

INFORMATION ET AIDE A LA DECISION POUR LA QUALITE DE L'AIR SUR LA COMMUNAUTE DU PAYS D'AIX

MESURES - EMISSIONS - MODELISATION - SCENARIOS



NUMTECH

Date de publication : Septembre 2011
Numéro de projet : 06BDR011

SIÈGE SOCIAL
Le Noilly Paradis
146 rue Paradis – 13 006 Marseille
Tél. : 04 91 32 38 00

ÉTABLISSEMENT DE NICE
333, Promenade des Anglais
06200 Nice
Tél. : 04 93 18 88 00

SOMMAIRE

RESUME.....	5
1. CONTEXTE.....	7
2. EMISSIONS POLLUANTES ET CAMPAGNES DE MESURES.....	8
2.1. OBJECTIFS ET METHODOLOGIE.....	8
2.1.1. CARACTERISATION DU TERRITOIRE DE LA CPA.....	9
2.1.2. STRATEGIE D'ECHANTILLONNAGE.....	18
2.1.3. PARAMETRES MESURES ET TYPOLOGIE DES SITES.....	27
2.2. RESULTATS EN AIR EXTERIEUR - DISCUSSION.....	28
2.2.1. DIOXYDE D'AZOTE (NO ₂).....	28
2.2.2. BENZENE (C ₆ H ₆), TOLUENE ET XYLENES.....	37
2.2.3. ALDEHYDES.....	43
2.3. RESULTATS EN AIR INTERIEUR - DISCUSSION -.....	47
2.3.1. CONTEXTE.....	47
2.3.2. REFERENCES.....	48
2.3.3. RESULTATS.....	49
2.3.4. RESUME.....	56
2.4. CONCLUSIONS.....	57
3. MODELISATION.....	59
3.1. CONTEXTE ET OBJECTIFS.....	59
3.2. MODELE ET METHODOLOGIE.....	60
3.2.1. LE MODELE ADMS-URBAN.....	60
3.2.2. LES PHENOMENES ATMOSPHERIQUES PRIS EN COMPTE.....	62
3.2.3. LA MODELISATION DE LA CPA.....	63
3.2.4. LES SOURCES D'EMISSION.....	70
3.2.5. L'EVALUATION DE LA CHAINE DE CALCUL.....	77
3.2.6. LES PROCEDURES DE CALAGE DE LA CHAINE DE CALCUL.....	77
3.3. RESULTATS.....	83
3.3.1. DOMAINE D'AIX.....	83
3.3.2. DOMAINE CPA.....	113
3.3.3. SYNTHESE DES RESULTATS.....	129
3.4. CONCLUSION ET PERSPECTIVES.....	133
4. SYNTHSE.....	134
5. TABLES DES ILLUSTRATIONS ET DES TABLEAUX.....	137
5.1. TABLE DES TABLEAUX.....	137
5.2. TABLE DES ILLUSTRATIONS.....	137
5.3. REFERENCES.....	140
6. ANNEXES.....	143
6.1. ANNEXE 1 : DECRET DU 15 FEVRIER 2002.....	143
6.2. ANNEXE 2 : TYPOLOGIE ET DESCRIPTION DES EQUIPEMENTS DES SITES.....	146

6.3. ANNEXE 3 : CONCENTRATIONS 2007 EN DIOXYDE D'AZOTE, PAR COMMUNES.....	149
6.4. ANNEXE 5 : EVALUATION DES NIVEAUX D'ALDEHYDES	154
6.5. ANNEXE 6 : METHODE DE RECONSTITUTION DES DONNEES DES CAMPAGNES	155
6.6. ANNEXE 7: PRESENTATION DU MODULE FLOWSTAR	158
6.7. ANNEXE 8 : DESCRIPTION DES ACTIVITES DEFINIES PAR ATMO PACA DANS L'INVENTAIRE DES EMISSIONS.....	159

RESUME

L'évaluation de la qualité de l'air sur la Communauté du Pays d'Aix s'inscrit dans le programme « Information et Aide à la Décision sur les Territoires » proposé par la Région PACA. Ce projet est co-financé et réalisé en partenariat entre la Communauté du Pays d'Aix (CPA), la Région Provence-Alpes-Côte-d'Azur (PACA) et Atmo PACA, depuis 2007.

Le premier volet du projet est consacré au calcul du **cadastre d'émissions** sur le domaine, et à la réalisation d'une vaste campagne de **mesures** (plus de 200 points échantillonnés).

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 CPA. Les mesures apportent les points de calage indispensables pour la modélisation. L'échantillonnage a été réalisé en collaboration et en concertation entre la CPA (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 CPA constitue le second volet du projet. Le modèle déterministe de dispersion atmosphérique utilisé est ADMS-Urban. Il utilise de nombreuses données d'entrée : données d'émissions, mesures de la qualité de l'air, données météorologiques, ... Il simule les mécanismes chimiques et la dispersion des polluants permettant d'aboutir à des cartographies spatialisées.

Le modèle a permis de simuler les concentrations moyennes annuelles en dioxyde d'azote (NO₂), en benzène (C₆H₆) et en poussières (PM₁₀) sur une année de référence (2007) et à deux échelles spatiales de restitution : la commune d'Aix-en-Provence et la Communauté d'agglomération du Pays d'Aix.

Des mesures issues de plusieurs campagnes réalisées par Atmo PACA ont permis d'évaluer les performances de la chaîne de modélisation mise en œuvre, et de caler le modèle par rapport aux mesures en ajustant certains paramètres.

Les cartographies de concentrations moyennes annuelles en NO₂, benzène et PM₁₀ réalisées sur les 2 domaines d'étude ont permis de donner des informations importantes sur la distribution des niveaux de pollution atmosphérique à l'échelle de l'agglomération. Les concentrations moyennes annuelles les plus élevées se retrouvent à proximité directe des grands axes de circulation (autoroutes, contournements, grands boulevards urbains). Les calculs montrent également des niveaux de pollution significatifs dans les centres urbains (Aix en Provence notamment), alors que les concentrations tendent vers un niveau de fond en périphérie des zones urbaines, à l'exception de quelques points de pollution locale à proximité de sources industrielles.

Une plateforme de modélisation couvre désormais le territoire de la CPA. A partir de celle-ci des scénarii d'aide à la décision seront effectués afin d'évaluer l'incidence de projets d'aménagement et d'actions sur la qualité de l'air.

Mots-clef :

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

Auteurs : Patricia Lozano, Alexandre Armengaud, Gaëlle Luneau

Relacteur : Carole Gènevé

1. CONTEXTE



Le projet «services et aide à la décision sur la qualité de l'air dans les territoires de pays et les agglomérations» est réalisé en partenariat entre la Communauté du Pays d'Aix (CPA) et Atmo PACA.

Il bénéficie du soutien financier de la Région PACA.

La première phase du projet porte sur l'inventaire des émissions de polluants sur la CPA et la mesure de la qualité de l'air en 2007.

La seconde phase concerne la modélisation du territoire de la CPA et la réalisation de scénarios pour la réduction des émissions.

Deux **campagnes de mesures** ont été menées en 2007, l'une en été, l'autre en hiver. Les teneurs évaluées sont comparées aux normes réglementaires. Chacune des 34 communes de la CPA a été équipée minima d'un point de mesure en dioxyde d'azote et en benzène, polluants indicateurs du trafic automobile. Les 200 sites sur la CPA sont représentatifs des différents environnements rencontrés : trafic, urbain dense, périurbain, rural...

L'**inventaire des émissions sur la CPA** est une estimation des flux de polluants émis dans l'atmosphère pour divers types de sources (anthropiques et naturelles). Ils sont exprimés en masses de composés émis par unité de temps. Les émissions calculées sont ensuite redistribuées spatialement à l'échelle du kilomètre.

Plus de 30 polluants rejetés sur la CPA ont été étudiés. Les émissions de la CPA représentent 10 à 25 % des émissions des Bouches-du-Rhône selon les polluants considérés. Les émissions d'oxydes d'azote, de monoxyde de carbone et de particules sont issues majoritairement des transports routiers. Le dioxyde de soufre et le dioxyde de carbone proviennent essentiellement du secteur de la production et distribution d'énergie. Enfin, le secteur agriculture/sylviculture/nature constitue la principale source de composés organiques volatils non méthaniques.

La connaissance de ces paramètres : émissions, mesures, météorologie, topographie, ... a permis la mise en place d'une **plate-forme de modélisation sur le domaine de la CPA**, et à plus fine échelle sur Aix en Provence.

Les collectivités de la CPA et Atmo PACA ont alors défini puis calculé **des scénarios (portant sur l'aménagement du territoire, les transports, l'énergie, ...)**, afin que l'impact sur la qualité de l'air et l'information sur les efforts à fournir pour respecter les normes de qualité de l'air ou pour réduire les émissions de gaz à effet de serre puissent être présentés aux décideurs.

Extrait de la Lettre d'information trimestrielle N° 5 : Rencontre avec un partenaire

Votre collectivité a souhaité être partenaire du projet, pouvez-vous nous indiquer ses motivations ?

Monsieur Guy BARRET, Maire de Coudoux, Vice-président de la Communauté du Pays d'Aix (CPA) :

"Le territoire de la CPA est l'un des plus touchés en Europe par la pollution à l'ozone. Nous avons un contexte géographique complexe avec la proximité du pôle industriel de l'Etang de Berre et le fort trafic routier. Il n'est pas simple de définir les actions les plus efficaces à mener pour diminuer cette pollution, ou même s'en prémunir. Ce projet nous donne aujourd'hui une vision claire de la situation en matière de pollution de l'air et va ainsi nous permettre d'agir sur les sources pour en faire baisser les niveaux." *Comment intégrez-vous ce projet ?* : "La Charte pour l'environnement de la CPA a inscrit des actions pour la qualité de l'air, mais il nous manquait les outils pour nous aider à faire les meilleurs choix notamment en matière d'aménagement du territoire."

En effet, l'une des futures étapes est d'élaborer des scénarios en lien avec des projets propres à la collectivité, quelles thématiques voulez-vous étudier ?

G. BARRET : "Maintenant que nous connaissons la part de pollution générée par le trafic sur la CPA, nous pouvons envisager des scénarios à "grande échelle" afin de connaître les actions les plus efficaces pour réduire cette pollution (réduction de vitesse, du trafic, etc...). Nous souhaitons également réaliser des scénarios à une échelle plus locale, comme modéliser l'impact du futur pôle d'échange transport routier d'Aix-en-Provence."

2. EMISSIONS POLLUANTES ET CAMPAGNES DE MESURES

2.1. OBJECTIFS ET METHODOLOGIE

La phase préalable à la modélisation est la caractérisation du territoire en termes d'émissions polluantes et de mesures de qualité de l'air. Les différentes étapes de cette phase ont été définies en concertation avec la CPA, et ses communes :

- **Caractérisation du territoire et cartographie de la pollution atmosphérique**

Cette évaluation de la pollution est réalisée en adéquation avec le projet de cartographie du bruit de la CPA. Les deux campagnes ont été réalisées en juin et en octobre 2007 aboutissant à la **cartographie de la pollution atmosphérique du territoire de la CPA**, présentée dans ce rapport.

- **Inventaire d'émissions optimisé**

Une résolution kilométrique est adoptée pour l'inventaire des émissions sur le territoire de la CPA. Les travaux de modélisation sur les zones denses en population seront affinés pour fournir une cartographie la plus fine possible de la pollution de fond et de l'exposition de la population.

- **Elaboration de scénarii d'évolution de polluants et modélisation de la pollution urbaine**

Des scénarii de **réduction des émissions** avec une **évaluation de leur impact sur la qualité de l'air** doivent être définis avec les collectivités concernées (en 2008) et pourront porter sur des questions variées (aménagement, énergie, transports). La définition préalable de scénario est indispensable pour prévoir un échantillonnage adapté.

Les efforts à faire (*scenarii* de réduction) pour respecter les normes de qualité de l'air à l'échéance de 2010 seront quantifiés tout comme l'impact de nouveaux aménagements sur l'effet de serre ou sur le respect des seuils de protection de la santé.

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 CPA.

Pour les *scenarii*, différentes échelles d'études peuvent être retenues :

- **La CPA** : part de la Communauté du Pays d'Aix sur l'évolution des épisodes de pollution par l'ozone et sa contribution globale à l'effet de serre.

- Les **communes** appartenant à la CPA : pour cette phase, les communes de la CPA doivent faire part de questions spécifiques liées à l'énergie, les transports ou encore l'habitat.

- Plus **localement** avec l'étude de projets d'aménagement : l'échelle locale permet de s'intéresser à des projets particuliers notamment avec la direction des transports ou de l'urbanisme de la CPA. L'action majeure pourrait être l'évaluation des mesures relatives au Plan de Déplacement Urbain.

- **Une information adaptée aux échanges techniques et à l'aide à la décision**

Atmo PACA envisage de développer des **outils d'aide à la décision** simples, facilement accessibles (via Internet ou Intranet) pour, sur des « cas types », évaluer par exemple : l'impact des vitesses de circulation sur les émissions de polluants atmosphériques (bilan), l'impact des consommations d'énergie de logements types ou encore l'impact de certaines activités sur les émissions des gaz.

Les résultats des campagnes de mesures et le cadastre des émissions, détaillé sur la CPA, seront complétés par les cartographies spatialisées de la qualité de l'air, la mise en œuvre fonctionnelle et journalière de la modélisation avec prévision à J+2 et le calcul de *scenarii*.

La partie « campagne de mesures » est primordiale pour la connaissance et l'évaluation de la qualité de l'air sur l'ensemble des communes de la CPA et apporte les points de calage indispensables pour la modélisation. L'échantillonnage a été réalisé en étroite collaboration entre la CPA (en lien avec les questions des communes) et les modélisateurs.

Ce chapitre « émissions polluantes et campagnes de mesure » caractérise la qualité de l'air sur l'ensemble du territoire de la CPA en regard des normes, puis propose une analyse de chaque commune.

