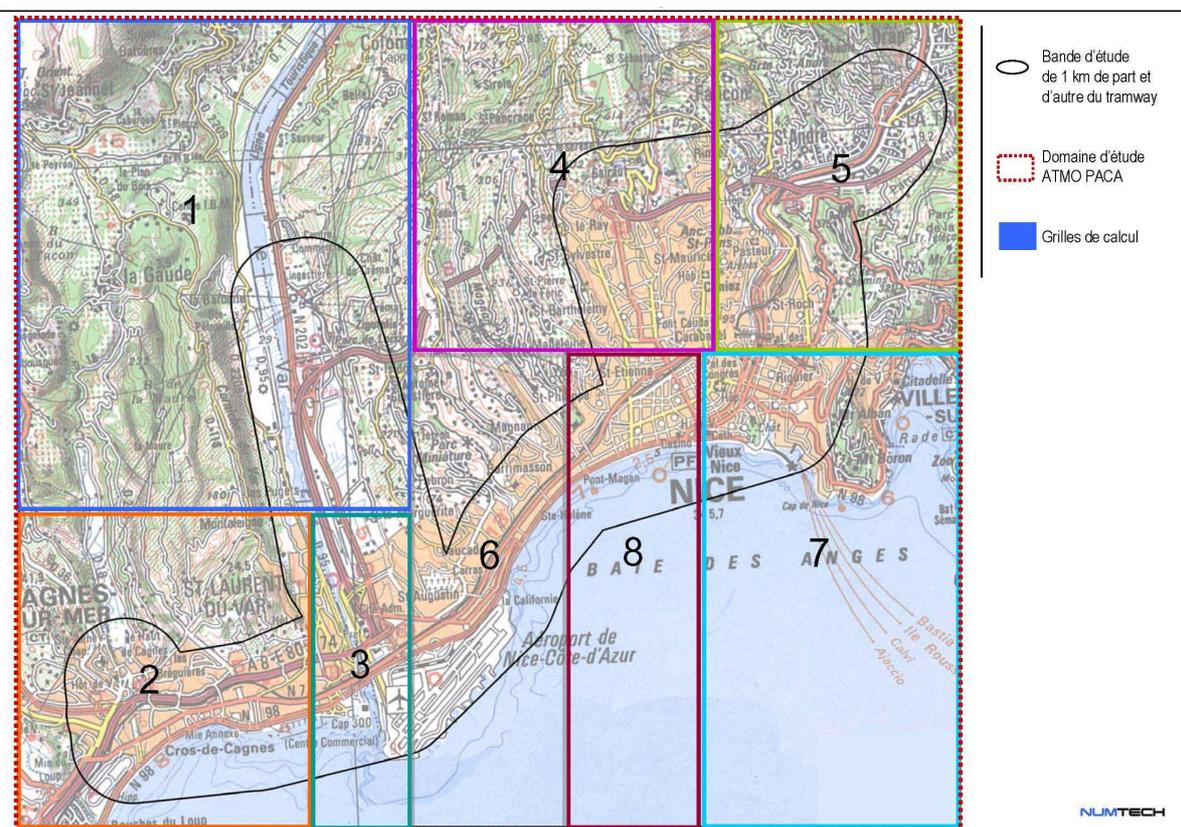


Figure 69 - Localisation des différentes grilles de calcul et de la bande d'étude

La modélisation a été réalisée sur le domaine d'étude. Les concentrations sont restituées sur une bande d'étude de 1km de part et d'autre du tracé du tramway. Cette bande est suffisamment large pour couvrir également le centre ville de Nice (Figure 70).

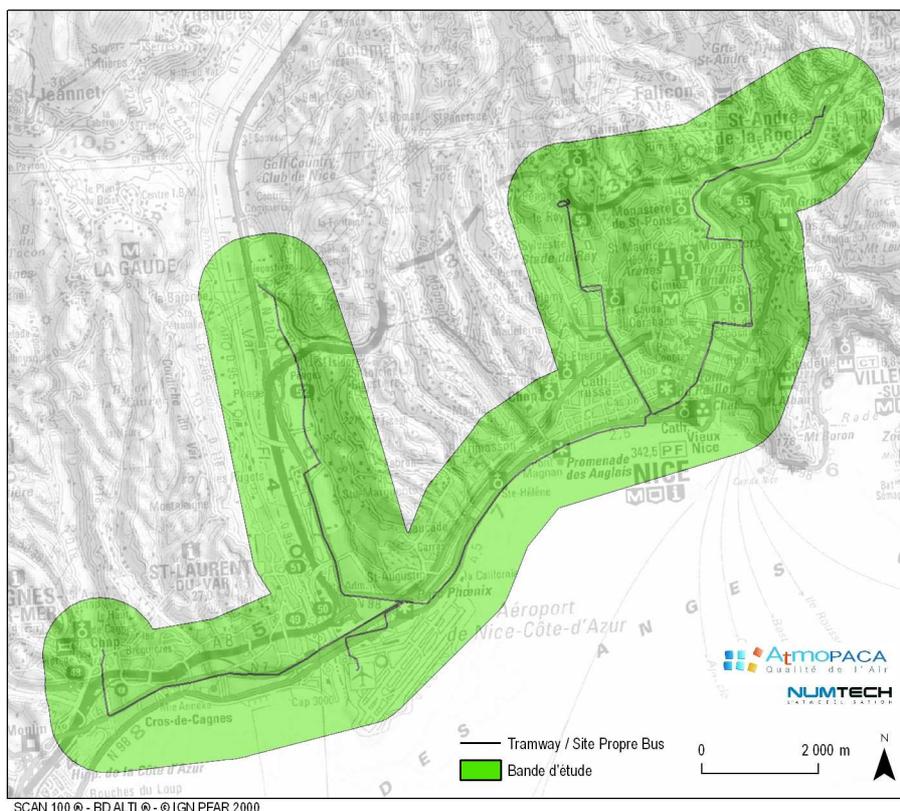


Figure 70 – Localisation de la bande d'étude

Les valeurs de concentration ont été simulées en chaque point d'une grille régulière et sur un ensemble de points répartis sous forme de transects de part et d'autre des axes routiers, permettant ainsi de cartographier les concentrations sur la bande d'étude (Figure 71). Les calculs des concentrations ont également été réalisés pour une centaine de points spécifiques correspondant :

- aux stations de mesures fixes du réseau Atmo PACA et,
- à des points de mesures ponctuelles correspondant aux tubes passifs et à la station de mesure temporaire placés par Atmo PACA sur l'agglomération niçoise au cours des campagnes de mesures hivernale et estivale de mars et juin 2008 (Figure 72).

Le système géographique utilisé pour cette étude est le système ED50 UTM zone 31.

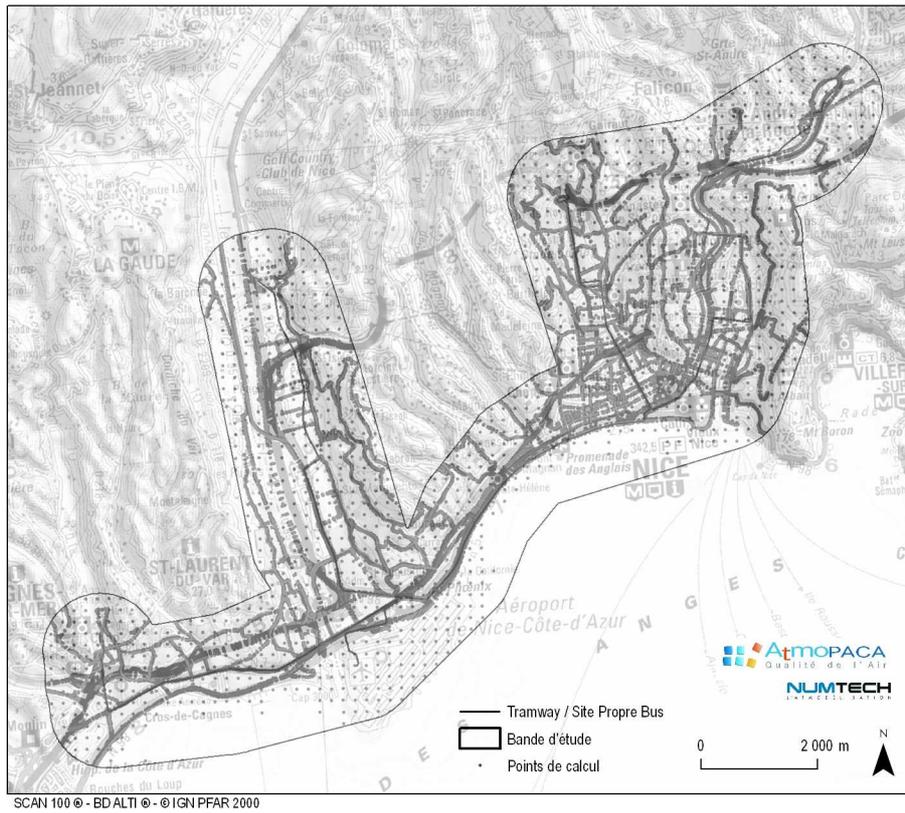


Figure 71 – Localisation des points de grille ADMS (grille régulière et maillage intelligent)

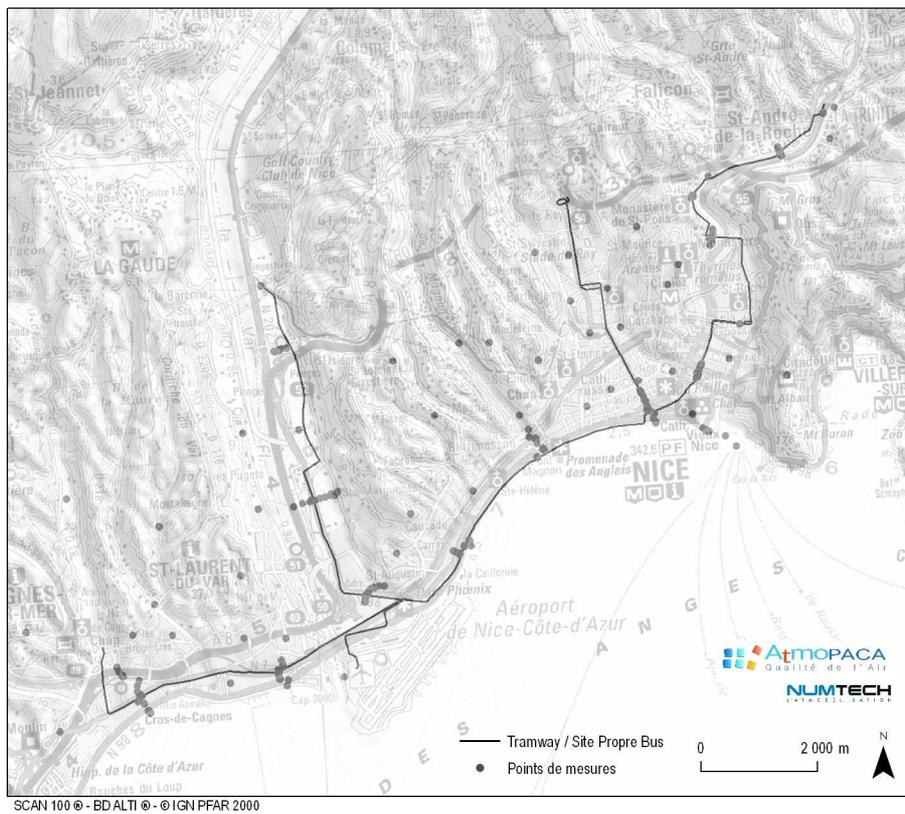


Figure 72 – Localisation des points spécifiques

### 4.3.2. TOPOGRAPHIE ET NATURE DES SOLS

Le modèle ADMS-Urban permet d'intégrer la topographie dans le calcul de la dispersion atmosphérique des polluants. Le relief du domaine d'étude est susceptible d'influencer les champs de vent et de turbulence, et ainsi la répartition en surface des concentrations des polluants. La topographie représentée sur la figure ci-dessous provient des données IGN (MNT 50m).

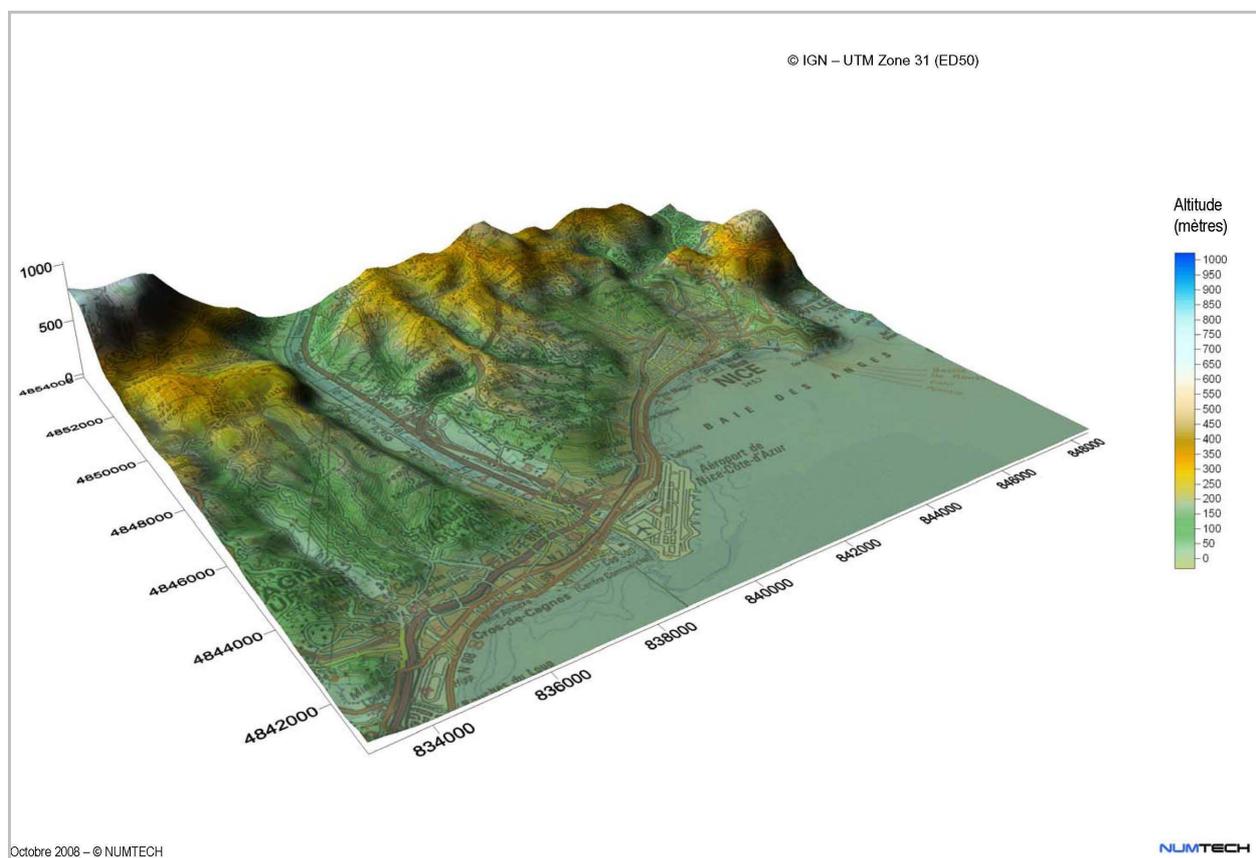


Figure 73 – Topographie sur l'agglomération niçoise

La nature des sols, pouvant influencer la progression des panaches, a été caractérisée grâce à un paramètre de rugosité. Ce paramètre, couramment utilisé dans les modèles de dispersion atmosphérique, représente la nature rugueuse des obstacles occupant le sol. Il a la dimension d'une longueur variant entre  $10^{-3}$  mètre (surface désertique) et environ 1.5 mètres pour les sols urbains les plus denses. Ces données sont disponibles sous forme d'une grille dont les valeurs sont issues de la base Corine Land Cover, fournie par l'IFEN (Institut Français de l'Environnement). Sur la zone d'étude, les valeurs de rugosité appliquées sont de 0.8 m (caractéristique d'un milieu dense urbain) sur le domaine d'étude et de 0.2 m pour le site météorologique.

A partir de la topographie et des données d'occupation des sols, le module dynamique FLOWSTAR (inclus dans ADMS) ajuste l'altitude réelle des sources, des obstacles et de tous les points de grille en fonction du relief. Il recalcule également, pour chaque donnée météorologique, les champs de vent et de turbulence modifiés par le relief, sur le domaine d'étude et sur plusieurs niveaux verticaux (jusqu'à 2000 mètres au-dessus du sol) (cf. Annexe II : Présentation du module Flowstar).

### 4.3.3. METEOROLOGIE

La connaissance des paramètres météorologiques est primordiale pour l'étude de la dispersion des rejets dans l'atmosphère, puisque la température de l'air, la nébulosité, la vitesse et la direction du vent sont des grandeurs physiques qui sont représentatives de la climatologie locale et en particulier des mouvements d'air dans les premières couches atmosphériques.

L'étude s'est appuyée sur les paramètres météorologiques :

- mesurés par Météo France à la station de l'aéroport de Nice (nébulosité, température, précipitation, vitesse et direction du vent). Ces paramètres peuvent être directement utilisés par le modèle. Ils ont été mesurés à fréquence horaire.
- calculés en 4 points de grille par le modèle méso échelle MM5 de la plate-forme AIRES<sup>16</sup> (température, vitesse et direction de vent). La Figure 74 montre la localisation des 4 points de grille. Les données MM5 de la plateforme AIRES ont également été calculées à fréquence horaire pour les températures et les vitesses de vent. La vitesse de vent moyenne et la direction du vent ont été déterminées.

La température et la nébulosité permettent le calcul de la stabilité thermique. Les précipitations interviennent dans le calcul du dépôt humide des particules. Enfin les données de vent déterminent la trajectoire du panache.

Ces données concernent une année complète : septembre 2007-septembre 2008.

Etat initial de la qualité de l'air à proximité du tracé et de l'extension du tramway de la communauté d'Agglomération de Nice  
Localisation des points de grille retenus du modèle MM5/AIRES

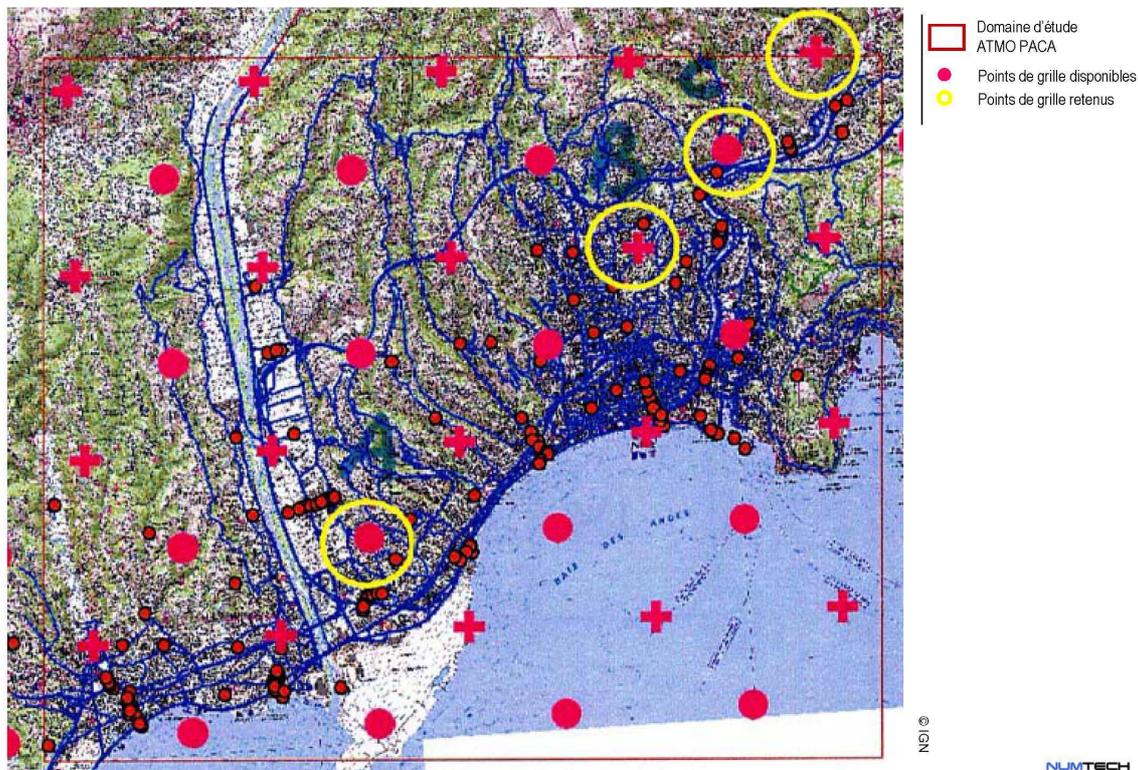


Figure 74 – Localisation des points de grille du modèle MM5/AIRES

<sup>16</sup> AIRES : [www.aires-mediterranee.org](http://www.aires-mediterranee.org)

Ces données ont permis :

- de caler et d'évaluer le modèle numérique ADMS-Urban à partir des résultats des campagnes de mesures du 6 mars au 2 avril 2008 (période hivernale) et du 4 juin au 3 juillet 2008 (période estivale),
- de calculer les concentrations moyennes sur la bande d'étude (période estivale, période hivernale et période annuelle).

Les Figure 75 et Figure 76 présentent respectivement les roses mensuelles (périodes hivernale et estivale) et la rose des vents annuelle mesurées à la station Météo France de l'aéroport. Elles montrent des vents dominants très majoritairement orientés nord-ouest et dans une moindre mesure orientés est, notamment en hiver et pour toute l'année. L'influence de la vallée du Var est significative. On remarque une fréquence non négligeable de vents orientés sud-est et sud en été. Les différences hiver/été sont également marquées par des vitesses de vent plus fortes en hiver (3.9 m/s en moyenne) qu'en été (2.7 m/s en moyenne).

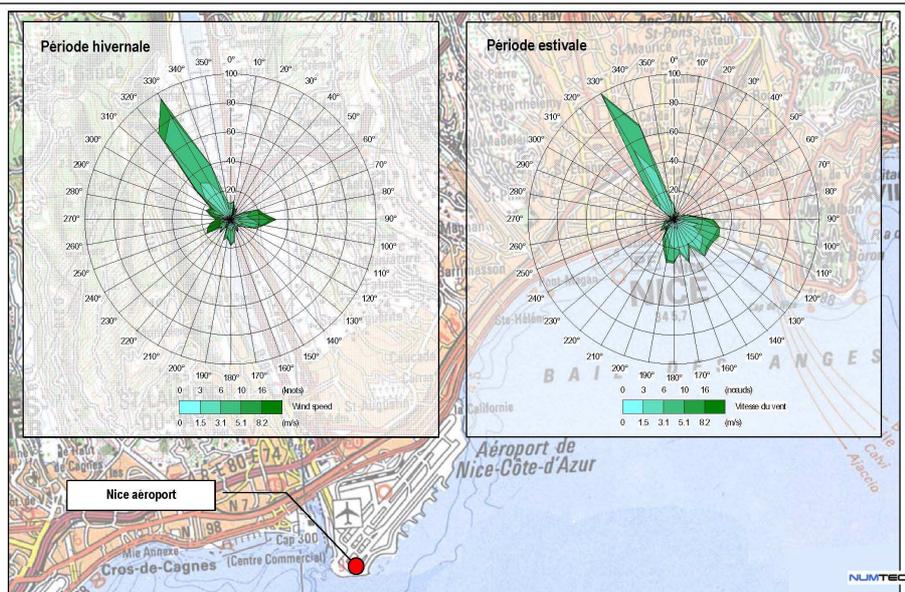


Figure 75 – Roses des vents issues des paramètres mesurés à la station de Nice Aéroport- 6 mars au 2 avril 2008 et 4 juin au 3 juillet 2008 -

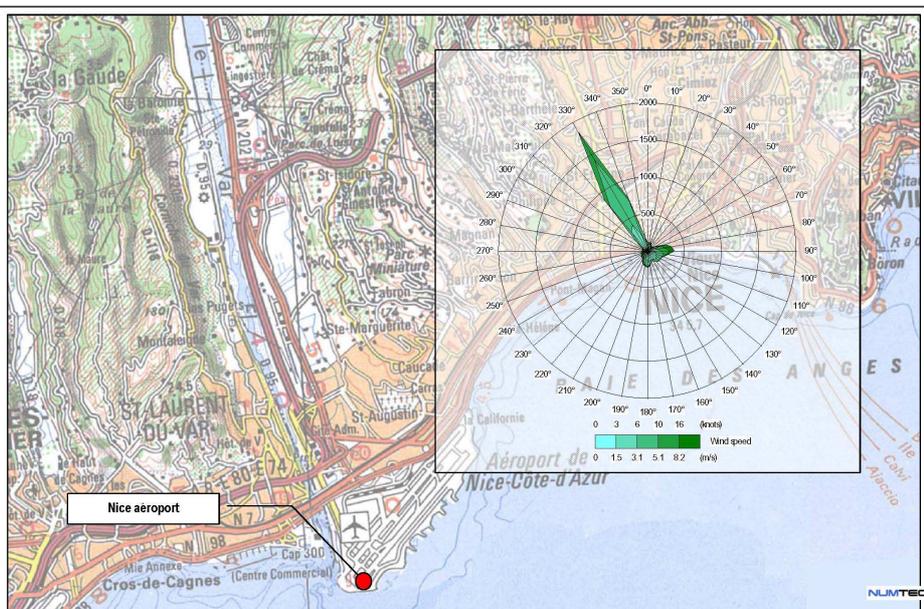


Figure 76 – Rose des vents annuelle issue des paramètres mesurés à la station de Nice Aéroport

Ces roses des vents peuvent être comparées à celle calculée par Météo France sur 20 ans (période 1988-2008) au même endroit (cf. Annexe I). Une forte similarité existe et confirme la représentativité temporelle de la période d'étude.

#### 4.3.4. LES POLLUANTS

Les polluants étudiés dans cette étude sont :

- le dioxyde d'azote (NO<sub>2</sub>) et les oxydes d'azote (NO<sub>x</sub>),
- les particules (PM10),
- le benzène.

Les NO<sub>x</sub>, le NO<sub>2</sub> et le benzène ont été assimilés à des gaz passifs. Les particules (PM10) ont été assimilées à des particules de diamètre 10 µm).

A défaut de valeurs pour leurs densités, celle-ci a été fixée à 5000 kg/m<sup>3</sup> (recommandations de l'ASTEE sur les particules émises par les UIOM [ASTEE, 2003]).

##### Cas spécifique des NO<sub>x</sub>

La famille des oxydes d'azote (NO<sub>x</sub>) est composée du monoxyde d'azote (NO) et du dioxyde d'azote (NO<sub>2</sub>). Ce dernier étant le composé le plus toxique, il est le seul à faire l'objet d'une réglementation dans l'air. Il peut donc être intéressant de connaître la répartition NO/NO<sub>2</sub> dans l'environnement, à partir d'une simulation effectuée sur les NO<sub>x</sub>. Cependant, la connaissance de cette répartition n'est pas directe, puisqu'elle est très variable et dépend de nombreux facteurs : répartition NO/NO<sub>2</sub> à la source, ensoleillement, niveaux de fond en NO, NO<sub>2</sub> et O<sub>3</sub>, temps de transport depuis la source,... L'estimation des concentrations en NO<sub>2</sub> contenue dans les concentrations de NO<sub>x</sub> simulées par notre modèle dans l'environnement, est possible grâce à la corrélation NO<sub>x</sub>-NO<sub>2</sub> de Dewent-Middleton (1996) définie dans ADMS. Par ailleurs, la pollution de fond en NO<sub>x</sub> et en NO<sub>2</sub> peut être ajoutée aux calculs de concentrations.

##### Cas des particules

La pollution de fond permet de prendre en compte dans les calculs les émissions particulières qui ne seraient pas intégrées dans le cadastre, c'est-à-dire : les particules d'origine naturelle (fraction terrigène, aérosols marins, ...), les effets de re-suspension des particules, les aérosols secondaires et la pollution particulaire provenant des industriels implantés dans la vallée du Paillon située au nord-est du domaine (cimenteries, carrières, ...), ...

##### Pollution de fond

L'origine des données de la pollution de fond utilisée dans cette étude peut être différente au sein du domaine géographique étudié. Ces données peuvent provenir :

- de la pollution de fond mesurée sur et aux limites du domaine par différentes stations urbaines du réseau permanent (actuellement aucune mesure en station rurale n'est disponible),
- des données de pollution de fond fournies par la plate forme opérationnelle AIRES (Annexe III : Utilisation des données de pollution de fond fonction des directions de vent) utilisant le modèle de chimie transport CHIMERE dont la résolution sur grille est 3 kilomètres.

Le choix de données de fond est délicat en bordure de mer. Une solution peut consister à utiliser les données horaires variables et à faire une sélection en fonction des directions de vents. L'utilisation des données de la plate-forme AIRES peut permettre notamment d'intégrer dans le modèle, les masses d'air polluées provenant de la mer. De plus, pour les campagnes étudiées, nous ne disposons pas de données issues de stations rurales aux limites du domaine, aussi l'utilisation des données de la plate-forme opérationnelle AIRES peut être pertinente.

## 4.4. INTEGRATION DES DONNEES D'EMISSION

Ce paragraphe présente les émissions atmosphériques utilisées pour cette étude de dispersion.

Les émissions d'origines anthropique et biogénique prises en compte dans les modélisations proviennent de l'inventaire d'émission d'Atmo PACA. Cet inventaire des émissions (ou cadastre) permet de connaître la répartition des émissions des polluants étudiés par secteurs d'activités sur NCA. A l'origine, cet inventaire est développé selon la nomenclature européenne SNAP (Selected Nomenclature for Air Pollution) : les activités émettrices sont séparées en différentes catégories émettrices décrites dans la nomenclature SNAP. Pour la modélisation, Atmo PACA a regroupé (ou sommé) les émissions ayant des profils temporels identiques ou très proches, selon 43 nouvelles activités (la correspondance entre les catégories SNAP et les nouvelles activités sont définies en Annexe IV : Description des activités définies dans l'inventaire des émissions

Toutes les émissions ont été intégrées dans le système de modélisation de la qualité de l'air ADMS-Urban afin de restituer les concentrations dans l'air en NO<sub>2</sub>, en benzène et en PM10 sur l'agglomération.

Les principales sources prises en compte sont :

- le trafic routier (réseau principal et secondaire),
- les sources industrielles ponctuelles et surfaciques,
- les sources diffuses : émissions liées aux activités du secteur résidentiel et tertiaire, aux sources biogènes et agricoles.

### 4.4.1. DETAIL DES EMISSIONS INTEGREES

Les émissions sur la région de Nice se retrouvent sous plusieurs formes :

- Le cadastre total des émissions (somme des émissions de la totalité des sources),
- Les émissions surfaciques agrégées suivant les 43 nouvelles activités définies sous forme de grilles de 1km de résolution (une grille par activité).
- Les émissions du trafic routier principal sous forme linéaire et sous forme de grille régulière de 1km de résolution.
- Les émissions des GSP (Grandes Sources Ponctuelles),
- Les émissions du trafic aérien (décollage et atterrissage des avions).

Toutes ces informations ont été utilisées dans les calculs :

- le cadastre a été utilisé pour prendre en compte de façon exhaustive toutes les émissions de l'agglomération de Nice (cadastre kilométrique de 18 x 15 km),
- les sources ont été intégrées de façon détaillée sur une zone plus large que le domaine d'étude afin de limiter les effets de bord aux limites de la grille de calcul.

## 4.4.2. CADASTRE KILOMETRIQUE DES EMISSIONS

Dans un premier temps, la globalité des émissions rencontrées sur notre domaine d'étude a été modélisée dans ADMS-Urban sous forme d'un cadastre kilométrique d'une résolution de 1km. Ainsi, chaque maille de cet inventaire contient la totalité des émissions (routières, industrielles, naturelles, tertiaires, ...). Cet inventaire permet d'intégrer aux simulations toutes les sources qui ne seraient pas modélisées explicitement. En effet, les émissions des sources modélisées dans ADMS sont soustraites au cadastre d'émission. Ceci est particulièrement utile pour les zones situées à l'extérieur du cadastre détaillé. Donc, afin de prendre en compte la pollution provenant de l'extérieur du domaine d'étude, le cadastre a été réalisé sur un domaine plus grand que le domaine d'étude : 18 x 15 km (Figure 77).

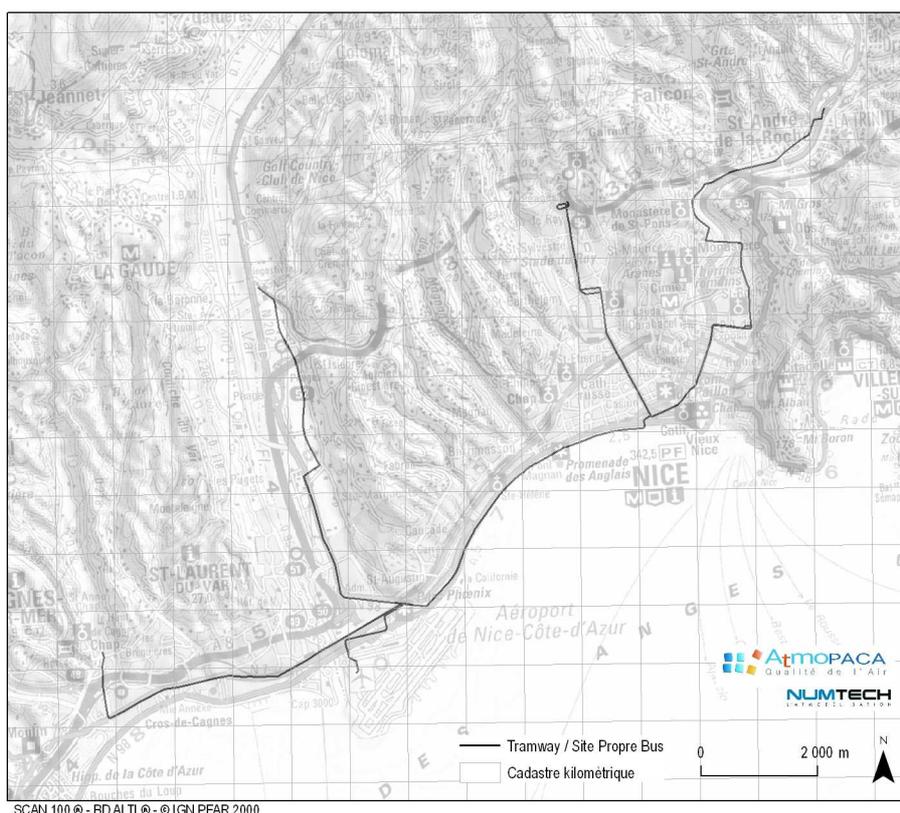


Figure 77 – Visualisation du cadastre kilométrique modélisé

Chaque maille du cadastre est modélisée comme une source volumique dont la hauteur est fixée de façon à contenir la majorité des sources présentes sur le domaine, sauf les grandes sources ponctuelles (GSP), soit 10 m. Les émissions sont considérées comme uniformément réparties à l'intérieur de ces volumes. Les émissions en NO<sub>x</sub>, particules et benzène prises en compte dans les simulations sont présentées respectivement sur les Figure 78, Figure 79, Figure 80.

