

Photos CASA

COMMUNAUTE D'AGGLOMERATION SOPHIA— ANTIPOLIS : QUALITE DE L'AIR : MESURES & MODELISATION



RESUME

Le projet « Information et aide à la décision sur le territoire de la communauté d'Agglomération de Sophia-Antipolis » est réalisé en partenariat entre la CASA, la Région PACA et Atmo PACA.

Ce projet consiste à **apporter aux collectivités partenaires des outils d'aide à la décision** en matière de qualité de l'air dans des projets d'aménagement. Techniquement, il s'agit de mettre en place une plate forme de modélisation à l'échelle de la CASA, à partir de laquelle des **prévisions** et des **scenarii** pourront être réalisés sur l'ensemble du **territoire**.

La mise en place de ces outils de modélisation nécessite de nombreuses données d'entrée : données d'émissions, mesures de la qualité de l'air, données météorologiques, notamment. Le modèle simule la dispersion des polluants et les mécanismes chimiques auxquels ils sont soumis sur le territoire. Ces travaux permettent d'aboutir à des cartographies spatialisées.

Ainsi, le premier volet du projet est consacré au calcul du **cadastre d'émissions** et à la réalisation des **campagnes de mesure**. Cette phase « campagne de mesures et inventaire des émissions » est primordiale pour la connaissance et l'évaluation de la qualité de l'air sur l'ensemble des communes de la CASA. Les mesures apportent les points de calage indispensables pour la modélisation. L'échantillonnage a été réalisé en collaboration entre la CASA (en fonction des questions et projets des communes) et les modélisateurs.

La **modélisation** proprement dit, c'est-à-dire la cartographie de la qualité de l'air sur la CASA constitue le second volet du projet.

Ce rapport caractérise la **qualité de l'air sur le territoire de la CASA** par rapport aux normes en vigueur. Il relate les diverses phases du projet ayant conduit à la réalisation des cartographies annuelles de l'ensemble de l'agglomération pour le dioxyde d'azote, le benzène et les particules fines.

Trois aspects sont mis en évidence :

- Les **grands axes routiers** confirment leur impact sur la qualité de l'air. Les niveaux les plus élevés en **dioxyde d'azote et particules** sont observés et/ou estimés à proximité de l'autoroute ou des nationales **dépassant les valeurs réglementaires**.
- **les villes les plus importantes** dont les **axes structurants** et les **centres** ressortent également en dioxyde d'azote, du fait d'un trafic soutenu et de la configuration du bâti favorable à l'accumulation des polluants. Les taux élevés de **benzène**, polluant émis principalement en cas de **faible fluidité du trafic**, sont identifiés sur les axes de bord de mer, ceux menant à la zone d'activité de Sophia-Antipolis ainsi qu'en centre-ville, confirmant les situations de congestion.
- Les villes et villages situés au nord de la CASA affichent des concentrations mesurées et simulées en deçà des valeurs réglementaires pour les trois polluants (dioxyde d'azote, benzène et particules) indiquant une bonne qualité de l'air.

Mots-clef :

Pollution atmosphérique, mesures, inventaire, émissions, cadastre, territoire, CASA, trafic routier, dioxyde d'azote, benzène, modélisation, ADMS-Urban.

Auteurs : Florence Péron, Gaëlle Luneau

Relecteurs : Alexandre Armengaud, Benjamin Rocher

Date de publication : 10/2010
Numéro de projet : 06MAR04I

SOMMAIRE

1. CONTEXTE ET OBJECTIFS	5
2. MESURE DE LA QUALITÉ DE L'AIR.....	6
2.1. CARACTÉRISATION DU TERRITOIRE DE LA CASA.....	6
2.2. STRATÉGIE D'ÉCHANTILLONNAGE.....	6
2.2.1. SENSIBILISATION ET CONCERTATION AVEC LA CASA.....	6
2.2.2. MÉTHODOLOGIE DE L'ÉCHANTILLONNAGE	7
2.2.3. DISPOSITIF DE MESURE, TYPOLOGIE DES SITES	9
2.2.4. CARTES D'ÉCHANTILLONNAGE.....	10
2.3. POLLUANTS MESURES.....	11
2.3.1. DIOXYDE D'AZOTE (NO ₂).....	11
2.3.2. BENZÈNE (C ₆ H ₆), TOLUÈNE ET XYLÈNES.....	12
2.4. RÉSULTATS EN DIOXYDE D'AZOTE POUR L'ANNÉE 2008	13
2.4.1. CARTOGRAPHIES	13
2.4.2. ÉVOLUTION SAISONNIÈRE	17
2.4.3. ÉTUDES DES TRANSECTS.....	19
2.5. RÉSULTATS EN BTEX POUR L'ANNÉE 2008	24
2.5.1. CARTOGRAPHIES DU BENZÈNE	25
2.5.2. CARTOGRAPHIES POUR LE TOLUÈNE, L'ETHYLBENZÈNE ET LES XYLÈNES	29
2.6. CONCLUSIONS DES MESURES	30
3. ÉMISSIONS SUR LE TERRITOIRE DE LA CASA	31
3.1. MÉTHODOLOGIE	31
3.2. SOURCES D'ÉMISSIONS CONSIDÉRÉES / DONNÉES D'ENTRÉE UTILISÉES.....	31
3.3. BILAN D'ÉMISSIONS ET ANALYSE SECTORIELLE	32
3.4. CADASTRES D'ÉMISSIONS	37
4. MODÉLISATION DE LA DISPERSION DES POLLUANTS	39
4.1. MODÈLE ADMS-URBAN	39
4.2. MÉTHODOLOGIE APPLIQUÉE SUR LA CASA	41
4.2.1. PARAMÈTRES DESCRIPTIFS DE LA ZONE	41
4.2.2. INTÉGRATION DES DONNÉES D'ÉMISSION	45
4.3. ÉVALUATION DE LA CHAÎNE DE MODÉLISATION	49
4.3.1. SENSIBILITÉ DE LA MODÉLISATION AUX DONNÉES MÉTÉOROLOGIQUES	50
4.3.2. SENSIBILITÉ DE LA MODÉLISATION À LA DESCRIPTION DE L'ENVIRONNEMENT	50
4.3.3. SENSIBILITÉ DE LA MODÉLISATION À LA POLLUTION DE FOND	51
5. RÉSULTATS – CALAGE DU MODÈLE SUR LES PÉRIODES DE CAMPAGNES.....	52
5.1. CAMPAGNE MARS / AVRIL.....	52
5.1.1. NO ₂	52
5.1.2. C ₆ H ₆ (BENZÈNE).....	55
5.1.3. PM10	58
5.1.4. RESTITUTION TEMPORELLE DES CONCENTRATIONS.....	59
5.2. CAMPAGNE JUIN / JUILLET.....	61
5.2.1. NO ₂	61
5.2.2. C ₆ H ₆	64
5.2.3. PM10	67
5.2.4. RESTITUTION TEMPORELLE DES CONCENTRATIONS.....	68
6. RÉSULTATS – MOYENNE ANNUELLE ET VARIABILITÉ SAISONNIÈRE	70
6.1. NO ₂	70

6.2.	C ₆ H ₆	73
6.3.	PM10	76
6.4.	RESTITUTION TEMPORELLE DES CONCENTRATIONS	78
6.4.1.	COMPARAISON MODÈLE / MESURE AUX STATIONS DE MESURES	78
6.4.2.	COMPARAISON AUX VALEURS RÉGLEMENTAIRES	79
7.	CONCLUSION GÉNÉRALE.....	81
8.	GLOSSAIRE	82
9.	REFERENCES	84
10.	LISTE DES TABLEAUX ET FIGURES	85
11.	ANNEXE	88
11.1.	ANNEXE 1 : TYPOLOGIE ET DESCRIPTION DES ÉQUIPEMENTS DES SITES	88
11.2.	ANNEXE 2 : CONCENTRATIONS 2008 EN DIOXYDE D'AZOTE, PAR COMMUNES	90
11.3.	ANNEXE 3 : CONCENTRATIONS 2008 EN BENZÈNE ET TOLUÈNE, PAR COMMUNE.....	92
11.4.	ANNEXE 4 : CONCENTRATIONS 2008 EN ÉTHYLBENZÈNE ET XYLÈNES, PAR COMMUNE.....	93
11.5.	ANNEXE 5 : MÉTHODE DE RECONSTITUTION DES DONNÉES DES CAMPAGNES	94
11.6.	ANNEXE 6 : PRÉSENTATION DU MODULE FLOWSTAR	98
11.7.	ANNEXE 7: LONGUEUR DE MONIN OBUKHOV.....	99
11.8.	ANNEXE 8 : INDICATEURS STATISTIQUES	100

1. CONTEXTE ET OBJECTIFS

La modélisation de la qualité de l'air sur le territoire de la CASA, dont les résultats sont présentés dans ce rapport, s'inscrit dans le projet « Information et Aide à la Décision sur les territoires de la Communauté d'Agglomération de Sophia-Antipolis ». Cette étape constitue la deuxième phase du projet, suite à la réalisation d'une campagne de mesure. Ce projet est co-financé et réalisé en partenariat entre la Communauté d'Agglomération Sophia-Antipolis (CASA), la Région Provence-Alpes-Côte-d'Azur et Atmo PACA. L'objectif final est la mise en place d'une plateforme de modélisation sur le territoire de la CASA. L'élaboration des *scenarii* d'aide à la décision permettra ensuite d'évaluer l'incidence de projets d'aménagement et d'actions sur la qualité de l'air.

Les étapes de ce projet ont été définies en concertation avec la CASA et ses communes :

- Caractérisation du territoire et cartographie de la pollution atmosphérique :

Cette évaluation de la pollution a été réalisée à partir de deux campagnes de mesure menées en mars-avril et en juin-juillet 2008 sur le territoire de la CASA dont les résultats sont présentés dans la partie 2 « Mesure de la qualité de l'air » ainsi que dans le rapport d'étude intermédiaire « Qualité de l'air sur la Communauté d'Agglomération Sophia Antipolis – Campagnes de mesures et inventaire des émissions ».

- Inventaire d'émissions optimisé :

L'inventaire régional des émissions de polluants a été affiné sur la CASA, notamment grâce à l'intégration de données de trafic routier plus récentes et spatialement plus précises (modèle multimodal des déplacements de l'agglomération azurée de l'ADAAM¹). Les émissions détaillées par commune sont présentées dans la partie 3 « Emissions sur le territoire de la CASA ». Une résolution kilométrique est adoptée pour le calcul du cadastre utilisé pour la phase de dispersion.

- Modélisation de la pollution urbaine :

Les résultats de la phase de modélisation de la pollution sur la CASA sont présentés dans ce rapport. Les cartographies ont été réalisées dans un premier temps sur les périodes des deux campagnes de mesures, afin de caler les résultats du modèle avec les mesures effectuées sur l'agglomération. Dans un second temps, le calcul a porté sur l'intégralité de l'année 2008.

Les cartes seront mises en ligne sur Internet (www.atmopaca.org) au sein d'un espace dédié et / ou pourront être intégrées au Système d'Information Géographique de la CASA.

- Elaboration de scénarii d'évolution de polluants :

Des scénarii de réduction des émissions avec une évaluation de leur impact sur la qualité de l'air sont en cours de définition avec les collectivités concernées. Ils permettront d'évaluer l'impact de nouveaux projets d'aménagements en termes de qualité de l'air.

- Prévision quotidienne de la qualité de l'air sur la CASA :

Une plateforme de modélisation haute résolution sera mise en place sur Antibes et fournira quotidiennement les prévisions aux échéances J, J+1 et J+2 de la qualité de l'air en oxydes d'azote, benzène et particules en suspension.

Ce projet verra sa finalisation en 2011 :

- les résultats des campagnes de mesures et du calcul des émissions détaillé sur la CASA ont été présentés fin 2009 ;
- les cartes de qualité de l'air seront complétées, en 2011, par la mise en œuvre fonctionnelle et journalière de la plateforme de prévision et le calcul de *scenarii* de qualité de l'air.

¹ : ADAAM : Agence de Déplacements et d'Aménagement des Alpes-Maritimes

2. MESURE DE LA QUALITÉ DE L'AIR

2.1. CARACTERISATION DU TERRITOIRE DE LA CASA

Le département des Alpes-Maritimes est un département particulièrement contrasté. L'arrière-pays est constitué majoritairement d'espaces naturels (Parc du Mercantour) alors que la frange littorale est très urbanisée. Cette configuration s'applique aussi au territoire de la CASA : les zones urbanisées sont présentes sur le littoral ainsi qu'à l'ouest, contigu au territoire de la CAPAP (Communauté d'agglomération Pôle Azur Provence). Au nord, l'urbanisation est limitée par le relief et la forêt, qui occupe aussi le centre du territoire (forêt de la Valmasque).

Sur 267 km², le territoire de la CASA s'étend du littoral aux contreforts des Préalpes et regroupe les 16 communes d'Antibes, Le Bar-sur-Loup, Biot, Caussols, Châteaufort-Grasse, La Colle-sur-Loup, Courmes, Gourdon, Opio, Roquefort les Pins, Le Rouret, Saint-Paul, Tourrettes-sur-Loup, Valbonne, Vallauris et Villeneuve-Loubet. Un important réseau routier et autoroutier, reliant les différentes agglomérations du littoral (NCA, CAPAP, CARF, Cannes, etc...) traverse la CASA, faisant ainsi du transport la principale source d'émissions de polluants.

Les 175 000 habitants représentent 16 % de la population du département.

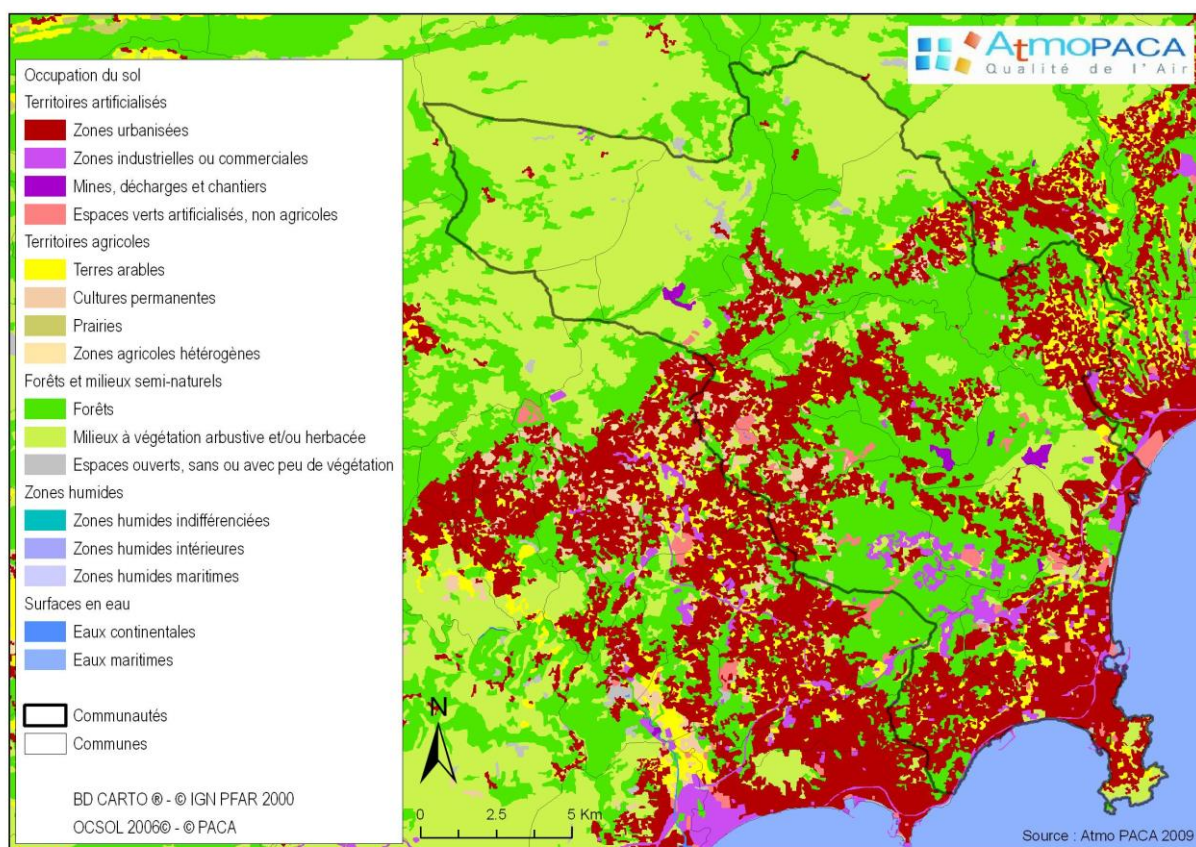


Figure 1 : carte de localisation et d'occupation du sol

2.2. STRATEGIE D'ECHANTILLONNAGE

2.2.1. SENSIBILISATION ET CONCERTATION AVEC LA CASA

Les services de la CASA (Environnement-Déchets, Equipements structurants, Habitat, Transports et Déplacements) ont été sollicités pour participer à des **réunions de sensibilisation** aux questions de qualité de l'air. L'objectif était d'évaluer les besoins des communes et le potentiel d'aide à la décision et d'accompagnement d'Atmo PACA et de la CASA vis à vis d'actions volontaires des communes en termes d'aménagement et d'impact sur l'air. Plusieurs projets ont été identifiés. Le scénario final retenu sera réalisé fin 2010.

2.2.2. METHODOLOGIE DE L'ÉCHANTILLONNAGE

Pour la réalisation des cartographies de la qualité de l'air, trois **échelles de territoire** sont définies, sur lesquelles un échantillonnage spécifique est réalisé.

- A l'échelle du territoire :

Cette échelle permet de disposer essentiellement de mesures rurales pour valider le modèle à ce niveau de définition. Les contributions anthropiques du territoire de la CASA lors des épisodes de pollution à l'ozone ou en dioxyde d'azote peuvent ainsi être évaluées.

- A l'échelle des communes :

L'échantillonnage densifié sur une commune vise à prendre en compte l'hétérogénéité de la qualité de l'air sur le territoire (voies diverses, résidentiel, urbain...).

Sur la commune ou des secteurs communaux, la modélisation sera possible au niveau de la rue ou bien d'un quartier (cartographie haute résolution, analyse sectorielle, parallèle avec la cartographie du bruit...) pour aider les acteurs et les décideurs locaux en matière d'aménagement et de qualité de l'air.

Cet état de la qualité de l'air pourra alimenter le volet air de la Charte de l'Environnement de la CASA. Il permettra aussi d'évaluer et de représenter les différents scénarii du PDU en fonction de l'avancement des actions (le PDU engagé à 0 %, à 50 % et à 100 %, par exemple).

- A l'échelle locale :

Il s'agit de l'échelle de la rue ou d'une voirie quelconque (boulevard, autoroute,...). Le point d'échantillonnage est de typologie « trafic », c'est-à-dire situé à moins de 10 mètres de la voie. Des transects (coupes) sont réalisables : plusieurs points de mesures sont positionnés de part et d'autre de l'axe considéré.

A cette échelle, il est possible d'évaluer des scénarii d'émissions et de qualité de l'air : impact d'une diminution du transit poids lourds, mise en site propre d'une voie de circulation... Certains projets particuliers relatifs aux transports, aux zones d'activités ont déjà été envisagés permettant ainsi de « guider » l'échantillonnage.

La stratégie d'échantillonnage a ainsi été élaborée au regard des différentes échelles d'étude et des projets de la CASA mis en exergue. Les choix des points de mesures, détaillés ci-après, découlent des discussions avec les services.

A L'ÉCHELLE DU TERRITOIRE DE LA CASA

- L'ensemble des communes de la CASA (Périurbain)

Il est nécessaire d'avoir au moins 1 point de mesure par commune. L'objectif de ces mesures étant de caractériser la commune dans son ensemble (fond), les sites de prélèvement sont placés dans les « centres de ville », à une certaine distance des axes circulés.

Exceptions : Deux points de mesures ont été placés sur la commune de la Colle-sur-Loup : un sur le centre village et l'autre pour le projet de création du Parc Relais, sur Les Caillades. Idem pour la commune de Châteauneuf-de-Grasse, un point de mesure pour le centre du village et l'autre sur Pré-du-Lac.

- Cas particulier de la commune d'Antibes (Urbain et Périurbain)

La ville d'Antibes dispose d'ores et déjà de deux stations fixes. Ainsi, les niveaux de NO₂, d'ozone, de PM10, de CO et de benzène sont mesurés en continu. Plusieurs points ont été positionnés pour compléter le maillage préexistant sur la ville.

- La zone d'activités de Sophia-Antipolis (Périurbain)

Des points de mesure ont été placés sur la zone d'activités de Sophia-Antipolis, afin de tenir compte de l'exposition des personnes travaillant sur l'importante zone d'activité de Sophia-Antipolis, mais aussi dans l'objectif de résorber ce point noir routier.

- Caractérisation de la pollution de fond (Rurale)

Pour compléter les points de mesures en milieux périurbain et urbain, quelques points de mesures en milieu rural ont été positionnés pour étudier les phénomènes de pollution dans les milieux naturels. Ces points étant situés en général

en limite de la CASA, ils permettent aussi de contraindre le domaine d'étude pour la réalisation des cartes et des modélisations (conditions aux limites).

- Les infrastructures routières à forte circulation de la CASA (Trafic)

Afin de disposer de quelques mesures à proximité des voies à forte circulation de la CASA, des points de mesures ont été positionnés sur les axes majeurs (A 8, RN 7, RN 98, RD 2085, RD 6007).

AUX ECHELLES COMMUNALE OU INFRA-COMMUNALE

Plusieurs projets ont été énoncés par les différents services de la CASA (Environnement – Déchets, équipements structurants, déplacements et transports) Parmi eux, nombreux aménagements et modifications de la circulation sont prévus dans le cadre du PDU. Certains concernent la fluidité de la circulation afin de résorber les points de congestion routière, via l'utilisation facilitée des transports en commun. D'autres projets s'intéressent aux modifications apportées par la création d'un centre technique ou sont en lien avec la création d'espaces pacifiés (zone 30, zone piétonne ou semi-piétonne).

LES PROJETS IDENTIFIES ET RETENUS POUR L'ECHANTILLONNAGE

Pour un projet particulier un maillage plus dense est retenu. Ces projets concernent des questions plurielles : transports, industries, activités économiques, forte densité de population

- La commune d'Antibes

Des mesures supplémentaires (4 points) seront effectuées autour du futur pôle d'échanges de la gare d'Antibes ainsi que le long des axes de la future ligne de TCSP (Transport en Commune en Site Propre). Le positionnement de 2 points supplémentaires a été réalisé en vue d'autres aménagements possibles.

- La commune de Biot

Cette commune abrite la zone pressentie pour de nouveaux aménagements sur les axes (1 point supplémentaire), notamment le futur échangeur de l'A8, avec des aménagements d'entrée de ville et le long de l'axe poids lourds. 5 points de mesure sont positionnés de part et d'autre de la voie pour réaliser un transect avant réalisation de l'échangeur.

- Commune de La Colle-sur-Loup

Etude urbaine du Malvan : il s'agit d'un projet inter-SCOT entre NCA et CASA, concernant une zone future d'aménagement, probablement pour la création d'un Parc Relais, un point de mesure sera réalisé.

- La commune du Rouret

La commune du Rouret prévoit la création d'une « traversée de village apaisée ». 4 points de mesure supplémentaires seront positionnés de part et d'autre de la voie pour réaliser un transect.

- Commune de Vallauris

La création d'un centre technique Communautaire des déchets est prévue au chemin St Bernard. Celui-ci va générer de la circulation autour du site (150 personnes sur le site, dépôt de bus à terme,...). Pour cette raison, un point supplémentaire a été implanté.

- La commune de Villeneuve-Loubet

Un projet d'éco-quartier est envisagé à Villeneuve-Loubet dans le quartier des Maurettes au travers la création de 800 à 1200 logements sur une superficie de 45 ha (réalisation sous 10 ans). La réalisation d'une piste cyclable est également prévue. Deux mesures supplémentaires sont prévues.

- L'accessibilité de la zone de Sophia-Antipolis

Le Pôle d'activités de Sophia-Antipolis est une composante forte de l'activité économique de la CASA, mais son accessibilité est extrêmement perturbée aux heures de pointe le matin et le soir, à l'origine d'un réel point noir. La cartographie de la CASA doit être un élément clé pour ce suivi. Plusieurs points de mesure ont été placés sur les principaux axes de la zone.

Ainsi, une vingtaine de points de mesure supplémentaires, liés aux différents projets a été considérée.

2.2.3. DISPOSITIF DE MESURE, TYPOLOGIE DES SITES

Pour caractériser l'ensemble du territoire de la CASA sur l'année 2008, deux campagnes de mesures ont été réalisées : une campagne « estivale » en juin-juillet 2008 et une campagne « hivernale » en mars-avril 2008. De même, les données issues des stations fixes, ont également été prises en compte.

Ainsi, différentes techniques de mesure, explicitées ci-dessous, ont été utilisées.

DISPOSITIF DE MESURE POUR LES CAMPAGNES : TUBES A DIFFUSION PASSIVE

Une centaine de points de mesures par échantillonneurs passifs (tubes NO₂ et benzène) vient compléter le dispositif de surveillance des deux stations fixes sur le territoire de la CASA. Ces sites de prélèvements ponctuels implantés de façon à quadriller le territoire de la CASA, permettent de le caractériser, le cartographier et ainsi de disposer d'une évaluation de la qualité de l'air précise.

Les résultats des campagnes hivernale et estivale, chacune constituées de 2 fois 15 jours de mesure, sont extrapolés à l'année 2008 à partir des mesures des analyseurs fixes de la zone d'étude. Des fonctions de régression linéaire permettent ainsi d'obtenir pour chaque site une concentration moyenne représentative de l'année étudiée. La méthodologie complète est explicitée en annexe.

Les concentrations ainsi obtenues peuvent être comparées aux normes annuelles en vigueur et permettre de produire des cartographies annuelles



Figure 2 : tubes à diffusion passive

Afin d'optimiser l'ajustement des données des tubes passifs, les valeurs des stations de l'agglomération urbaine de Nice et des moyens mobiles implantés durant cette période, ont également été prises en compte.

DISPOSITIF DE MESURE POUR LES STATIONS : ANALYSEURS AUTOMATIQUES EN TEMPS REEL

Les deux stations fixes d'Antibes enregistrent en continu, à un pas de temps quart horaire, les concentrations en polluants (cf. Tableau 3). Ces mesures sont les données de référence sur le territoire de la CASA, qui permettent de comparer et valider les concentrations des échantillonneurs passifs.

STATION	ANALYSEURS				TUBES	
	NO ₂	O ₃	PM	CO	NO ₂	BTX
Antibes Guynemer	X			X	X	X
Antibes Jean Moulin	X	X	X		X	X

Tableau 1 : stations de mesures et analyseurs sur la CASA

L'ensemble des données horaires (stations du réseau fixe, moyens mobiles), mensuelles (résultats issus des échantillonneurs passifs) ou annuelles iront alimenter les modèles. Ces données sont cruciales pour la validation de ces derniers.

TYPLOGIE ET DESCRIPTION DES EQUIPEMENTS DES SITES

Se référer au tableau situé en Annexe 1 : typologie et description des équipements des sites

2.2.4. CARTES D'ECHANTILLONNAGE

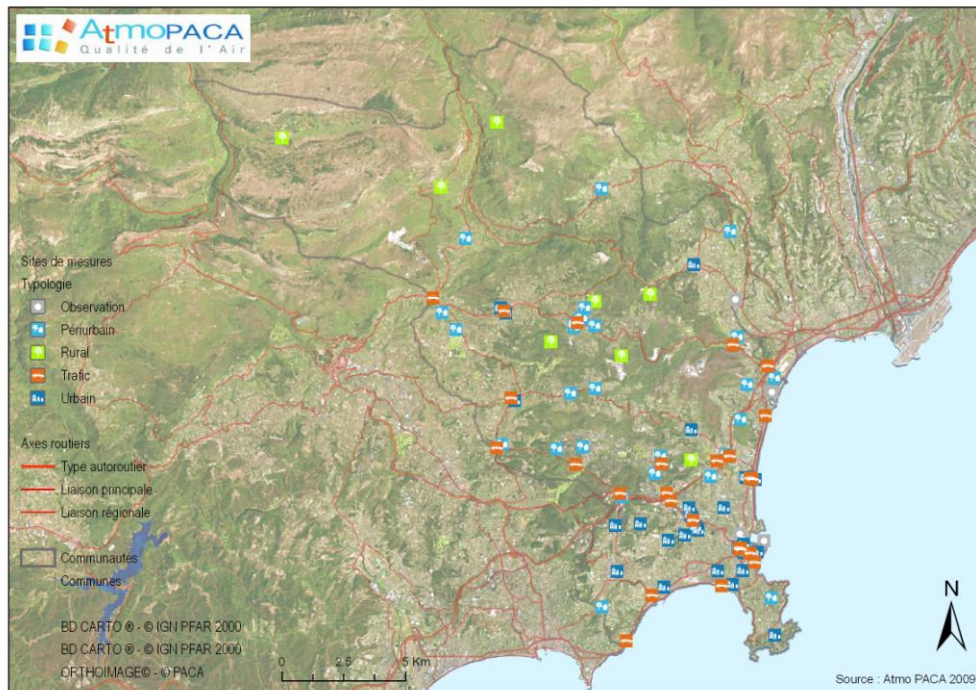


Figure 3 : carte de localisation des sites de mesure (toutes typologies) : observation, périurbaine, rurale, urbaine et trafic

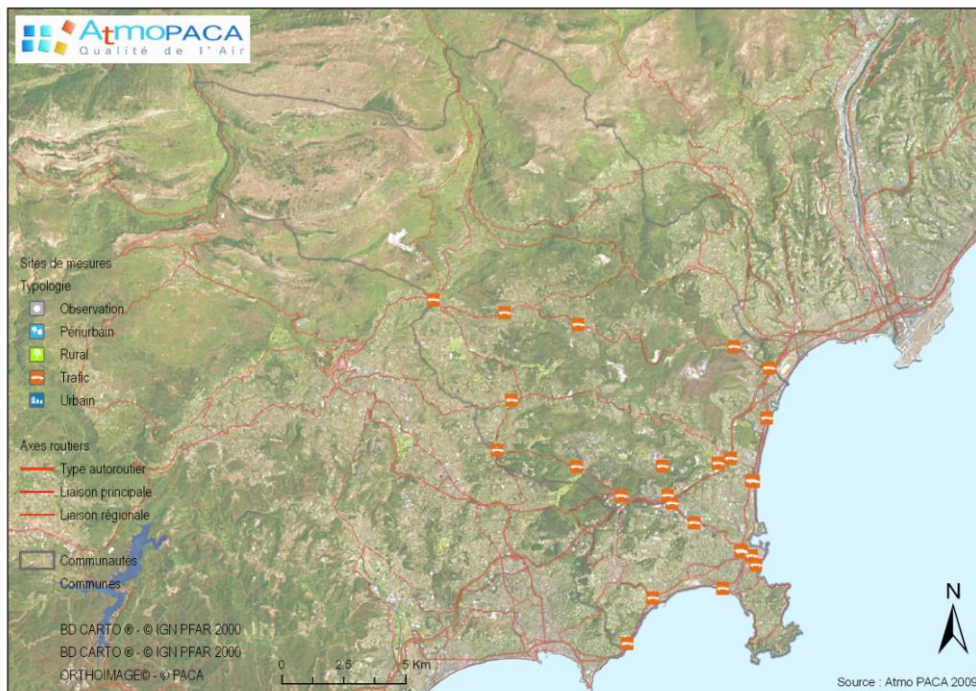


Figure 4 : carte de localisation des sites de mesure de typologie « trafic »

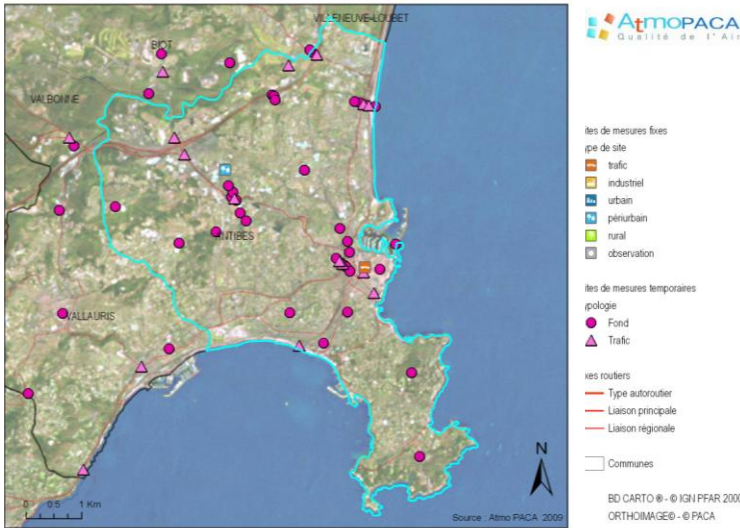


Figure 5 : carte de localisation des sites à Antibes



Figure 6 : carte de localisation des sites à Valbonne

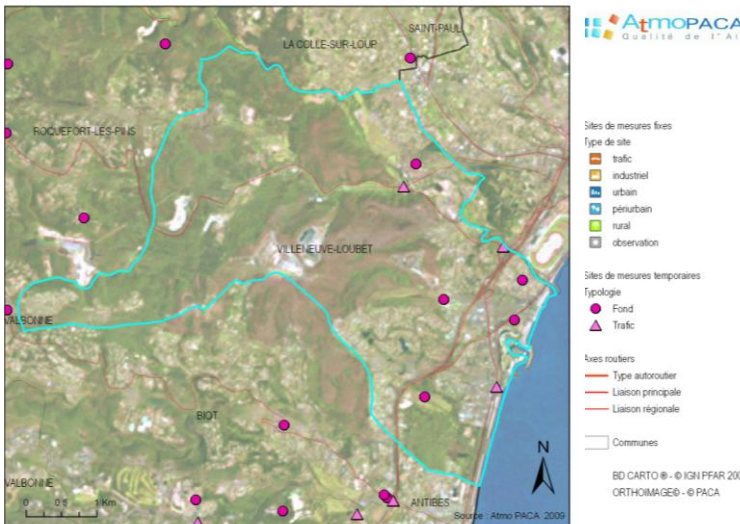


Figure 7 : carte de localisation des sites à Villeneuve-Loubet

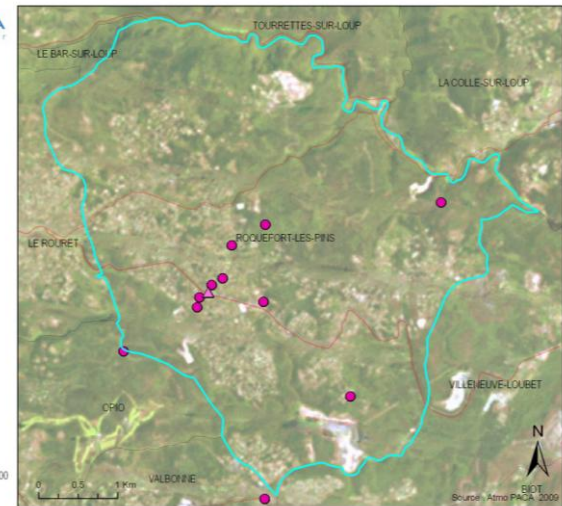


Figure 8 : carte de localisation des sites à Roquefort-les-Pins

2.3. POLLUANTS MESURES

Les polluants mesurés sont essentiellement les indicateurs de la pollution issue du trafic automobile : le dioxyde d'azote, les BTX (Benzène, Toluène et Xylènes). Sont présentés dans ce rapport les résultats des deux campagnes de mesure c'est-à-dire le dioxyde d'azote et le benzène

PARAMETRE PHYSICO-CHIMIQUES

- NO₂ (dioxyde d'azote) traceur de la pollution automobile
- BTX (Benzène, Toluène, Xylènes) traceur de la pollution automobile et industrielle

2.3.1. DIOXYDE D'AZOTE (NO₂)

ORIGINE ET DYNAMIQUE

Le NO₂ (dioxyde d'azote) est un polluant dont l'origine principale est le trafic routier, issu de l'oxydation de l'azote atmosphérique et du carburant lors des combustions à très hautes températures. Le NO (monoxyde d'azote), émis à la sortie du pot d'échappement, est oxydé en quelques minutes en NO₂. Du fait de la rapidité de cette réaction, le NO₂ 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 : situations anticycloniques et inversions thermiques en hiver. 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 occasionnent une altération de la fonction respiratoire chez l'enfant en particulier, une hyper réactivité bronchique chez l'asthmatique et des troubles de l'immunité du système respiratoire.

2.3.2. BENZENE (C₆H₆), TOLUENE ET XYLENES

ORIGINE, DYNAMIQUE ET EFFETS SANITAIRES

BENZENE

Le benzène est un polluant majoritairement issu, en milieu urbain, de la pollution par les 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 monocyclique. 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 du 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 raison de sa toxicité. En France, il est réglementé depuis le 15 février 2002 par le décret n° 2002-213 : un objectif de qualité de 2 µg/m³ en moyenne annuelle a été fixé par ce décret. La valeur limite annuelle est de 10 µg/m³ en 2005 et de 5 µg/m³ à l'échéance 2010.

Le benzène est un toxique, et un cancérigène classé dans le premier groupe. Son impact sur la santé peut se faire soit par exposition aiguë 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 pour une concentration dans l'air de 1 µg/m³, le risque de leucémie vie entière est de 6.10⁻⁶ (soit 6 leucémies supplémentaires pour un million de personnes exposées). L'OMS considère qu'il n'existe pas de seuil limite à l'apparition d'une leucémie (en vigueur depuis 1987).

TOLUENE

Le toluène est produit par la combustion de la matière organique telle que les produits pétroliers, bois, et charbon. Les émissions de véhicule 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 fixe une valeur guide est de 260 µg/m³ pour une semaine d'exposition.

XYLENES

Dans ce rapport, le terme de xylènes désigne l'ensemble des quatre substances : éthylbenzène, 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.

2.4. RESULTATS EN DIOXYDE D'AZOTE POUR L'ANNEE 2008

A partir de la moyenne des deux mois de mesure (été et hiver), une méthode de reconstruction des données par l'application de fonctions de régression est réalisée afin de posséder une concentration moyenne représentative de l'année considérée (2008). La méthodologie est explicitée à l'Annexe 5 : méthode de reconstitution des données des campagnes.

La valeur limite annuelle pour le **dioxyde d'azote** est de $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en 2010.

2.4.1. CARTOGRAPHIES

Toutes les concentrations correspondantes sont regroupées à l'Annexe 2 : concentrations 2008 en dioxyde d'azote, par communes.

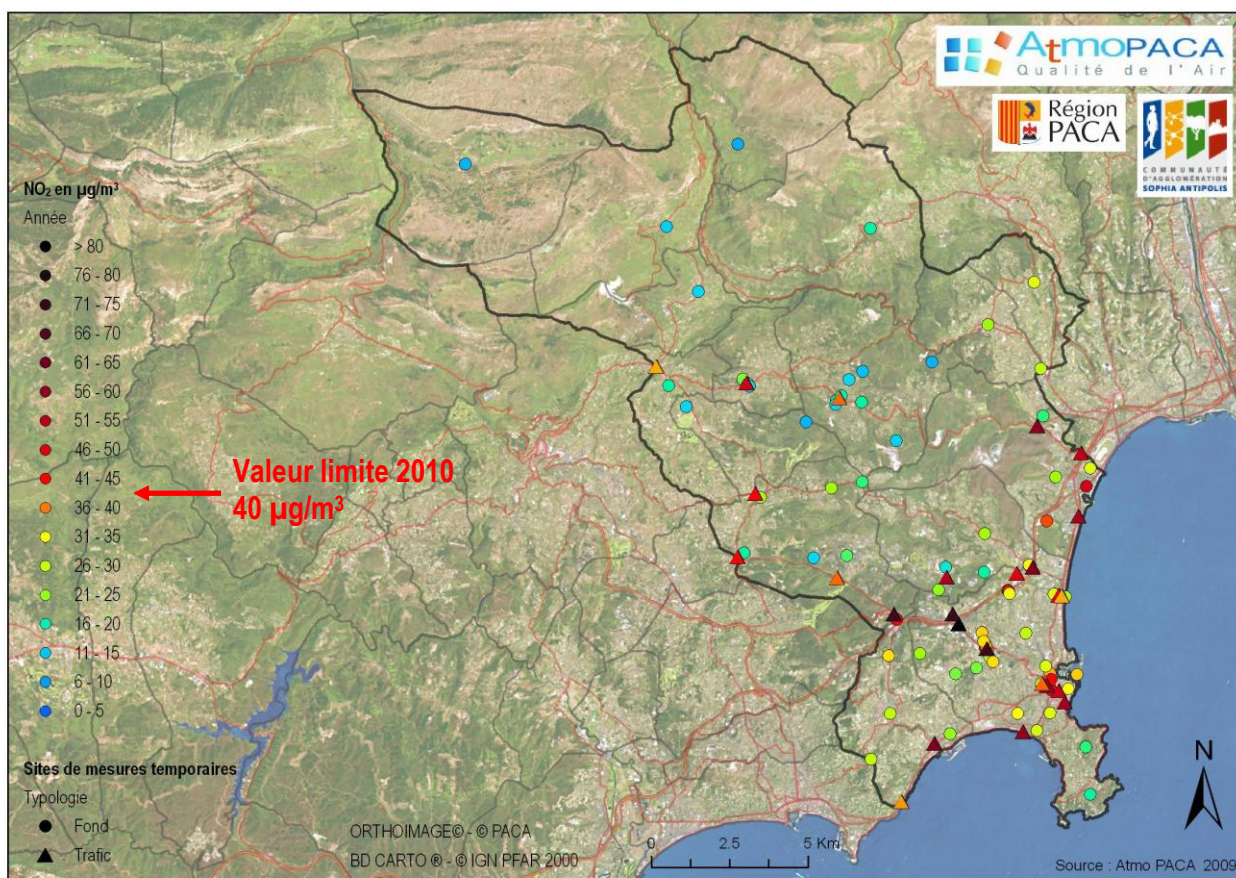


Figure 9 : concentrations annuelles 2008 en dioxyde d'azote

TYPOLOGIE DES SITES EN REGARD DE LA CLASSIFICATION ADEME²

La stratégie d'échantillonnage des 104 sites de mesure de NO₂ a conduit à la répartition suivante :

- 30 sites urbains,

La majorité des sites (29 %) sont de type urbain. Ils sont localisés dans des quartiers densément peuplés (de 3 000 à 4 000 habitants/km²) et à distance de sources de pollution directes mais non de proximité. Ils évaluent la pollution « moyenne ».

- 27 sites périurbains,

Les sites périurbains (26 %) sont situés dans les quartiers extérieurs des villes les plus importantes (Antibes, Villeneuve-Loubet...) dont la densité de population est inférieure à 3 000 habitants/km². Ils se retrouvent également dans les villages ou villes moyennes où le bâti urbain est plus lâche (Valbonne, Roquefort les Pins, ...).

² : ADEME, 2002 – « classification et critères d'implantation des stations de surveillance de la qualité de l'air »

- 25 sites trafic,

24 % des sites sont de type trafic. Implantés à moins de 5 mètres de voies dont le trafic journalier excède 10 000 véhicules/jour, ils permettent de qualifier la qualité de l'air autour des grandes voiries (autoroutes, nationales, ...) ou des ronds-points, et par conséquent l'exposition maximale à laquelle on peut s'attendre en ville par exemple.

- 13 sites d'observation,

13 % des sites sont classés en « observation » c'est-à-dire présentant des configurations particulières n'obéissant pas aux typologies classiques. Certains correspondent à des sites proches d'une voirie très fréquentée mais dont le flux journalier de véhicules reste en dessous des critères de l'ADEME (10 000 véhicules) pour une classification de type « trafic ». D'autres sites sont à peine à plus de 10 mètres d'un axe supportant plus de 10 000 véhicules/jour : c'est le cas aux abords d'autoroutes, dans les transects réalisés. Dans tous les cas, ces sites présentent des concentrations plutôt élevées et s'apparentent à des sites de trafic. Enfin, sont considérés comme « observation » des sites implantés proche de la voie ferrée ou sur le Port d'Antibes.

- 8 sites ruraux,

Les sites ruraux et ceux en limite de domaine (soit 8 %) donnent une information du niveau de fond et servent de « témoins » pour fournir des indications en frontière du domaine d'étude pour la modélisation.

• Aucun site ne présente une configuration de type « industrielle » (sous l'influence d'un secteur industriel et de retombées fréquentes de panaches).

RESULTATS

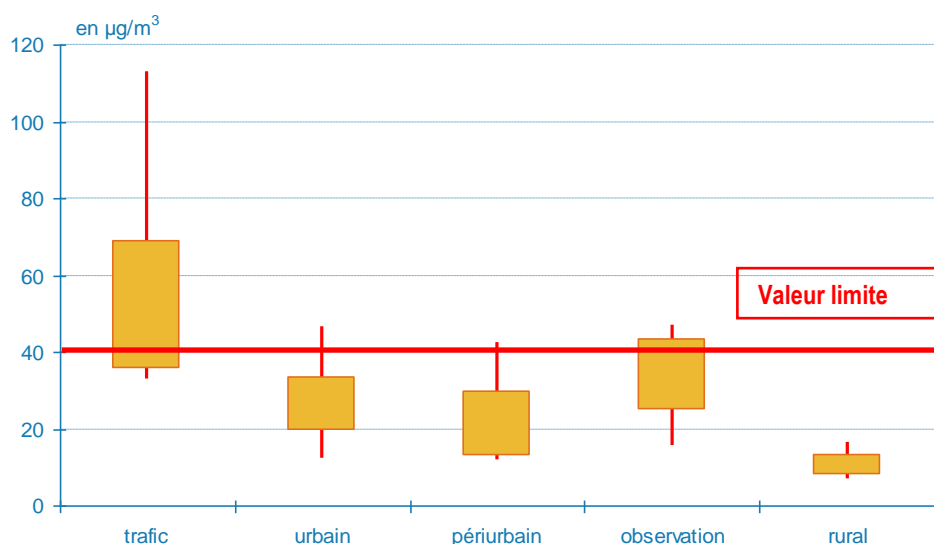


Figure 10 : diagramme en boîtes de Tuckey : données statistiques des valeurs 2008 en NO₂, selon la typologie des sites

La Figure 10 montre la répartition des concentrations de NO₂ selon la typologie de sites. Elle donne une information sur la pollution moyenne : le rectangle orange indique la plage de concentration dans laquelle sont situées 90 % des données. Les valeurs extrêmes (notamment maximum et minimum), donc peu représentatives du comportement de l'ensemble des données, sont représentées par les traits en dehors des boîtes.

Les **données des sites « trafic »** correspondent à l'échantillon de valeurs les plus élevées. Elles évoluent dans une gamme de concentrations plus étendue que celle des autres typologies. Ces variations importantes sont dues à la densité du trafic, à l'encombrement des voies et à la configuration du bâti, qui favorisent l'accumulation du NO₂.

Le maximum observé au rond point des 3 Moulins est particulièrement élevé (113 µg/m³). Il cumule les caractéristiques précédentes et indique un caractère atypique par rapport aux autres points.

Pour les **sites urbains et périurbains**, les concentrations oscillent dans une plage de données plus restreinte que les sites « trafic ». Cela traduit une plus grande homogénéité des teneurs, alors représentatives du niveau moyen en NO₂ des différentes villes. Dans l'ensemble, les concentrations des sites périurbains sont plus faibles que celles des sites urbains. Néanmoins, sur ces deux types de sites, les maxima dépassent la valeur limite pour 2010 et mettent ainsi en évidence quelques points fortement exposés. En effet, en situation urbaine souvent peu ventilée, le NO₂ se concentre et stagne du fait d'un bâti dense.

Les **sites d'observation** regroupent des configurations particulières, soumises à des émissions généralement plus importantes que les sites urbains et périurbains. Les concentrations mesurées se rapprochent de celles des sites trafic mais restent en deçà.

Enfin, les **sites ruraux**, éloignés de toute source de pollution directe, présentent les niveaux les plus faibles (inférieures à $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Leur comportement varie peu selon les sites.

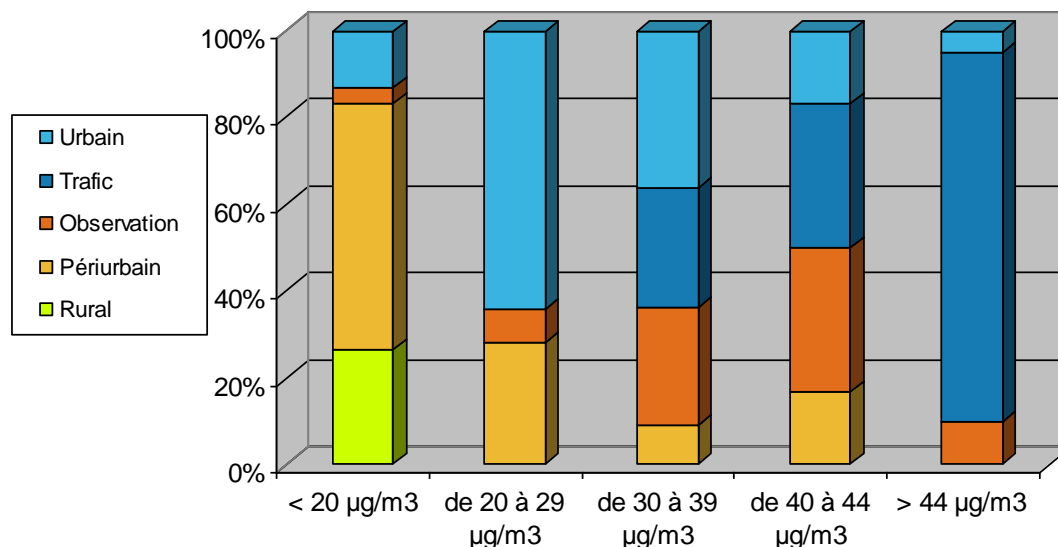


Figure 11 : répartition des typologies des sites en fonction des niveaux de NO₂

Au fur et à mesure que les gammes de concentration augmentent, les sites périurbains et ruraux disparaissent au profit des sites urbains et de trafic.