2.1.1. CARACTERISATION DU TERRITOIRE DE LA CPA

2.1.1.1. DESCRIPTION DU TERRITOIRE DE LA CPA

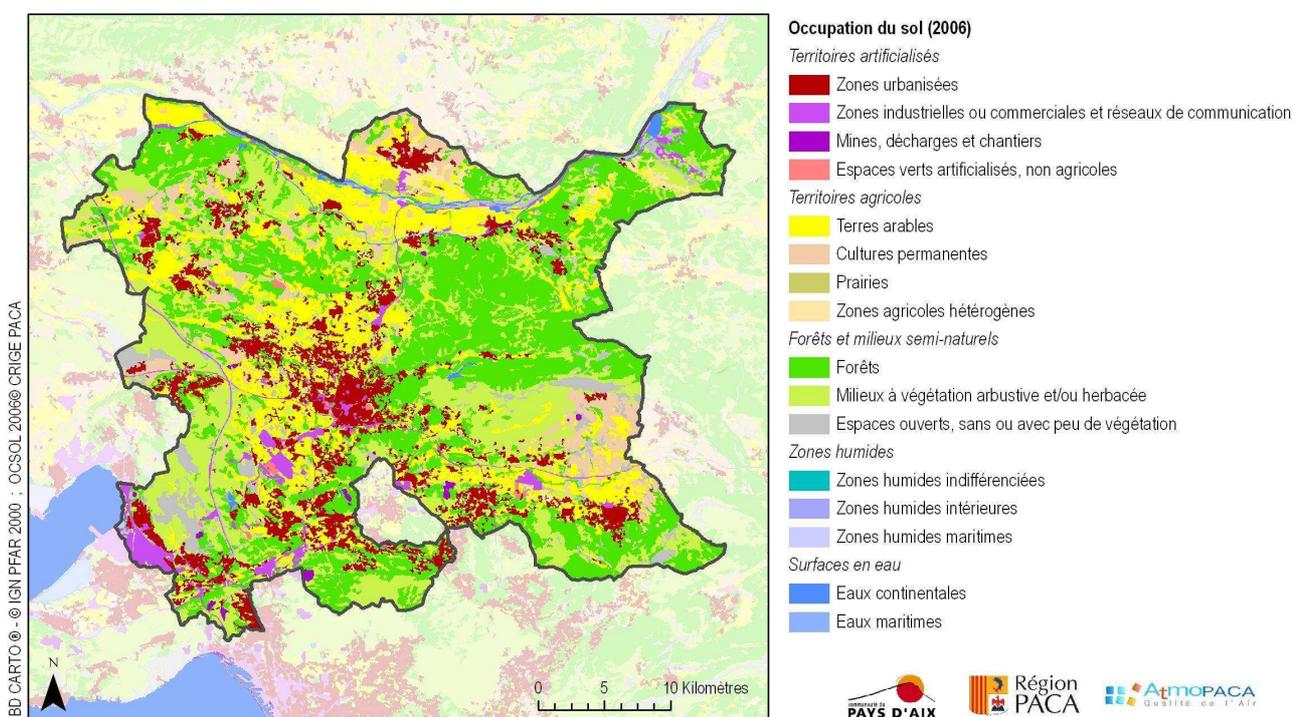
Le département des Bouches-du-Rhône est le plus touché de la région PACA par la pollution de l'air.

L'importance des zones urbanisées (agglomération d'Aix-Marseille, deuxième agglomération de France en terme de population), les réseaux routiers et autoroutiers denses et les nombreuses industries qui parsèment le territoire en font une des zones de France parmi les plus importantes en émissions de polluants atmosphériques.

La zone industrielle de Fos-Berre qui jouxte, à l'ouest, le territoire surveillé par Atmo PACA, est émettrice de polluants qui se déplacent sur l'est des Bouches du Rhône et tout particulièrement sur la CPA.

L'est des Bouches-du-Rhône et le sud du Vaucluse (Pertuis) sont également des zones sensibles, avec une population importante et des espaces naturels remarquables (Sainte Victoire, Luberon).

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



2.1.1.2. LES EMISSIONS SUR LE TERRITOIRE DE LA CPA

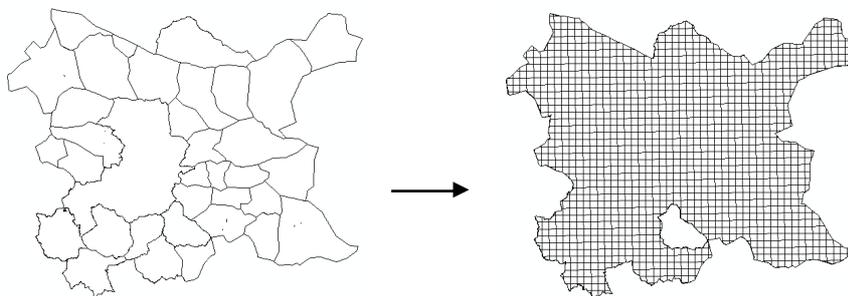
METHODOLOGIE

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 météorologiques 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 porte sur 35 polluants (une centaine de composés est obtenue après spéciations). Dans ce rapport, les résultats de 6 polluants principaux sont présentés (les informations sur les autres composés sont disponibles auprès d'Atmo PACA).

LES 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 2004. Sur le territoire de la CPA, 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.), l'industrie et l'énergie. Les données primaires sont très variées (statistiques socio-économiques de l'INSEE, statistiques industrielles du SESSI, bilans énergétiques régionaux de l'ORE, etc). Les principaux sites industriels fortement émetteurs sont considérés au cas par cas, ce sont les **Grandes Sources Ponctuelles (GSP)**. Leur localisation est précise (cheminée ou autre type de rejet) et les émissions proviennent des déclarations annuelles des exploitants.
- Les **sources mobiles** concernent l'ensemble des sources dites « linéaires », c'est-à-dire le long des axes. Il s'agit des transports routiers mais aussi ferroviaires et aériens (les transports fluviaux et maritimes ne concernent pas la CPA). Les transports ont pu être affinés suite à l'acquisition de données spécifiques à la CPA :
 - Les activités de trafic aérien sur l'aérodrome d'Aix-les-Milles ont été prises en compte dans l'inventaire (données fournies par la DAC du Sud-est).
 - Les données sur le trafic routier ont bénéficié d'une amélioration conséquente grâce aux services de la CPA (base de données Trafic réalisée dans le cadre de la Cartographie du Bruit par Siriatech, informations sur les réseaux de transports en communs). Ces données récentes ont conduit à un calcul des émissions du trafic routier pour l'année de référence 2006 sur le territoire de la CPA.
- 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.

BILAN D'EMISSIONS ET ANALYSES SECTORIELLES

Tableau 1 : Emissions annuelles sur la CPA

	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	778	522	24 872	19	7 017	62	38	28
Production et distribution d'énergie	7 473	3 638	3 543 258	11 130	179	148	147	87
Industrie et traitement des déchets	1 293	193	639 207	391	950	288	123	27
Résidentiel et tertiaire	445	3 078	530 380	199	761	49	42	38
Transports non routiers	205	420	34 735	11	20	21	13	9
Transports routiers	7 483	12 423	1 307 559	252	1 941	953	665	510
TOTAL CPA	17 677	20 275	6 080 010	12 000	10 867	1 521	1 028	699
Bouches-du-Rhône	66 214	313 145	32 235 728	71 817	53 360	14 922	5 394	3 818
PACA	147 599	546 651	49 727 074	90 380	225 060	26 280	12 919	9 123
%CPA / Bouches-du-Rhône	27%	6%	19%	17%	20%	10%	19%	18%
%CPA / PACA	12%	4%	12%	13%	5%	6%	8%	8%

La Communauté du Pays d'Aix contribue aux émissions des Bouches-du-Rhône à hauteur de 6 à 27 % selon les polluants. Le département des Bouches-du-Rhône étant le principal département émetteur en PACA, il est donc logique de retrouver une part non négligeable de l'ensemble des émissions de la CPA dans le bilan régional (de 4 à 13 % selon les polluants)¹.

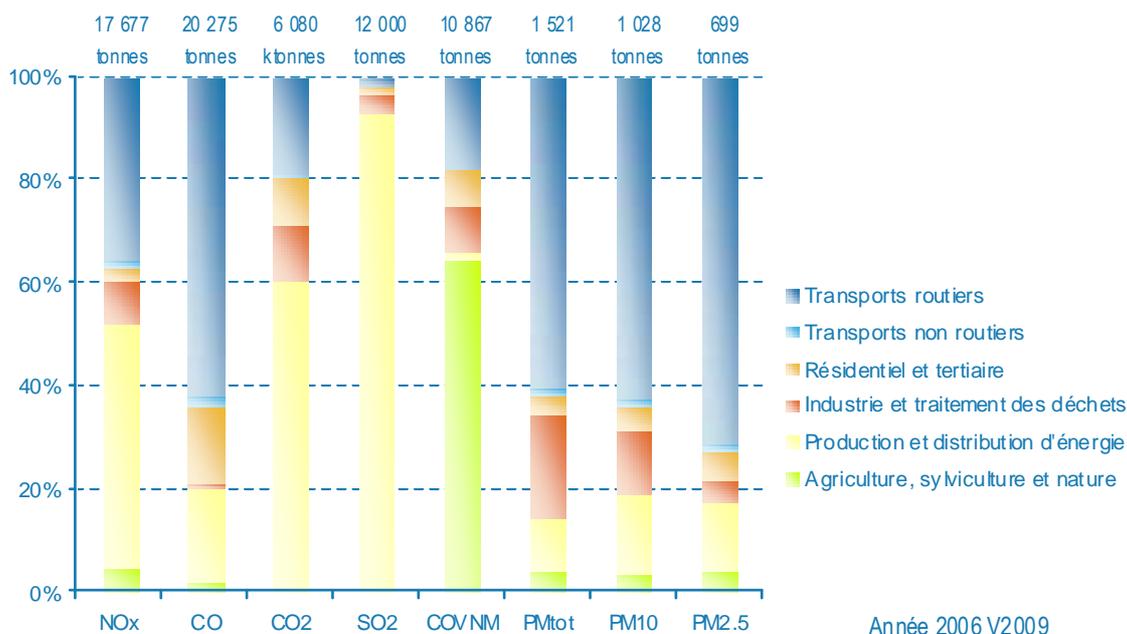


Figure 2 : Part de chaque secteur d'activité dans les émissions de la CPA

La Figure 2 synthétise la part respective de chaque secteur d'activité dans les émissions des polluants principaux. Elle indique le poids prépondérant des transports routiers dans les émissions de NO_x, CO et particules (ces dernières sont d'autant plus issues des transports routiers qu'elles sont petites : 70 % des particules de diamètre inférieur à 2,5 µm ont comme origine les transports routiers). Le territoire de la CPA est traversé par plusieurs axes importants où le trafic est dense (autoroutes A7, A8, A51 et A 52, RD9...).

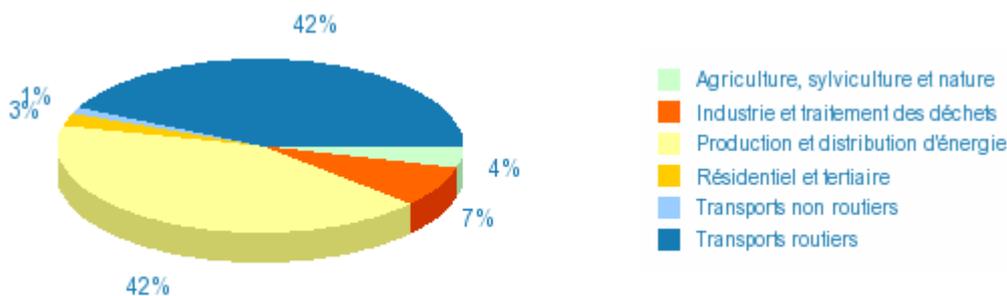
Les émissions de SO₂ et CO₂ sont principalement issues du secteur de la production et distribution d'énergie et dans une moindre mesure des activités industrielles. Plusieurs sites industriels importants sont implantés sur le territoire de la CPA : il s'agit essentiellement de la centrale thermique de Meyreuil, une cimenterie située sur la commune de Bouc-Bel-Air ainsi que plusieurs autres sites appartenant à la zone industrielle de Rousset.

¹ La comparaison des émissions de la CPA à celles des Bouches-du-Rhône et de la région est indicative : la référence temporelle n'est pas la même pour le calcul des émissions sur la CPA (2006) et sur la région PACA (2004). Pour les besoins de l'étude, le calcul des émissions sur la CPA a été affiné par rapport à l'inventaire régional 2004 (les trafics routiers de la CPA datent de 2006).

Les Composés Organiques Volatils Non Méthaniques (COVNM) sont majoritairement émis par le secteur agriculture/ sylviculture / nature. Les secteurs du résidentiel / tertiaire et de l'industrie émettent moins de 20 % de chaque polluant. Enfin, les transports non routiers (transport ferroviaire et aérien) ne participent que faiblement à ces émissions.

ÉMISSIONS D'OXYDES D'AZOTE

Sur le territoire de la CPA, les oxydes d'azote sont majoritairement émis par la centrale thermique de Meyreuil. Les transports routiers constituent la deuxième source d'émissions, ils sont responsables de 42 % des rejets de NO_x. Les autres secteurs d'activités ont des contributions respectives plus faibles (inférieures à 10 %).



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

Figure 3 : Analyse sectorielle des émissions de NO_x

La représentation spatiale du cadastre des émissions d'oxydes d'azote illustre cette analyse sectorielle. Les quantités les plus importantes se situent dans les mailles situées au niveau de la centrale thermique sur la commune de Meyreuil ainsi que dans les mailles localisées le long des axes routiers les plus importants.

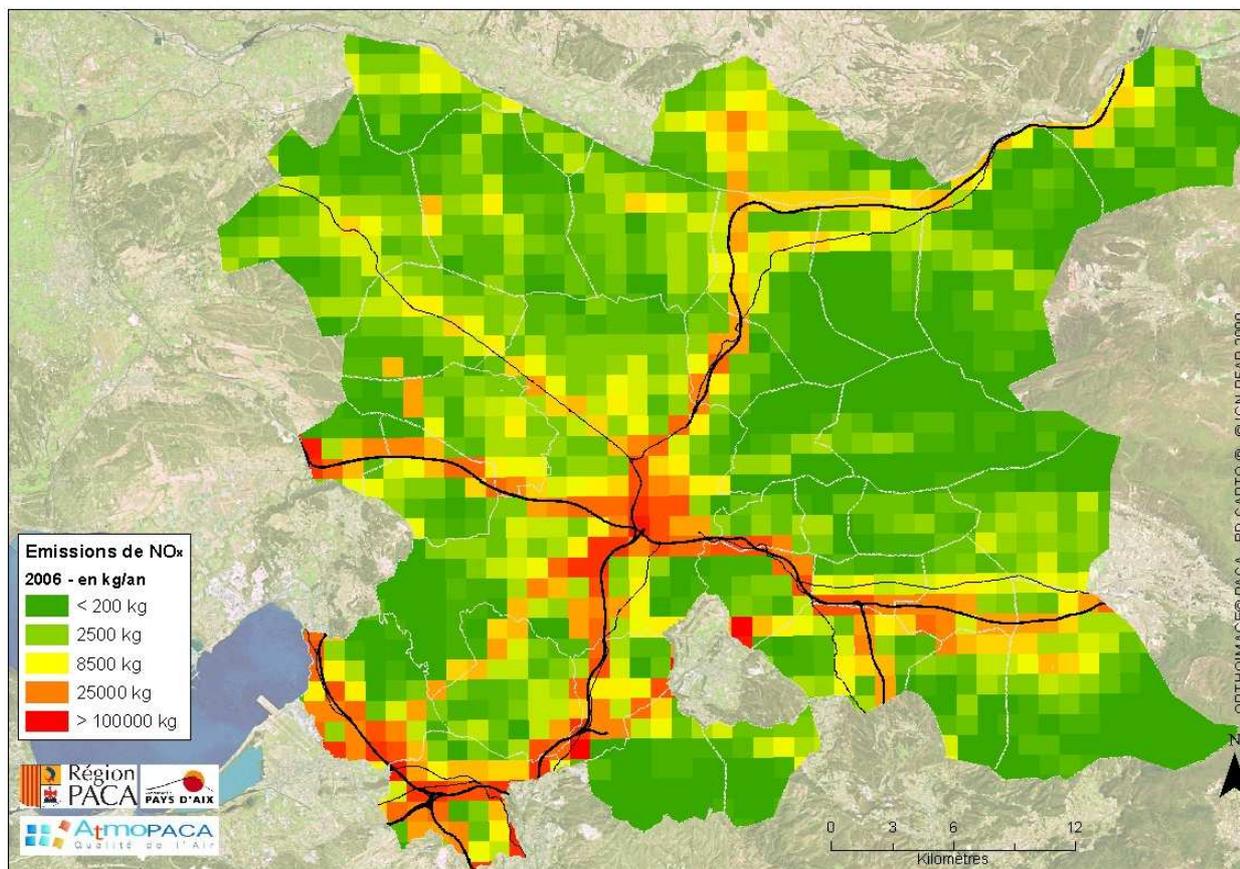
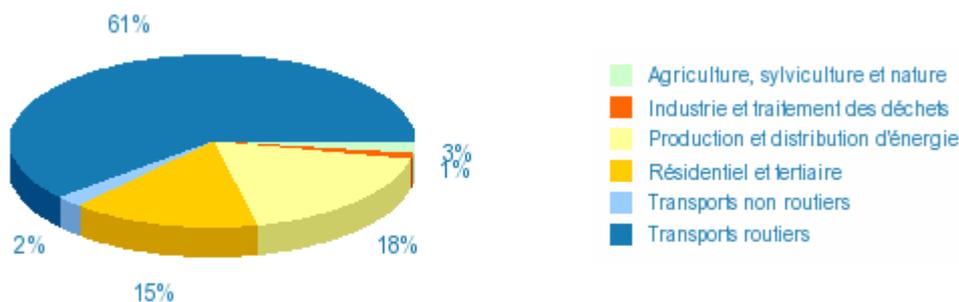


Figure 4 : Cadastre des émissions de NO_x sur la CPA

EMISSIONS DE CO

Le monoxyde de carbone est issu des procédés de combustion. Il est essentiellement émis par les transports routiers (plus de 60 %). Les secteurs de la production d'énergie et du résidentiel / tertiaire participent chacun à environ 15 % des émissions de CO.