Cadastre kilométrique : émissions totales en NO<sub>x</sub>

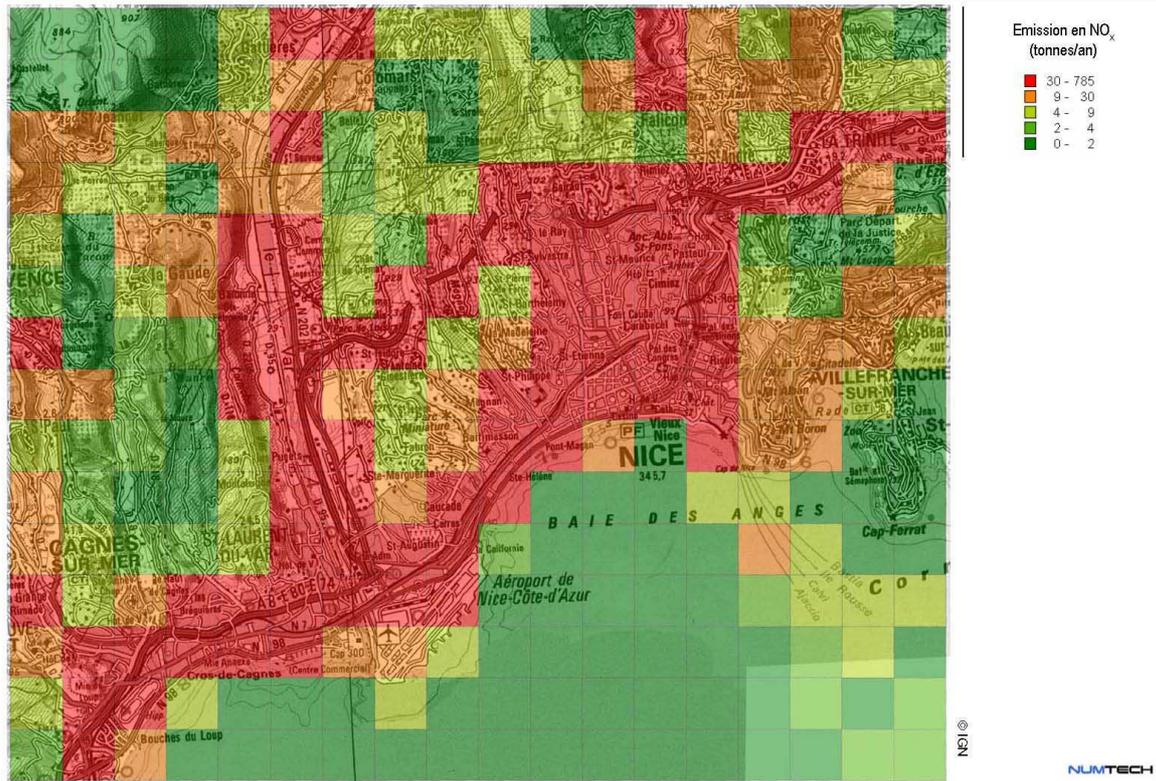


Figure 78 – Emissions totales en NO<sub>x</sub> (tonnes/an)

Cadastre kilométrique : émissions totales en benzène

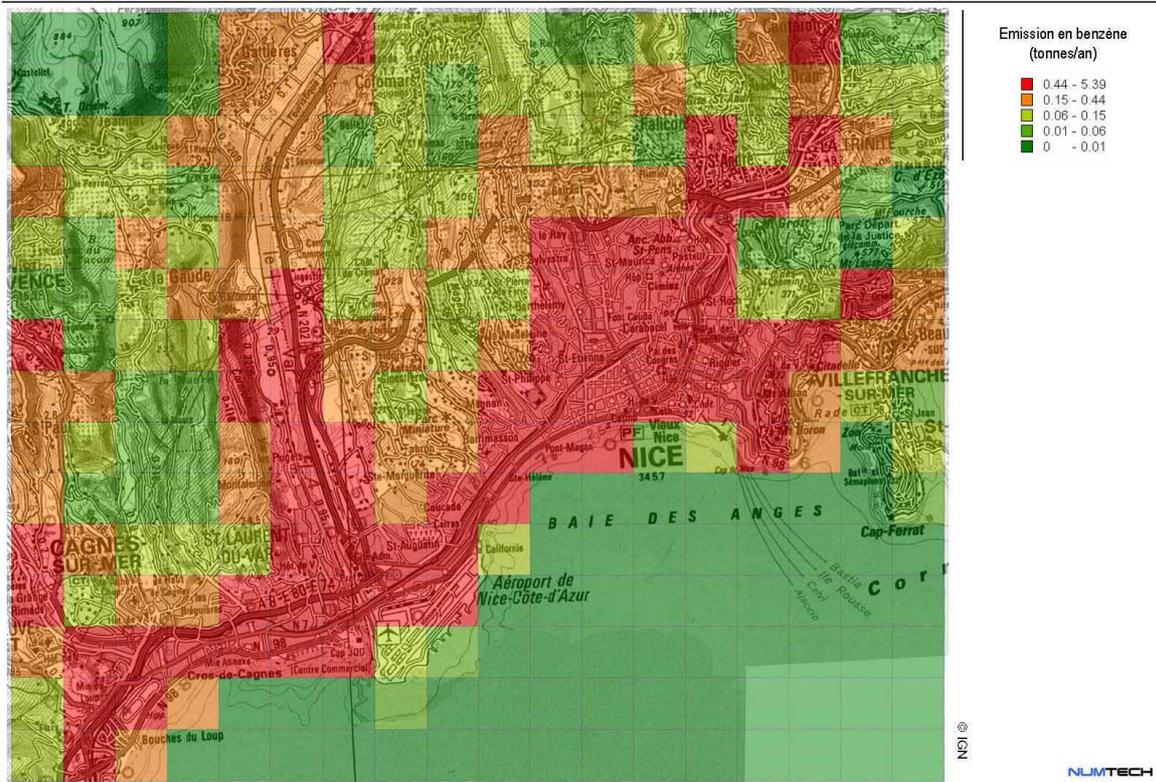


Figure 79 – Emissions totales en benzène (tonnes/an)

Cadastre kilométrique : émissions totales en poussières

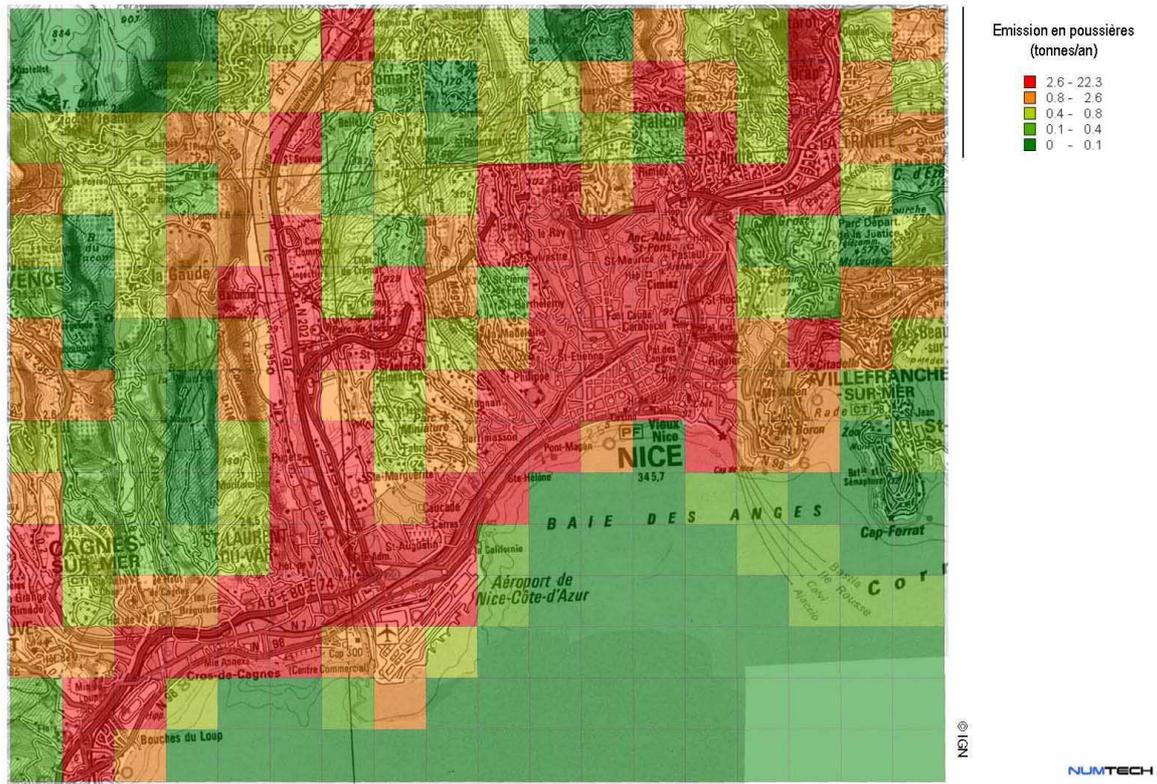


Figure 80 – Emissions totales en particules (tonnes/an)

### 4.4.3. GRANDES SOURCES PONCTUELLES (GSP)

Trois sources ponctuelles (dont les hauteurs varient de 57 à 86m) ont été recensées sur le domaine d'étude, correspondant aux sites de DALKIA et SONITHERM (Figure 81). Ces sources ont été modélisées explicitement. Les profils temporels associés aux GSP, ont été intégrés dans les calculs ADMS.

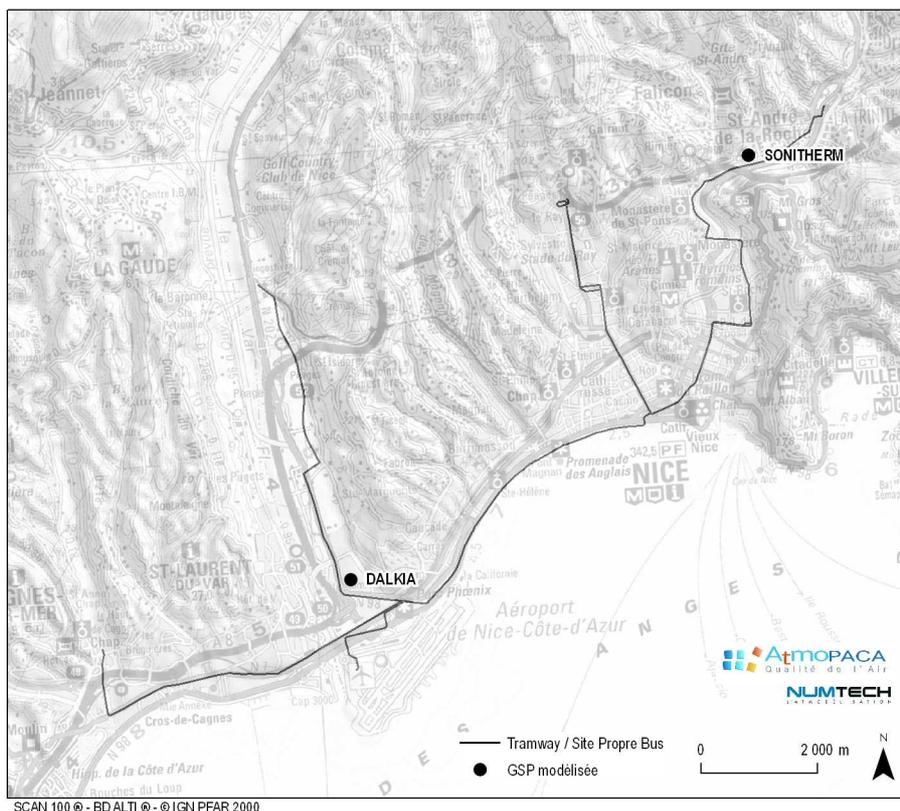


Figure 81 – Localisation des grandes sources ponctuelles (GSP) modélisées

### 4.4.4. TRAFIC ROUTIER PRINCIPAL

Le réseau routier principal a été modélisé explicitement dans ADMS. Il est constitué de plus de 6400 axes routiers sur le domaine d'étude (Figure 82). Les émissions du trafic routier proviennent de différentes activités définies dans le tableau 3, §3.4.6. Celles du trafic routier secondaire correspondent aux activités 19, 25 et 42 pour les véhicules légers (VL) et aux activités 13 et 41 pour les poids lourds (PL). Ces activités dépendent du type d'axes routiers (autoroute, route, ville). Pour les principaux axes routiers (autoroute, route nationale, ...), les émissions des VL et des PL ont été modélisées séparément afin de prendre en compte des profils spécifiques pour chaque catégorie de véhicules (Figure 83). Pour les autres axes, pour lesquels la part des émissions des poids lourds est faible, les émissions des VL et des PL ont été sommées.

Les profils temporels associés aux véhicules légers et aux poids lourds, **fournis par Atmo PACA**, ont été intégrés dans les calculs ADMS.

Visualisation du réseau routier principal modélisé

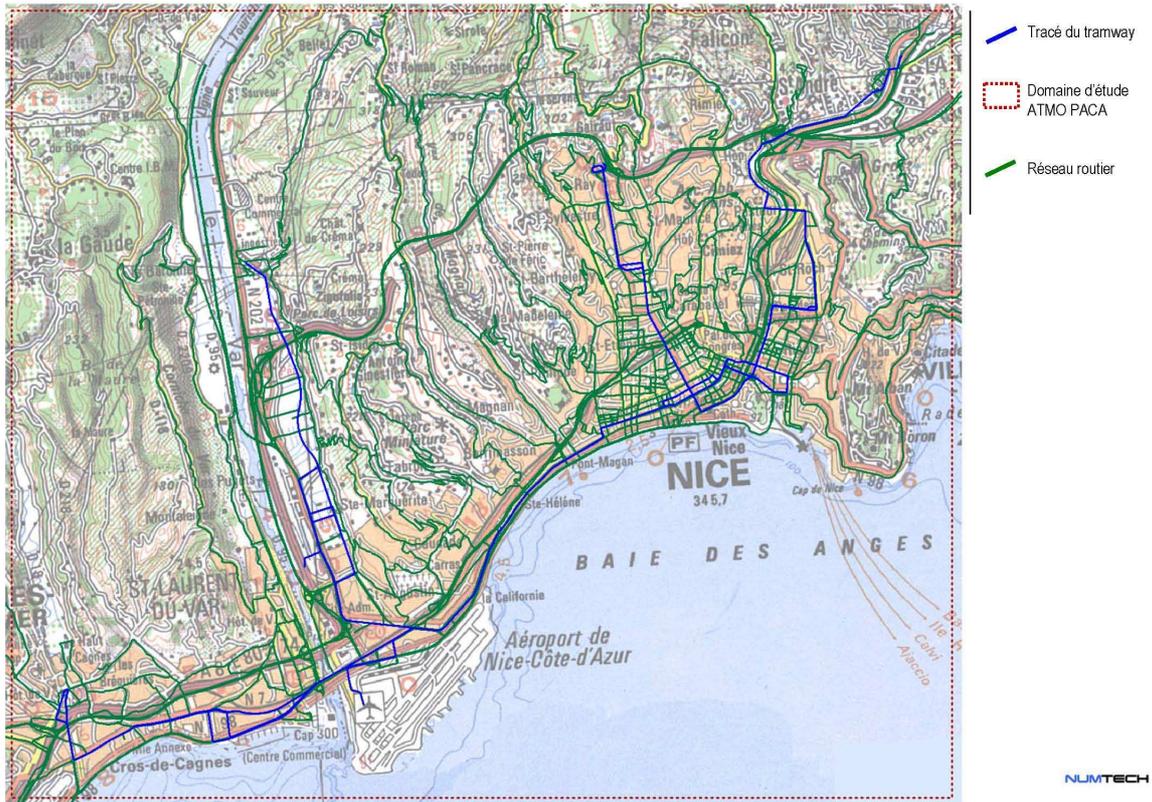


Figure 82 – Réseau routier principal modélisé

Spécificité des émissions du réseau routier principal

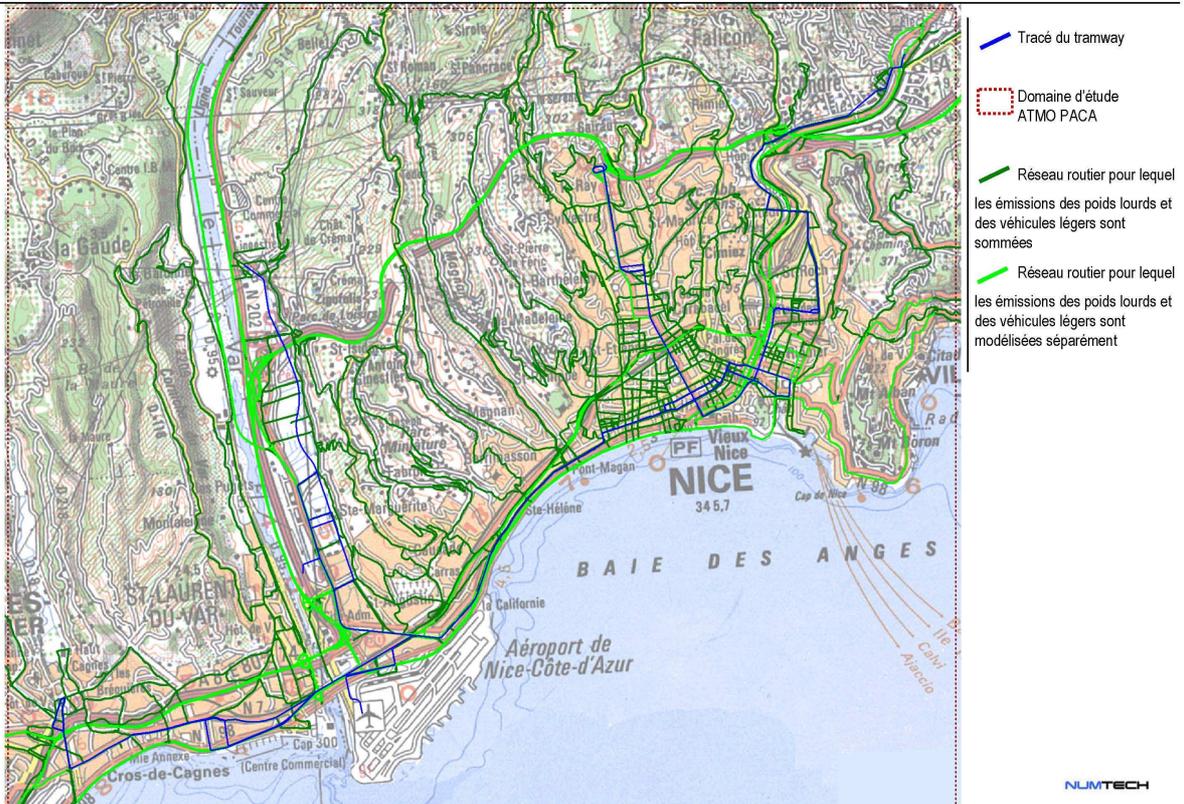


Figure 83 – Spécificité des émissions du réseau routier principal

## 4.4.5. RESEAU ROUTIER SECONDAIRE

Le réseau routier secondaire a été modélisé comme des sources volumiques de 1m de hauteur (Figure 84). Comme pour le réseau routier principal, les émissions du trafic routier secondaire correspondent aux activités 19, 25 et 42 pour les véhicules légers et aux activités 13 et 41 pour les poids lourds. Ces activités dépendent du type d'axes routiers (autoroute, route, ville). Pour chaque maille modélisée, les émissions des différentes activités ont été sommées par catégories de véhicules (VP et PL). Les profils temporels associés aux véhicules légers et aux poids lourds, ont été intégrés dans les calculs ADMS.

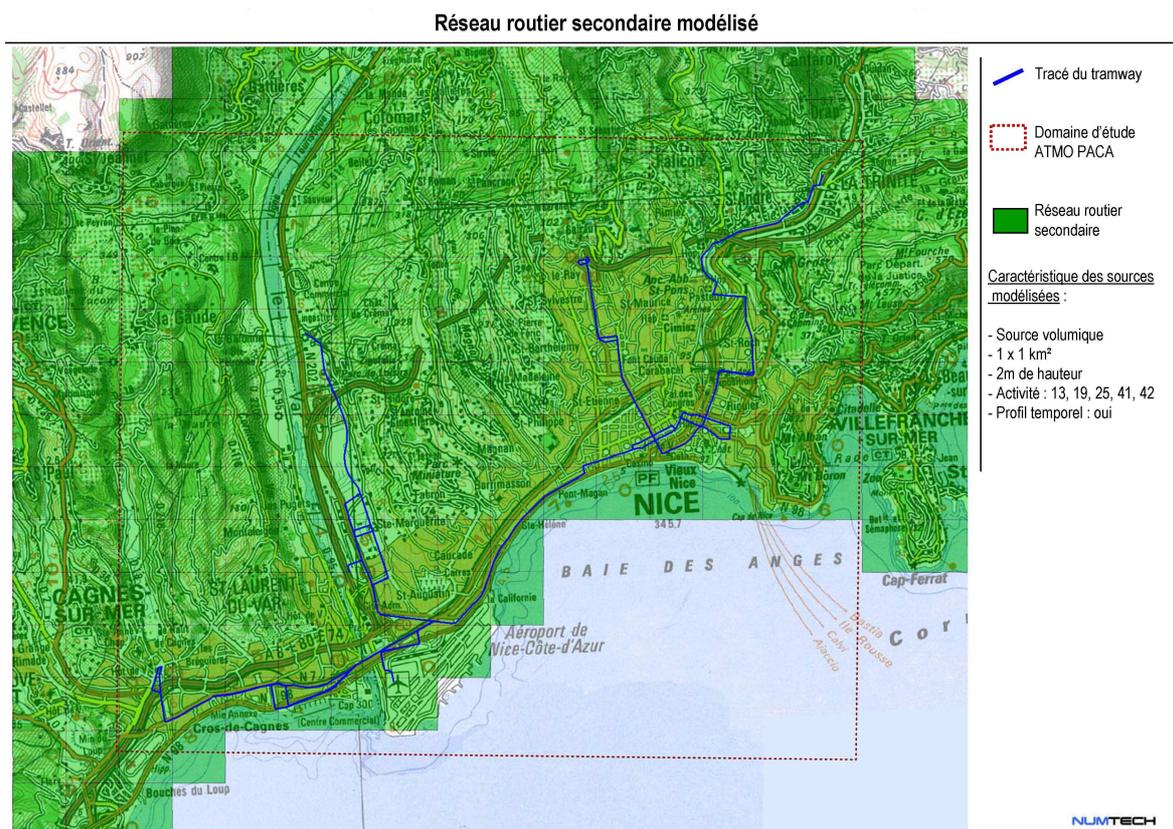


Figure 84 – Réseau routier secondaire modélisé

#### 4.4.6. AUTRES SOURCES

Le Tableau 11 synthétise les caractéristiques des sources modélisées autres que le trafic routier et les GSP. L'activité est associée à un type d'activité qui est basé sur la nomenclature SNAP, le type de source (volumique), la surface d'émission (surface de maille), la hauteur d'émission et la disponibilité ou non d'un profil temporel.

*Tableau 11 : Description des sources pour la modélisation de base*

Activité	Activité (Atmo PACA)	Type de source	Surface	Hauteur	Profil temporel
Réseau routier secondaire (VL)	19, 25, 42	Volumique	1 x 1 km <sup>2</sup>	1 m	Oui
Réseau routier secondaire (PL)	13, 41	Volumique	1 x 1 km <sup>2</sup>	1 m	Oui
Trafic non routier et agriculture	3	Volumique	1 x 1 km <sup>2</sup>	4m (agriculture) 20m (trafic non routier – Port)	Oui
Combustion industrielle	4	Volumique	1 x 1 km <sup>2</sup>	5m	Oui
Combustion industrielle	5	Volumique	1 x 1 km <sup>2</sup>	5m	Oui
Extraction et distribution de combustibles	6	Volumique	1 x 1 km <sup>2</sup>	5 m	Oui
Trafic non routier (trafic aérien)	9	Volumique	1 x 1 km <sup>2</sup>	10 m	Oui
Combustion hors industrie (commercial, résidentiel, agriculture, ...)	29	Volumique	1 x 1 km <sup>2</sup>	10 m	Oui
Combustion hors industrie (commercial, résidentiel, agriculture, ...)	31	Volumique	1 x 1 km <sup>2</sup>	10 m	Oui

Les profils temporels associés à chaque activité, et donc à chaque type de sources, ont été intégrés dans les calculs ADMS.

## 4.5. EVALUATION DE LA CHAÎNE DE MODELISATION

L'objectif de cette étude est de réaliser la modélisation de l'état initial de la qualité de l'air à proximité du tracé et de l'extension du tramway de l'agglomération niçoise. Il s'agit de simuler les concentrations en NO<sub>2</sub>, benzène et particules sur la bande d'étude. Toutefois, les performances de la chaîne de modélisation doivent être évaluées.

Pour cela, le moyen le plus simple et le plus direct est de comparer les résultats simulés avec les concentrations mesurées par le réseau Atmo PACA. L'évaluation de la chaîne de modélisation consiste alors à comparer :

- des paramètres intégrés dans le temps comme la comparaison de concentrations moyennes annuelles,
- des paramètres indépendants du temps en réalisant une comparaison spatiale des résultats simulés et des mesures de tubes passifs (mesures réalisées par Atmo PACA sur l'agglomération Niçoise dans le cadre de cette étude sur une période estivale et une période hivernale),
- visuellement des jeux de données horaires en superposant l'évolution temporelle ou en faisant un zoom sur un épisode particulier.

Cette dernière méthode permet de voir si l'évolution temporelle est bien reproduite, mais elle ne permet pas de quantifier les performances du modèle.

Aussi, l'approche la plus exhaustive est d'utiliser des indicateurs statistiques basés sur des comparaisons modèle / mesure, qui peuvent permettre de quantifier et qualifier l'erreur commise. Ici, nous avons utilisé :

- le *BIAIS* (moyenne des différences entre observation et modèle) pour décrire l'erreur systématique,
- la *RMSE* fournissant l'erreur totale entre observation et modèle,
- le coefficient de détermination  $R^2$ , donnant la corrélation entre observation et modèle.

Les indicateurs statistiques ont été utilisés pour réaliser le calage du modèle et pour valider les résultats simulés. Les performances du modèle dans le cadre de cette étude sont présentées dans le chapitre 5 « Resultats ».

## 4.6. PROCEDURES DE CALAGE MODELE / MESURE

Il est important de distinguer la phase de validation, de la phase de calage. La phase de validation est indispensable et doit toujours être réalisée. En fonction des résultats obtenus, cette phase permet de déterminer si un calage est nécessaire (et possible) ou non. La phase de calage consiste alors à ajuster certains paramètres du modèle pour améliorer les résultats et « coller au mieux » aux mesures.

Lors de l'étude, des différences modèle / mesure ont été notées, elles ont mis en évidence la difficulté de modéliser l'état de la qualité de l'air de l'agglomération niçoise en raison de la climatologie locale particulière induite par le relief et de la proximité de la mer. Une étude de sensibilité locale a été mise en œuvre afin d'expliquer ces différences modèle / mesure en terme de concentration et d'améliorer la modélisation.

### 4.6.1. METHODOLOGIE

La Figure 85 synthétise la démarche employée pour tester étape après étape la sensibilité des concentrations d'oxydes d'azote aux données d'entrée.

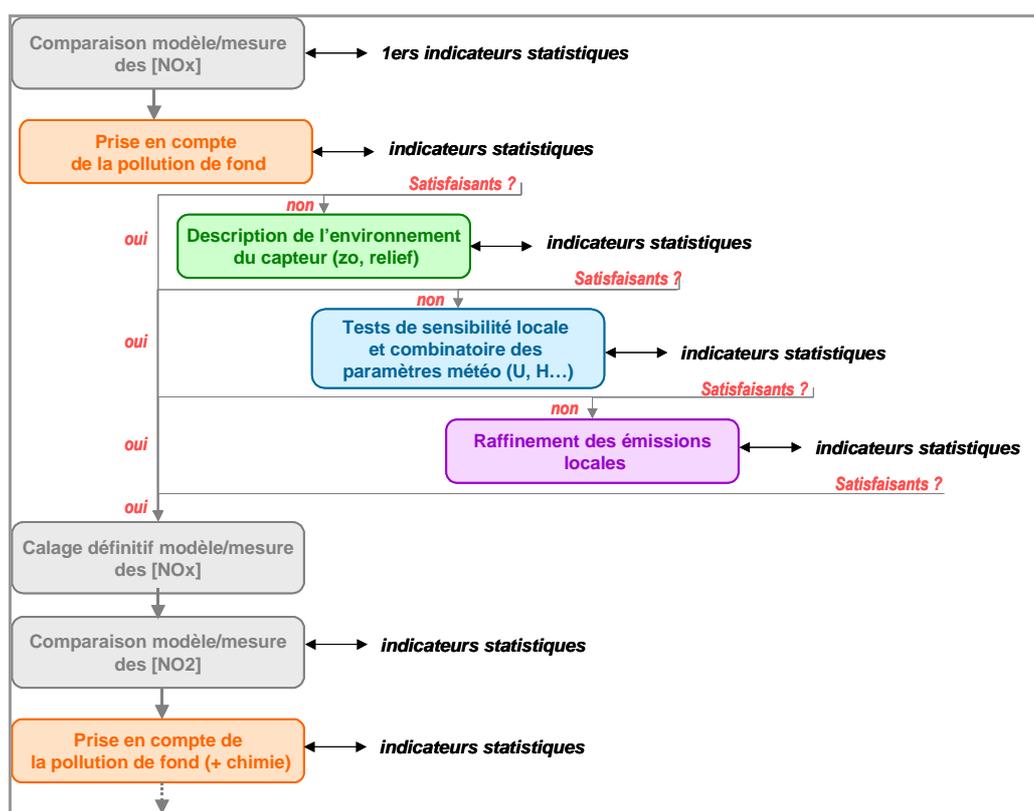


Figure 85 – Démarche d'optimisation de la chaîne de modélisation pour le calcul des concentrations en NO<sub>x</sub> et de NO<sub>2</sub>

## 4.6.2. OPTIMISATION DE LA MODELISATION DANS LE CADRE DE L'ETUDE DU TRAMWAY

La configuration de la modélisation de base a été optimisée afin de mieux prendre en compte l'environnement de la zone d'étude.

Cette optimisation a porté sur les paramètres suivants :

- la pollution de fond (modèle CHIMERE/AIRES et stations Atmo PACA, dépendance aux secteurs de vent) ;
- les paramètres de description de l'environnement (rugosité de surface, relief...) ;
- la stabilité thermique minimale pour les conditions nocturnes (longueur minimale de Monin-Obukhov) (cf. Annexe V) ;
- les paramètres météorologiques (modèle MM5/AIRES et mesure Météo France) ;
- la hauteur de mélange pour les sources diffuses (réseau routier secondaire et cadastre d'émission) et pour le cadastre des émissions intégrés dans ADMS ;
- le choix du schéma chimique pour le NO<sub>2</sub>.

Le calage a d'abord porté sur la restitution des concentrations de NO<sub>x</sub> afin de s'affranchir des réactions chimiques liées à l'ozone. Ensuite, le calage a été affiné par comparaison entre les concentrations simulées et mesurées en NO<sub>2</sub>.

Les paragraphes suivants présentent les principaux résultats du calage.

## 4.6.3. SENSIBILITE DE LA MODELISATION A LA POLLUTION DE FOND

Pour évaluer la sensibilité de la pollution de fond sur les concentrations simulées, 2 types de données ont été utilisées : les sorties du modèle CHIMERE/AIRES et les concentrations mesurées par les stations du réseau permanent sur la région.

Les nombreux tests de sensibilité réalisés avec l'ensemble des données de pollution ont montré qu'il n'est pas nécessaire de « forcer » le modèle ADMS avec une pollution de fond en NO<sub>2</sub> entrant sur le domaine. En effet, l'ensemble des sources émettrices de l'agglomération niçoise est intégré dans ADMS par l'intermédiaire du cadastre Atmo PACA.

En revanche, pour les concentrations en PM<sub>10</sub>, le calage a montré qu'il était nécessaire d'intégrer la pollution de fond dans les calculs. En effet, les premiers tests réalisés sans pollution de fond ont mis en évidence des concentrations très faibles par rapport aux valeurs mesurées et donc la nécessité d'intégrer la pollution de fond dans les calculs de concentrations en PM<sub>10</sub>. Comme précisé ci-dessus, la pollution de fond permet, entre autres, d'intégrer dans les calculs les particules d'origine naturelle (fraction terrigène, aérosols marins, ...), les effets de re-suspension des particules, les aérosols secondaires et la pollution particulaire provenant des industriels (cimenteries, carrières, ...) implantés dans la vallée du Paillon située au nord-est du domaine et qui ne seraient pas intégrés dans le cadastre des émissions. Seules les mesures aux stations urbaines de fond du réseau permanent peuvent être utilisées comme pollution de fond dans ADMS, les valeurs fournies par le modèle CHIMERE/AIRES ne couvrant pas l'année complète étudiée. Les valeurs mesurées par la station de Cannes en PM<sub>10</sub> ont montré les meilleurs résultats en termes d'indicateurs statistiques (variabilité temporelle). Ces valeurs ont donc été retenues pour la modélisation, même si elles n'intègrent pas la pollution venant de la vallée du Paillon et impactant le nord-est de Nice. Il est important de noter également que cette station est de type urbaine et que, par conséquent, les concentrations simulées sont légèrement surestimées.

Atmo PACA ne réalise pas de mesures en continu en benzène sur la région niçoise. Les premiers résultats relatifs aux concentrations simulées en benzène ont montré que le modèle a tendance à surestimer les plus fortes concentrations mesurées et à légèrement sous-estimer les faibles concentrations mesurées. Cette faible sous-estimation peut s'expliquer par l'existence d'un niveau de fond en benzène vraisemblablement compris entre 0.5 et 1 µg/m<sup>3</sup>, qui n'a pas été considéré dans les calculs.

#### 4.6.4. SENSIBILITE DE LA MODELISATION A LA DESCRIPTION DE L'ENVIRONNEMENT

Concernant la description de l'environnement, nous avons testé la sensibilité d'une rugosité variable et d'une rugosité constante sur le domaine d'étude. Les résultats ont donné de meilleurs résultats statistiques avec des valeurs constantes. Sur la zone d'étude, les valeurs de rugosité appliquées sont de 0.8 m en milieu dense urbain (milieu très majoritairement représenté dans la zone d'étude) et de 0.2 m au niveau de la station météorologique. L'état de stabilité atmosphérique en zone urbaine (réchauffement lié à la présence d'un îlot de chaleur) est pris en compte à travers l'application d'une longueur minimale de Monin-Obukhov, dont la valeur est fixée à 30 m (villes et larges agglomérations).

#### 4.6.5. SENSIBILITE DE LA MODELISATION AUX DONNEES METEOROLOGIQUES

Météo France n'ayant pas de station de mesure à l'est du domaine d'étude, il a été envisagé d'utiliser des données de vents calculées par le modèle météorologique méso échelle MM5. L'utilisation des données Météo France a fourni de meilleurs résultats statistiques que l'application des données MM5/AIRES (en moyenne annuelle). Aussi, l'ensemble des calculs a été réalisé avec les données Météo France. Toutefois, elles (caractéristiques des conditions observées sur la partie ouest du domaine et fortement influencées par la vallée du Var) ne sont pas complètement représentatives de la zone d'étude. Différents tests de sensibilité ont montré que les vitesses de vent mesurées sur l'aéroport et utilisées sur la partie est du domaine d'étude sont plus élevées que celles réellement observées sur le centre ville de Nice. Par conséquent, le modèle ADMS a tendance à sous-estimer les concentrations sur la partie Est du domaine. Une partie du chapitre 4 est notamment dédiée à une discussion autour de la représentativité des données météorologiques utilisées (Météo France et MM5/AIRES), elle est basée sur une étude de sensibilité du modèle aux données d'entrée.