Afin de faciliter la lecture des résultats, l'analyse des sites est réalisée par intervalles de concentrations et par typologie des sites.

- **20 sites (sur les 104 échantillonnés) ont une concentration annuelle 2008 supérieure à la valeur limite pour le dioxyde d'azote pour l'année 2008, de $44 \mu\text{g}/\text{m}^3$.**

Pour 17 d'entre eux, il s'agit de sites de typologie trafic, sous influence directe de voies de circulation très chargées. Les autres sites (deux d'observation et un urbain) sont situés sur/ou à l'intersection de routes importantes.

- La valeur maximale est enregistrée au **Rond point des 3 Moulins à Antibes** (site n°7), avec $113 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en moyenne annuelle. Ce site menant à l'entrée de la zone de Sophia-Antipolis, montre une exposition quasi permanente à des niveaux particulièrement élevés, aussi bien en hiver qu'en été. En effet, ce rond-point est non seulement soumis au fort trafic lié à la zone d'activités avec une congestion quotidienne, mais il cumule également les émissions issues du trafic autoroutier et du péage d'Antibes, situés à proximité (200 m). Les situations de « bouchons » (environ 100 000 véhicules/jour) favorisent tout particulièrement les fortes concentrations en dioxyde d'azote.

- $69 \mu\text{g}/\text{m}^3$ et $70 \mu\text{g}/\text{m}^3$ sont relevés au rond point de la **zone commerciale** de Super Antibes (site n°95), ainsi que sur la route de Grasse y menant (site n°80). Ces deux sites connaissent un important trafic quotidien (jusqu'à 28 000 véhicules/jour).

- Le site n°14 à la **sortie de la Valmasque** à Valbonne, affiche $68 \mu\text{g}/\text{m}^3$ au niveau de la station service et est également soumis à un trafic important (jusqu'à 20 000 véhicules/jour).

- Des niveaux au-delà de $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ dépassant la valeur limite annuelle sont observés sur les **ronds-points** en raison de la faible vitesse de circulation et de la congestion prédominante:

- avenue des plans à Villeneuve-Loubet (site n°99) avec $57 \mu\text{g}/\text{m}^3$,
- avenue de l'Estérel à Juan-les-Pins (site n°87) avec $54 \mu\text{g}/\text{m}^3$,
- carrefour des Chappes à Biot (site n°17) avec $51 \mu\text{g}/\text{m}^3$

- 44 à $58 \mu\text{g}/\text{m}^3$ sont enregistrés près des **axes structurants** avec d'importants trafics (supérieurs à 20 000 véhicules/jour) :

- avenue Clément Massier à Golfe-Juan (site n°13) et route de Biot à Antibes (site n°92) avec $58 \mu\text{g}/\text{m}^3$,
- Vieux chemin de Saint-Jean (site n°66) avec $54 \mu\text{g}/\text{m}^3$,
- avenue des Maurettes à Villeneuve-Loubet (site n°1) avec $52 \mu\text{g}/\text{m}^3$
- sortie demi-échangeur de Villeneuve-Loubet (site n°97) avec $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$
- route de Nice (D2085) au Rouret (site n°100), route du bord de Mer (D6098) à Villeneuve-Loubet (site n°96) et avenue Gambetta à Antibes (site n°72) avec $47 \mu\text{g}/\text{m}^3$

- rond-point Chemin de la Romaine à Antibes avec 45 µg/m³
- route de Nice (site n°3) et Chemin de l'Orangerie à Antibes (site n°91) avec 44 µg/m³. Ce dernier site, présentant une typologie « observation » est situé à moins de 50 m de l'autoroute.

A Antibes, les points n°35 (avenue Albert 1^{er}) et n°11 (rue Vauban) bien qu'exposé à un trafic moins intense (respectivement 2 600 et 9 800 véhicules/jour) dépassent néanmoins la valeur annuelle (avec 53 et 48 µg/m³) en raison d'un bâti dense, favorable à l'accumulation des polluants.

- **6 sites ont des concentrations comprises entre 40 µg/m³ (valeur limite à l'échéance 2010 pour le dioxyde d'azote) et 44 µg/m³.**

Deux sites sont de typologie dominante trafic, deux sont des sites d'observation, un est en situation urbaine et un en situation périurbaine.

Les sites **trafic** correspondent à des **carrefours** à Valbonne (rond-point D3/D103 et intersection route de Grasse et avenue de Saint Roch avec 42 µg/m³).

Les autres sites sont **sous l'influence d'une source proche** comme l'autoroute ou un axe de forte circulation. C'est le cas pour le site **d'observation** Chemin de l'Orangerie à Antibes (site n°90) situé à moins de 100 m de l'A8 (40 µg/m³). De même le site **périurbain** n° 77 (Chemin du Fuguière à Vallauris) et le site **d'observation** n°81 (sur la route de Grasse, quartier des âmes du Purgatoire) avec 43 et 42 µg/m³ chacun, sont soumis à des trafics respectifs de 34 000 et 24 000 véh./jour. Enfin, le site urbain n°94 (40 µg/m³), Jardin René Cassin, est à proximité d'un important nœud routier (Boulevard Dugommier, Avenue Robert Soleau, rue d'Alger, Boulevard Général Vautrin).

- **22 sites ont des concentrations comprises entre 30 et 39 µg/m³,**

- 6 sites **trafic** sont implantés proche de voies présentant un trafic compris entre 13 000 et 56 000 véhicules/jour.
 - 37 µg/m³ relevés au carrefour des Bouillides à Valbonne, au rond-point D2085 / D507 à Roquefort les Pins et avenue Courbe à Antibes

- 35 µg/m³, avenue de la Liberté à Vallauris,
- 34 µg/m³, au rond-point Pré-du-Lac à Châteauneuf-Grasse,
- 33 µg/m³, quartier les Bréguières proche de la voie ferrée à Antibes,

- Sur les 6 sites **d'observation**, trois sont influencés par un fort trafic : n°93, à moins de 100 m de l'autoroute A8 (plus de 100 000 véhicules/jour), n°79 à proximité de la D35 (17 000 véhicules/jour) et n°67 à moins de 50 m de la D6107 (22 000 véhicules/jour). Ils affichent des niveaux respectifs de 34, 36 et 30 µg/m³. Les trois autres sites, positionnés sur la voie ferrée (n°10 et 70) ou sur le Port (n°86), indiquent entre 32 et 36 µg/m³.

- Les 10 **sites urbains ou périurbains** correspondent à des quartiers résidentiels d'Antibes ou des rues de faible fréquentation, comme :

- Place Gabriel Corbier à Antibes et Avenue Vaugrenier à Villeneuve-Loubet, pour les plus exposés (38 et 37 µg/m³)
- Antibes, rue de la République, quartier des Ames du Purgatoire, quartier des Combes, quartier Trianon à Juan-les-Pins ou quartier Font de Cine à Vallauris avec des concentrations entre 30 et 33 µg/m³.

- **25 sites ont des concentrations en dioxyde d'azote comprises entre 20 et 29 µg/m³,**

Majoritairement il s'agit de sites de **typologie urbaine (16) ou périurbaine (7)**.

- Ils sont implantés à Antibes, dans des quartiers résidentiels, au centre ou à Juan-les-Pins (ex : n°62 à 65, quartier des Bréguières entre 24 et 27 µg/m³, n°40, avenue de Provence ou n°69, avenue de Muterse avec 27 µg/m³).
- Ils sont aussi situés dans des villes de taille moyenne comme Vallauris (n°38, rue François Girard ou n°44, avenue des Mimosas à Golfe-Juan avec 24 et 21 µg/m³), Valbonne (place des Arcades avec 23 µg/m³), Villeneuve-Loubet (n°84, rue de la Source ou les Hauts de Vaugrenier avec 27 et 21 µg/m³).
- Enfin, cela concerne aussi les centres de villages comme Saint-Paul de Vence (n°32 avec 28 µg/m³), Biot (n°5, calade Saint Roch avec 21 µg/m³) ou la Colle-sur-Loup (n°30 avec 22 µg/m³).

2 sites sont **d'observation** : le premier est implanté à Antibes (n°59 chemin de Puy) avec 27 µg/m³ et le second à la Colle-sur-Loup, avec 24 µg/m³.

- 30 sites ont des concentrations en dioxyde d'azote inférieures à 19 µg/m³

25 sont **périurbains** ou **ruraux**. 4 ont une typologie urbaine et un seul est qualifié d'observation.

Les sites périurbains sont dans les quartiers périphériques et résidentiels des villes ou bien au sein des petites villes et villages de la CASA. Les concentrations les plus faibles sont observées sur les sites suivants :

- Valbonne, Chemin de la Roberte, avec 12 µg/m³
- Opio, église, avec 12 µg/m³
- Le Bar-sur-Loup, la Poste, avec 13 µg/m³
- Biot, Rond point de la Charlotte, avec 15 µg/m³
- Roquefort-les-Pins, où 7 des 10 sites évoluent entre 8 et 15 µg/m³
- Châteauneuf-Grasse, église, avec 16 µg/m³

Les 8 sites ruraux ont des concentrations en dioxyde d'azote inférieures à 16 µg/m³.

A l'exception du site de Biot (route des Colles) avec 16 µg/m³, les autres sites affichent des teneurs inférieures à 12 µg/m³. Le centre de Courmes présente la valeur la plus faible avec seulement 7 µg/m³. De même le niveau moyen annuel atteint 8 µg/m³ au centre de Caussols et 12 µg/m³ au centre de Gourdon. Les 4 sites ruraux de Roquefort-les-Pins varient entre 8 et 11 µg/m³.

Les concentrations annuelles 2008 situées autour de 10 µg/m³ semblent correspondre aux niveaux ruraux, quasi-naturels de la CASA.

2.4.2. EVOLUTION SAISONNIERE

L'ensemble des sites montre une augmentation moyenne entre les deux périodes (mars-avril et juin-juillet) : par rapport à celles de l'été, les concentrations hivernales en dioxyde d'azote sont environ une fois et demie plus importantes :

- 1.1 fois plus importantes pour les sites trafics
- 1.4 fois plus importantes pour les sites d'observation et rural
- 1.3 fois plus importantes pour les sites urbains et 1.5 pour les sites périurbains.

La période hivernale comporte plus de situations météorologiques anticycloniques propices à l'accumulation des polluants dans l'air. En période estivale, les brises sont plus fréquentes et diluent la pollution.

L'influence saisonnière est moins marquée sur les sites trafic, soumis à une pollution quasi constante tout au long de l'année. En effet, l'été le trafic engendré par les trajets quotidiens est remplacé, voire augmenté par le trafic lié au tourisme. Le facteur « émissions » prime alors sur le facteur météorologique.

9 sites présentent même des niveaux supérieurs l'été, dont 5 de typologie trafic et 4 autres sites (périurbain, urbain, d'observation) proches ou menant à des lieux suscitant un attrait touristique (Saint-Paul de Vence, port d'Antibes).

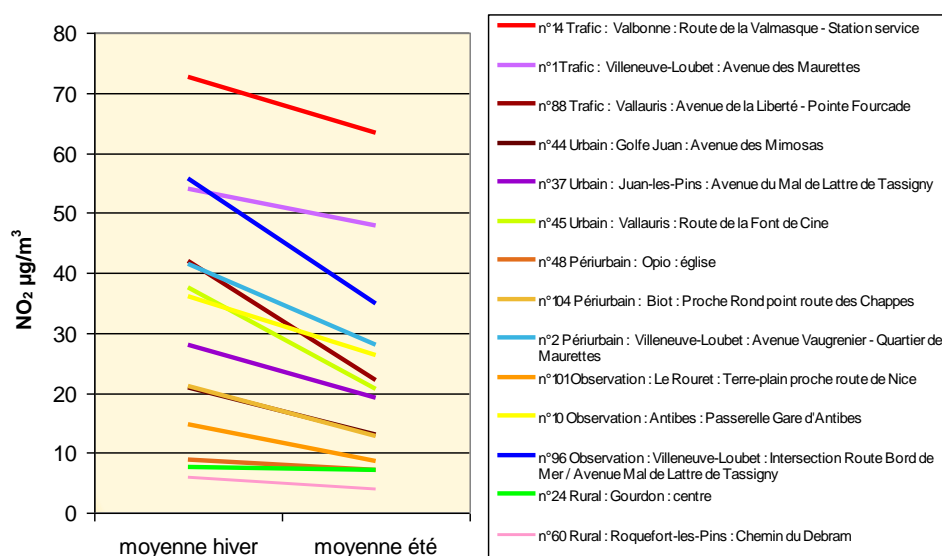


Figure 12 : évolution saisonnière des concentrations en dioxyde d'azote sur quelques sites de la CASA

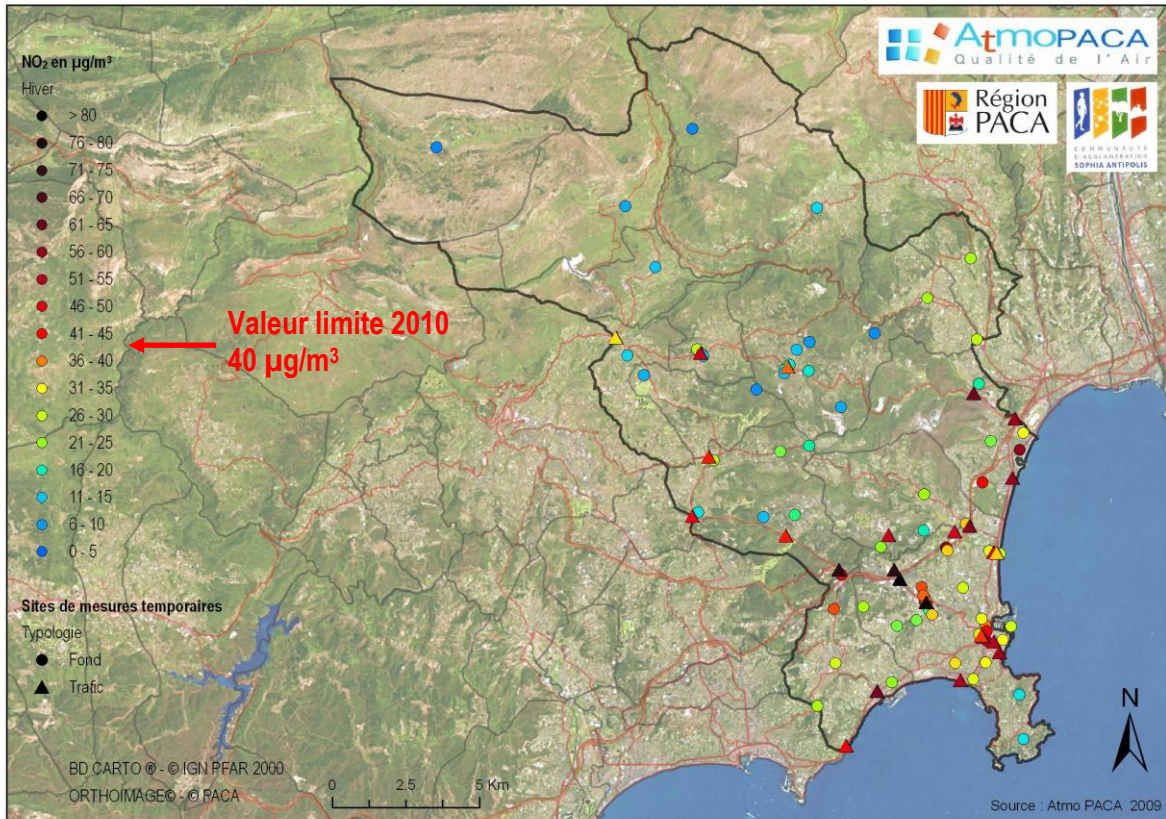


Figure 13 : concentrations hivernales en dioxyde d'azote

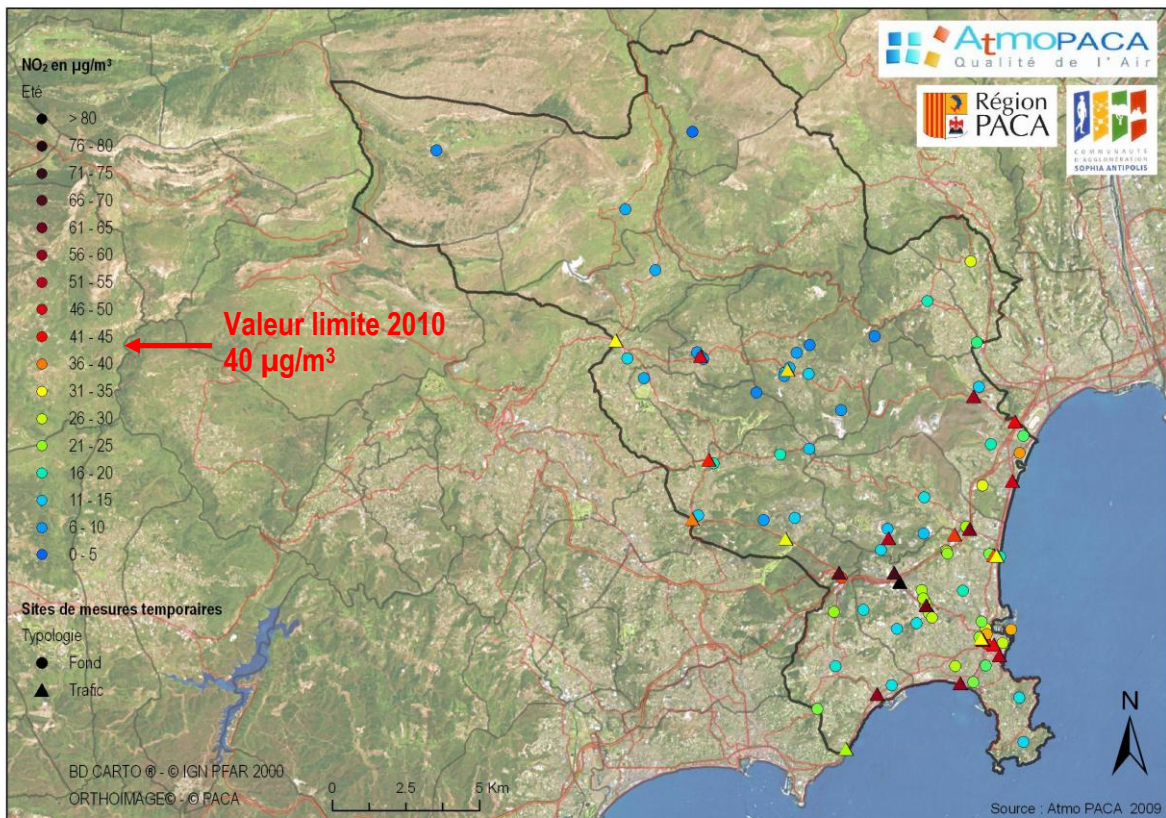


Figure 14 : concentrations estivales en dioxyde d'azote

2.4.3. ETUDES DES TRANSECTS

Six transects ont été réalisés : quatre à Antibes, un au Rouret et un à Roquefort les Pins. Ces transects permettent de quantifier l'abatement de la pollution de part et d'autre de l'axe en fonction de la distance ; ils enrichissent, notamment pour la modélisation et la géostatistique, notre « base de données transects » et notre connaissance de la dispersion des polluants en fonction de l'occupation du sol.

ANTIBES – FUTUR ECHANGEUR DE L'A8 A LA HAUTEUR DE BIOT

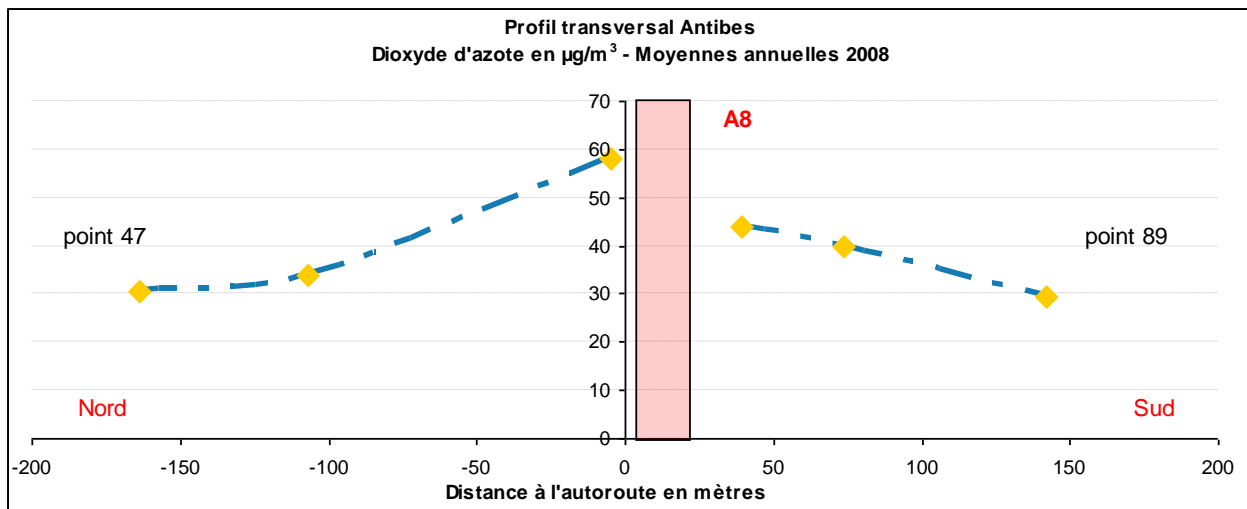


Figure 15 : profil transversal en dioxyde d'azote au niveau du futur échangeur A8

Aucun point n'a pu être placé sur la bande autoroutière pour laquelle les valeurs manquent. Le point 92, le plus proche, à quelques mètres du milieu de l'axe, montre une concentration de 58 µg/m³, la plus élevée du transect et au-delà de la valeur limite annuelle applicable en 2010 (40 µg/m³).

A 40 m de distance de l'axe, en contrebas, les concentrations diminuent à 44 µg/m³, ne respectant pas la valeur limite pour 2010 (40 µg/m³). A partir de 75 m, les niveaux sont, avec 40 µg/m³, équivalents à cette valeur limite annuelle. A une distance comprise entre 110 et 140 m, les concentrations évoluent autour de 30 µg/m³ (29 et 34 µg/m³), correspondant à un niveau proche de la concentration moyenne de ce secteur.

L'autoroute n'est pas la seule source d'émission de ce secteur qui présente aussi une forte urbanisation. Les niveaux au sud sont plus faibles, en raison d'un bâti moins dense et d'un environnement plus arboré, favorisant la dispersion.

ANTIBES – D6107

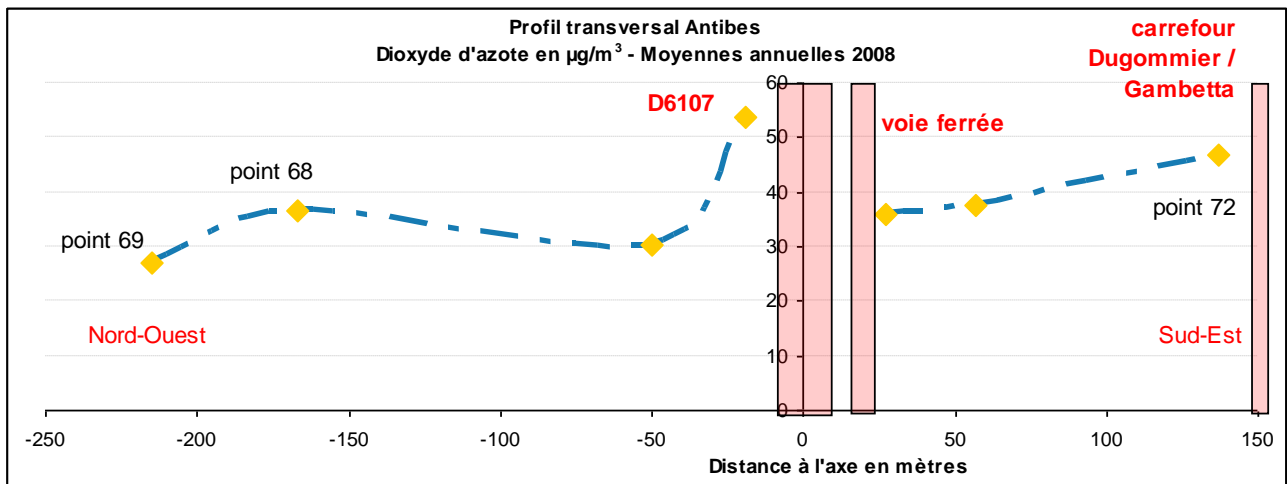
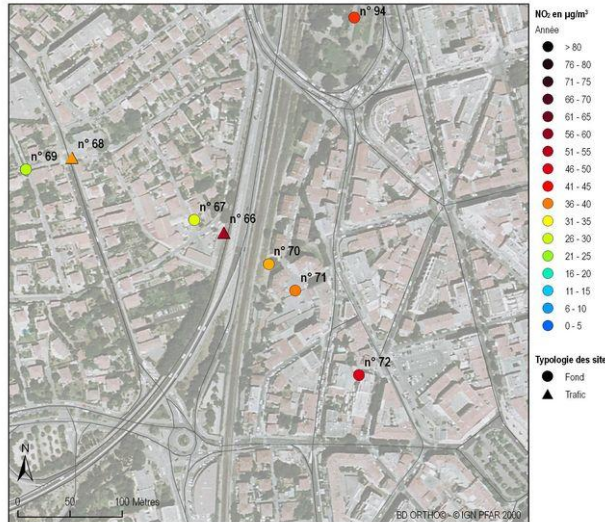


Figure 16 : profil transversal en dioxyde d'azote autour de la D6107 à Antibes

Ce secteur, fortement urbanisé, comprend non seulement, un maillage routier important mais également la présence du réseau ferroviaire.

Le maximum, 54 µg/m³, est relevé au point le plus proche de la D61007, supportant plus de 35 000 véhicules/jour (dans les deux sens). A 50 m de cette voie vers le Nord-Ouest, l'impact de l'axe principal est moindre et les niveaux diminuent de 43 %, respectant la valeur limite annuelle (40 µg/m³). Toutefois, cette diminution peut être « neutralisée » par la configuration du bâti qui limite la dispersion des polluants ou par la présence d'un autre axe. C'est le cas pour le point 68 situé à plus de 150 m de l'axe principal, qui mesure principalement les émissions issues de l'avenue Reibaud avec 6 800 véhicules/jour.

Vers le sud-est, l'évolution est comparable en s'éloignant de l'axe principal. Tout d'abord, à 30 m de l'axe, la concentration baisse de 33 % avec 36 µg/m³. Puis, les niveaux augmentent progressivement et atteignent au point 72 47 µg/m³. Ce site est dans un milieu urbain dense, entouré d'axe de circulation avec un fort trafic tel que le boulevard Dugommier et la rue d'Alger.

Deux points affichent des teneurs supérieures à 40 µg/m³, (valeur limite annuelle applicable en 2010) : celui situé à proximité de la voie principale et le point 72 dans le centre urbain au sud-est de l'A8.

ANTIBES – ROUTE DE GRASSE

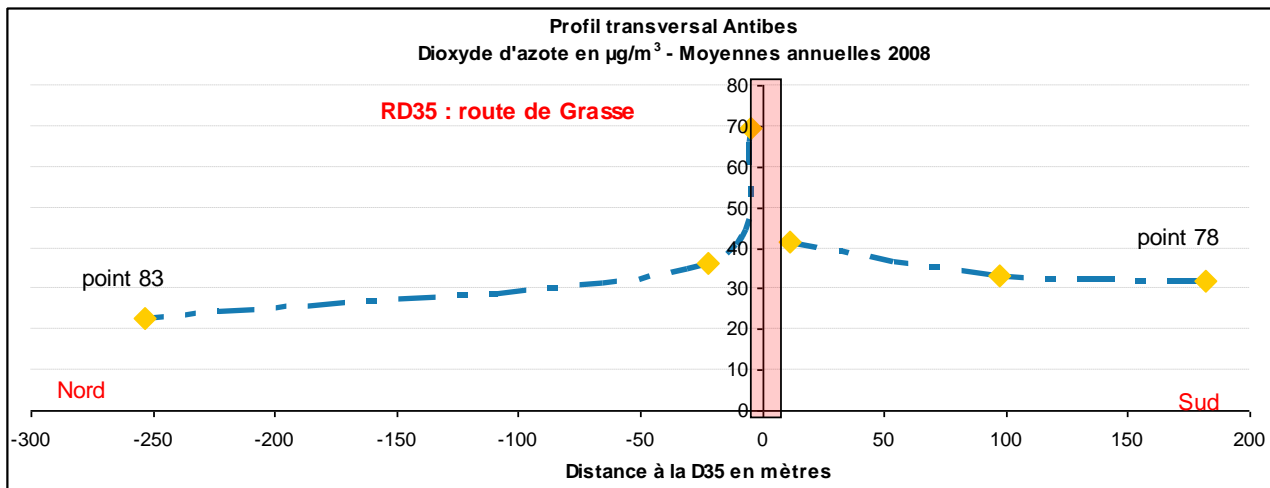
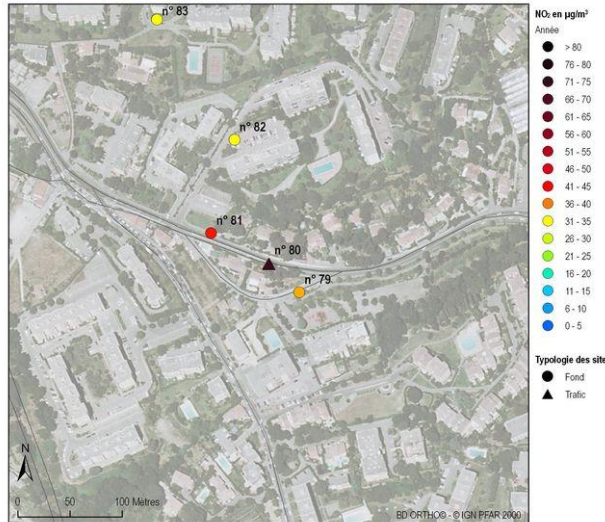


Figure 17 : profil transversal en dioxyde d'azote sur la route de Grasse

Ce transect met en évidence l'évolution du niveau de polluants en fonction de l'éloignement des sources. Ainsi au regroupement des deux voies de la D 35 (point n°80, exposé à plus de 25 000 véhicules/jour), la concentration est maximale avec 70 µg/m³, dépassant nettement la valeur limite annuelle pour 2010 (40 µg/m³). En s'éloignant de 10 m de l'axe et après séparation des voies de la D 35 (15 000 véhicules/jour par voie), la concentration chute de 40 % frôlant alors la valeur réglementaire avec 42 µg/m³. A 20 m, la concentration a été quasiment divisée par deux par rapport au maximum et n'est plus que de 36 µg/m³. Les niveaux se stabilisent lentement, autour de 30 µg/m³ à 100 m de l'axe et descendent aux alentours de 20 µg/m³, soit une baisse de 67 %.

A l'exception des deux points situés à moins de 15 m de la RD 35, la valeur limite annuelle de 40 µg/m³, applicable en 2010 est respectée sur tous les sites.

ANTIBES – BORD DE MER

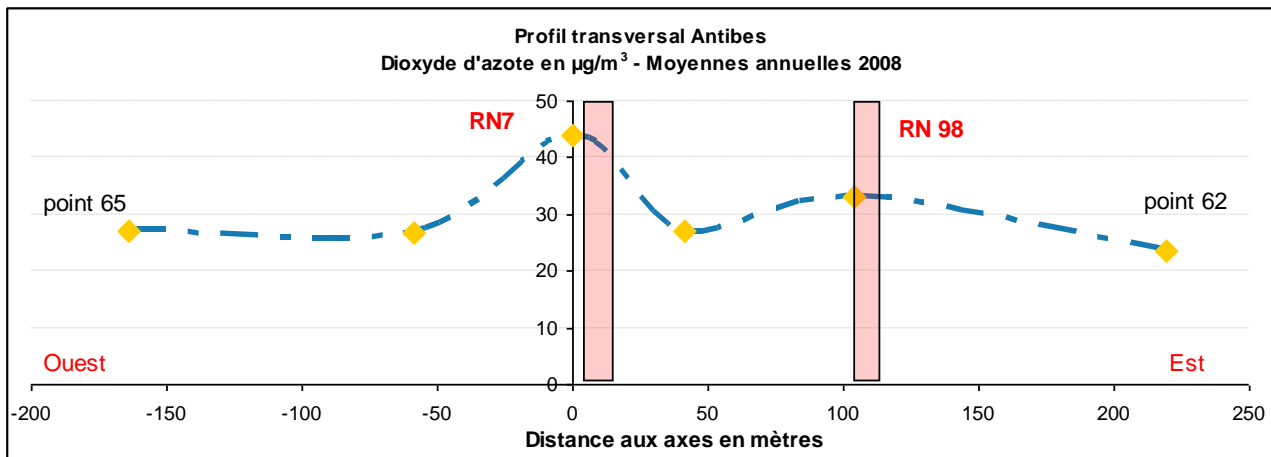
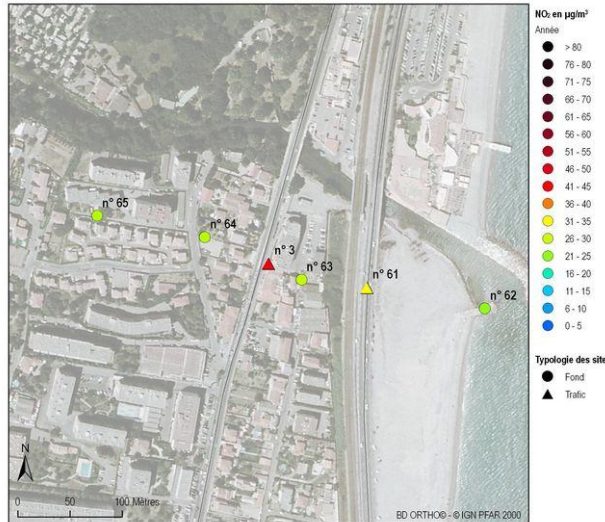


Figure 18 : profil transversal en dioxyde d'azote sur le bord de mer

Les valeurs les plus élevées sont mesurées au niveau des axes routiers. Avec 44 µg/m³, le maximum du transect est observé sur la Nationale 7, dont le trafic supporte plus de 26 000 véhicules/jour. Le point situé sur la Nationale 98 est inférieur de 25 % et affiche 33 µg/m³ malgré un trafic au-delà de 55 000 véhicules/jour. Cette différence de concentration s'explique par des conditions dispersives plus fortes en bord de mer (où le vent ne rencontre pas d'obstacles) qu'à proximité de la route (où le bâti favorise l'accumulation). Le minimum est d'ailleurs relevé au bout de la jetée avec 24 µg/m³.

De même, les concentrations diminuent en s'éloignant des axes, comme indiqué à la Figure 18, avec une baisse de près de 40 % dès 40 m. Au-delà de cette distance, les niveaux sont proches de 27 µg/m³ et se maintiennent autour de cette valeur, l'identifiant ainsi au niveau de fond du secteur.

A l'exception du point situé sur la nationale 7, tous les sites respectent la valeur limite annuelle de 40 µg/m³, applicable en 2010.

ROQUEFORT LES PINS

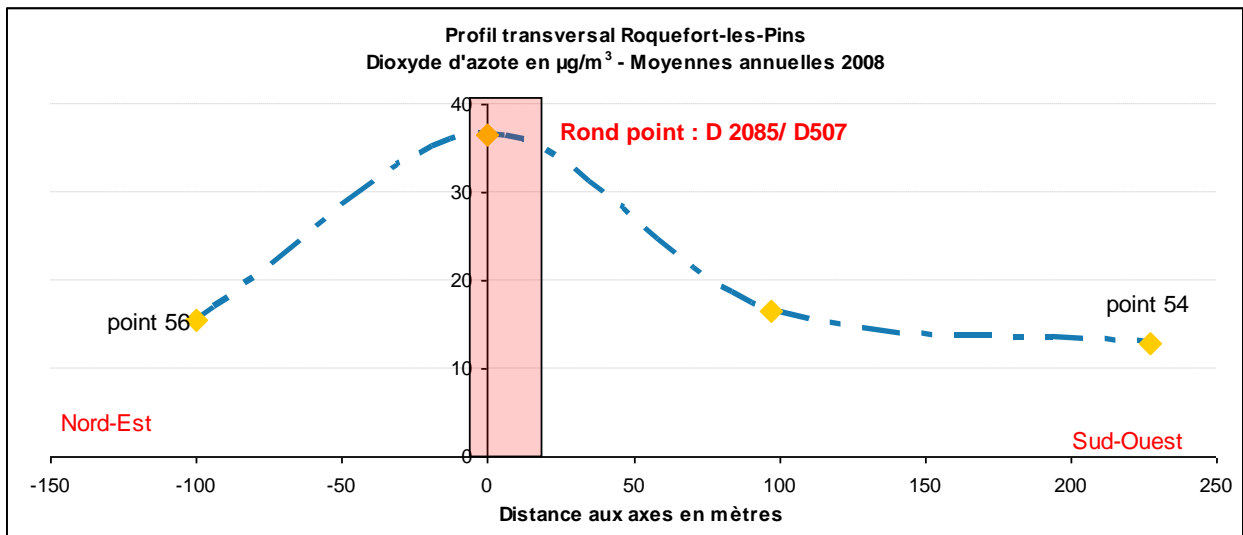
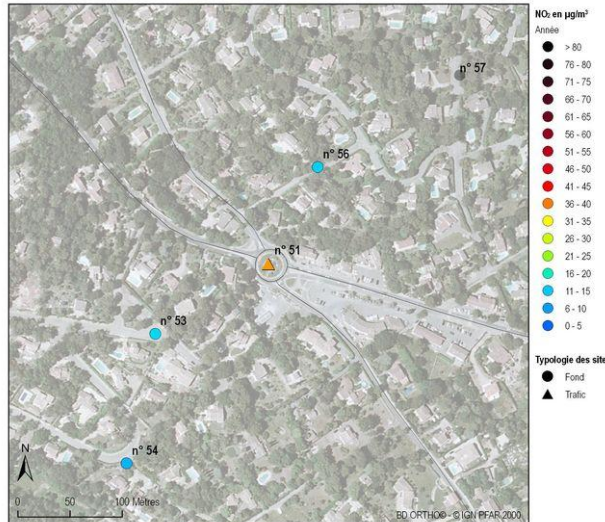


Figure 19 : profil transversal en dioxyde d'azote - Roquefort les Pins

Le site placé au centre du rond point est naturellement le plus exposé avec une valeur de 37 µg/m³. En s'éloignant des axes de circulation, les niveaux diminuent fortement. A 100 m, la concentration est seulement de 15 µg/m³ soit une baisse de 60 % de la valeur maximale. Au-delà de 100 m, les concentrations se stabilisent en dessous de 15 µg/m³, correspondant au niveau de fond de ce secteur considéré comme rural.

Sur ce transect, tous les points présentent une concentration inférieure à 40 µg/m³, valeur limite annuelle applicable pour 2010.

LE ROURET

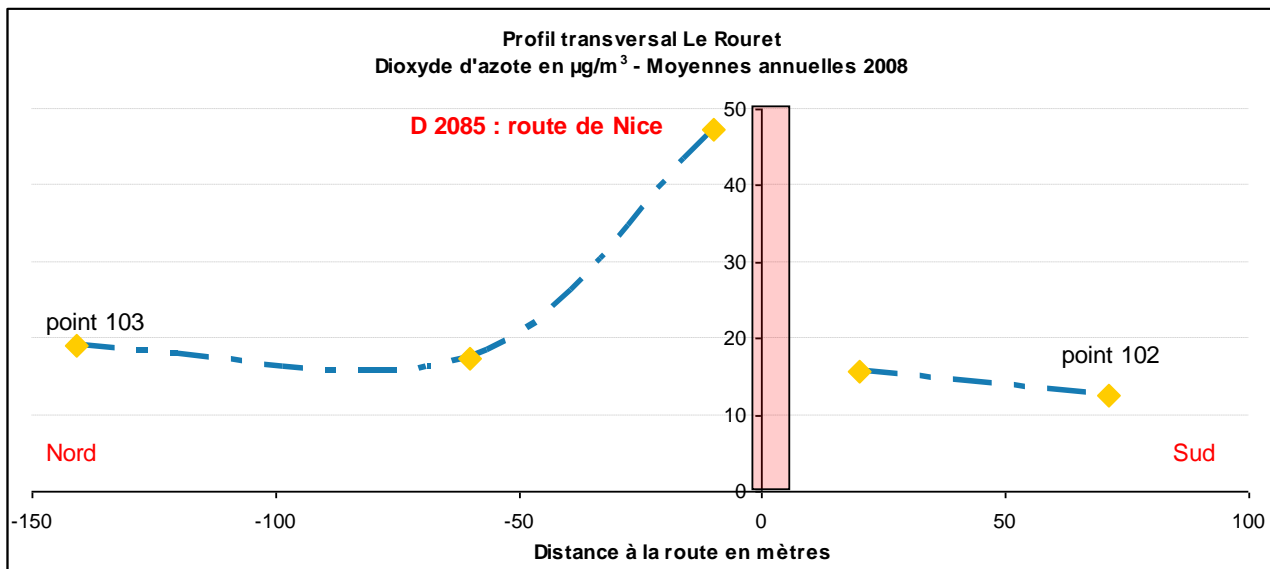
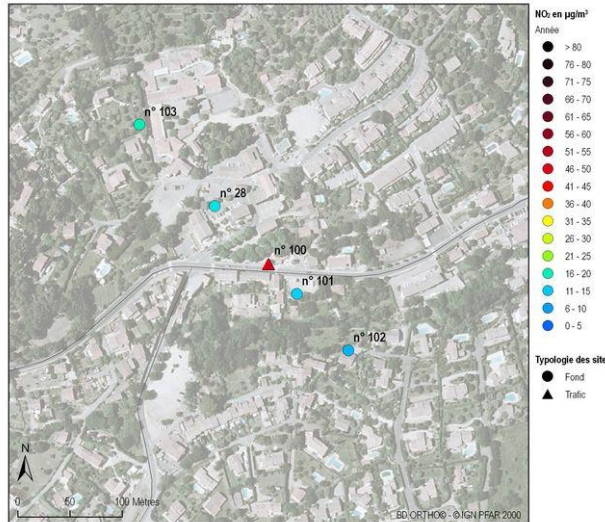


Figure 20 : profil transversal en dioxyde d'azote - Le Rouret

Au plus proche de la route, la valeur est maximale avec 47 µg/m³, dépassant la valeur limite pour 2010 (40 µg/m³). Dès 20 m, la concentration est divisée par 3 et affiche seulement 16 µg/m³. 50 m plus au sud, le niveau de fond est atteint, inférieur à 15 µg/m³. Vers le Nord, l'évolution est comparable avec une forte baisse des concentrations en s'éloignant de l'axe principal, puis des niveaux qui se stabilisent à des faibles valeurs de fond.

2.5. RESULTATS EN BTEX POUR L'ANNEE 2008

A partir d'un mois de mesure ou bien de la moyenne des deux mois, une méthode de reconstruction des données par l'application pour chaque donnée de fonctions de régression est appliquée afin d'estimer une moyenne annuelle. La méthodologie est explicitée en annexe.

La valeur limite pour le benzène est de 7 µg/m³ en 2008. Elle décroît à l'échéance 2010 jusqu'à 5 µg/m³.

L'objectif de qualité est de 2 µg/m³.

2.5.1. CARTOGRAPHIES DU BENZENE

Toutes les concentrations correspondantes sont regroupées à l'Annexe 3 : concentrations 2008 en benzène et toluène, par commune et l'Annexe 4 : concentrations 2008 en éthylbenzène et xylènes, par commune.

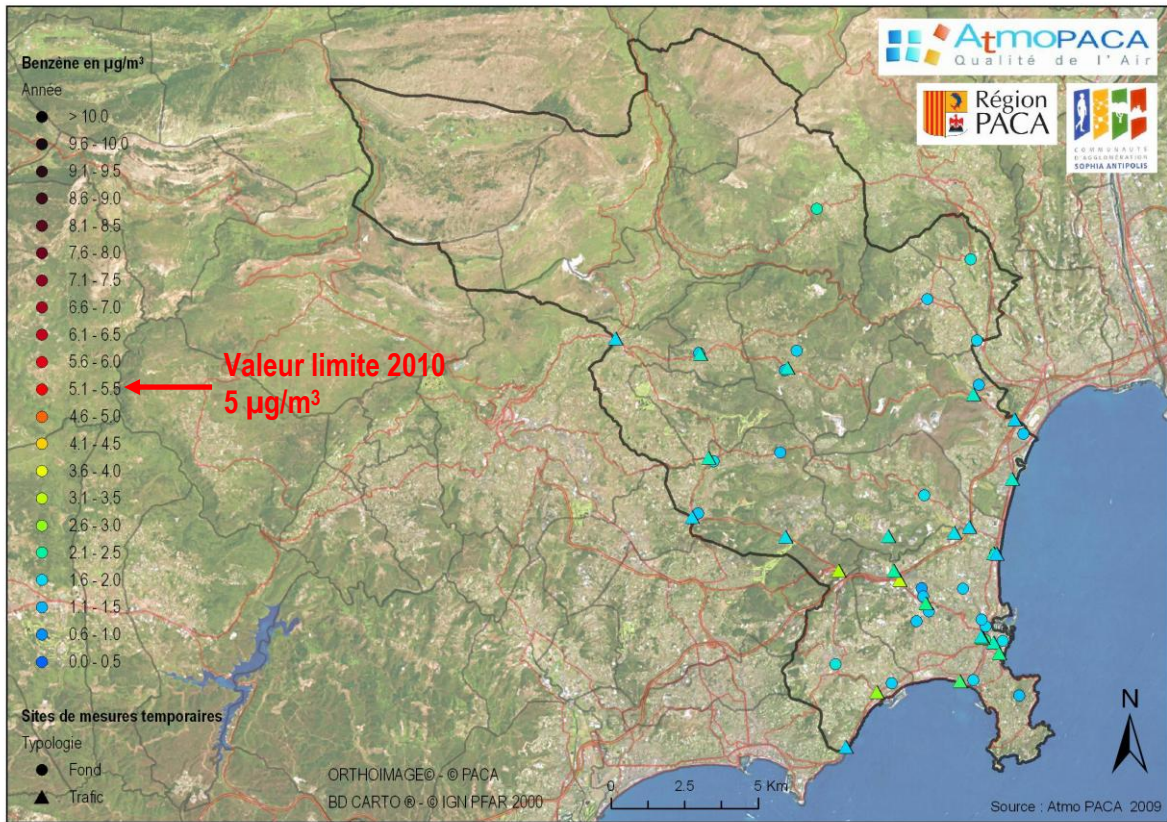


Figure 21 : concentrations annuelles 2008 en benzène

TPOLOGIE DES SITES

Le benzène a été évalué sur 52 sites en air extérieur.

- 25 sites trafic,

Issu notamment du secteur des transports (il entre dans la composition des essences), le benzène a été mesuré sur tous les sites trafic. Il est également un bon indicateur de la congestion du trafic.

- 14 sites urbains,

Près de la moitié des sites urbains (46 %) ont été échantillonnés en benzène, dont 9 sur Antibes et 5 dans des villes moyennes (Vallauris, Valbonne, Biot et La Colle-sur-Loup).

- 10 sites périurbains,

Des mesures de benzène ont été effectuées sur 37% des sites périurbains, principalement à Villeneuve-Loubet, Valbonne, Roquefort les Pins ou dans des communes plus faiblement peuplées (Tourrettes-sur-Loup, Le Rouret, Saint-Paul de Vence).

- 3 sites d'observation,

Les niveaux de benzène ont été suivis sur 2 sites à Antibes et un à la Colle-sur-Loup.

- Aucun site rural n'a été échantillonné, la mesure de ce polluant n'étant pas opportune.

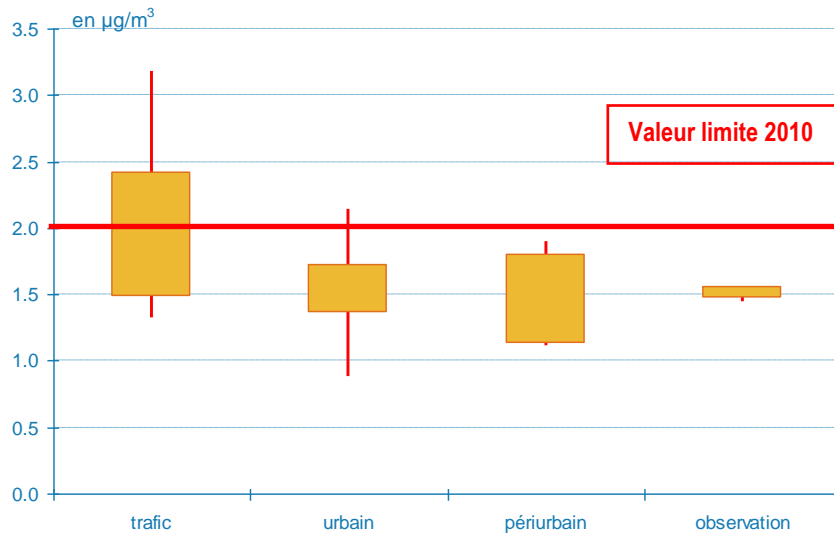


Figure 22 : diagramme en boîtes de Tuckey : données statistiques des valeurs en 2008 en NO₂, selon la typologie des sites

Le graphe ci-dessus illustre par typologie de sites, la répartition des concentrations de benzène, permettant de distinguer la pollution de fond et la pollution ponctuelle. Comme indiqué précédemment, les boîtes représentent 90% des données et sont équivalentes aux teneurs de fond. Les situations atypiques (« pics » de pollution, notamment) donc peu représentatives du comportement de l'ensemble des données, se traduisent par les valeurs extrêmes (traits en dehors des boîtes correspondant au maximum et au minimum).