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

Figure 5 : Analyse sectorielle des émissions de CO

Les émissions de CO sont plus importantes le long des axes routiers et au niveau des centres urbains. La centrale thermique de Meyreuil est un important émetteur de CO.

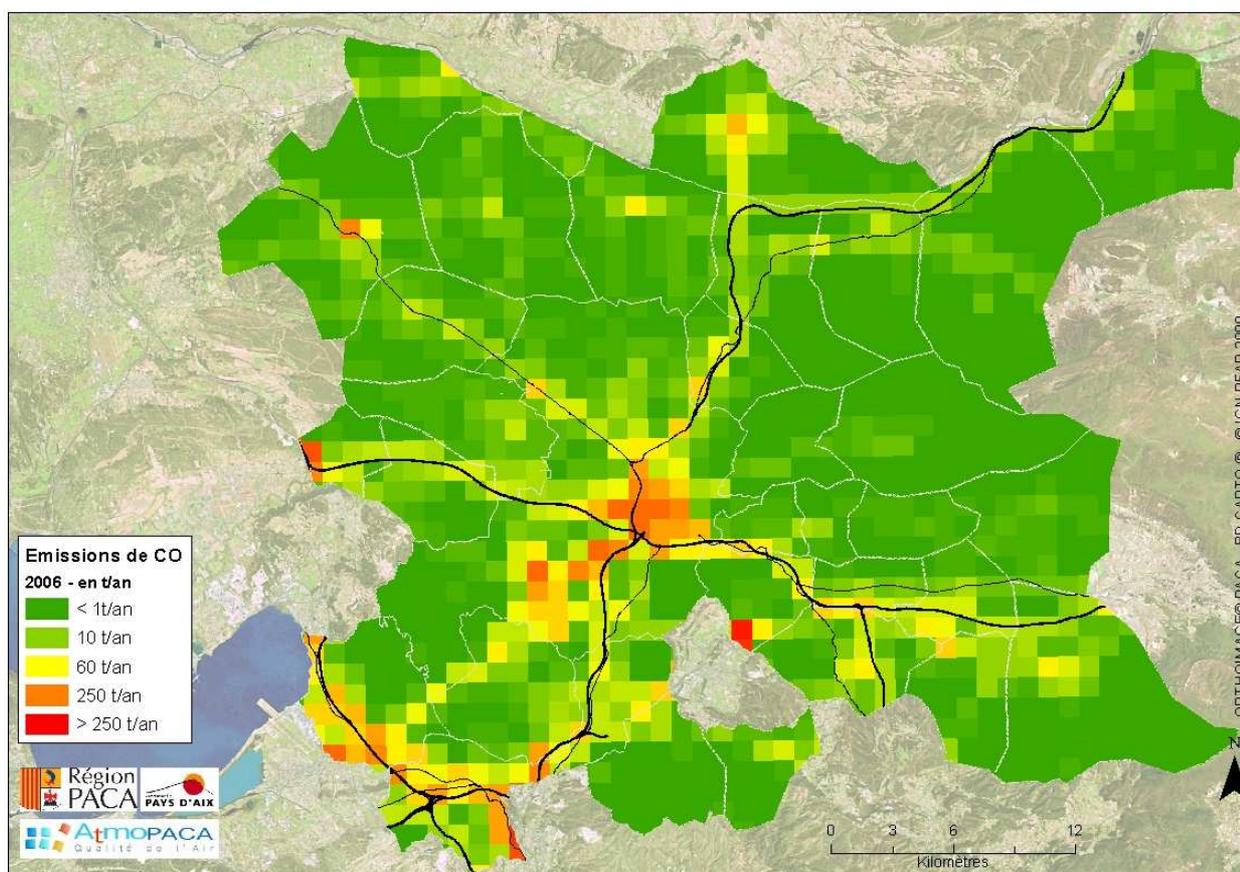
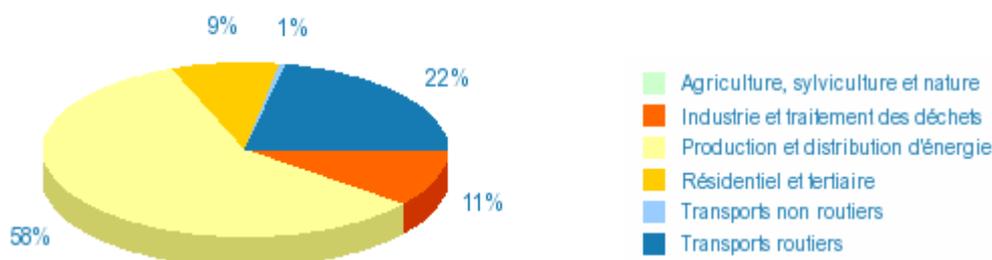


Figure 6 : Cadastre des émissions de CO sur la CPA

EMISSIONS DE CO₂

Le dioxyde de carbone est issu en grande partie du secteur de la production et de la distribution d'énergie (environ 60 % des émissions de la CPA). Les autres secteurs d'activités ont des parts plus faibles : les transports contribuent aux émissions de CO₂ à hauteur de 23 % (dont 22 % concernent les transports routiers uniquement). Les activités industrielles et le secteur résidentiel / tertiaire émettent chacun 11 % et 9 % des rejets de CO₂.



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

Figure 7 : Analyse sectorielle des émissions de CO₂

La cartographie du cadastre des émissions de CO₂ met en valeur les mailles correspondant à la source ponctuelle située à Meyreuil et les axes routiers principaux, d'une manière similaire à la distribution spatiale des oxydes d'azote.

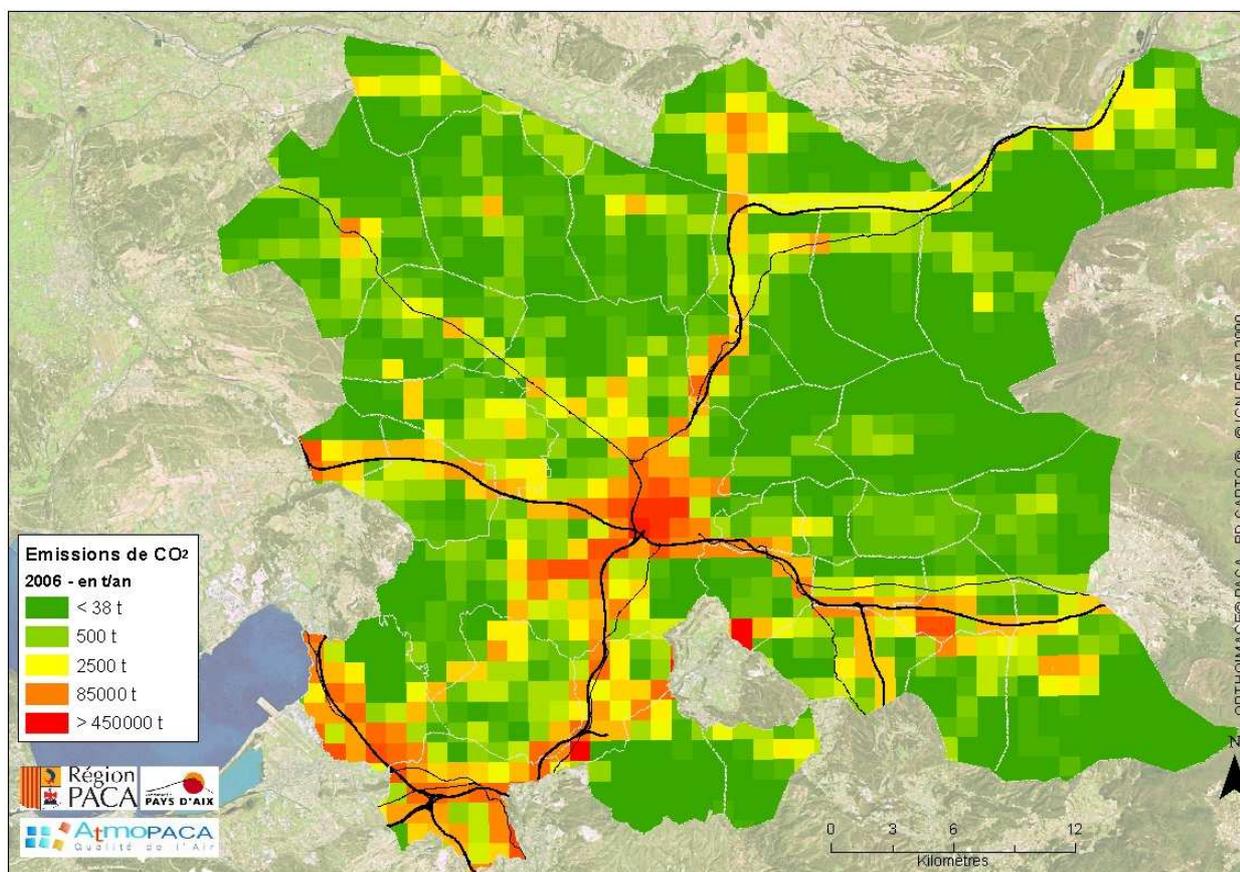
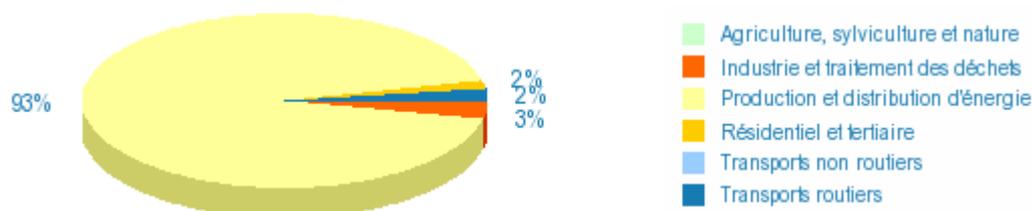


Figure 8 : Cadastre des émissions de CO₂ sur la CPA

EMISSIONS DE SO₂

Les émissions de dioxyde de soufre proviennent essentiellement de la combustion de matières organiques fossiles contenant du soufre tels que fioul, charbon, etc. Tous les secteurs d'activités sont donc potentiellement émetteurs. A l'échelle de la CPA, la présence de la centrale thermique de Meyreuil influence très nettement la répartition des émissions entre les activités : plus de 90 % du SO₂ sont issus de l'activité de production et distribution d'énergie.



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

Figure 9 : Analyse sectorielle des émissions de SO₂

La représentation spatiale des émissions de dioxyde de soufre confirme cette répartition sectorielle spécifique : les sources ponctuelles apparaissent très nettement comme les principaux émetteurs de SO₂ à l'échelle de la CPA.

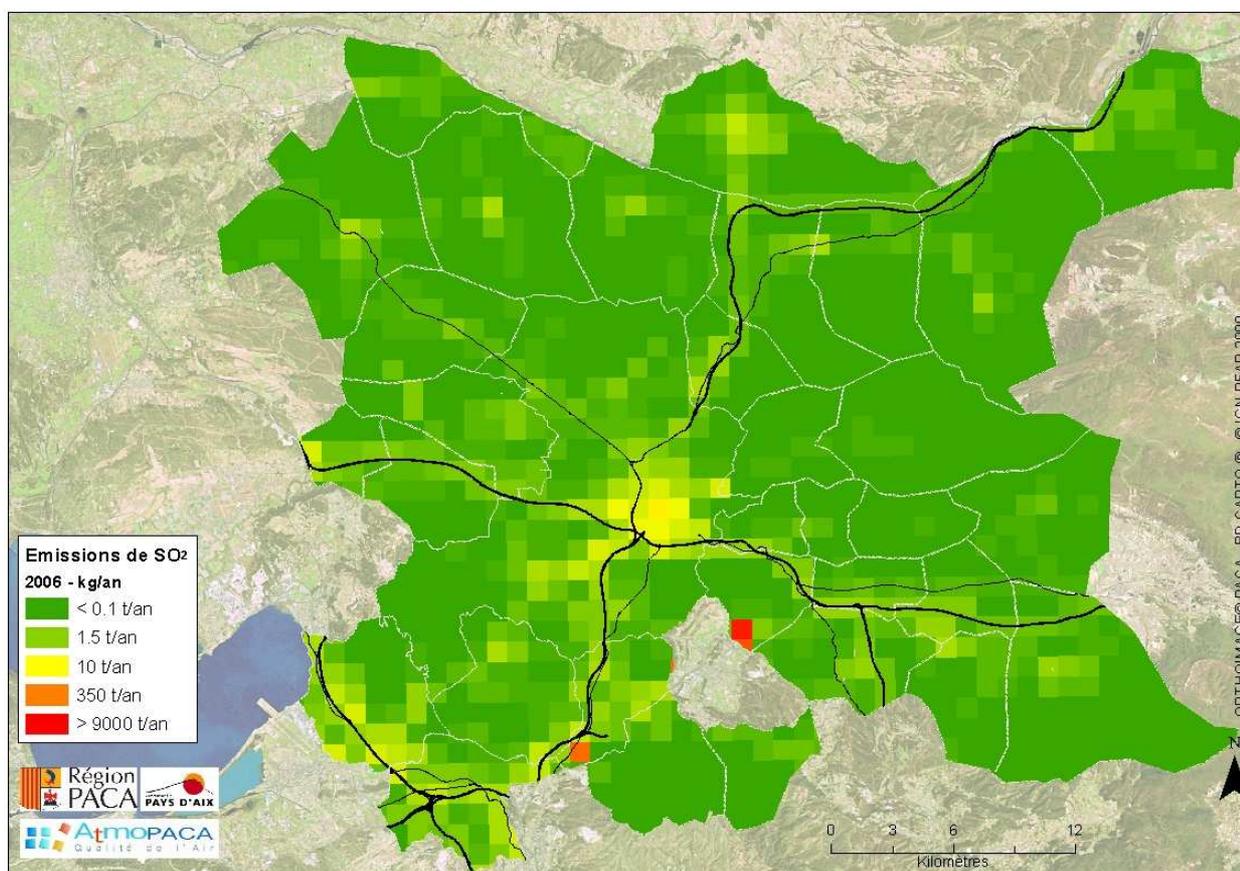


Figure 10 : Cadastre des émissions de SO₂ sur la CPA

EMISSIONS DE PARTICULES

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. Dans la nouvelle méthodologie de calcul utilisée pour cet inventaire, 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 12 % des émissions des PM₁₀. A l'inverse des transports routiers, cette part diminue avec la diminution de taille des particules (4 % pour les PM_{2,5}).