#### 4.6.6. SENSIBILITE DE LA MODELISATION A LA DESCRIPTION DES SOURCES DU RESEAU ROUTIER SECONDAIRE

La hauteur de mélange pour les sources diffuses du réseau routier secondaire a été ajustée de 2 m à 1 m, ce qui a amélioré les résultats simulés.

Au final, la Figure 86 montre l'amélioration des résultats simulés en NO<sub>2</sub> sur les sites des tubes passifs en considérant une rugosité constante, une hauteur de mélange à 1 m pour le trafic routier secondaire et en utilisant les données Météo France.

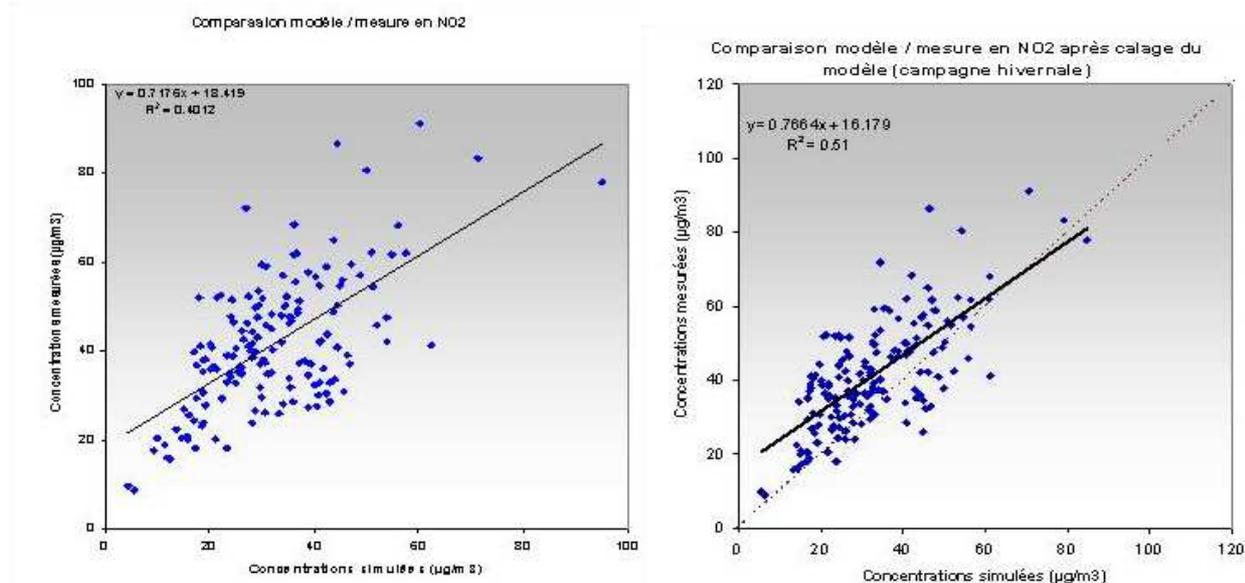


Figure 86 – Comparaisons des concentrations mesurées et simulées au cours de la période hivernale avant et après le calage de la chaîne de modélisation



## 5. RESULTATS ET CARTOGRAPHIES

Les paragraphes suivants rassemblent les résultats de la chaîne de modélisation pour les périodes hivernale, estivale et annuelle étudiées. Chacun comprend les cartographies des concentrations simulées en NO<sub>2</sub>, en benzène et en PM10, ainsi que la restitution spatiale et temporelle du modèle. Un dernier paragraphe décrit les perspectives d'optimisation de la chaîne de calcul.

### 5.1. PERIODE HIVERNALE

#### 5.1.1. CARTOGRAPHIES DES CONCENTRATIONS EN NO<sub>2</sub>, C<sub>6</sub>H<sub>6</sub> ET PM10

Les résultats de concentrations en NO<sub>2</sub>, benzène et PM10 sont présentés sur la bande kilométrique autour du tracé du tramway (maillage régulier et « intelligent »).

##### ■ NO<sub>2</sub>

La Figure 87 représente la cartographie des concentrations de NO<sub>2</sub> moyennes sur la période hivernale de mars 2008, le long du tracé du tramway et à sa proximité. Les concentrations de NO<sub>2</sub> sont maximales le long des axes routiers les plus chargés en terme de trafic routier (polluant traceur de la pollution automobile) avec des valeurs supérieures à 60 µg/m<sup>3</sup>. On remarque également la présence de zones polluées au niveau du centre ville de Nice et du port et dans une moindre mesure de l'aéroport. La zone portuaire présente des valeurs intermédiaires autour de 40 à 45 µg/m<sup>3</sup>. A quelques dizaines de mètres des sources, les concentrations de NO<sub>2</sub> s'atténuent jusqu'à 30-35 µg/m<sup>3</sup> et à la limite de la bande kilométrique, elles tendent vers un niveau de fond de 5 à 20 µg/m<sup>3</sup>.

##### ■ C<sub>6</sub>H<sub>6</sub> (benzène)

La Figure 88 présente la cartographie des concentrations moyennes de benzène (C<sub>6</sub>H<sub>6</sub>) sur la même période et la même zone. Les valeurs maximales de benzène sont localisées en centre ville et sur les principaux axes routiers où se trouvent les principales sources d'émission (gaz de combustion des véhicules). Les niveaux atteignent des valeurs supérieures à 4 µg/m<sup>3</sup> sur les principaux axes routiers. Les concentrations diminuent rapidement en fonction de la distance aux voies pour atteindre un niveau inférieur à 1 µg/m<sup>3</sup> à la limite de la bande kilométrique. Le centre ville de Nice est soumis à des concentrations en benzène supérieures à 1 µg/m<sup>3</sup>.

##### ■ PM10

La Figure 89 représente la cartographie des concentrations moyennes de PM10 sur la même période et la même zone. Comme pour le dioxyde d'azote et le benzène, les plus fortes concentrations (supérieures à 50 µg/m<sup>3</sup>) sont atteintes sur les axes routiers les plus chargés. Les teneurs simulées sont également élevées au niveau du centre ville de Nice et dans une moindre mesure au niveau du port et de l'aéroport. Sur le reste de la bande d'étude, les niveaux en PM10 sont compris entre 30 µg/m<sup>3</sup> (valeur correspondant à la pollution de fond moyenne intégrée dans les calculs ADMS et mesurée à la station de Cannes) à 40 µg/m<sup>3</sup> (valeurs obtenues à proximité immédiate des routes, au niveau de l'aéroport, du port et du centre ville de Nice).

Il est à noter la contribution importante de la pollution de fond en PM10 entrante sur le domaine d'étude par rapport à la contribution des sources modélisées sur le domaine d'étude. En effet, la pollution de fond intégrée dans ADMS représente, en moyenne sur la période simulée, 28 µg/m<sup>3</sup>. Les concentrations simulées sont donc fortement conditionnées par la pollution de fond intégrée au modèle. Pour rappel, cette pollution est un peu surestimée sur le domaine étant donné qu'elle provient de la station urbaine de fond de Cannes (voir le paragraphe 4.6). Le cadastre des émissions intégré dans ADMS ne prend pas en compte la pollution particulaire provenant des industriels (cimenteries, carrières, ...) implantés dans la vallée du Paillon (au nord-est du domaine).

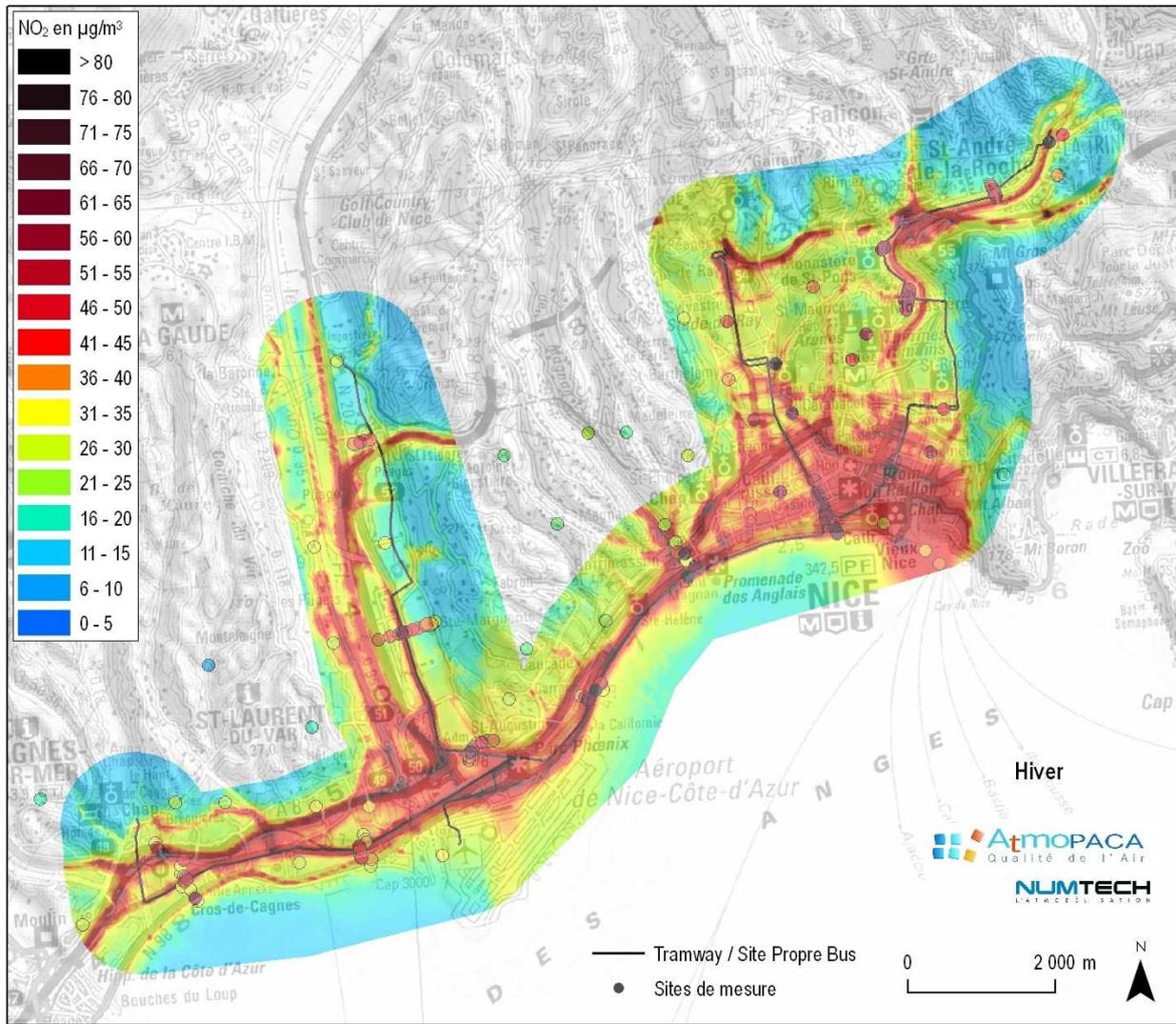


Figure 87 – Concentrations moyennes simulées en NO<sub>2</sub> (µg/m<sup>3</sup>) au cours de la période hivernale

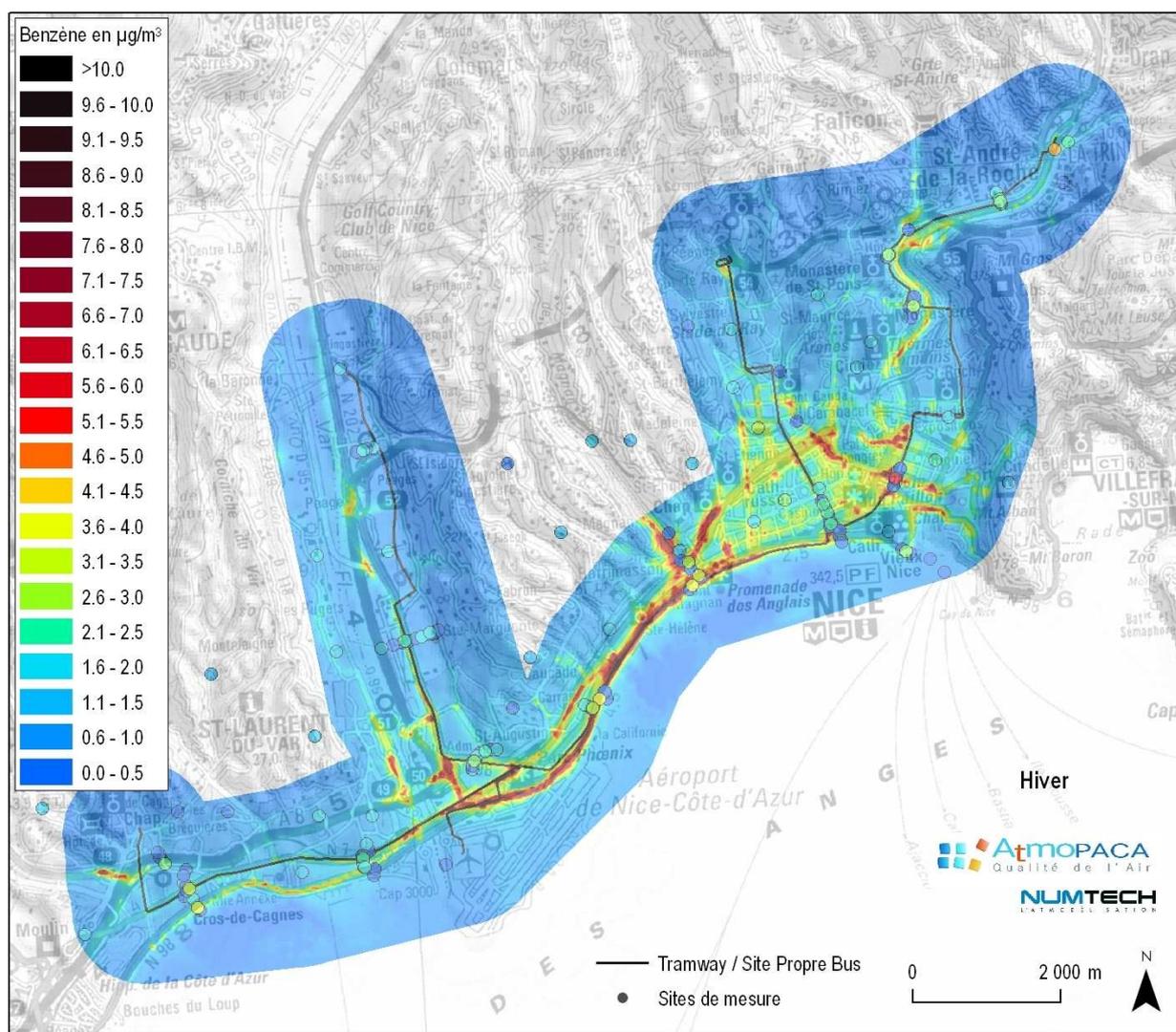


Figure 88 – Concentrations moyennes simulées en benzène ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) au cours de la période hivernale

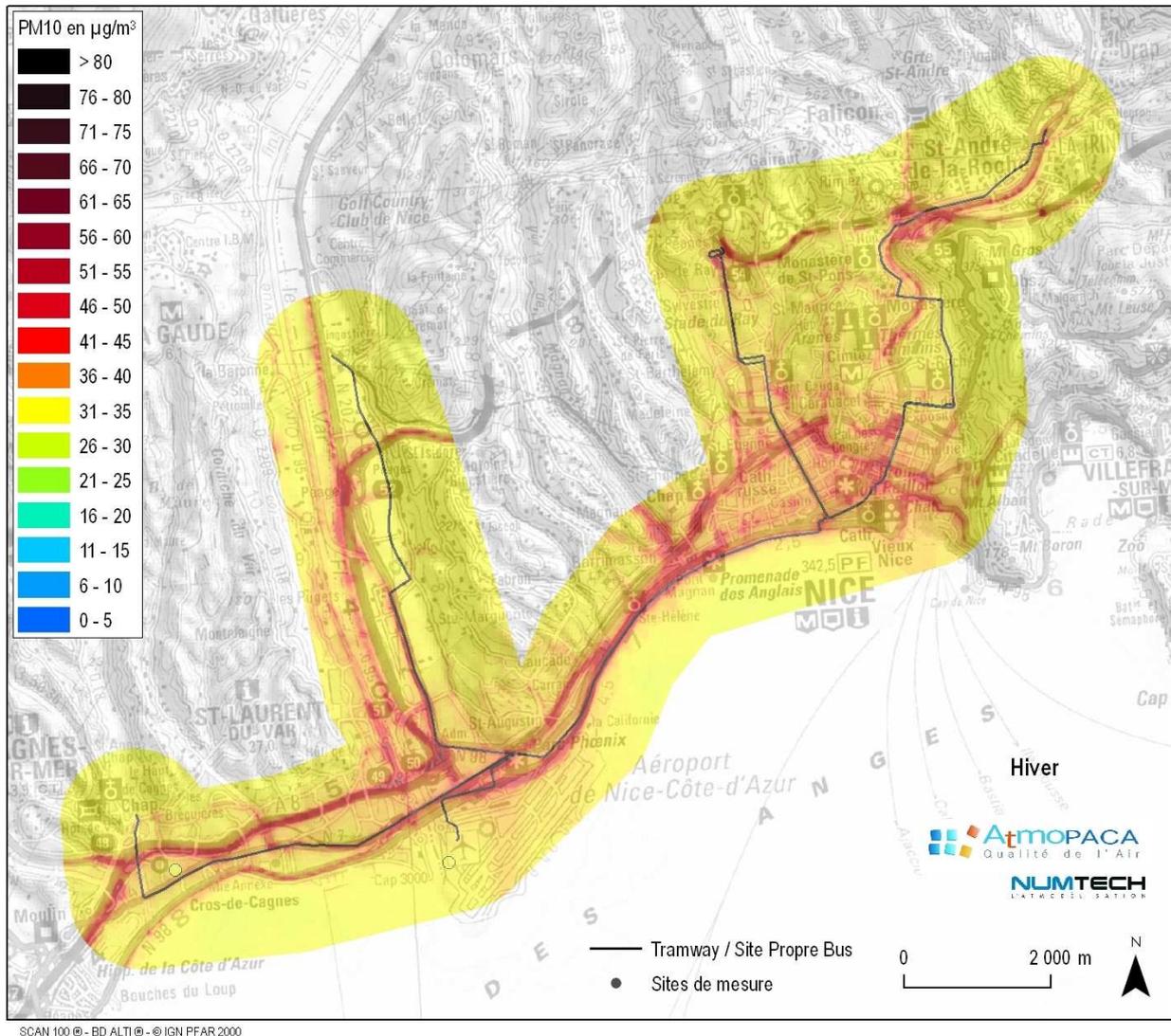


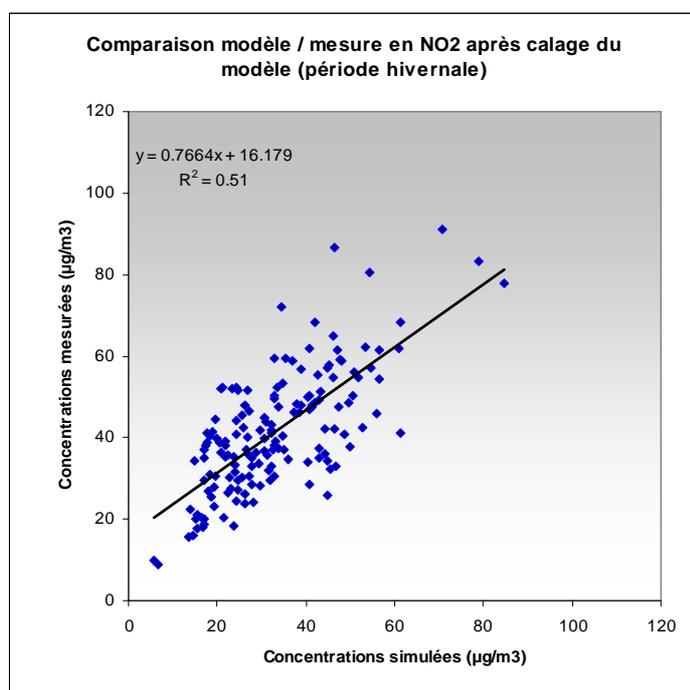
Figure 89 – Concentrations moyennes simulées en particules ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) au cours de la période hivernale (concentration de fond =  $28 \mu\text{g}/\text{m}^3$ )

## RESTITUTION SPATIALE DES CONCENTRATIONS EN DIOXYDE D'AZOTE

Nous présentons ci-dessous les résultats obtenus pour la période hivernale avec la configuration optimisée de la modélisation.

Les concentrations en NO<sub>2</sub> ont été simulées aux points de positionnement des tubes passifs disposés sur l'agglomération niçoise au cours de la période du 6 mars au 2 avril 2008 (campagne de mesures hivernale). La comparaison modèle / mesure est présentée ici pour les concentrations en NO<sub>2</sub> qui ont été simulées avec le modèle ADMS à partir des données Météo France mesurées à la station Nice Aéroport (seule station mesurant les paramètres météorologiques nécessaires à la modélisation dans le domaine d'étude).

La comparaison entre les concentrations simulées et mesurées montre des résultats satisfaisants (Figure 90 et Figure 91) en termes d'indicateurs statistiques, avec notamment un coefficient de détermination légèrement supérieur à 0.5.



Indicateurs statistiques	Valeurs
Moyenne mesurée	41.4
Moyenne simulée	33.0
Biais	8.5
Biais normalisé (FB)	0.23
RMSE	13.7
NMSE	0.14
MAE	10.95
Ecart type	10.76
FA2	0.90

Figure 90 – Comparaison des concentrations mesurées et simulées en NO<sub>2</sub> au cours de la période hivernale après le calage de la chaîne de modélisation

Toutefois, cette comparaison modèle / mesure met en évidence une sous-estimation des concentrations par le modèle (biais normalisé positif de 0.228), et principalement à l'est du domaine (centre ville de Nice). Cette sous-estimation des concentrations est a priori liée à l'utilisation de données météorologiques mesurées au niveau de l'aéroport pour calculer les concentrations sur cette zone du domaine. Les vitesses de vent observées sur l'aéroport de Nice sont globalement plus élevées que celles observées sur le centre ville de Nice. Les données météorologiques mesurées à l'aéroport sont par conséquent plus représentatives des conditions observées à l'ouest qu'à l'est de l'agglomération. Cependant, il n'existe pas de station météorologique implantée à l'est du domaine.

On peut donc retenir de cette comparaison modèle/mesure que le modèle restitue correctement les niveaux de concentrations mais qu'il a cependant tendance à sous-estimer les concentrations sur la partie est du domaine.

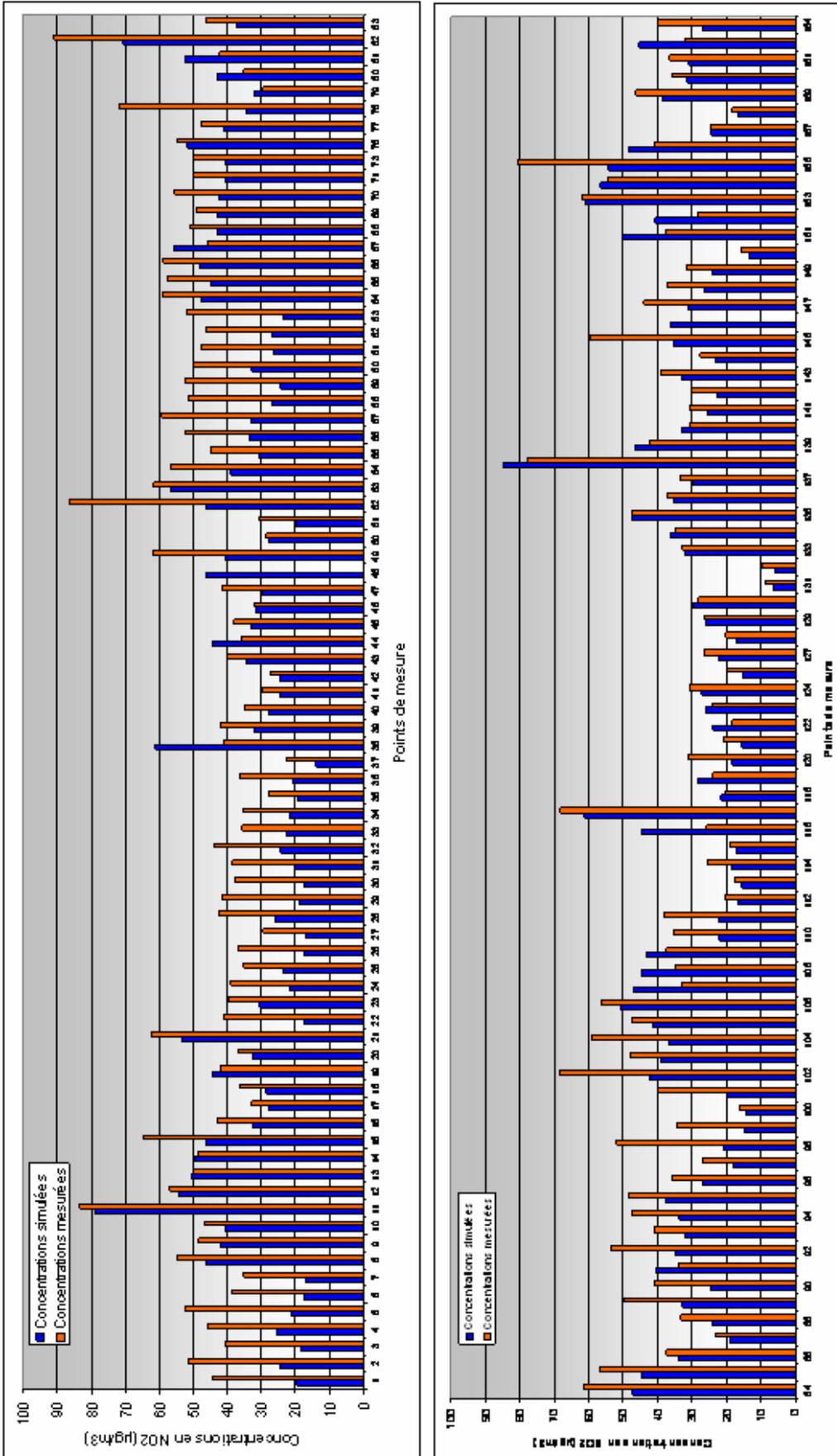
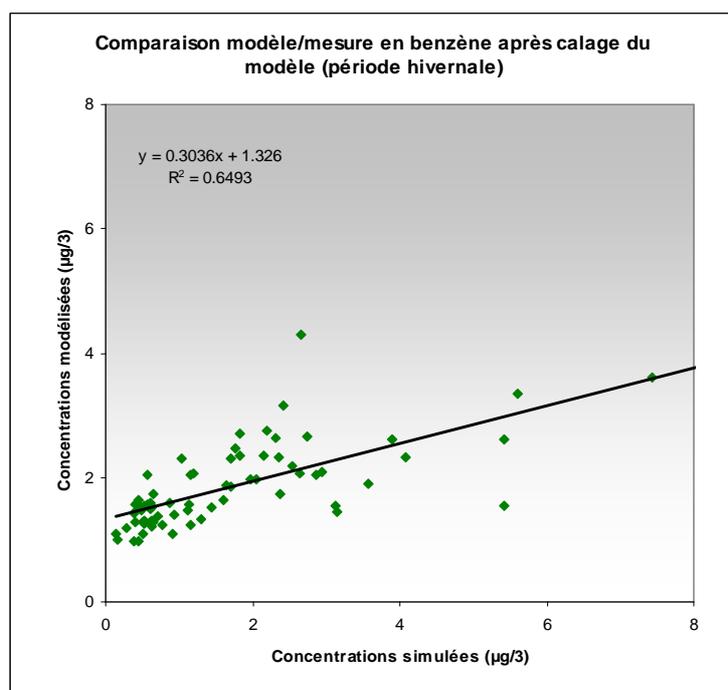


Figure 91 – Comparaison des concentrations simulées et mesurées en NO<sub>2</sub> au droit des tubes passifs et des stations Atmo PACA (période hivernale)

## RESTITUTION SPATIALE DES CONCENTRATIONS EN BENZENE

La comparaison entre les concentrations simulées et mesurées en benzène montre des résultats plus satisfaisants que pour le NO<sub>2</sub> (Figure 99) en termes d'indicateurs statistiques, avec notamment un coefficient de détermination légèrement supérieur de 0.65 et un biais de 0.04 µg/m<sup>3</sup>. Globalement, le modèle a une tendance à surestimer les plus fortes concentrations mesurées et à légèrement sous-estimer les faibles concentrations mesurées (ce biais correspond à la pollution de fond urbaine en benzène qui n'a pas été considérée dans le calcul).



Indicateurs statistiques	Valeurs
Moyenne mesurée	1.9
Moyenne simulée	1.8
Biais	0.04
Biais normalisé (FB)	0.02
RMSE	1.54
NMSE	0.68
MAE	1.03
Ecart type	1.54
FA2	0.52

Figure 92 – Comparaison des concentrations mesurées et simulées en benzène au cours de la période hivernale après le calage de la chaîne de modélisation

## RESTITUTION TEMPORELLE DES CONCENTRATIONS EN NO<sub>2</sub> ET NO<sub>x</sub>

Les résultats simulés sont comparés à des mesures continues de capteurs placés dans l'agglomération de Nice. Cette comparaison est réalisée au moyen de séries temporelles afin de juger les jeux de données horaires. Pour cela, les mesures de 3 stations permanentes (Cagnes Ladoumègue, Nice aéroport et Pellos) et d'une station temporaire (située sur la commune de la Trinité) ont été utilisées.

### Indicateurs statistiques

La Figure 93 présente une comparaison des concentrations moyennes mensuelles simulées et mesurées en NO<sub>2</sub> et en NO<sub>x</sub> aux stations fixes. A l'exception de la station de Pellos et sa typologie très particulière, le modèle reproduit bien les concentrations moyennes en NO<sub>2</sub> et en NO<sub>x</sub>. Les résultats statistiques (Tableau 13) sont plus satisfaisants sur l'ouest de l'agglomération que sur l'est : on note des valeurs de BIAIS et de RMSE plus réduites ainsi qu'une meilleure valeur du coefficient de détermination.

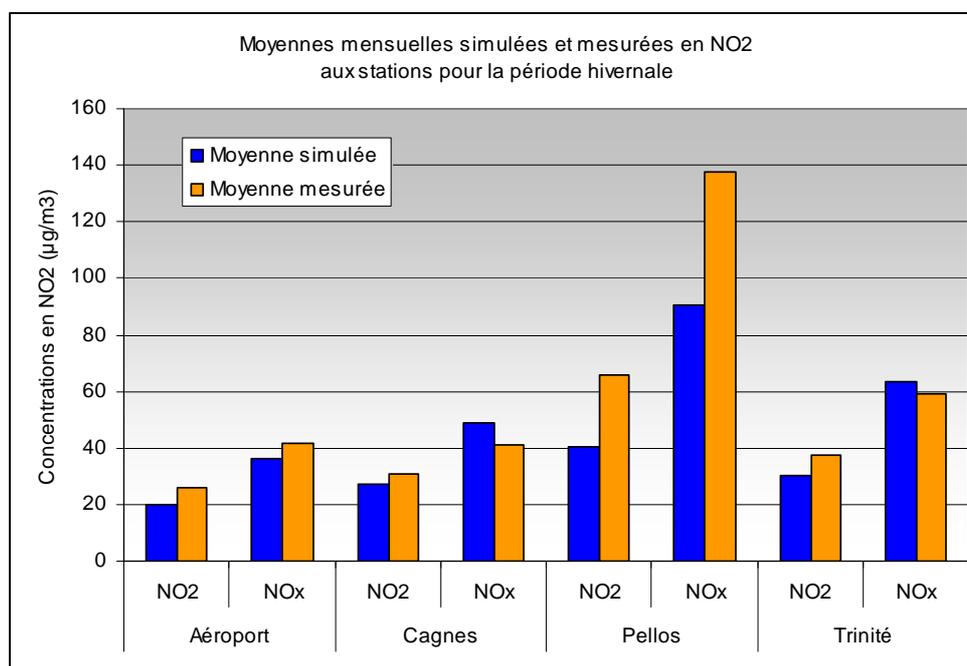


Figure 93 – Comparaison des concentrations moyennes mensuelles simulées et mesurées en NO<sub>2</sub> et en NO<sub>x</sub> aux stations fixes et permanentes du réseau Atmo PACA

Tableau 12 : Bilan des indicateurs statistiques en NO<sub>x</sub> et NO<sub>2</sub> calculés aux stations fixes et permanentes du réseau Atmo PACA pour la période hivernale

Hiver	OUEST				EST			
	Aéroport		Cagnes sur Mer		Pellos		Trinité	
	NO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>						
Moyenne simulée	19.9	36.1	27.3	48.8	40.6	90.8	30.2	63.6
Moyenne mesurée	25.9	41.5	30.5	40.8	65.7	137.7	37.5	59.4
Biais	6	5.5	3.3	-8	25.1	46.9	7.3	-4.2
Biais normalisé (FB)	0.26	0.14	0.11	-0.18	0.47	0.41	0.21	-0.07
RMSE	19.3	47	17.1	49.2	40	127	29.1	79.4
NMSE	0.73	1.47	0.35	1.22	0.6	1.29	0.75	1.67
MAE	13.5	26.2	12.6	28.9	32.4	89.2	24.9	58
Ecart type	18.35	46.7	16.8	48.5	31.1	118	28.2	79.3
FA2	0.53	0.51	0.76	0.61	0.57	0.43	0.43	0.32
R <sup>2</sup>	0.38	0.37	0.3	0.11	0.12	0.09	0.002	0.005

Restitution de la variabilité temporelle des émissions

Les figures suivantes présentent un exemple de comparaison des concentrations en NO<sub>2</sub> simulées et mesurées, aux stations de Cagnes sur Mer et de Nice Aéroport. Les calculs utilisent les données météorologiques issues de la station Météo France de l'aéroport. Pour ces stations, on constate que le modèle restitue correctement les concentrations : le coefficient de détermination est de 0.3 et de 0.4 respectivement pour les stations de Cagnes sur Mer et de Nice Aéroport.