Les données des sites « trafic » correspondent à l'échantillon de valeurs les plus élevées. Elles évoluent dans une gamme de concentrations plus étendue que celle des autres typologies, ce qui indique des variations importantes entre les sites. Ces différences peuvent être dues à la densité ou la fluidité de trafic (variable selon les voies) : les situations d'encombrement favorisent les concentrations élevées en benzène. Les teneurs sont comprises entre 1,3 et 3,2 µg/m³, la moyenne est de 1,9 µg/m³.

Pour les sites urbains et périurbains, les concentrations oscillent dans une plage de données plus restreinte (que les sites « trafic »), ce qui traduit une plus grande homogénéité des teneurs. Ces derniers sont ainsi représentatifs du niveau de fond en benzène des villes. En ces lieux, souvent mal aérés en raison du bâti dense, le benzène se concentre et stagne. Ainsi, les concentrations varient entre 0,9 (minimum en urbain) et 2,1 µg/m³, les moyennes de ces deux typologies sont respectivement de 1,5 et 1,4 µg/m³.

Les trois points de la catégorie « observation » font l'objet de projet d'aménagement et n'ont pas de typologie précise. Leurs niveaux sont similaires et compris entre 1,4 et 1,6 µg/m³.

RESULTATS ANNUELS POUR LE BENZENE

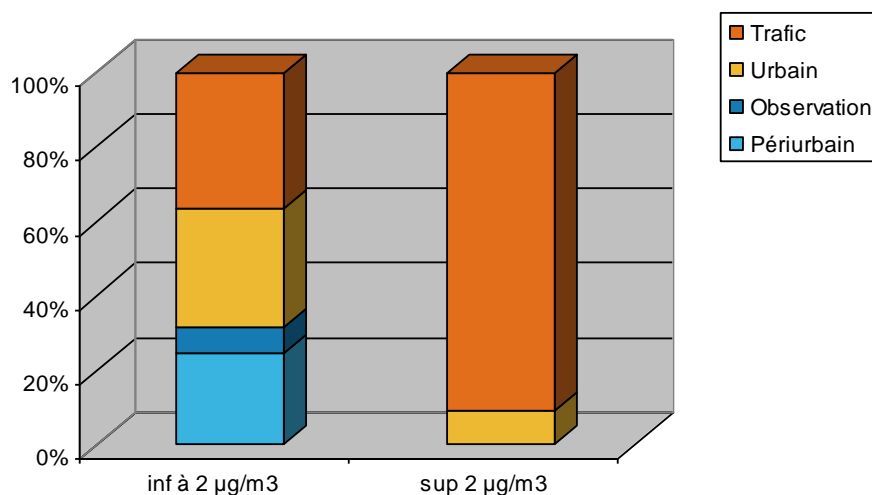


Figure 23 : répartition des typologies en fonction des niveaux de benzène

- **Aucun site ne présente une concentration en benzène supérieure à 5 µg/m³, valeur limite annuelle applicable en 2010**
- **11 sites ont des concentrations en benzène dépassant 2 µg/m³, soit supérieures à l'objectif de qualité annuel**

10 des sites sont de typologie trafic et un site est dans une configuration urbaine. Tous les sites trafic dépassent aussi la norme limite en dioxyde d'azote.

Les fortes teneurs en benzène sont dues à la combinaison des facteurs environnementaux défavorables suivants :

- trafic important,
- bâti dense : rues canyons, encaissées,
- cycles de « stop and go », feux tricolores, embouteillages, déclivité de la chaussée (en montée les émissions sont plus importantes),
- ouvrages urbains : rond-point, bretelle d'accès, pont, tunnel...

La valeur maximale **3,2 µg/m³** est relevée au **rond point des 3 Moulins** à Antibes, site affichant également le maximum en dioxyde d'azote. Ce point est soumis à de nombreuses émissions car situé au carrefour de plusieurs voies de circulation à fort trafic (+ de 100 000 véhicules/jour), à proximité des parkings de la zone d'activité et à moins de 200 m du péage de l'A8. Ces situations d'embouteillages, de cycles « stop and go » ainsi que la configuration du lieu, implanté sous un pont, sont particulièrement favorables à l'accumulation des polluants et expliquent cette concentration.

Deux autres points (n°14 et n°13) se distinguent avec des niveaux supérieurs à 2,6 µg/m³ :

- Le n°14, à **Valbonne** en sortie de la **Valmasque**, affiche 2,8 µg/m³. Au-delà d'un trafic soutenu (jusqu'à 20 000 véhicules/jour), de la présence de feux tricolores occasionnant des ralentissements et des éventuels embouteillages, ce point est également proche de la station service, source non négligeable de benzène.

- La concentration relevée au point n°13 est de **2,6 µg/m³**. Là encore, la configuration du site, au **carrefour des avenues Clément Massier** et de **la Liberté**, à **Vallauris** favorise l'accumulation des polluants. Ces deux points sont aussi parmi les plus exposés au dioxyde d'azote.

Les sept autres points présentent des concentrations comprises entre **2 µg/m³** et **2,2 µg/m³**. Il s'agit de sites implantés sur des **ronds-points** ou des **intersections** (n°87 - Juan-les-Pins, n°95 - Super Antibes, n°35 - Avenue Albert 1^{er}), sur des artères supportant un trafic supérieur à 18 000 véhicules/jour (n°66 - Vieux chemin de Saint-Jean, n°80 - route Grasse, n°3 - route de Nice) et en **centre ville** à la station fixe d'Antibes Guynemer (n°11). Les émissions en benzène sont favorisées en raison des vitesses de roulage peu élevées (rond-point, axe embouteillé). La configuration du bâti peut également être un facteur aggravant sur les concentrations mesurées, en limitant la dispersion des polluants.

Le site urbain (n°71 - **place Gabriel Cordier** à Antibes) mesure un niveau annuel en benzène de **2,1 µg/m³**.

- **41 sites ont des concentrations en benzène inférieures à 2 µg/m³ :**

Les teneurs des **15 autres sites trafic** sont comprises entre 1,3 et 1,9 µg/m³. Les points situés sur les ronds-points ont les niveaux les plus élevés.

Les **13 autres sites urbains** présentent des niveaux oscillant entre 1,8 et 0,9 µg/m³ (station Jean Moulin, seul site inférieur à 1 µg/m³). Les concentrations les plus élevées sont observées en centre ville (n°38 - Vallauris, n°20 - Valbonne, n°5 - Biot et n°85 - Antibes) où le bâti est plus serré.

Les **10 sites périurbains** ont des concentrations entre 1,9 et 1,1 µg/m³. Dans le centre de Tourrettes-sur-Loup (n°25) et de Saint-Paul de Vence (n°32), les valeurs sont à 1,9 et 1,8 µg/m³ et à Villeneuve-Loubet (n°34), la concentration est de 1,3 µg/m³.

Pour les **trois sites d'observation**, les teneurs en benzène varient entre 1,4 et 1,6 µg/m³, pour le point n°10 situé au niveau de la passerelle de la gare d'Antibes.

EVOLUTION SAISONNIERE

Bien que l'été, les émissions par évaporation avec la chaleur puissent être plus importantes, la saison hivernale est, en terme de météorologie, la plus favorable à l'accumulation des polluants primaires tel que le benzène. Les concentrations hivernales sont ainsi supérieures à celles rencontrées en été.

La saisonnalité est assez marquée avec, pour l'ensemble des sites, une moyenne en hiver de 1,8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ contre 1,1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en été. Cet écart n'est, toutefois, pas homogène sur tous les sites et dépend de la typologie : sur les sites trafic les teneurs varient moins entre l'hiver et l'été. La fréquentation touristique estivale impacte sur la fluidité du trafic, favorisant alors les encombrements, qui sont propices aux émissions de benzène.

Le rapport Toluène sur Benzène (T/B), compris entre 1,6 et 7,3 sur les deux saisons confirme une influence majoritaire de la source du trafic routier. Généralement, un excès de benzène et un ratio T/B de l'ordre de 0,5 à 1 traduit l'influence d'une source industrielle.

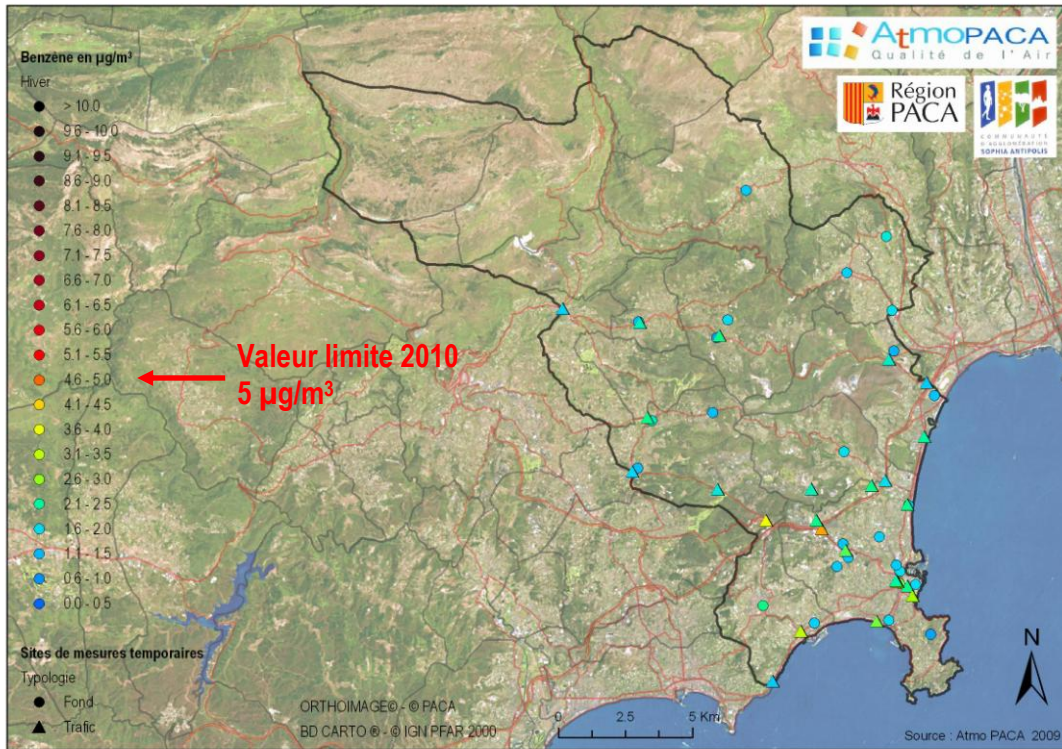


Figure 24 : concentrations hivernales en benzène



Figure 25 : concentrations estivales en benzène

2.5.2. CARTOGRAPHIES POUR LE TOLUENE, L'ETHYLBENZENE ET LES XYLENES

Toutes les concentrations correspondantes sont regroupées à l'Annexe 3 : concentrations 2008 en benzène et toluène, par commune et l'Annexe 4 : concentrations 2008 en éthylbenzène et xylènes, par commune.

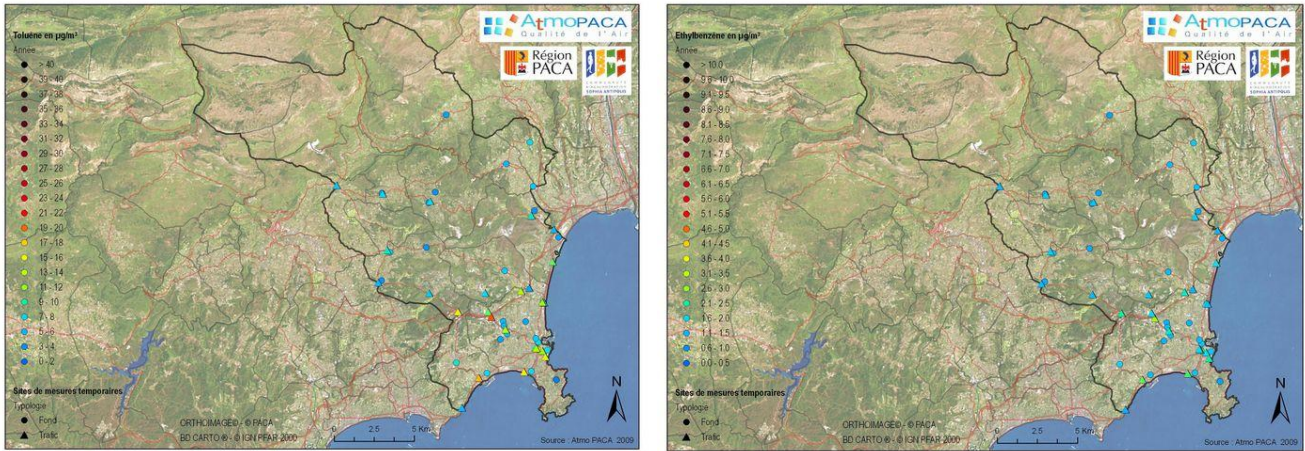


Figure 26 : concentrations annuelles 2008 en toluène et éthylbenzène

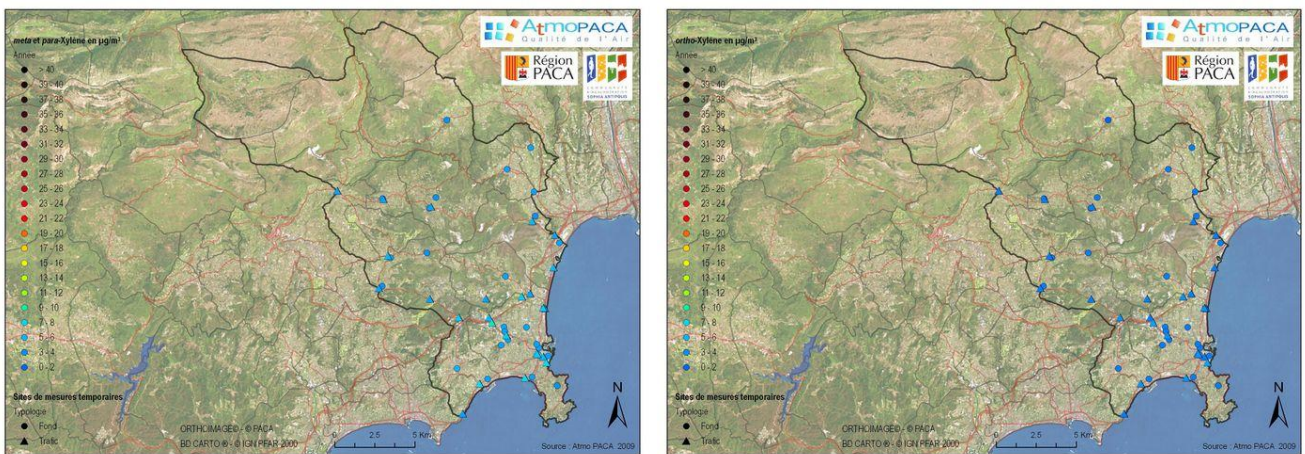


Figure 27 : concentrations annuelles 2008 en m,p-xylènes et o-xylènes

RESULTATS POUR LE TOLUENE ET LES XYLENES

Le site n°7, **rond point des 3 Moulins** à Antibes, reste le point le plus exposé quelque soit le polluant surveillé. Généralement, les sites affichant les plus fortes concentrations annuelles en benzène montrent également les concentrations maximales en toluène et xylènes. Ces teneurs sont à relier directement aux émissions des véhicules, s'agissant des sites trafic pour la plupart.

Les niveaux les plus faibles sont observés sur les sites périurbains.

2.6. CONCLUSIONS DES MESURES

Une vaste campagne de mesure, comportant plus de 100 sites, s'est déroulée en 2008 sur deux saisons afin de disposer :

- d'un état de la qualité de l'air pour les polluants traceurs des transports (dioxyde d'azote et benzène),
- d'un jeu de données disponible sur l'ensemble du territoire afin de valider et caler le modèle de pollution atmosphérique.

25 % des sites échantillonnés en **dioxyde d'azote** dépassent la valeur limite applicable en 2010 ($40 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Ils sont situés sur des voies de trafic dense (ronds-points, boulevards, grandes artères), ou sous leur influence directe. 63 % des sites périurbains (petites villes et villages) enregistrent des teneurs annuelles faibles, en deçà de $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Tous les sites ruraux ont des concentrations inférieures à $16 \mu\text{g}/\text{m}^3$, correspondant au niveau « de fond » de l'arrière pays.

La période hivernale est classiquement propice à une accumulation des polluants qui se traduit par des teneurs en dioxyde d'azote plus élevées qu'en été. Sur le territoire de la CASA, cette influence saisonnière est peu marquée, car elle est compensée par un trafic plus intense en été et cette tendance va jusqu'à s'inverser dans les secteurs à fort attrait touristique (St Paul de Vence, Port d'Antibes).

Aucun des sites échantillonnés en **benzène** ne dépasse la valeur limite annuelle de $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$, applicable en 2010. En revanche, 11 sites ne respectent pas l'objectif de qualité de $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Ils sont situés principalement sur des ronds-points, à des intersections, ou sur des boulevards urbains à fort trafic où les embouteillages et le roulage lent sont à l'origine d'émissions importantes. La configuration des voies et le bâti influencent aussi les niveaux de benzène en limitant la dispersion des polluants dans l'air. La station trafic permanente d'Antibes, située en centre ville, rue Vauban, et présentant ces caractéristiques ne respecte pas l'objectif de qualité.

Trois configurations caractérisent le territoire de la CASA pour la qualité de l'air :

- les grands axes routiers comme l'autoroute A8, les nationales (RN7, RN98) et les départementales (route de Grasse, route de Nice, ...) avec des concentrations élevées en NO_2 , dépassent les normes de qualité de l'air en raison du trafic important.
- Les communes de plus de 10 000 habitants (Antibes, Vallauris, Villeneuve-Loubet, Valbonne) peuvent présenter des dépassements des valeurs limites, en hiver notamment.

Les axes structurants et les intersections enregistrent des niveaux élevés en NO_2 et benzène en raison non seulement du trafic soutenu, des faibles vitesses de circulation (embouteillages) mais également de la configuration du bâti favorable à l'accumulation des polluants.

Sur ces communes, les niveaux moyens de fond en NO_2 varient de 16 à $35 \mu\text{g}/\text{m}^3$ et sont d'environ $1,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en benzène. Quelques points atypiques se distinguent selon les émissions de l'environnement proche (ex : $43 \mu\text{g}/\text{m}^3$ – chemin de Fuguières à Vallauris, $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ Jardin René Cassin à Antibes).

- Le nord de la zone, composé de petites villes ou villages et très boisé (Courmes, Caussols, Gourdon, Le Bar/Loup, Tourrettes/Loup) montrent une bonne qualité de l'air. Les niveaux en NO_2 sont faibles voire très faibles (inférieurs pour certains à $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$), exception faite pour Saint-Paul de Vence dont la fréquentation touristique en été entraîne une hausse des émissions et une concentration annuelle de $28 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

3. EMISSIONS SUR LE TERRITOIRE DE LA CASA

La connaissance et la préparation des données d'émissions constituent une étape essentielle et primordiale pour modéliser la qualité de l'air sur un territoire et servir de base au calcul de scénarii d'aménagements. En 2009, les émissions de polluants ont été précisées sur le territoire de la CASA avec l'intégration de données de trafic locales plus récentes.

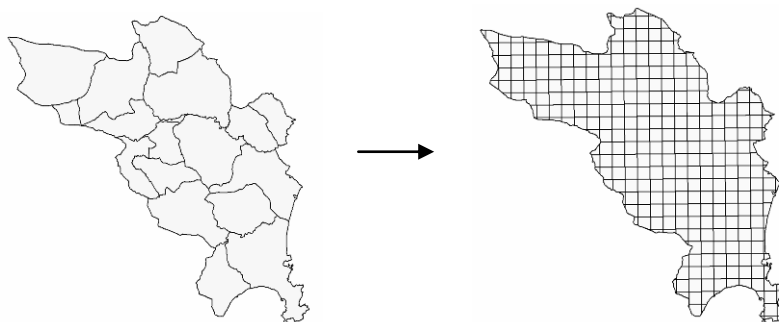
3.1. METHODOLOGIE

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.



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, sont présentés les résultats concernant 6 polluants principaux (les informations sur les autres composés sont disponibles auprès d'Atmo PACA).

3.2. SOURCES D'EMISSIONS CONSIDEREES / DONNEES D'ENTREE UTILISEES

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 2004³. Sur le territoire de la CASA, la méthodologie est identique à celle appliquée à 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'INSEE⁴, statistiques industrielles du SESSI⁵, bilan énergétique régional de l'ORE⁶, 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.

³ : Cf. Rapport d'études Atmo PACA, 2009 - « Pollution atmosphérique et gaz à effet de serre – Inventaire d'émissions 2004 »

⁴ : Institut National de la Statistique et des Etudes Economiques

⁵ : Service des Etudes et des Statistiques Industrielles

⁶ : Observatoire Régional de l'Energie

- Les **sources mobiles** concernent l'ensemble des sources dites « linéaires », c'est-à-dire le long des axes. Dans le cadre de l'étude sur la CASA, les émissions dues au trafic routier ont été améliorées grâce à l'utilisation en entrée des données issues du modèle multimodal des déplacements de l'agglomération azurée transférées par l'ADAAM. La transformation des sorties du modèle de trafic au format nécessaire à Atmo PACA pour le calcul des émissions a été réalisée avec l'appui technique de l'ADAAM. Les transports considérés comprennent bien évidemment le trafic routier mais aussi maritime, ferroviaire et aérien.
- 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.

3.3. BILAN D'EMISSIONS ET ANALYSE SECTORIELLE

Le bilan d'émissions pour les principaux polluants indique que la CASA représente de 10 à 17 % des émissions des Alpes-Maritimes et environ 2 % des émissions régionales.

Tableau 2 : émissions annuelles sur la CASA pour les principaux polluants (Inventaire A2006 V2009)

	NO _x	CO	CO ₂	SO ₂	COVNM	PM _{tot}	PM ₁₀	PM _{2.5}
	t/an	t/an	t/an	t/an	t/an	t/an	t/an	t/an
Agriculture, sylviculture et nature	58	146	7 018	4	999	5	3	2
Production et distribution d'énergie	0	0	0	0	94	0	0	0
Industrie et traitement des déchets	470	97	384 792	33	1 110	176	78	17
Résidentiel et tertiaire	174	972	216 088	79	341	16	13	12
Transports non routiers	1	0	183	0	0	0	0	0
Transports routiers	2 282	6 824	442 950	77	961	306	212	159
TOTAL CASA	2 985	8 039	1 051 031	193	3 505	502	306	191
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
%CASA / Alpes-Maritimes	15%	12%	17%	10%	12%	17%	16%	16%
%CASA / PACA	2%	1%	2%	0%	2%	2%	2%	2%

La part de la CASA dans les émissions de polluants départementales s'explique notamment par le poids démographique de celle-ci : la Communauté d'Agglomération de Sophia-Antipolis (qui regroupe 16 communes) représente environ 175 000 habitants, soit 16 % de la population des Alpes-Maritimes.

Les émissions sont rejetées par différents types de sources. L'étude de la part respective de chaque secteur d'activité est présentée dans la Figure 28 ci-dessous.

L'analyse sectorielle des émissions indique une nette importance du secteur des transports routiers pour la majorité des polluants présentés ici. Les transports routiers sont émetteurs d'un peu moins de 80 % des oxydes d'azote, 90 % du monoxyde de carbone et de 60 à 80 % des émissions de particules. Cette répartition sectorielle s'explique par le trafic important sur les principaux axes de l'agglomération, notamment l'autoroute A8 avec ses 100 000 véhicules/jour en moyenne.

Les activités industrielles représentent de 10 à 40 % des émissions de polluants (mis à part pour le CO pour lequel le poids de ce secteur n'est que de 1 %). Selon les polluants, plusieurs types d'activités jouent un rôle important comme l'incinération des déchets, les installations de combustion ou encore l'exploitation de matériaux dans les carrières.

Le secteur du résidentiel / tertiaire contribue à 40 % des émissions de SO₂, 20 % des émissions de CO₂ et moins de 10 % des autres polluants.

Les transports non routiers représentent une très faible part des émissions. Il s'agit essentiellement de l'influence des aéroports de Nice et de Cannes, situés de part et d'autre de la CASA. Il est à noter que ces rejets sont émis en altitude et ont donc moins d'influence que les rejets émis au sol ou à proximité.

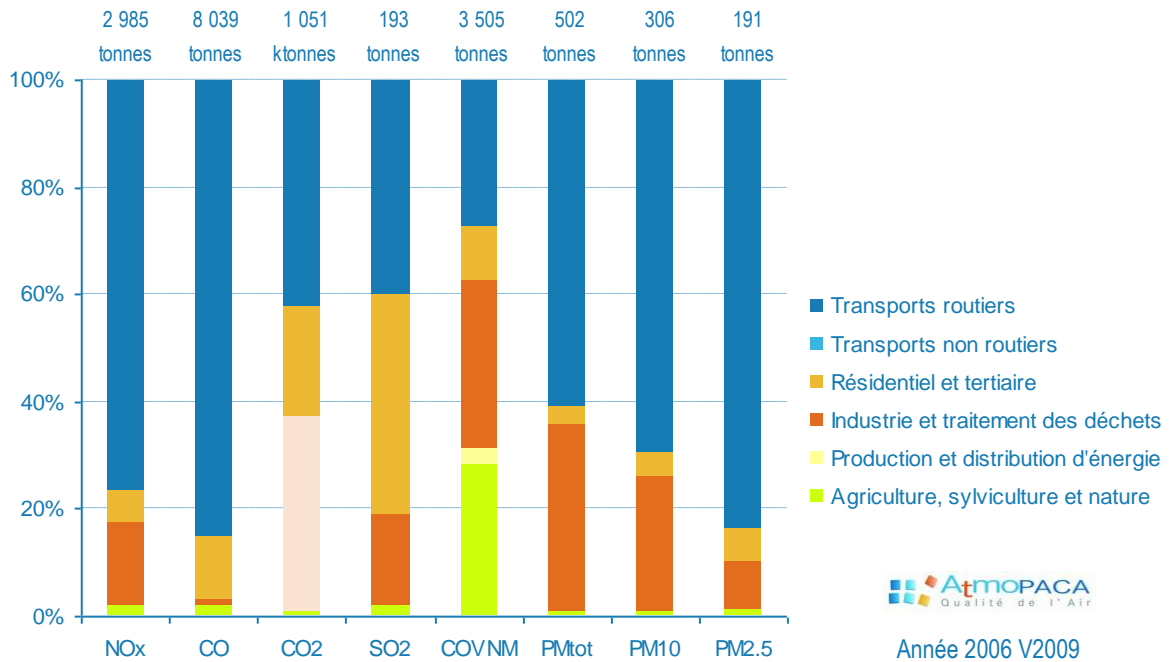
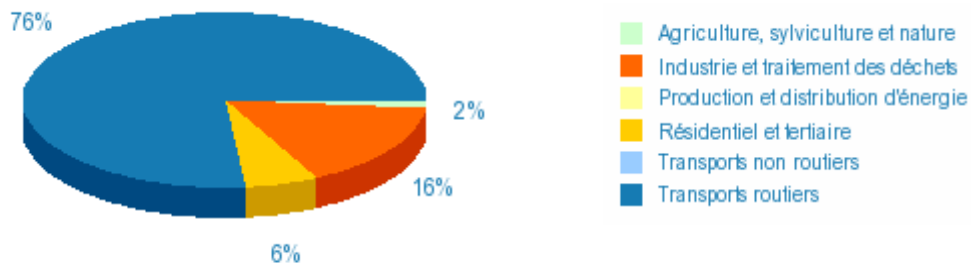


Figure 28 : part de chaque secteur d'activité dans les émissions de la CASA

EMISSIONS D'OXYDES D'AZOTE (2 985 TONNES/AN)

Sur le territoire de la CASA, les oxydes d'azote sont très majoritairement émis par les transports routiers, responsables de 76 % des rejets de NO_x. Les activités industrielles et de traitement des déchets participent à 16 % des émissions de NO_x (il s'agit principalement des installations de combustion telles que chaudières, fours, incinération des déchets). Les émissions du secteur résidentiel / tertiaire (6 % des émissions totales de NO_x) proviennent des chaudières avec une part respective de 60 % pour le résidentiel et de 40 % pour le tertiaire.

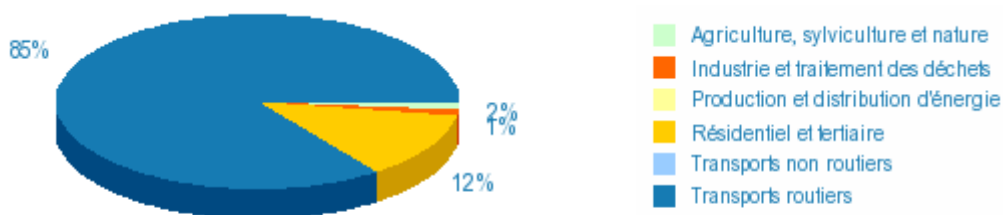


NOx kg/an | Inventaire des émissions PACA 2006 © AtmoPACA

Figure 29 : analyse sectorielle des émissions de NOx

EMISSIONS DE CO (8 039 TONNES/AN)

Le monoxyde de carbone est issu des procédés de combustion, suite à l'oxydation du carbone contenu dans les combustibles lorsque la combustion est incomplète (une combustion complète conduit à une oxydation du carbone en dioxyde de carbone). Sur la CASA, le CO est essentiellement émis par les transports routiers (85 %). La quantité de CO rejetée varie en fonction des véhicules et du mode de circulation. Les émissions sont maximales au démarrage, lorsque le moteur est encore froid, ou dans des conditions de trafic ralenti. Le secteur résidentiel / tertiaire participe à 12 % des émissions de CO.

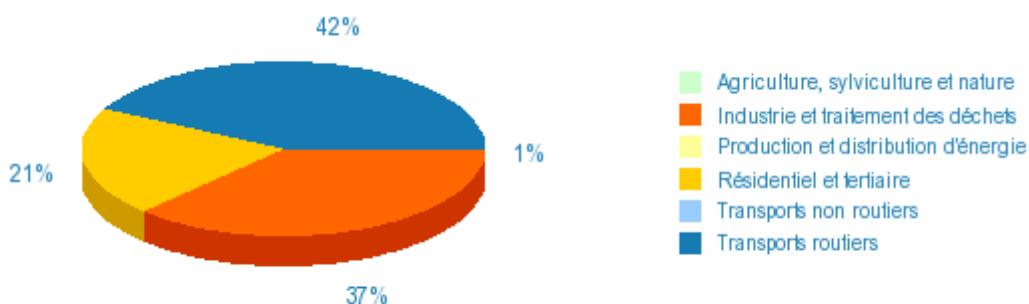


CO kg/an | Inventaire des émissions PACA 2006 © AtmoPACA

Figure 30 : analyse sectorielle des émissions de CO

EMISSIONS DE CO₂ (1 051 031 TONNES/AN)

Le dioxyde de carbone est issu à 42 % des transports routiers et 37 % des activités industrielles et de traitement des déchets (chaudières industrielles et incinération des déchets). Le secteur résidentiel / tertiaire contribue à l'émission de 21 % du CO₂ (dont les 2/3 proviennent des installations de combustion dans le résidentiel).

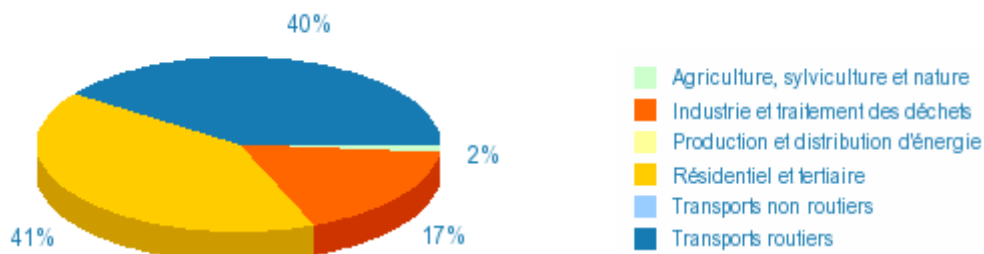


CO₂ kg/an | Inventaire des émissions PACA 2006 © AtmoPACA

Figure 31 : analyse sectorielle des émissions de CO₂

EMISSIONS DE SO₂ (193 TONNES/AN)

Les émissions de dioxyde de soufre proviennent essentiellement de la combustion de matières organiques fossiles contenant du soufre tels que fioul, charbon, etc. Les quantités émises dépendent donc directement de la quantité de soufre contenue dans les combustibles. Le secteur résidentiel / tertiaire émet 41 % du SO₂, du fait principalement de l'utilisation du fioul (responsable de la quasi-totalité des émissions de ce secteur sur la CASA). Les transports routiers émettent 40 % des émissions de SO₂ et les activités industrielles 17 %.

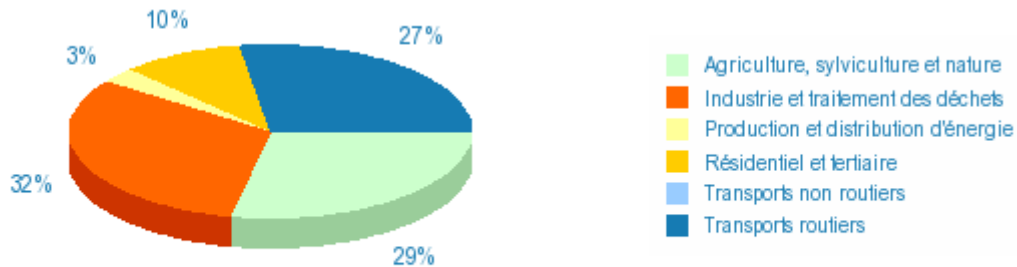


SO₂ kg/an | Inventaire des émissions PACA 2006 © AtmoPACA

Figure 32 : analyse sectorielle des émissions de SO₂

EMISSIONS DE COVNM (3 505 TONNES/AN)

Les émissions de Composés Organiques Volatils Non Méthaniques ont des origines variées. Sur la CASA, ils proviennent à 27 % des transports routiers (combustion des carburants mais aussi évaporation d'essence). Le secteur de l'industrie et du traitement des déchets est à l'origine de 32 % des émissions de COVNM (fabrication de produits chimiques / peintures, utilisation de solvants, stockage de déchets...). Les sources naturelles contribuent à 29 % des émissions de COVNM (la végétation est une source importante de terpènes et d'isoprènes). Il est important de préciser que ces émissions sont diffusées sur le territoire, induisant des concentrations généralement faibles, au contraire des émissions anthropiques rejetées très localement, pouvant induire des concentrations élevées à proximité des sources.



COVNM kg/an | Inventaire des émissions PACA 2006 © AtmoPACA

Figure 33 : analyse sectorielle des émissions de COVNM

EMISSIONS DE PARTICULES (PM_{TOT} : 502, PM₁₀ : 306, PM_{2.5} : 191 TONNES/AN)

Les particules en suspension ont des origines très diverses (combustion de combustibles fossiles, procédés industriels, érosion des chaussées, extraction de matériaux, etc.). Les émissions sont distinguées selon leur taille : les PM₁₀ (de diamètre < 10 µm) et les PM_{2.5} (de diamètre < 2,5 µm). Les particules sont issues majoritairement des transports routiers. Cette proportion augmente lorsque la taille des particules diminue (84 % des PM_{2.5} proviennent des transports routiers). Dans la nouvelle méthodologie de calcul utilisée pour le calcul des émissions (inventaire 2004), de nouvelles sources d'émissions auparavant peu connues ont été prises en compte. Il s'agit notamment des phénomènes de remise en suspension des particules dus au trafic routier mais aussi des particules provenant de l'usure des freins et des routes. L'industrie participe à 35 % des émissions de particules totales, 25 % des PM₁₀ et 9 % des PM_{2.5}. A l'inverse des transports routiers, cette part décroît avec la diminution de taille des particules. Sur la CASA, les émissions de particules totales et de PM₁₀ issus de l'industrie sont essentiellement dues aux activités d'extraction de matériaux.

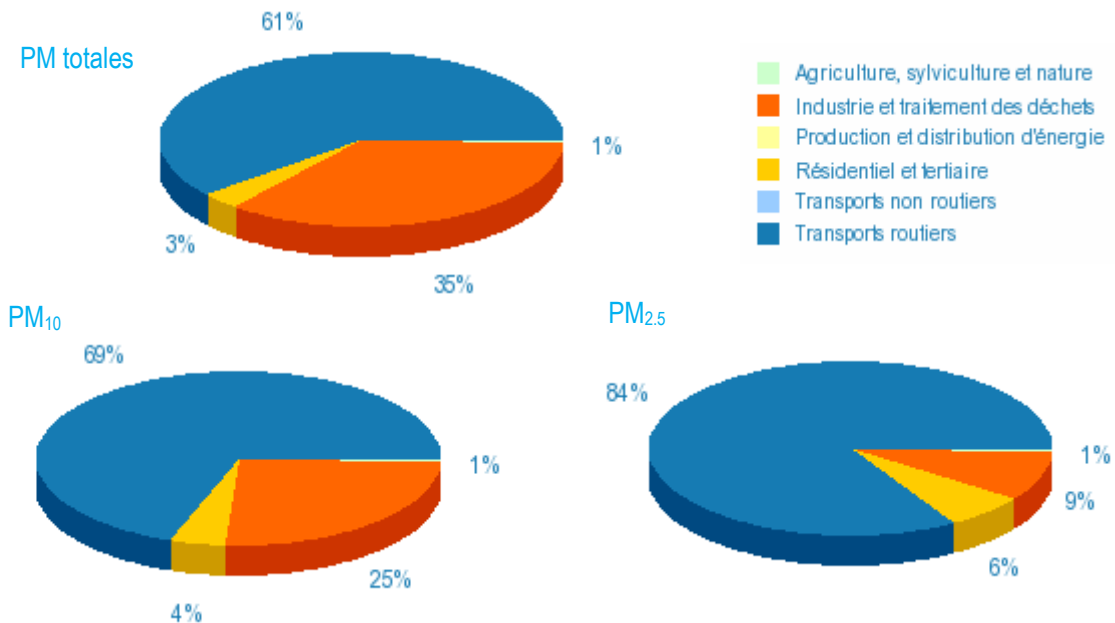


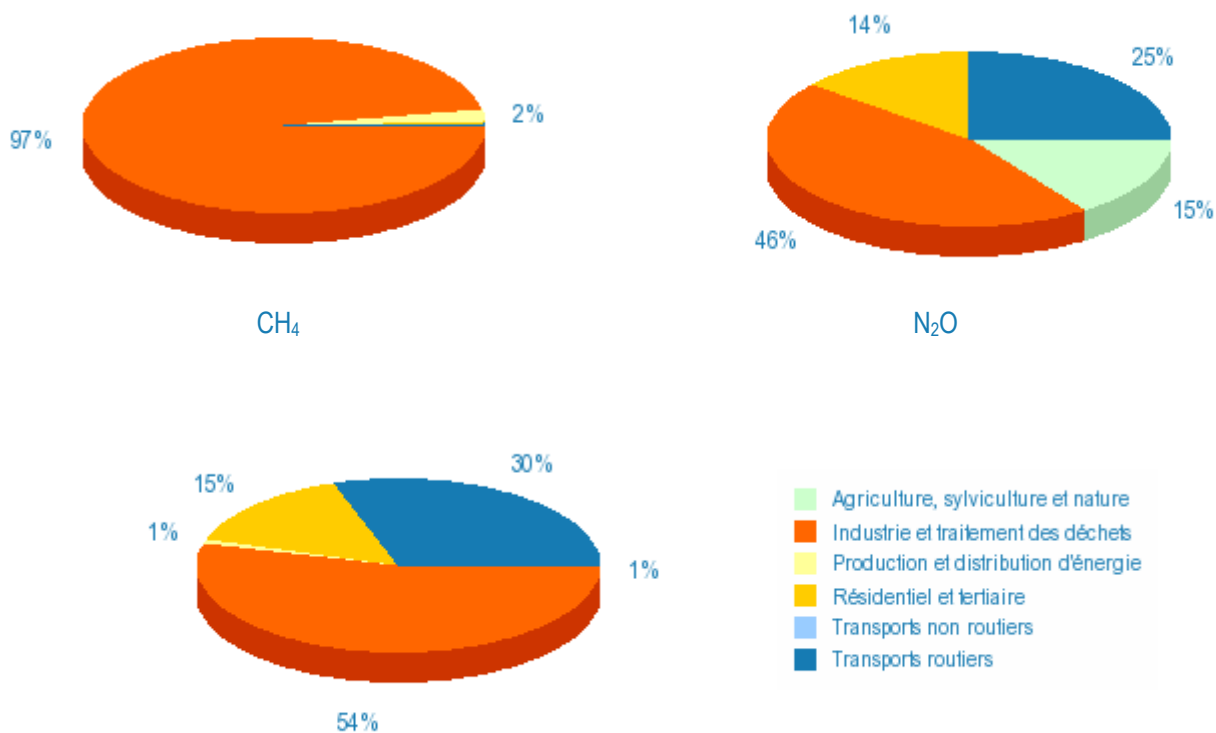
Figure 34 : analyse sectorielle des émissions de particules

BILAN D'EMISSIONS DES GAZ A EFFET DE SERRE

Trois gaz à effet de serre (CO₂, CH₄ et N₂O) sont pris en compte (parmi les six réglementés par le protocole de Kyoto) dans l'inventaire des émissions. Le poids de la CASA par rapport aux émissions départementales et régionales est du même ordre de grandeur que pour les autres polluants atmosphériques présentés ci-dessus.

Tableau 3 : émissions annuelles des GES sur la CASA (Inventaire PACA 2004)⁷

	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	CH ₄	N ₂ O	GES
	t/an	t/an	t/an	t eq.CO ₂ /an	t eq.CO ₂ /an	t eq.CO ₂ /an
Agriculture, sylviculture et nature	7 018	43	9	899	2 660	10 577
Production et distribution d'énergie	0	419	0	8 802	0	8 802
Industrie et traitement des déchets	384 792	19 358	26	406 516	7 907	799 215
Résidentiel et tertiaire	216 088	85	8	1 789	2 466	220 343
Transports non routiers	183	0	0	0	2	185
Transports routiers	442 950	57	14	1 197	4 303	448 450
TOTAL CASA	1 051 031	19 962	56	419 204	17 337	1 487 572
Alpes-Maritimes	6 172 976	23 787	317	499 519	98 324	6 770 818
PACA	49 727 074	147 667	4 933	3 101 010	1 529 348	54 357 432
%CASA / Alpes-Maritimes	15%	16%	17%	10%	13%	17%
%CASA / PACA	2%	2%	2%	0%	2%	2%



GES kg eq.CO₂/an | Inventaire des émissions PACA 2006 © AtmoPACA

Figure 35 : analyse sectorielle des émissions de Gaz à Effet de Serre

⁷ : Les émissions de gaz à effet de serre peuvent être exprimées dans une unité commune : la « tonne équivalent CO₂ ». La conversion des émissions de CH₄ et N₂O en équivalent CO₂ est réalisée en fonction de leur Pouvoir de Réchauffement Global (PRG) qui correspond à la puissance radiative que le GES renvoie vers le sol. Cette valeur se mesure relativement au CO₂ (source GIEC, 1996 : CO₂=1, CH₄=21, N₂O=310).

3.4. CADASTRES D'ÉMISSIONS

Les données d'émissions sont représentées sur une grille régulière de mailles kilométriques : le cadastre des émissions. Les figures suivantes présentent les cartographies du cadastre pour les oxydes d'azote, le benzène et les particules.

Les oxydes d'azote, le benzène et les particules (Figure 36, Figure 37 et Figure 38) sont des polluants principalement émis par le trafic routier. Ils se retrouvent donc essentiellement sur la bande côtière de l'agglomération où les réseaux de communication sont les plus nombreux.

L'industrie et notamment l'extraction des matériaux sont aussi des émetteurs importants de particules. Le cadastre des émissions de particules (Figure 38) montre la présence de carrières dans l'arrière-pays.

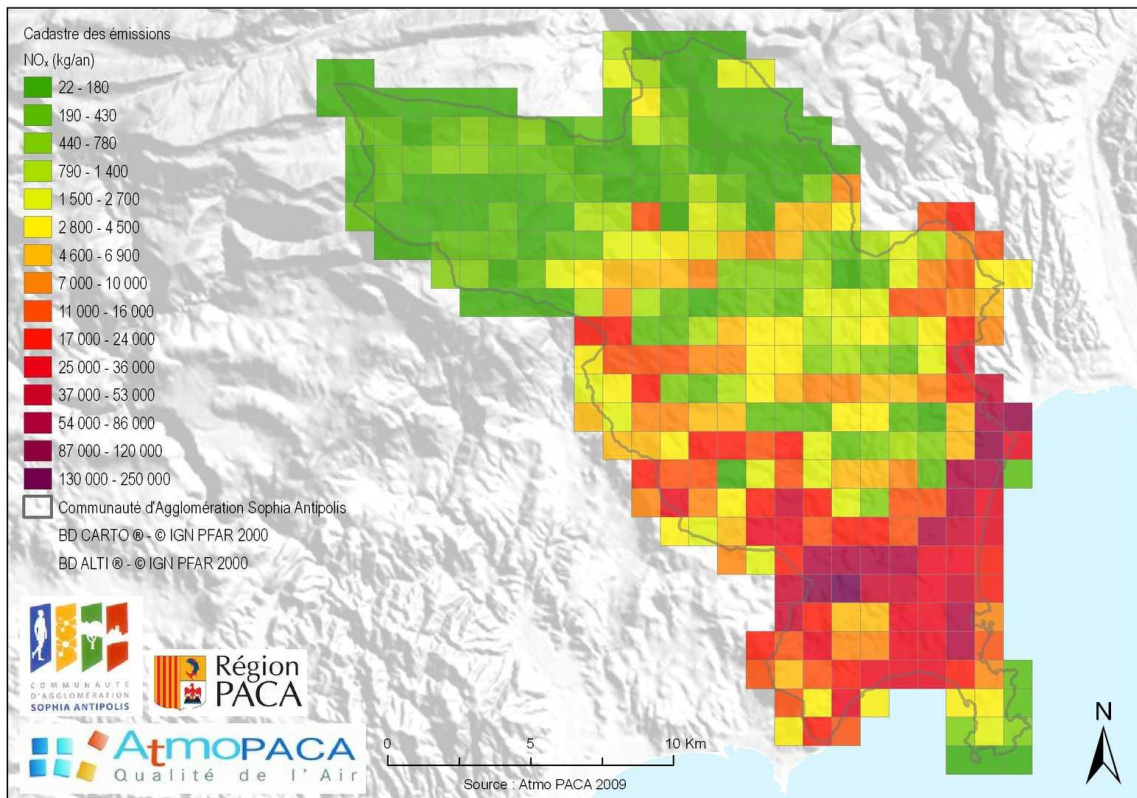


Figure 36 : cadastre kilométrique des émissions de NO_x sur la CASA (A2006 V2009)

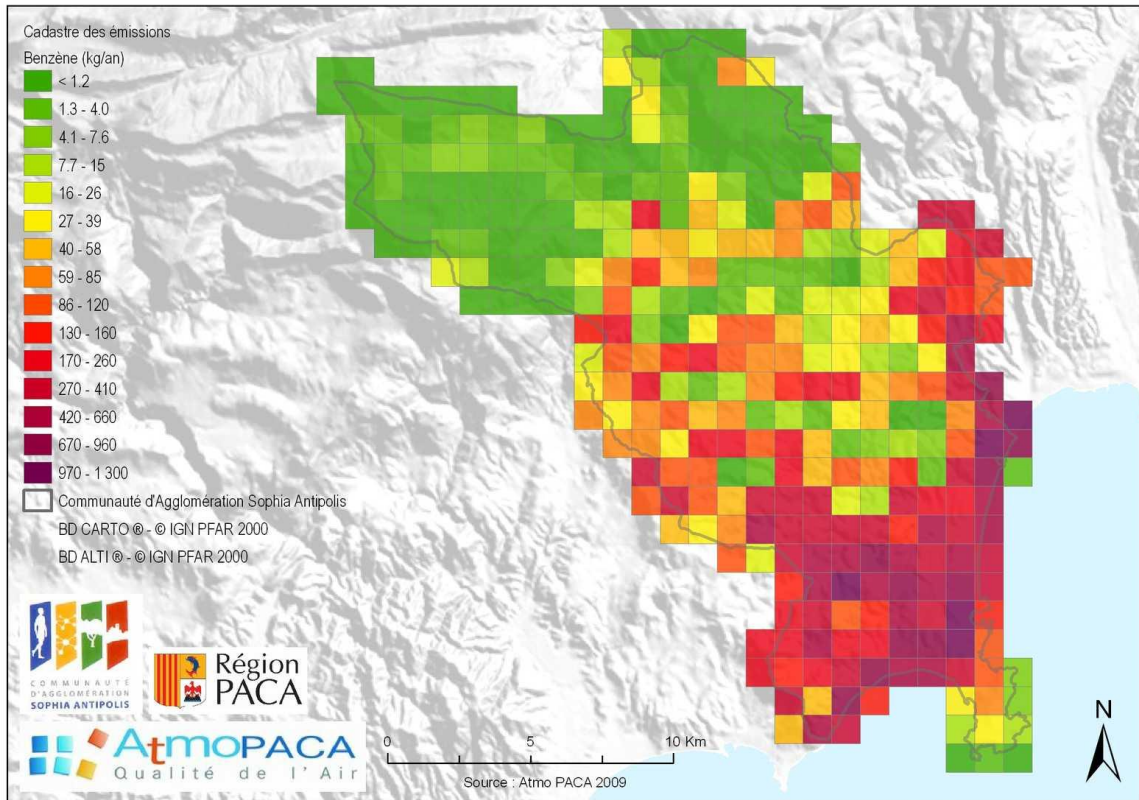


Figure 37 : cadastre kilométrique des émissions de benzène sur la CASA (A2006 V2009)

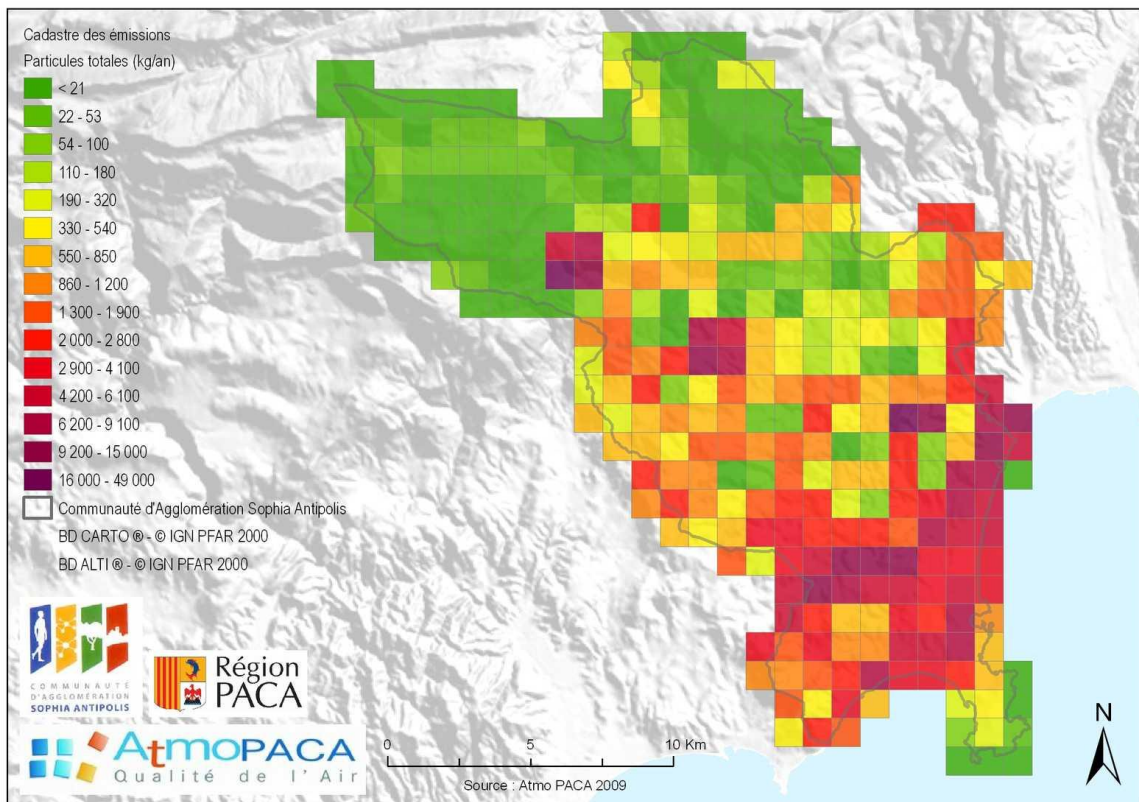


Figure 38 : cadastre kilométrique des émissions de particules sur la CASA (A2006 V2009)

4. MODÉLISATION 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, industrielles, résidentielles et tertiaires...) et 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. Il prend en compte la dispersion simultanée de plusieurs polluants (NO_x, CO, SO₂, COV, particules...) émis par plus de 7 500 sources différentes telles que :

- les routes avec leurs trafics associés,
- les sources industrielles ponctuelles et surfaciques,
- les sources diffuses (modélisées sous forme de volumes ou de surfaces).