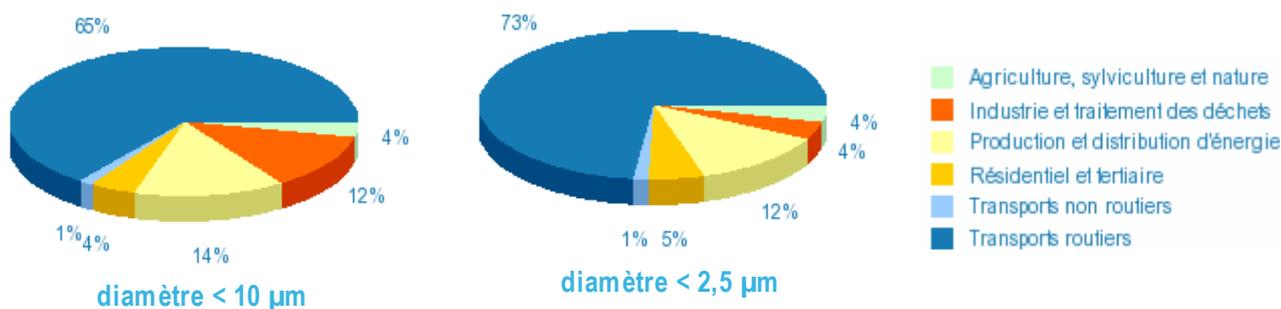


Figure 11 : Analyse sectorielle des émissions de PM10 et de PM2.5

La répartition spatiale des PM₁₀ sur le territoire de la CPA confirme l'analyse sectorielle : les émissions le long des axes routiers sont mises en valeur. D'autres mailles sont concernées par de fortes émissions : il s'agit de l'implantation des grandes sources ponctuelles présentes sur la CPA (secteur de la production / distribution d'énergie, industrie) ainsi que d'autres activités telles que l'exploitation des carrières.

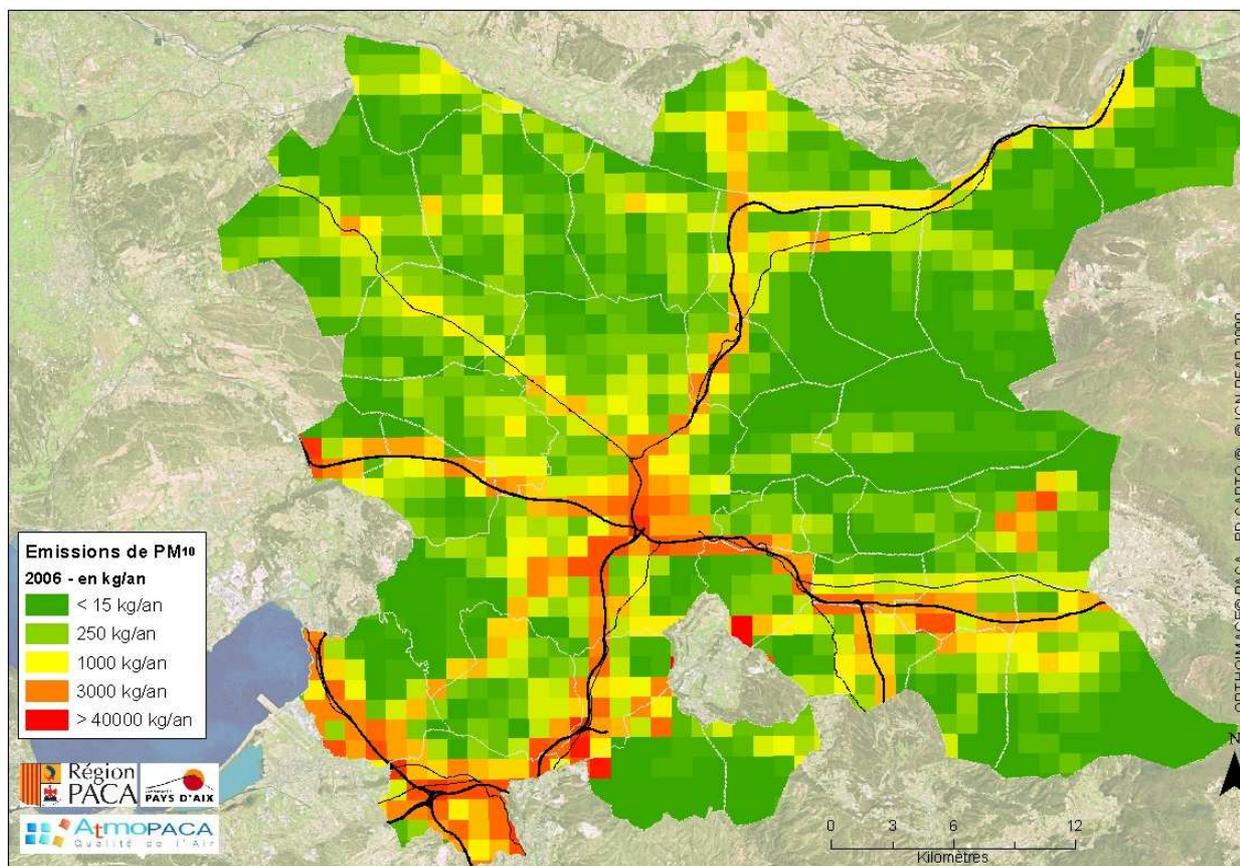
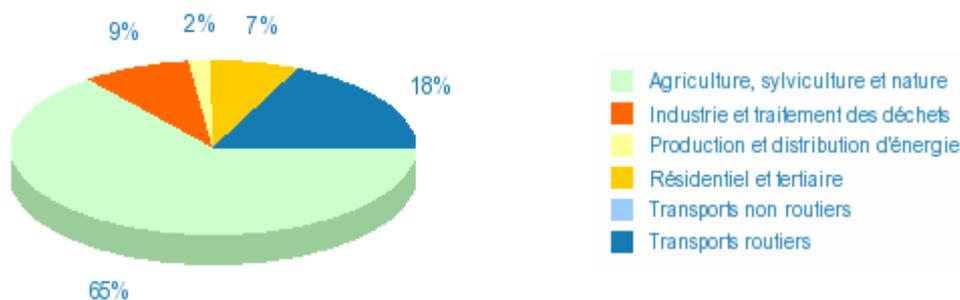


Figure 12 : Cadastre des émissions de PM10 sur la CPA

EMISSIONS DE COVNM

Les émissions de Composés Organiques Volatils Non Méthaniques ont des origines très variées. Sur la CPA, ils proviennent à 65 % de sources naturelles (la végétation est une source importante de terpènes et d'isoprènes). Cependant, ces émissions sont beaucoup plus diffuses contrairement aux émissions anthropiques rejetées très localement. Il résulte de cette répartition uniforme des concentrations généralement faibles. Les sources anthropiques majoritaires sont les transports routiers (18 %) ainsi que les activités industrielles et le résidentiel / tertiaire avec respectivement 9 et 7 % (utilisation de solvants...). Ces émissions sont, au contraire des émissions biotiques, très localisées et peuvent induire des concentrations élevées.



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

Figure 13 : Analyse sectorielle des émissions de COVNM

La répartition spatiale des émissions de COVNM est différente de celle des autres polluants présentés précédemment, notamment du fait du caractère diffus de la végétation, principal émetteur de COVNM. Les sources anthropiques, même si moins importantes en termes de quantités émises, sont très localisées et peuvent induire des niveaux plus élevés.

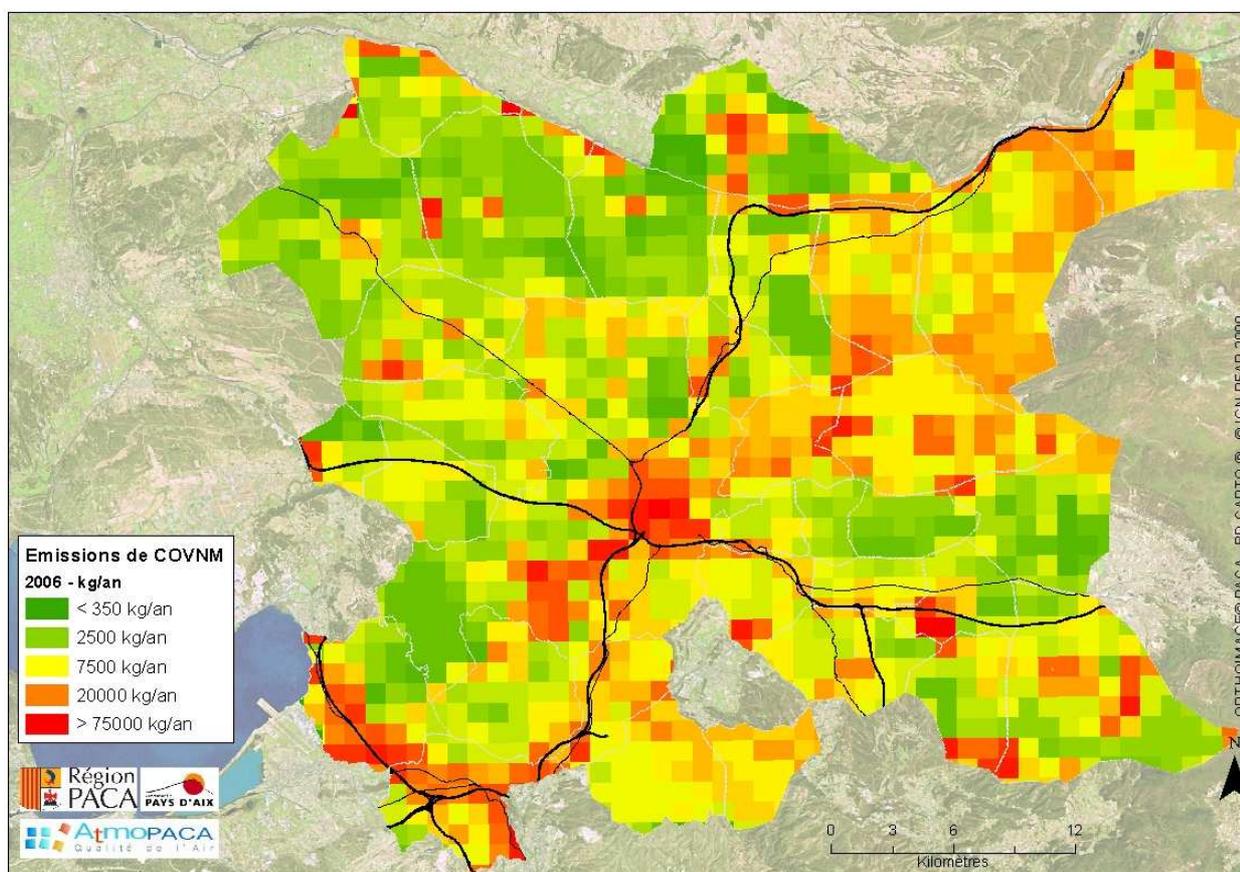


Figure 14 : Cadastre des émissions de COVNM sur la CPA

2.1.2. STRATEGIE D'ECHANTILLONNAGE

2.1.2.1. SENSIBILISATION ET CONCERTATION AVEC LES 34 COMMUNES DE LA CPA

Les collectivités de la CPA ont été sollicitées pour participer à des **réunions de sensibilisation** aux questions de qualité de l'air. En 2007, des rencontres ont eu lieu avec les services techniques des villes et les services Transports et Énergie de la CPA. Plusieurs présentations ont été réalisées au sein des commissions Environnement. Ces réunions avaient pour objet d'évaluer les besoins des communes.

En 2008, les communes sont une nouvelle fois sollicitées. Les données (émissions et état de la qualité de l'air) et les outils dont dispose Atmo PACA sont présentés. L'accent est porté sur le potentiel d'aide à la décision et d'accompagnement dont disposent Atmo PACA et la CPA vis à vis d'actions volontaires des communes en termes d'aménagement et d'impact sur l'air.

Les *scenarii* retenus seront réalisés en 2009.

2.1.2.2. METHODOLOGIE DE L'ECHANTILLONNAGE

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. Le « poids » du Pays d'Aix lors des épisodes de pollution à l'ozone ou en dioxyde d'azote peut ainsi être calculé.

- 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 du Plan de Déplacement Urbain du Pays d'Aix. 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 voie 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 *scenarii* 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...

D'ores et déjà, des projets particuliers relatifs aux transports, aux zones d'activités et à l'habitat sur le Pays d'Aix sont identifiés avec les Directions Transports, Economie, Ecologie Urbaine et Espaces Naturels de la Communauté du Pays d'Aix, ainsi qu'avec chacune des communes. Ces projets pressentis permettent ainsi de « guider » l'échantillonnage.

2.1.2.3. LES CAMPAGNES DE MESURES, POLLUANTS MESURES, ECHANTILLONNAGE

Pour caractériser l'ensemble du territoire du Pays d'Aix sur l'année 2007, deux campagnes de mesures ont été réalisées : une campagne « estivale » en juin 2007 et une campagne « hivernale » en octobre 2007.

Ces résultats par saison sont extrapolés à l'année 2007, afin d'être comparés aux normes annuelles en vigueur et de produire des cartographies annuelles.

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.

Les polluants mesurés sont essentiellement les indicateurs de la pollution issue du trafic automobile : le dioxyde d'azote, les BTX (Benzène, Toluène et Xylène) et les aldéhydes (formaldéhyde, benzaldéhyde,...). Ces mesures d'aldéhydes sont également réalisées dans un souci de caractérisation de la qualité de l'air à l'intérieur de locaux accueillant du public.

La stratégie d'échantillonnage a été élaborée au regard des différentes échelles d'étude et des projets de la CPA mis en exergue.

ANALYSEURS AUTOMATIQUES, TEMPS REEL :

Des moyens mobiles ont été utilisés lors de ces deux campagnes de mesures. La remorque laboratoire mobile a été positionnée au niveau de la Direction des Transports de la CPA aux Milles (site urbain), et le laboratoire mobile a été installé dans Pertuis, au niveau de l'Ecole Saint Roch (site urbain). Ces deux secteurs reçoivent un échantillonnage densifié en raison des projets d'aménagement prévus : accessibilité de la zone des Milles et déviation au niveau de la commune de Pertuis. D'autre part, les stations fixes d'Atmo PACA, au nombre de 8 sur le territoire de la CPA (avec Gardanne) enregistraient également de façon automatique, à un pas de temps quart horaire, les concentrations en polluants.