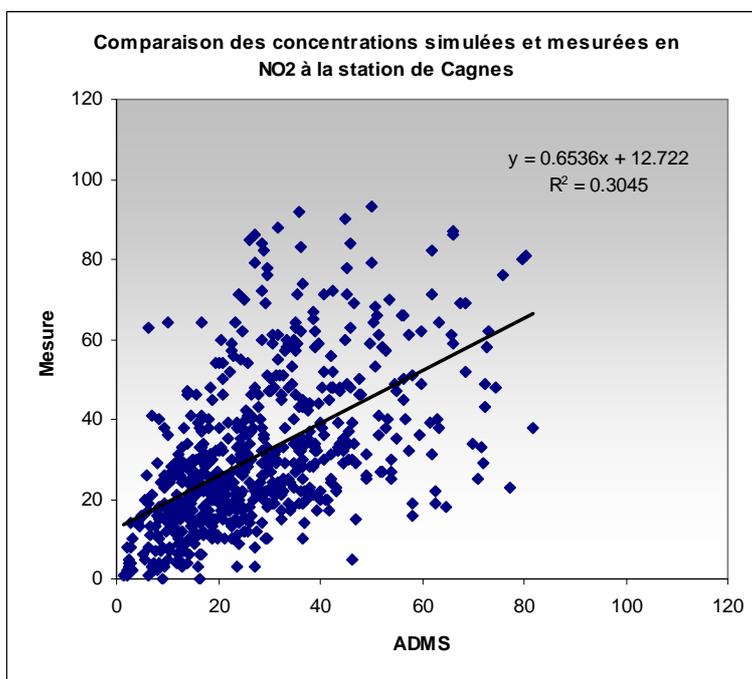


Figure 94 – Comparaison des concentrations simulées et mesurées en NO<sub>2</sub> au cours de la période hivernale à la station de Cagnes sur Mer

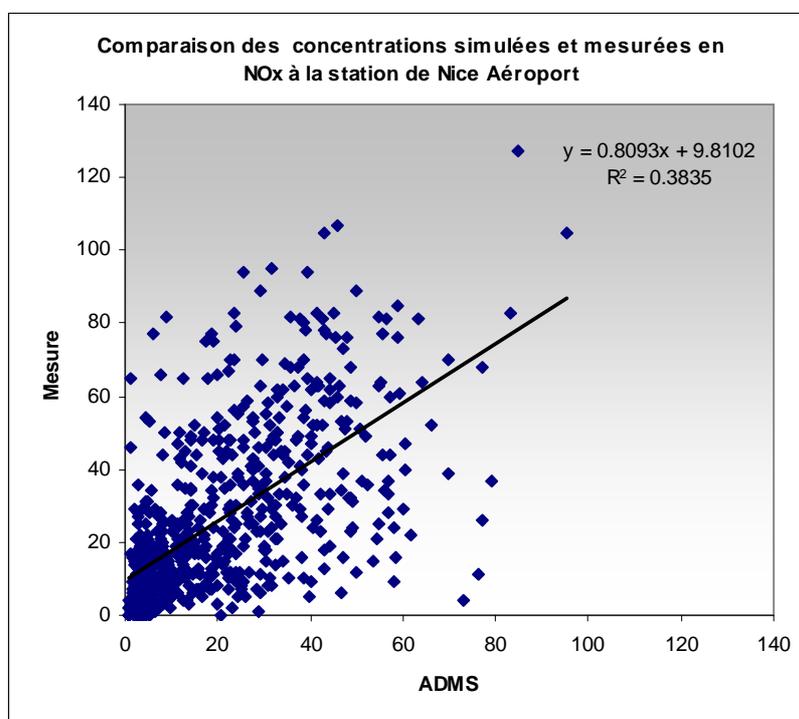


Figure 95 – Comparaison des concentrations simulées et mesurées en NO<sub>2</sub> au cours de la période hivernale à la station de Nice Aéroport

Globalement, le modèle restitue bien la variabilité temporelle des niveaux de concentrations en NO<sub>2</sub> atteints par ces stations (Figure 96 et Figure 97) Cependant, certains pics de concentrations sont mal représentés par le modèle. Plusieurs facteurs peuvent avoir une influence sur ces résultats, comme un écart entre les conditions météorologiques intégrées dans le modèle et réellement observées, et également, mais dans une moindre mesure, un écart local entre les émissions réelles et les émissions modélisées (événements particuliers très difficilement modélisables, réseau routier secondaire présent à proximité de la station et modélisé comme une source volumique et non comme une source routière

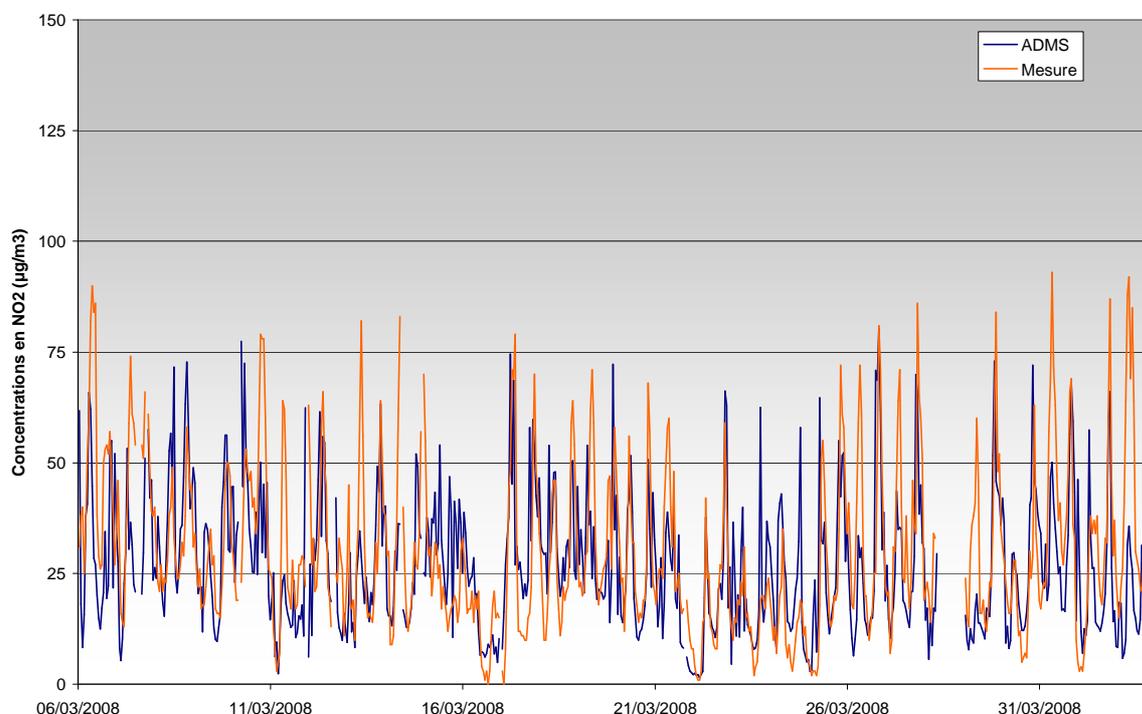


Figure 96 – Comparaison des concentrations simulées et mesurées en NO<sub>2</sub> à la station de Cagnes sur Mer

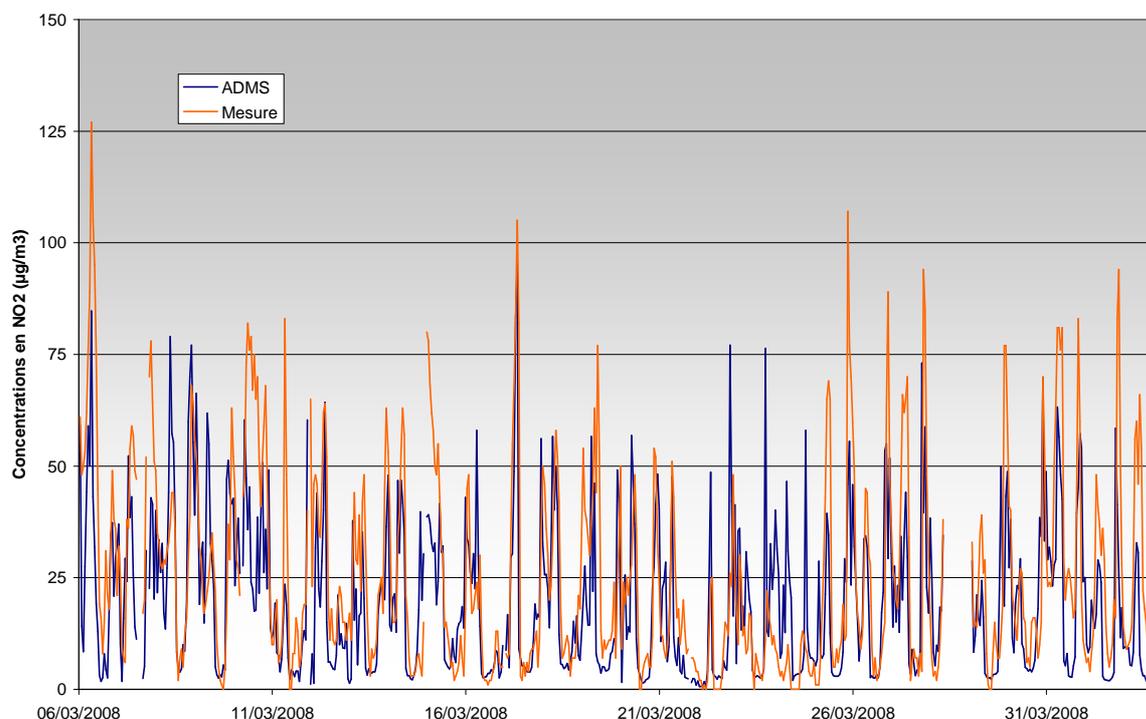


Figure 97 – Comparaison des concentrations simulées et mesurées en NO<sub>2</sub> à la station de Nice Aéroport

## 5.1.2. SYNTHÈSE

Les cartographies de concentrations en  $\text{NO}_x$ , en  $\text{C}_6\text{H}_6$  et en  $\text{PM}_{10}$  ont permis de localiser les zones les plus impactées, situées près des principaux axes routiers, en centre ville et au niveau du port. Ces travaux sont satisfaisants dans l'ensemble puisque les restitutions spatiale et temporelle du modèle sont bonnes malgré la difficulté de reproduire certains pics de concentration et la sous-estimation des concentrations simulées sur le centre ville de Nice. Cela peut s'expliquer par le manque de représentativité de certaines données d'entrée comme les vitesses de vent utilisées (station Météo France de Nice Aéroport) qui, en réalité, sont plus faibles sur le centre ville de Nice (partie est du domaine) qu'à l'aéroport (partie ouest du domaine).

## 5.2. PERIODE ESTIVALE

### 5.2.1. CARTOGRAPHIES DES CONCENTRATIONS EN NO<sub>2</sub>, C<sub>6</sub>H<sub>6</sub> ET PM10

#### ■ NO<sub>2</sub>

La Figure 98 représente la cartographie des concentrations de NO<sub>2</sub> moyennes sur la période de juin 2008, le long du tracé du tramway et à sa proximité. On retrouve des gammes de valeurs équivalentes à la période hivernale (maximum proche de 60 µg/m<sup>3</sup>). Le centre ville de Nice, le port et l'aéroport restent des zones plus impactées que le reste de la bande d'étude (à l'exception des bords de chaussées). A la limite de la bande kilométrique, les concentrations atteignent un niveau de fond de 5-20 µg/m<sup>3</sup>.

#### ■ C<sub>6</sub>H<sub>6</sub> (benzène)

La Figure 106 présente la cartographie des concentrations moyennes de benzène (C<sub>6</sub>H<sub>6</sub>) sur la même période et la même zone. Elle indique des niveaux comparables à ceux simulés pour la période hivernale. Les valeurs maximales en benzène sont localisées en centre ville et sur les principaux axes routiers. Elles peuvent atteindre des valeurs supérieures à 4 µg/m<sup>3</sup>. Le niveau diminue ensuite en fonction de la distance aux voies pour atteindre un niveau de fond (d'environ 1 µg/m<sup>3</sup>).

#### ■ PM10

La Figure 100 représente la cartographie des concentrations moyennes en PM10 sur la même période et la même zone. Cette carte a été obtenue en considérant une pollution de 30 µg/m<sup>3</sup> à l'extérieur du domaine. Les fortes concentrations en PM10 (supérieures à 50 µg/m<sup>3</sup>) sont également localisées au niveau des axes routiers. Les concentrations décroissent rapidement en fonction de la distance aux sources pour atteindre des valeurs intermédiaires (allant de 36 à 40 µg/m<sup>3</sup>). Les concentrations restent élevées sur le centre ville de Nice, sur le port et l'aéroport. Par rapport à la période hivernale, on constate une augmentation des concentrations modélisées et mesurées en PM10 sur le domaine d'étude. Ceci est principalement lié à une augmentation en moyenne de la pollution de fond entrante sur le domaine estimée à 28 µg/m<sup>3</sup> sur la période hivernale et à 30 µg/m<sup>3</sup> sur la période estivale. Une augmentation du trafic aérien, maritime et routier pendant la période estivale peut également être à l'origine de cette augmentation notamment dans l'environnement proche de l'aéroport. Cette augmentation des émissions liée aux activités estivales est également à mettre en relation avec des conditions météorologiques propices à la remise en suspension des particules (précipitations plus faibles, sol plus sec).

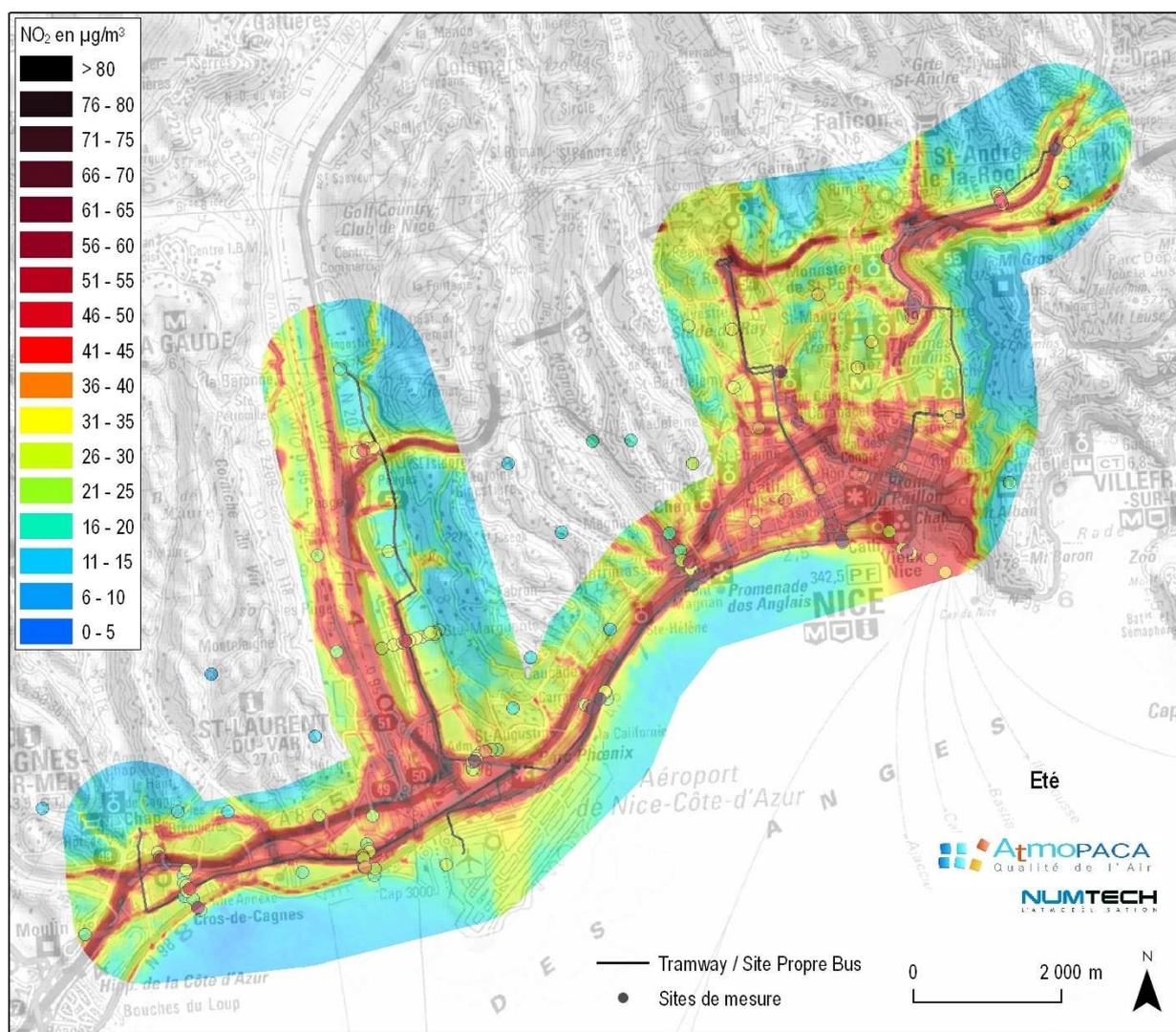


Figure 98 – Concentrations moyennes simulées en NO<sub>2</sub> (µg/m<sup>3</sup>) au cours de la période estivale

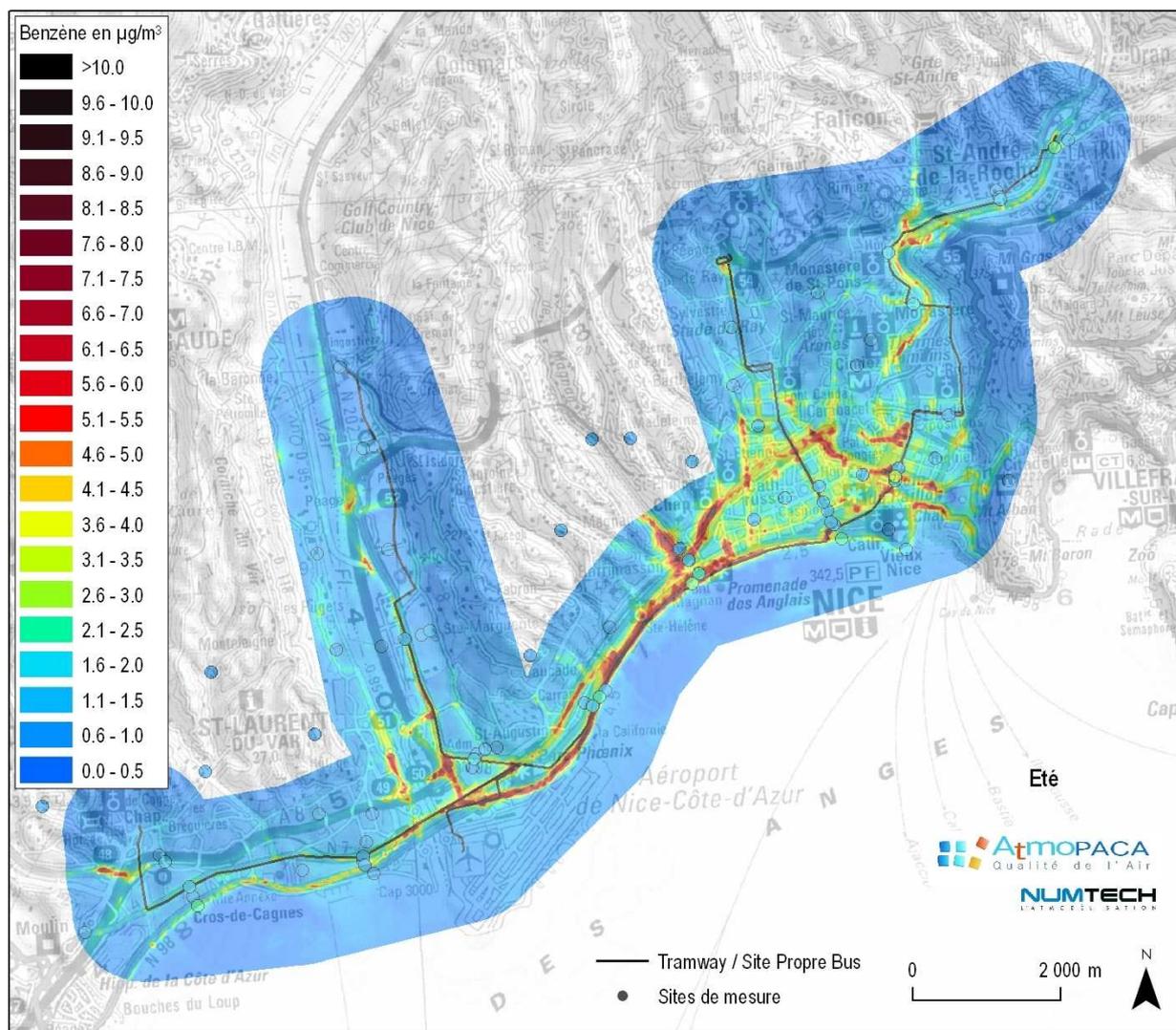


Figure 99 – Concentrations moyennes simulées en benzène ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) au cours de la période estivale

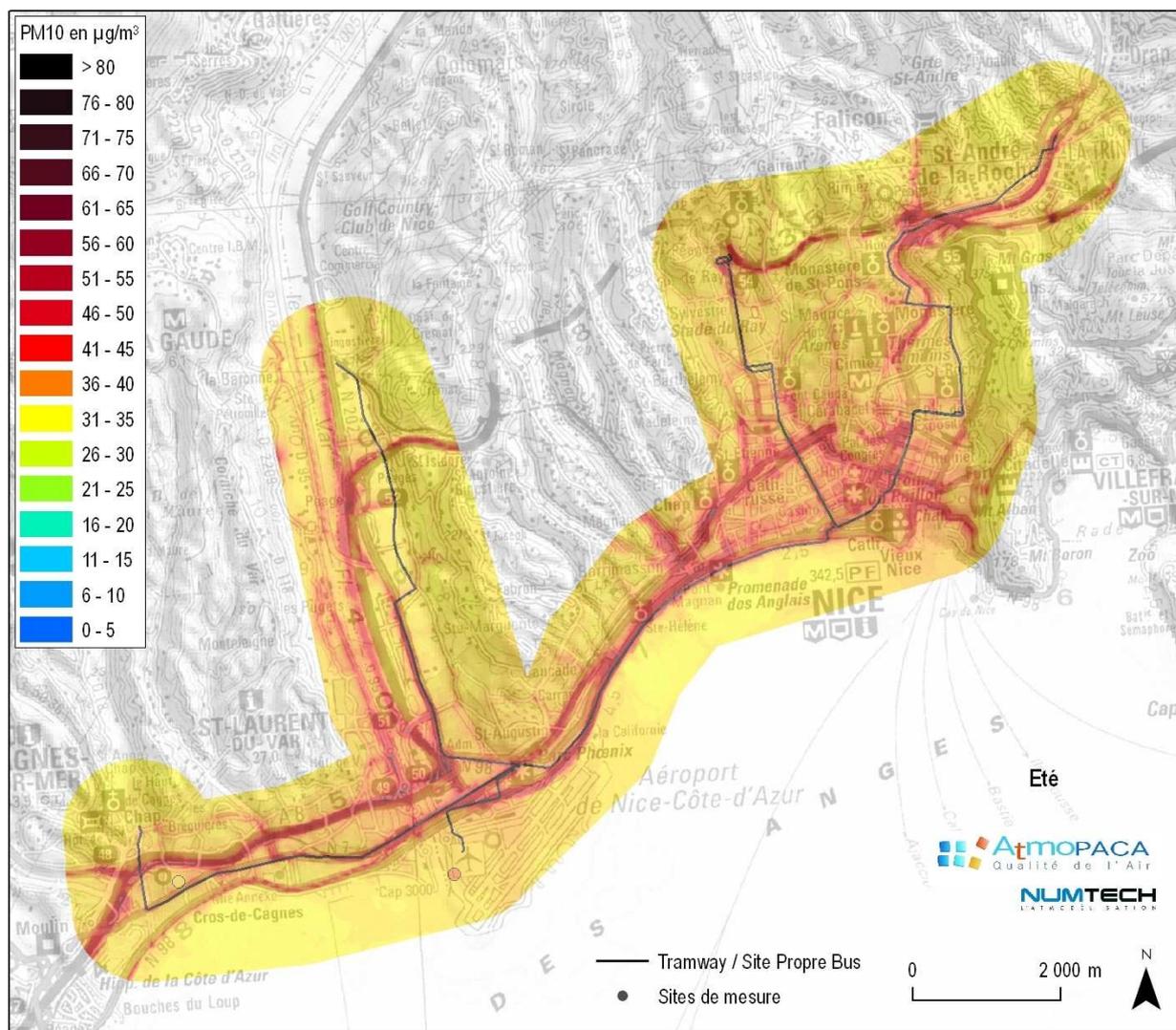
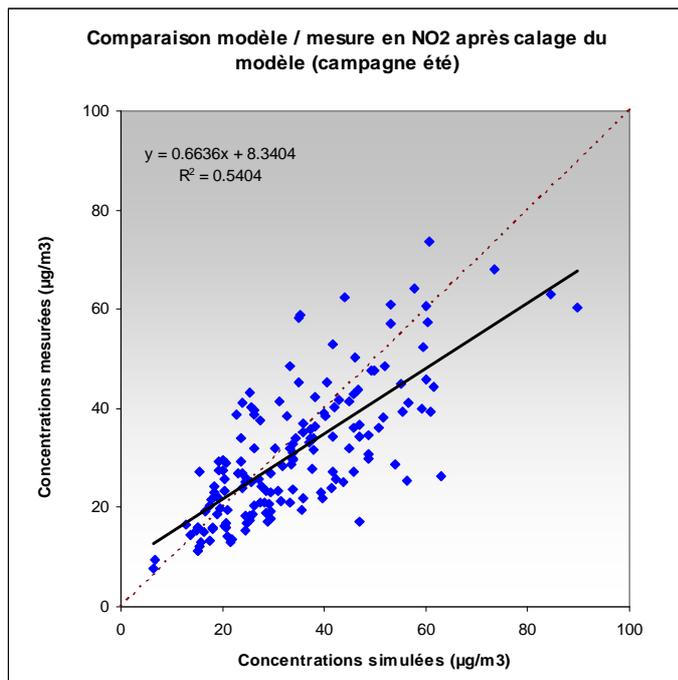


Figure 100 – Concentrations moyennes simulées en PM10 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) au cours de la période estivale. Pollution de fond à l'extérieur du domaine =  $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$

## RESTITUTION SPATIALE DES CONCENTRATIONS EN DIOXYDE D'AZOTE

L'optimisation de la chaîne de modélisation a été validée par la modélisation de la campagne estivale (4 juin au 3 juillet 2008) et en particulier grâce aux mesures en NO<sub>2</sub> réalisées par tubes passifs sur l'agglomération niçoise. Le modèle fournit de meilleurs résultats qu'en condition hivernale (Figure 101 et Figure 102) : par exemple, le biais normalisé diminue de 0.23 à 0.097 en valeur absolue et le coefficient de détermination (R<sup>2</sup>) augmente de 0.51 à 0.54 entre la période hivernale et la période estivale pour l'ensemble des tubes passifs. Par ailleurs, les indicateurs statistiques indiquent une bonne restitution des concentrations par le modèle avec toutefois une légère tendance à surestimer les niveaux de concentration mesurés (biais normalisé négatif de - 0.097).



Indicateurs statistiques	Valeurs
Moyenne mesurée	31.1
Moyenne simulée	34.2
Biais	-3.17
Biais normalisé (FB)	-0.097
RMSE	10.85
NMSE	0.11
MAE	8.26
Ecart type	10.37
FA2	0.98

Figure 101 – Comparaison des concentrations mesurées et simulées en NO<sub>2</sub> au cours de la période estivale après les premiers ajustements du modèle

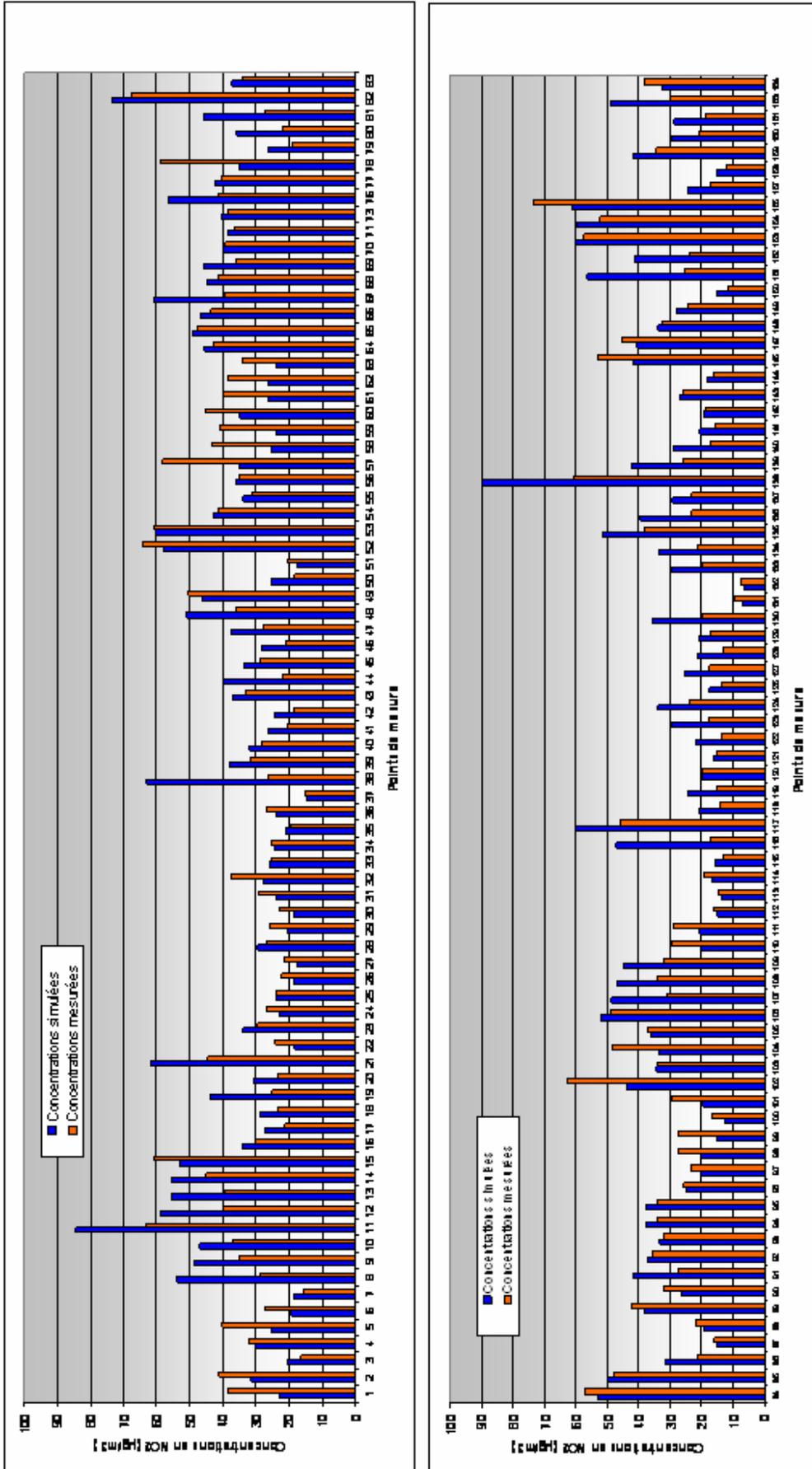
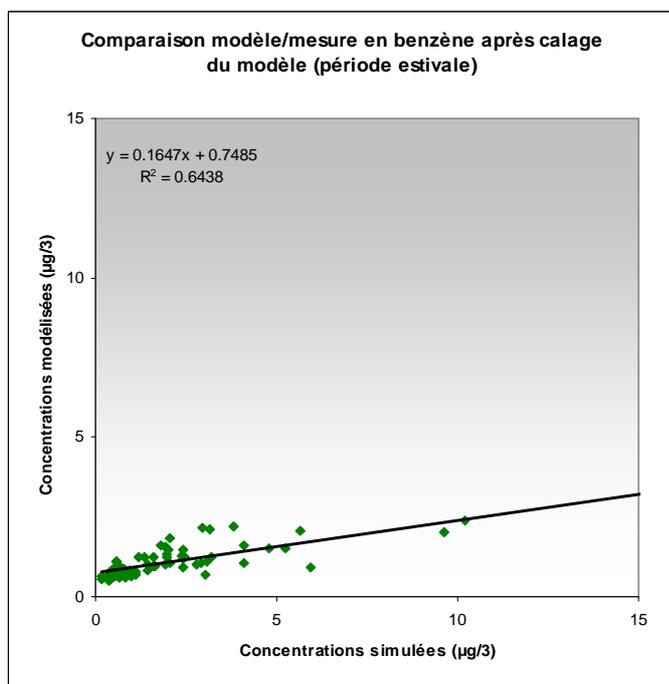


Figure 102 – Comparaison des concentrations mesurées et simulées en NO<sub>2</sub> au droit des tubes passifs et stations au cours de la période estivale

### RESTITUTION SPATIALE DES CONCENTRATIONS EN BENZENE

Les indicateurs statistiques (Figure 103) indiquent une bonne corrélation entre les concentrations simulées et mesurées en benzène ( $R^2 = 0.64$ ) avec toutefois une légère tendance à sous-estimer les faibles concentrations mesurées et à surestimer les plus fortes concentrations mesurées (biais normalisé négatif de - 0.59). Comme pour la période hivernale, la sous-estimation des faibles concentrations s'explique par la non prise en compte de la pollution de fond dans les calculs



Indicateurs statistiques	Valeurs
Moyenne mesurée	2.0
Moyenne simulée	1.1
Biais	-0.91
Biais normalisé (FB)	-0.59
RMSE	2.24
NMSE	2.36
MAE	1.11
Ecart type	2.05
FA2	0.77

Figure 103 – Comparaison des concentrations mesurées et simulées en benzène au cours de la période estivale après les premiers ajustements du modèle

## RESTITUTION TEMPORELLE DES CONCENTRATIONS EN NO<sub>2</sub> ET NO<sub>x</sub>

Comme pour la période hivernale, les performances du modèle à restituer les concentrations simulées sont évaluées à partir d'une comparaison entre les valeurs simulées et mesurées aux stations permanentes (Nice Aéroport, Cagnes sur Mer et Nice Pellos) et de la station temporaire (Trinité).

### ■ Indicateurs statistiques

Comme pour la période hivernale, les concentrations moyennes mensuelles sont mieux restituées sur la partie ouest du domaine (stations de Nice Aéroport et Cagnes sur Mer) que sur la partie est (Figure 104 et Tableau 13). Les écarts entre le modèle et la mesure en NO<sub>2</sub> sont toujours plus importants pour la station de Pellos alors que les résultats s'améliorent pour la station de la Trinité. Les indicateurs statistiques indiquent par ailleurs une meilleure reproduction des concentrations en NO<sub>2</sub> qu'en NO<sub>x</sub>.

Les indicateurs statistiques décrivant l'erreur totale (RMSE et R<sup>2</sup>) révèlent que le modèle a tendance à mieux représenter les concentrations de NO<sub>x</sub> en période estivale qu'en période hivernale. En revanche l'erreur systématique est moindre en hiver, sauf sur la station de Pellos. A cette période, le modèle a alors tendance à sous-estimer les concentrations de NO<sub>2</sub> et de NO<sub>x</sub> en raison du régime de vent fort et établi à la station Nice Aéroport, non représentatif des conditions observées sur la partie est du domaine.