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 mode séquentiel horaire, ce qui permet de prendre en compte l'évolution temporelle des conditions météorologiques durant la journée. Pour une étude de qualité de l'air à l'échelle 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 : la résolution varie du mètre à quelques centaines de mètres. De plus, le système permet un maillage « intelligent », en concentrant les points de calculs aux endroits où les gradients de concentration sont importants (le long et au bord des axes). Il permet également de disposer des points « spécifiques » correspondant à des localisations particulières, très utiles dans le cadre d'une comparaison modèle / mesure.

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, avec une prise en compte des effets de turbulence liés au trafic et aux effets « canyons » (cf. 4.2.2 Intégration des données d'émission page 45) jusqu'à l'agglomération (~40 x 40 km²) où des phénomènes tels que la photochimie ou la formation « d'îlots de chaleur urbains » sont considérés.

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, du quartier ou de l'agglomération :

- Modèle de terrain : à partir de paramètres météorologiques moyens, le modèle d'écoulements fluides FLOWSTAR (cf.

Annexe 6 : présentation du module Flowstar) calcule en 3D tous les champs de vent (résolution de l'ordre de 100 mètres) 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 : NO₂, NO, O₃ et COV (schéma de 7 réactions). Il utilise notamment les données de rayonnements solaires pour calculer les taux de photolyse ;
- 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.

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, taux d'émission (horaires et profils quotidiens), largeur des voies et hauteur du bâti, émissions industrielles ponctuelles (position et caractéristiques des cheminées)...
- Topographie de la zone d'étude : relief et occupation des sols (milieu urbain, hauteur moyenne du bâti...).

PHENOMENES PHYSIQUES PRIS EN COMPTE DANS L'ETUDE

Tableau 4 : 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 Valbonne
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 24 heures 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 ₂ , la corrélation NO _x -NO ₂ de Dewent-Middleton (1996) a été considérée
Pollution de fond	oui	Utilisation des mesures et des sorties modèle
Variabilité temporelle des émissions	oui	Profils temporels associés aux sources routières
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)

4.2. METHODOLOGIE APPLIQUEE SUR LA CASA

4.2.1. PARAMETRES DESCRIPTIFS DE LA ZONE

EMPRISE GEOGRAPHIQUE DU DOMAINE D'ETUDE

Le domaine d'étude couvre l'ensemble de la Communauté d'Agglomération Sophia Antipolis et représente une surface de 25 x 27 km². Compte tenu des contraintes environnementales, des contraintes liées au modèle ADMS-Urban et du nombre important de sources modélisées, le domaine d'étude a été découpé en 5 grilles de calcul.

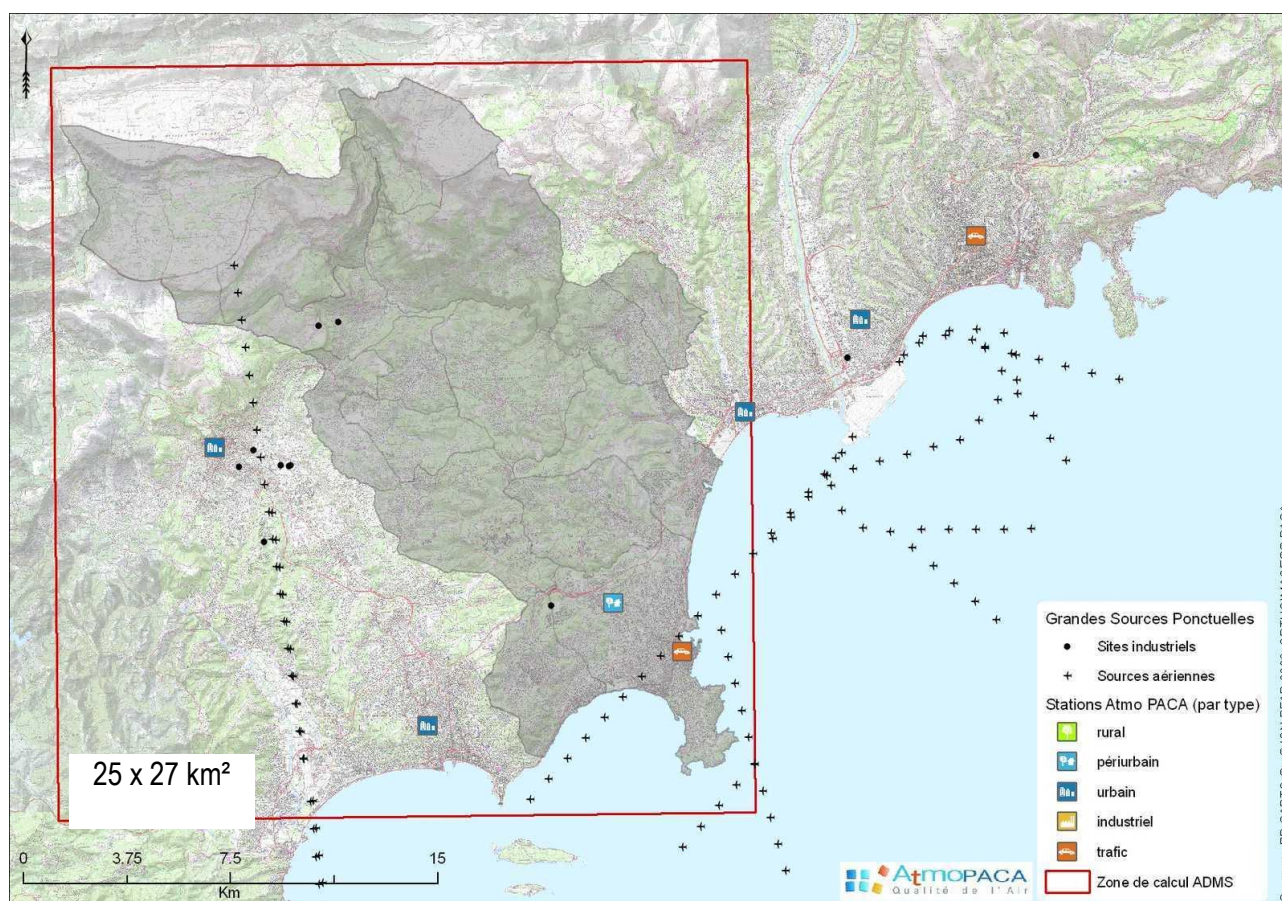


Figure 39 : localisation de la zone d'étude modélisée

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, ce qui permet de cartographier les concentrations sur la zone d'étude. Les calculs des concentrations ont également été réalisés pour une centaine de points spécifiques correspondant :

- aux stations de mesures fixes du réseau Atmo PACA,
- aux points de mesures correspondant aux tubes passifs positionnés sur l'agglomération au cours des campagnes de mesures de mars / avril et juin / juillet 2008.

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

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, qui eux-mêmes influencent la répartition en surface des concentrations des polluants. La topographie représentée sur la figure ci-dessous provient des données IGN (Modèle Numérique de Terrain 50 mètres).

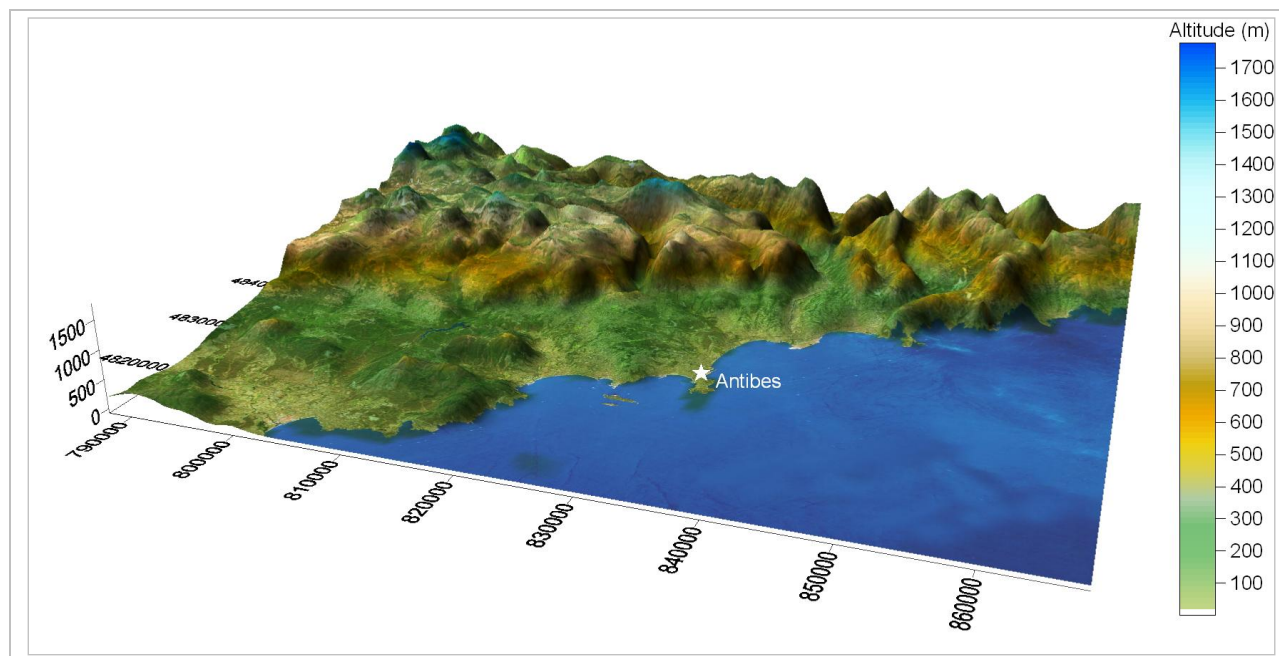


Figure 40 : topographie sur l'agglomération Sophia Antipolis

La nature des sols peut influencer la progression des panaches. Elle est 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. Sur la zone d'étude, les valeurs de rugosité appliquées sont de 0,5 mètre sur le domaine d'étude et de 0,1 mètre pour le site météorologique de Valbonne.

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).

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 représentatives de la climatologie locale et en particulier des mouvements d'air dans les premières couches atmosphériques.

Les paramètres météorologiques utilisés dans cette étude proviennent des stations Météo France de Valbonne et de Nice, mesurés au pas de temps horaire sur l'année 2008 :

- Paramètres température, précipitation, vitesse et direction du vent mesurés à la station de Valbonne ;
- Couverture nuageuse mesurée à la station de Nice aéroport.

Ces paramètres peuvent être directement utilisés par le modèle. 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 vitesse et direction de vent déterminent la trajectoire des panaches. Toutes ces données météorologiques ont été utilisées pour :

- caler et évaluer le modèle numérique ADMS-Urban à partir des résultats des campagnes de mesures du 11 mars au 8 avril 2008 et du 11 juin au 9 juillet 2008 ;
- calculer les concentrations moyennes sur la zone d'étude (période estivale, période hivernale et année).

La Figure 41 présente les roses des vents mensuelles sur les périodes des deux campagnes de mesure mesurées à la station Météo France de Valbonne. La saisonnalité est nettement visible avec une forte dominance des vents orientés Sud-Ouest sur la période mars / avril alors que la période estivale, entre juin et juillet 2008, a été plutôt marquée par un vent d'Est dominant. Les différences sont également marquées par des vitesses de vent plus fortes en mars / avril (en moyenne, la vitesse du vent est de 3,3 m/s) qu'en juin / juillet (2,3 m/s en moyenne).

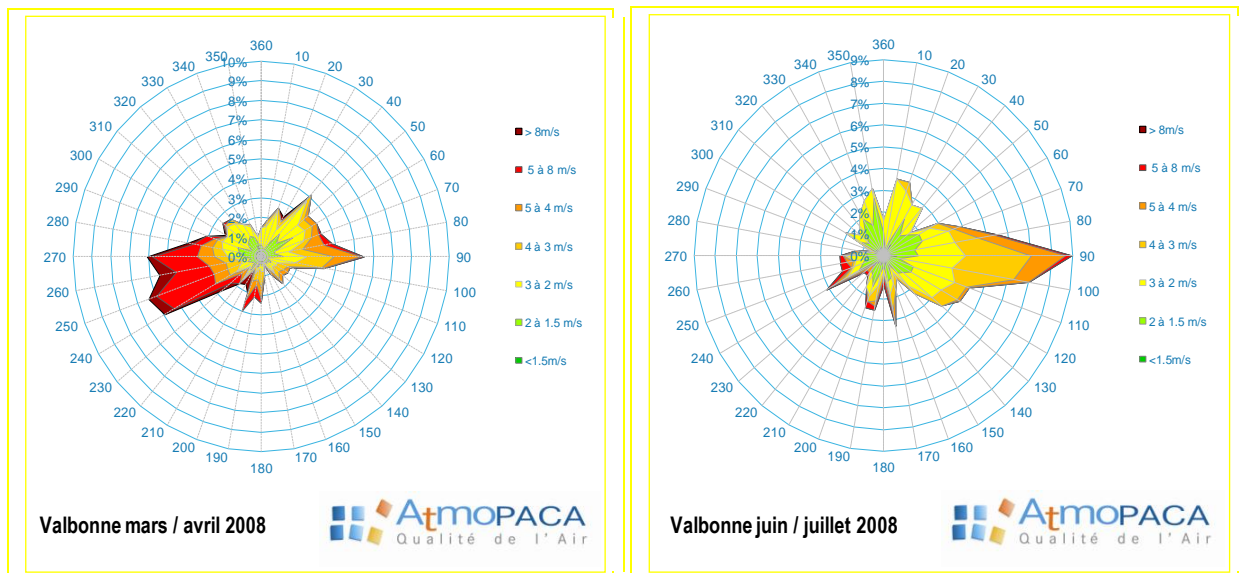


Figure 41 : roses des vents issues des paramètres mesurés à la station Météo France de Valbonne (périodes du 11 mars au 8 avril 2008 et du 11 juin au 9 juillet 2008)

En moyenne sur l'année, on retrouve les directions de vents orientées Ouest / Sud-Ouest et Est / Nord-Est majoritaires en fréquence mais aussi en intensité. Les vents de Nord et de Sud sont aussi présents de manière non négligeable.

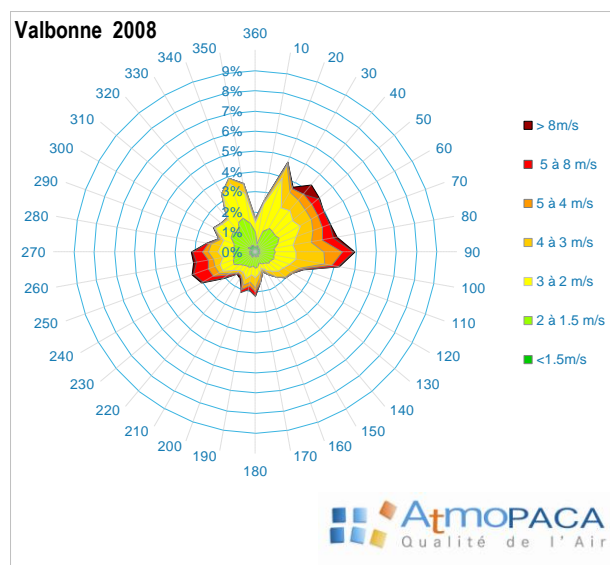


Figure 42 : rose des vents annuelle issue des paramètres mesurés à la station de Valbonne

LES POLLUANTS

Les polluants modélisés dans cette étude sont :

- le dioxyde d'azote (NO₂) et les oxydes d'azote (NO_x),
- le benzène
- les particules (PM10),

Les NO_x, le NO₂ 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/m³ (recommandations de l'ASTEE sur les particules émises par les UIOM [ASTEE, 2003]).

Cas spécifique des NO_x

La famille des oxydes d'azote (NO_x) est composée du monoxyde d'azote (NO) et du dioxyde d'azote (NO₂). 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/NO₂ dans l'environnement, à partir d'une simulation effectuée sur les NO_x. Cependant, la connaissance de cette répartition n'est pas directe, puisqu'elle est très variable et dépend de nombreux facteurs : répartition NO/NO₂ à la source, ensoleillement, niveaux de fond en NO, NO₂ et O₃, temps de transport depuis la source... L'estimation des concentrations en NO₂ contenue dans les concentrations de NO_x simulées par notre modèle dans l'environnement est possible grâce à la corrélation NO_x-NO₂ de Dewent-Middleton (1996) définie dans ADMS. Par ailleurs, la pollution de fond en NO_x et en NO₂ 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 comme les particules d'origine naturelle (fraction terrigène, aérosols marins...), les effets de remise en suspension des particules, les aérosols secondaires...

Pollution de fond

Les données de pollution de fond utilisée dans cette étude 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).

4.2.2. INTEGRATION DES DONNEES D'EMISSION

Les émissions d'origines anthropique et biogénique prises en compte dans les modélisations proviennent de l'inventaire d'émission affiné sur la CASA pour l'année de référence 2006 (cf. Emissions sur le territoire de la CASA page 31). Cet inventaire permet de connaître la répartition des émissions des polluants étudiés par secteur d'activité. A l'origine, cet inventaire est développé selon la nomenclature européenne SNAP (Selected Nomenclature for Air Pollution) : les activités émettrices sont distinguées selon les différentes catégories décrites dans cette nomenclature SNAP. Pour la phase de modélisation avec ADMS-Urban, les émissions ont été agrégées selon la répartition présentée ci-après.

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 NO₂, en benzène et en PM10 sur l'agglomération. Les principales sources d'émissions sont prises en compte de manière spécifique en fonction de leur nature :

- le trafic routier principal pour lequel les émissions sont prises en compte sous forme linéaire ;
- les sources industrielles majeures sont intégrées dans le modèle sous forme ponctuelle (Grandes Sources Ponctuelles). Les émissions sont décrites de manière fine pour chaque site de rejet, avec précision des caractéristiques techniques des rejets (température d'éjection, vitesse du rejet, diamètre de la cheminée...);
- les émissions dues au trafic aérien (décollage et atterrissage des avions) sont explicitées sous forme volumique afin de tenir compte de l'altitude changeante des appareils.

Enfin, l'ensemble des émissions rejetées sur le territoire de la CASA est intégré au cadastre total des émissions. Les rejets sont sommés dans des mailles de résolution kilométrique. Le cadastre utilisé en entrée de cette modélisation s'étend sur une surface de 42 x 56 km.

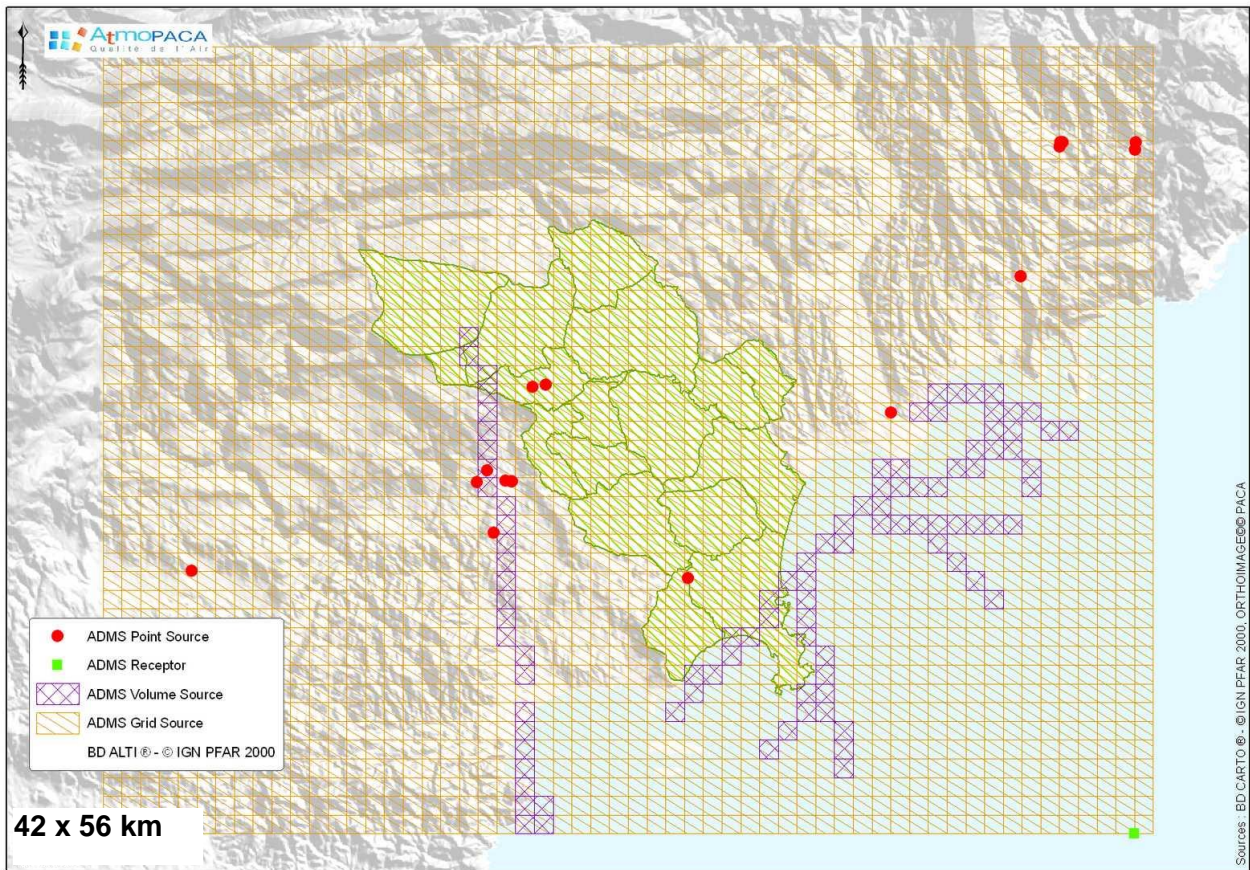


Figure 43 : visualisation des sources d'émissions surfaciques et ponctuelles modélisées dans ADMS-Urban

TRAFIC ROUTIER PRINCIPAL

Le réseau routier principal a été modélisé explicitement dans ADMS-Urban, selon plus de 4000 axes sur l'ensemble du domaine d'étude. Sur chaque axe ont été calculées les émissions dues au trafic local. Des profils temporels, spécifiques aux types de voies (autoroute, route, ville) ont été associés aux brins et intégrés dans les calculs.

L'utilisation des données de hauteurs de bâti issues de la BD TOPO® de l'IGN a permis d'identifier les rues « canyon » de ce référentiel. Un « canyon » est formé dans une rue située entre deux rangées de bâtiments. Cette situation est favorable à l'accumulation de la pollution (Figure 44).



Figure 44 : schéma simplifié de l'écoulement dans une rue canyon

Le caractère « canyon » d'un axe est déterminé par le rapport entre la largeur de l'axe (L) et les hauteurs de bâti de part et d'autre (H). Une rue est considérée comme « canyon » lorsque $L < 3H$.

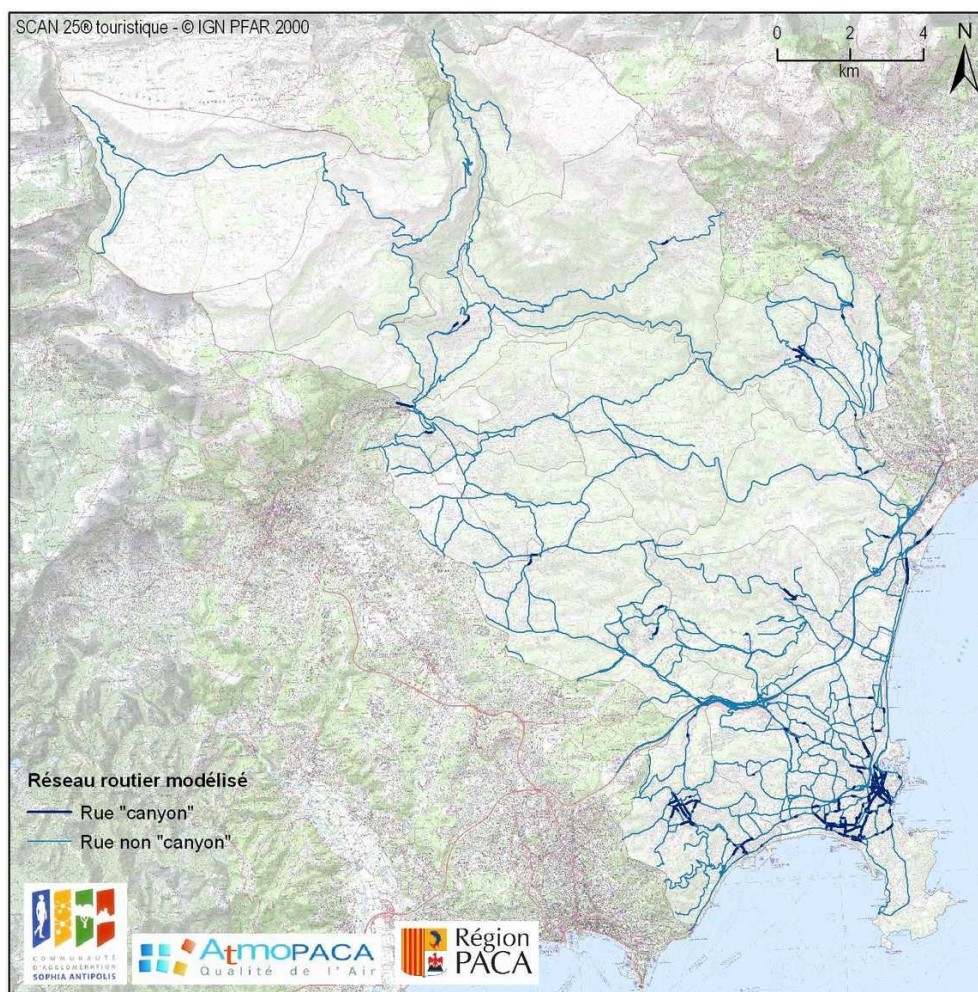


Figure 45 : réseau routier modélisé sur la CASA

GRANDES SOURCES PONCTUELLES (GSP)

Trois sources ponctuelles ont été recensées sur le territoire de la CASA, correspondant aux deux sites de V. MANE FILS (fabrication de produits de parfumerie) localisés au Bar-sur-Loup et l'usine d'incinération d'ordures ménagères VALOMED située entre Antibes et Vallauris. Aux environs de la CASA, 18 autres sources ponctuelles, situées entre la Vallée du Paillon à l'est et Bagnols-en-Forêt à l'ouest, ont également été modélisées explicitement afin de prendre en compte de manière précise la pollution pouvant entrer sur la zone d'étude (Figure 43).

ÉMISSIONS DU TRAFIC AÉRIEN

Les aéroports de Cannes et Nice étant relativement proches de l'aire d'étude, les émissions dues au décollage et à l'atterrissage des avions ont été prises en compte de manière explicite dans le modèle. Les émissions sont réparties dans des sources volumiques (mailles kilométriques et hauteurs variables correspondant à l'altitude des appareils) situées le long des trajectoires empruntées par les avions lors des phases de décollage et d'atterrissage.

CADASTRE KILOMETRIQUE DES ÉMISSIONS

Afin d'intégrer aux simulations toutes les sources d'émissions rejetées sur l'aire d'étude, un cadastre d'une résolution kilométrique a été utilisé. Chaque maille contient la totalité des émissions : les sources principales explicitées mais aussi toutes les autres sources d'émissions diffuses (industrielles, résidentielles, tertiaires, naturelles...). Chaque maille du cadastre est modélisée comme une source volumique à l'intérieur de laquelle les émissions sont considérées comme uniformément réparties. Lors des calculs, les émissions des sources explicitées dans ADMS sont soustraites au cadastre d'émissions.

L'emprise du cadastre (42 x 56 km) est plus grande que celle du domaine d'étude afin de prendre en compte la pollution provenant de l'extérieur de la CASA. Les émissions de NO_x, benzène et particules utilisées dans les simulations sont présentées respectivement dans les illustrations suivantes (Figure 46, Figure 47 et Figure 48).

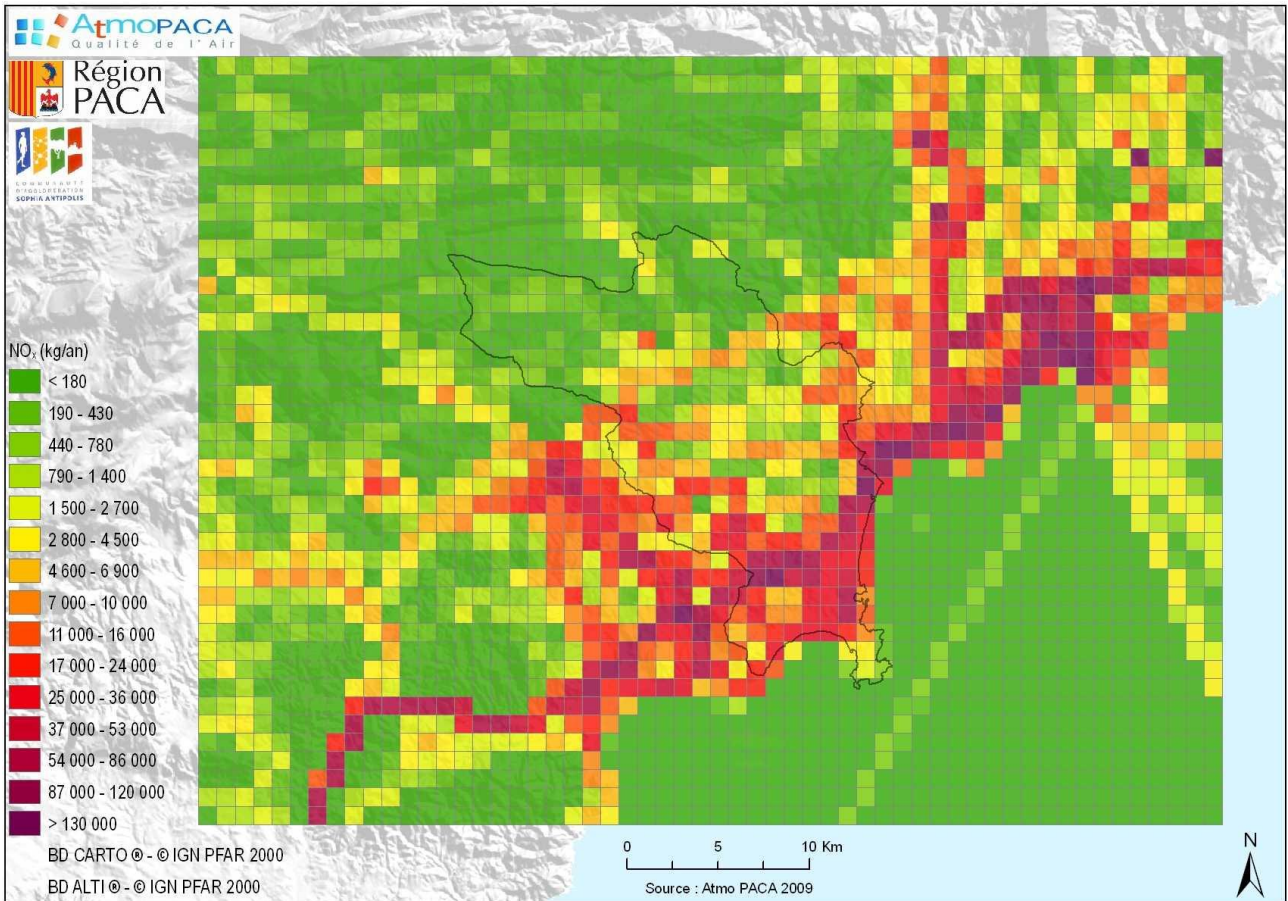


Figure 46 : cadastre kilométrique des émissions de NO_x utilisé dans ADMS-Urban

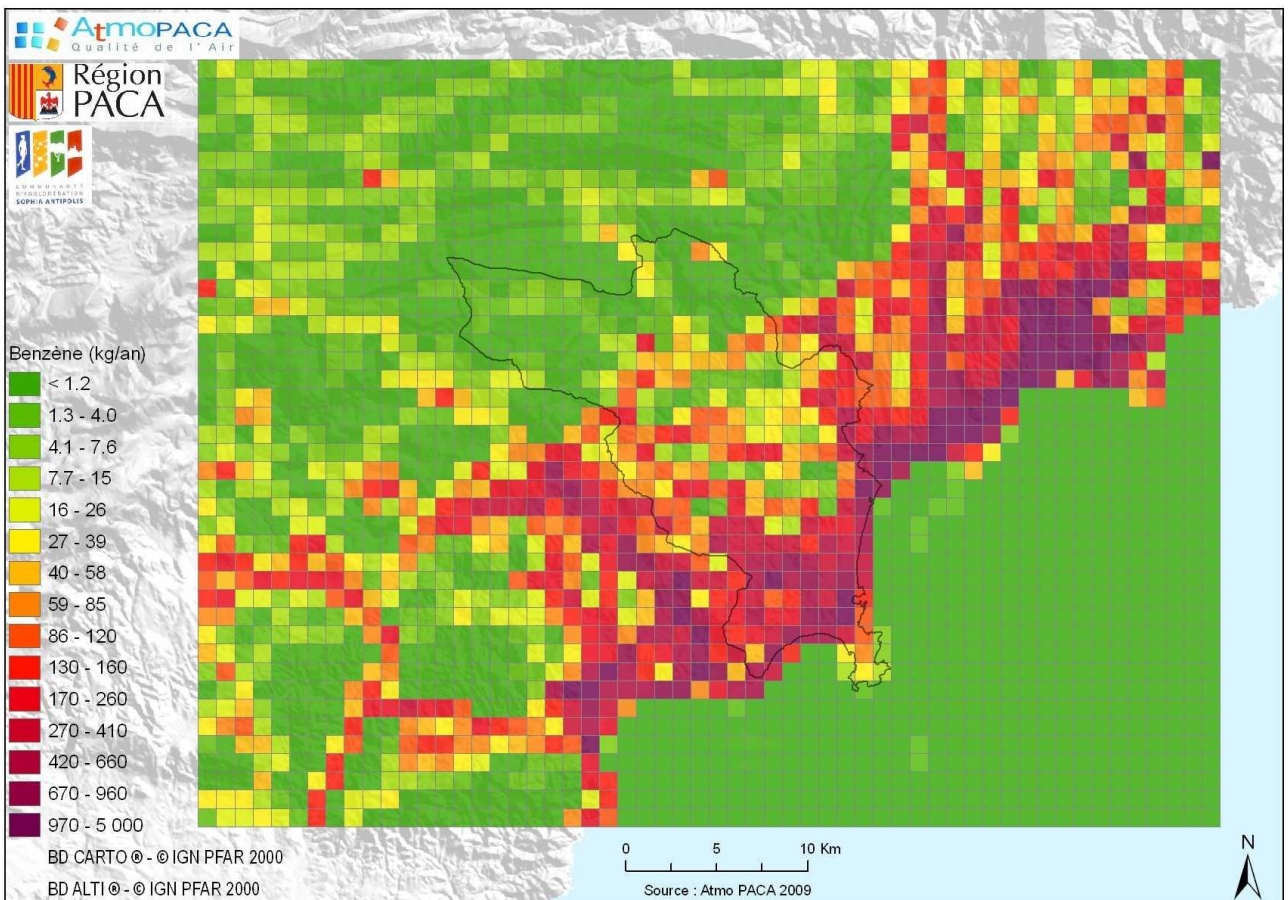


Figure 47 : cadastre kilométrique des émissions de benzène utilisé dans ADMS-Urban

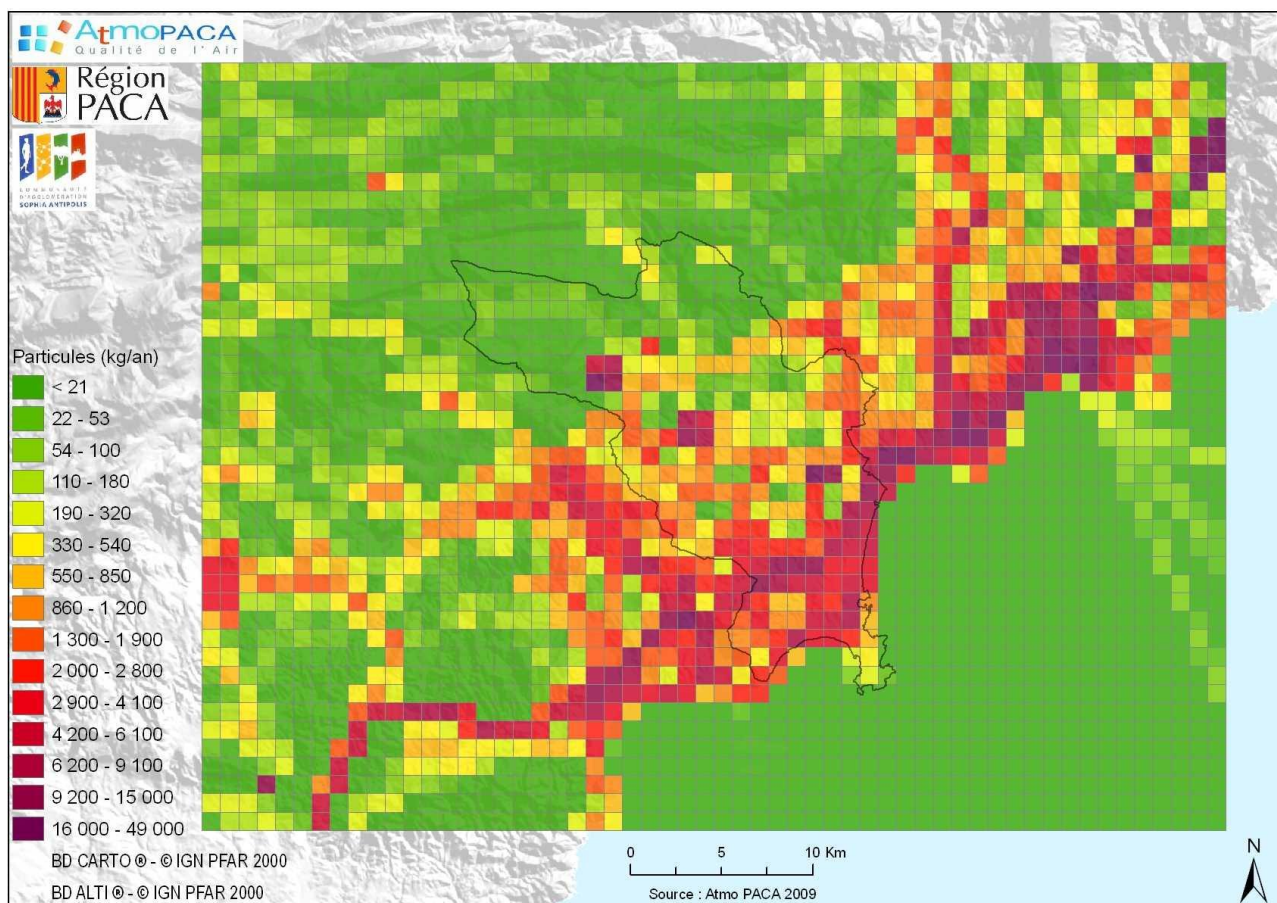


Figure 48 : cadastre kilométrique des émissions de particules utilisé dans ADMS-Urban

4.3. EVALUATION DE LA CHAÎNE DE MODELISATION

L'objectif de cette étude est de modéliser la qualité de l'air sur le territoire de la Communauté d'Agglomération Sophia Antipolis. Il s'agit de simuler les concentrations en NO_2 , benzène et particules sur l'aire d'étude.

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. 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 effectuées lors des campagnes) ;
- 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 permettent de quantifier et qualifier l'erreur commise, comme :

- 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 corrélation R, donnant la corrélation entre observation et modèle.

Ces indicateurs statistiques ont été utilisés pour réaliser le calage du modèle et pour valider les résultats simulés. De nombreux tests ont été réalisés. Les différences modèle / mesure ont été notées, une étude de sensibilité locale a été mise en œuvre afin d'expliquer ces différences en termes de concentration et d'améliorer les résultats. 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 décrits ci-après.

4.3.1. SENSIBILITE DE LA MODELISATION AUX DONNEES METEOROLOGIQUES

Les données météorologiques de deux stations Météo France ont été testées dans le cadre de cette étude : la station de Cannes et celle de Valbonne. Les paramètres enregistrés sur ces 2 sites sont très différents : la station de Cannes, localisée au niveau de l'aéroport, enregistre des vents très majoritairement orientés Nord et dans une moindre mesure Sud. A Valbonne, ces deux directions de vents sont également présentes mais leur fréquence est beaucoup plus faible, au profit de vents orientés Ouest / Sud-Ouest et Est / Nord-Est (cf. Paragraphe Météorologie dans Paramètres descriptifs de la zone page 43).

Les simulations réalisées à partir des données issues de la station de Valbonne ont donné de meilleurs résultats que celles intégrant les conditions météorologiques de Cannes. La station de Valbonne, plus représentative des conditions météorologiques de la CASA, a été conservée pour les calculs finaux.

L'état de stabilité atmosphérique en zone urbaine (réchauffement lié à la présence d'un îlot de chaleur) a été pris en compte à travers l'application d'une longueur minimale de Monin-Obukhov (Annexe 7: longueur de Monin Obukhov page 99), dont la valeur varie selon la saison. La Figure 49 montre que les concentrations nocturnes sont mieux restituées avec une longueur minimale de Monin-Obukhov de 10 mètres sur la période du 11 mars au 8 avril 2008.

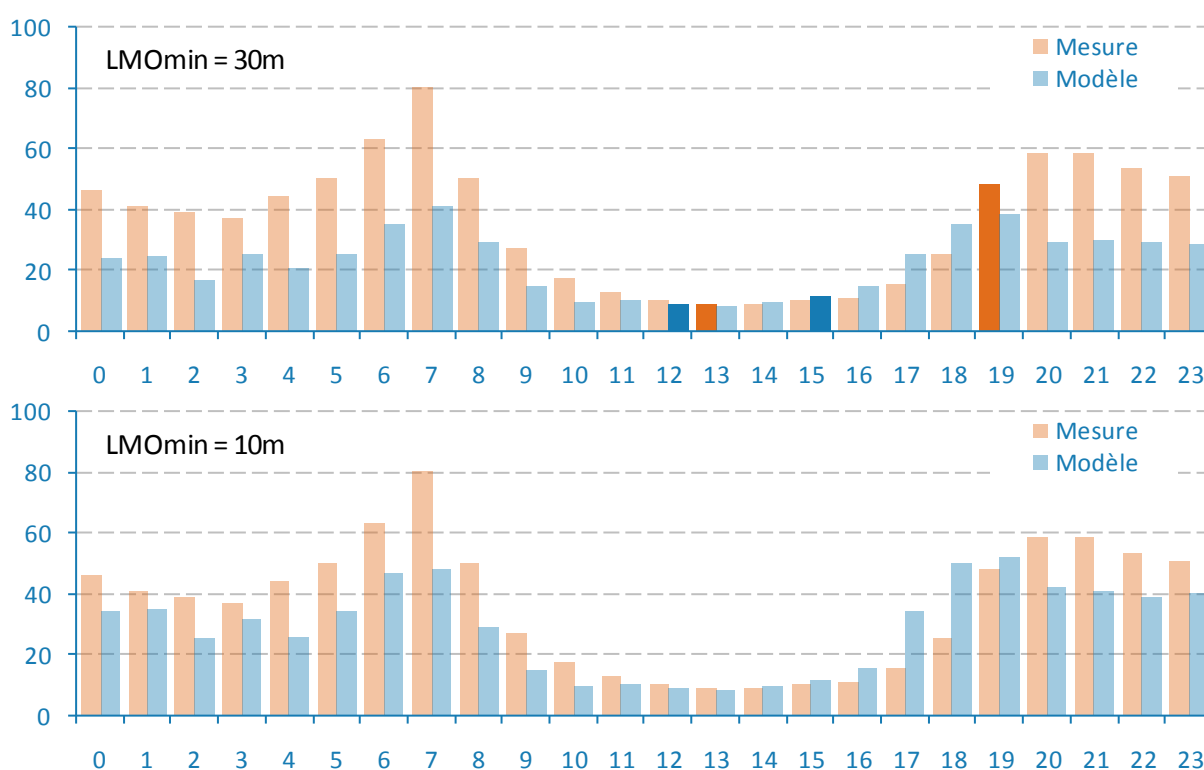


Figure 49 : influence de la longueur de Monin-Obukhov (LMO) sur le profil journalier des concentrations en NO₂ simulées à la station Antibes Jean Moulin du 11 mars au 08 avril 2008

4.3.2. SENSIBILITE DE LA MODELISATION A LA DESCRIPTION DE L'ENVIRONNEMENT

La rugosité décrit la nature rugueuse des obstacles occupant le sol. L'étude de sensibilité d'une rugosité variable et d'une rugosité constante sur le domaine d'étude a donné de meilleurs résultats statistiques avec des valeurs constantes. Sur la zone d'étude, les valeurs de rugosité appliquées sont de 0.5 mètre sur le domaine et de 0.1 mètre au niveau de la station météorologique. La prise en compte du relief grâce aux données d'un Modèle Numérique de Terrain (IGN) a également permis d'augmenter sensiblement la qualité des résultats obtenus.

4.3.3. SENSIBILITE DE LA MODELISATION A LA POLLUTION DE FOND

NO₂

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 NO₂ entrant sur le domaine. En effet, l'ensemble des sources émettrices de la CASA est intégré dans le modèle par l'intermédiaire du cadastre.