STATION	ANALYSEURS						TUBES		
	SO ₂	NO ₂	O ₃	PM	CO	BENZENE	NO ₂	ALDEHYDES	BTX
Aix centre Roy René		1		1	1	1	3	1	
Aix Ecole d'Arts		1	1	1		1	3	1	
Aix Jas de Bouffan		1	1	1		1	3	1	
Aix Les Platanes		1	1					1	1
Cadarache		1	1					1	1
Gardanne		1		1				1	1
Bouc Bel Air			1				1	1	1
Pennes-Mirabeau	1		1				1	1	1
Camion labo	1	1	1	1	1		3	1	1
Remorque		1	1	1			3	1	1

Tableau 2 : Stations de mesures et analyseurs sur la CPA



Figure 15 : Laboratoire mobile d'Atmo PACA – Cannes de prélèvement de l'air – Baie d'analyseurs

TUBES A DIFFUSION PASSIVE :

Les points de mesures par échantillonneurs passifs (tubes NO₂, benzène ou aldéhydes), au nombre de 160, sont complémentaires au dispositif de surveillance fixe. Ils quadrillent le territoire de la CPA pour le caractériser, le cartographier et disposer d'une évaluation de la qualité de l'air précise en prévision de projets particuliers.

Ces tubes passifs sont exposés pendant 15 jours en air extérieur (7 jours pour les sites en air intérieur) puis analysés.

Au travers des discussions avec les Directions des Transports, de l'Énergie et de l'Ecologie Urbaine Espaces Naturels de la Communauté du Pays d'Aix ainsi qu'avec les communes de l'agglomération, différents « projets de territoires » ont pu être identifiés. Les choix des points de mesures détaillés ci-après découlent donc de ces discussions.

Figure 16 : Tubes à diffusion passive



A L'ECHELLE DU PAYS D'AIX

- L'ensemble des communes du Pays d'Aix (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 Cabriès : un sur le centre village et l'autre sur le village de Calas. Idem pour la commune du Tholonet, un point de mesure pour le centre du village et l'autre sur Palette.

- Cas particulier de la commune d'Aix-en-Provence (Urbain et Périurbain)

Les données existantes sur la ville d'Aix-en-Provence sont :

- 3 stations fixes qui mesurent en continu le NO₂, le benzène, l'ozone, les PM et le CO ;
- Une campagne de mesures réalisée en 2003 ;
- L'étude réalisée sur le pôle d'échange du Pays d'Aix en 2005 ;
- L'étude du camion mobile sur le parking de la Maison de la Solidarité en février 2007 (situation de « trafic » au niveau de l'avenue Pasteur).

Plusieurs points ont été positionnés pour compléter le maillage préexistant sur la ville.

- Les zones d'activités : Plan de campagne et Rousset (Périurbain)

Pour tenir compte de l'exposition des personnes travaillant sur les zones d'activité importantes du Pays d'Aix, des points de mesure ont été placés sur les zones d'activités de Plan de campagne et de Rousset.

- 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. L'objectif de ces points est d'étudier les phénomènes de pollution dans les milieux naturels. Ces points étant situés en général en limite de la CPA, 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 du Pays d'Aix (Trafic)

Afin de disposer de quelques mesures à proximité des voies à forte circulation du Pays d'Aix, des points de mesures ont été positionnés sur les axes majeurs (A7, A8, A51, A52, RN7, RD6).

Concernant la RD9, les résultats publics de l'étude réalisée par le Conseil Général 13 et Atmo PACA constituent des données supplémentaires.

AUX ECHELLES COMMUNALE OU INFRA-COMMUNALE

Les projets identifiés

- La commune de Lambesc

La commune de Lambesc a un projet d'extension de sa zone d'activité. Cette extension fait l'objet de recommandations HQE (Haute Qualité Environnementale). La commune a également modifié récemment son plan de circulation.

- La commune de Pertuis

La commune de Pertuis a été proposée pour son projet de déviation de la RD973 et pour son projet de rénovation de l'école Saint Roch avec des préconisations HQE. Elle a également en projet la réalisation d'une ZAC « HQE ».

- La commune de Vitrolles

La commune de Vitrolles s'est portée candidate pour que soit évaluée la qualité de l'air sur son territoire en regard de ses différents aménagements récents relatifs aux voies de bus sur l'avenue du Griffon. Cette évaluation fournirait également un état des lieux avant le report de trafic engendré par le renforcement du pôle d'échanges de Vitrolles (PDU).

- La commune des Pennes Mirabeau

La commune des Pennes Mirabeau s'est portée candidate pour que soit évaluée la qualité de l'air sur son territoire. En effet, cette commune est soumise aux émissions engendrées par le transit routier (A55, A7, RN113, RN368) ainsi que les panaches de pollution issus de l'activité industrielle de l'Etang de Berre.

- Les quartiers sud de la ville d'Aix-en-Provence

L'ensemble du plan de circulation des quartiers sud d'Aix-en-Provence doit être modifié. Ce quartier a été proposé pour disposer d'un « état zéro » du secteur avant modification.

Le quartier Gare Routière – Rotonde est en plein réaménagement : Projet de Gare Routière, création du parking de la Rotonde, abris bus déplacés sur la Rotonde... Le secteur a été proposé pour disposer d'un « état zéro » et à terme quantifier les modifications apportées à cette zone.

- L'accessibilité de la zone des Milles

Le Pôle d'activités des Milles est une composante forte de l'activité économique du Pays d'Aix.

La zone des Milles est concernée par plusieurs projets :

- L'amélioration de l'accessibilité de la zone des Milles (transports en commun, ferroviaire...),
- Développement de l'habitat dans la zone de la Duranne (Plan Local de l'Habitat),
- La présence de l'aérodrome des Milles,
- Le projet d'élargissement de la Route Départementale 9 (Etude Conseil Général),
- Le développement de la future zone d'activité située autour de la gare TGV de l'Arbois.
- L'élargissement de l'Autoroute A8 à 2X3 voies – Est du Pays d'Aix

La Société ESCOTA va élargir la section de l'autoroute A8 (commune de Rousset et Trets) d'ici 2009/2010.

Il serait intéressant de disposer d'un transect de la voie avant modification afin de quantifier l'impact de cet élargissement.

Les projets retenus

Pour un projet particulier un maillage plus dense est retenu. Trois projets ont été retenus (échelle locale), parmi l'ensemble des projets identifiés sur le territoire.

Ces projets concernent des questions plurielles : transports, industries, activités économiques, forte densité de population et projets avec orientation « HQE ».

- L'accessibilité de la zone des Milles

Plusieurs points de mesure sont placés sur l'ensemble de la zone des Milles afin de caractériser au mieux ce territoire. La remorque - laboratoire sera placée dans le parking des locaux de la direction des transports de la CPA (la Robole).

Les résultats de l'étude réalisée par le Conseil Général sur la RD9 dans les prochains mois seront intégrés.

- La commune des Pennes Mirabeau

Plusieurs points de mesure sont placés sur l'ensemble de la commune afin de caractériser au mieux le territoire.

La station de mesure fixe mesure en permanence le SO₂ (localisation au niveau de la caserne des pompiers).

- La commune de Pertuis

Il est intéressant de valoriser le choix environnemental pour la réhabilitation de l'école Saint Roch, il est proposé de positionner un point de mesure à proximité, voire dans la cour de récréation de l'école (laboratoire mobile).

Plusieurs points de mesure sont placés sur l'ensemble de la commune afin de caractériser au mieux le territoire.

Le camion laboratoire pourra être placé à proximité du projet du tracé de déviation de la RD 973.

- La commune de Cabriès

La commune de Cabriès est concernée par le projet d'élargissement de la RD9. Ce projet nécessite une importante étude d'impact, qui fait l'objet d'un appel d'offre par la DDE des Bouches-du-Rhône. Il est proposé de poser *a minima* 5 points de mesures en continuité géographique de l'étude.

AUTRES PROJETS

Pour les autres projets, les dispositions prises sont les suivantes :

- Pour la commune de Lambesc, il est proposé de positionner un point de mesure dans le secteur de la future zone d'activité afin de valoriser le choix environnemental pour l'extension de la zone.
- La commune de Vitrolles dispose d'une station fixe située dans le village qui mesure en continu la pollution de fond, ainsi que d'une station météorologique.

La commune de Vitrolles est située dans la zone de compétence de l'association AIRFOBEP (Surveillance de l'Ouest des Bouches-du-Rhône, siège localisé à Martigues). Pour les besoins de la campagne, le programme de surveillance par moyens passifs a été mené en association avec AIRFOBEP et les résultats mis à la disposition de la commune de Vitrolles et de la CPA.

Une quinzaine de points de mesures par échantillonnage passif seront réalisés sur la commune de Vitrolles.

- Pour la commune d'Aix-en-Provence, plusieurs points de mesures ont été disposés dans le quartier sud au titre du maillage de la ville (Cf. paragraphe sur la caractérisation du territoire). Ces points permettront de disposer d'un « état zéro » avant la modification du plan de circulation du quartier.

Concernant le quartier de la Rotonde et de la gare, un point a été disposé à la Rotonde, les résultats actuels 2007 viennent compléter ceux de l'étude réalisée en 2005 sur le quartier de la gare routière.

- L'élargissement de l'Autoroute A8 au niveau de Rousset

6 points de mesure sont positionnés de part et d'autre de la voie pour réaliser un transect avant l'élargissement à 2x3 voies.

Total des points de mesure « projets » :	199 points de mesure (dont 11 réalisés par AIRFOBEP sur Vitrolles)
--	--

LA QUALITE DE L'AIR INTERIEUR

Il a été décidé avec la CPA de profiter de cette campagne pour réaliser des mesures de la qualité de l'air intérieur : première approche sur des espaces accueillant du public, des bâtiments particuliers (HQE...), et sur les transferts de pollution à l'intérieur des bâtiments.

En complément des points réalisés pour la qualité de l'air extérieur, il est proposé de poser des tubes passifs mesurant les aldéhydes, le benzène et le dioxyde d'azote à l'intérieur des locaux.

Les sites retenus sont :

- **L'Hôtel de Boadès**, siège de la Communauté du Pays d'Aix, situé à la Rotonde ; 2 pièces échantillonnées en air intérieur ;
- **L'Ecole Saint Roch** à Pertuis où sont réalisés des travaux de réhabilitation avec préconisation « HQE » ; 5 salles de classes échantillonnées en air intérieur ;
- **L'Hôtel de ville des Pennes Mirabeau** situé sur les hauteurs de la commune ; 2 pièces échantillonnées ;
- Les bureaux de la **Direction Transports de la CPA (La Robole)** où sera positionné le camion mobile durant la campagne ; 3 pièces en air intérieur ;
- **Le collège Mignet à Aix** a également été doté de mesures en air intérieur pour deux classes. Une évaluation de la qualité de l'air devant être réalisée dans la cour du collège en raison des rejets de l'extracteur du parking souterrain, les mesures extérieures et intérieures ont été réalisées en même temps que celles de la campagne CPA.

Total air intérieur :	14 points de mesure
-----------------------	---------------------

2.1.2.4. CARTES D'ECHANTILLONNAGE

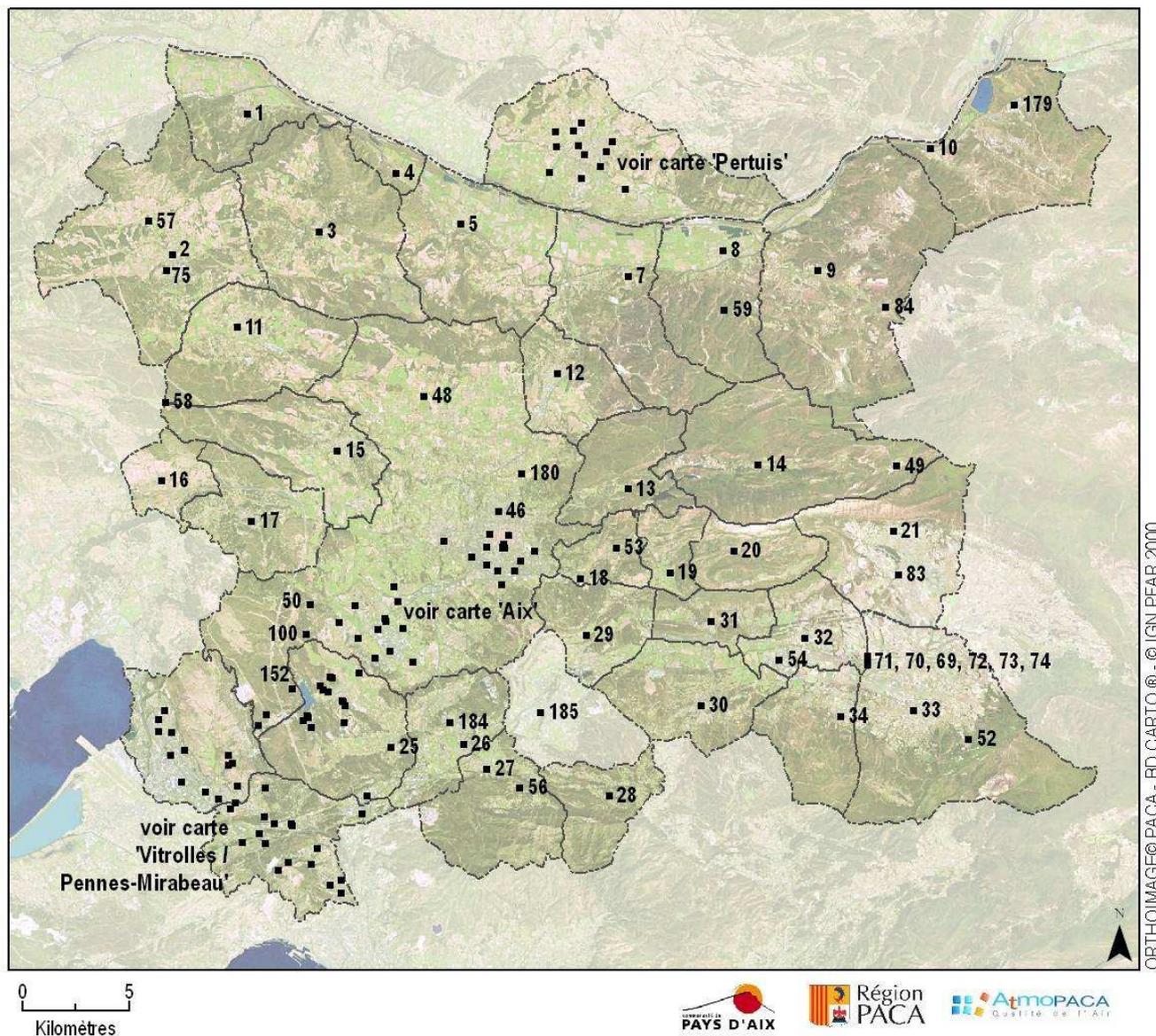


Figure 17 : Carte de localisation des sites de mesure de typologie « fond »