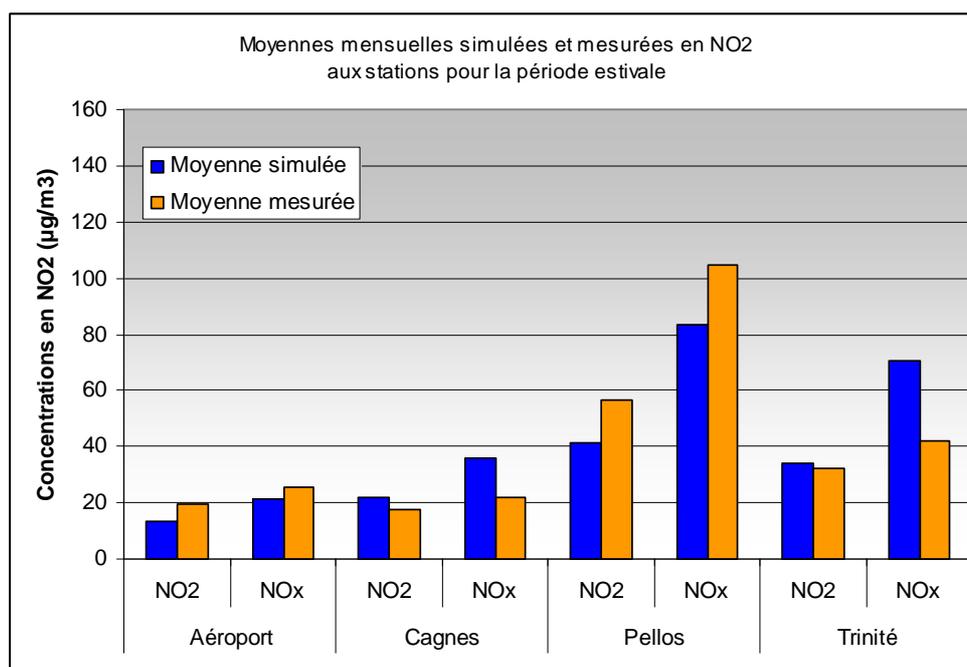


Figure 104 – Comparaison des concentrations moyennes mensuelles simulées et mesurées en NO<sub>2</sub> et en NO<sub>x</sub> aux stations fixes et permanentes du réseau Atmo PACA

Tableau 13 : Bilan des indicateurs statistiques en NOx et NO2 calculées aux stations fixes et à la station permanentes du réseau Atmo PACA pour la période estivale

Hiver	OUEST				EST			
	Aéroport		Cagnes sur Mer		Pellos		Trinité	
	NO2	NOx	NO2	NOx	NO2	NOx	NO2	NOx
Moyenne simulée	13.4	21.5	22.1	35.9	41.4	83.6	34.1	70.5
Moyenne mesurée	19.5	25.5	17.6	21.8	56.7	104.5	32.4	42.2
Biais	6.1	4	-4.5	-14.1	15.3	20.9	-1.7	-28.4
Biais normalisé (FB)	0.37	0.17	-0.22	-0.49	0.31	0.22	-0.05	-0.5
RMSE	14.2	24.5	13.5	31.5	31	84	27	69.7
NMSE	0.77	1.1	0.47	1.27	0.41	0.81	0.66	1.36
MAE	10.3	15.3	9.75	18.9	24.9	60.7	23.7	54.6
Ecart type	12.8	24.2	12.76	28.2	26.9	81.4	26.9	63.6
FA2	0.46	0.5	0.72	0.59	0.67	0.54	0.4	0.26
R <sup>2</sup>	0.4	0.35	0.22	0.21	0.06	0.08	0	0

Restitution de la variabilité temporelle des émissions

Les Figure 113 et Figure 114 présentent, à titre d'exemple, des comparaisons de concentrations simulées et mesurées aux stations de Cagnes sur Mer et de Nice Aéroport en NO2 pour la période estivale. Les calculs utilisent également comme données d'entrée, les données météorologiques issues de la station Météo France de l'aéroport.

Le modèle restitue la variabilité temporelle des niveaux de concentrations atteints aux stations de Nice Aéroport et de Cagnes sur Mer (Figure 107 et Figure 108) et permet une corrélation correcte entre le modèle et la mesure (Figure 105 et Figure 106). On constate de meilleurs résultats sur la période estivale que sur la période hivernale pour la station de Nice aéroport. Comme pour la période hivernale, on constate que certains pics de concentrations sont mal représentés par le modèle probablement en raison du manque de représentativité des données météorologiques appliquées sur cette zone.

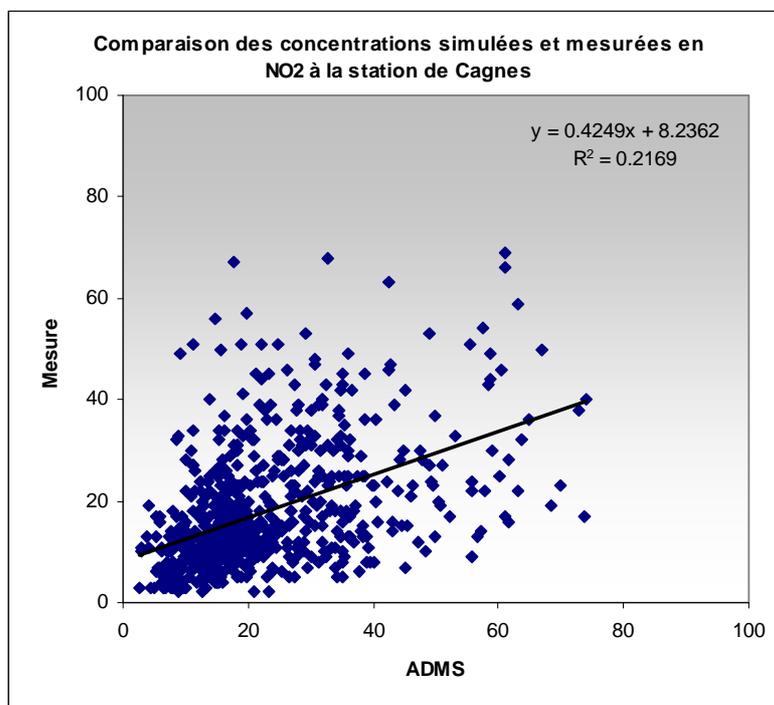


Figure 105 – Comparaison des concentrations mesurées et simulées en NO2 au cours de la période estivale à la station de Cagnes sur Mer

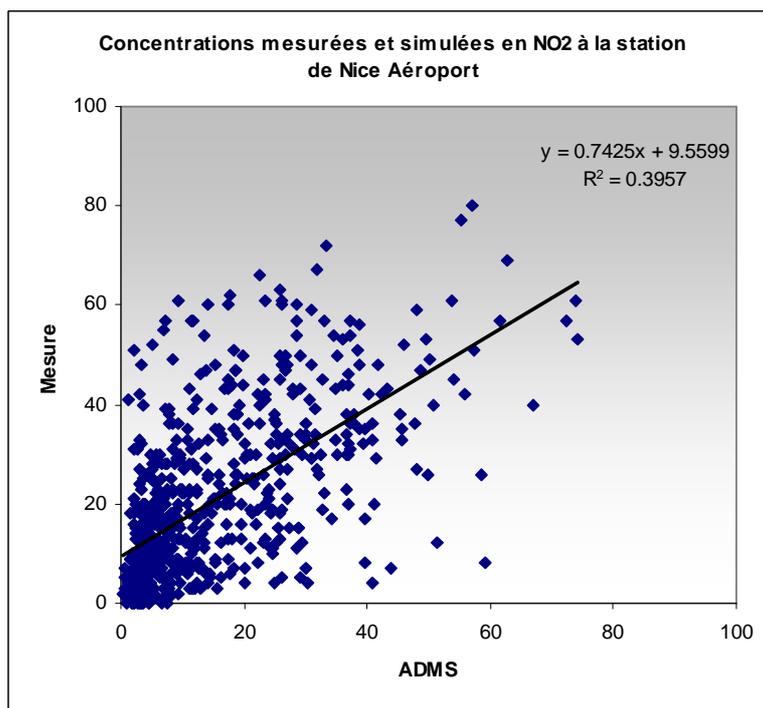


Figure 106 – Comparaison des concentrations mesurées et simulées en NO<sub>2</sub> au cours de la période estivale à la station de Nice Aéroport

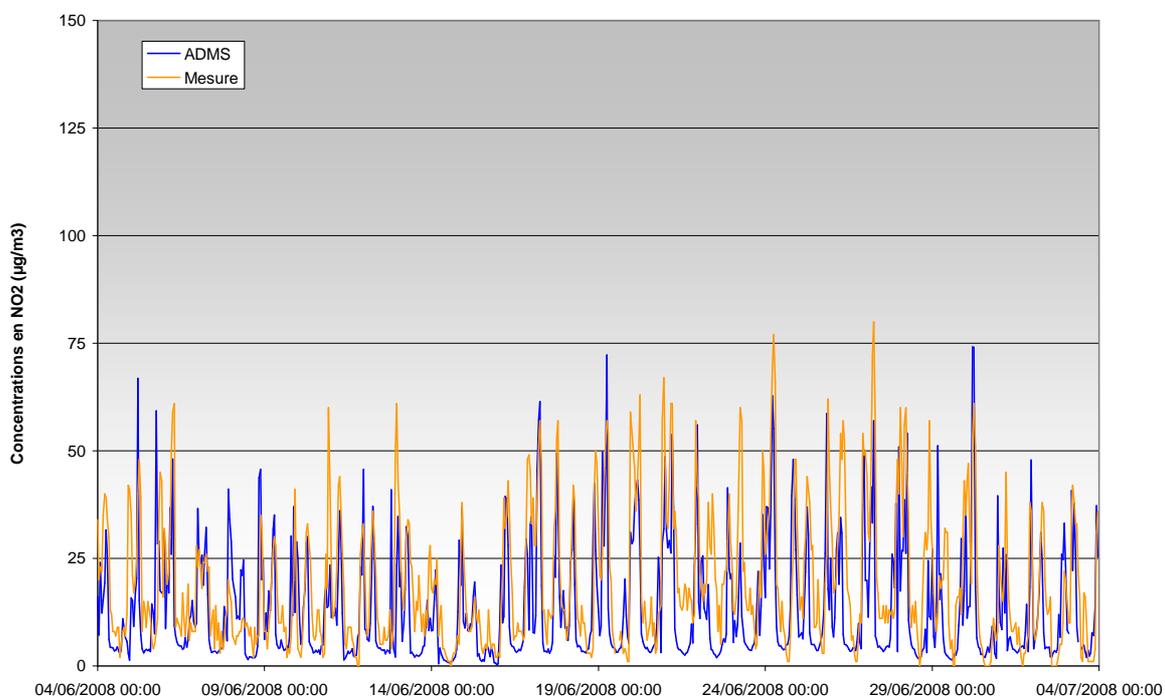


Figure 107 – Comparaison des concentrations mesurées et simulées en NO<sub>2</sub> à la station de Cagnes sur Mer

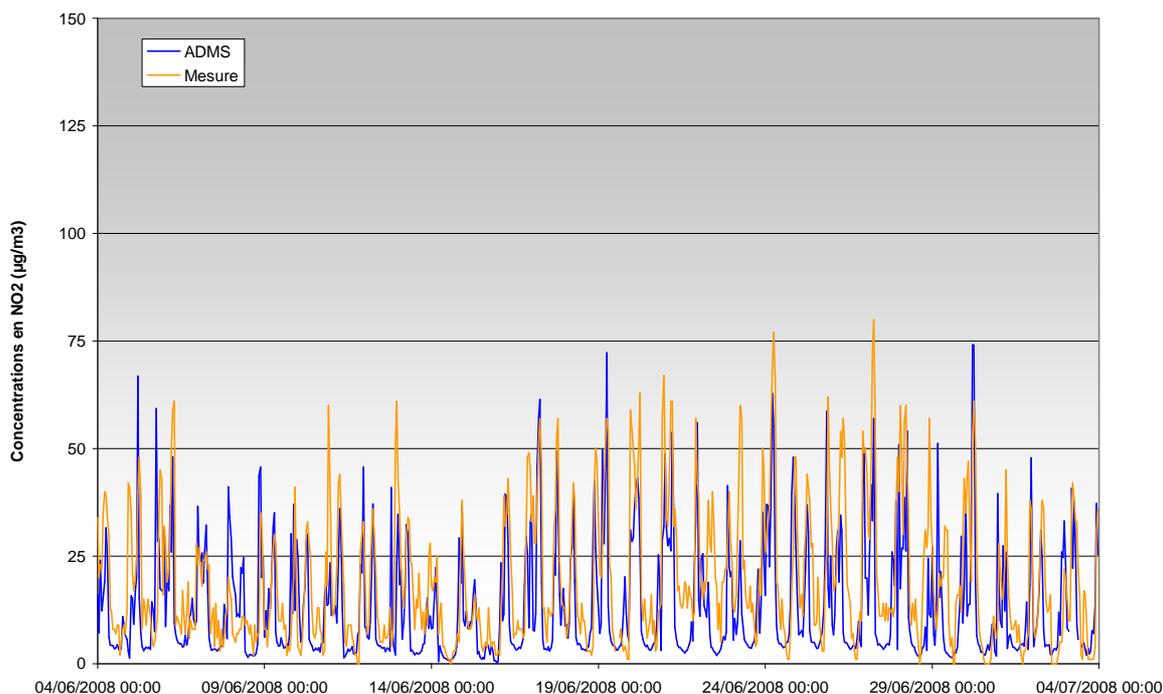


Figure 108 – Comparaison des concentrations mesurées et simulées en NO<sub>2</sub> à la station de Nice Aéroport

## 5.2.2. SYNTHESE

Les cartographies de la période estivale de concentrations en NO<sub>2</sub>, en benzène et en PM10 ont conforté la localisation des zones les plus impactées recensées avec les simulations hivernales ; il s'agit des axes routiers, du centre ville, du port et de l'aéroport. Les résultats obtenus à l'ouest de l'agglomération sont également meilleurs que ceux obtenus à l'est, mais ils restent satisfaisants dans l'ensemble pour la période estivale.

## 5.3. PERIODE ANNUELLE

### 5.3.1. CARTOGRAPHIES DES CONCENTRATIONS EN NO<sub>2</sub>, C<sub>6</sub>H<sub>6</sub> ET PM10

Les résultats de concentrations moyennes annuelles en NO<sub>2</sub>, en benzène et en PM10 simulées sur la période de septembre 2007 à septembre 2008 sont présentés sur la bande kilométrique autour du tracé du tramway (maillage régulier et « intelligent »).

#### ■ NO<sub>2</sub>

La Figure 109 représente la cartographie des concentrations moyennes annuelles de NO<sub>2</sub>, le long du tracé du tramway et à sa proximité. Sur les axes routiers, on retrouve des niveaux de concentrations équivalents aux périodes hivernale et estivale (maximum proche de 60 µg/m<sup>3</sup>). L'aéroport, le port, le centre ville de Nice et les abords des principaux axes routiers restent les zones les plus impactées. A la limite de la bande kilométrique, les concentrations atteignent un niveau de fond compris entre 5 et 25 µg/m<sup>3</sup>.

La Figure 111 présente les percentiles 98 horaires en NO<sub>2</sub> calculés sur la bande d'étude. Comme pour les concentrations moyennes annuelles, les plus fortes valeurs sont atteintes sur les axes de circulation (polluant traceur de la pollution automobile). Elles décroissent ensuite rapidement en fonction de la distance aux sources. L'aéroport, le port et le centre ville de Nice sont également des zones fortement impactées par rapport au reste du domaine.

Remarque : En chaque point de la grille d'étude, le percentile Px (horaire ou journalier) représente la concentration à laquelle x % des valeurs (horaires ou journalières) calculées sur la période sont inférieures.

#### ■ Benzène

La Figure 112 présente la cartographie des concentrations de benzène (C<sub>6</sub>H<sub>6</sub>), cartographie semblable aux cartes hivernale et estivale en termes de niveau atteint sur la bande d'étude.

#### ■ PM10

La Figure 113 représente la cartographie des concentrations moyennes de PM10. Les cartographies indiquent des valeurs intermédiaires entre la période estivale et la période hivernale. Les fortes concentrations en PM10 (supérieures à 50 µg/m<sup>3</sup>) sont localisées à proximité immédiate des axes routiers les plus chargés. Ailleurs sur le domaine d'étude, les concentrations moyennes annuelles en PM10 varient entre 30 µg/m<sup>3</sup> et 40 µg/m<sup>3</sup> en périphérie des routes, sur l'aéroport et en centre ville de Nice. On retiendra que les niveaux de concentration en particules présentés sont très fortement conditionnés par la pollution de fond utilisée. Une valeur de 30 µg/m<sup>3</sup> a été considérée à l'extérieur du domaine

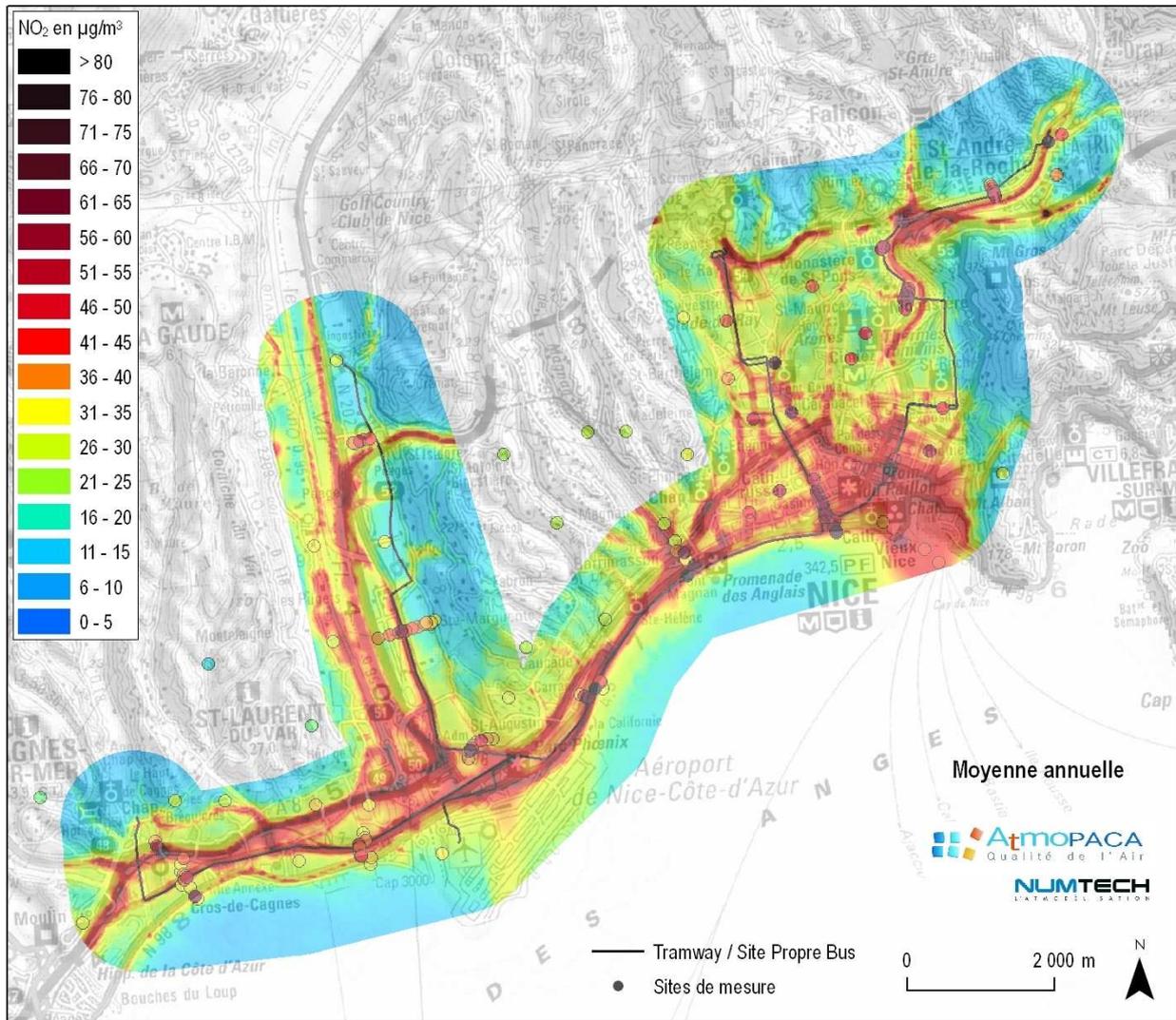


Figure 109 – Concentrations moyennes annuelles simulées en NO<sub>2</sub> (µg/m<sup>3</sup>)

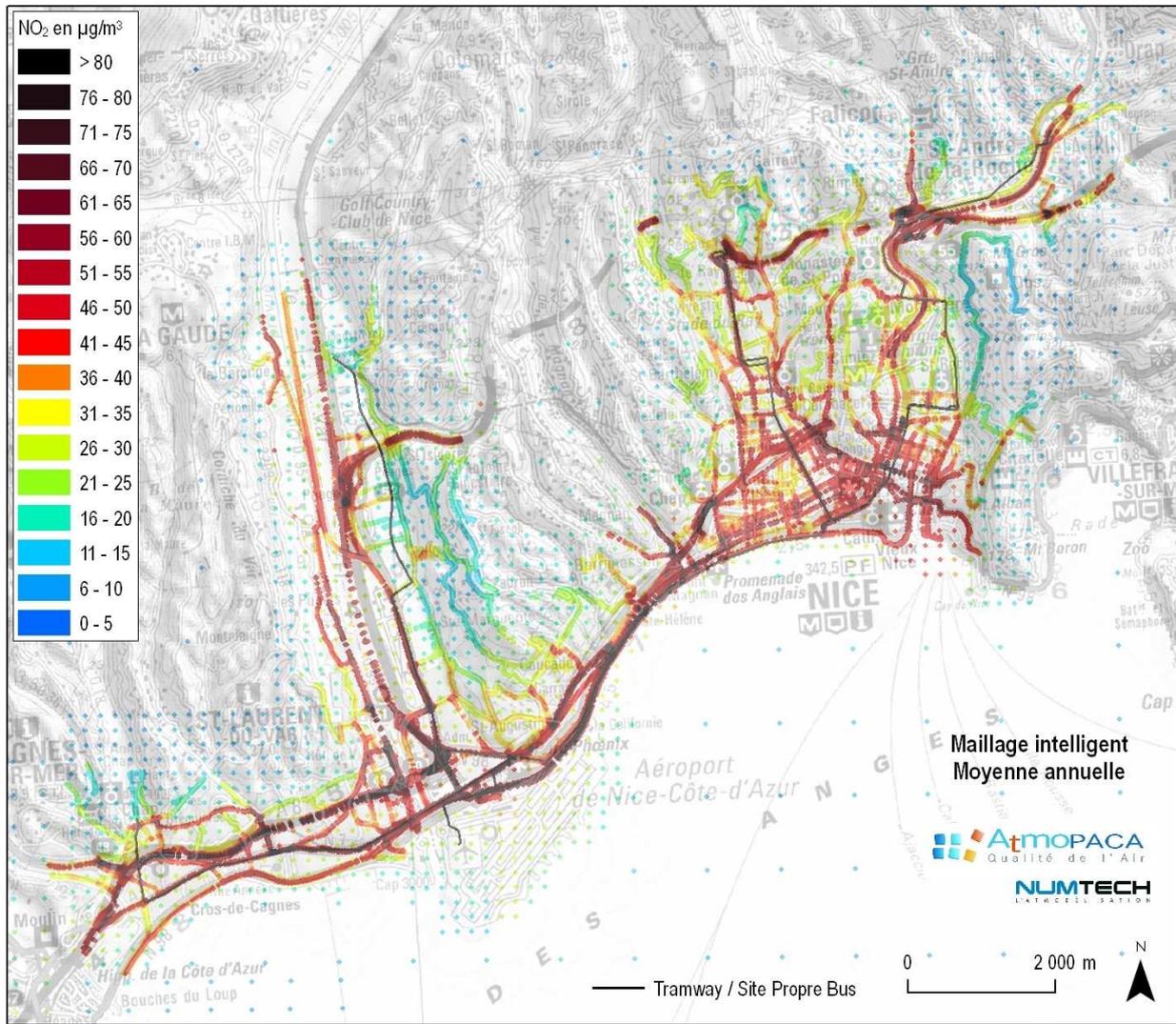


Figure 110 – Maillage intelligent et concentrations moyennes annuelles simulées en NO<sub>2</sub> (µg/m<sup>3</sup>)

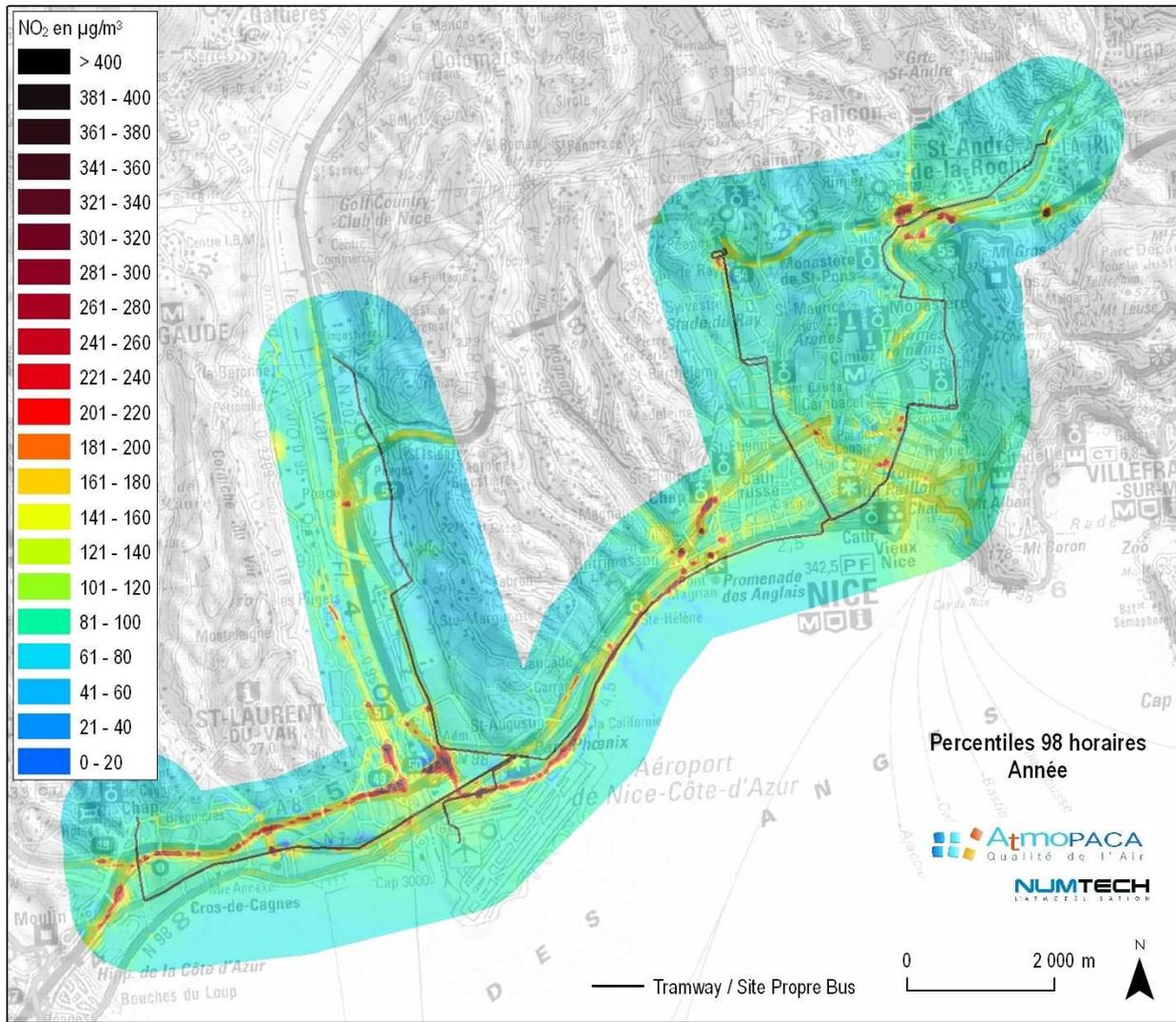


Figure 111 – Percentiles 98 horaires en NO<sub>2</sub> (µg/m<sup>3</sup>)

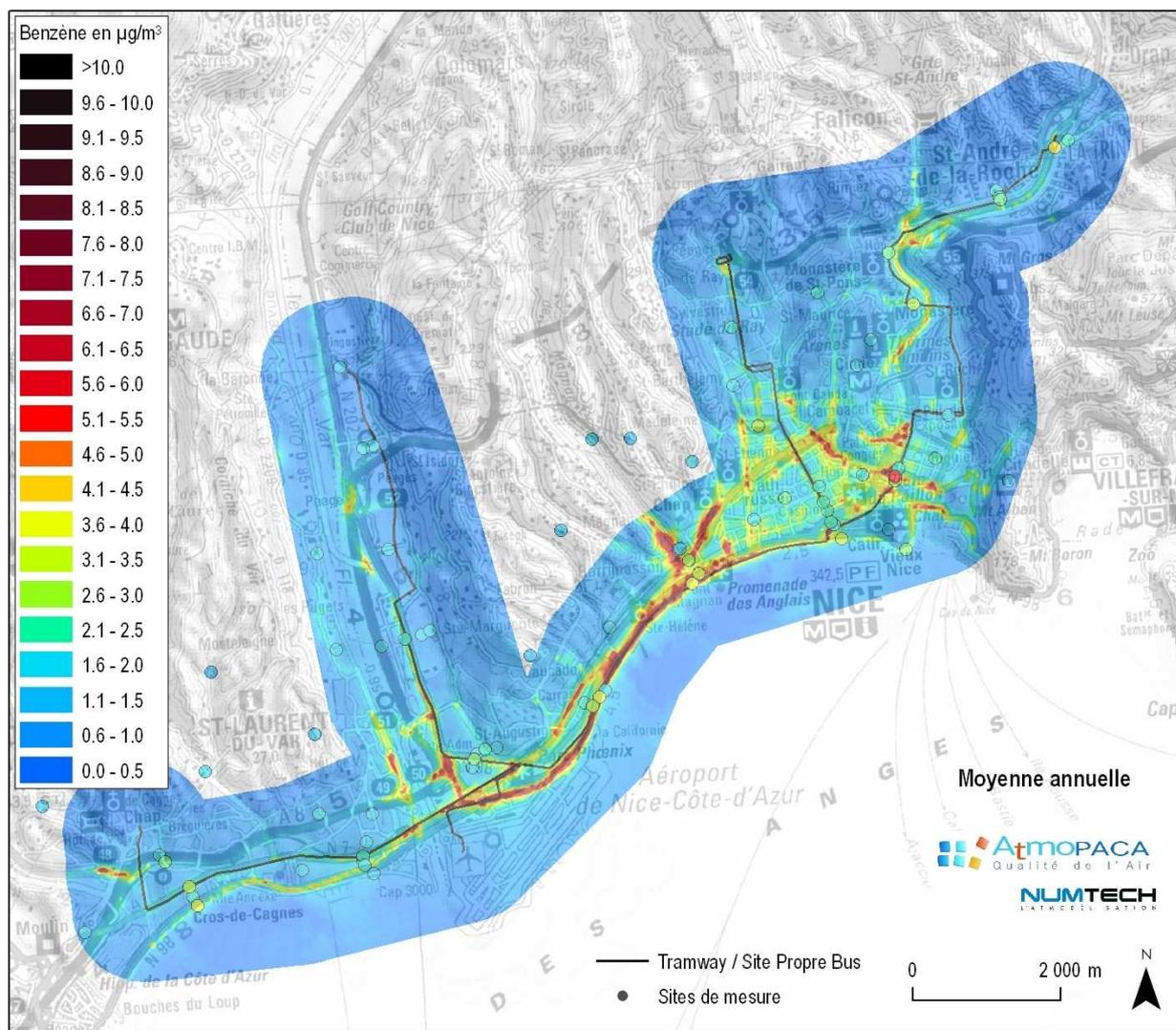


Figure 112 – Concentrations moyennes annuelles simulées en benzène ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )

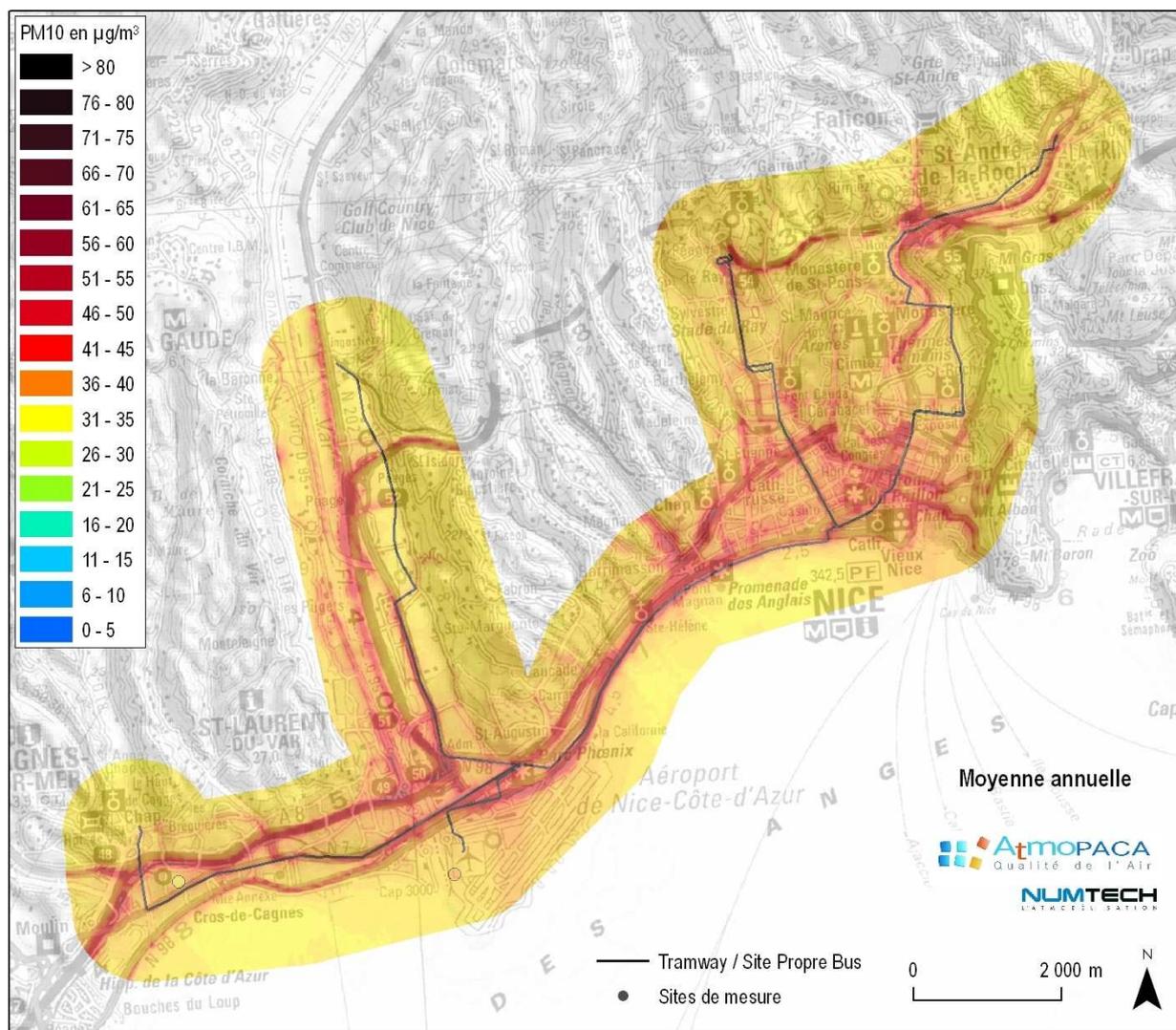
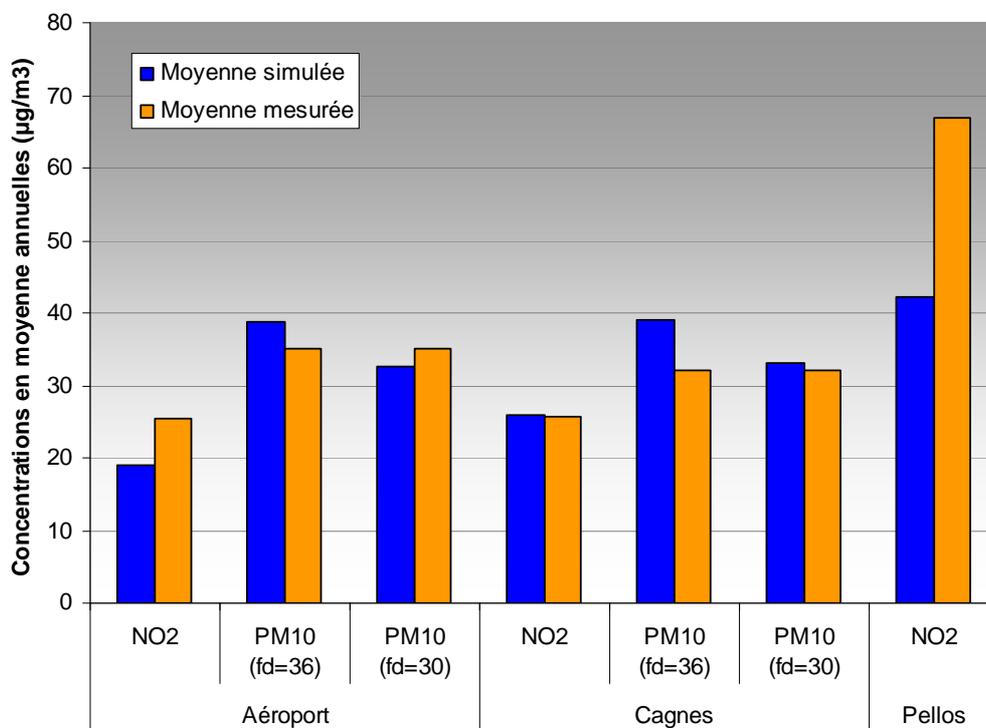


Figure 113 – Concentrations moyennes annuelles simulées en PM10 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ). Pollution de fond à l'extérieur du domaine =  $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$

### COMPARAISON MODELE / MESURE AUX STATIONS DE MESURES

La figure suivante présente une comparaison des concentrations moyennes annuelles simulées et mesurées en NO<sub>2</sub> et en PM10 aux stations de mesures du réseau Atmo PACA présentes sur le domaine d'étude ainsi que les indicateurs statistiques associés.