BENZENE

Les premiers résultats relatifs aux concentrations simulées en benzène ont montré une faible sous-estimation des basses concentrations, qui peut s'expliquer par l'existence d'un niveau de fond en benzène vraisemblablement inférieur à 1 µg/m³. Aucune mesure de benzène n'étant réalisée en continu il n'est pas possible d'intégrer une pollution de fond horaire en benzène. Seul un niveau de fond constant est estimé à partir des écarts moyens mesure / modèle et est ajouté aux résultats finaux.

PM10

En revanche, pour les concentrations en PM10, le calage a montré qu'il était nécessaire d'intégrer la pollution de fond dans les calculs. Les premiers tests réalisés sans pollution de fond ont mis en évidence des concentrations très faibles par rapport aux valeurs mesurées. La pollution de fond permet d'intégrer dans les calculs la pollution provenant des sources qui ne seraient pas intégrées dans le cadastre des émissions comme les particules d'origine naturelle (fraction terrigène, aérosols marins, ...), les effets de remise en suspension des particules, les aérosols secondaires.

Les mesures aux stations permanentes sont utilisées pour intégrer la pollution de fond en PM10 dans le modèle. Elles permettent de prendre en compte la variabilité horaire des niveaux sur la zone. Les valeurs mesurées par la station de Cagnes Ladoumègue en PM10 ont montré les meilleurs résultats et ont donc été retenues pour la modélisation. Cependant, cette station de mesures est localisée en milieu urbain. Les valeurs mesurées (31 µg/m³ en moyenne sur l'année 2008) ne sont donc pas représentatives de l'ensemble du territoire de la CASA et leur utilisation en tant que pollution de fond conduit à une surestimation des valeurs en milieu rural. Inversement, l'intégration d'un niveau de fond rural (généralement compris entre 20 et 25 µg/m³) entraîne une sous-estimation des valeurs de PM10 dans la zone urbanisée au sud de la CASA. Il est donc nécessaire d'ajuster la pollution de fond pour essayer de s'approcher d'une valeur plus représentative de l'ensemble du domaine tout en sachant que les gradients entre milieux rural et urbain seront peu visibles.

5. RÉSULTATS – CALAGE DU MODÈLE SUR LES PÉRIODES DE CAMPAGNES

5.1. CAMPAGNE MARS / AVRIL

5.1.1. NO₂

La Figure 50 représente la cartographie des concentrations en NO₂ moyennes sur la CASA lors de la période de mesures du 11 mars au 8 avril 2008. Les valeurs mesurées par les tubes passifs pendant la campagne sont représentées sous forme de symboles ponctuels.

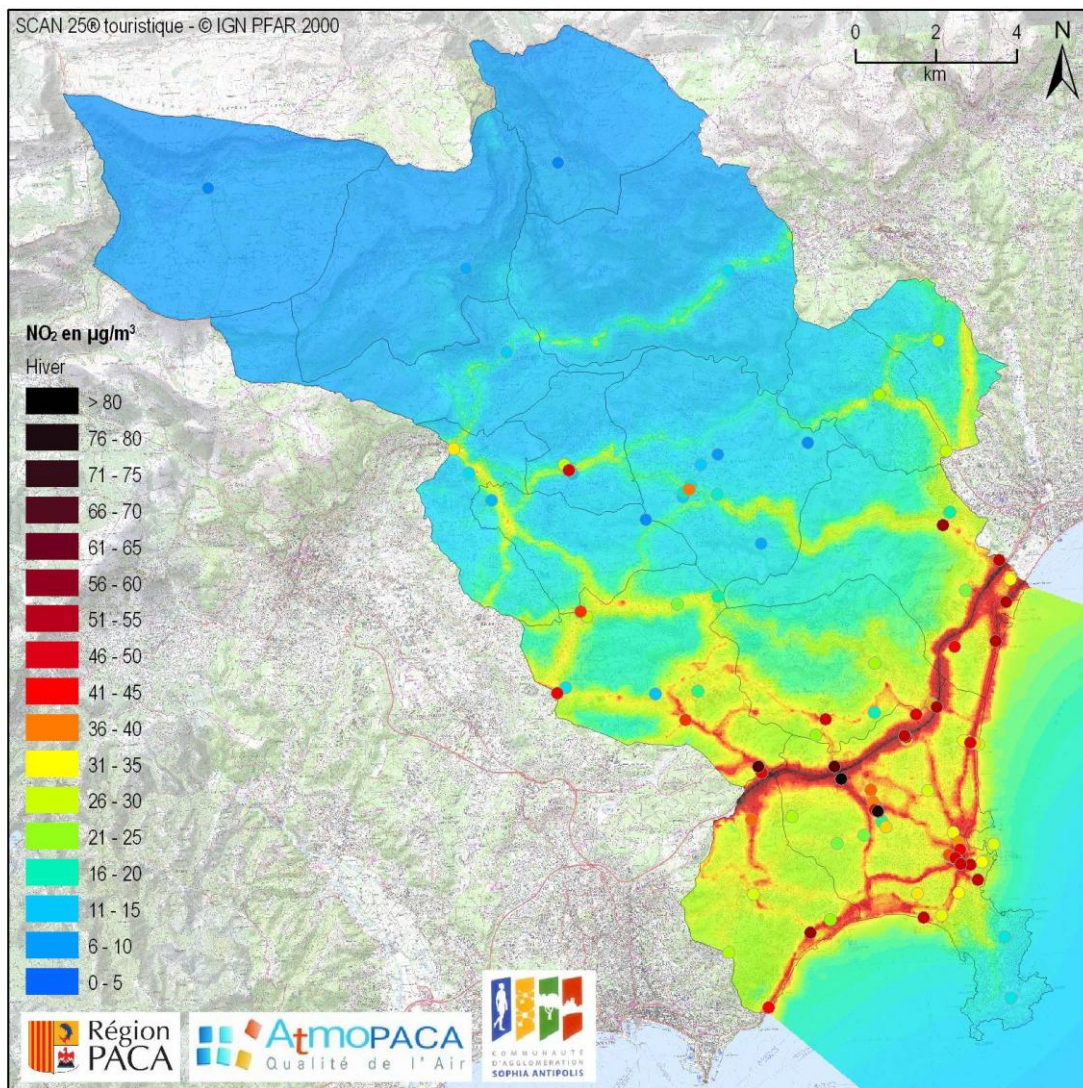


Figure 50 : concentrations moyennes simulées en NO₂ (µg/m³) au cours de la campagne mars / avril

Les concentrations en NO₂ sont maximales le long des axes routiers structurants, avec notamment des valeurs supérieures à 60 µg/m³ à proximité de l'autoroute A8, entre 40 et 60 µg/m³ le long des axes routiers en bord de mer. Les communes situées au sud de l'agglomération, Vallauris et Antibes, ainsi qu'une partie de Biot, Valbonne et Villeneuve-Loubet, présentent des concentrations moyennes intermédiaires autour de 30 µg/m³. Ces valeurs s'expliquent par la concentration des activités anthropiques dans cette partie de la communauté d'agglomération. Sur les autres communes de la CASA, plus au nord, les sources d'émissions sont moins importantes. Les concentrations moyennes en dioxyde d'azote sont donc plus faibles, souvent inférieures à 15 µg/m³.

RESTITUTION SPATIALE DES CONCENTRATIONS EN DIOXYDE D'AZOTE

Les concentrations en NO₂ ont été simulées aux points de positionnement des tubes passifs disposés sur l'agglomération au cours de la campagne de mesures. La comparaison modèle / mesure est présentée ici pour les concentrations en NO₂ qui ont été simulées avec le modèle ADMS à partir des données Météo France mesurées à la station de Valbonne (paramètre nébulosité issu de la station Météo France de Nice Aéroport).

La comparaison entre les concentrations simulées et mesurées montre des résultats satisfaisants (Figure 51) en termes d'indicateurs statistiques, avec notamment un coefficient de corrélation légèrement supérieur à 0,9.

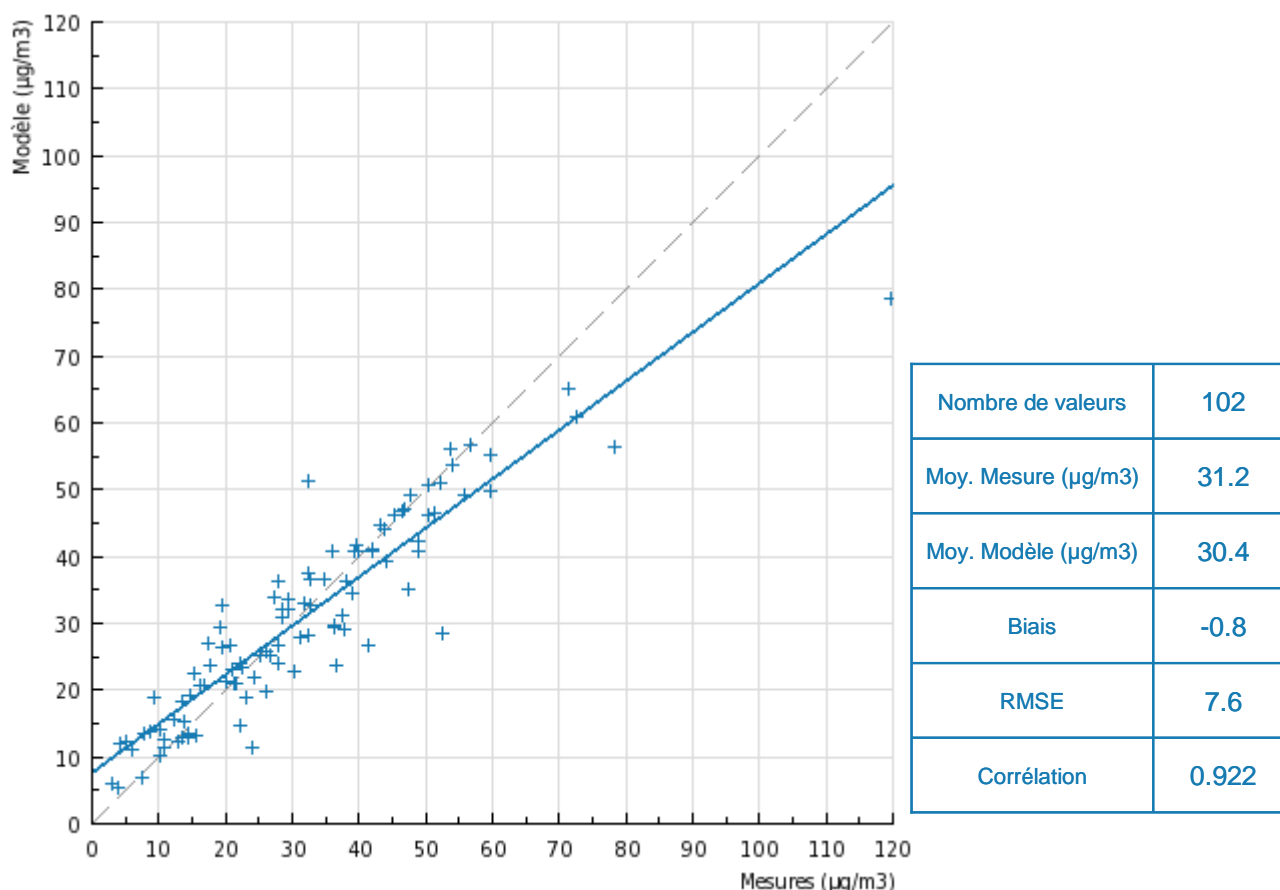


Figure 51 : comparaison des concentrations mesurées et simulées en NO₂ au cours de la période de campagne mars / avril

Toutefois, cette comparaison modèle / mesure met en évidence une très légère sous-estimation des concentrations par le modèle (biais de -0.8 µg/m³). L'analyse plus précise des comparaisons permet d'observer une tendance du modèle à légèrement surestimer les faibles concentrations en NO₂ et, au contraire, à sous-estimer les fortes valeurs.

Il est à noter que la concentration maximale mesurée (120 µg/m³ au rond-point des trois moulins) correspond à une situation locale particulière, avec un trafic routier dense et des voies de circulation encombrées. Ce site présente un caractère atypique par rapport aux autres points de mesure, qu'il n'est pas possible de reproduire en modélisation.

Sur la Figure 52 ci-après, sont présentées respectivement les valeurs modélisées par ADMS Urban (en bleu) et les valeurs mesurées par tubes passifs (en orange) pour chaque point de mesure de la campagne. Les résultats sont classés par typologie de site. Les observations précédentes sont confirmées avec globalement une bonne restitution des concentrations par le modèle malgré les légères :

- surestimation du modèle pour les faibles concentrations (sites de typologie rurale) ;
- et sous-estimation des fortes valeurs (sites de typologies trafic ou urbain enregistrant les plus fortes concentrations).

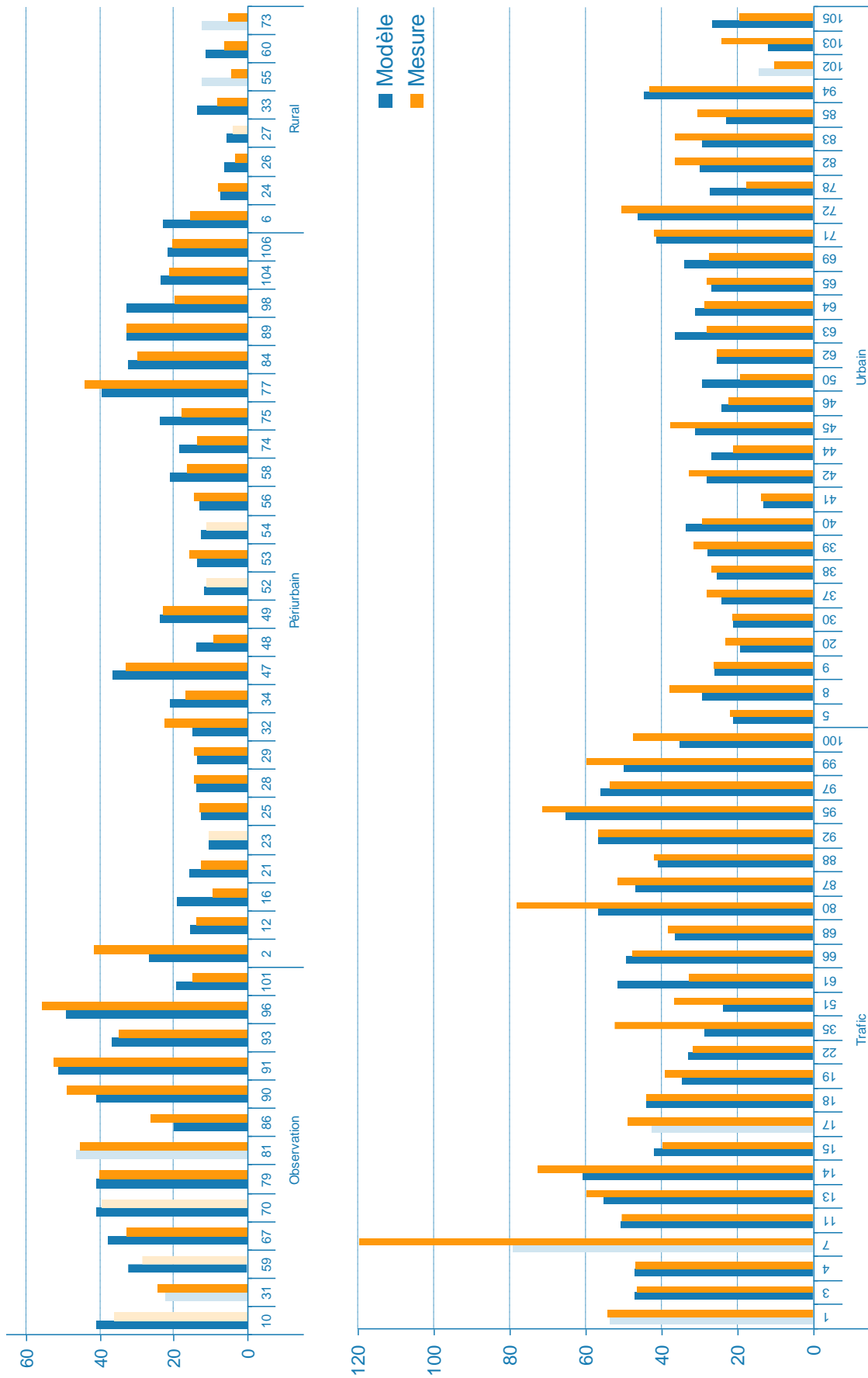


Figure 52 : comparaison des concentrations simulées et mesurées en NO₂ au droit des tubes passifs (période mars / avril)

5.1.2. C₆H₆ (BENZENE)

La Figure 53 présente la cartographie des concentrations moyennes de benzène sur la CASA lors de la période de mesures du 11 mars au 8 avril 2008. Les valeurs mesurées par les tubes passifs pendant la campagne sont représentées sous forme de symboles ponctuels.

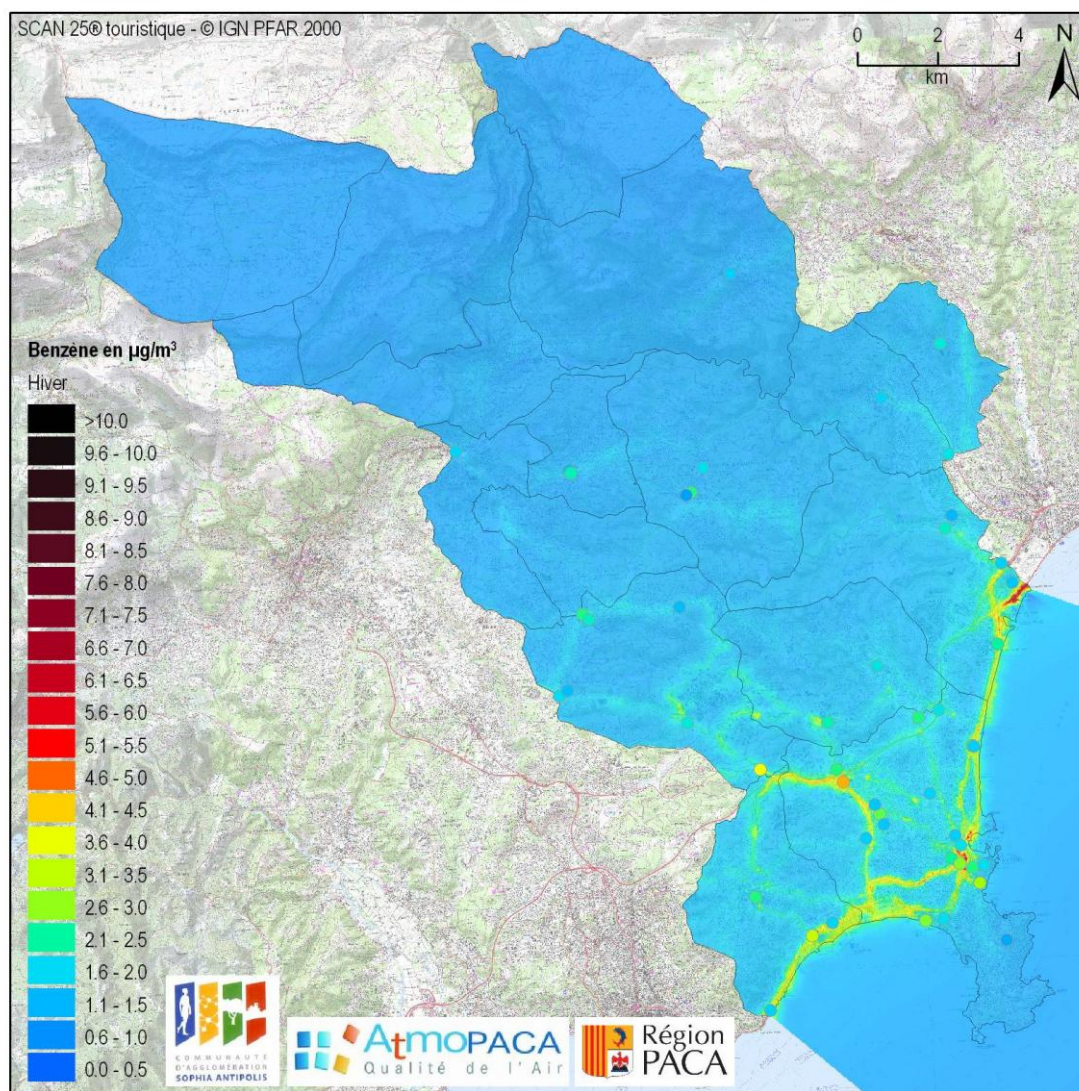


Figure 53 : concentrations moyennes simulées en benzène (µg/m³) au cours de la période mars / avril (pollution de fond = 0,4 µg/m³)

Les concentrations maximales de benzène sont localisées en centre ville et sur les principaux axes routiers où se trouvent les principales sources d'émission (le benzène est émis par évaporation de l'essence ou à l'échappement des véhicules). Les conditions de circulation (encombrement des axes, vitesse plus lente) favorisent les émissions de benzène par les véhicules. Malgré un trafic important, ce n'est pas sur l'autoroute A8 que l'on retrouve les niveaux maximums en benzène. Certains axes routiers peuvent être parfois plus encombrés, en centre ville d'Antibes ou en bord de mer par exemple, sur lesquels les niveaux atteignent des valeurs supérieures à 4-5 µg/m³. Les concentrations diminuent rapidement de part et d'autre des voies pour atteindre un niveau de fond généralement inférieur à 1 µg/m³.

RESTITUTION SPATIALE DES CONCENTRATIONS EN BENZENE

Les indicateurs statistiques traduisent une restitution correcte des concentrations en benzène par le modèle, avec un coefficient de corrélation de 0,76, bien que moins satisfaisante que pour le NO₂ sur la même période.

Le biais de -0,4 µg/m³ traduit une légère sous-estimation systématique des valeurs. Pour réaliser cette étape de modélisation, aucune pollution de fond en benzène n'est intégrée dans le modèle. Cette phase de calcul est nécessaire afin d'évaluer la part des concentrations en benzène que peut estimer le modèle sur cette période, uniquement grâce aux émissions fournies en entrée de calcul. La valeur du biais ainsi obtenu correspond à la pollution urbaine de fond qui sera intégré dans le calcul final.

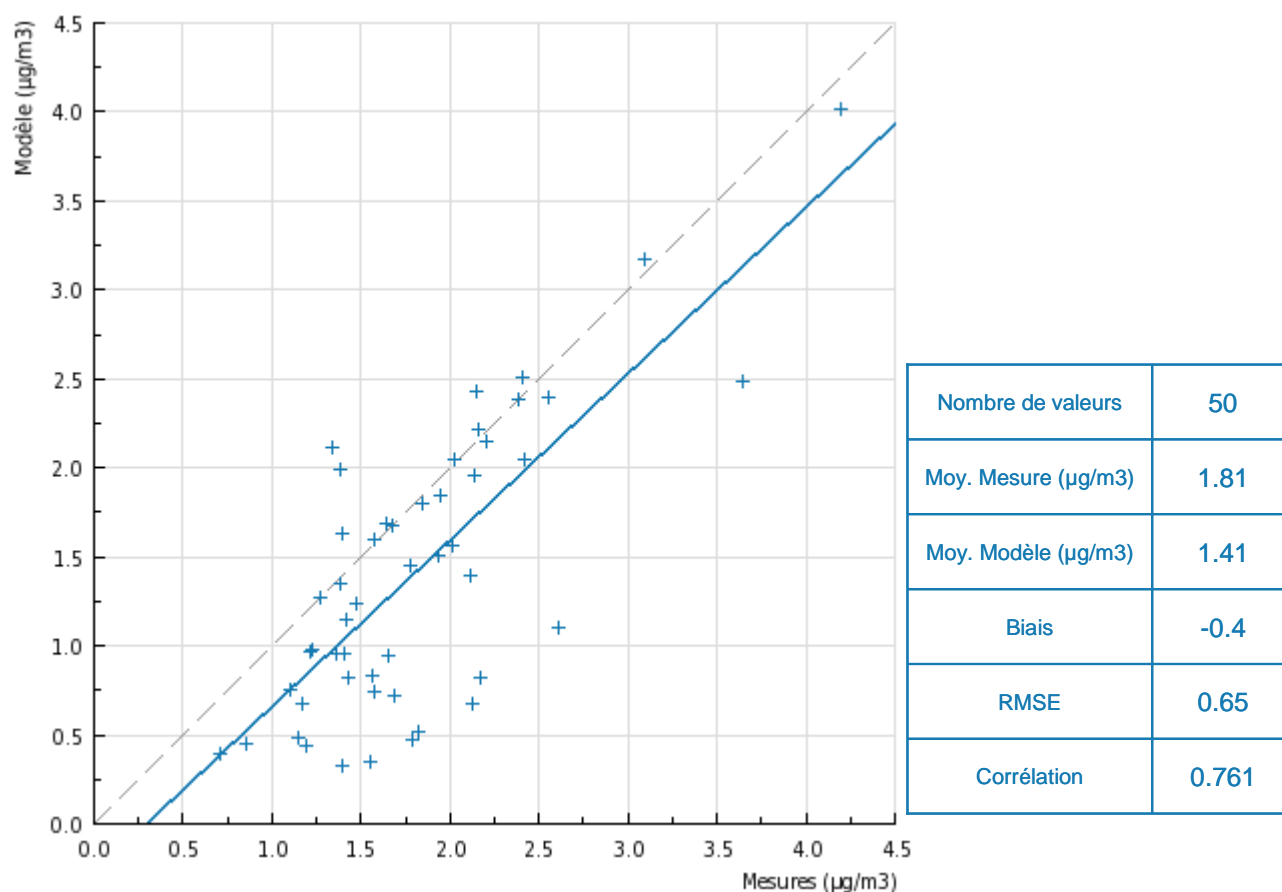


Figure 54 : comparaison des concentrations mesurées et simulées en benzène au cours de la période mars / avril (avant ajustement de la pollution de fond)

Sur la Figure 55 ci-après, sont présentées respectivement les valeurs de benzène modélisées par ADMS Urban (en bleu) et les valeurs mesurées par tubes passifs (en orange) pour chaque point de mesure de la campagne. Les résultats sont classés par typologie de site et permettent d'observer une bonne restitution globale des concentrations par le modèle malgré les légères :

- sous-estimation du modèle pour les faibles concentrations (sites de typologie périurbaine) ;
- et surestimation des fortes valeurs (sites de typologies trafic enregistrant les plus fortes concentrations).

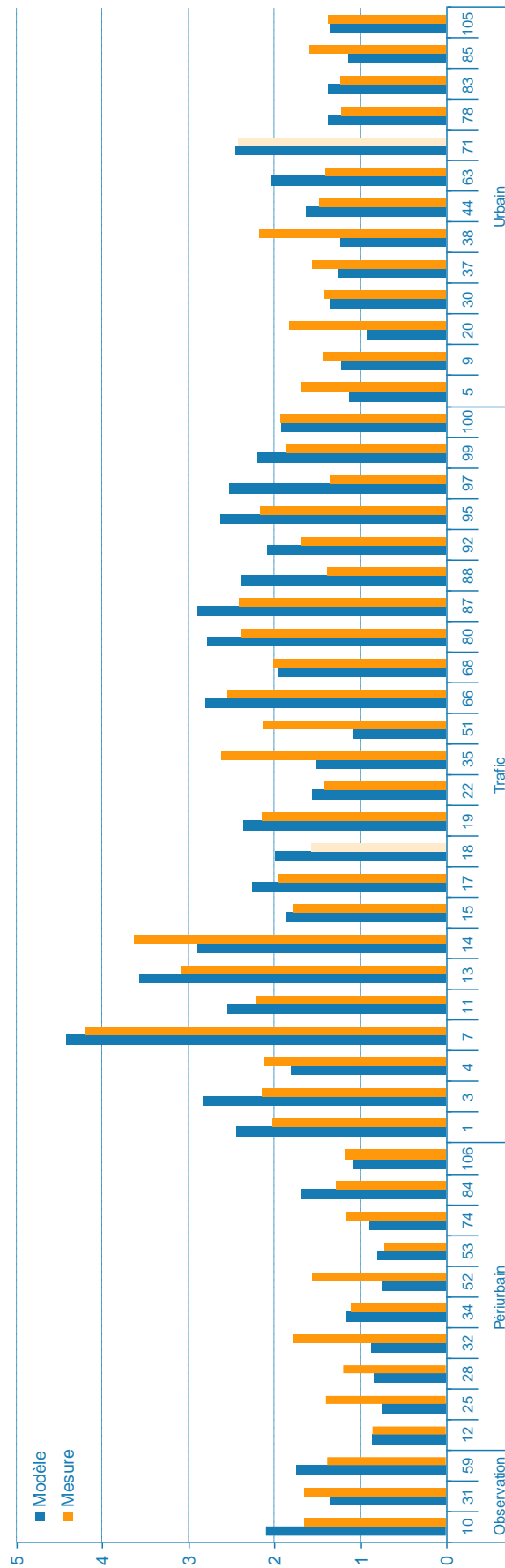


Figure 55 : comparaison des concentrations simulées et mesurées en benzène au droit des tubes passifs sur la période mars / avril (avant ajustement de la pollution de fond)

5.1.3. PM10

La Figure 56 représente la cartographie des concentrations moyennes de PM10 simulées sur la même période et la même zone.

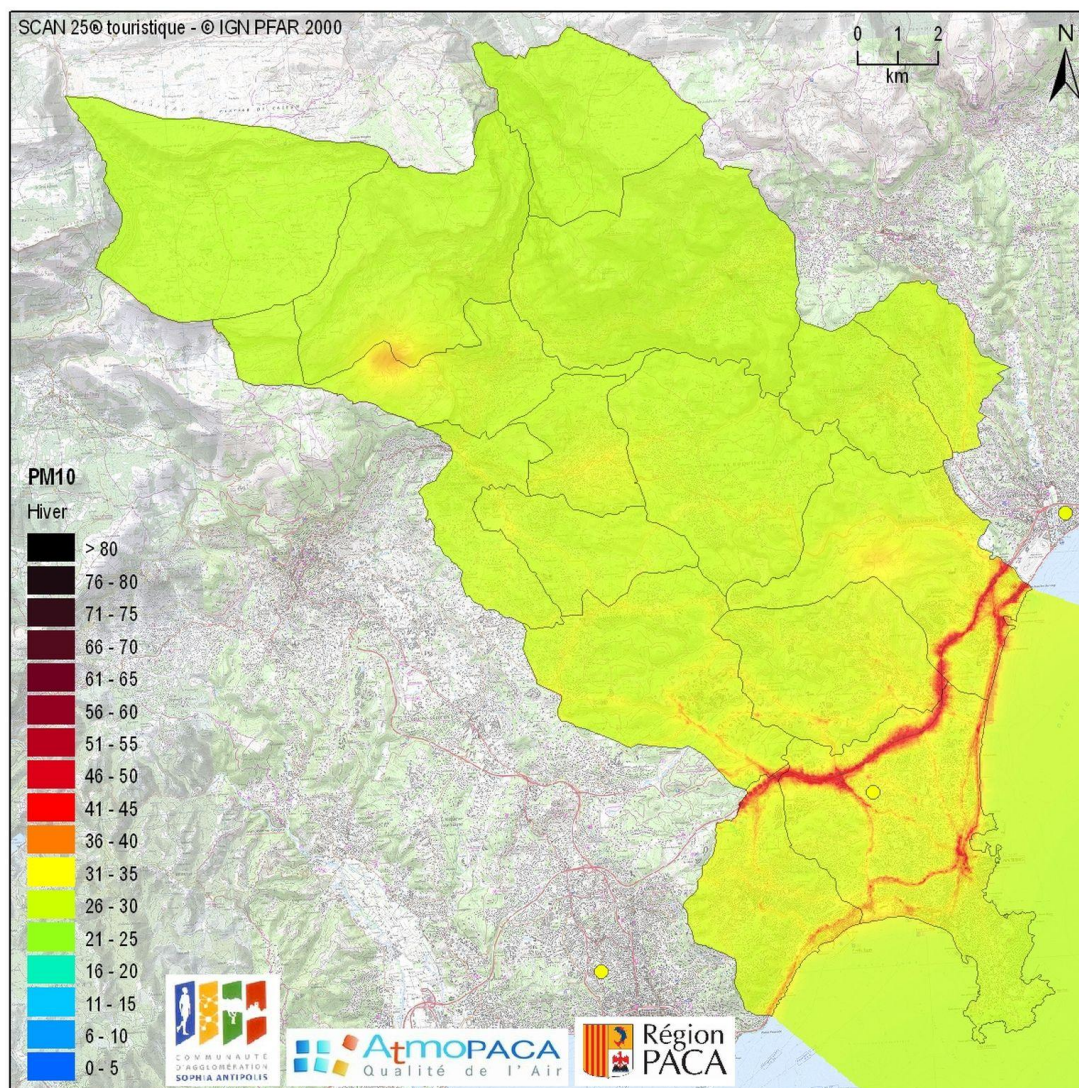


Figure 56 : concentrations moyennes simulées en PM10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) au cours de la période mars / avril (pollution de fond à l'extérieur du domaine = $22 \mu\text{g}/\text{m}^3$)

Comme pour le dioxyde d'azote et le benzène, les plus fortes concentrations (supérieures à $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$) sont atteintes sur les axes routiers les plus chargés. Les teneurs simulées sont également élevées dans les centres villes. Sur le reste de la CASA, les niveaux en PM10 sont compris entre $26 \mu\text{g}/\text{m}^3$ et $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (valeurs obtenues à proximité immédiate des routes et des centres urbains). L'impact de l'activité des carrières sur les concentrations de PM10 est visible au nord ouest de la CASA.

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, à $22 \mu\text{g}/\text{m}^3$ avec une variabilité horaire issue des mesures effectuées à la station de Cagnes Ladoumègue. Les concentrations simulées sont fortement conditionnées par la pollution de fond intégrée au modèle. Pour rappel, l'étude de sensibilité a montré que les émissions seules ne permettent pas d'atteindre les concentrations mesurées en PM10. La pollution de fond permet de combler ces manques mais contribue de manière homogène sur l'ensemble du territoire et ne permet pas de distinguer les gradients entre milieux ruraux et urbains (paragraphe 4.3.3 Sensibilité de la modélisation à la pollution de fond page 51).

5.1.4. RESTITUTION TEMPORELLE DES CONCENTRATIONS

Les résultats simulés sur cette période de campagne sont comparés aux mesures continues des stations permanentes présentes sur la CASA et à proximité :

- Antibes Guynemer (station trafic) ;
- Antibes Jean Moulin (station périurbaine) ;
- Cannes Broussailles (station urbaine) ;
- Grasse Clavecin (station urbaine).

La Figure 57 présente une comparaison des concentrations moyennes mensuelles simulées et mesurées en NO₂ et en PM10 aux stations fixes. Les valeurs en NO₂ et en PM10 sont globalement restituées correctement malgré une légère sous-estimation, en particulier à la station d'Antibes Guynemer.

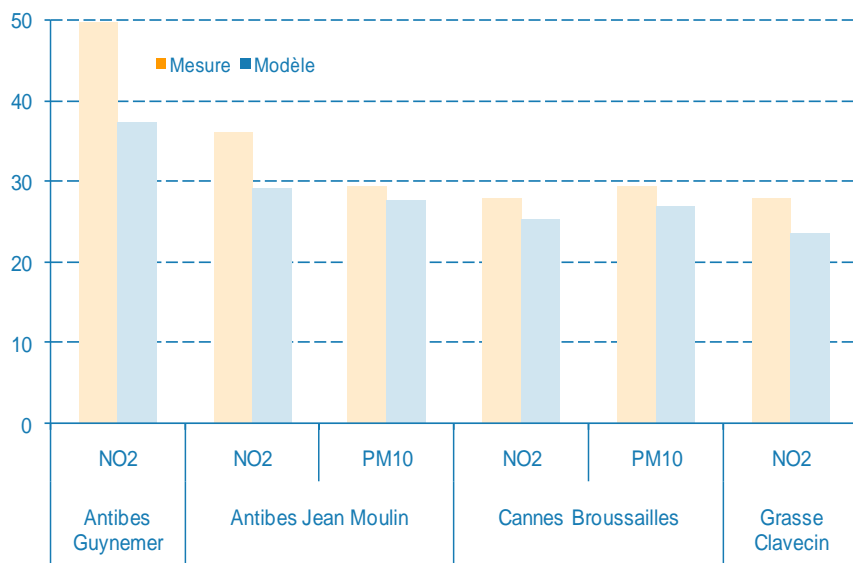


Figure 57 : comparaison des concentrations moyennes mensuelles simulées en NO₂ et en PM10 aux mesures des stations fixes

Les courbes suivantes (Figure 58 et Figure 59) présentent la comparaison des concentrations horaires en NO₂ et en PM10 simulées et mesurées, à la station fixe Antibes Jean Moulin, sur la période du 15 au 26 mars 2008.

Globalement, le modèle restitue correctement la variabilité temporelle des concentrations en NO₂ et en PM10 atteintes par cette station. Cependant, certains pics de concentrations sont mal représentés par le modèle (décalage temporel ou surestimation / sous-estimation des niveaux). Plusieurs facteurs peuvent avoir une influence sur ces résultats, comme un écart entre les conditions météorologiques intégrées dans le modèle et celles réellement observées à la station fixe. Un écart local entre les émissions réelles et les émissions modélisées peut également être la cause de ces différences (événements particuliers sur une journée très difficilement modélisables par exemple).

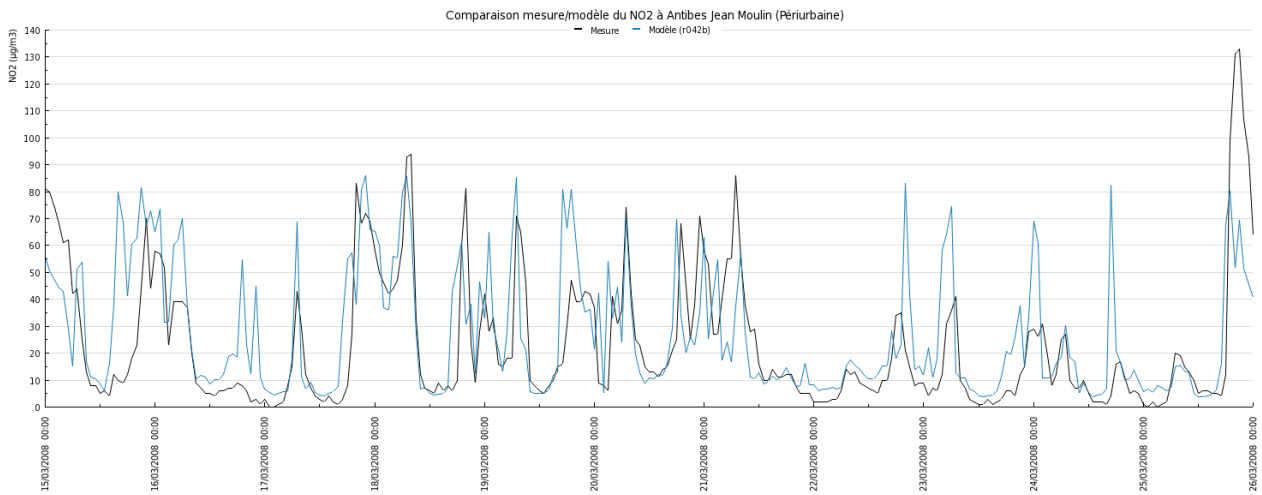


Figure 58 : comparaison mesure (en noir) / modèle (en bleu) des concentrations horaires en NO₂ restituées à la station fixe Antibes Jean Moulin entre le 15 et le 25 mars 2008

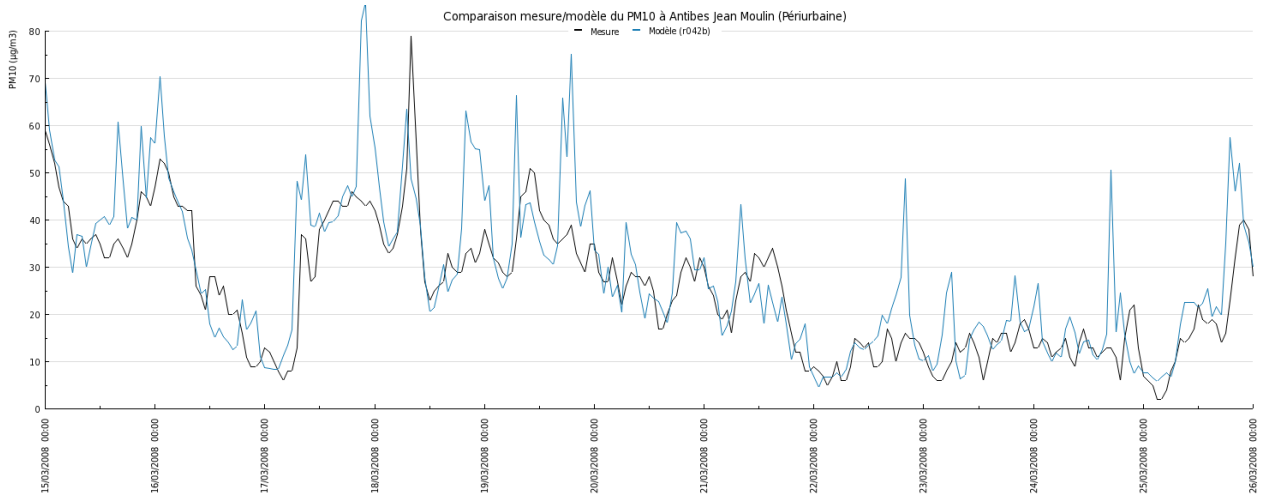


Figure 59 : comparaison mesure (en noir) / modèle (en bleu) des concentrations horaires en PM10 restituées à la station fixe Antibes Jean Moulin entre le 15 et le 25 mars 2008

5.2. CAMPAGNE JUIN / JUILLET

5.2.1. NO₂

La Figure 60 représente la cartographie des concentrations en NO₂ moyennes sur la CASA lors de la période de mesures du 11 juin au 9 juillet 2008. Les valeurs mesurées par les tubes passifs pendant la campagne sont représentées sous forme de symboles ponctuels.

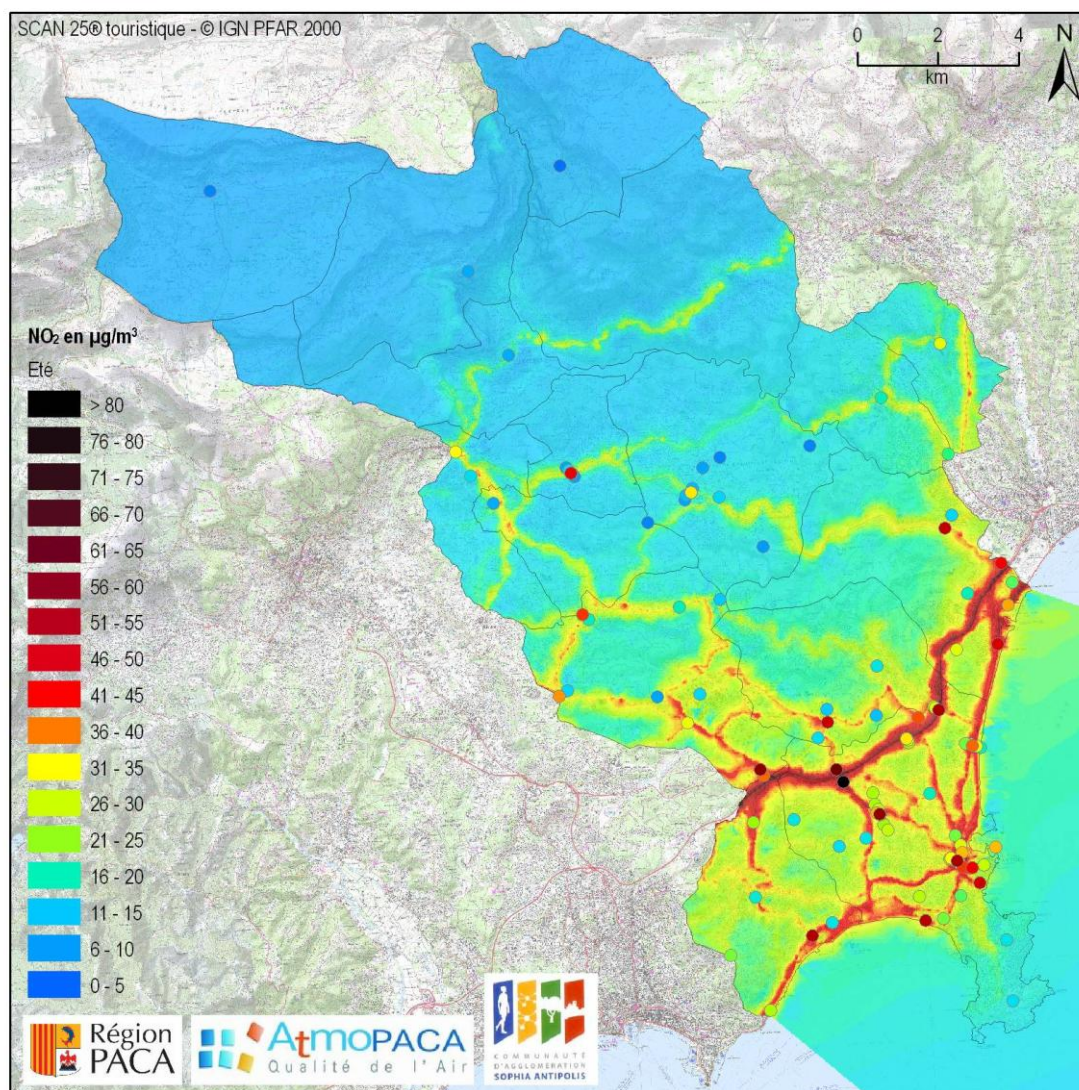


Figure 60 : concentrations moyennes simulées en NO₂ (µg/m³) au cours de la période juin / juillet

Comme pour la période mars / avril, les concentrations en NO₂ les plus fortes sont modélisées sur la partie sud de la CASA (communes d'Antibes, Vallauris et sud de Biot, Valbonne et Villeneuve-Loubet) avec des valeurs maximales à proximité des sources, c'est-à-dire le long des axes routiers structurants où les niveaux de NO₂ dépassent les 60 µg/m³. En dehors des axes, les communes concernées présentent des concentrations moyennes intermédiaires entre 20 et 35 µg/m³. Sur la partie plus au nord de la Communauté d'Agglomération, comme pour la précédente période de campagne, les valeurs de NO₂ sont plus faibles et les niveaux moyens de fond avoisinent les 10 - 15 µg/m³.

RESTITUTION SPATIALE DES CONCENTRATIONS EN DIOXYDE D'AZOTE

Les concentrations en NO₂ ont été simulées aux points de positionnement des tubes passifs disposés sur l'agglomération au cours de la campagne de mesures de juin / juillet. Le modèle fournit des résultats cohérents par rapport aux mesures réalisées. Le coefficient de corrélation est environ de 0,9.

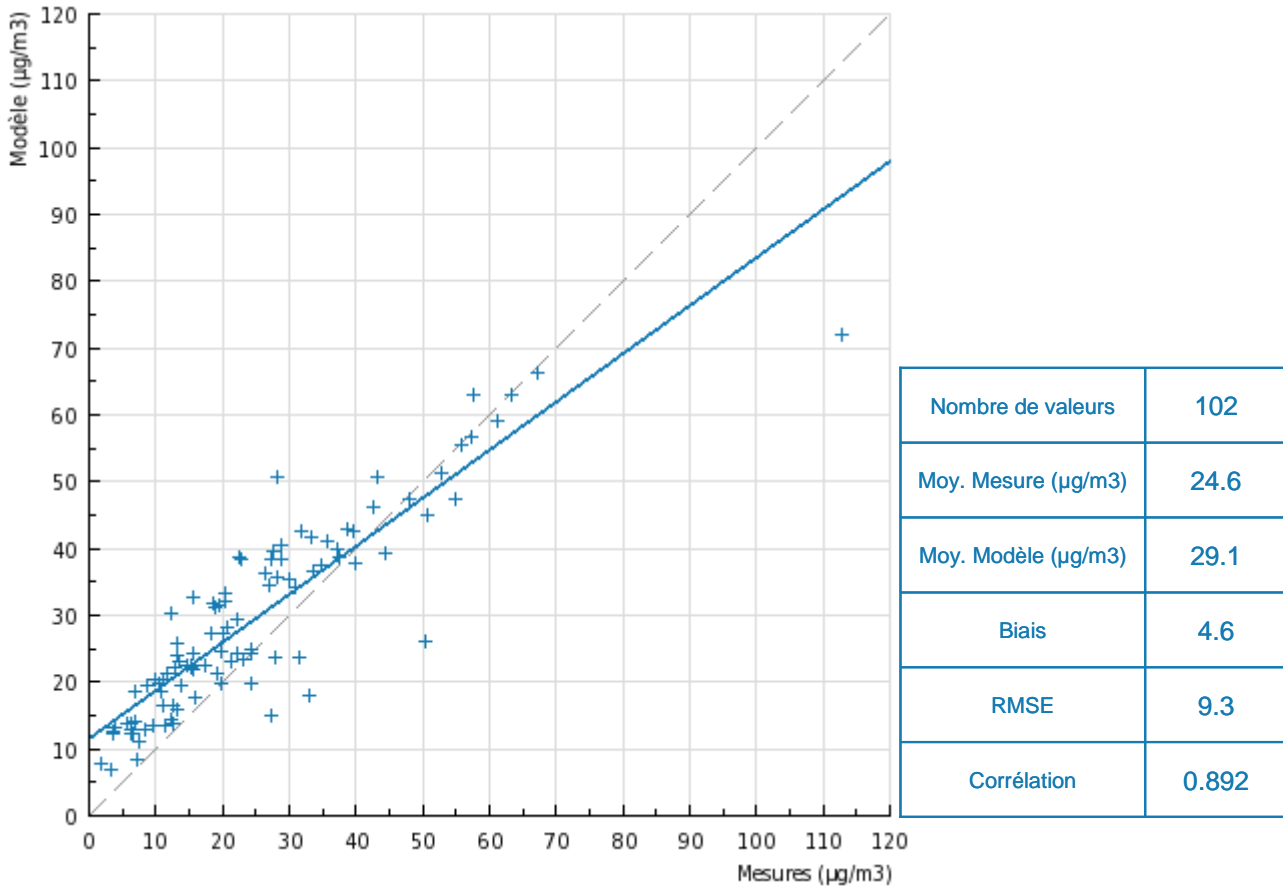


Figure 61 : comparaison des concentrations mesurées et simulées en NO₂ au cours de la période juin / juillet

Le biais de 4,6 µg/m³ indique une surestimation globale des concentrations. Comme pour la période mars / avril, cette surestimation concerne essentiellement les faibles concentrations. Les fortes concentrations (sites de typologie trafic) sont plutôt bien restituées mis à part pour le site atypique du rond-point des trois moulins où la valeur maximale a été enregistrée (113 µg/m³ sur cette période).