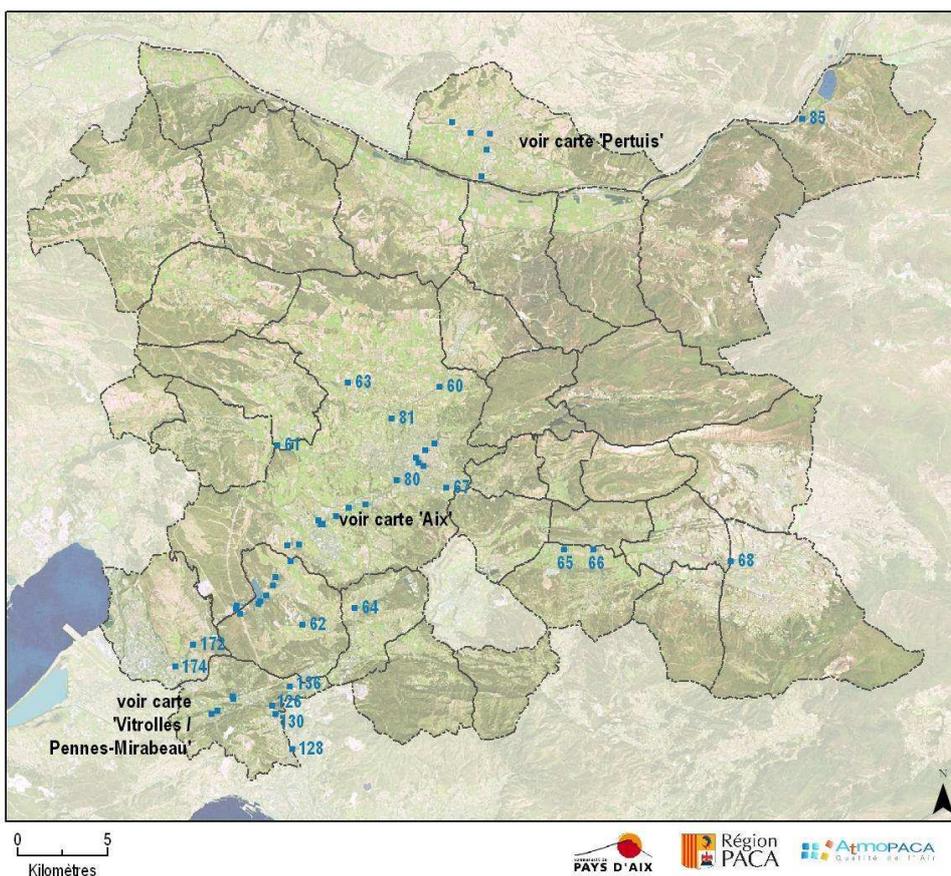


Figure 18 : Carte de localisation des sites de mesure de typologie « trafic »

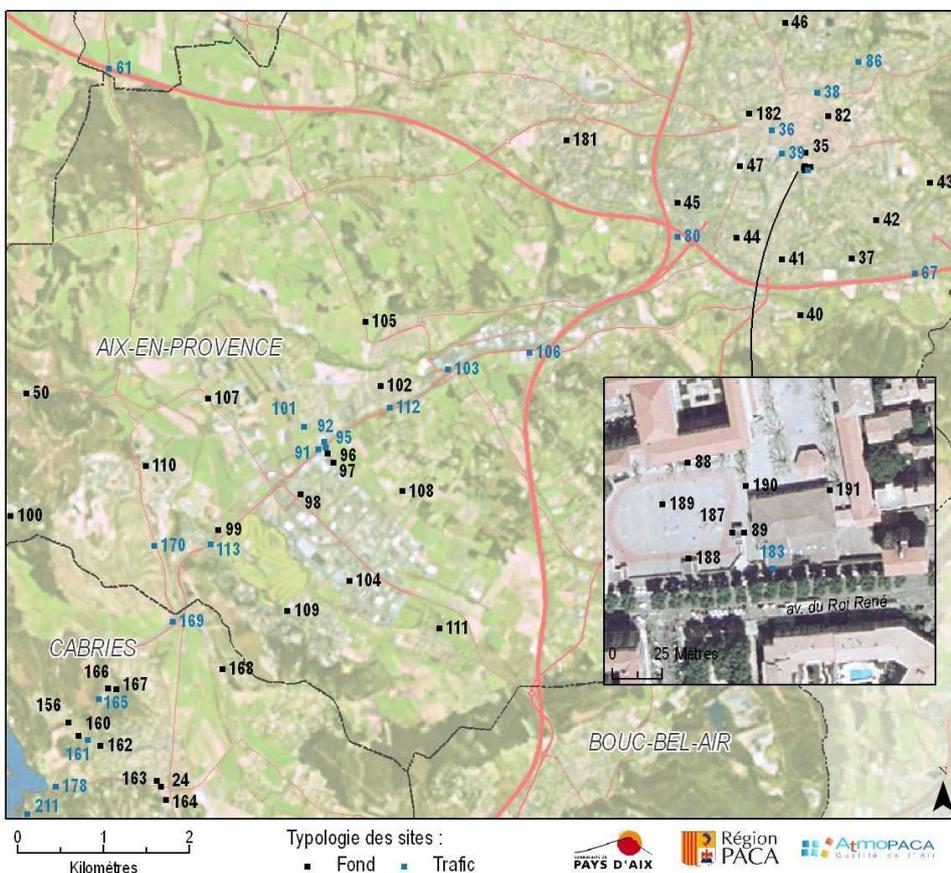


Figure 19 : Carte de localisation des sites de mesures sur Aix-en-Provence

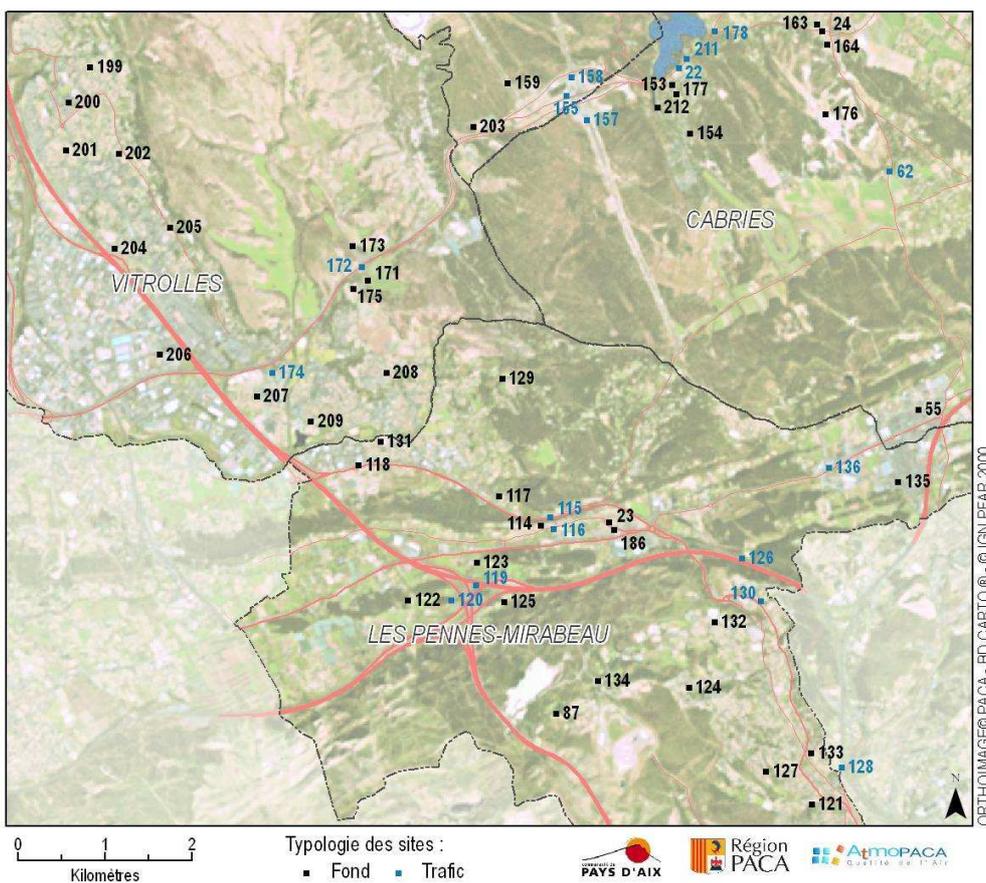


Figure 20 : Carte de localisation des sites de mesure sur Vitrolles

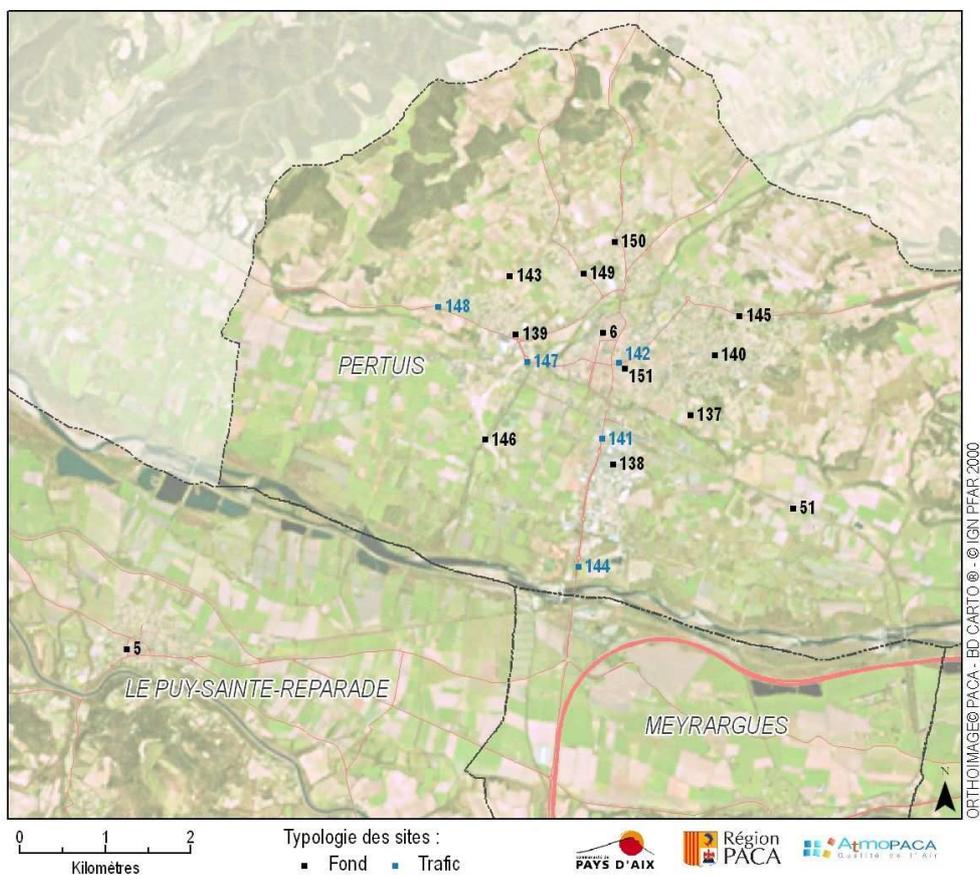
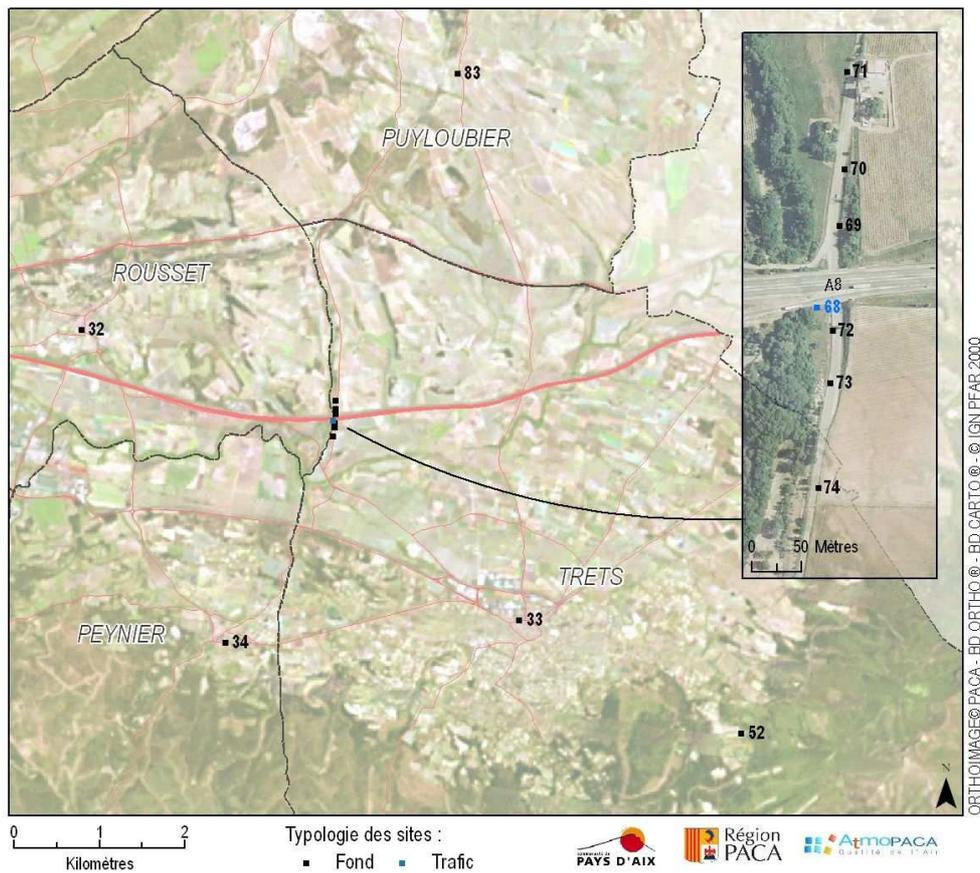


Figure 21 : Carte de localisation des sites de mesure de Pertuis



2.1.3. PARAMETRES MESURES ET TYPOLOGIE DES SITES

2.1.3.1. PARAMETRES PHYSICO-CIMIQUES

- NO₂ (monoxyde et dioxyde d'azote) traceur de la pollution automobile
- BTX (Benzène, Toluène, Xylènes) traceur de la pollution automobile et industrielle
- Aldéhydes (7 composés différents) traceur de la pollution en air intérieur

2.1.3.2. TYPOLOGIE ET DESCRIPTION DES EQUIPEMENTS DES SITES

Se référer au tableau situé en Annexe 2 : Typologie et description des équipements des sites

2.2. RESULTATS EN AIR EXTERIEUR - DISCUSSION

2.2.1. DIOXYDE D'AZOTE (NO₂)

2.2.1.1. 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. C'est le NO (monoxyde d'azote) qui est émis à la sortie du pot d'échappement, il est oxydé en quelques minutes en NO₂. La rapidité de cette réaction fait que 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).

2.2.1.2. 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.