	Aéroport			Cagnes			Pellos
	NO <sub>2</sub>	PM10		NO <sub>2</sub>	PM10		NO <sub>2</sub>
		FOND = Cannes (36µg/m3)	FOND = 30µg/m3		FOND = Cannes (36µg/m3)	FOND = 30µg/m3	
Moyenne simulée	19,01	38,8	32,5	25,88	39,12	33	42,25
Moyenne mesurée	25,48	35,02	35,02	25,66	32,03	32,03	66,94
BIAS	6,46	-3,76	-2,52	-0,22	-7,09	0,97	24,69
RMSE	18,56	16,29		17,77	15,22		41,74
NMSE	0,04	0,01		0,03	0,01		0,01
R <sup>2</sup>	0,39	0,44		0,21	0,51		0,12

Figure 114 – Comparaison des concentrations moyennes annuelles mesurées et simulées aux stations et bilan des indicateurs statistiques

La comparaison des concentrations moyennes annuelles simulées et mesures indique des résultats annuels satisfaisants. On constate toutefois que le modèle a tendance à sous-estimer les niveaux en NO<sub>2</sub> à la station de Nice Aéroport et de Pellos. Ces différences modèle / mesure peuvent être expliquées par les limites de la modélisation au sein de l'agglomération :

- L'environnement direct des stations de mesures n'est pas complètement représentatif des conditions réelles en termes d'émissions (réseau routier secondaire modélisé comme des sources volumiques par exemple ou d'obstacles à la dispersion, ...).
- Les vitesses de vent mesurées à la station de Nice Aéroport sont supérieures aux vitesses de vent qui peuvent être réellement observées sur la ville de Nice. La dispersion calculée avec les vents de la station de l'aéroport est donc accentuée. En l'absence d'autre station météorologique synoptique, les vents de Nice Aéroport ont été utilisées pour les calculs de concentration à l'est de l'agglomération, notamment à Pellos ce qui accentue la sous-estimation du modèle à l'est du domaine.

- Les concentrations en PM10 simulées sont fortement conditionnées par la pollution de fond intégrée au modèle. Les niveaux simulés en PM10 sont légèrement excédentaires par rapport aux niveaux mesurés lorsque la station de fond urbaine de Cannes est utilisée (cf. § Procédures de calage modèle / mesure 4.6). Lorsqu'une pollution de fond moyenne de 30 µg/m<sup>3</sup> est utilisée, les biais du modèle pour les stations de Nice Aéroport et Cagnes sur Mer sont respectivement de 2.5 µg/m<sup>3</sup> et de 1 µg/m<sup>3</sup>.

### COMPARAISON AUX VALEURS REGLEMENTAIRES

Les calculs de dispersion ont permis de déterminer les concentrations et les percentiles réglementaires à 1.5 mètre au-dessus du sol au droit des stations de mesures du réseau Atmo PACA en NO<sub>2</sub>, benzène et PM10.

Le Tableau 14 présente les principales valeurs réglementaires préconisées dans l'article R221-1 du Code de l'Environnement (arrêté du 12 octobre 2007 qui abroge et codifie le décret 2002-213 du 15 février 2002 relatif à la surveillance de la qualité de l'air et de ses effets sur la santé et sur l'environnement, aux objectifs de qualité de l'air, aux seuils d'alerte et aux valeurs limites).

Tableau 14 : Seuils de qualité de l'air préconisés par l'article R221-1 du code de l'environnement

	Type de données	Valeur (µg/m <sup>3</sup> )	Définition
NO <sub>2</sub>	Moyenne annuelle	40	Objectif qualité
	Percentiles 98 horaires	200 (jusqu'au 31 décembre 2009)	Valeurs limites
	Moyenne annuelle	44 (1 <sup>er</sup> janvier au 31 décembre 2008) 40 (au 1 <sup>er</sup> janvier 2010)	
PM10	Moyenne annuelle	30	Objectif qualité
	Moyenne annuelle	40	Valeurs limites
Benzène	Moyenne annuelle	7 (1 <sup>er</sup> janvier au 31 décembre 2008) 5 (au 1 <sup>er</sup> janvier 2010)	Valeur limite
	Moyenne annuelle	2	Objectif qualité

Moyennes annuelles

Le tableau suivant présente une comparaison des concentrations moyennes annuelles mesurées et simulées en NO<sub>2</sub> et PM10 aux seuils réglementaires (les valeurs en gras représentent les dépassements de seuils réglementaires). D'après les valeurs simulées et mesurées :

- l'objectif qualité et la valeur limite de 40 µg/m<sup>3</sup> sont dépassés en NO<sub>2</sub> à la station de Pellos, en revanche, ces seuils réglementaires sont respectés à la station de Cagnes sur Mer et de Nice Aéroport.
- l'objectif qualité de 30 µg/m<sup>3</sup> en PM10 est dépassé à la station de Cagnes sur Mer et de Nice Aéroport, la valeur limite de 40 µg/m<sup>3</sup> en PM10 est respectée.

Tableau 15 : Comparaison des concentrations moyennes annuelles mesurées et simulées aux seuils de qualité de l'air préconisés par l'article R221-1 du code de l'environnement

Station	Polluant	Type	Valeurs réglementaires	Moyennes annuelles (µg/m <sup>3</sup> )	
				Fond = 36 µg/m <sup>3</sup>	Fond = 30 µg/m <sup>3</sup>
Pellos	NO <sub>2</sub>	simulé	40 (objectif qualité)	42.25	42.25
		mesuré	40 (valeur limite au 1 <sup>er</sup> janvier 2010)	66.94	66.94
Cagnes sur Mer	NO <sub>2</sub>	simulé	40 (objectif qualité)	26.10	26.10
		mesuré	40 (valeur limite au 1 <sup>er</sup> janvier 2010)	27.00	27.00
	PM10	simulé	30 (objectif qualité)	39.70	33.00
		mesuré		32.50	32.50
Nice Aéroport	NO <sub>2</sub>	simulé	40 (objectif qualité)	18.44	18.44
		mesuré	40 (valeur limite au 1 <sup>er</sup> janvier 2010)	25.42	25.42
Nice Aéroport	PM10	simulé	30 (objectif qualité)	38.69	33
		mesuré		35.03	35.03
	PM10	simulé	40 (valeur limite)	38.69	33
		mesuré		35.03	35.03

D'après les résultats de la modélisation sur la bande d'étude, l'objectif qualité et la valeur limite de 40 µg/m<sup>3</sup> en moyenne annuelle en NO<sub>2</sub> doit être dépassé sur et à proximité des principaux axes routiers, au niveau du port et localement en centre ville de Nice.

La pollution de fond intégrée dans ADMS étant de 30 µg/m<sup>3</sup> en moyenne annuelle, l'objectif qualité de 30 µg/m<sup>3</sup> en PM10 est atteint sur l'ensemble de la bande d'étude. La valeur limite de 40 µg/m<sup>3</sup> doit être respectée sur les zones les moins urbanisées de l'agglomération mais atteinte voire dépassée sur et à proximité des principaux axes routiers, au niveau du port et localement en centre ville de Nice.

En ce qui concerne le benzène, l'objectif qualité de 2 µg/m<sup>3</sup> est dépassé autour des axes routiers modélisés et ponctuellement sur la ville de Nice. En revanche, la valeur limite de 5 µg/m<sup>3</sup> qui entrera en vigueur en 2010 ne devrait être dépassée qu'à proximité des principaux axes routiers.

■ Percentiles réglementaires

Les valeurs de percentiles horaires du NO<sub>2</sub> (simulés et mesurés) restent inférieures à la valeur limite réglementaire pour les 3 stations (Tableau 16). Les percentiles 98 horaires obtenus à partir des simulations sont supérieurs aux percentiles mesurés pour les 3 stations.

*Tableau 16 : Comparaison des percentiles 98 horaires en NO<sub>2</sub> mesurées et simulées aux seuils de qualité de l'air préconisé par l'article R221-1 du code de l'environnement*

Station	Polluant	Type	Valeurs réglementaires (2008)	Percentiles 98 horaires (µg/m <sup>3</sup> )
Pellos	NO <sub>2</sub>	simulé	200	82.8
		mesuré		150
Cagnes sur Mer	NO <sub>2</sub>	simulé	200	68.6
		mesuré		75
Nice Aéroport	NO <sub>2</sub>	simulé	200	67.2
		mesuré		86

D'après les valeurs de percentiles 98 horaires simulés, la valeur réglementaire de 200 µg/m<sup>3</sup> doit être respectée sur la bande d'étude sauf à proximité immédiate des axes routiers les plus chargés.

### 5.3.2. SYNTHÈSE

Les cartographies des concentrations annuelles en NO<sub>2</sub>, en benzène et en PM10 ont permis de localiser des zones fortement polluées, il s'agit des principaux axes routiers, du centre ville et du port. Le modèle ADMS-Urban restitue correctement les concentrations en NO<sub>2</sub>, en NO<sub>x</sub>, en PM10 pour l'année étudiée sur l'agglomération niçoise, puisque, en moyenne annuelle, les concentrations simulées sont proches des concentrations mesurées aux stations permanentes sauf en centre ville de Nice où les concentrations sont sous-estimées. Par rapport aux seuils réglementaires, les dépassements sont correctement reproduits par le modèle aux stations de mesures.

Compte tenu des résultats précédents, il est alors possible d'exploiter la cartographie des niveaux de NO<sub>2</sub> en moyenne annuelle (cf. Figure 109, page 128). Le croisement du tracé de l'axe (cf. Figure 115) avec la distribution spatiale des concentrations est réalisable. Les figures ci-après représentent la distribution des longueurs de brins du tracé du futur tramway en fonction des valeurs de NO<sub>2</sub>. Ce croisement est effectué pour chaque portion de ligne ainsi que pour le tracé global.

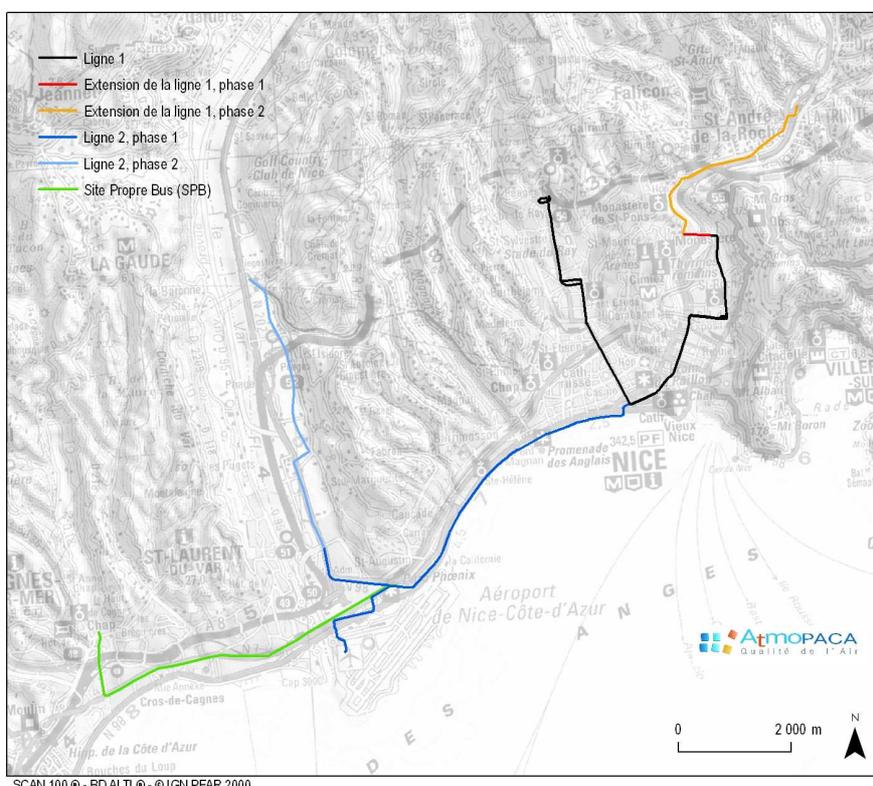


Figure 115 – Tracé des lignes de tramway (projet mars 2009)

● Ligne 1 :

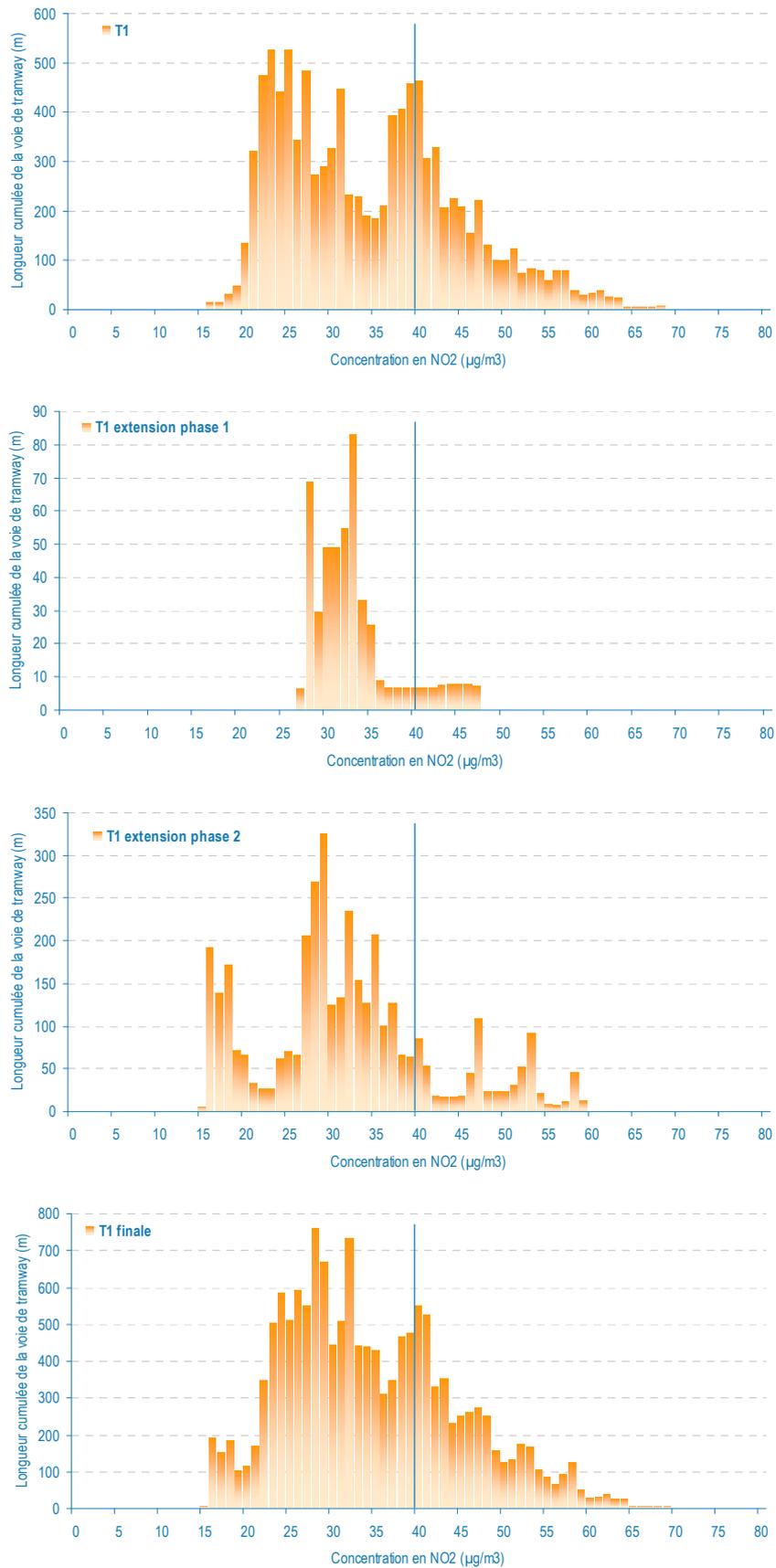
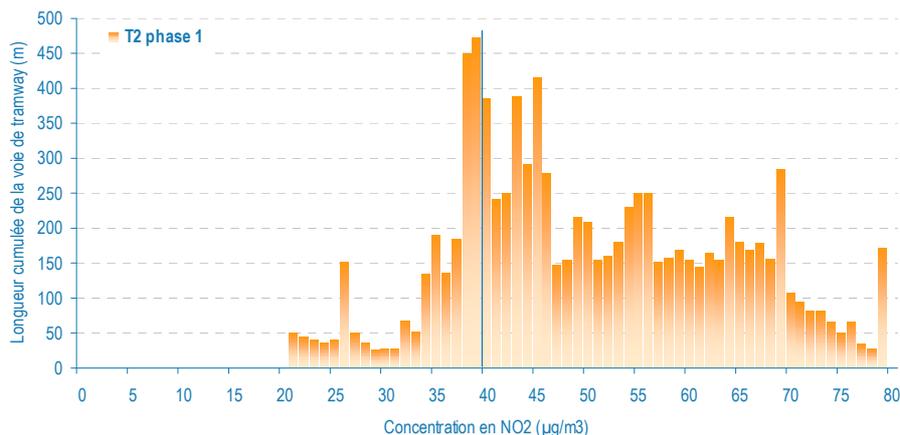
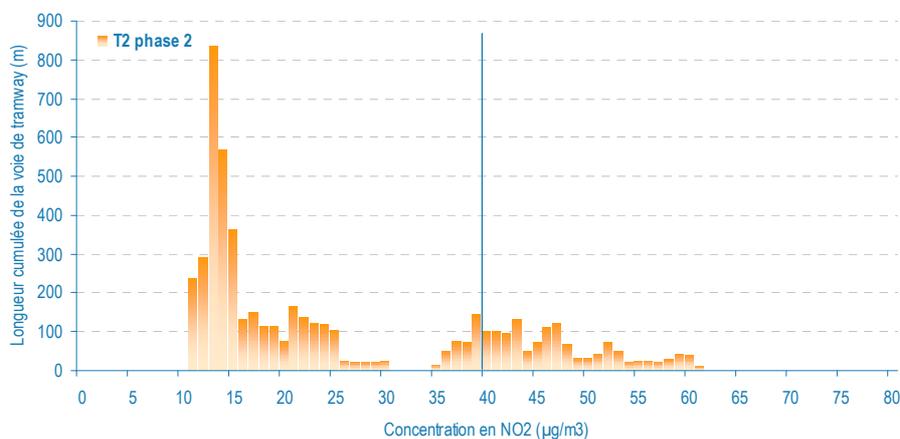


Figure 116 – Ligne 1 - distribution de la longueur cumulée du futur tracé du tramway en fonction des concentrations en NO<sub>2</sub> (moyenne annuelle)

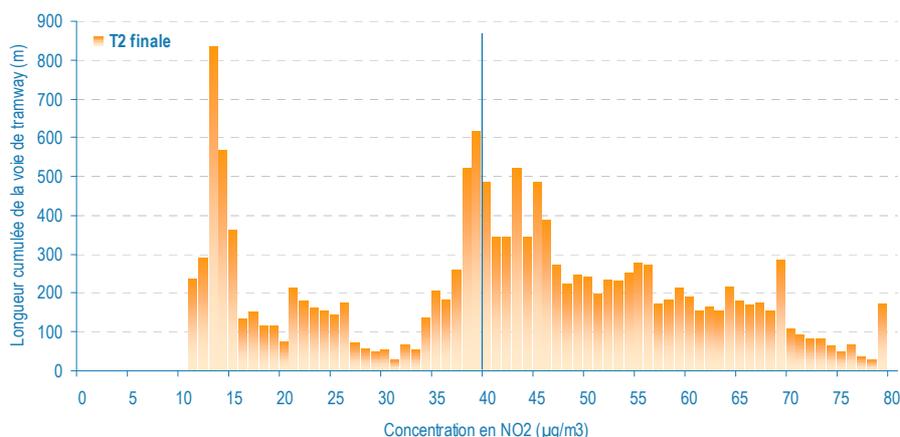
● Ligne 2 :



Sur le tracé de la **ligne 2 phase 1**, (portion la plus littorale), l'état initial de la qualité de l'air conclut à **76%** du tracé présentant des concentrations en NO<sub>2</sub> supérieures au seuil réglementaire de 40 µg/m<sup>3</sup>.



Sur le tracé de la **ligne 2 phase 2**, l'état initial de la qualité de l'air conclut à **25%** du tracé présentant des concentrations en NO<sub>2</sub> supérieures au seuil réglementaire de 40 µg/m<sup>3</sup>.



Sur le tracé global de la **ligne 2**, l'état initial de la qualité de l'air conclut à **58%** du tracé présentant des concentrations en NO<sub>2</sub> supérieures au seuil réglementaire de 40 µg/m<sup>3</sup>.

Figure 117 – Ligne 2 - distribution de la longueur cumulée du futur tracé du tramway en fonction des concentrations en NO<sub>2</sub> (moyenne annuelle)

● Ligne Site Propre Bus (SPB) :

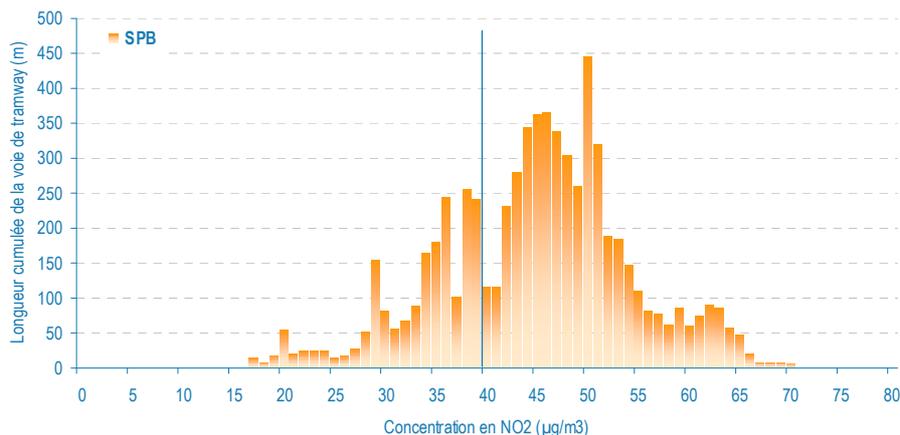


Figure 118 – Ligne SPB - Distribution de la longueur cumulée du futur tracé du tramway en fonction des concentrations en NO<sub>2</sub> (moyenne annuelle)

● Tracé global :

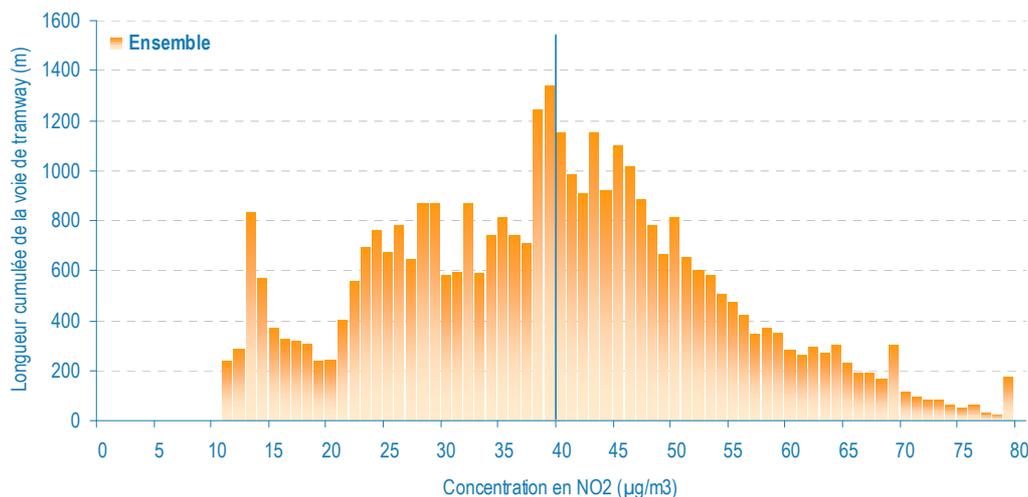


Figure 119 – Tracé global - Distribution de la longueur cumulée du futur tracé du tramway en fonction des concentrations en NO<sub>2</sub> (moyenne annuelle)

En conclusion, ces distributions permettent de calculer le pourcentage d'axes soumis à des concentrations supérieures au seuil réglementaire. Il ressort :

- Sur le tracé de la **ligne 1**, l'état initial de la qualité de l'air conclut à **30%** du tracé présentant des concentrations en NO<sub>2</sub> supérieures au seuil réglementaire de 40 µg/m<sup>3</sup>.
- Sur le tracé de la **ligne 2**, l'état initial de la qualité de l'air conclut à **58%** du tracé présentant des concentrations en NO<sub>2</sub> supérieures au seuil réglementaire de 40 µg/m<sup>3</sup>.
- Sur le tracé de la ligne **SPB**, l'état initial de la qualité de l'air conclut à **71%** du tracé présentant des concentrations en NO<sub>2</sub> supérieures au seuil réglementaire de 40 µg/m<sup>3</sup>.
- Sur la longueur totale du **tracé global**, l'état initial de la qualité de l'air conclut à **50% du tracé présentant des concentrations en NO<sub>2</sub> supérieures au seuil réglementaire de 40 µg/m<sup>3</sup>.**

## 5.4. PERSPECTIVES D'OPTIMISATION DE LA CHAÎNE DE MODELISATION

Les résultats de la présente étude laissent entrevoir des perspectives concrètes d'optimisation de la chaîne de modélisation, notamment dans le cadre d'une utilisation opérationnelle du système. L'étude réalisée souligne une sous-estimation globale des concentrations calculées sur l'est du domaine (centre ville et nord-est de Nice), et les difficultés à reproduire l'intensité d'un certain nombre de pics horaires observés. Cette étude montre aussi l'importance des données météorologiques utilisées en entrée du modèle, et l'impact de ces données sur les résultats. Cette partie porte plus spécifiquement sur la sensibilité de la chaîne de calcul aux conditions météorologiques et propose quelques perspectives d'optimisation. Les tests de sensibilité ont porté plus spécifiquement sur l'influence des composantes du vent (vitesse et direction) et de la hauteur de la couche limite (H), sur les concentrations en NO<sub>x</sub>. Les points suivants illustrent quelques-uns des tests de sensibilité locale réalisés avec les données météorologiques.

Une évaluation de la sensibilité des données de vent sur le calcul des concentrations de NO<sub>x</sub> au niveau de la station temporaire de la Trinité, au nord-est de Nice, a été réalisée. La Figure 120 donne la variabilité temporelle des concentrations de NO<sub>x</sub> simulées (à partir des conditions de vent mesurées à la station Nice Aéroport) et mesurées à la station de la Trinité du 14/03/08 au 19/03/08. Ces résultats sont peu satisfaisants, avec un biais de 37.4 µg/m<sup>3</sup> et une RMSE de 109.1 µg/m<sup>3</sup>.

Les conditions de vent (vitesse et direction) sont différentes entre l'ouest et l'est de l'agglomération : à la station Météo France Nice Aéroport, la vitesse du vent moyenne sur les 5 jours atteint 3.6 m/s, alors qu'une étude en cours à laquelle participe NUMTECH sur le nord-est de Nice met en évidence des vitesses de vent inférieures à 1.7 m/s sur la même période. Des tests ont par ailleurs montré qu'en jouant sur les valeurs de vitesses de vent enregistrées à la station Météo France Nice Aéroport, on peut améliorer de façon significative les résultats : les concentrations de NO<sub>x</sub> simulées avec une vitesse de vent diminuée de 1 m/s, se rapprochent des concentrations mesurées et conduisent à une amélioration des indicateurs statistiques (Figure 120). A l'inverse, une augmentation de la vitesse du vent accroît la sous-estimation du modèle et diminue nettement les performances du modèle. Ce test montre bien que le modèle est fortement sensible aux données météorologiques d'entrée, et souligne l'intérêt d'utiliser des données météorologiques représentatives sur l'ensemble (et notamment l'est) de l'agglomération.

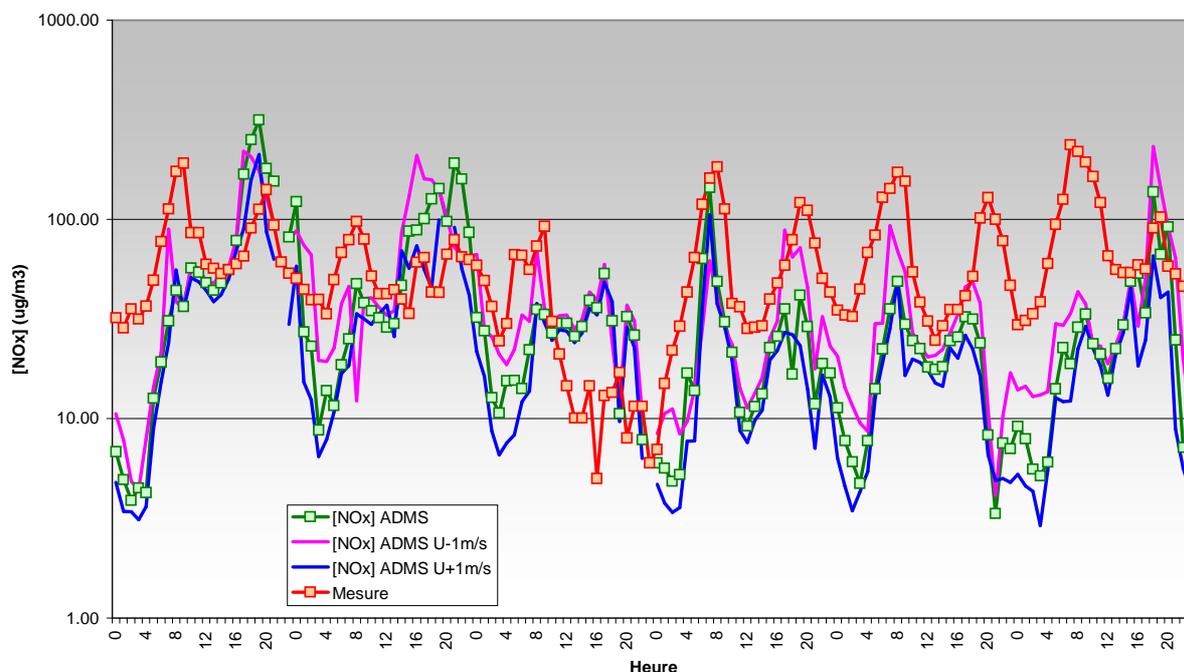


Figure 120 – Comparaison temporelle des concentrations simulées (avec U±1 m/s) et mesurées à la station de la Trinité du 14/03/2008 au 19/03/2008 (météorologie initiale: station de Nice Aéroport)

Dans un second temps, l'influence de la hauteur de la couche limite sur le calcul des concentrations de NO<sub>x</sub> simulées par ADMS a été testée (Figure 121). Pour cela, des calculs de concentrations ont été réalisés avec la hauteur de couche limite H calculée par ADMS à partir des données météorologiques de surface et avec celle issue des valeurs fournies par le modèle MM5 de la plateforme AIREs. Dans le cas de MM5, une valeur minimale de H a par ailleurs été fixée à 100 m.

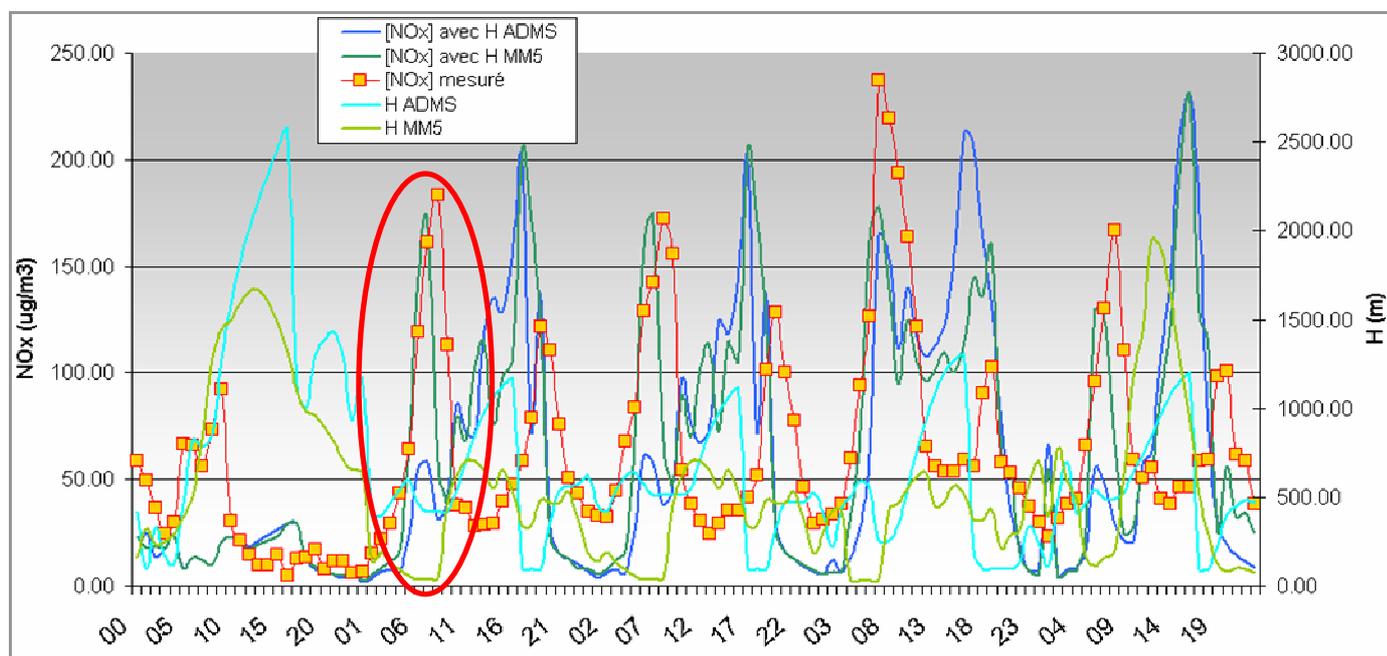


Figure 121 – Evolution temporelle des concentrations de NO<sub>x</sub> (µg/m<sup>3</sup>, axe principal) simulées à la station de la Trinité du 16/03/2008 au 20/03/2008 (heure en abscisse), avec la hauteur de couche limite calculée par MM5 et avec la hauteur de la couche limite calculée par ADMS. L'échelle de la hauteur de couche limite est reportée sur l'axe secondaire.