Sur la Figure 62 ci-après, sont présentées respectivement les valeurs modélisées par ADMS Urban (en bleu) et les valeurs mesurées par tubes passifs (en orange) pour chaque point de mesure de la campagne juin / juillet. Les résultats sont classés par typologie de site. Globalement, on observe une bonne restitution des concentrations par le modèle malgré une légère surestimation des faibles concentrations (sites de typologies rurale, périurbain, observation) et la sous-estimation des plus fortes valeurs (sites de typologies trafic).

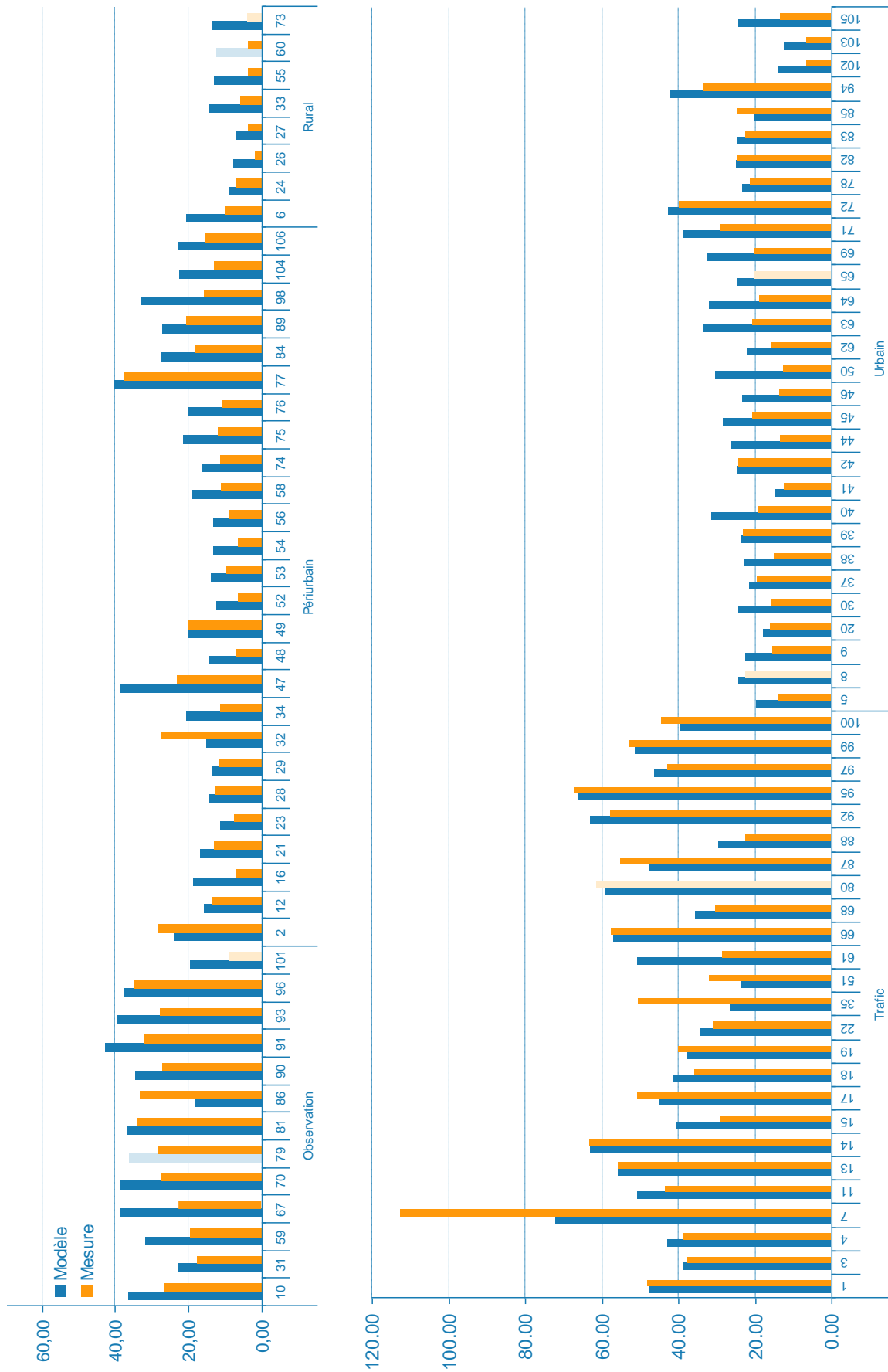


Figure 62 : comparaison des concentrations simulées et mesurées en NO₂ au droit des tubes passifs (période juin / juillet)

5.2.2. C₆H₆

La Figure 63 présente la cartographie des concentrations moyennes de benzène sur la même période et la même zone. Les mesures réalisées par tubes passifs sont également représentées.

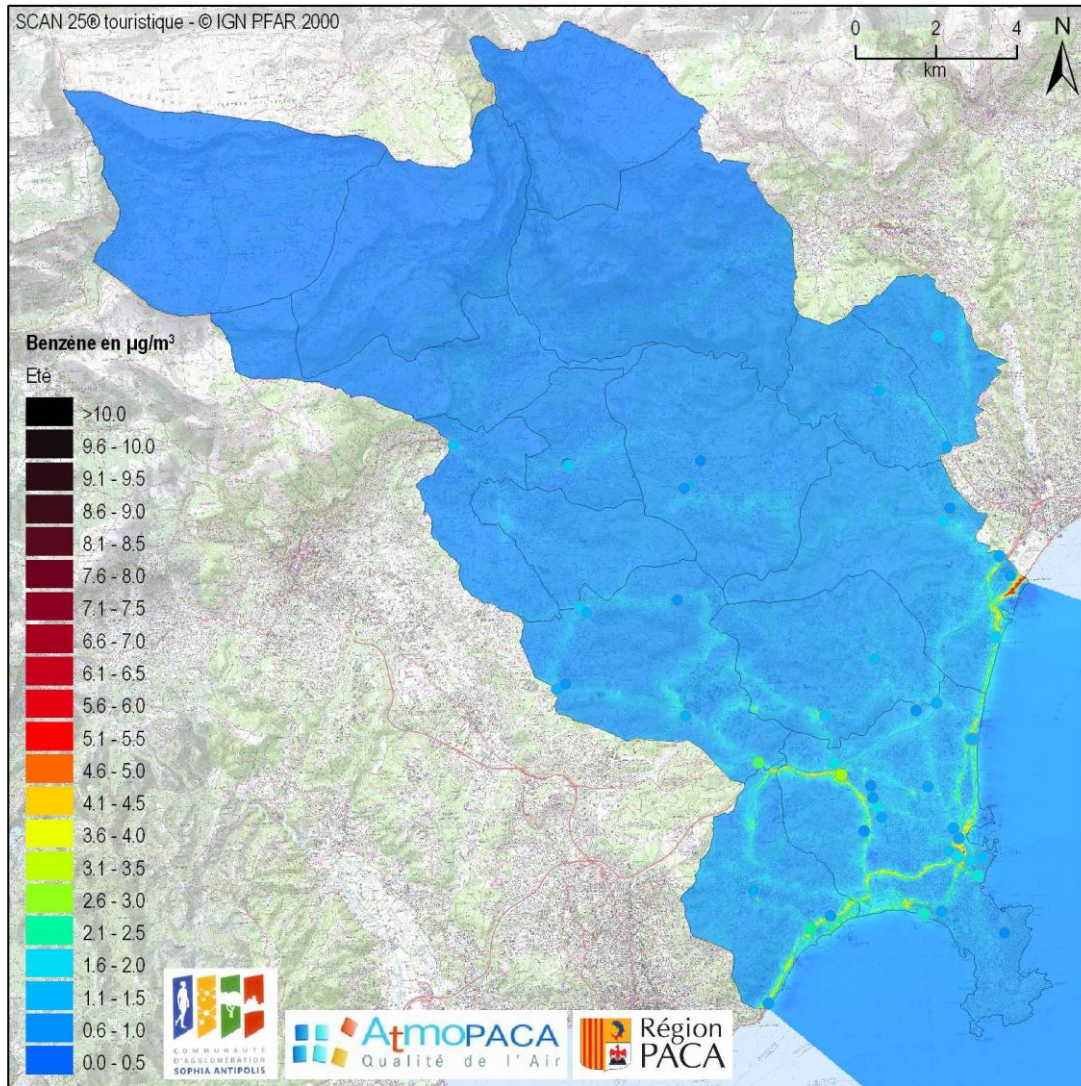


Figure 63 : concentrations moyennes simulées en benzène (µg/m³) au cours de la période juin / juillet

Ces résultats modélisés indiquent des niveaux comparables à ceux simulés pour la période mars / avril, légèrement plus faibles. Les valeurs maximales en benzène sont localisées en centre ville et sur les principaux axes routiers encombrés (problèmes de fluidité du trafic, circulation ralentie...). Elles peuvent atteindre très localement des valeurs supérieures à 5 µg/m³ le long des axes les plus saturés. Les concentrations diminuent rapidement en fonction de l'éloignement des sources pour atteindre un niveau de fond généralement inférieur à 1 µg/m³.

RESTITUTION SPATIALE DES CONCENTRATIONS EN BENZENE

Les indicateurs statistiques (Figure 64) indiquent une bonne corrélation entre les concentrations simulées et mesurées en benzène (coefficient de corrélation de 0,69) avec toutefois une légère tendance à sous-estimer les faibles concentrations mesurées et à surestimer les plus fortes concentrations mesurées.

Pour cette période, le biais, qui caractérise l'erreur systématique, est très faible ($0,07 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Comme pour la période mars / avril, aucune pollution de fond n'a été prise en compte dans les calculs. Ce résultat indique que, sur le territoire de la CASA, l'intégration des émissions en entrée du calcul est suffisante pour restituer correctement les concentrations de benzène mesurées.

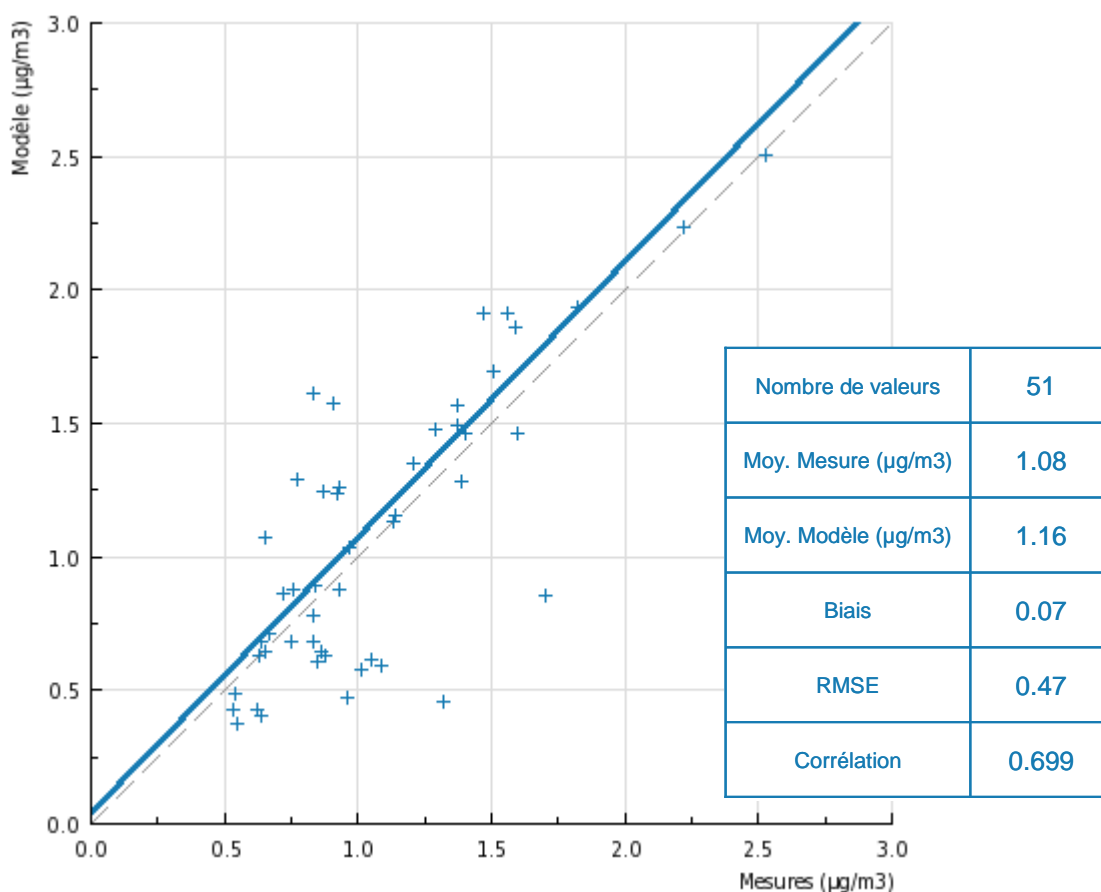


Figure 64 : comparaison des concentrations mesurées et simulées en benzène au cours de la période juin / juillet

Sur la Figure 65 ci-après, sont présentées respectivement les valeurs de benzène modélisées par ADMS Urban (en bleu) et les valeurs mesurées par tubes passifs (en orange) pour chaque point de mesure de la campagne. Les résultats sont classés par typologie de site et permettent d'observer une bonne restitution globale des concentrations par le modèle malgré les légères :

- sous-estimation du modèle pour les faibles concentrations (sites de typologie périurbaine) ;
- et surestimation des fortes valeurs (sites de typologies trafic enregistrant les plus fortes concentrations).

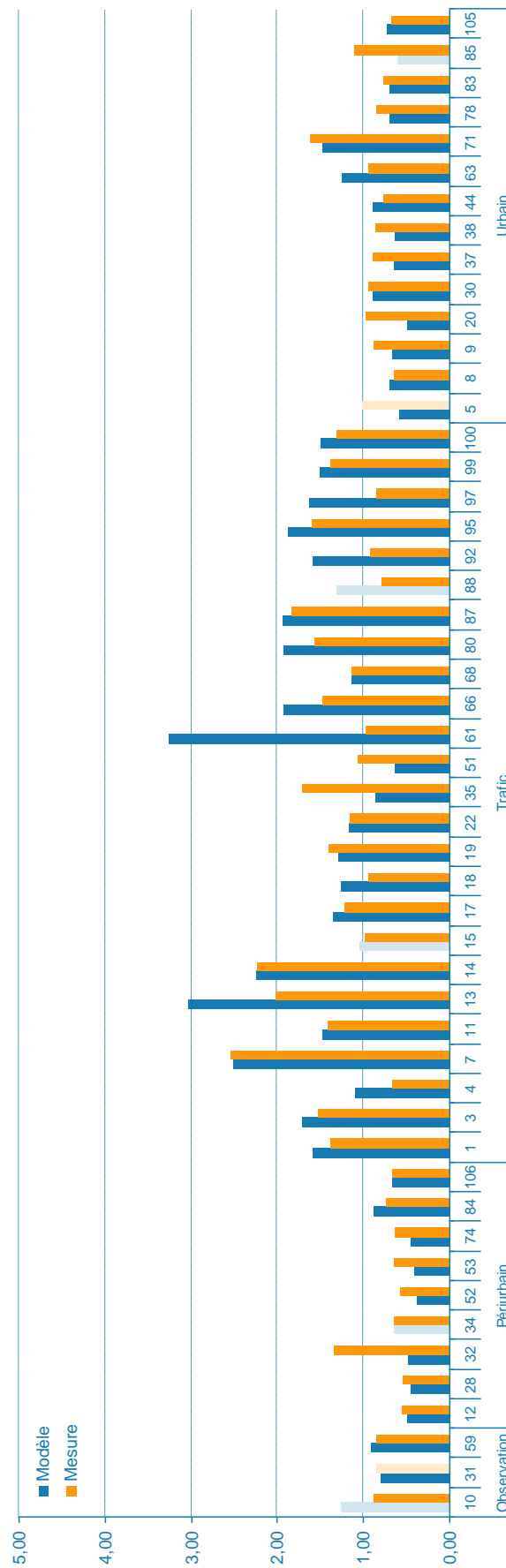


Figure 65 : comparaison des concentrations simulées et mesurées en benzène au droit des tubes passifs (période juin / juillet)

5.2.3. PM10

La Figure 66 ci-après 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 29 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ à l'extérieur du domaine.

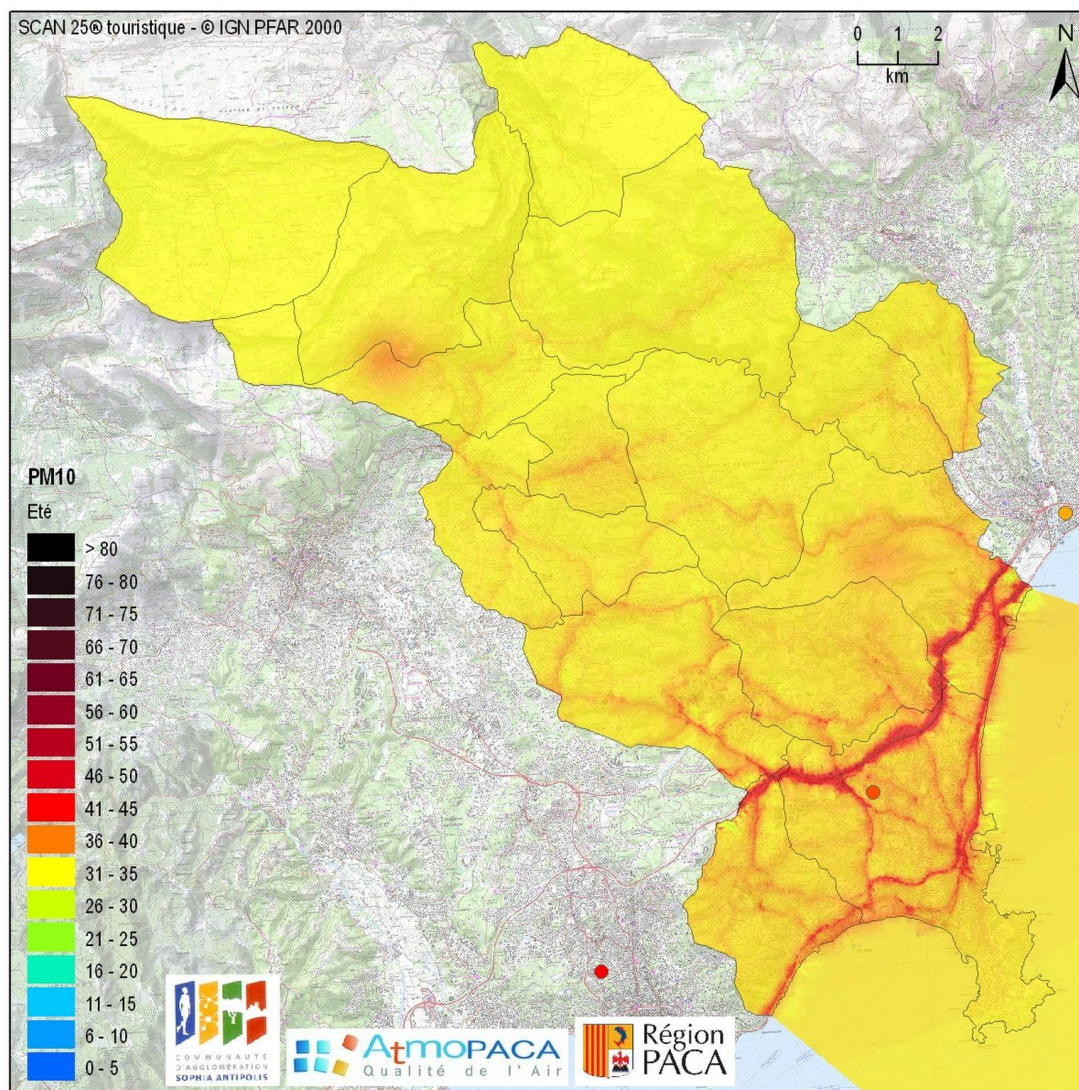


Figure 66 : concentrations moyennes simulées en PM10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) au cours de la période mars / avril (pollution de fond à l'extérieur du domaine = 29 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

Les plus fortes concentrations en PM10 (supérieures à 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) sont localisées principalement au niveau des axes routiers. Les concentrations décroissent rapidement en fonction de la distance aux sources pour atteindre des valeurs intermédiaires (autour de 30-35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). Par rapport à la campagne de mars / avril, on constate une augmentation des concentrations modélisées et mesurées en PM10 sur le domaine d'étude. Ceci est principalement lié à la valeur de la pollution de fond entrante sur le domaine estimée à 29 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ sur la période de cette campagne (22 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ sur la période de la campagne mars / avril). De la même manière que pour la précédente campagne, la pollution de fond utilisée en entrée du calcul contribue de manière homogène à la pollution en particules sur la CASA entraînant un lissage des résultats entre zones urbaine et rurale.

L'augmentation des concentrations de PM10 mesurées sur les stations fixes localisées aux alentours de la zone d'étude entre les deux périodes de campagnes de mesures pourrait être due à des émissions plus importantes, en lien notamment avec l'augmentation des trafics due aux activités estivales. Elle est également à mettre en relation avec des conditions météorologiques propices à la remise en suspension des particules (précipitations plus faibles, sol plus sec).

5.2.4. RESTITUTION TEMPORELLE DES CONCENTRATIONS

Comme pour la période mars / avril, 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 pendant la campagne.

Les concentrations moyennes mensuelles en NO₂ et en PM10 sont correctement restituées par le modèle aux stations avec toutefois, comme pour la précédente période de campagne, une légère sous-évaluation des teneurs en ces points.

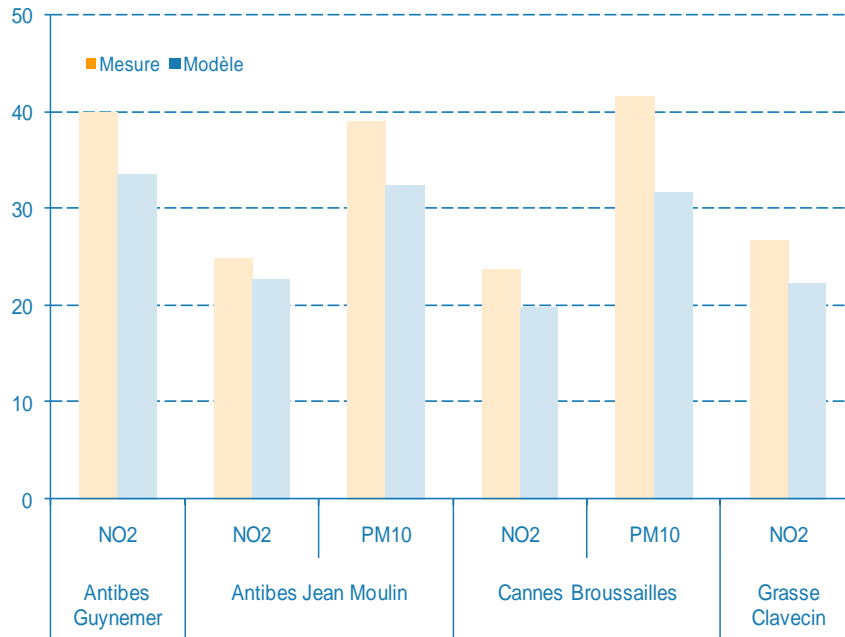


Figure 67 : comparaison des concentrations moyennes mensuelles simulées en NO₂ et en PM10 aux mesures des stations fixes

Les Figure 68 et Figure 69 présentent, à titre d'exemple, des comparaisons de concentrations simulées et mesurées à la station d'Antibes Jean Moulin en NO₂ et PM10 pour la période de la campagne de juin / juillet. Le modèle restitue la variabilité temporelle des niveaux de concentrations atteints sur cette station et permet une corrélation correcte entre le modèle et la mesure.

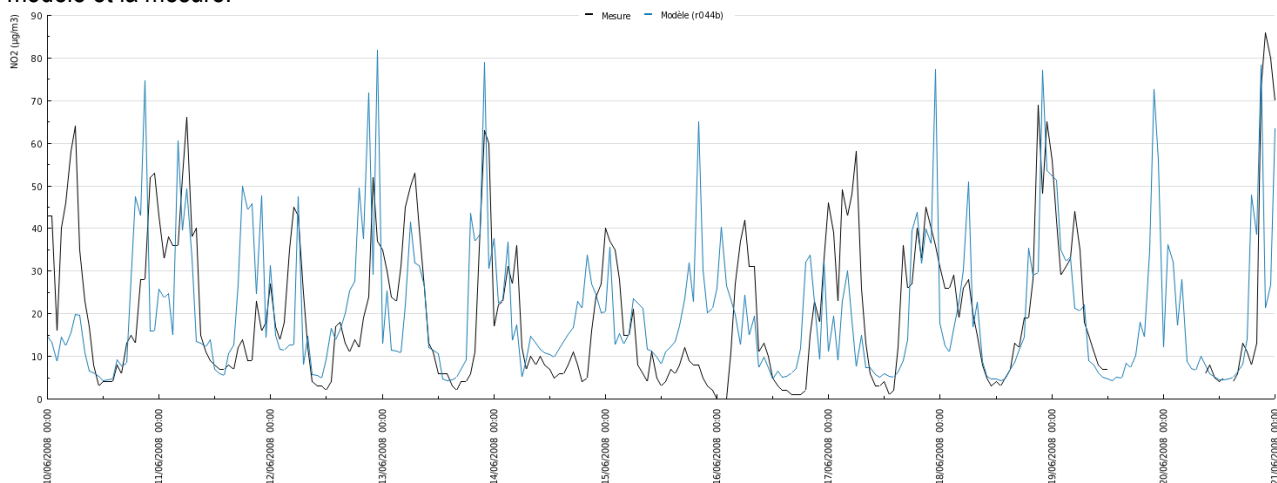


Figure 68 : comparaison mesure (en noir) / modèle (en bleu) des concentrations horaires en NO₂ restituées à la station fixe Antibes Jean Moulin entre le 10 et le 20 juin 2008

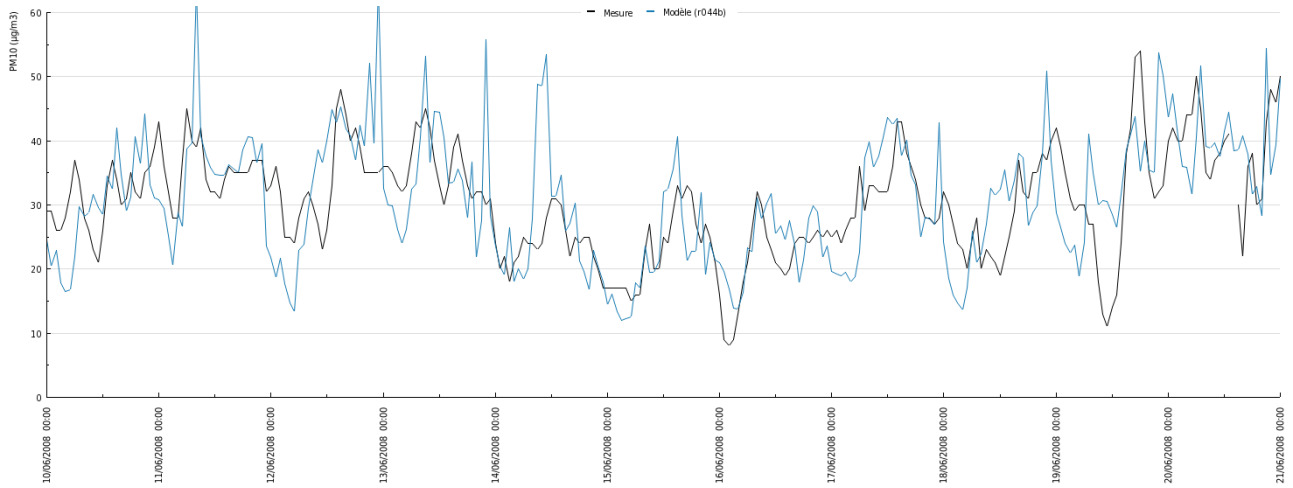


Figure 69 : comparaison mesure (en noir) / modèle (en bleu) des concentrations horaires en PM10 restituées à la station fixe Antibes Jean Moulin entre le 10 et le 20 juin 2008

6. RÉSULTATS – MOYENNE ANNUELLE ET VARIABILITÉ SAISONNIÈRE

6.1. NO_2

La Figure 70 représente la cartographie des concentrations moyennes annuelles de NO_2 sur le territoire de la CASA. Les symboles ponctuels correspondent aux moyennes annuelles de NO_2 aux points des tubes passifs, reconstituées à partir des valeurs mesurées pendant les campagnes de mesures (NB : la méthode de reconstitution de la moyenne annuelle à partir des mesures par tubes passifs est détaillée en Annexe 5 : méthode de reconstitution des données des campagnes page 94).

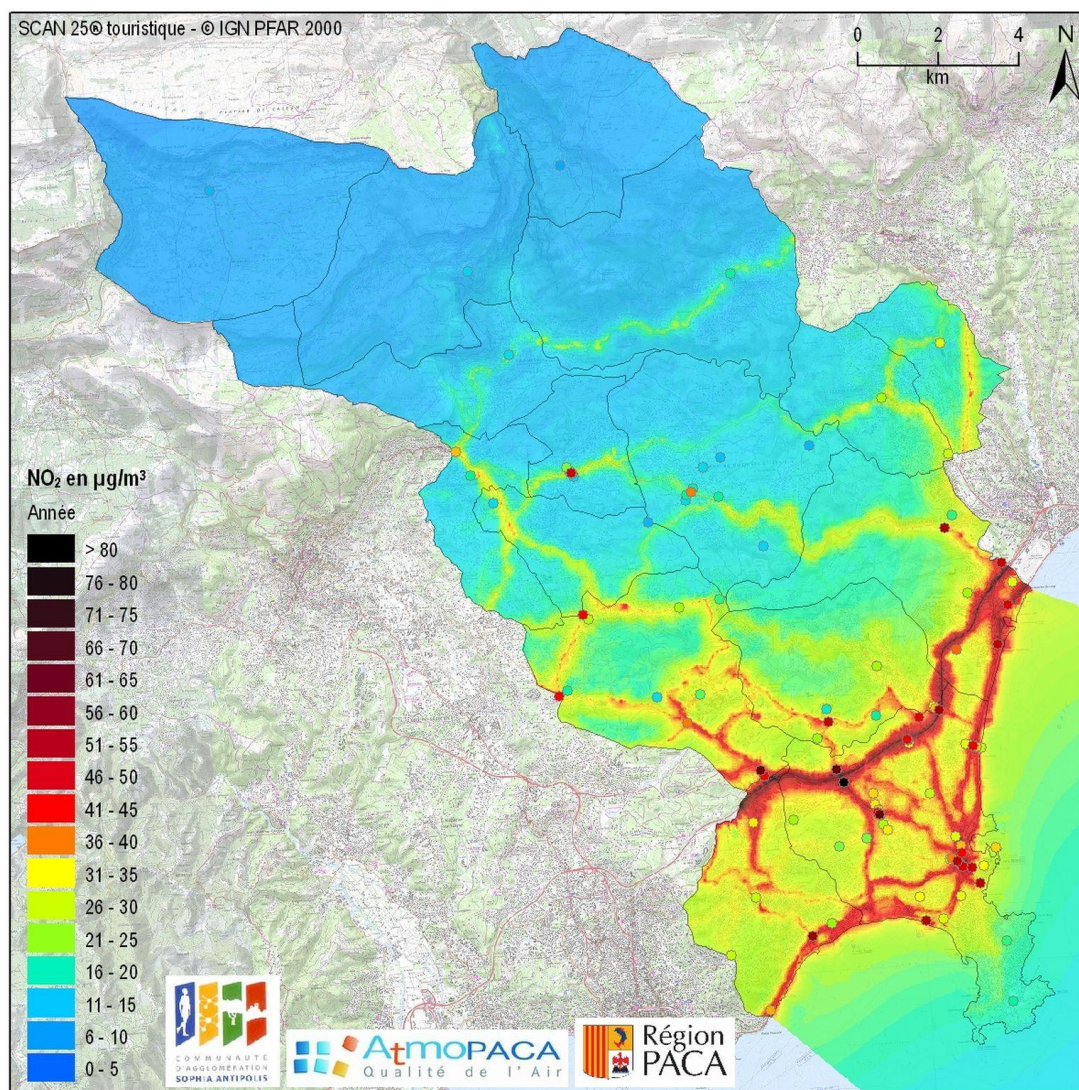


Figure 70 : concentrations moyennes simulées en NO_2 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) au cours de l'année 2008

En moyenne sur l'année, les concentrations en NO_2 sont maximales le long des axes routiers où les valeurs dépassent la valeur limite annuelle de $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ au niveau des axes structurants de la CASA, les plus chargés en termes de trafic (autoroute, route du bord de mer ainsi que les voies assurant la liaison entre le centre d'Antibes et la zone d'activité de Sophia Antipolis). Les communes les plus au sud (Antibes, Vallauris, Biot, Valbonne et Villeneuve-Loubet) présentent des valeurs moyennes de fond intermédiaires (autour de $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Ces cinq communes rassemblent 80 % de la population de la CASA et de nombreuses activités, ce qui explique une densité d'émissions plus importante que sur la partie nord de la CASA pour laquelle les niveaux de fond moyens en NO_2 s'approchent de $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

La Figure 71 suivante indique la variabilité saisonnière de la pollution en NO₂ sur la CASA entre les concentrations moyennes lors d'un mois le plus froid (février 2008) et les valeurs moyennes en période estivale (juin / juillet 2008).

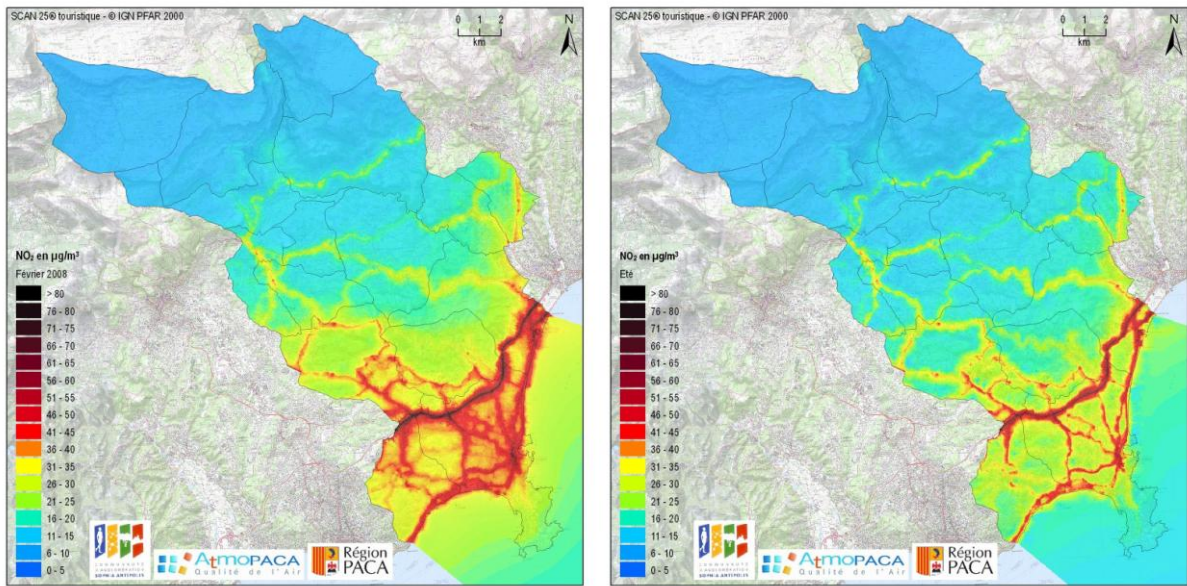


Figure 71 : variabilité saisonnière des concentrations de NO₂ modélisées au mois de février 2008 (à gauche) et en juin / juillet 2008 (à droite)

Ces cartes présentent de manière très nette les valeurs plus importantes modélisées en hiver qu'en été. Ces résultats sont cohérents avec les moyennes mensuelles mesurées par les stations permanentes situées sur et aux alentours de la zone d'étude (Figure 72). D'une manière générale, les valeurs de NO₂ sont plus importantes en période hivernale en raison de conditions météorologiques favorables à la concentration de la pollution avec une stabilité de l'atmosphère plus importante (Figure 73) et des émissions plus nombreuses.

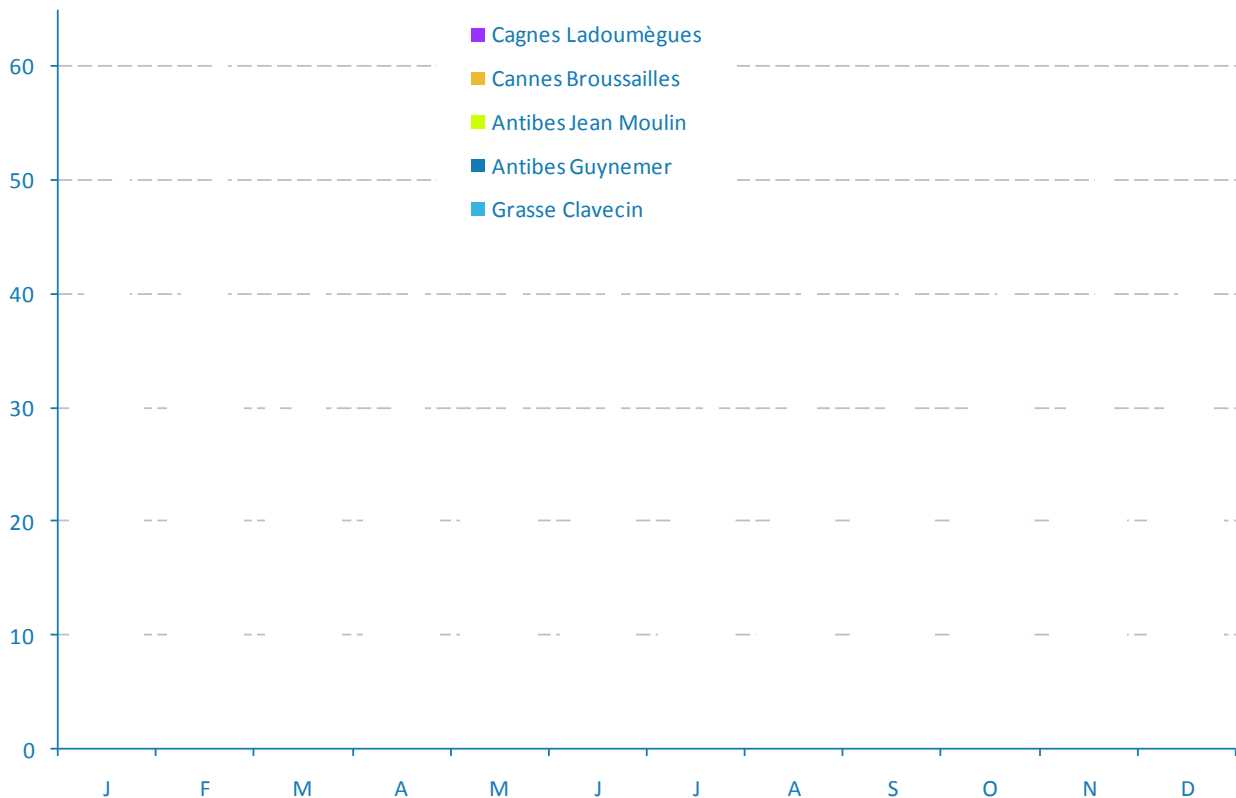


Figure 72 : moyennes mensuelles en NO₂ mesurées sur les stations permanentes de la CASA et aux alentours en 2008

La Figure 73 présente l'évolution mensuelle des précipitations, de la température et de la vitesse du vent à la station METEO France de Valbonne en 2008. En hiver, les mesures de NO₂ sont plus importantes du fait 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 NO₂ émis à hauteur des pots d'échappements est peu brassé, il se disperse peu et s'accumule à proximité du sol.

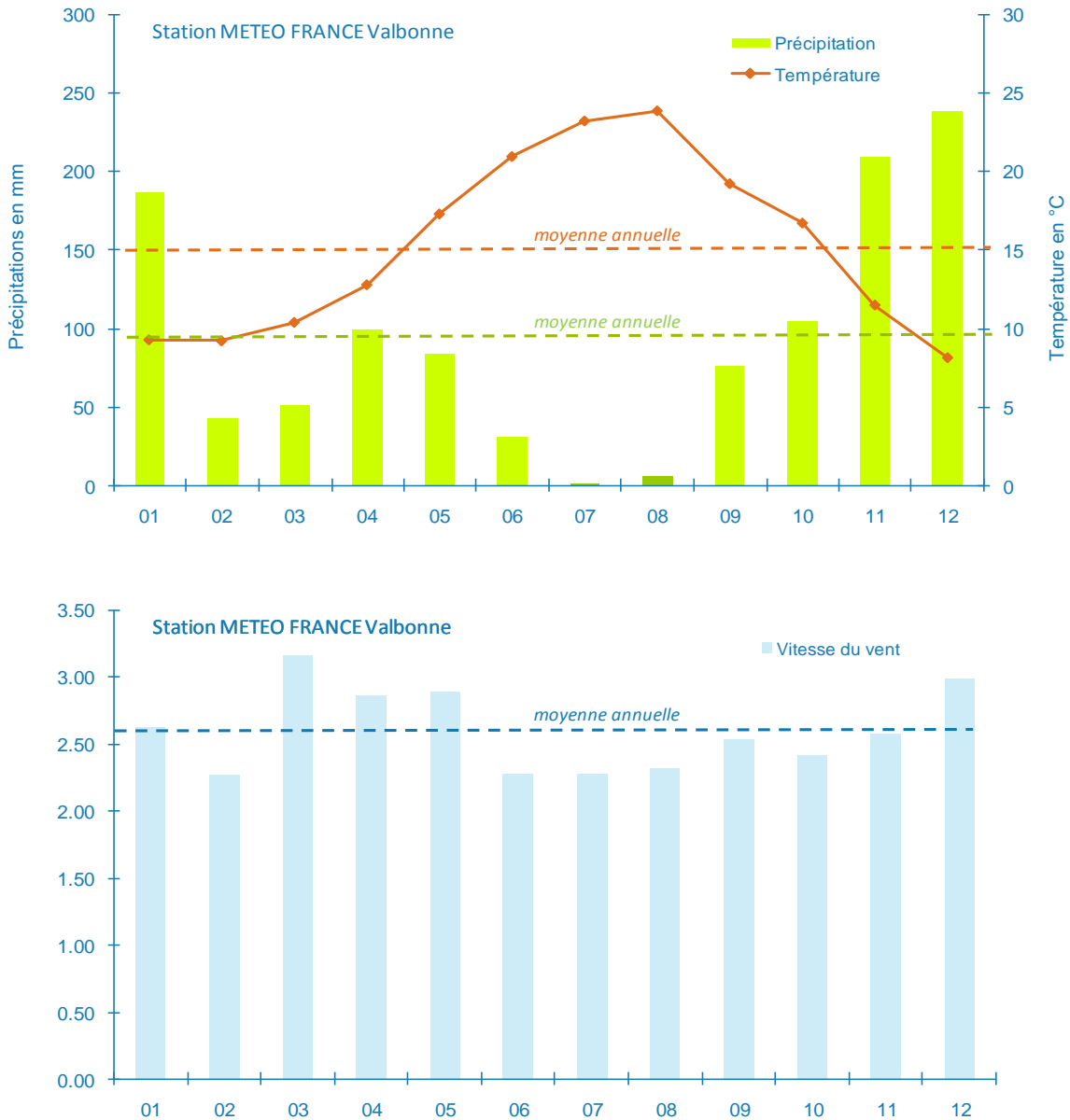


Figure 73 : précipitations, températures et vitesses de vent mensuelles en 2008 à Valbonne

La Figure 74 présente les percentiles 98 horaires⁸ en NO₂ calculés sur la zone d'étude sur une période de 6 mois (entre les mois de novembre et avril). Cette période correspond aux 6 mois les plus froids et donc à la période la plus pénalisante en termes de dispersion de la pollution. Comme pour les concentrations moyennes, les plus fortes valeurs sont atteintes sur les axes routiers, avec toutefois une très nette distinction de l'autoroute A8 et du centre ville d'Antibes. Les valeurs décroissent ensuite rapidement en fonction de la distance aux sources.

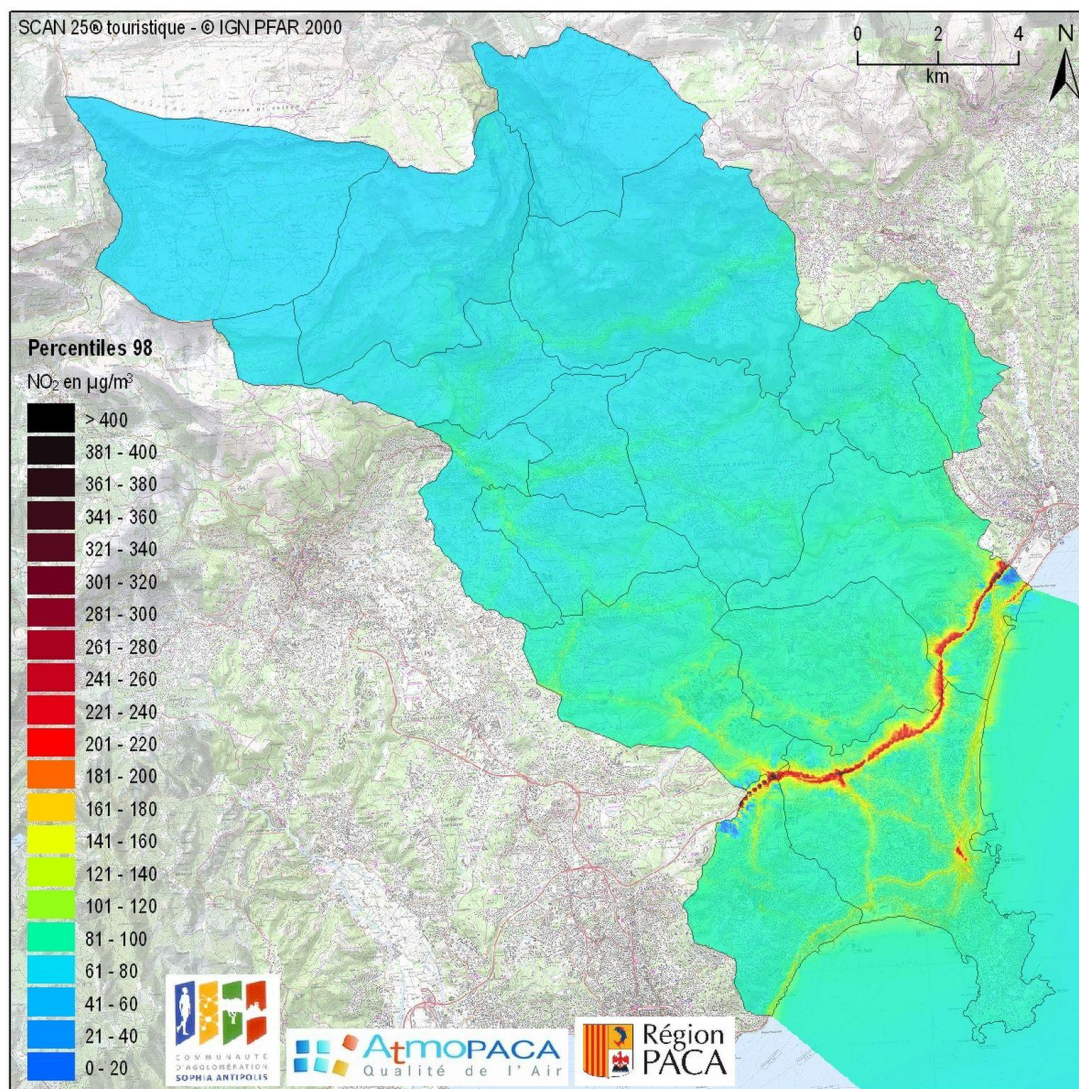


Figure 74 : percentiles 98 horaires en NO₂ (µg/m³) sur la période Novembre à Avril

Pour des raisons de réglages différents du calcul de modélisation tout au long de l'année, le calcul annuel de modélisation a été découpé en deux phases de 6 mois. Pour cela, les calculs du percentile 98 n'ont pas pu être déterminés sur l'année et ne peuvent donc pas être directement comparés à la valeur réglementaire annuelle de 200 µg/m³. Toutefois, sur les 6 mois les plus froids (octobre à mars), période la plus défavorable à la dispersion du NO₂, les valeurs de percentiles horaires du NO₂ simulés restent inférieures aux 200 µg/m³ sur la CASA mis à part à proximité immédiate des axes routiers les plus chargés (autoroute) et en centre ville d'Antibes.