2.2.1.3. RESULTATS SUR L'ANNEE 2007

CARTOGRAPHIES - CHIFFRES CORRESPONDANTS EN ANNEXE

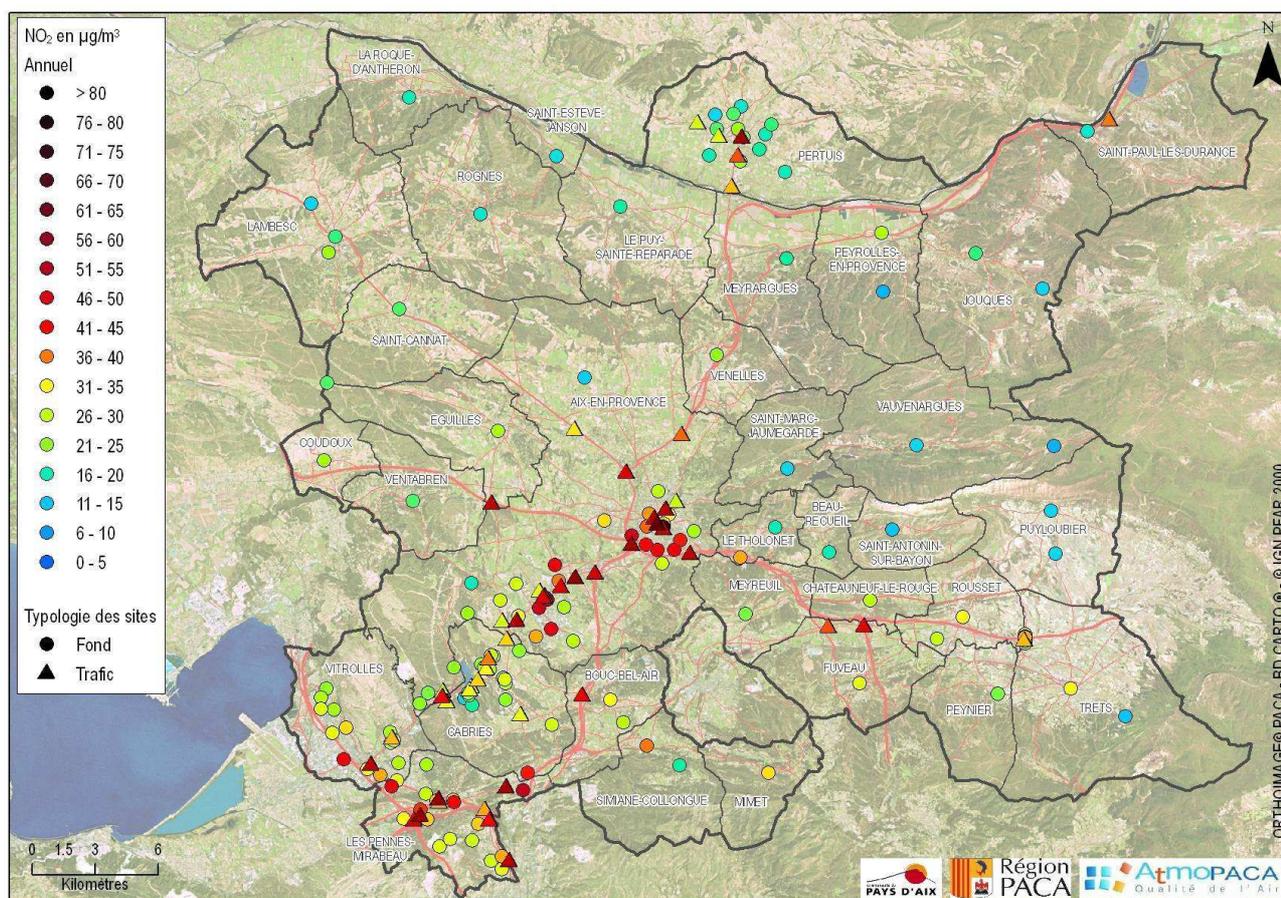


Figure 23 : Concentrations annuelles 2007 en dioxyde d'azote

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

La valeur limite annuelle pour le **dioxyde d'azote** est de 46 µg/m³ en 2007. Elle décroît à l'horizon 2010 jusqu'à 40 µg/m³.

TYPLOGIES DES SITES EN REGARD DE LA CLASSIFICATION DE L'ADEME² :

La répartition résulte de la stratégie d'échantillonnage.

Sur 195 sites de mesures du NO₂ :

- 19 (soit 10%) sont ruraux,

Les sites ruraux et en limite de domaine servent de « témoins » pour fournir des indications en frontière du domaine d'étude pour la modélisation.

- 88 (soit 45 %) sont périurbains (densité de population inférieure à 3000 habitants/km²),

La majorité des sites sont périurbains (45%) : ils sont situés dans les quartiers extérieurs des villes les plus importantes (Aix, Pertuis, Vitrolles...) et dans les villages ou villes moyennes où le bâti urbain est plus lâche.

- 20 (soit 10%) sont des sites d'observation (configurations particulières n'obéissant pas aux typologies classiques),

10% des sites sont classés en « observation » : certains correspondent à des sites très 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 ». C'est le cas des zones commerciales ou des rocades. D'autres sites sont à peine à plus de 10m d'un axe supportant plus de 10 000 véh/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.

- 2 (soit 1%) sont industriels (sous l'influence d'un secteur industriel et de retombées fréquentes de panaches).

2 sites sont de typologie industrielle : la zone industrielle de Rousset ainsi que la station fixe de Bouc-Bel-Air localisée sous les panaches des industries de l'Etang de Berre et de la Centrale de Gardanne.

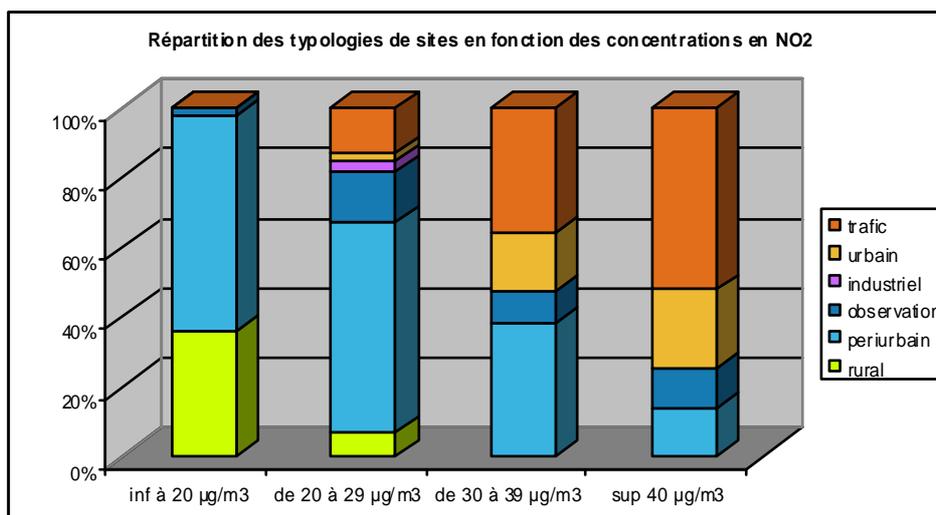
- 19 (soit 10%) sont urbains,

10% des sites sont urbains, c'est-à-dire localisés dans les villes plus importantes.

- 47 (soit 24%) sont de type trafic (à moins de 10 mètres de voies dont le trafic journalier excède 10 000 véhicules),

Un quart des sites sont de type trafic afin de qualifier les grandes voiries (autoroutes,...) et par conséquent l'exposition maximale à laquelle on peut s'attendre en ville par exemple.

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



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.

RESULTATS

- **30 sites (sur les 195 échantillonnés) ont une concentration annuelle 2007 supérieure à la valeur limite pour le dioxyde d'azote pour l'année 2007, de 46 µg/m³.**

En majorité, ce sont des sites de typologie trafic et urbains, sous l'influence plus ou moins directe de voies de circulation très chargées. Seul le premier site, avec la concentration la plus élevée en dioxyde d'azote, fait exception : il s'agit d'un point ayant été placé spécialement au niveau d'une source canalisée, l'extracteur du parking Mignet à Aix dans le but d'apprécier l'impact des rejets sur le quartier. Ce point et ceux placés à proximité l'ont été en parallèle de ceux de la « campagne CPA ».

- 72 µg/m³ sont enregistrés au niveau de la **cheminée d'extraction** de l'air vicié du parking Mignet à Aix-en-Provence. Cette source d'émissions et celle du boulevard du Roy René (mesure au niveau de la station Aix Centre – Roy René : 51 µg/m³), située à 10 m de l'extraction, influencent localement les concentrations en dioxyde d'azote de la cour du collège Mignet. Effectivement, les 3 points les plus proches de ces deux sources (dans un rayon de 30 m environ) dépassent également la valeur de limite de 46 µg/m³, avec 61, 47 et 46 µg/m³. A 50 m de là, les teneurs rejoignent celles du niveau de fond du quartier.

- 71 µg/m³ ont été enregistrés au niveau de la Rotonde à Aix, à côté de l'office du tourisme. Le trafic important (21 000 véh/jour) et la conformation de la **voierie en rond-point** favorisent l'accumulation des polluants. Ce même phénomène se retrouve place Bellegarde avec 54 µg/m³ (19 000 véh/jour sur le boulevard Aristide Briand), qui présente de plus le handicap d'une entrée de parking, ainsi qu'au niveau du rond-point du CETE dans la zone des Milles avec 46 µg/m³.

- 62 µg/m³ sont enregistrés dans la **zone commerciale** des Milles (Pioline), au niveau du parking du Carrefour. Les émissions sont importantes en raison d'un trafic dense, d'un roulage lent favorisant les rejets, de cycles courts et à froid des véhicules. Deux points situés dans la zone commerciale de Plan de Campagne montrent également des concentrations supérieures à la valeur limite avec 56 µg/m³ sur la D6 au niveau de Cuir Center (22 000 véh/jour) et 49 µg/m³ sur le secteur sud au niveau de Mac Donald.

- les **autoroutes** (A55/A7 nord au niveau des Pennes Mirabeau avec 60 µg/m³), les **tunnels** (tunnel N113 des Pennes Mirabeau avec 60 µg/m³) et les **ponts sur voies autoroutières** (pont sur l'A8 – trafic : 50 000 véh/jour- au niveau d'Eguilles, avec 51 µg/m³) montrent les concentrations les plus élevées.

- les sites de trafic type « **rue canyon** » (rue Ledru Rollin au centre de Pertuis), avec 59 µg/m³, ou bien les **grands boulevards** passants (cours Sextius à Aix, avec 55 µg/m³) sont au-delà de la valeur limite 2007.

- les **sites urbains sous l'influence d'une source proche** comme une autoroute présentent des concentrations élevées. C'est le cas du site du stade Coulange à Aix, au niveau du bd Schweitzer, avec 47 µg/m³ : ce site est à 150 m de l'autoroute A51 véhiculant 110 000 véh/jour.

- **14 sites ont des concentrations comprises entre 40 µg/m³ (valeur limite à l'échéance 2010 pour le dioxyde d'azote) et 46 µg/m³ (valeur limite 2007).**

Ces sites sont de typologie dominante urbaine, trois sont de type trafic, deux d'observation et les autres périurbains.

Les trois sites **de trafic** correspondent à des ponts sur autoroute (site de la D60 au-dessus de l'A51 à Bouc-Bel-Air avec 44 µg/m³ et le pont sur la RD9 au niveau de la gare TGV de l'Arbois avec 42 µg/m³), ainsi qu'à une nationale très passante, (N113 des Pennes Mirabeau à la hauteur du rond point de la Morandière avec 40 µg/m³).

Les sites **urbains et périurbains** sont situés en cœur de ville ou bien influencés par un axe de trafic proche :

Zone industrielle et commerciale des Milles et de Vitrolles :

- rue André Ampère au niveau du garage Renault, au cœur de la ZI des Milles avec 43 µg/m³,
- avenue de Rome, à Vitrolles, avec 43 µg/m³, dans une zone industrielle et artisanale et sous l'impact des émissions de l'A7 située à 100 m,
- route d'Eguilles (D18), au dessus du village des Milles, avec 42 µg/m³. La D18 n'est pas très passante avec environ 4000 véh/jour, mais elle se situe sous l'influence des émissions de la circulation présente dans le bassin des Milles.

Sites représentatifs de quartiers d'Aix-en-Provence :

- Quartier Mazarin - Mignet, avec 42 µg/m³, bien que le site « Collège Mignet » soit sous l'influence notable de la cheminée d'extraction d'air usé du parking Mignet,
- Quartier Gaston Berger : Avenue de l'Armée d'Afrique, avec 42 µg/m³,
- Quartier Gionno - Pignonnet : rue Debazac, avec 42 µg/m³,
- Quartier Brossolette - Schumann : rue Henri Poncet, au niveau de la crèche, avec 40 µg/m³,
- Quartier Gambetta : impasse Paul Beltcaguy, avec 40 µg/m³.

Quartiers des Pennes Mirabeau :

- Le Grand Verger, sur la D113, avec 42 µg/m³, près des ZAC de l'Agavon et de la Billone,
- Site de la station fixe de surveillance de la qualité de l'air (caserne des pompiers – avenue du Général Leclerc), avec 41 µg/m³.

Le site **d'observation** est celui du parking d'Avant Cap sur la zone commerciale de Plan de campagne, avec 40 µg/m³.

- **42 sites ont des concentrations comprises entre 30 et 39 µg/m³, soit supérieures à 75% de la valeur limite annuelle 2010 de 40 µg/m³**

Les 15 sites de **trafic** et les 4 sites **d'observation** correspondent à des autoroutes ou nationales passantes mais en situation aérée. Par exemple :

- Route sud d'accès à Pertuis au niveau de la ZA, avec 39 µg/m³
- Croisement D6 et DC à Fuveau, avec 38 µg/m³
- A51, Aix-en-Provence, sortie les Platanes, avec 37 µg/m³
- Domaine de l'Arbois, rue Valère Bertrand, avec 37 µg/m³
- Autoroute de Saint-Paul-les-Durances, à hauteur de Cadarache, avec 36 µg/m³
- Vitrolles pont sur la RD9 au niveau de la sortie Pinchinades, avec 34 µg/m³ ou bien RD9 au niveau de Calas, avec 33 µg/m³, ou au niveau de l'Hostellerie du Lac Bleu, avec 30 µg/m³
- Pertuis D555 pont de la Durance, avec 34 µg/m³
- A8 à Rousset, avec 34 µg/m³
- La Calade N7 au niveau de la voie ferrée, avec 32 µg/m³

Les 21 **sites urbains ou périurbains** correspondant en majorité à des rues dans des villes de taille moyenne (zone des Milles, Pennes Mirabeau, Vitrolles, Simiane, Le Tholonet, Mimet et Rousset), ou bien à des quartiers d'Aix. Par exemple :

- Pennes Mirabeau, Le Brusq, avec 38 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
- Simiane, avenue du général De Gaulle, avec 35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
- Zone des Milles, parking de la Direction des transports de la CPA (Parc Technologie de la Duranne), avec 33 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
- Le Tholonet, quartier de la Palette, rue de la Libération avec 33 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
- Vitrolles, rue JJ Rouine, avec 31 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
- Mimet, Ecole de la Tour, avec 31 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
- Rousset, Mairie, Place Borde, avec 31 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
- Quartiers d'Aix : Allées de la bibliothèque Méjane, avec 37 $\mu\text{g}/\text{m}^3$; quartier Mazarin, avec 35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ au collège Mignet et 33 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ dans la rue Cabassol ; Ecole d'Art, quartier des tanneurs, rue Emile Tavan, avec 34 $\mu\text{g}/\text{m}^3$; Jas de Bouffan (station fixe Aix ouest), avec 32 $\mu\text{g}/\text{m}^3$; Quartier Villeneuve Opéra, Rues Chastel et Arpile, avec 31 $\mu\text{g}/\text{m}^3$...

- **70 sites ont des concentrations en dioxyde d'azote comprises entre 20 et 29 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, soit supérieures à la moitié de la valeur limite annuelle de 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$**

9 sites de **typologie trafic** figurent dans cette tranche de concentrations. Ce sont des routes passantes et aérées (RD9 au niveau de la gare TGV, de l'arbois, de Cabriès et des Milles) ainsi que le rond-point sud ouest de Pertuis près de la caserne de pompiers, la route de la Tour d'Aygue (D973), lotissement Le Grégory à Pertuis, et enfin le cours des Alpes à Aix.

La majorité des autres sites est de **typologie périurbain**. Il s'agit de quartiers *résidentiels* de villes d'envergure moyenne : Aix (pont de l'Arc par exemple), Vitrolles, les Pennes Mirabeau, la zone des Milles, ... ou bien de villes ou villages : Rousset, Trets, Bouc-Bel-Air, Fuveau, Calas, Châteauneuf le Rouge, Peyrolles, Coudoux, Eguilles, Lambesc, Venelles, ...