La hauteur de la couche limite permet de renseigner le modèle sur la structure verticale de l'atmosphère et sur le volume vertical de dilution des émissions. La différence entre les hauteurs de couche limite calculées par MM5 et ADMS peut avoir une incidence significative sur le calcul des concentrations de NO<sub>x</sub>. On note sur la Figure 121 qu'en matinée de la seconde journée, la faible valeur de H fournie par MM5 induit un pic de concentration de NO<sub>x</sub> d'environ 170 µg/m<sup>3</sup>, proche des valeurs observées à la station de la Trinité. En revanche, la hauteur de couche limite recalculée par ADMS oscille pour cet épisode autour de 500 m, ce qui induit des concentrations de NO<sub>x</sub> ne dépassant pas 60 µg/m<sup>3</sup>. Cette différence se reproduit pour d'autres « pics » du matin, alors qu'elle a tendance à se lisser durant les autres périodes de la journée (sensibilité forte dans l'après midi) lorsque la couche de mélange est relativement épaisse et l'atmosphère plus instable.

En conclusion de ces quelques exemples de tests, on retiendra que le vent (vitesse et direction) et la hauteur de la couche limite sont des paramètres particulièrement sensibles pour la chaîne de modélisation. Alors que les données d'observation de la station de Nice Aéroport conduisent à une sous-estimation globale des niveaux de concentration à l'est du domaine (centre ville et nord-est de Nice) et une mauvaise restitution des pics du matin, on voit qu'une information météorologique locale plus réaliste pourrait permettre d'améliorer de façon significative les résultats. Les tests sur la hauteur de couche limite fournie par MM5 (mis en œuvre dans la plate-forme AIREs) semblent très prometteurs. Un travail plus important semble toutefois devoir être mené sur le calcul des champs de vent, les tests menés à partir des données de vent fournies par MM5 n'ayant pas donné entière satisfaction, ce qui reste néanmoins logique compte tenu de la résolution utilisée dans la plate-forme AIREs (de l'ordre de 3 km) et des effets très locaux recherchés ici.

## 6. CONCLUSION GENERALE

Dans le cadre de l'élaboration du dossier d'utilité publique pour l'extension du réseau de lignes de tramway de la communauté d'agglomération de Nice Côte d'Azur (NCA), Atmo PACA a été sollicitée par NCA pour évaluer la qualité de l'air dans le voisinage des lignes du Tram.

Deux campagnes de mesures, entre mars et juillet 2008, ont été réalisées. Ainsi, la variabilité saisonnière permet la reconstitution des valeurs moyennes sur l'année avec une bonne précision. Les polluants évalués sont les principaux indicateurs du trafic automobile : dioxyde d'azote, benzène, particules en suspension, monoxyde de carbone, hydrocarbures aromatiques polycycliques. L'ozone et le dioxyde de soufre ont aussi été mesurés en plusieurs points.

Le **dioxyde d'azote** mesuré sur les 3 sites dépasse la valeur limite annuelle de  $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$  applicable à l'échéance 2010. Il s'agit de la station permanente Nice Pellos mais également des deux laboratoires mobiles : « Nice Wilson » de typologie urbaine et « La Trinité » de typologie périurbaine, avec respectivement 68, 42 et  $41 \mu\text{g}/\text{m}^3$  estimés en moyenne annuelle. Les deux campagnes par capteurs passifs de dioxyde d'azote ont mis en évidence des teneurs élevées sur les zones les plus urbanisées de NCA. Parmi les 159 points échantillonnés en **dioxyde d'azote**, 81 ne respectent pas la valeur limite 2010. Les plus pollués d'entre eux sont proches des axes très fréquentés de « typologie trafic ». Les principaux axes routiers de NCA sont concernés. La plus forte teneur en dioxyde d'azote est relevée sur la Promenade des Anglais au niveau du quartier de Carras avec  $89 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . En revanche, il est intéressant de noter le contraste qui existe entre les zones à forte densité urbaine et les collines de Nice, les hauts de Cagnes-sur-Mer ou de Saint-Laurent-du-Var où les moyennes se situent autour de  $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Ceci souligne une des caractéristiques du territoire où le manque d'espace plat a favorisé la concentration de l'urbanisation sur un espace réduit.

S'agissant des **particules en suspension**, la norme réglementaire a été respectée sur deux des stations fixes de la zone d'étude mesurant les PM10 (Aéroport et Cagnes). Mais elle a été dépassée sur la station industrielle de Peillon avec  $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$  en moyenne annuelle, soit exactement la valeur limite annuelle pour les particules inférieures à  $10 \mu\text{m}$ . Les concentrations moyennes en PM2,5 enregistrées sur les deux moyens mobiles (La Trinité et Wilson) et sur la station de Peillon oscillent autour de la valeur cible annuelle préconisée au niveau national ( $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) avec des valeurs entre 13 et  $16 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

Pour le **benzène**, sur les 80 points échantillonnés, 24 dépassent l'objectif annuel de qualité de  $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . La valeur limite annuelle de  $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$  est, quant à elle, dépassée en un lieu : au niveau de la rue Barla dans le centre de Nice. La plupart des sites qui dépassent l'objectif de qualité sont de typologie trafic. Les sites les plus pollués en benzène sont pour la plupart ceux pollués en dioxyde d'azote. Les axes routiers importants enregistrent les plus fortes valeurs. Tout comme pour le dioxyde d'azote, de forts gradients de concentrations sont observés. La topographie de NCA conditionne un urbanisme contrasté, à l'origine d'une variabilité notoire.

Les concentrations en **ozone** enregistrées par les deux laboratoires mobiles durant la période d'étude sont inférieures au seuil réglementaire ( $180 \mu\text{g}/\text{m}^3/\text{h}$ ). Seule la station de Nice Ouest Botanique n'a pas respecté la norme avec un dépassement du seuil d'information le 29 juin ( $183 \mu\text{g}/\text{m}^3$  à 14h00). Cette même station ne respecte d'ailleurs pas la valeur cible européenne en 2008 (plus de 25 jours  $> 120 \mu\text{g}/\text{m}^3/8\text{h}$  au 31 juillet 2008).

Le **monoxyde de carbone** et le **dioxyde de soufre** enregistrent des teneurs modérées à faibles avec respect des normes.

Parallèlement aux campagnes de mesures, Atmo PACA propose une **modélisation mathématique de la qualité de l'air afin d'obtenir des cartographies haute résolution du  $\text{NO}_2$ ,  $\text{C}_6\text{H}_6$  et PM10** sur la zone d'étude.

Pour ce faire, un calcul complet de l'ensemble des émissions polluantes est réalisé sur le territoire de NCA. Ces émissions sont ensuite intégrées à l'intérieur d'un modèle de dispersion. Le modèle utilisé est ADMS Urban. Les calculs sont confiés à la société NUMTECH. Les périodes été, hiver sont modélisées. Elles servent de phases de calage. Une année complète au pas de temps horaire est ensuite calculée (sept. 2007-sept. 2008).

Les cartographies des concentrations annuelles en  $\text{NO}_2$ ,  $\text{C}_6\text{H}_6$  et PM10 permettent de localiser les zones fortement polluées. Il s'agit des principaux axes routiers, du centre ville et du port. Le modèle ADMS-Urban restitue correctement les concentrations en  $\text{NO}_2$ , en  $\text{NO}_x$ , en PM10 pour l'année étudiée sur l'agglomération niçoise, puisque, en moyenne annuelle, les concentrations simulées sont proches des concentrations mesurées aux stations permanentes sauf en

centre ville de Nice où les concentrations sont sous-estimées. Par rapport aux seuils réglementaires, les dépassements sont correctement reproduits par le modèle aux stations de mesures.

Le croisement entre les cartographies de NO<sub>2</sub> et le tracé linéaire du futur tramway permet d'estimer la qualité de l'air pour l'année 2008. Sur la longueur totale du tracé, l'état initial de la qualité de l'air conclut à **50% du tracé présentant des concentrations en NO<sub>2</sub> supérieures au seuil réglementaire de 40 µg/m<sup>3</sup>.**

Ce résultat justifie pleinement le choix du futur tracé envisagé pour le tramway. Un fort potentiel d'amélioration de la qualité de l'air est donc envisageable en proximité immédiate du tracé. Néanmoins, un report du trafic sur les artères connexes au tracé est prévisible. Une étude d'impact englobant un espace plus large autour de l'axe (un kilomètre de part et d'autre) permettrait de quantifier la pollution à laquelle il faut s'attendre, en intégrant les futurs reports de trafic. En cela, les cartes réalisées par Atmo PACA constituent un état initial et une référence pour la future étude d'impact.

Atmo PACA propose également plusieurs pistes d'amélioration pour la modélisation de la qualité de l'air sur le territoire de NCA. Une utilisation des données météorologiques issues du modèle MM5 de la plateforme interrégionale AIREs est discutée.

En prolongement de la présente étude, Atmo PACA lance, à son initiative, une collaboration avec le bureau d'études Geovariances afin d'améliorer le rendu final cartographique. La correction des cartes modélisées à l'aide des mesures ponctuelles permettra de proposer le meilleur état de l'art possible sur le domaine d'étude.



## 7. PERSPECTIVES : LES FUTURES PLATEFORMES URBAINES AUX SERVICES DES COMMUNAUTES D'AGGLOMERATIONS

Les outils numériques permettent maintenant, à différentes échelles, de prévoir le risque d'épisodes de pollution dans les jours à venir, de cartographier les niveaux de polluants sur un territoire, ou d'estimer l'amélioration de la qualité de l'air si l'on décide de diminuer la vitesse sur route ou de limiter la marche des usines, etc.

Parmi ces nombreuses applications, il en est une qui devient primordiale dans le contexte du développement durable de la société : contribuer aux réflexions relatives à l'aménagement du territoire et aux déplacements en fournissant à la fois des éléments d'évaluation, de prospective et des outils d'aides à la décision aux différents acteurs impliqués.

La Région Provence Alpes Côte d'Azur a été vivement intéressée par l'expérience concluante de cartographie et de modélisation réalisée par Atmo PACA sur l'agglomération de Toulon en 2006 (programme AIRPROCHE, Atmo PACA 2006). Elle a donc souhaité que ce type d'outils puisse être exploité par les collectivités territoriales afin de mettre en œuvre des actions concrètes de réduction de la pollution atmosphérique. La Région PACA s'est alors engagée aux côtés d'Atmo PACA afin d'enrichir les collaborations avec des collectivités soucieuses d'améliorer la situation de la qualité de l'air sur leur territoire.

Un dialogue étroit avec les Communautés d'Agglomération du Pays d'Aix, de Sophia Antipolis et avec le soutien de la Région, a permis de mettre en place plusieurs projets dont les principaux objectifs sont les suivants :

- Cartographie haute résolution de la qualité de l'air sur les territoires de la CPA et de la CASA.
- Cadastre des émissions adapté (haute résolution).
- Elaboration de scénarii de **réduction des émissions** avec une **évaluation de leur impact sur la qualité de l'air** à l'échelle souhaitée et au service de l'aménagement, de l'énergie ou des transports. L'analyse des résultats donne une information sur les efforts à faire pour respecter les normes de qualité de l'air à l'échéance de 2010, et permet d'estimer, par exemple, l'impact des aménagements envisagés en termes d'effet de serre ou de seuils de protection de la santé.
- Mise en place de plateformes urbaines (haute résolution) permettant de fournir des **prévisions à 48h** de la qualité de l'air sur les territoires de la CPA et de la CASA.

La Communauté de Nice Côte d'Azur a sollicité Atmo PACA sur l'étude de la qualité de l'air le long des trajets du futur tramway de Nice ce qui est l'objet du présent document.

Grâce à cette étude, Atmo PACA peut maintenant proposer une aide à la décision personnalisée sur le territoire de NCA comme elle s'est engagée à le faire pour la CPA ou la CASA (Figure 124).

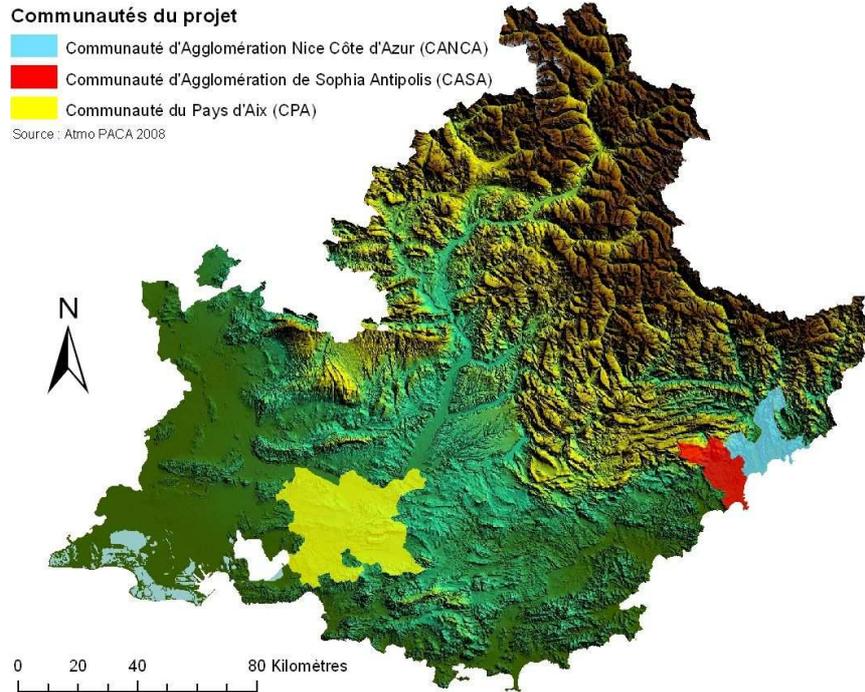


Figure 122 : la région PACA et les communautés d'agglomération CPA, NCA et CASA.

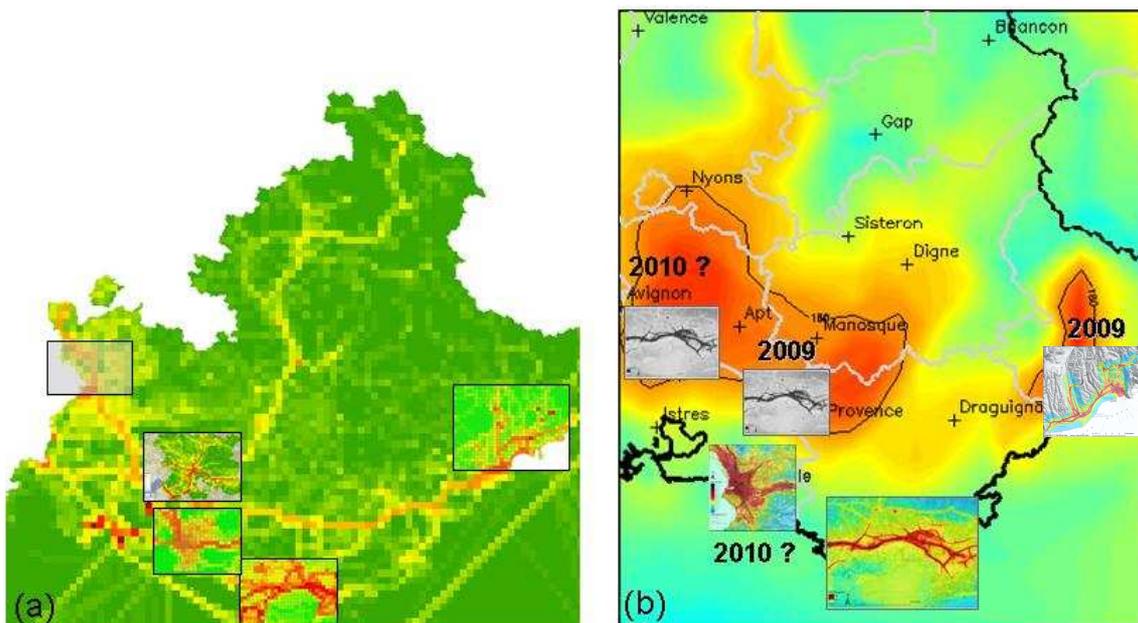


Figure 123 : émissions (a) et immissions (b) en région PACA. Echelle régionale et zoom urbains.

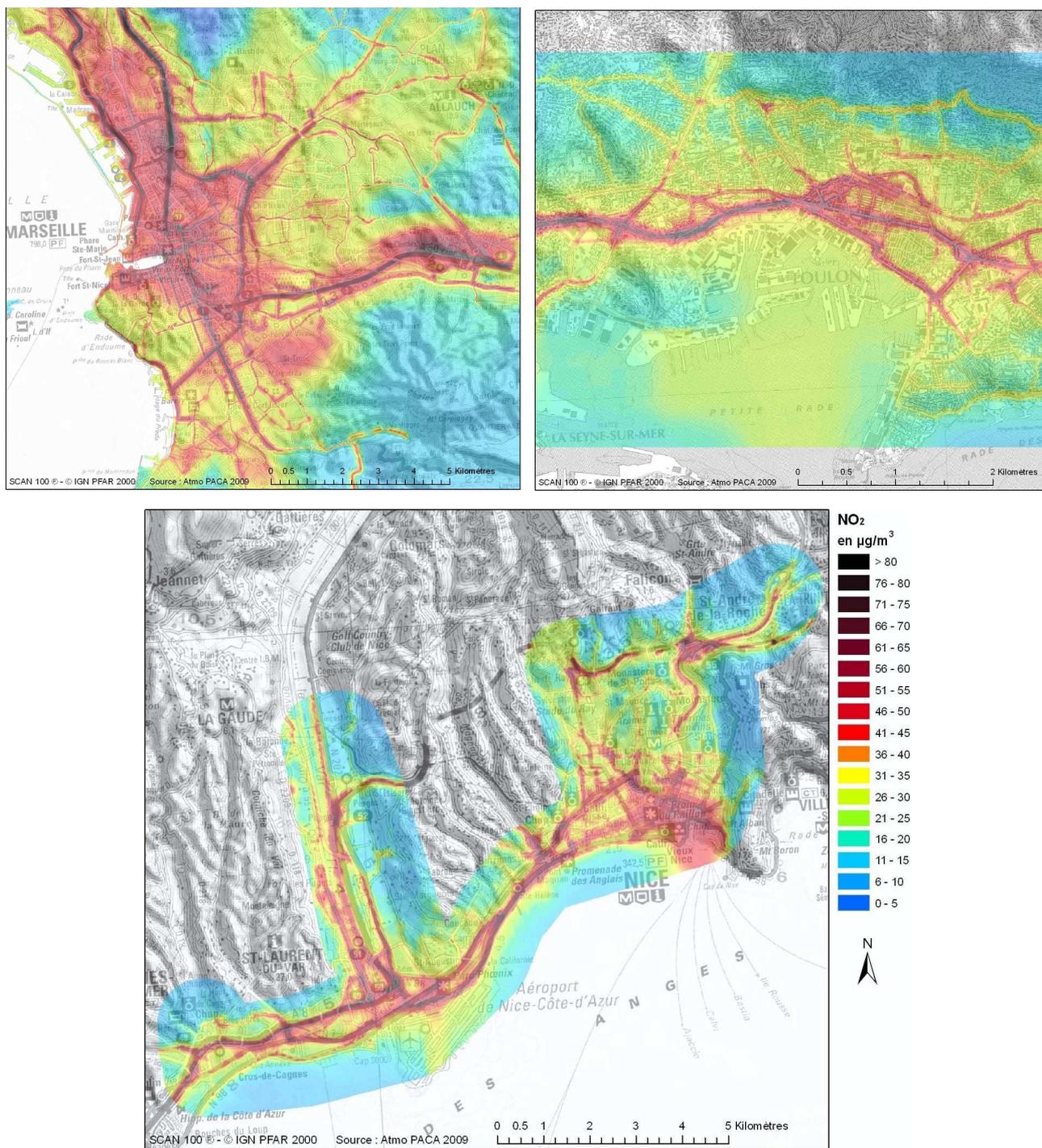


Figure 124 : Comparaison des cartographies haute résolution du NO<sub>2</sub> (µg/m<sup>3</sup>) - Niveaux moyens annuels pour Marseille (2000-2005) (gauche), Toulon(2006) (droite) et Nice (2008) (centre).

## 8. REFERENCES

- ASTEE, Guide pour l'évaluation du risque sanitaire dans le cadre de l'étude d'impact d'une UIOM, Novembre 2003.
- Atmo PACA, 2005 : Plate-forme AIREs : [www.aires-mediterranee.org](http://www.aires-mediterranee.org)
- Atmo PACA, 2006 : AIRPROCHE; cartographie de la pollution à Toulon : approches géostatistiques et déterministes : [http://www.atmopaca.org/files/et/060505\\_AIRPROCHE\\_RMX.pdf](http://www.atmopaca.org/files/et/060505_AIRPROCHE_RMX.pdf)
- Atmo PACA, 2008 : Cartographie sur l'agglomération marseillaise : état 2001 à 2005. [http://www.atmopaca.org/files/et/080730\\_PLO\\_Marseille\\_agglo\\_Carto.pdf](http://www.atmopaca.org/files/et/080730_PLO_Marseille_agglo_Carto.pdf)
- Atmo PACA, 2008: SIMPYC Project: Phase II. Analysis of the territory : Meteorology, Emissions, Modeling : [http://www.atmopaca.org/files/et/071207\\_YCM\\_Simpyc\\_II\\_eng.pdf](http://www.atmopaca.org/files/et/071207_YCM_Simpyc_II_eng.pdf)
- Commission Decision, 2004: 2004/461/CE. Ed. Official Journal of European Union, 30.4.2004 L156/78.
- Commission Decision, 2001: 2001/839/CE. Ed. Official Journal of European Union, 12.4.2001 L319/45.
- Cros, B., P. Durand, H. Cachier, P. Drobinski, E. Fréjafon, C. Kottmeier, P. Perros, J. Ponche, D. Robin, F. Saïd, G. Toupance et H. Wortham, 2004: The ESCOMPTE program: an overview. Atmospheric Research, 69 (3-4), 241-279.
- Directive Européenne CAFE : 2008/50/CE. Ed. Official Journal of European Union, 16.6.2008 L152/1.
- DRIRE-PACA : Arrêté inter préfectoral n° 286 relatif à la procédure d'information et d'alerte du public et à la mise en œuvre progressive de mesures d'urgence en cas de pointe de pollution atmosphérique à l'ozone en région Provence Alpes Côte d'Azur et dans le département du Gard.
- McHugh C., D.J. Carruthers, and H.A. Edmunds, 1997: ADMS-Urban: an Air Quality Management System for Traffic, Domestic and Industrial Pollution, Int. J. Environment and Pollution, 8 (3-6), 437-440.

## 9. LISTE DES TABLEAUX ET FIGURES

### TABLEAUX

Tableau 1 : Calendrier d'utilisation des outils de mesures .....	13
Tableau 2 : Evaluation des niveaux de NO <sub>2</sub> .....	14
Tableau 3 : Mesures en NO <sub>2</sub> des stations fixes Atmo PACA sur la région.....	20
Tableau 4 : Evaluation des niveaux de PM <sub>10</sub> .....	57
Tableau 5 : Evaluation des niveaux de PM <sub>2,5</sub> .....	59
Tableau 6 : Evaluation des niveaux de CO .....	62
Tableau 7 : Evaluation des niveaux d'O <sub>3</sub> .....	65
Tableau 8 : Evaluation des niveaux de SO <sub>2</sub> .....	69
Tableau 9 : Emissions de NCA pour les principaux polluants .....	73
Tableau 10 : Phénomènes physiques pris en compte dans la modélisation .....	84
Tableau 11 : Description des sources pour la modélisation de base.....	99
Tableau 12 : Bilan des indicateurs statistiques en NO <sub>x</sub> et NO <sub>2</sub> calculés aux stations fixes et permanentes du réseau Atmo PACA pour la période hivernale.....	112
Tableau 13 : Bilan des indicateurs statistiques en NO <sub>x</sub> et NO <sub>2</sub> calculées aux stations fixes et à la station permanentes du réseau Atmo PACA pour la période estivale .....	124
Tableau 14 : Seuils de qualité de l'air préconisés par l'article R221-1 du code de l'environnement.....	134
Tableau 15 : Comparaison des concentrations moyennes annuelles mesurées et simulées aux seuils de qualité de l'air préconisés par l'article R221-1 du code de l'environnement.....	135
Tableau 16 : Comparaison des percentiles 98 horaires en NO <sub>2</sub> mesurées et simulées aux seuils de qualité de l'air préconisé par l'article R221-1 du code de l'environnement .....	136
Tableau 17 : Valeurs de longueur minimale de Monin-Obukhov pour des grandes classes de zones urbaine et rurale.....	158

### FIGURES

Figure 1 : Le territoire de NCA .....	7
Figure 2 : Schéma directeur de l'extension du réseau tramway de NCA .....	8
Figure 3 : Localisation des préleveurs actifs .....	10
Figure 4 : Laboratoire mobile .....	10
Figure 5 : DA80 et laboratoire mobile sur la Place Wilson à Nice .....	11
Figure 6 : Présentation des capteurs passifs .....	11
Figure 7 : Positionnement des préleveurs passifs.....	12
Figure 8 : Profils moyens journaliers du NO <sub>2</sub> durant la campagne.....	15
Figure 9 : Répartition horaire du trafic routier, jours ouvrés, période hors estivale, Alpes Maritimes .....	16
Figure 10 : Profils moyens hebdomadaires du NO <sub>2</sub> durant la campagne.....	16
Figure 11 : Evolution journalière du NO <sub>2</sub> durant la campagne.....	17
Figure 12 : Concentrations moyennes en NO <sub>2</sub> , campagnes hivernale et estivale.....	18
Figure 13 : Estimations des moyennes annuelles en NO <sub>2</sub> .....	19
Figure 14 : Régression linéaire du NO <sub>2</sub> pour estimation des concentrations moyennes annuelles.....	20
Figure 15 : Typologie des sites de mesure en NO <sub>2</sub> .....	21
Figure 16 : Répartition des typologies de sites en fonction des estimations annuelles en NO <sub>2</sub> .....	21
Figure 17 : Concentrations hiver et été en NO <sub>2</sub> sur Cagnes-sur-Mer (µg/m <sup>3</sup> ).....	23
Figure 18 : Concentrations hiver et été en NO <sub>2</sub> sur St-Laurent-du-Var (µg/m <sup>3</sup> ) .....	24
Figure 19 : Concentrations hiver et été en NO <sub>2</sub> sur Saint-Augustin (µg/m <sup>3</sup> ) .....	25
Figure 20 : Concentrations hiver et été en NO <sub>2</sub> sur Nikaia (µg/m <sup>3</sup> ).....	26
Figure 21 : Concentrations hiver et été en NO <sub>2</sub> à Carras (µg/m <sup>3</sup> ).....	27

Figure 22 : Concentrations hiver et été en NO <sub>2</sub> à Magnan (µg/m <sup>3</sup> ).....	28
Figure 23 : Concentrations hiver et été en NO <sub>2</sub> sur le Bd Jean Médecin (µg/m <sup>3</sup> ) .....	30
Figure 24 : Concentrations hiver et été en NO <sub>2</sub> sur Barla (µg/m <sup>3</sup> ) .....	31
Figure 25 : Concentrations hiver et été en NO <sub>2</sub> de Pasteur (µg/m <sup>3</sup> ) .....	32
Figure 26 : Concentrations hiver et été en NO <sub>2</sub> de Ariane (µg/m <sup>3</sup> ) .....	33
Figure 27 : Concentrations hiver et été en NO <sub>2</sub> à Saint-Isidore (µg/m <sup>3</sup> ).....	34
Figure 28 : Concentrations hiver et été en NO <sub>2</sub> à Guynemer (µg/m <sup>3</sup> ) .....	35
Figure 29 : Concentrations hiver et été en NO <sub>2</sub> à Baume (µg/m <sup>3</sup> ) .....	36
Figure 30 Evolution journalière des 6 HAP entre le 14/04 et le 17/05 .....	38
Figure 31 : Evolution journalière des 6 HAP entre le 02/07 et le 29/07 .....	38
Figure 32 : Evolution des HAP sur les deux campagnes de mesure.....	39
Figure 33 : Concentrations moyennes en benzène, campagnes hivernale et estivale .....	41
Figure 34 : Estimations des annuelles moyennes en benzène .....	42
Figure 35 : Régression linéaire pour l'estimation des concentrations annuelles des échantillonneurs passifs en BTX.....	43
Figure 36 : Typologies des sites de mesure en benzène .....	44
Figure 37 : Répartition des typologies de sites en fonction des estimations annuelles en benzène.....	44
Figure 38 : Concentrations hiver et été en benzène à Cagnes-sur-Mer (µg/m <sup>3</sup> ).....	45
Figure 39 : Concentrations hiver et été en benzène à St-Laurent-du-Var (µg/m <sup>3</sup> ).....	46
Figure 40 : Concentrations hiver et été en benzène à St-Augustin (µg/m <sup>3</sup> ) .....	47
Figure 41:Concentrations hiver et été en benzène sur le transect Nikaia (µg/m <sup>3</sup> ) .....	48
Figure 42 : Concentrations hiver et été en benzène sur le transect de Carras (µg/m <sup>3</sup> ).....	49
Figure 43 : Concentrations hiver et été en benzène sur le transect Magnan (µg/m <sup>3</sup> ) .....	50
Figure 44 : Concentrations hiver et été en benzène sur Jean Médecin (µg/m <sup>3</sup> ) .....	51
Figure 45 : Concentrations hiver et été en benzène sur le transect de Barla (µg/m <sup>3</sup> ).....	52
Figure 46 : Concentrations hiver et été en benzène sur le transect Ariane (µg/m <sup>3</sup> ).....	53
Figure 47 : Concentrations hiver et été en benzène sur le transect St Isidore (µg/m <sup>3</sup> ) .....	54
Figure 48 : Concentrations hiver et été en benzène sur le transect Guynemer (µg/m <sup>3</sup> ).....	55
Figure 49 : Profils moyens journaliers des PM <sub>10</sub> durant la campagne .....	57
Figure 50 : Profils moyens hebdomadaires des PM <sub>10</sub> durant la campagne.....	58
Figure 51 : Evolution journalière des PM <sub>10</sub> durant la campagne .....	58
Figure 52 : Profils moyens journaliers des PM <sub>2,5</sub> durant la campagne .....	60
Figure 53 : Profils moyens hebdomadaires des PM <sub>2,5</sub> durant la campagne .....	60
Figure 54 : Evolution journalière des PM <sub>2,5</sub> durant la campagne.....	61
Figure 55 : Profils moyens journaliers du CO durant la campagne .....	63
Figure 56 : Profils moyens hebdomadaires du CO durant la campagne .....	63
Figure 57 : Evolution journalière du CO durant la campagne.....	64
Figure 58 : Profils moyens journaliers en O <sub>3</sub> durant la campagne.....	66
Figure 59 : Evolution journalière en O <sub>3</sub> durant la campagne .....	66
Figure 60 : Evolution horaire en O <sub>3</sub> du 28/06/08 au 01/07/08 .....	67
Figure 61 : Cartographies du maximum horaire en ozone prévu le 29 juin 2008 (en µg/m <sup>3</sup> ), région PACA (gauche), zoom Alpes-Maritimes (droite) - Plate forme AIRES : <a href="http://www.aires-mediterranee.org">www.aires-mediterranee.org</a> .....	68
Figure 62 - Part de chaque secteur d'activité dans les émissions de NCA .....	74
Figure 63 - Cadastre kilométrique des émissions de NO <sub>x</sub> sur NCA.....	75
Figure 64 - Cadastre kilométrique des émissions de CO sur NCA.....	76
Figure 65 - Cadastre kilométrique des émissions de CO <sub>2</sub> sur NCA .....	77
Figure 66 - Cadastre kilométrique des émissions de SO <sub>2</sub> sur NCA.....	78
Figure 67 - Cadastre kilométrique des émissions de COVNM sur NCA.....	79
Figure 68 - Cadastre kilométrique des émissions de PM totales sur NCA .....	80
Figure 69 - Localisation des différentes grilles de calcul et de la bande d'étude .....	85
Figure 70 – Localisation de la bande d'étude.....	86
Figure 71 – Localisation des points de grille ADMS (grille régulière et maillage intelligent).....	87

Figure 72 – Localisation des points spécifiques.....	87
Figure 73 – Topographie sur l'agglomération niçoise.....	88
Figure 74 – Localisation des points de grille du modèle MM5/AIRES .....	89
Figure 75 – Roses des vents issues des paramètres mesurés à la station de Nice Aéroport- 6 mars au 2 avril 2008 et 4 juin au 3 juillet 2008 - .....	90
Figure 76 – Rose des vents annuelle issue des paramètres mesurés à la station de Nice Aéroport .....	90
Figure 77 – Visualisation du cadastre kilométrique modélisé .....	93
Figure 78 – Emissions totales en NO <sub>x</sub> (tonnes/an).....	94
Figure 79 – Emissions totales en benzène (tonnes/an).....	94
Figure 80 – Emissions totales en particules (tonnes/an).....	95
Figure 81 – Localisation des grandes sources ponctuelles (GSP) modélisées .....	96
Figure 82 – Réseau routier principal modélisé .....	97
Figure 83 –Spécificité des émissions du réseau routier principal .....	97
Figure 84 – Réseau routier secondaire modélisé.....	98
Figure 85 – Démarche d'optimisation de la chaîne de modélisation pour le calcul des concentrations en NO <sub>x</sub> et de NO <sub>2</sub> .....	101
Figure 86 – Comparaisons des concentrations mesurées et simulées au cours de la période hivernale avant et après le calage de la chaîne de modélisation .....	103
Figure 87 – Concentrations moyennes simulées en NO <sub>2</sub> (µg/m <sup>3</sup> ) au cours de la période hivernale .....	106
Figure 88 – Concentrations moyennes simulées en benzène (µg/m <sup>3</sup> ) au cours de la période hivernale .....	107
Figure 89 – Concentrations moyennes simulées en particules (µg/m <sup>3</sup> ) au cours de la période hivernale (concentration de fond = 28 µg/m <sup>3</sup> ).....	108
Figure 90 – Comparaison des concentrations mesurées et simulées en NO <sub>2</sub> au cours de la période hivernale après le calage de la chaîne de modélisation .....	109
Figure 91 – Comparaison des concentrations simulées et mesurées en NO <sub>2</sub> au droit des tubes passifs et des stations Atmo PACA (période hivernale).....	110
Figure 92 – Comparaison des concentrations mesurées et simulées en benzène au cours de la période hivernale après le calage de la chaîne de modélisation.....	111
Figure 93 – Comparaison des concentrations moyennes mensuelles simulées et mesurées en NO <sub>2</sub> et en NO <sub>x</sub> aux stations fixes et permanentes du réseau Atmo PACA.....	112
Figure 94 – Comparaison des concentrations simulées et mesurées en NO <sub>2</sub> au cours de la période hivernale à la station de Cagnes sur Mer .....	113
Figure 95 – Comparaison des concentrations simulées et mesurées en NO <sub>2</sub> au cours de la période hivernale à la station de Nice Aéroport.....	113
Figure 96 – Comparaison des concentrations simulées et mesurées en NO <sub>2</sub> à la station de Cagnes sur Mer .....	114
Figure 97 – Comparaison des concentrations simulées et mesurées en NO <sub>2</sub> à la station de Nice Aéroport..	114
Figure 98 – Concentrations moyennes simulées en NO <sub>2</sub> (µg/m <sup>3</sup> ) au cours de la période estivale.....	117
Figure 99 – Concentrations moyennes simulées en benzène (µg/m <sup>3</sup> ) au cours de la période estivale.....	118
Figure 100 – Concentrations moyennes simulées en PM10 (µg/m <sup>3</sup> ) au cours de la période estivale. Pollution de fond à l'extérieur du domaine = 30 µg/m <sup>3</sup> .....	119
Figure 101 – Comparaison des concentrations mesurées et simulées en NO <sub>2</sub> au cours de la période estivale après les premiers ajustements du modèle.....	120
Figure 102 – Comparaison des concentrations mesurées et simulées en NO <sub>2</sub> au droit des tubes passifs et stations au cours de la période estivale .....	121
Figure 103 – Comparaison des concentrations mesurées et simulées en benzène au cours de la période estivale après les premiers ajustements du modèle.....	122
Figure 104 – Comparaison des concentrations moyennes mensuelles simulées et mesurées en NO <sub>2</sub> et en NO <sub>x</sub> aux stations fixes et permanentes du réseau Atmo PACA.....	123
Figure 105 – Comparaison des concentrations mesurées et simulées en NO <sub>2</sub> au cours de la période estivale à la station de Cagnes sur Mer .....	124