6.2. C₆H₆

La Figure 75 présente la cartographie des concentrations moyennes annuelles de benzène sur la CASA en 2008.

⁸ : En chaque point de la grille de calcul, le percentile P98 horaire correspond à la concentration pour laquelle 98 % des valeurs horaires calculées sur la période sont inférieures. Le percentile 98 représente donc les valeurs horaires maximales sur cette période.

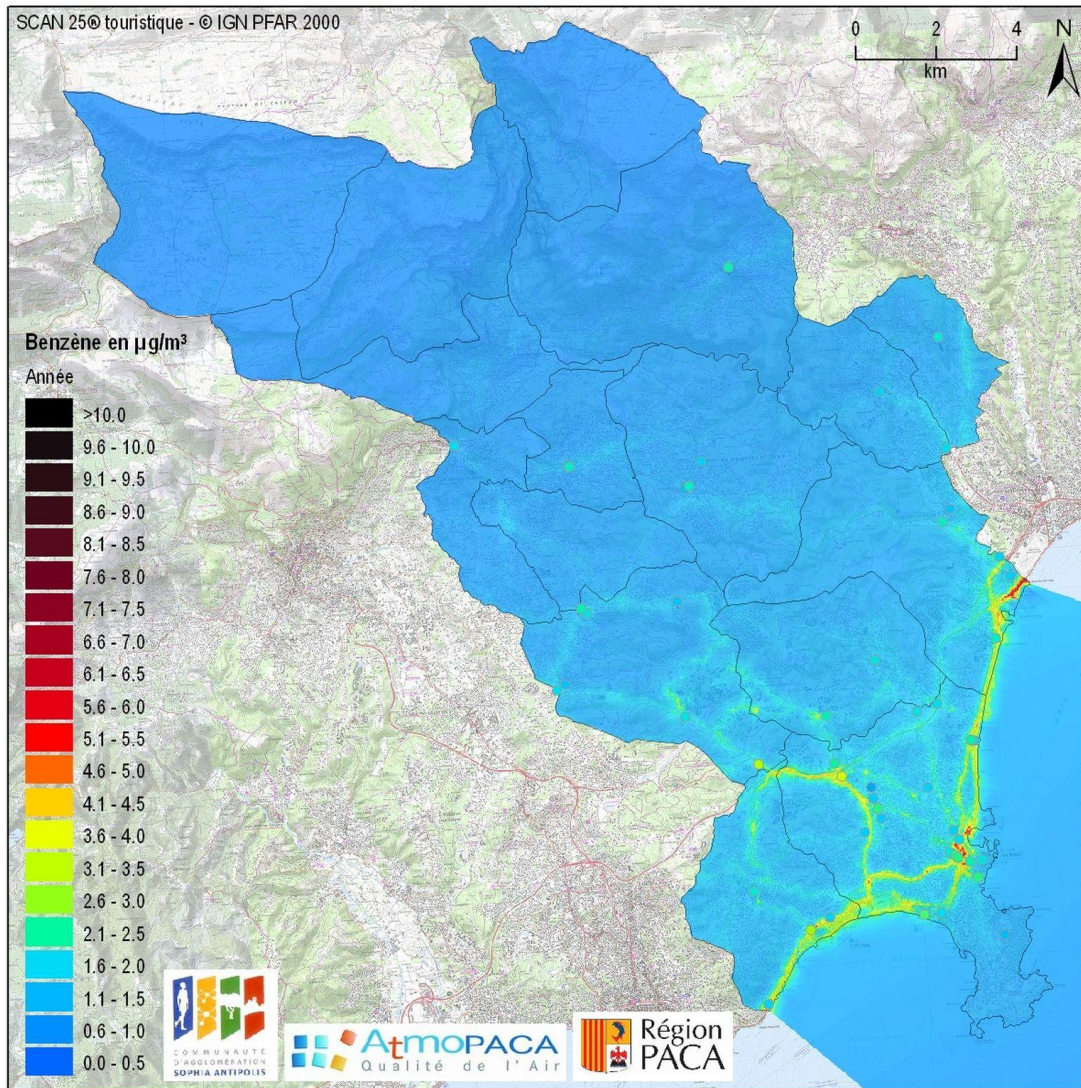


Figure 75 : concentrations moyennes simulées en benzène ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) au cours de l'année 2008

Le benzène est émis par les véhicules, notamment dans des conditions de circulations embouteillées. Les concentrations maximales de benzène simulées (supérieures à $4\text{-}5 \mu\text{g}/\text{m}^3$) sont obtenues dans le centre ville d'Antibes et sur les axes les plus saturés notamment le long du bord de mer. Malgré un trafic important, l'autoroute A8 ne présente pas les niveaux maximums en benzène. Les concentrations diminuent rapidement de part et d'autre des voies pour atteindre un niveau de fond généralement inférieur à $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

La Figure 76 suivante met en évidence la variabilité saisonnière de la pollution en benzène sur la CASA entre les concentrations moyennes sur un mois d'hiver (février 2008) et les valeurs moyennes en période estivale (juin / juillet 2008). Comme pour le dioxyde d'azote, les concentrations en benzène sont plus importantes en hiver qu'en été du fait des conditions de stabilité atmosphérique empêchant la dispersion des polluants.

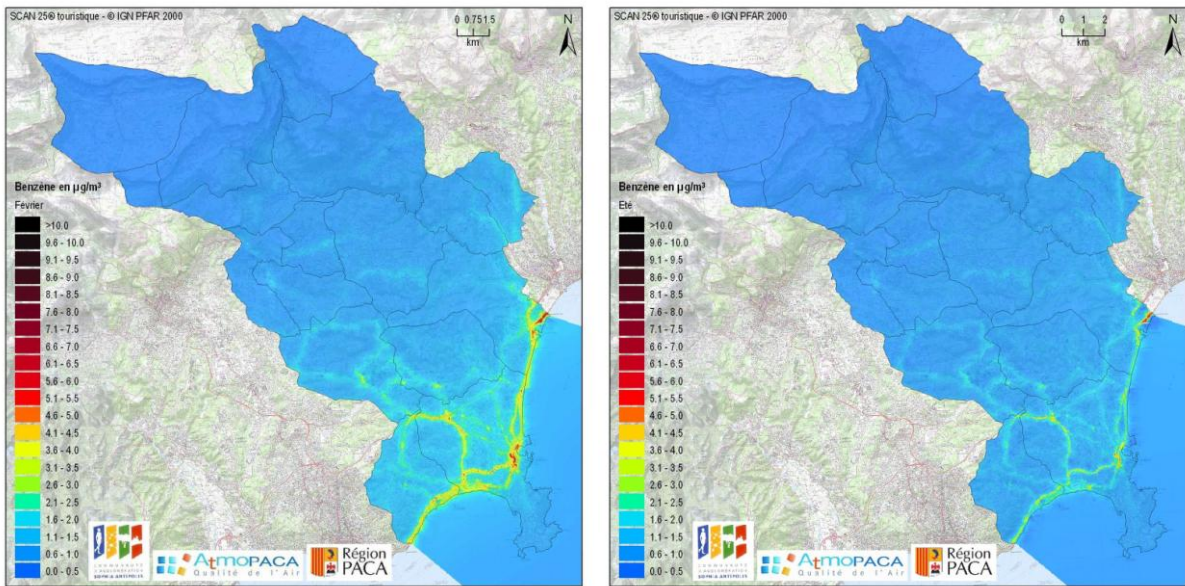


Figure 76 : variabilité saisonnière des concentrations de C_6H_6 modélisées au mois de février 2008 (à gauche) et en juin / juillet 2008 (à droite)

6.3. PM10

La Figure 77 représente la cartographie des concentrations moyennes annuelles de PM10 en 2008.

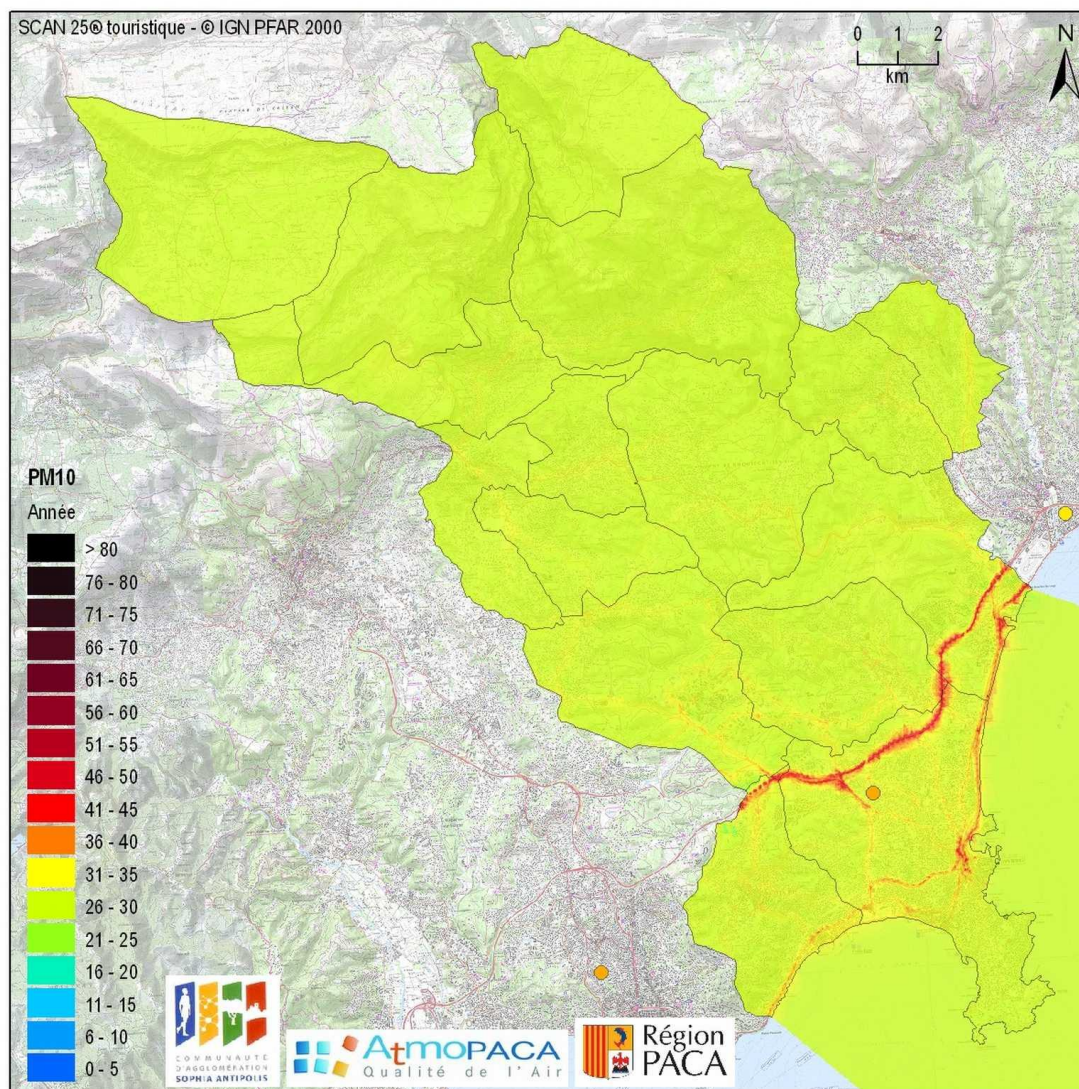


Figure 77 : concentrations moyennes simulées en PM10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) au cours de l'année 2008

La cartographie localise les valeurs les plus importantes en particules à proximité immédiate des axes routiers, en particulier le long de l'autoroute et des axes longeant la côte et du centre ville d'Antibes. Sur ces axes, la valeur limite annuelle de $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ est dépassée. Les concentrations de PM10 diminuent rapidement avec l'éloignement des sources pour s'approcher du niveau de fond moyen attribué à la zone d'étude ($26 \mu\text{g}/\text{m}^3$) qui conditionne fortement les résultats. Pour rappel, l'étude de sensibilité a montré que les émissions seules ne suffisent pas à atteindre les concentrations mesurées en PM10. La pollution de fond permet de combler ces manques mais son intégration de manière homogène sur l'ensemble du territoire ne permet pas la distinction de gradient entre milieux rural et urbain (paragraphe 4.3.3 Sensibilité de la modélisation à la pollution de fond page 51).

D'une manière générale, les valeurs moyennes annuelles sont inférieures aux concentrations modélisées en moyenne sur un mois d'hiver (février 2008) et sur un mois d'été (juin / juillet 2008). Ces résultats sont présentés à la Figure 78 ci-après.

Le mois de février 2008 correspond aux plus fortes valeurs de PM10 modélisées. Ces résultats sont cohérents avec les moyennes mensuelles mesurées aux stations fixes aux alentours de la zone d'étude. Ces valeurs sont à étudier en parallèle des conditions météorologiques (Figure 73 page 72) : en février, les températures froides favorisent les inversions thermiques à l'origine de la concentration de la pollution au niveau du sol. De plus, les précipitations sont peu importantes.

En été (juin / juillet 2008), les valeurs mesurées aux stations permanentes sont inférieures aux niveaux de février mais tout de même supérieures aux moyennes annuelles. En période estivale, les températures sont maximales et donc favorables à la dispersion des polluants. Cependant, les précipitations sont très faibles en été voire inexistantes au mois de juillet. Les vitesses de vents sont elles aussi peu importantes à cette période.

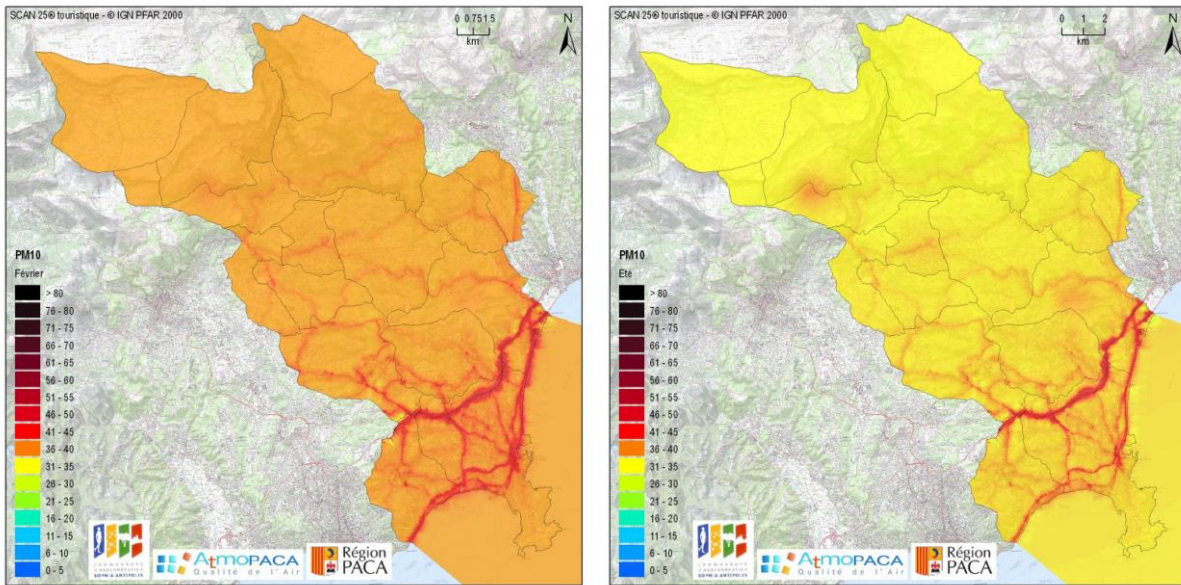


Figure 78 : variabilité saisonnière des concentrations de PM10 modélisées au mois de février 2008 (à gauche) et en juin / juillet 2008 (à droite)

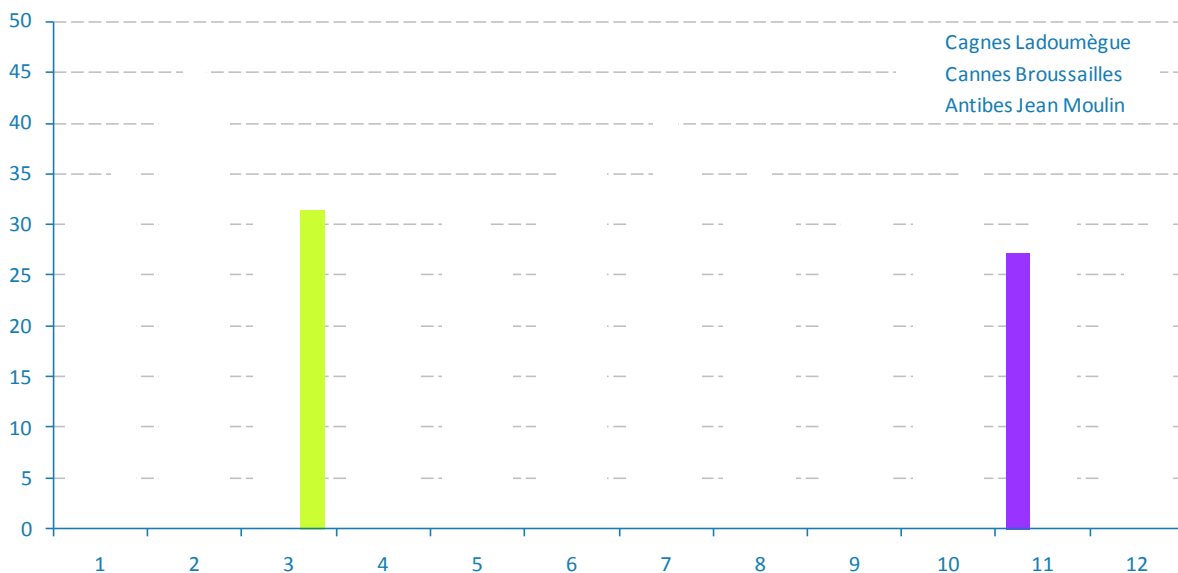


Figure 79 : moyennes mensuelles PM10 (µg/m³) sur les 3 stations permanentes autour de la zone d'étude en 2008

6.4. RESTITUTION TEMPORELLE DES CONCENTRATIONS

6.4.1. COMPARAISON MODELE / MESURE AUX STATIONS DE MESURES

La figure suivante présente une comparaison des concentrations moyennes annuelles simulées et mesurées en NO₂ et en PM10 aux stations de mesures du réseau Atmo PACA présentes sur le domaine d'étude ainsi que les indicateurs statistiques associés.

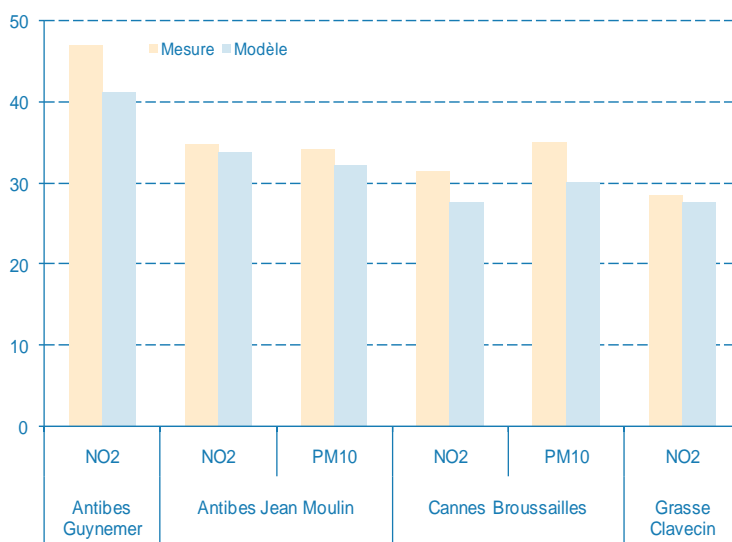


Figure 80 : comparaison des concentrations moyennes annuelles simulées en NO₂ et en PM10 aux mesures des stations fixes

Station	Antibes Guynemer	Antibes Jean Moulin		Cannes Broussailles		Grasse Clavecin
Polluant	NO ₂	NO ₂	PM10	NO ₂	PM10	NO ₂
Moyenne simulée	41,0	33,8	32,1	27,6	30,2	27,5
Moyenne mesurée	47,0	34,8	34,2	31,5	35,0	28,5
Biais	-6,0	-1,0	-2,1	-3,9	-4,8	-1,0

Tableau 5 : comparaison des concentrations moyennes annuelles mesurées et simulées aux stations et présentation du biais obtenu

La comparaison des concentrations moyennes annuelles simulées et mesurées indique des résultats annuels satisfaisants avec un biais maximal de -6 µg/m³ à la station trafic Antibes Guynemer. On constate toutefois que le modèle a tendance à sous-estimer les niveaux en NO₂ et en PM10 sur l'ensemble des stations fixes de la zone d'étude. Ces différences modèle / mesure peuvent être expliquées par les limites de la modélisation au sein de l'agglomération :

- les sources d'émissions en proximité de ces stations ne sont pas complètement représentatives des conditions réelles (réseau routier modélisé avec un trafic routier estimé, présence locale d'obstacles à la dispersion...);
- **les concentrations en PM10 simulées sont fortement conditionnées par la pollution de fond intégrée au modèle. Or cette pollution de fond est intégrée de manière homogène sur le territoire modélisé. Il est donc parfois difficile de restituer ponctuellement les concentrations en fonction des environnements différents des mesures (périurbain, urbain...). Les biais sont tout de même raisonnables (-2 à -4,8 µg/m³ selon des stations) considérant l'incertitude de la mesure des PM10.**

6.4.2. 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 NO₂, benzène et PM10.

Le Tableau 6 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).

	Valeur moyenne annuelle (µg/m ³)	Définition
NO ₂	40	Objectif qualité
	44 (1 ^{er} janvier au 31 décembre 2008) 40 (au 1 ^{er} janvier 2010)	Valeurs limites
PM10	30	Objectif qualité
	40	Valeurs limites
Benzène	7 (1 ^{er} janvier au 31 décembre 2008) 5 (au 1 ^{er} janvier 2010)	Valeur limite
	2	Objectif qualité

Tableau 6 : seuils de qualité de l'air préconisés par l'article R221-1 du code de l'environnement

MOYENNES ANNUELLES

Le tableau suivant présente une comparaison des concentrations moyennes annuelles mesurées et simulées en NO₂ et PM10 aux seuils réglementaires (les valeurs en bleu représentent les dépassements de seuils réglementaires).

Station	Polluant	Type	Valeurs réglementaires	Moyennes annuelles (µg/m ³)
Antibes Guynemer	NO ₂	simulé	40 (objectif qualité)	41,0
		mesuré	40 (valeur limite au 1 ^{er} janvier 2010)	47,0
Antibes Jean Moulin	NO ₂	simulé	40 (objectif qualité)	33,8
		mesuré	40 (valeur limite au 1 ^{er} janvier 2010)	34,8
	PM10	simulé	30 (objectif qualité)	32,1
		mesuré	30 (objectif qualité)	34,2
	PM10	simulé	40 (valeur limite)	32,1
		mesuré	40 (valeur limite)	34,2
Cannes Broussailles	NO ₂	simulé	40 (objectif qualité)	27,6
		mesuré	40 (valeur limite au 1 ^{er} janvier 2010)	31,5
	PM10	simulé	30 (objectif qualité)	30,2
		mesuré	30 (objectif qualité)	35,0
	PM10	simulé	40 (valeur limite)	30,0
		mesuré	40 (valeur limite)	35,0
Grasse Clavecin	NO ₂	simulé	40 (objectif qualité)	27,5
		mesuré	40 (valeur limite au 1 ^{er} janvier 2010)	28,5

Tableau 7 : 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

D'après les valeurs simulées et mesurées aux stations permanentes :

- l'objectif qualité et la valeur limite de $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ sont dépassés en NO_2 à la station d'Antibes Guynemer. En revanche, ces seuils réglementaires sont respectés à la station d'Antibes Jean Moulin, Cannes Broussailles et Grasse Clavecín ;
- l'objectif qualité de $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en PM_{10} est dépassé à la station d'Antibes Jean Moulin et de Cannes Broussailles, la valeur limite de $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en PM_{10} est, quant à elle, respectée.

D'après les résultats de modélisation annuelle sur la CASA, l'objectif qualité et la valeur limite de $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en moyenne annuelle en NO_2 doivent être dépassés sur et à proximité des principaux axes routiers ainsi que localement en centre ville d'Antibes.

L'objectif qualité de $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de benzène est dépassé autour des axes routiers modélisés et ponctuellement sur la ville d'Antibes. La valeur limite de $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ entrée en vigueur en 2010 ne devrait être dépassée que très localement, au niveau des axes routiers les plus encombrés (à l'est de la CASA).

En ce qui concerne les concentrations de PM_{10} , la carte annuelle présente, sur une grande partie du territoire, des niveaux moyens légèrement en-dessous de l'objectif qualité de $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en PM_{10} . Ce résultat est directement dépendant de la valeur de la pollution de fond en PM_{10} intégrée dans ADMS ($26 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en moyenne annuelle). Les concentrations sont tout de même plus importantes au sud de la CASA, avec des concentrations en PM_{10} qui devraient dépasser cet objectif qualité. La valeur limite de $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ doit être atteinte voire dépassée sur et à proximité des principaux axes routiers et en centre ville d'Antibes.

7. CONCLUSION GÉNÉRALE

Le projet « Information et Aide à la Décision sur les territoires de la Communauté d'Agglomération de Sophia-Antipolis » a pour objectif final le fonctionnement d'une plate forme de modélisation sur le territoire de la CASA. **Véritable outil d'aide à la décision**, cette plateforme permet également d'évaluer **l'incidence de projets d'aménagements et d'actions sur la qualité de l'air** en testant différents scénarii.

Cofinancée par la Région Provence-Alpes-Côte-d'Azur, Atmo PACA et les deux territoires partenaires (Communauté des Pays d'Aix et CASA), cette étude pilote s'étend sur plusieurs années (3-4 ans) nécessaires pour la réalisation des différentes phases.

La mise en œuvre de la plateforme consiste en la réalisation d'un **modèle urbain** pouvant estimer les concentrations de plusieurs polluants sur l'ensemble de l'agglomération pour laquelle le modèle s'applique. Pour cela, il faut disposer de nombreuses données comme les **émissions** des différents secteurs (transports, industries, résidentiel et tertiaire, naturel...), les paramètres météorologiques, la typologie du domaine (relief, voies canyons). En parallèle se déroulent les **campagnes de mesure** dont le rôle est déterminant pour le calage du modèle. Les comparaisons mesures / modèle confirment d'ailleurs la très bonne représentativité de la modélisation sur le dioxyde d'azote et le benzène.

Les phases préalables à la construction du modèle (mesures et inventaire des émissions) ont avant tout permis de caractériser la qualité de l'air sur le territoire de la CASA. Ainsi, trois aspects ont été mis en évidence.

Tout d'abord, les **grands axes routiers** confirment leur impact sur la qualité de l'air. Les niveaux les plus élevés en **dioxyde d'azote et particules** sont observés et/ou estimés à proximité de l'autoroute ou des nationales **dépassant les valeurs réglementaires**.

Ensuite, les **villes les plus importantes** dont les **axes structurants** et les **centres** ressortent également en dioxyde d'azote, du fait d'un trafic soutenu et de la configuration du bâti favorable à l'accumulation des polluants.

Les taux élevés de **benzène**, polluant émis principalement en cas de **faible fluidité du trafic**, sont identifiés sur les axes de bord de mer, ceux menant à la zone d'activité de Sophia-Antipolis ainsi qu'en centre-ville, confirmant les situations de congestion.

Enfin, les villes et villages situés au nord de la CASA affichent des concentrations mesurées et simulées faibles, en deçà des valeurs réglementaires pour les trois polluants (dioxyde d'azote, benzène et particules) indiquant une bonne qualité de l'air.

Les cartographies réalisées, le modèle désormais établi sur le territoire de la CASA, commence maintenant la phase opérationnelle du projet, au cours de laquelle seront testés divers scénarii, choisis en collaboration avec les services techniques de la CASA. Ils devront tenir compte non seulement des aménagements prévus, mais également des niveaux de pollution et de la population exposée, présentant ainsi un fort potentiel d'amélioration de qualité de l'air. Cela constitue la prochaine étape du projet.

8. GLOSSAIRE

AASQA : Association Agréée pour la Surveillance de la Qualité de l'Air. Pour en savoir plus sur les 35 associations en France: <http://www.atmofrance.org>.

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

ADMS-Urban : Atmospheric Dispersion Modelling System, modèle de dispersion utilisé pour cartographier les concentrations à l'échelle de l'agglomération.

Anthropique : Relatif à l'activité humaine. Qualifie ce qui est directement ou indirectement dû à l'action de l'homme.

BTeX : terme désignant les Benzène, Toluène, Ethylbenzène et Xylènes.

CAPAP : Communauté d'Agglomération Pôle Azur Provence.

CARF : Communauté d'Agglomération de la Riviera Française.

CASA : Communauté d'Agglomération de Sophia-Antipolis

C₆H₆ : formule chimique du benzène.

CO : formule chimique du monoxyde de carbone.

COV : terme désignant les Composés Organiques Volatils. Ils représentent l'ensemble des composés contenant du carbone et de l'hydrogène dans lesquels l'hydrogène peut être partiellement ou totalement remplacé par des halogènes (Fluor, Chlore, Brome, Iode), du soufre ou de l'azote, exception faite des oxydes de carbone et des carbonates. Les hydrocarbures sont des COV.

Echantillonnage passif : méthode de prélèvement de polluants atmosphériques. Elle consiste à exposer un tube à l'air ambiant pendant une période déterminée puis d'analyser en laboratoire les gaz qui ont été piégés. Cette méthode indique la valeur moyenne de la concentration en polluant dans l'air sur la période d'étude. La durée d'exposition est fonction du polluant recherché.

Exposition aigüe : exposition de courte durée

Exposition chronique : exposition persistante, continue ou discontinue, se produisant sur une longue période (comprise entre plusieurs années et la vie entière).

GIEC : Groupe d'experts Intergouvernemental sur l'Évolution du Climat ou IPCC (Intergouvernemental Panel on Climate Change).

GES : Gaz à Effet de Serre.

GSP : Grandes Sources Ponctuelles.

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

NCA : Communauté d'Urbaine de Nice Côte d'Azur.

NO₂ : formule chimique du dioxyde d'azote.

Objectif de qualité : valeur de prévention, à long terme, objectif à atteindre ou référence spécifique en zone déterminée par les états membres de l'Union Européenne (UE).

ORE : Observatoire Régional de l'Energie

OMS : Organisation Mondiale de la Santé.

Photolyse : décomposition chimique par la lumière.

PM10 : Particules fines le diamètre aérodynamique est inférieur à 10 µm (micromètres)

Polluant primaire : composé rejeté dans l'atmosphère directement par la source de pollution.

Polluant secondaire : polluant résultant de la transformation de polluants primaires par différentes réactions chimiques.

Percentile 98 : valeur pour laquelle 98% des concentrations mesurées sont inférieures.

RMSE : Root Mean Squared Error, indicateur d'écart en statistique.

SCOT : Schéma de Cohérence Territoriale.

SESSI : Service des Études et des Statistiques Industrielles.

Station de typologie rurale : l'objectif de ces stations est d'être représentatif du niveau d'exposition des écosystèmes et de la population à la pollution atmosphérique de « fond » (celle que l'on trouve sur le territoire, même là où n'existent pas de sources d'émissions) notamment photochimique dans les zones rurales.

Station de typologie trafic : l'objectif de ces stations est de fournir des informations sur les concentrations mesurées dans les zones représentatives du niveau maximum d'exposition auquel la population située à proximité d'une infrastructure routière est susceptible d'être exposée. Les principaux polluants mesurés sont ceux liés au transport comme le monoxyde de carbone, les oxydes d'azote (NOx), les particules fines (PM10) et certains composés organiques toxiques.

Station de typologie urbaine : l'objectif de ces stations est le suivi du niveau d'exposition moyen de la population aux phénomènes de pollution atmosphérique dits de fond dans les centres urbains. Ces stations sont situées dans des quartiers densément peuplés (entre 3000 et 4000 habitants/km²) et à distance de sources de pollution directes. Les principaux polluants mesurés sont les oxydes d'azote (NOx), l'ozone (O₃) et les particules fines (PM10).

UIOM : Unité d'Incinération d'ordures Ménagères.

µg/m³ : l'unité de mesure est le microgramme par mètre cube d'air (1µg = 0,000001g).

Valeur limite : valeur à ne pas dépasser sur l'ensemble du territoire des états membres de l'Union Européenne (UE).

9. 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
- Atmo PACA, 2006 : AIRPROCHE; cartographie de la pollution à Toulon : approches géostatistiques et déterministes : 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
- 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
- Atmo PACA, 2009 : Qualité de l'air sur la Communauté du Pays d'Aix : campagnes de mesures et inventaires des émissions de polluants : http://www.atmopaca.org/files/et/090227_Rapport_CPA.pdf
- Atmo PACA, 2009 : CASA : Mesures et Emissions de polluants : rapport intermédiaire http://www.atmopaca.org/files/et/100305_FP_CASA_mesures_emissions_Rapport_Intermediaire.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.

10. LISTE DES TABLEAUX ET FIGURES

TABLEAUX

Tableau 1 : stations de mesures et analyseurs sur la CASA	9
Tableau 2 : émissions annuelles sur la CASA pour les principaux polluants (Inventaire A2006 V2009)	32
Tableau 3 : émissions annuelles des GES sur la CASA (Inventaire PACA 2004)	36
Tableau 4 : phénomènes physiques pris en compte dans la modélisation	40
Tableau 5 : comparaison des concentrations moyennes annuelles mesurées et simulées aux stations et présentation du biais obtenu	78
Tableau 6 : seuils de qualité de l'air préconisés par l'article R221-1 du code de l'environnement.....	79
Tableau 7 : 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.....	79
Tableau 8 : concentrations stations.....	96
Tableau 9 : Valeurs de longueur minimale de Monin-Obukhov pour des grandes classes de zones urbaine et rurale	99

FIGURES

Figure 1 : carte de localisation et d'occupation du sol.....	6
Figure 2 : tubes à diffusion passive.....	9
Figure 3 : carte de localisation des sites de mesure (toutes typologies) : observation, périurbaine, rurale, urbaine et trafic	10
Figure 4 : carte de localisation des sites de mesure de typologie « trafic »	10
Figure 5 : carte de localisation des sites à Antibes	11
Figure 6 : carte de localisation des sites à Valbonne	11
Figure 7 : carte de localisation des sites à Villeneuve-Loubet.....	11
Figure 8 : carte de localisation des sites à Roquefort-les-Pins.....	11
Figure 9 : concentrations annuelles 2008 en dioxyde d'azote	13
Figure 10 : diagramme en boîtes de Tuckey : données statistiques des valeurs 2008 en NO ₂ , selon la typologie des sites	14
Figure 11 : répartition des typologies des sites en fonction des niveaux de NO ₂	15
Figure 12 : évolution saisonnière des concentrations en dioxyde d'azote sur quelques sites de la CASA	17
Figure 13 : concentrations hivernales en dioxyde d'azote.....	18
Figure 14 : concentrations estivales en dioxyde d'azote	18
Figure 15 : profil transversal en dioxyde d'azote au niveau du futur échangeur A8.....	19
Figure 16 : profil transversal en dioxyde d'azote autour de la D6107 à Antibes.....	20
Figure 17 : profil transversal en dioxyde d'azote sur la route de Grasse	21
Figure 18 : profil transversal en dioxyde d'azote sur le bord de mer.....	22
Figure 19 : profil transversal en dioxyde d'azote - Roquefort les Pins	23
Figure 20 : profil transversal en dioxyde d'azote - Le Rouret.....	24
Figure 21 : concentrations annuelles 2008 en benzène.....	25
Figure 22 : diagramme en boîtes de Tuckey : données statistiques des valeurs en 2008 en NO ₂ , selon la typologie des sites.....	26
Figure 23 : répartition des typologies en fonction des niveaux de benzène.....	26
Figure 24 : concentrations hivernales en benzène.....	28
Figure 25 : concentrations estivales en benzène	28
Figure 26 : concentrations annuelles 2008 en toluène et éthylbenzène	29
Figure 27 : concentrations annuelles 2008 en m,p-xylènes et o-xylènes.....	29
Figure 28 : part de chaque secteur d'activité dans les émissions de la CASA.....	33
Figure 29 : analyse sectorielle des émissions de NO _x	33
Figure 30 : analyse sectorielle des émissions de CO	34
Figure 31 : analyse sectorielle des émissions de CO ₂	34
Figure 32 : analyse sectorielle des émissions de SO ₂	34

Figure 33 : analyse sectorielle des émissions de COVNM	35
Figure 34 : analyse sectorielle des émissions de particules	35
Figure 35 : analyse sectorielle des émissions de Gaz à Effet de Serre	36
Figure 36 : cadastre kilométrique des émissions de NO _x sur la CASA (A2006 V2009)	37
Figure 37 : cadastre kilométrique des émissions de benzène sur la CASA (A2006 V2009)	38
Figure 38 : cadastre kilométrique des émissions de particules sur la CASA (A2006 V2009)	38
Figure 39 : localisation de la zone d'étude modélisée.....	41
Figure 40 : topographie sur l'agglomération Sophia Antipolis	43
Figure 41 : roses des vents issues des paramètres mesurés à la station Météo France de Valbonne (périodes du 11 mars au 8 avril 2008 et du 11 juin au 9 juillet 2008).....	44
Figure 42 : rose des vents annuelle issue des paramètres mesurés à la station de Valbonne.....	44
Figure 43 : visualisation des sources d'émissions surfaciques et ponctuelles modélisées dans ADMS-Urban.....	46
Figure 44 : schéma simplifié de l'écoulement dans une rue canyon.....	46
Figure 45 : réseau routier modélisé sur la CASA	47
Figure 46 : cadastre kilométrique des émissions de NO _x utilisé dans ADMS-Urban.....	48
Figure 47 : cadastre kilométrique des émissions de benzène utilisé dans ADMS-Urban	48
Figure 48 : cadastre kilométrique des émissions de particules utilisé dans ADMS-Urban.....	49
Figure 49 : influence de la longueur de Monin-Obukhov (LMO) sur le profil journalier des concentrations en NO ₂ simulées à la station Antibes Jean Moulin du 11 mars au 08 avril 2008.....	50
Figure 50 : concentrations moyennes simulées en NO ₂ (µg/m ³) au cours de la campagne mars / avril.....	52
Figure 51 : comparaison des concentrations mesurées et simulées en NO ₂ au cours de la période de campagne mars / avril	53
Figure 52 : comparaison des concentrations simulées et mesurées en NO ₂ au droit des tubes passifs (période mars / avril)	54
Figure 53 : concentrations moyennes simulées en benzène (µg/m ³) au cours de la période mars / avril (pollution de fond = 0,4 µg/m ³).....	55
Figure 54 : comparaison des concentrations mesurées et simulées en benzène au cours de la période mars / avril (avant ajustement de la pollution de fond)	56
Figure 55 : comparaison des concentrations simulées et mesurées en benzène au droit des tubes passifs sur la période mars / avril (avant ajustement de la pollution de fond).....	57
Figure 56 : concentrations moyennes simulées en PM10 (µg/m ³) au cours de la période mars / avril (pollution de fond à l'extérieur du domaine = 22 µg/m ³).....	58
Figure 57 : comparaison des concentrations moyennes mensuelles simulées en NO ₂ et en PM10 aux mesures des stations fixes	59
Figure 58 : comparaison mesure (en noir) / modèle (en bleu) des concentrations horaires en NO ₂ restituées à la station fixe Antibes Jean Moulin entre le 15 et le 25 mars 2008.....	60
Figure 59 : comparaison mesure (en noir) / modèle (en bleu) des concentrations horaires en PM10 restituées à la station fixe Antibes Jean Moulin entre le 15 et le 25 mars 2008.....	60
Figure 60 : concentrations moyennes simulées en NO ₂ (µg/m ³) au cours de la période juin / juillet	61
Figure 61 : comparaison des concentrations mesurées et simulées en NO ₂ au cours de la période juin / juillet.....	62
Figure 62 : comparaison des concentrations simulées et mesurées en NO ₂ au droit des tubes passifs (période juin / juillet)	63
Figure 63 : concentrations moyennes simulées en benzène (µg/m ³) au cours de la période juin / juillet.....	64
Figure 64 : comparaison des concentrations mesurées et simulées en benzène au cours de la période juin / juillet.....	65
Figure 65 : comparaison des concentrations simulées et mesurées en benzène au droit des tubes passifs (période juin / juillet)	66
Figure 66 : concentrations moyennes simulées en PM10 (µg/m ³) au cours de la période mars / avril (pollution de fond à l'extérieur du domaine = 29 µg/m ³).....	67
Figure 67 : comparaison des concentrations moyennes mensuelles simulées en NO ₂ et en PM10 aux mesures des stations fixes	68
Figure 68 : comparaison mesure (en noir) / modèle (en bleu) des concentrations horaires en NO ₂ restituées à la station fixe Antibes Jean Moulin entre le 10 et le 20 juin 2008.....	68
Figure 69 : comparaison mesure (en noir) / modèle (en bleu) des concentrations horaires en PM10 restituées à la station fixe Antibes Jean Moulin entre le 10 et le 20 juin 2008.....	69
Figure 70 : concentrations moyennes simulées en NO ₂ (µg/m ³) au cours de l'année 2008.....	70
Figure 71 : variabilité saisonnière des concentrations de NO ₂ modélisées au mois de février 2008 (à gauche) et en juin / juillet 2008 (à droite).....	71

Figure 72 : moyennes mensuelles en NO ₂ mesurées sur les stations permanentes de la CASA et aux alentours en 2008	71
Figure 73 : précipitations, températures et vitesses de vent mensuelles en 2008 à Valbonne	72
Figure 74 : percentiles 98 horaires en NO ₂ (µg/m ³) sur la période Novembre à Avril.....	73
Figure 75 : concentrations moyennes simulées en benzène (µg/m ³) au cours de l'année 2008	74
Figure 76 : variabilité saisonnière des concentrations de C ₆ H ₆ modélisées au mois de février 2008 (à gauche) et en juin / juillet 2008 (à droite).....	75
Figure 77 : concentrations moyennes simulées en PM10 (µg/m ³) au cours de l'année 2008	76
Figure 78 : variabilité saisonnière des concentrations de PM10 modélisées au mois de février 2008 (à gauche) et en juin / juillet 2008 (à droite).....	77
Figure 79 : moyennes mensuelles PM10 (µg/m ³) sur les 3 stations permanentes autour de la zone d'étude en 2008....	77
Figure 80 : comparaison des concentrations moyennes annuelles simulées en NO ₂ et en PM10 aux mesures des stations fixes	78
Figure 81 : la région PACA et les communautés d'agglomération CPA, NCA et CASA.	Erreur ! Signet non défini.
Figure 82 : émissions (a) et immissions (b) en région PACA. Echelle régionale et zoom urbains.	Erreur ! Signet non défini.
Figure 83 : comparaison des cartographies haute résolution du NO ₂ (µg/m ³) - Niveaux moyens annuels pour Marseille (2000-2005) (gauche), Toulon(2006) (droite) et Nice (2008) (centre).	Erreur ! Signet non défini.
Figure 84 : corrélation entre les valeurs des tubes passifs et les concentrations mesurées aux stations fixes pendant la campagne juin / juillet.....	94
Figure 85 : corrélation entre les valeurs des tubes passifs et les concentrations mesurées aux stations fixes pendant la campagne mars / avril.....	95
Figure 86 : régression linéaire pour l'estimation annuelle à partir d'une moyenne « été-hiver ».....	96
Figure 87 : régression linéaire pour l'estimation d'une période à partir d'une seule série « été » ou « hiver »	97

11. ANNEXE

11.1. ANNEXE 1 : TYPOLOGIE ET DESCRIPTION DES EQUIPEMENTS DES SITES

Id	Typologie	Commune	Description	Polluants mesurés	
				NO ₂	C ₆ H ₆
1	Trafic	Villeneuve-Loubet	Avenue des Maurettes - abribus	1	1
2	Périurbain	Villeneuve-Loubet	Avenue Vaugrenier - Quartier des Maurettes	1	0
3	Trafic	Antibes	Route de Nice	1	1
4	Trafic	Antibes	Rond point J Michard Pellissier/ Chemin de la Romaine	1	1
5	Urbain	Biot	Calade Saint Roch	1	1
6	Rural	Biot	Route des Colles proche carrière	1	0
7	Trafic	Antibes	Rond point des 3 Moulins	1	1
8	Urbain	Antibes	Station école Jean Moulin	1	1
9	Urbain	Antibes	Lycée Agricole et Horticole	1	1
10	Observation	Antibes	Passerelle Gare d'Antibes	1	1
11	Trafic	Antibes	Station école Guynemer - rue Vauban	1	1
12	Périurbain	Antibes	Phare de la Garoupe	1	1
13	Trafic	Golfe Juan	Avenue Clément Massier	1	1
14	Trafic	Valbonne	Route de la Valmasque - Station service	1	1
15	Trafic	Valbonne	Carrefour des Bouillides (Rond point D98 / D 103)	1	1
16	Périurbain	Valbonne	Chemin de la Roberte - Réservoir	1	0
17	Trafic	Biot	Carrefour des Chappes (Rond point routes des Colles / Avenue Saint Philippe)	1	1
18	Trafic	Valbonne	Rond point D3 / D103	1	1
19	Trafic	Valbonne	Intersection route de Grasse / Avenue de Saint Roch	1	1
20	Urbain	Valbonne	Place des Arcades	1	1
21	Périurbain	Châteauneuf-Grasse	église	1	0
22	Trafic	Châteauneuf-Grasse	Rond point Fontaine - Pré du Lac	1	1
23	Périurbain	Le Bar-sur-Loup	La Poste	1	0
24	Rural	Gourdon	centre	1	0
25	Périurbain	Tourrettes-sur-Loup	église	1	1
26	Rural	Courmes	centre	1	0
27	Rural	Caussols	centre	1	0
28	Périurbain	Le Rouret	Mairie	1	1
29	Périurbain	Roquefort-les-Pins	Mairie	1	0
30	Urbain	La Colle-sur-Loup	Mairie	1	1
31	Observation	La Colle-sur-Loup	Expace Vert proche Boulevard Pierre Sauvagio	1	1
32	Périurbain	Saint-Paul-de-Vence	centre	1	1
33	Rural	Roquefort-les-Pins	Impasse du Clos	1	0
34	Périurbain	Villeneuve-Loubet	église	1	1
35	Trafic	Antibes	Intersection Avenue Albert 1er / Avenue Principal Pastour	1	1
36					
37	Urbain	Juan-les-Pins	Avenue du Maréchal de Lattre de Tassigny	1	1
38	Urbain	Vallauris	Rue François Girard	1	1
39	Urbain	Juan-les-Pins	Intersection Avenue des Oliviers - Vieux Chemin de la Colle	1	0
40	Urbain	Antibes	Avenue de Provence	1	0
41	Urbain	Antibes	Chemin des contrebandiers - La Garoupe	1	0
42	Urbain	Antibes	Prolongement Chemin de Rabiac Estagnol (Ts3)	1	0
43					
44	Urbain	Golfe Juan	Avenue des Mimosas	1	1
45	Urbain	Vallauris	Route de la Font de Cine	1	0
46	Urbain	Antibes	Rue Max Jacob	1	0
47	Périurbain	Antibes	Route de la Mer	1	0
48	Périurbain	Opio	église	1	0
49	Périurbain	Vallauris	Col Saint Antoine , route de Cannes	1	0
50	Urbain	Antibes	Intersection Chemin des Vieux Brusquets / Chemin de Saint Maymes	1	0
51	Trafic	Roquefort-les-Pins	Rond Point - Route de Nice / D 507	1	1
52	Périurbain	Roquefort-les-Pins	La Féranderie	1	1
53	Périurbain	Roquefort-les-Pins	Avenue de la Bergerie	1	1

Id	Typologie	Commune	Description	Polluants mesurés	
				NO ₂	C ₆ H ₆
54	Périurbain	Roquefort-les-Pins	Avenue du Vallon	1	0
55	Rural	Roquefort-les-Pins	Route forestière VAS58 - Route de Nice / Valbonne	1	0
56	Périurbain	Roquefort-les-Pins	Chemin des Pouveries	1	0
57	Périurbain	Roquefort-les-Pins	Intersection Avenue des Courmettes / Rue des Lavandes	1	0
58	Périurbain	Valbonne	Ecole Ile Verte - route de Biot	1	0
59	Observation	Antibes	Chemin du Puy	1	1
60	Rural	Roquefort-les-Pins	Chemin du Debram	1	0
61	Trafic	Antibes	Les Bréquières - voie ferrée (Te2)	1	1
62	Urbain	Antibes	Route du bord de mer (Te3)	1	0
63	Urbain	Antibes	Boulevard Beau Rivage Prolongé (Te1)	1	1
64	Urbain	Antibes	Impasse de la Brague (To1)	1	0
65	Urbain	Antibes	Impasse de la Brague (fond) (To2)	1	0
66	Trafic	Antibes	Vieux chemin de Saint Jean	1	1
67	Observation	Antibes	Avenue Courbe (To1)	1	0
68	Trafic	Antibes	Avenue Courbe (To2)	1	1
69	Urbain	Antibes	Avenue Mutterse (To3)	1	0
70	Observation	Antibes	Proche voie ferrée (T'e1)	1	0
71	Urbain	Antibes	Place Gabriel Cordier (T'e2)	1	1
72	Urbain	Antibes	Avenue Gambetta (T'e3)	1	0
73	Rural	Roquefort-les-Pins	Chemin du Loup	1	0
74	Périurbain	Valbonne	Route d'Antibes	1	1
75	Périurbain	Valbonne	Intersection Rue Alphonse Daudet / Rue de Grillou	1	0
76	Périurbain	Biot	Rond point e la Charlotte (école avenue Saint Philippe)	1	0
77	Périurbain	Vallauris	Chemin du Fuguière	1	0
78	Urbain	Antibes	Impasse proche Chemin des ames du Purgatoire (Ts2)	1	1
79	Observation	Antibes	Allée François Pierre Cerutti (Ts1)	1	0
80	Trafic	Antibes	Route de Grasse	1	1
81	Observation	Antibes	Route de Grasse - quartier les âmes du Purgatoire (Tn3)	1	0
82	Urbain	Antibes	Route de Grasse - D35 (Tn2)	1	0
83	Urbain	Antibes	Chemin des Terriers (Tn1)	1	1
84	Périurbain	Cagnes-sur-Mer	Rue de la Source	1	1
85	Urbain	Antibes	Rue de la République	1	1
86	Observation	Antibes	Quai Henri Rambaud	1	0
87	Trafic	Juan-les-Pins	Avenue de l'Esterel (rond point)	1	1
88	Trafic	Vallauris	Avenue de la Liberté - Pointe Fourcade	1	1
89	Périurbain	Antibes	chemin de l'Orangerie (Te3)	1	0
90	Observation	Antibes	chemin de l'Orangerie (Te2)	1	0
91	Observation	Antibes	chemin de l'Orangerie (Te1)	1	0
92	Trafic	Antibes	Route de Biot (Te1)	1	1
93	Observation	Antibes	Route de Biot (Te2)	1	0
94	Urbain	Antibes	Jardin René Cassin	1	0
95	Trafic	Antibes	Rond point entrée de Super Antibes	1	1
96	Observation	Villeneuve-Loubet	Intersection Route Bord de Mer / Avenue Maréchal de Lattre de Tassigny	1	0
97	Trafic	Cagnes-sur-Mer	Sortie demi-échangeur Villeneuve-Loubet	1	1
98	Périurbain	Villeneuve-Loubet	Avenue des Hauts de Vaugrenier - entrée TI	1	0
99	Trafic	Villeneuve-Loubet	Rond point Avenue des Plans / avenue e la Libération	1	1
100	Trafic	Le Rouret	Route de Nice - proche église	1	1
101	Observation	Le Rouret	Terre-plain proche route de Nice	1	0
102	Urbain	Le Rouret	Chemin des Moutons - impasse	1	0
103	Urbain	Le Rouret	Chemin des écoles	1	0
104	Périurbain	Biot	Proche Rond point route des Chappes	1	0
105	Urbain	Antibes	Chemin de Saint Pechaire	1	1
106	Périurbain	Valbonne	Lycée Régional - Route de Biot	1	1

11.2. ANNEXE 2 : CONCENTRATIONS 2008 EN DIOXYDE D'AZOTE, PAR COMMUNES

Les sites sont triés par commune et par concentration annuelle décroissante.

Id	Typologie	Commune	Description	Concentration en NO ₂		
				été	Hiver	année
7	Trafic	Antibes	Antibes : Rond point des 3 Moulins	113	120	113
80	Trafic	Antibes	Antibes : Route de Grasse	61	78	70
95	Trafic	Antibes	Antibes : Rond point entrée de Super Antibes	67	71	69
92	Trafic	Antibes	Antibes : Route de Biot (Te1)	58	57	58
87	Trafic	Antibes	Juan-les-Pins : Avenue de l'Esterel (rond point)	55	51	54
66	Trafic	Antibes	Antibes : Vieux chemin de Saint Jean	57	48	54
35	Trafic	Antibes	Antibes : Intersection Avenue Albert 1er / Avenue Principal Pastour	50	52	53
11	Trafic	Antibes	Antibes : Station école Guynemer - rue Vauban	43	50	48
72	Urbain	Antibes	Antibes : Avenue Gambetta (T'e3)	40	50	47
4	Trafic	Antibes	Antibes : Rond point J Michard Pellissier/ Chemin de la Romaine	39	47	45
91	Observation	Antibes	Antibes : chemin de l'Orangerie (Te1)	32	52	44
3	Trafic	Antibes	Antibes : Route de Nice	38	46	44
81	Observation	Antibes	Antibes : Route de Grasse - quartier les âmes du Purgatoire (Tn3)	34	45	42
94	Urbain	Antibes	Antibes : Jardin René Cassin	33	43	40
90	Observation	Antibes	Antibes : chemin de l'Orangerie (Te2)	27	49	40
71	Urbain	Antibes	Antibes : Place Gabriel Cordier (T'e2)	29	42	38
68	Trafic	Antibes	Antibes : Avenue Courbe (To2)	30	38	37
79	Observation	Antibes	Antibes : Allée François Pierre Cerutti (Ts1)	28	40	36
70	Observation	Antibes	Antibes : Proche voie ferrée (T'e1)	27	39	36
93	Observation	Antibes	Antibes : Route de Biot (Te2)	28	35	34
10	Observation	Antibes	Antibes : Passerelle Gare d'Antibes	26	36	34
61	Trafic	Antibes	Antibes : Les Bréguières - voie ferrée (Te2)	28	33	33
82	Urbain	Antibes	Antibes : Route de Grasse - D35 (Tn2)	24	36	33
8	Urbain	Antibes	Antibes : Station école Jean Moulin	22	38	33
86	Observation	Antibes	Antibes : Quai Henri Rambaud	33	26	32
83	Urbain	Antibes	Antibes : Chemin des Terriers (Tn1)	22	36	32
42	Urbain	Antibes	Antibes : Prolongement Chemin de Rabiac Estagnol (Ts3)	24	33	31
47	Périurbain	Antibes	Antibes : Route de la Mer	23	33	31
67	Observation	Antibes	Antibes : Avenue Courbe (To1)	23	32	30
85	Urbain	Antibes	Antibes : Rue de la République	24	30	30
39	Urbain	Antibes	Juan-les-Pins : Intersection Avenue des Oliviers - Vieux Chemin de la Colle	23	31	30
89	Périurbain	Antibes	Antibes : chemin de l'Orangerie (Te3)	20	33	29
63	Urbain	Antibes	Antibes : Boulevard Beau Rivage Prolongé (Te1)	20	28	27
40	Urbain	Antibes	Antibes : Avenue de Provence	19	29	27
59	Observation	Antibes	Antibes : Chemin du Puy	19	29	27
65	Urbain	Antibes	Antibes : Impasse de la Brague (fond) (To2)	20	28	27
69	Urbain	Antibes	Antibes : Avenue Muterse (To3)	20	27	27
64	Urbain	Antibes	Antibes : Impasse de la Brague (To1)	19	29	27
37	Urbain	Antibes	Juan-les-Pins : Avenue du Maréchal de Lattre de Tassigny	19	28	27
9	Urbain	Antibes	Antibes : Lycée Agricole et Horticole	15	26	24
62	Urbain	Antibes	Antibes : Route du bord de mer (Te3)	15	25	24
78	Urbain	Antibes	Antibes : Impasse proche Chemin des ames du Purgatoire (Ts2)	21	17	23
46	Urbain	Antibes	Antibes : Rue Max Jacob	13	22	21
105	Urbain	Antibes	Antibes : Chemin de Saint Pechaire	13	19	20
50	Urbain	Antibes	Antibes : Intersection Chemin des Vieux Brusquets / Chemin de Saint	12	19	19
12	Périurbain	Antibes	Antibes : Phare de la Garoupe	13	14	17
41	Urbain	Antibes	Antibes : Chemin des contrebandiers - La Garoupe	12	14	17
17	Trafic	Biot	Biot : Carrefour des Chappes (Rond point routes des Colles / Avenue Saint	51	49	51
5	Urbain	Biot	Biot : Calade Saint Roch	14	22	21
104	Périurbain	Biot	Biot : Proche Rond point route des Chappes	13	21	21
6	Rural	Biot	Biot : Route des Colles proche carrière	10	15	16
76	Périurbain	Biot	Biot : Rond point de la Charlotte (école avenue Saint Philippe)	11		15
27	Rural	Caussols	Caussols : centre	3	4	8

Concentration en NO ₂						
Id	Typologie	Commune	Description	été	Hiver	année
22	Trafic	Châteauneuf-Grasse	Châteauneuf-Grasse : Rond point Fontaine - Pré du Lac	31	32	34
21	Périurbain	Châteauneuf-Grasse	Châteauneuf-Grasse : église	13	12	16
26	Rural	Courmes	Courmes : centre	2	3	7
24	Rural	Gourdon	Gourdon : centre	7	8	12
31	Observation	La Colle-sur-Loup	La Colle-sur-Loup : Espace Vert proche Boulevard Pierre Sauvagio	17	24	24
30	Urbain	La Colle-sur-Loup	La Colle-sur-Loup : Mairie	16	21	22
23	Périurbain	Le Bar-sur-Loup	Le Bar-sur-Loup : La Poste	7	10	13
100	Trafic	Le Rouret	Le Rouret : Route de Nice - proche église	44	47	47
103	Urbain	Le Rouret	Le Rouret : Chemin des écoles	6	24	19
28	Périurbain	Le Rouret	Le Rouret :Mairie	12	14	17
101	Observation	Le Rouret	Le Rouret : Terre-plain proche route de Nice	9	15	16
102	Urbain	Le Rouret	Le Rouret : Chemin des Moutons - impasse	6	10	12
48	Périurbain	Opio	Opio : église	7	9	12
51	Trafic	Roquefort-les-Pins	Roquefort-les-Pins : Rond Point - Route de Nice / D 507	32	37	37
29	Périurbain	Roquefort-les-Pins	Roquefort-les-Pins : Mairie	11	14	17
53	Périurbain	Roquefort-les-Pins	Roquefort-les-Pins : Avenue de la Bergerie	10	16	17
56	Périurbain	Roquefort-les-Pins	Roquefort-les-Pins : Chemin des Pouveries	8	14	15
54	Périurbain	Roquefort-les-Pins	Roquefort-les-Pins : Avenue du Vallon	6	11	13
52	Périurbain	Roquefort-les-Pins	Roquefort-les-Pins : La Féranderie	6	11	13
33	Rural	Roquefort-les-Pins	Roquefort-les-Pins : Impasse du Clos	6	8	11
60	Rural	Roquefort-les-Pins	Roquefort-les-Pins : Chemin du Debram	4	6	9
73	Rural	Roquefort-les-Pins	Roquefort-les-Pins : Chemin du Loup	4	5	9
55	Rural	Roquefort-les-Pins	Roquefort-les-Pins : Route forestière VAS58 - Route de Nice / Valbonne	4	4	8
57	Périurbain	Roquefort-les-Pins	Roquefort-les-Pins : Intersection Avenue des Courmettes / Rue des			
32	Périurbain	Saint-Paul-de-Vence	Saint-Paul-de-Vence : centre	27	22	28
25	Périurbain	Tourrettes-sur-Loup	Tourrettes-sur-Loup : église		13	17
14	Trafic	Valbonne	Valbonne : Route de la Valmasque - Station service	63	73	68
18	Trafic	Valbonne	Valbonne : Rond point D3 / D103	36	44	42
19	Trafic	Valbonne	Valbonne : Intersection route de Grasse / Avenue de Saint Roch	40	39	42
15	Trafic	Valbonne	Valbonne : Carrefour des Bouillides (Rond point D98 / D 103)	29	40	37
20	Urbain	Valbonne	Valbonne : Place des Arcades	16	23	23
106	Périurbain	Valbonne	Valbonne : Lycée Régional - Route de Biot	15	20	21
75	Périurbain	Valbonne	Valbonne : Intersection Rue Alphonse Daudet / Rue deï Grillou	12	18	18
58	Périurbain	Valbonne	Valbonne : Ecole Ile Verte - route de Biot	11	16	17
74	Périurbain	Valbonne	Valbonne : Route d'Antibes	11	13	16
16	Périurbain	Valbonne	Valbonne : Chemin de la Roberte - Réservoir	7	9	12
13	Trafic	Vallauris	Golfe Juan : Avenue Clément Massier	56	60	58
77	Périurbain	Vallauris	Vallauris : Chemin du Fuguière	37	44	43
88	Trafic	Vallauris	Vallauris : Avenue de la Liberté - Pointe Fourcade	22	42	35
45	Urbain	Vallauris	Vallauris : Route de la Font de Cine	21	38	32
49	Périurbain	Vallauris	Vallauris : Col Saint Antoine, route de Cannes	20	23	25
38	Urbain	Vallauris	Vallauris : Rue François Girard	15	27	24
44	Urbain	Vallauris	Golfe Juan : Avenue des Mimosas	13	21	21
99	Trafic	Villeneuve-Loubet	Villeneuve-Loubet : Rond point Avenue des Plans / avenue de la Libération	53	60	57
1	Trafic	Villeneuve-Loubet	Villeneuve-Loubet : Avenue des Maquettes - abribus	48	54	52
97	Trafic	Villeneuve-Loubet	Sortie demi-échangeur Villeneuve-Loubet	43	54	50
96	Observation	Villeneuve-Loubet	Villeneuve-Loubet : Intersection Route Bord de Mer / Avenue Maréchal de	35	56	47
2	Périurbain	Villeneuve-Loubet	Villeneuve-Loubet : Avenue Vaugrenier - Quartier des Maquettes	28	41	37
84	Périurbain	Villeneuve-Loubet	Rue de la Source	18	30	27
98	Périurbain	Villeneuve-Loubet	Villeneuve-Loubet : Avenue des Hauts de Vaugrenier - entré T1	15	20	21
34	Périurbain	Villeneuve-Loubet	Villeneuve-Loubet : église	11	17	18

11.3. ANNEXE 3 : CONCENTRATIONS 2008 EN BENZENE ET TOLUENE, PAR COMMUNE

Les sites sont triés par commune et par concentration annuelle décroissante.

Benzène : B ; Toluène : T				Moyenne été		Moyenne hiver		Estimation année 2008	
Id	Typologie	Commune	Description	B	T	B	T	B	T
7	Trafic	Antibes	Rond point des 3 Moulins	2.5	19.4	4.2	16.9	3.2	18.6
87	Trafic	Antibes	Juan-les-Pins, Avenue de l'Esterel (rond point)	1.8	17.9	2.4	11.5	2.2	15.0
71	Urbain	Antibes	Place Gabriel Cordier (Te2)	1.6	15.9	2.4	14.4	2.1	15.5
66	Trafic	Antibes	Vieux chemin de Saint Jean	1.5	12.0	2.5	11.4	2.1	12.0
80	Trafic	Antibes	Route de Grasse	1.6	14.0	2.4	9.4	2.1	11.9
35	Trafic	Antibes	Intersection Avenue Albert 1er / Avenue Principal Pastour	1.7	13.5	2.6	12.1	2.1	13.6
95	Trafic	Antibes	Rond point entrée de Super Antibes	1.6	10.5	2.2	7.3	2.0	9.1
3	Trafic	Antibes	Route de Nice	1.5	11.4	2.1	8.3	2.0	10.0
11	Trafic	Antibes	Station école Guynemer - rue Vauban	1.4	11.6	2.2	9.0	2.0	10.5
68	Trafic	Antibes	Avenue Courbe (To2)	1.1	8.2	2.0	8.6	1.8	8.6
4	Trafic	Antibes	Rond point J Michard Pellissier/ Chemin de la Romaine	0.6	15.2	2.1	6.5	1.7	11.1
85	Urbain	Antibes	Rue de la République	1.1	8.1	1.6	5.6	1.6	6.9
92	Trafic	Antibes	Route de Biot (Te1)	0.9	4.4	1.7	3.5	1.6	3.9
10	Observation	Antibes	Passerelle Gare d'Antibes	0.9	5.8	1.6	6.1	1.6	6.0
37	Urbain	Antibes	Juan-les-Pins, Avenue du Maréchal de Lattre de Tassigny	0.9	5.7	1.6	6.4	1.5	6.2
63	Urbain	Antibes	Boulevard Beau Rivage Prolongé (Te1)	0.9	4.8	1.4	3.7	1.5	4.2
9	Urbain	Antibes	Lycée Agricole et Horticole	0.9	4.2	1.4	3.7	1.5	3.9
59	Observation	Antibes	Chemin du Puy	0.8	5.8	1.4	4.5	1.4	5.2
78	Urbain	Antibes	Impasse proche Chemin des ames du Purgatoire (Ts2)	0.8	5.7	1.2	3.9	1.4	4.8
105	Urbain	Antibes	Chemin de Saint Pechaire	0.7	3.1	1.4	3.4	1.4	3.2
83	Urbain	Antibes	Chemin des Terriers (Tn1)	0.7	5.0	1.2	3.8	1.4	4.4
61	Trafic	Antibes	Les Bréguières - voie ferrée (Te2)	1.0	5.0	-	-	1.3	5.1
12	Périurbain	Antibes	Phare de la Garoupe	0.5	2.1	0.9	1.5	1.1	1.8
8	Urbain	Antibes	Station école Jean Moulin	0.6	3.7	-	-	0.9	4.2
17	Trafic	Biot	Carrefour des Chappes (Rond point routes des Colles / Avenue Saint Philippe)	1.2	7.1	1.9	6.2	1.8	6.7
5	Urbain	Biot	Calade Saint Roch	1.0	5.8	1.7	4.9	1.6	5.4
22	Trafic	Châteauneuf-Grasse	Rond point Fontaine - Pré du Lac	1.1	6.4	1.4	4.1	1.6	5.3
31	Observation	La Colle-sur-Loup	Espace Vert proche Boulevard Pierre Sauvagio	0.8	6.1	1.7	5.1	1.5	5.6
30	Urbain	La Colle-sur-Loup	Mairie	0.9	6.1	1.4	3.3	1.5	4.8
100	Trafic	Le Rouret	Route de Nice - proche église	1.3	7.2	1.9	5.3	1.8	6.3
28	Périurbain	Le Rouret	Mairie	0.5	2.5	1.2	2.0	1.3	2.2
51	Trafic	Roquefort-les-Pins	Rond Point - Route de Nice / D 507	1.1	7.4	2.1	5.3	1.8	6.4
52	Périurbain	Roquefort-les-Pins	La Féranderie	0.6	2.2	1.6	2.5	1.4	2.3
53	Périurbain	Roquefort-les-Pins	Avenue de la Bergerie	0.6	2.4	0.7	1.9	1.1	2.1
32	Périurbain	Saint-Paul-de-Vence	centre	1.3	8.4	1.8	5.2	1.8	6.9
25	Périurbain	Tourrettes-sur-Loup	église	-	-	1.4	3.5	1.9	3.3
14	Trafic	Valbonne	Route de la Valmasque - Station service	2.2	16.4	3.6	14.6	2.8	15.8
19	Trafic	Valbonne	Intersection route de Grasse / Avenue de Saint Roch	1.4	8.6	2.1	6.8	1.9	7.8
20	Urbain	Valbonne	Place des Arcades	1.0	5.9	1.8	5.5	1.7	5.7
15	Trafic	Valbonne	Carrefour des Bouillides (Rond point D98 / D 103)	1.0	5.1	1.8	5.0	1.7	5.1
18	Trafic	Valbonne	Rond point D3 / D103	0.9	5.4	1.6	4.4	1.6	4.9
106	Périurbain	Valbonne	Lycée Régional - Route de Biot	0.7	2.8	1.2	2.3	1.3	2.5
74	Périurbain	Valbonne	Route d'Antibes	0.6	3.1	1.1	2.2	1.3	2.6
13	Trafic	Vallauris	Golfe Juan, Avenue Clément Massier	2.0	18.5	3.1	14.6	2.6	16.9
38	Urbain	Vallauris	Rue François Girard	0.8	6.1	2.2	8.4	1.8	7.4
44	Urbain	Vallauris	Golfe Juan, Avenue des Mimosas	0.8	5.2	1.5	7.0	1.5	6.2
88	Trafic	Vallauris	Avenue de la Liberté - Pointe Fourcade	0.8	4.4	1.4	4.3	1.4	4.4
1	Trafic	Villeneuve-Loubet	Avenue des Maquettes - abribus	1.4	10.1	2.0	8.7	1.9	9.6
99	Trafic	Villeneuve-Loubet	Rond point Avenue des Plans / avenue de la Libération	1.4	8.7	1.8	5.8	1.8	7.4
97	Trafic	Villeneuve-Loubet	Sortie demi-échangeur Villeneuve-Loubet	0.8	4.6	1.3	3.6	1.4	4.1
84	Périurbain	Villeneuve-Loubet	Rue de la Source	0.7	4.1	1.3	3.0	1.4	3.5
34	Périurbain	Villeneuve-Loubet	église	0.6	3.0	1.1	2.3	1.3	2.6

11.4. ANNEXE 4 : CONCENTRATIONS 2008 EN ETHYLBENZENE ET XYLENES, PAR COMMUNE

Les sites sont triés par commune et par concentration annuelle décroissante.

Ethylobenzène : EB ; m+p Xylènes : MPX ; o xylènes : OX				Moyenne sur la période été			Moyenne sur la période hiver			Estimation annuelle 2008		
Id	Typologie	Commune	Description	EB	MPX	OX	EB	MPX	OX	EB	MPX	OX
7	Trafic	Antibes	Rond point des 3 Moulins	3.8	13.5	5.3	4.0	10.4	4.0	2.6	7.4	3.0
87	Trafic	Antibes	Juan-les-Pins, Avenue de l'Esterel (rond point)	3.5	12.4	4.8	2.8	7.2	2.8	2.2	6.5	2.6
71	Urbain	Antibes	Place Gabriel Cordier (T'e2)	2.8	10.0	3.8	3.2	8.0	3.0	2.2	6.1	2.4
66	Trafic	Antibes	Vieux chemin de Saint Jean	2.3	8.5	3.3	2.7	6.8	2.6	1.9	5.5	2.2
80	Trafic	Antibes	Route de Grasse	2.8	10.0	3.9	2.2	5.6	2.1	1.9	5.6	2.3
35	Trafic	Antibes	Intersection Avenue Albert 1er / Avenue Principal Pastour	2.2	8.1	3.2	2.6	6.9	2.6	2.0	6.8	3.0
95	Trafic	Antibes	Rond point entrée de Super Antibes	2.0	6.8	2.7	1.7	4.2	1.7	1.6	4.6	1.9
3	Trafic	Antibes	Route de Nice	2.3	8.4	3.2	2.0	4.9	1.8	1.7	5.1	2.0
11	Trafic	Antibes	Station école Guynemer - rue Vauban	2.1	7.4	2.9	2.0	5.0	2.0	1.7	4.9	2.0
68	Trafic	Antibes	Avenue Courbe (To2)	1.5	5.4	2.1	2.0	4.8	1.9	1.5	4.4	1.8
4	Trafic	Antibes	Rond point J Michard Pellissier/ Chemin de la Romaine	3.1	11.3	4.5	1.5	3.7	1.4	1.8	5.5	2.2
85	Urbain	Antibes	Rue de la République	1.4	5.2	2.0	1.2	3.1	1.2	1.3	4.0	1.6
92	Trafic	Antibes	Route de Biot (Te1)	0.9	3.1	1.3	0.8	2.0	0.8	1.1	3.3	1.3
10	Observation	Antibes	Passerelle Gare d'Antibes	1.1	4.0	1.6	1.4	3.5	1.4	1.3	3.8	1.5
37	Urbain	Antibes	Juan-les-Pins, Avenue du Maréchal de Lattre de Tassigny	1.1	3.7	1.4	1.4	3.5	1.4	1.3	3.8	1.5
63	Urbain	Antibes	Boulevard Beau Rivage Prolongé (Te1)	1.0	3.3	1.3	0.9	2.3	0.9	1.1	3.4	1.3
9	Urbain	Antibes	Lycée Agricole et Horticole	0.9	3.3	1.3	0.8	1.9	0.7	1.1	3.3	1.3
59	Observation	Antibes	Chemin du Puy	1.1	4.0	1.5	1.0	2.4	0.9	1.2	3.6	1.4
78	Urbain	Antibes	Impasse proche Chemin des ames du Purgatoire (Ts2)	1.1	3.7	1.5	0.8	2.1	0.8	1.1	3.5	1.4
105	Urbain	Antibes	Chemin de Saint Pechaire	0.7	2.5	1.0	0.8	1.9	0.7	1.0	3.1	1.2
83	Urbain	Antibes	Chemin des Terriers (Tn1)	1.0	3.3	1.3	0.9	2.4	0.9	1.1	3.4	1.4
61	Trafic	Antibes	Les Bréguières - voie ferrée (Te2)	1.0	3.6	1.4	-	-	-	1.2	3.8	1.5
12	Périurbain	Antibes	Phare de la Garoupe	0.5	1.6	0.7	0.3	0.8	0.3	0.8	2.7	1.1
8	Urbain	Antibes	Station école Jean Moulin	0.8	2.6	1.0	-	-	-	1.0	3.6	1.4
17	Trafic	Biot	Carrefour des Chappes (Rond point routes des Colles /	1.3	4.5	1.8	1.4	3.6	1.4	1.3	3.9	1.6
5	Urbain	Biot	Calade Saint Roch	1.0	3.4	1.3	1.0	2.6	1.0	1.2	3.5	1.4
22	Trafic	Châteauneuf-Grasse	Rond point Fontaine - Pré du Lac	1.1	3.6	1.5	0.9	2.1	0.8	1.1	3.4	1.4
31	Observation	La Colle-sur-Loup	Espace Vert proche Boulevard Pierre Sauvagio	1.0	3.2	1.3	1.0	2.4	0.9	1.1	3.4	1.4
30	Urbain	La Colle-sur-Loup	Mairie	1.1	3.4	1.4	0.7	1.8	0.7	1.1	3.3	1.3
100	Trafic	Le Rouret	Route de Nice - proche église	1.5	4.9	2.0	1.2	3.0	1.2	1.3	3.9	1.6
28	Périurbain	Le Rouret	Mairie	0.5	1.4	0.6	0.5	1.1	0.4	0.9	2.7	1.1
51	Trafic	Roquefort-les-Pins	Rond Point - Route de Nice / D 507	1.3	4.0	1.6	1.2	2.9	1.2	1.3	3.7	1.5
52	Périurbain	Roquefort-les-Pins	La Féranderie	0.4	1.2	0.5	0.5	1.3	0.5	0.9	2.7	1.1
53	Périurbain	Roquefort-les-Pins	Avenue de la Bergerie	0.5	1.3	0.6	0.4	1.0	0.4	0.9	2.7	1.1
32	Périurbain	Saint-Paul-de-Vence	centre	1.5	5.3	2.1	1.1	2.9	1.1	1.3	4.0	1.6
25	Périurbain	Tourrettes-sur-Loup	église	-	-	-	0.8	1.9	0.8	0.8	2.1	0.9
14	Trafic	Valbonne	Route de la Valmasque - Station service	2.7	9.4	3.7	2.8	7.1	2.8	2.0	5.8	2.4
19	Trafic	Valbonne	Intersection route de Grasse / Avenue de Saint Roch	1.7	5.4	2.2	1.6	4.2	1.6	1.5	4.3	1.7
20	Urbain	Valbonne	Place des Arcades	1.1	3.4	1.4	1.2	3.1	1.2	1.2	3.6	1.4
15	Trafic	Valbonne	Carrefour des Bouillides (Rond point D98 / D 103)	1.0	3.2	1.3	1.2	2.9	1.1	1.2	3.5	1.4
18	Trafic	Valbonne	Rond point D3 / D103	1.0	3.1	1.3	1.0	2.5	1.0	1.1	3.4	1.4
106	Périurbain	Valbonne	Lycée Régional - Route de Biot	0.6	1.6	0.7	0.5	1.2	0.5	0.9	2.8	1.1
74	Périurbain	Valbonne	Route d'Antibes	0.6	1.7	0.7	0.5	1.2	0.5	0.9	2.8	1.1
13	Trafic	Vallauris	Golfe Juan, Avenue Clément Massier	3.5	12.4	4.8	3.3	8.5	3.3	2.4	6.8	2.7
48	Urbain	Vallauris	Rue François Girard	1.4	4.7	1.7	2.0	5.3	2.1	1.5	4.4	1.7
44	Urbain	Vallauris	Golfe Juan, Avenue des Mimosas	1.0	3.5	1.4	1.1	2.9	1.1	1.2	3.6	1.4
88	Trafic	Vallauris	Avenue de la Liberté - Pointe Fourcade	0.8	3.0	1.3	1.0	2.3	0.9	1.1	3.4	1.3
1	Trafic	Villeneuve-Loubet	Avenue des Maurettes - abribus	2.2	6.1	2.4	1.8	4.5	1.8	1.6	4.5	1.8
99	Trafic	Villeneuve-Loubet	Rond point Avenue des Plans / avenue de la Libération	1.8	6.1	2.5	1.4	3.4	1.3	1.4	4.3	1.7
97	Trafic	Villeneuve-Loubet	Sortie demi-échangeur Villeneuve-Loubet	1.0	3.3	1.3	0.8	1.9	0.8	1.1	3.3	1.3
84	Périurbain	Villeneuve-Loubet	Rue de la Source	0.8	2.4	1.0	0.8	1.6	1.0	1.1	3.1	1.3
34	Périurbain	Villeneuve-Loubet	église	0.6	2.0	0.8	0.5	1.2	0.5	0.9	2.9	1.1

11.5. ANNEXE 5 : METHODE DE RECONSTITUTION DES DONNEES DES CAMPAGNES

Les stations permanentes du réseau Atmo PACA assurent la connaissance en terme de qualité de l'air sur un territoire. Dans le cadre de projets tels que la modélisation à haute résolution de la qualité de l'air, un complément d'information est nécessaire afin d'améliorer les connaissances en terme de distribution spatiale de la pollution.

Pour cela, deux campagnes de mesures par tubes passifs sont mises en œuvre, généralement durant un mois en hiver et un mois en été. Les échantillonneurs passifs sont positionnés selon un pas de temps de 15 jours. On obtient donc quatre valeurs en chaque point (deux en hiver et deux en été).

Les méthodes suivantes s'appliquent à la reconstitution de données à partir de mesures issues d'échantillonneurs passifs. Deux types de correction existent.

- une correction sur les périodes des campagnes : les valeurs mesurées par les capteurs passifs sont corrigées par rapport aux valeurs mesurées par les analyseurs permanents grâce à des triplets⁹ positionnés sur les stations fixes. Seules les valeurs de NO₂ sont corrigées ici, puisqu'il n'existe pas d'analyseurs de benzène en continu.
- une correction permettant de reconstituer les moyennes annuelles aux points des tubes : les mesures réalisées sur les stations permanentes tout au long de l'année sont utilisées pour reconstituer les valeurs annuelles sur ces mêmes points de mesures.

I - CORRECTION DES DONNEES BRUTES DES CAMPAGNES PAR ECHANTILLONNEURS PASSIFS

Les valeurs brutes des tubes, obtenues par séries de 15 jours, sont corrigées par corrélation entre les concentrations enregistrées par les stations automatiques et les échantillonneurs (tubes positionnés en triplons aux stations). L'ensemble des résultats obtenus par les tubes passifs sur la CASA est corrigé grâce à la droite de régression obtenue.

Valeur corrigée d'un tube (juin / juillet) = $0,7956 \times (\text{moyenne des valeurs brutes des tubes Séries 1 et 2}) - 0,0677$

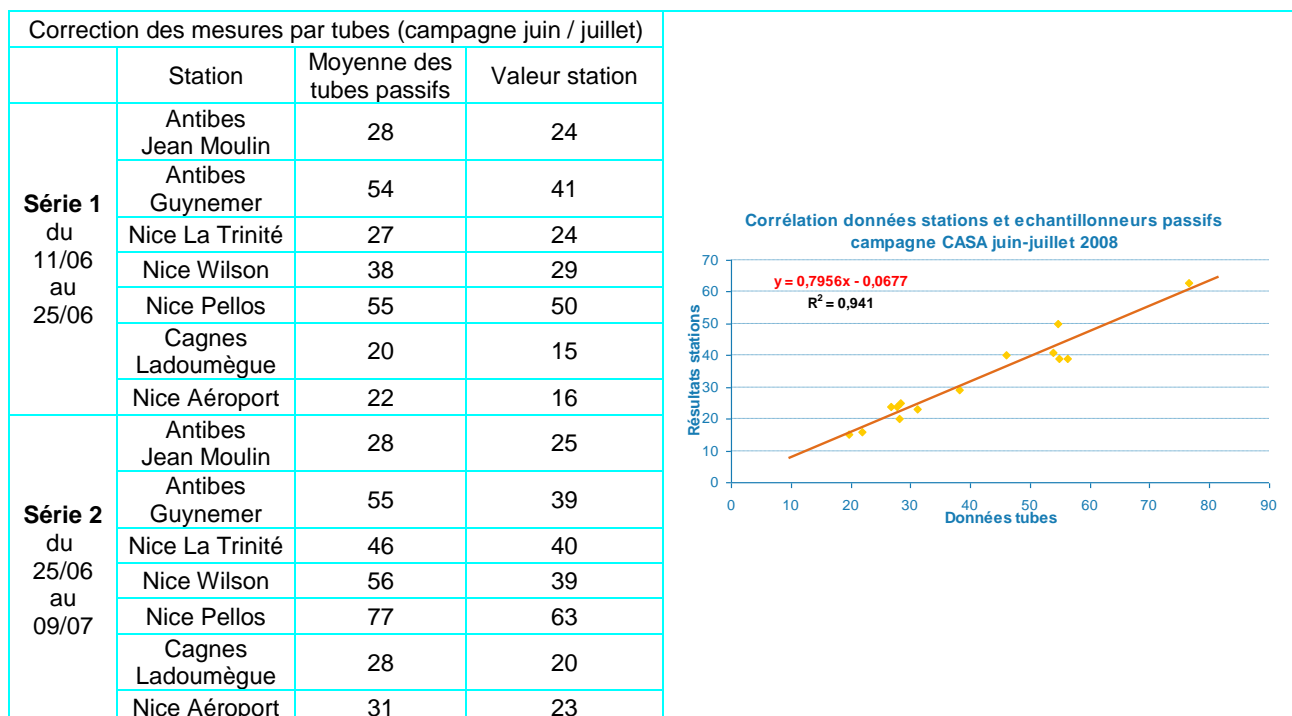


Figure 81 : corrélation entre les valeurs des tubes passifs et les concentrations mesurées aux stations fixes pendant la campagne juin / juillet

⁹ : Sur chaque station fixe, trois tubes passifs sont positionnés pour chaque série et mesurent en parallèle la pollution au même endroit.

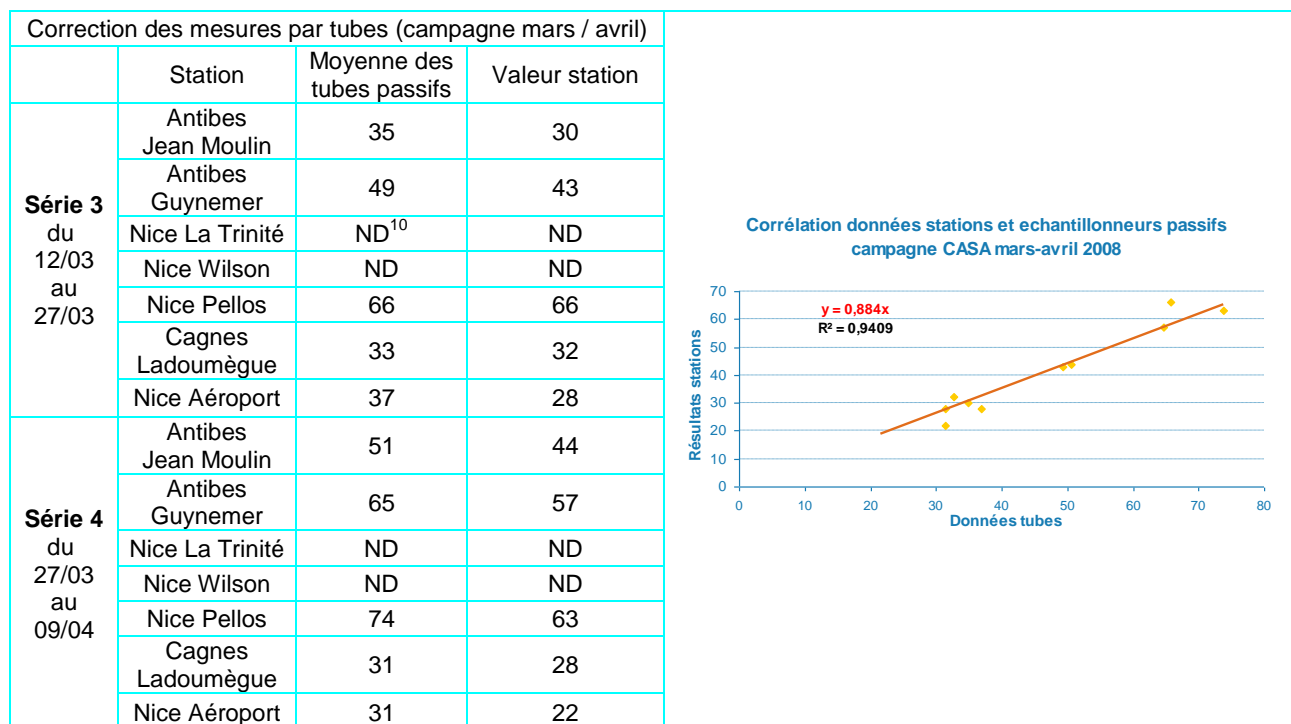


Figure 82 : corrélation entre les valeurs des tubes passifs et les concentrations mesurées aux stations fixes pendant la campagne mars / avril

Limites de la méthode :

- La sélection des couples de valeurs est importante. Il faut faire attention à ne pas utiliser la moindre valeur qui paraîtrait non représentative (valeur aberrante, valeur non représentative de la période suite à un dysfonctionnement d'appareil par exemple).
- Il est à noter qu'en dehors de la gamme de valeurs des tubes, l'incertitude associée à cette correction devient plus importante et les corrections apportées aux concentrations mesurées par les tubes ne sont issues que de l'interpolation de la droite de régression.

Avantage de la méthode :

- La droite de régression utilisée pour la correction des valeurs de tubes est construite à partir de l'ensemble des stations présentes sur la zone d'étude. Ces stations, de par leurs différentes typologies (trafic, urbaine ou périurbaine), permettent donc de prendre en compte une gamme de concentrations plus étendue, représentative des spécificités locales que l'on peut retrouver sur la zone d'étude.

II – RECONSTITUTION DES MOYENNES ANNUELLES

Les séries ont été corrigées sur les périodes été et hiver. Elles sont moyennées sur ces deux périodes été et hiver pour comparaison et validation. Ces données « hiver » et « été » sont rapportées à l'année, après vérification de la représentativité des mesures hiver et été par rapport à l'année sur les stations fixes de mesure.

Méthode globale d'interpolation à l'année :

On extrait les concentrations mesurées par toutes les stations de PACA pour l'année de référence :

- Calcul de la moyenne annuelle pour toutes les stations
- Calcul des moyennes mesurées sur chacune des périodes
- Les stations n'ayant pas de mesures sur toute ou partie de l'une des périodes et les stations ayant été déplacées en cours d'année (risque de point incohérent) ne sont pas utilisées.

Exemple d'extraction :

¹⁰ : Suite à des problèmes de fonctionnement des analyseurs pendant une partie de la campagne, ces valeurs ne sont pas utilisées pour la correction des tubes passifs.

	Concentrations mesurées en dioxyde d'azote sur les stations PACA			
	Moyenne annuelle	Moyenne hiver	Moyenne été	Moyenne des périodes
Marseille Timone	49	48,5	49,4	48,9
Marseille Plombières	82	73,4	85,4	79,4
Marseille Rabatau	51	40	57,6	48,8
Marseille Saint Louis	33	24,7	35,9	30,3
Marseille Cinq Avenues	34	30	ND	ND
Marseille Thiers	36	33,9	ND	ND
Aix Roy René	46	44,4	ND	ND
Aix Art	31	29,2	25,5	27,4
Aix Bouffan	30	ND	20,8	ND
Toulon Chalucet	40	32,4	34,9	33,6
Toulon Arsenal	34	32,5	ND	ND
Toulon Foch	54	83,5	39,4	61,4
Avignon Mairie	21	17,6	18,4	18
Avignon Charles de G	44	45,5	ND	ND
Pontet	25	ND	17,1	ND
Nice Pellois	63	65	56,4	60,7
Cagnes Ladoumègue	25	29,4	17,8	23,6
Aéroport Nice	26	24,2	19,5	21,8
Contes 2	25	29,2	23,6	26,4
Antibes Guynemer	47	50,1	39,8	44,9
Antibes Jean Moulin	35	36,6	24,9	30,7
Cannes Broussailles	31	28	23,6	25,8
Grasse Clavecin	28	28,6	ND	ND

Tableau 8 : concentrations stations

Cette estimation est basée sur la corrélation entre l'ensemble des mesures enregistrées par les stations fixes¹¹ en PACA tout au long de l'année (Y) et la moyenne des valeurs mesurées pendant les deux mois de campagne (X). La droite de régression obtenue permet d'estimer la moyenne annuelle aux points des tubes.

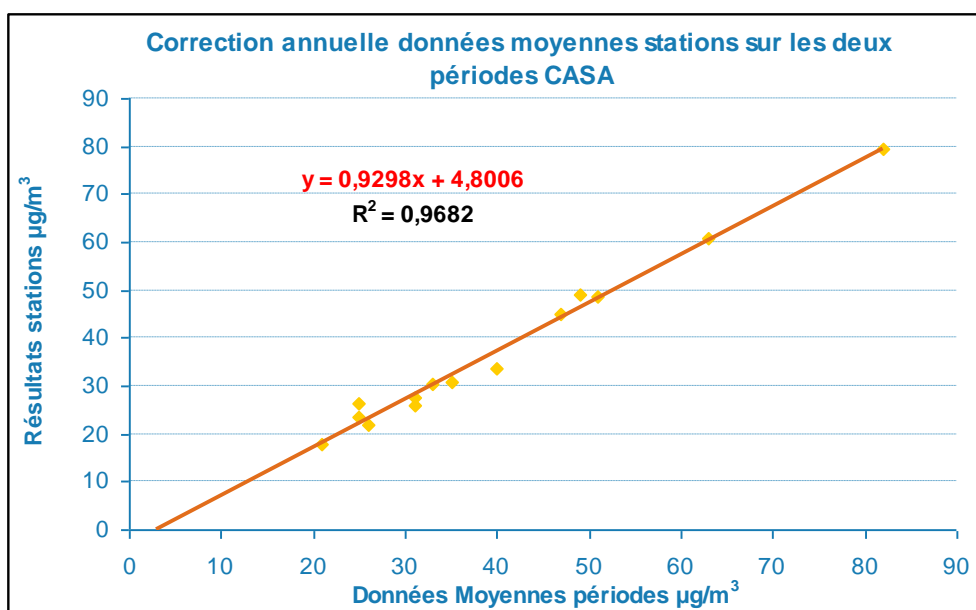


Figure 83 : régression linéaire pour l'estimation annuelle à partir d'une moyenne « été-hiver »

Une fois la régression linéaire définie et validée, il suffit d'appliquer l'équation obtenue à la moyenne été et hiver des concentrations mesurées sur chaque site, afin de calculer l'estimation moyenne annuelle de chaque site.

Exemple pour le NO₂ :

$$\text{Estimation annuelle (site1)} = 0.9298 * (\text{Moyenne de été \& hiver site 1}) + 4.8006$$

III - CAS PARTICULIER EN RAISON DE DONNEES MANQUANTES SUR UNE DES SERIES

Dans le cadre d'une étude se déroulant sur une seule période (été ou hiver), ou dans le cas d'une mesure manquante ou ajoutée sur une des périodes, la méthode d'estimation suivante peut être appliquée :

¹¹ : pour la correction des tubes BTX, les concentrations sont mesurées par tubes passifs toute l'année en plusieurs endroits.

Exemple à partir des séries de données extraites de l'ensemble des sites sur la CASA :

L'estimation se réalise de façon similaire en constituant une régression linéaire entre la concentration moyenne sur la première série de tous les sites et la concentration moyenne sur la seconde série de tous les sites :

- Y : la première série
- X : la seconde série

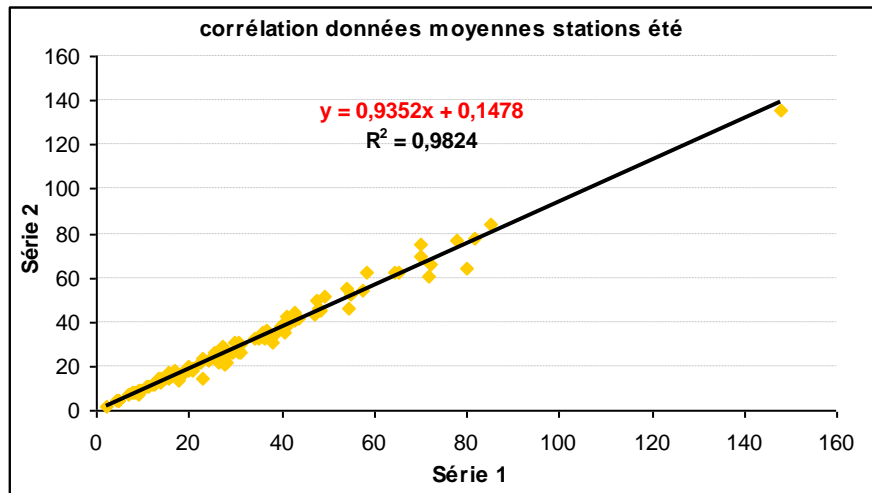


Figure 84 : régression linéaire pour l'estimation d'une période à partir d'une seule série « été » ou « hiver »

Une fois la régression linéaire définie et validée, il suffit d'appliquer l'équation obtenue à la première série des concentrations mesurées sur un site pour calculer l'estimation moyenne de la seconde série du site. Exemple :

$$\text{Estimation annuelle (série 1)} = 0.9352 * (\text{série 2}) + 0.1478$$

Ces méthodes s'appliquent à la reconstitution de données à partir de mesures issues d'échantillonneurs passifs.

Concernant le dioxyde d'azote, les données « brutes » des tubes sont corrigées une première fois par rapport aux analyseurs permanents, puis une deuxième fois : ces deux jeux de données saisonnières sont rapportés à l'année.

Pour le benzène, toluène et xylènes, uniquement la deuxième correction est appliquée. Effectivement, Atmo PACA dispose de mesures par quinzaines sur toute l'année sur l'ensemble des stations fixes du réseau pour ces polluants, mais pas d'analyseur automatique mesurant le benzène.

11.6. ANNEXE 6 : 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.

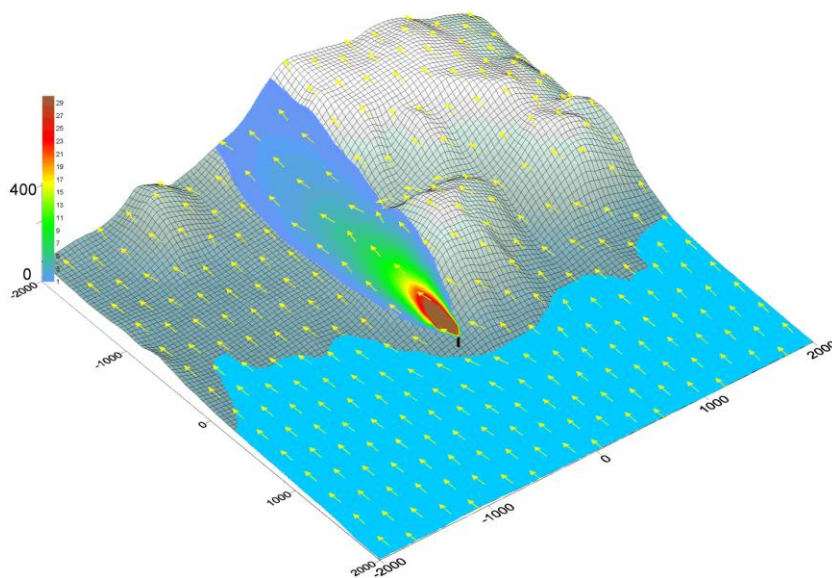
FLOWSTAR est utilisé dans le modèle ADMS développé par le CERC, pour calculer les trajectoires des panaches et la dispersion atmosphérique sur les terrains complexes. Mais ses applications sont plus larges, et concernent le calcul des champs de vent en général : potentiel éolien,...

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 Jackson¹ 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 (Carruthers² 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.



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

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

11.7. ANNEXE 7: 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 :

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

où u_* est la vitesse de frottement à la surface de la Terre, κ 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, ρ 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 L_{MO} 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 9).

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 9 : 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.

11.8. ANNEXE 8 : 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 les plus utilisés lors de comparaisons modèle / mesures sur des études urbaines.

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

Il est intéressant lorsque l'on compare deux jeux de données de pouvoir estimer ces différents types d'erreur.

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

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

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 négative 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 positive 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

▪ 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

- **Coefficient de corrélation linéaire R (corrélacion de Spearman)**

$$\rho = \frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x}) \cdot (q_i - \bar{q})}{\sqrt{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2 \times \sum_{i=1}^N (q_i - \bar{q})^2}}$$

Signification : Ce paramètre permet de qualifier l'intensité de la liaison linéaire existante entre observation et valeur modélisée.

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 : ρ est toujours compris entre -1 et 1. Si la valeur absolue de ρ 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 ρ 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 ρ est positif, décroissante si ρ 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 ρ donne alors le comportement relatif global des données modélisées et observées : si ρ est positif, les valeurs modélisées tendent à croître lorsque les valeurs observées croissent. L'inverse se produit lorsque ρ est négatif.

Type d'erreur : locale