Figure 106 – Comparaison des concentrations mesurées et simulées en NO <sub>2</sub> au cours de la période estivale à la station de Nice Aéroport.....	125
Figure 107 – Comparaison des concentrations mesurées et simulées en NO <sub>2</sub> à la station de Cagnes sur Mer .....	125
Figure 108 – Comparaison des concentrations mesurées et simulées en NO <sub>2</sub> à la station de Nice Aéroport	126
Figure 109 – Concentrations moyennes annuelles simulées en NO <sub>2</sub> (µg/m <sup>3</sup> ).....	128
Figure 110 – Maillage intelligent et concentrations moyennes annuelles simulées en NO <sub>2</sub> (µg/m <sup>3</sup> ) .....	129
Figure 111 – Percentiles 98 horaires en NO <sub>2</sub> (µg/m <sup>3</sup> ).....	130
Figure 112 – Concentrations moyennes annuelles simulées en benzène (µg/m <sup>3</sup> ) .....	131
Figure 113 – Concentrations moyennes annuelles simulées en PM10 (µg/m <sup>3</sup> ). Pollution de fond à l'extérieur du domaine = 30 µg/m <sup>3</sup> .....	132
Figure 114 – Comparaison des concentrations moyennes annuelles mesurées et simulées aux stations et bilan des indicateurs statistiques.....	133
Figure 115 – Tracé des lignes de tramway (projet mars 2009) .....	137
Figure 116 – Ligne 1 - distribution de la longueur cumulée du futur tracé du tramway en fonction des concentrations en NO <sub>2</sub> (moyenne annuelle).....	138
Figure 117 – Ligne 2 - distribution de la longueur cumulée du futur tracé du tramway en fonction des concentrations en NO <sub>2</sub> (moyenne annuelle).....	139
Figure 118 – Ligne SPB - Distribution de la longueur cumulée du futur tracé du tramway en fonction des concentrations en NO <sub>2</sub> (moyenne annuelle).....	140
Figure 119 – Tracé global - Distribution de la longueur cumulée du futur tracé du tramway en fonction des concentrations en NO <sub>2</sub> (moyenne annuelle).....	140
Figure 120 – Comparaison temporelle des concentrations simulées (avec U±1 m/s) et mesurées à la station de la Trinité du 14/03/2008 au 19/03/2008 (météorologie initiale: station de Nice Aéroport) .....	141
Figure 121 – Evolution temporelle des concentrations de NO <sub>x</sub> (µg/m <sup>3</sup> , axe principal) simulées à la station de la Trinité du 16/03/2008 au 20/03/2008 (heure en abscisse), avec la hauteur de couche limite calculée par MM5 et avec la hauteur de la couche limite calculée par ADMS. L'échelle de la hauteur de couche limite est reportée sur l'axe secondaire. ....	142
Figure 122 : la région PACA et les communautés d'agglomération CPA, NCA et CASA.....	147
Figure 123 : émissions (a) et immissions (b) en région PACA. Echelle régionale et zoom urbains.....	147
Figure 124 : Comparaison des cartographies haute résolution du NO <sub>2</sub> (µg/m <sup>3</sup> ) - Niveaux moyens annuels pour Marseille (2000-2005) (gauche), Toulon(2006) (droite) et Nice (2008) (centre).....	148

# 10. ANNEXE I : ROSE DES VENTS : AEROPORT DE NICE



## ROSE DES VENTS

Vent horaire à 10 mètres, moyenné sur 10 mn

Du 01 JANVIER 1988 au 31 DÉCEMBRE 2007

NICE (06)

Indicatif : 06088001, alt : 2 m., lat : 43°38'54"N, lon : 07°12'30"E

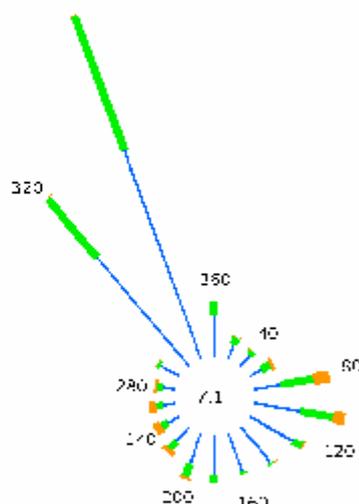
Fréquence des vents en fonction de leur provenance en %

Valeurs trihoraires entre 0h00 et 21h00, heure UTC

Tableau de répartition

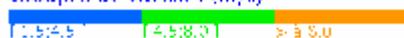
Nombre de cas étudiés : 58312

Manquants : 128

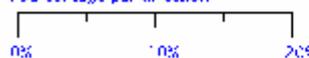


Dir.	[1.5;4.5 [	[4.5;8.0 [	> 8.0 m/s	Total
20	1.1	0.6	+	1.8
40	1.0	0.4	+	1.4
60	1.0	0.7	0.3	2.0
80	2.0	2.4	1.3	5.6
100	3.4	2.5	0.8	6.7
120	3.7	0.7	0.1	4.5
140	3.4	0.2	+	3.6
160	3.0	0.2	+	3.2
180	2.9	0.5	+	3.5
200	2.4	1.0	0.2	3.6
220	1.4	0.7	0.4	2.5
240	1.0	0.5	0.6	2.1
260	0.9	0.5	0.5	1.9
280	0.9	0.4	0.2	1.5
300	1.6	0.2	+	1.9
320	10.4	5.7	+	16.1
340	16.3	10.5	+	26.9
360	2.9	1.1	+	4.1
Total	59.3	28.8	4.8	92.9
[0;1.5 [				7.1

Groupes de vitesses (m/s)



Pourcentage par direction



Dir. : Direction d'où vient le vent en rose de 360° : 90° = Est, 180° = Sud, 270° = Ouest, 360° = Nord  
le signe + indique une fréquence non nulle mais inférieure à 0.1%

Page 1/1

Edité le : 18/11/2008 dans l'état de la base

N.B. : La vente, redistribution ou rediffusion des informations reçues, en l'état ou sous forme de produits dérivés, est strictement interdite sans l'accord de METEO-FRANCE

DIRSE / ETO / CLIMATOLOGIE  
2 Bd Château Double 13098 AIX EN PROVENCE CEDEX 02  
Tél. : 04 42 95 90 00 – Fax : 04 42 95 90 29

## 11. ANNEXE II : PRESENTATION DU MODULE FLOWSTAR

FLOWSTAR est un module développé par le CERC, permettant de calculer les champs de vents et de turbulence dans la couche limite atmosphérique (0-2000 m) en trois dimensions. Ce module prend en compte l'impact du relief et de l'occupation des sols.

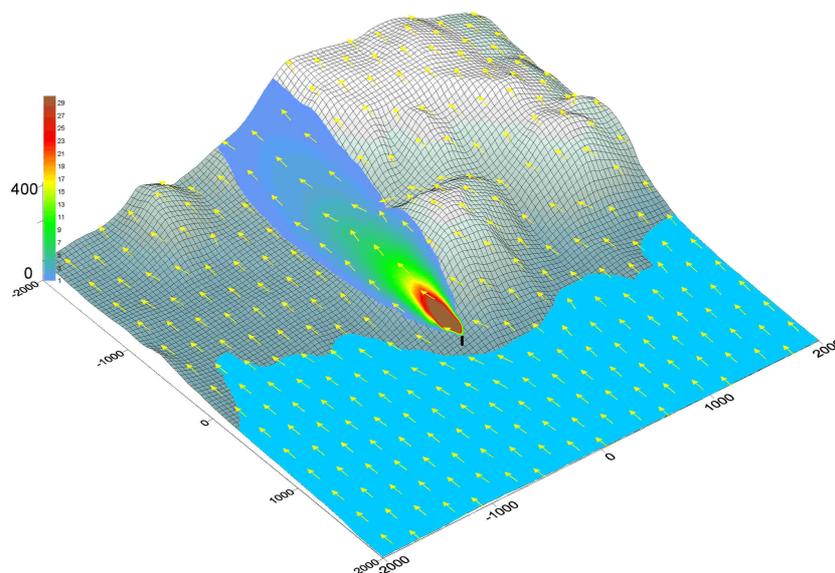
FLOWSTAR est utilisé dans le modèle ADMS développé par le CERC, pour calculer les trajectoires des panaches et la dispersion atmosphérique sur les terrains complexes. Mais ses applications sont plus larges, et concernent le calcul des champs de vent en général : potentiel éolien,...

En entrée, FLOWSTAR a besoin des données de relief du domaine concerné, de l'occupation des sols (rugosité), et de la météo générale du site. Il renvoie en sortie les données de vent et de turbulence sur une grille, aux niveaux d'altitudes spécifiés par l'utilisateur. Ces données peuvent être fournies pour chaque condition météo du fichier *.met* d'entrée, ou peuvent être moyennées.

L'approche utilisée dans FLOWSTAR est dérivée du travail théorique de Jackson<sup>1</sup> et al. Il se base sur l'hypothèse que différents processus contrôlent les flux dynamiques en couches, à différents niveaux au-dessus du sol.

Des validations du modèle (Carruthers<sup>2</sup> et al), ont montré que FLOWSTAR modélisait bien les flux, notamment pour des pentes jusqu'à 1 pour 2 (pentes au vent et sommets de collines) et jusqu'à 1 pour 3 localement dans le sillage des reliefs.

Les échelles spatiales supportées par le modèle vont de quelques dizaines de mètres, à plusieurs kilomètres.

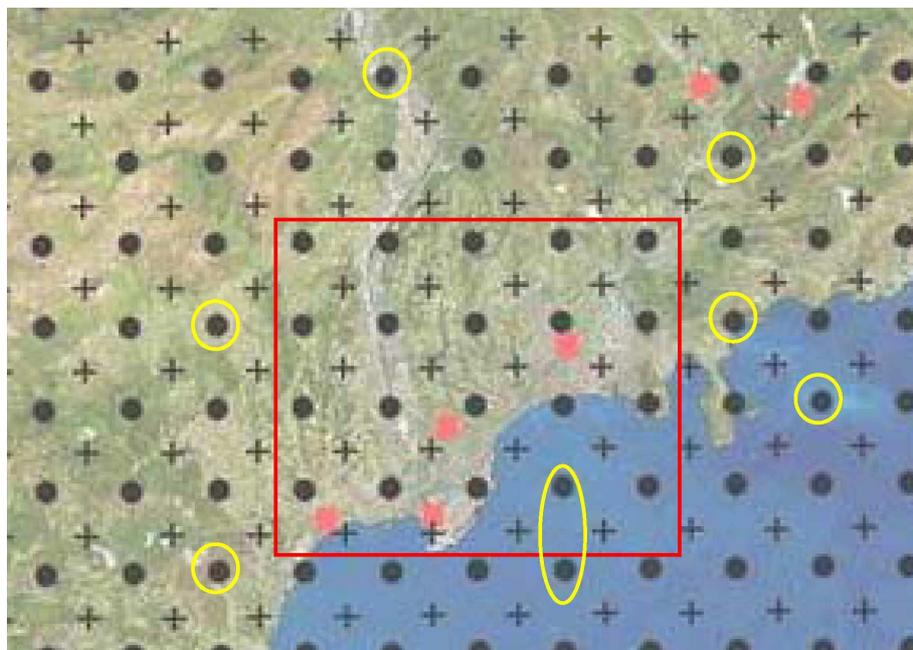


<sup>[1]</sup> P.S. Jackson et J.C.R. Hunt, 1975, *Turbulent wind flow over a low hill*.

<sup>[2]</sup> D.J. Carruthers, J.C.R. Hunt et W. Weng, 1988: Computational model of airflow over hills. FLOWSTAR I. Proc. Of Envirossoft. *Computer Techniques in Environmental Studies*, P. Zanetti, Ed., Springer Verlag.

## 12. ANNEXE III : UTILISATION DES DONNEES DE POLLUTION DE FOND FONCTION DES DIRECTIONS DE VENT

La figure suivante représente la localisation des points de grille de la plate-forme AIREs desquels les concentrations de pollution de fond ont été extraites.



Localisation des points de grille de la plate-forme AIREs

Pour utiliser les données AIREs, le domaine d'étude a été découpé en 2 grandes zones (zone ouest et zone est) sur la figure suivante. Dans chaque zone, on a représenté des roses de vent qui ont permis de choisir l'origine de la pollution de fond des points AIREs/CHIMERE : à l'ouest du domaine, elle est caractérisée par les valeurs de concentrations issues des points E, D, C et G selon la vitesse du vent mesurée par la station Nice Aéroport, alors que sur l'est de la zone les concentrations proviennent des points F, G, A et D selon le secteur de vent issu du modèle MM5.

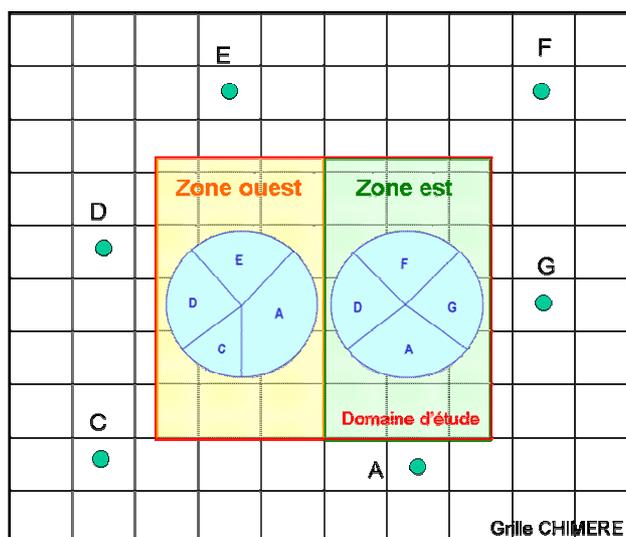


Illustration schématisée pour définir la pollution de fond pour les zones (ouest et est) selon le secteur de vent. Les points de couleur verte représentent les points de grille AIREs/CHIMERE disponibles pour définir la pollution de fond

## 13. ANNEXE IV : DESCRIPTION DES ACTIVITES DEFINIES DANS L'INVENTAIRE DES EMISSIONS

Le tableau suivant décrit le contenu des activités définies par Atmo PACA dans l'inventaire des émissions.

Activité Atmo PACA	Description du contenu des activités
1	Sols mouillés, surfaces en eau, forêts non fertilisés...
2	Traitement des déchets
3	Trafic non routier (maritime, ferroviaire) Agriculture (avec ou sans engrais minéral/organique)
4	Combustion en chaudière
5	Combustion en four
6	Distribution d'essence
7	Combustion en industries chimiques Utilisation de solvants et peinture
8	Combustion en industries chimiques inorganiques et industries métallurgiques
9	Trafic aérien
10	Activités domestiques
11 à 41	Trafic routier selon les classes de voies (autoroute, urbain ou route), selon le type de véhicule (VP, VUL ou PL), et selon le département.

## 14. ANNEXE V : LONGUEUR DE MONIN OBUKHOV

Le pré-processeur météorologique d'ADMS-Urban, est basé sur la théorie de la similitude. Celle-ci repose sur l'utilisation de deux paramètres physiques qui sont :

H : la hauteur de la couche limite

$L_{MO}$  : la longueur de Monin-Obukhov qui est définie par :

$$L_{MO} = \frac{-u_*^3}{\left( \frac{\kappa g F_{\theta 0}}{\rho c_p T_0} \right)}$$

où  $u_*$  est la vitesse de frottement à la surface de la Terre,  $\kappa$  est la constante de Von Karman (0.4),  $g$  est l'accélération due à la gravité,  $F_{\theta 0}$  est le flux de chaleur sensible à la surface,  $\rho$  et  $C_p$  sont respectivement la densité et la capacité calorifique de l'air et  $T_0$  est la température de l'air à la surface.

La longueur de Monin-Obukhov  $L_{MO}$  est définie comme le rapport de deux types de turbulence, l'une d'origine dynamique (due à la friction du vent) et l'autre d'origine thermique (i.e. les mouvements turbulents sont causés par le réchauffement de la surface). Physiquement, la LMO peut être interprétée comme une hauteur :

En conditions instables ou convectives, la longueur de Monin-Obukhov est négative. Sa valeur est la hauteur au-dessus de laquelle la turbulence convective (ou thermique), i.e. les mouvements turbulents causés par la convection thermique, est plus importante que la turbulence mécanique, i.e. la turbulence générée par les frottements du vent à la surface de la Terre.

En conditions stables, la longueur de Monin-Obukhov est positive. Il s'agit alors de la hauteur au-dessus de laquelle le mouvement de turbulence verticale est inhibé par la stabilité de la stratification thermique.

Le pré-processeur météorologique recalcule la hauteur de couche limite  $H$ , et la longueur de Monin-Obukhov  $L_{MO}$  si elles ne sont pas fournies comme données d'entrée.

En zone urbaine, le réchauffement de l'atmosphère lié aux émissions urbaines (formation d'« îlots de chaleur ») a pour effet de limiter la formation de conditions stables, notamment en période nocturne. ADMS permet de prendre en compte cet effet dans les calculs par l'intermédiaire de la longueur minimale de Monin-Obukhov qui peut être fixée par l'utilisateur via l'interface. Cette valeur dépend du type d'agglomération étudiée (Tableau 17).

Typologie de zones urbaines	$L_{MO}$ min (m)
Grandes conurbations (population > 1 million)	100
Cités et grandes villes	30
Zone mi-urbaine, mi-industrielle	30
Petites villes (population < 50000)	10
Rurale	1

Tableau 17 : Valeurs de longueur minimale de Monin-Obukhov pour des grandes classes de zones urbaine et rurale.

Si la longueur de Monin-Obukhov calculée par ADMS est inférieure à la longueur minimale de Monin-Obukhov, alors le flux de chaleur sensible ( $F_{\theta 0}$ ) et la vitesse de friction ( $u_*$ ) sont recalculés en fonction de la longueur minimale de Monin-Obukhov fixée par l'utilisateur, de  $T_0$ , de la hauteur de rugosité et de la vitesse du vent. Ensuite, la hauteur de couche limite est de nouveau estimée à partir de  $F_{\theta 0}$ , de  $u_*$  et de  $T_0$ . Elle prend alors une valeur supérieure à sa première estimation.

## 15. ANNEXE VI : INDICATEURS STATISTIQUES

Il existe de nombreux paramètres statistiques. Certains sont plus adaptés que d'autres à la comparaison de jeux de données temporelles. Cette annexe décrit les paramètres statistiques classiquement les plus utilisés lors de comparaisons modèle / mesures sur des études urbaines.

Cette annexe précise les paramètres permettant la comparaison de deux séries temporelles mesurées et modélisées.

Dans la suite de cette partie, on utilise les notations suivantes :

- $o_i$  : observation au temps  $i$
- $x_i$  : valeur modélisée au temps  $i$
- $N$  : nombre de couple de valeurs

Les termes surmontés d'un trait désignent la moyenne temporelle de la grandeur indiquée.

Les différents paramètres présentés ici permettent de quantifier trois types d'erreur :

- l'erreur systématique, qui détermine si le modèle a tendance à sous-estimer ou sur-estimer globalement la réalité, (ex : le biais)
- l'erreur locale, qui caractérise la « précision » des données du modèle (c'est à dire leur étalement autour de leur moyenne), (ex : NMSE)
- l'erreur totale, qui caractérise la « justesse » globale des données du modèle par rapport à la réalité, (ex : FA2)

Il est intéressant lorsque l'on compare deux jeux de données de pouvoir estimer ces différents types d'erreur. Dans la suite, le type d'erreur que permet de quantifier chaque paramètre est indiqué (certains paramètres n'entrent dans aucune de ces catégories).

Note : Les indicateurs présentés ici sont tous plus ou moins sensibles à un décalage temporel ou spatial des données modélisées. Il en découle que la valeur médiocre d'un indicateur n'implique pas nécessairement une mauvaise restitution du modèle. Il peut être alors judicieux de recalculer la valeur de ces paramètres en décalant la série temporelle modélisée ou en choisissant comme point d'extraction des valeurs simulées en un point proche de la localisation des mesures plutôt qu'au point exact (technique dite « des meilleurs voisins »).

### ▪ Biais

$$B = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N o_i - x_i = \bar{o} - \bar{x}$$

Signification : Le Biais est la moyenne des différences entre observation et modèle. C'est aussi la différence entre la moyenne des données d'observation et celle des données du modèle.

Valeur recherchée : 0

Interprétation des valeurs : B peut être positif ou négatif. Il a la dimension de la quantité étudiée. Une valeur nulle indique que les données d'observations et les données modélisées ont la même moyenne. Le modèle est donc en mesure de bien restituer la valeur moyenne du paramètre considéré. Toutefois les écarts peuvent être ponctuellement ou systématiquement très importants : il suffit que les écarts positifs compensent les écarts négatifs.

Une valeur positive implique, qu'en moyenne, le modèle sous estime la mesure : la moyenne des données issues du modèle est plus faible que celle des données mesurées. Toutefois ponctuellement, le modèle peut donner une valeur supérieure à la mesure.

Une valeur négative implique, qu'en moyenne, le modèle surestime globalement la mesure : la moyenne des données issues du modèle est plus forte que celle des données mesurées. Toutefois ponctuellement, le modèle peut donner une valeur inférieure à la mesure.

Type d'erreur : systématique

- **Ecart type des erreurs**

$$\Delta = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N [(o_i - m_i) - \overline{o - m}]^2}{N}}$$

Signification : Il s'agit de l'écart type des différences calculées entre observation et modèle. Il qualifie donc la variabilité des écarts observation/modèle autour de leur valeur moyenne (c'est à dire le biais).

Valeur recherchée : 0

Interprétation des valeurs :  $\Delta$  est une grandeur positive ou nulle. Il a la dimension de la quantité étudiée. Si  $\Delta$  vaut 0, l'écart entre observation et mesure est constante et égale au biais. Plus  $\Delta$  est grand, plus les écarts entre observations et mesure sont variables.

Si la loi correspondante à la distribution des écarts peut être déterminée, il est alors possible de quantifier la proportion des écarts compris entre 2 bornes données. Par exemple, si cette loi de distribution est la loi normale on pourra dire que 68% des écarts sont compris entre Biais- $\Delta$  et Biais+ $\Delta$  et que 95% des écarts sont compris entre Biais- $2\Delta$  et Biais+ $2\Delta$ . De façon générale, il est possible d'écrire qu'environ 75% des valeurs sont comprises entre Biais- $2\Delta$  et Biais+ $2\Delta$ .

Type d'erreur : locale

- **RMSE (root mean square error)**

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (o_i - x_i)^2}$$

Signification : Il s'agit de la racine carré de la moyenne du carré des écarts entre observation et mesure. Il qualifie l'erreur totale entre observation et mesure. L'interprétation en est généralement délicate car il est difficile de donner un sens concret à cette valeur. Elle donne toutefois une majoration de la moyenne de la différence (en valeur absolue) existante entre observation et mesure.

Valeur recherchée : 0

Interprétation des valeurs : La RMSE est une grandeur positive ou nulle. Elle a la dimension de la quantité étudiée. Si elle est nulle, les valeurs du modèle sont toutes égales aux valeurs observées. Plus la RMSE est grande, plus l'écart entre mesure et observation est grand. La RMSE ne donne toutefois pas d'indication sur la distribution de cette erreur. Une grande valeur de RMSE peut correspondre soit à un biais fort, soit à un écart type des erreurs forts, soit aux deux à la fois.

La valeur de la RMSE donne généralement une estimation, et dans tous les cas une majoration, de la moyenne de la différence (en valeur absolue) existante entre observation et mesure.

Type d'erreur : totale

- **NMSE : Normalised mean square error**

$$NMSE = \frac{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (o_i - x_i)^2}{Norm}$$

Dans cette expression, le terme « Norm » désigne un terme de normalisation. Il se trouve en effet qu'il est susceptible de changer d'une étude à l'autre. L'expression la plus communément admise est la suivante :

$$NMSE = \frac{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (o_i - x_i)^2}{\overline{o.x}}$$

Mais le terme « Norm » peut aussi être remplacé par la moyenne du carré des valeurs mesurées ou par la variance de ces mêmes valeurs.

Signification : Comme la RMSE, ce terme qualifie l'erreur totale existant entre observation et mesure. Il est toutefois normalisé ce qui présente l'avantage de permettre la comparaison des valeurs de ce paramètre obtenu sur des échantillons différents. Ceci permet aussi de pouvoir interpréter la valeur du NMSE sans avoir à se référer aux données considérées : une même valeur de NMSE correspond à peu près au même type d'erreur quel que soit le cas étudié ou l'unité utilisée pour exprimer les grandeurs considérées.

Valeur recherchée : 0

Interprétation des valeurs : La NMSE est une grandeur positive ou nulle. Elle est sans dimension. Si elle est nulle, les valeurs du modèle sont toutes égales aux valeurs observées. Plus la NMSE est grande, plus l'écart entre mesure et observation est grand. La NMSE ne donne toutefois pas d'indication sur la distribution de cette erreur. Une grande valeur de NMSE peut correspondre soit à un biais fort, soit à un écart type des erreurs forts, soit aux deux à la fois.

A noter que l'on calcule parfois plutôt la racine carrée de NMSE afin de se ramener à une grandeur plus facile à interpréter et plus proche du RMSE.

Type d'erreur : totale

- **Biais normalisé ou fractionnel**

$$FB = \frac{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N o_i - x_i}{\frac{1}{2}(\overline{o} + \overline{x})} = \frac{\overline{o} - \overline{x}}{\frac{1}{2}(\overline{o} + \overline{x})} = \frac{B}{\frac{1}{2}(\overline{o} + \overline{x})}$$

Signification : Le biais fractionnel est une normalisation de la valeur du biais. Ceci présente l'avantage de permettre la comparaison des valeurs de ce paramètre obtenues sur des échantillons différents. Ceci permet aussi de pouvoir interpréter la valeur du biais sans avoir à se référer aux données considérées : une même valeur de FB correspond à peu près au même type d'erreur quel que soit le cas étudié ou l'unité utilisée pour exprimer les grandeurs considérées.

Valeur recherchée : 0

Interprétation des valeurs : FB peut être positif ou négatif. Il est sans dimension. Si les valeurs observées et mesurées sont positives ou nulles (comme dans le cas de concentrations), FB est compris entre -2 et 2. Une valeur nulle indique que les données d'observations et les données modélisées ont la même moyenne. Le modèle est donc en mesure de bien restituer la valeur moyenne du paramètre considéré. Toutefois les écarts peuvent être ponctuellement ou systématiquement très importants : il suffit que les écarts positifs compensent les écarts négatifs.

Une valeur positive implique, qu'en moyenne, le modèle sous estime la mesure : la moyenne des données issues du modèle est plus faible que celle des données mesurées. Toutefois ponctuellement, le modèle peut donner une valeur supérieure à la mesure.

Une valeur négative implique qu'en moyenne, le modèle surestime globalement la mesure : la moyenne des données issues du modèle est plus forte que celle des données mesurées. Toutefois ponctuellement, le modèle peut donner une valeur inférieure à la mesure.

Pour une interprétation plus quantitative : l'écart entre les moyennes simulées et mesurées est égal à FB fois la moyenne de la moyenne des données mesurées et de la moyenne des données modélisées.

Type d'erreur : systématique

- **FA2 (Factor of Two)**

Signification : Le FA2 représente la fraction des données simulées qui sont en accord avec les données mesurées à un facteur 2 près c'est à dire telle que :

$$x_i >= 0.5 * o_i \text{ et } x_i <= 2 * o_i$$

Valeur recherchée : 1

Interprétation des valeurs : FA2 est une grandeur comprise entre 0 et 1. Il est sans dimension. Une valeur nulle indique qu'aucune des données modélisées ne se trouve dans l'intervalle cité plus haut. Une valeur égale à 1 implique que les inégalités citées plus haut sont vérifiées pour chacune des valeurs simulées. Elle ne garantit pas une adéquation parfaite entre mesure et observation.

Type d'erreur : totale

- **Coefficient de corrélation linéaire R**

$$R = \frac{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (o_i - \bar{o})(x_i - \bar{x})}{\sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (o_i - \bar{o})^2} \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2}}$$

Signification : Ce paramètre permet de qualifier l'intensité de la liaison linéaire existante entre observation et valeur modélisée. Autrement dit, il évalue s'il existe une fonction affine du type  $x_i = a \cdot o_i + b$  (avec a et b, 2 constantes) permettant une bonne restitution des valeurs des observations  $o_i$ . D'un point de vue graphique, il permet de savoir s'il est possible de tracer une droite constituant une bonne approximation du nuage de points représentant les couples « observations/valeurs modélisées ».

Valeur recherchée : 1 ou -1 (une valeur proche de -1 dénote toutefois un comportement étrange du modèle mais démontre sa bonne capacité de prévision moyennant une correction simple. Ce genre de cas met souvent en évidence une erreur grossière et facilement corrigable au sein du modèle, ou dans le traitement des données).

Interprétation des valeurs : R est toujours compris entre -1 et 1. Si la valeur absolue de R est égale à 1, l'ensemble des valeurs observées peut être calculé à partir des valeurs modélisées par l'application d'une fonction affine (facilement calculable). Autrement dit, il est possible de construire une droite passant exactement par l'ensemble des points correspondant aux couples « observations/valeurs modélisées ». Le signe de R donne alors le signe de la pente de cette droite ou encore le sens de variation de la fonction linéaire reliant observation et modèle : croissante si R est positif, décroissante si R est négatif.

Une valeur égale à 0, implique une absence de liaison linéaire entre les deux séries de données (modélisées et mesurées) c'est à dire qu'il n'existe pas de fonction affine qui, appliquée aux données modélisées, permette une amélioration de l'estimation des valeurs observées.

Les valeurs intermédiaires traduisent une plus ou moins grande importance de la liaison linéaire existante entre les valeurs observées et les valeurs modélisées. Le signe de R donne alors le comportement relatif global des données modélisées et observées : si R est positif, les valeurs modélisées tendent à croître lorsque les valeurs observées croissent. L'inverse se produit lorsque R est négatif.

Pour disposer d'un paramètre permettant une évaluation plus aisée de la qualité de la restitution du modèle, il est possible d'élever la valeur de R au carré. Ce nouveau paramètre, appelé coefficient de détermination, peut en effet être considéré comme donnant la fraction de la variance des données d'observations pouvant être reproduite par le modèle linéaire permettant le meilleur ajustement possible entre données modélisées et données mesurées. Il est donc important de se souvenir qu'il ne s'agit pas de la part de la variance expliquée directement par le modèle dont l'on tente d'estimer les performances.

Type d'erreur : locale

- **Geometric Mean Bias (MG)**

$$MG = \exp[\overline{\ln(o)} - \overline{\ln(x)}]$$

Signification : MG est l'exponentielle du biais calculé à partir des logarithmes népériens des valeurs d'observations et des valeurs modélisées. Il donne le même type d'information que la valeur du biais. Toutefois les propriétés du logarithme font que ce paramètre est influencé par l'écart relatif entre les valeurs et non pas par l'écart brut. Concrètement, pour une même erreur relative, le biais est plus sensible à un écart sur des valeurs fortes que sur des valeurs faibles car la même erreur relative conduira alors à un écart plus grand. MG sera aussi sensible à l'un qu'à l'autre.

Valeur recherchée : 1

Interprétation des valeurs : MG est une grandeur strictement positive. C'est un nombre sans dimension. Une valeur égale à 1 indique que les données d'observations et les données modélisées ont la même moyenne. Le modèle est donc en mesure de bien restituer la valeur moyenne du paramètre considéré. Toutefois les écarts peuvent être ponctuellement ou systématiquement très importants : il suffit que les écarts positifs compensent les écarts négatifs.

Une valeur supérieure 1 implique qu'en moyenne, le modèle sous estime la mesure : la moyenne des données issues du modèle est plus faible que celle des données mesurées. Toutefois ponctuellement, le modèle peut donner une valeur supérieure à la mesure.

Une valeur inférieure à 1 implique, qu'en moyenne, le modèle surestime globalement la mesure : la moyenne des données issues du modèle est plus forte que celle des données mesurées. Toutefois ponctuellement, le modèle peut donner une valeur inférieure à la mesure.

Type d'erreur : systématique

- **VG : Geometric Mean Variance**

$$VG = \exp \left[ \overline{\ln(o) - \ln(x)}^2 \right]$$

Signification : VG est l'exponentielle du carré du RMSE (voir paragraphe 5) calculé à partir des logarithmes népériens des valeurs d'observations et des valeurs modélisées. Il donne le même type d'information que la valeur du RMSE. Toutefois les propriétés du logarithme font que ce paramètre est influencé par l'écart relatif entre les valeurs et non pas par l'écart brut. Concrètement, pour une même erreur relative, le RMSE est beaucoup plus sensible à un écart sur des valeurs fortes que sur des valeurs faibles car la même erreur relative conduira alors à un écart plus grand. VG sera aussi sensible à l'un qu'à l'autre.

Valeur recherchée : 1

Interprétation des valeurs : VG est une grandeur supérieure ou égale à 1. C'est un nombre sans dimension. Si elle est égale à 1, les valeurs du modèle sont toutes égales aux valeurs observées. Plus VG est grand, plus l'écart entre mesure et observation est grand. La VG ne donne toutefois pas d'indication sur la distribution de cette erreur. Une grande valeur de VG peut correspondre soit à un biais fort, soit à un écart type des erreurs forts, soit aux deux à la fois.

Type d'erreur : locale

- **ER : Ecart relatif moyen**

$$ER = \left( \frac{|o_i - x_i|}{\frac{1}{2}(o_i + x_i)} \right)$$

Signification : C'est la moyenne des rapports normalisés des différences calculées entre observation et modèle.

Valeur recherchée : 0

Interprétation des valeurs : L'écart relatif moyen est sans dimension et est positif ou nul. Il apporte une information sur la dispersion des résultats simulés. Plus l'écart relatif est proche de 0, plus la valeur mesurée est proche de l'observation.

Type d'erreur : locale