4 sites sont « **ruraux** » ; il s'agit, aux Milles, du chemin de Saint Hilaire et du chemin de Mont Robert avec respectivement 25 et 23 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Les deux autres sites sont sur la commune de Calas, avec 21 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ chacun : les secteurs « Golf » et « station d'épuration ».

- **39 sites ont des concentrations en dioxyde d'azote inférieures à 19 $\mu\text{g}/\text{m}^3$**

Tous sont périurbains ou ruraux.

Les sites périurbains sont dans les quartiers périphériques et *résidentiels* des villes ou bien au sein des petites villes et villages de la CPA.

Les concentrations les plus faibles reviennent aux sites suivants :

- Saint Antonin sur Bayon, chemin des Gites, avec 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
- Puyricard, chemin de la Lignane, avec 12 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
- Saint Marc Jaumegarde, place de la mairie, avec 12 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
- Puylobier, place de la mairie, avec 12 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
- Vauvenargues, rue du Centre, avec 12 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

Les 12 sites ruraux ont des concentrations en dioxyde d'azote comprises entre 9 et 18 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Les sites de « Peyrolles, Eco-gîte » et « la D10 à l'est de Vauvenargues » enregistrent une concentration annuelle de 9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$; ensuite, de 10 à 12 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ sont relevés sur les sites de « Trets Château du Grand Boisé », la « D13 au niveau de Puylobier » et le « chemin de la Cambouse à Lambesc ».

Les concentrations annuelles 2007 situées autour de 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ semblent correspondre aux niveaux ruraux, quasi-naturels de la CPA.

2.2.1.4. EVOLUTION SAISONNIERE

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

- 1.8 fois plus importantes pour les sites urbains
- 1.5 fois plus importantes pour les sites d'observation
- 1.4 fois plus importantes pour les sites de trafic et 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 sensible sur les sites ruraux, pour lesquels l'augmentation moyenne est de 0.4. Une moitié d'entre eux enregistre même des concentrations plus faibles durant l'hiver. Dans ces cas, le « facteur émissions » prime sur le « facteur météorologie » : les émissions étant peu importantes et constantes toute l'année, quelle que soit la météorologie, les concentrations en dioxyde d'azote sont faibles, proches des niveaux naturels.

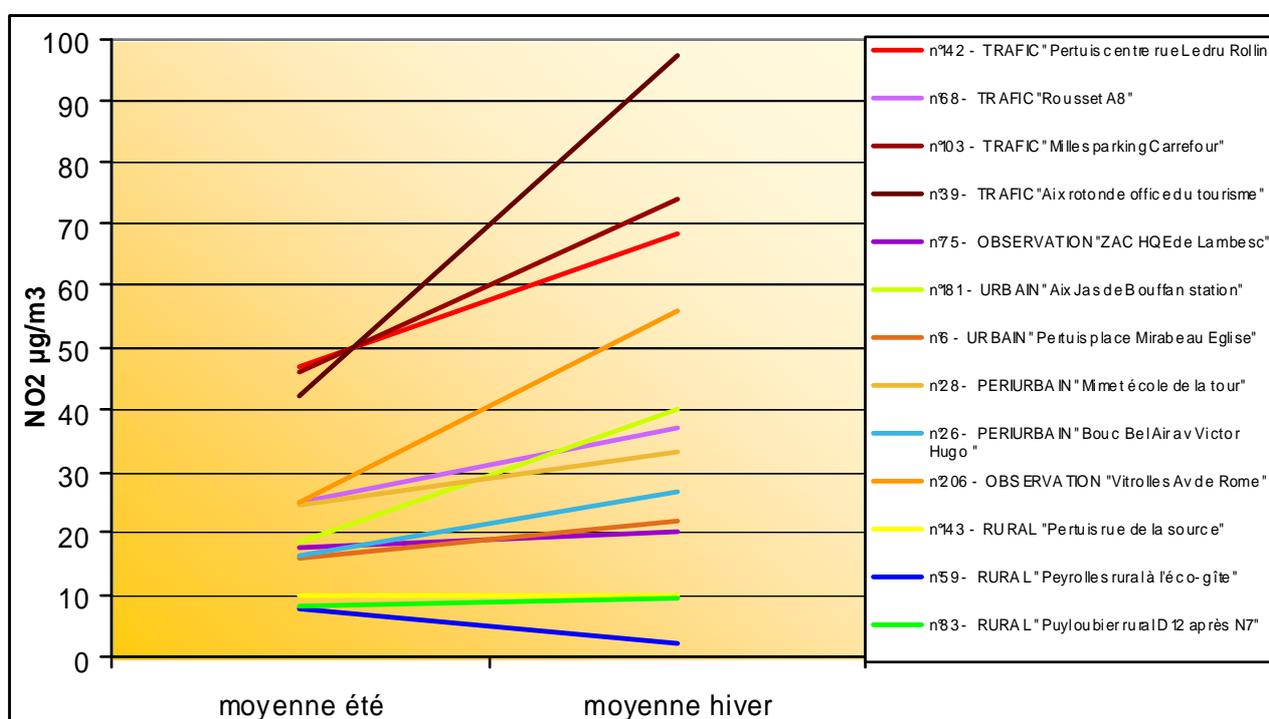


Figure 24 : Evolution saisonnière des concentrations en dioxyde d'azote sur quelques sites de la CPA

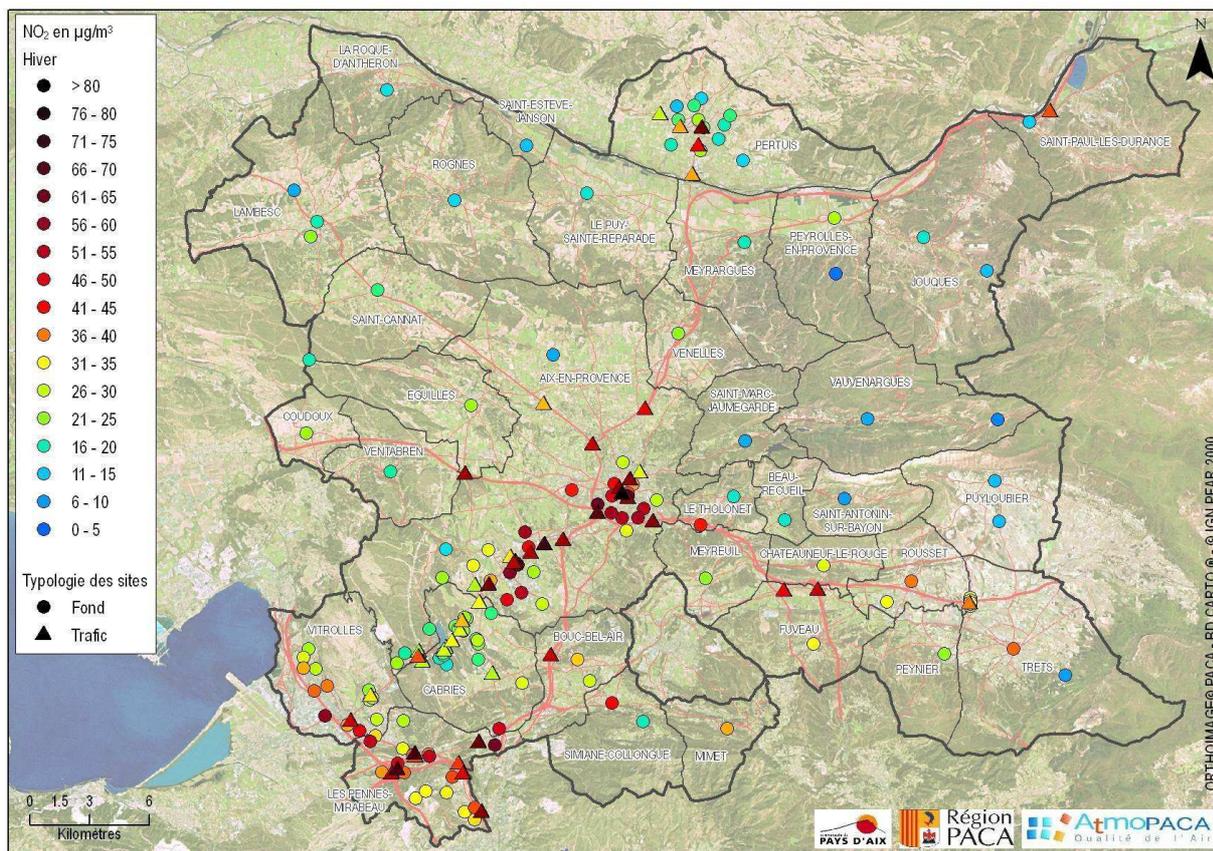


Figure 25 : Concentrations hivernales en dioxyde d'azote

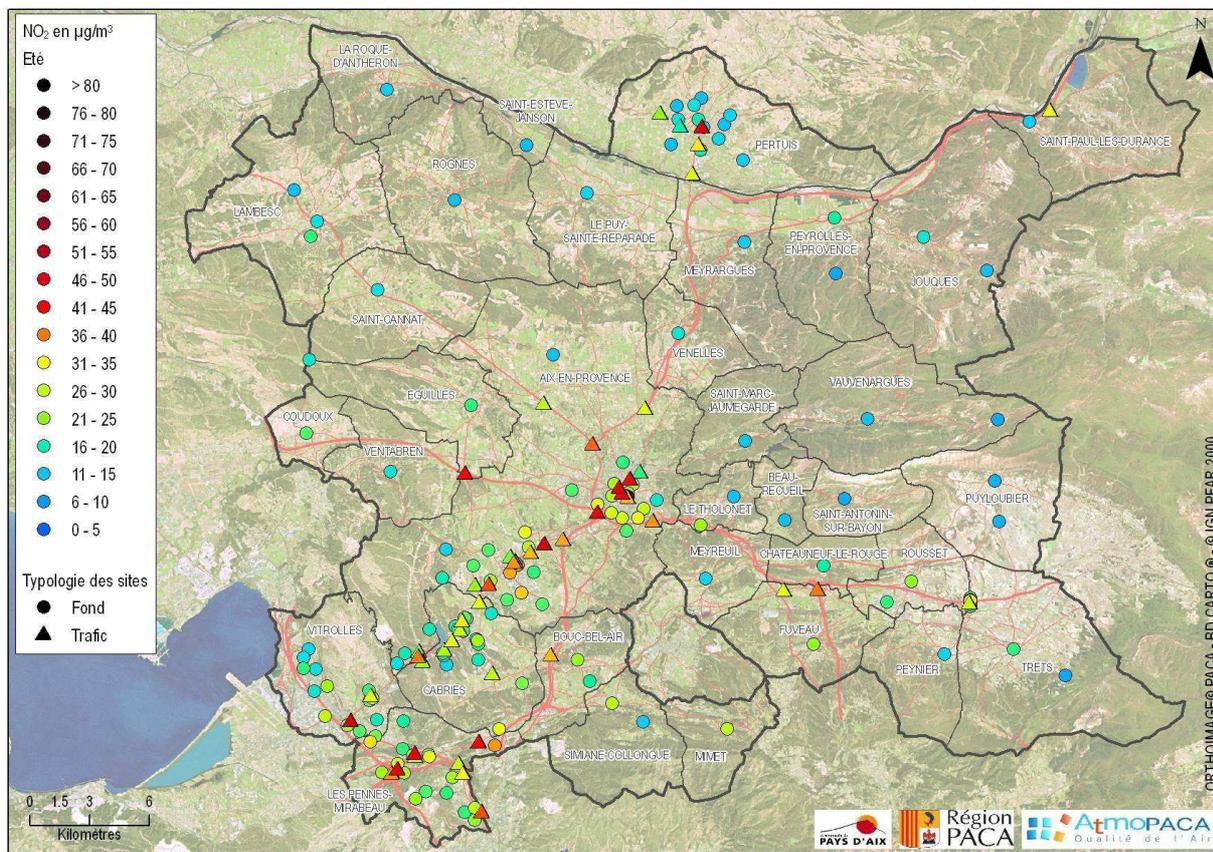


Figure 26 : Concentrations estivales en dioxyde d'azote

2.2.1.5. ETUDE DES TRANSECTS

Deux transects ont été réalisés : autour de la RD9 dans la zone des Milles et autour de l'A8 à hauteur de Rousset, secteurs qui pourront être concernés, dans l'avenir par des plans d'aménagement (accessibilité de la zone des Milles et doublement de l'autoroute).

Ces transects permettent de quantifier l'abattement 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.

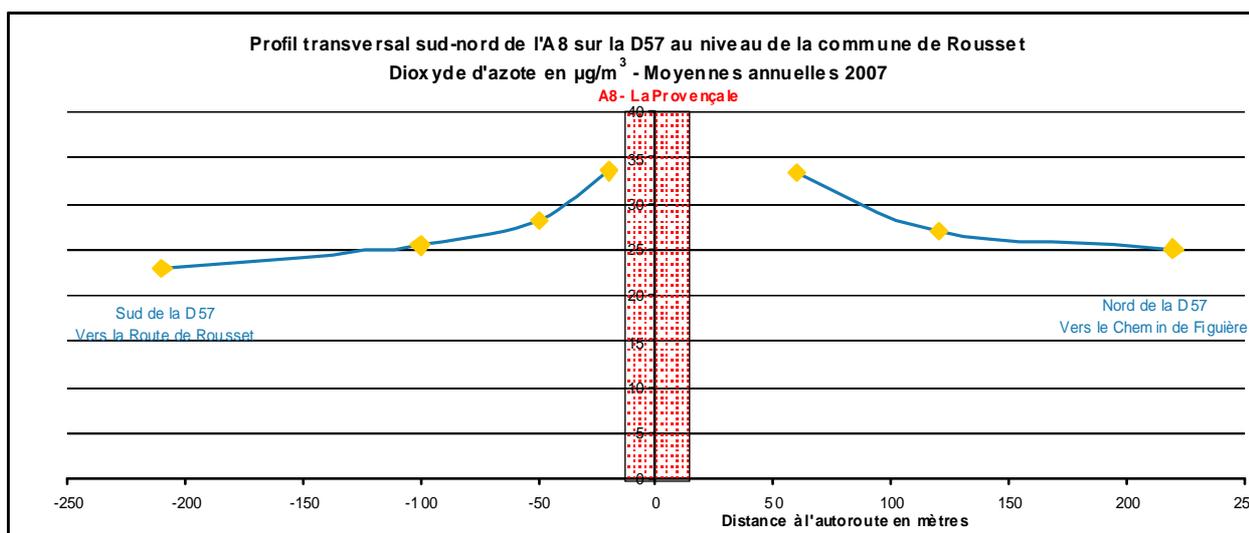


Figure 27 : Profil transversal en dioxyde d'azote au niveau de l'A8 à Rousset

Aucun point n'a pu être placé sur la bande autoroutière pour laquelle les valeurs manquent. Le point le plus proche, au sud, à 20 m du milieu de l'axe, montre une concentration de $34 \mu\text{g}/\text{m}^3$, similaire à celle du point nord situé à 60 m de l'autoroute.

A 100 m de distance à l'axe, les concentrations diminuent jusqu'à 25 puis $23 \mu\text{g}/\text{m}^3$, qui correspond au niveau de fond du secteur.

Ce secteur est rural, avec des champs, sans bâti et plat. La seule source d'émission est l'A8 ; autour de l'axe, les polluants ne rencontrent aucun obstacle et se diluent rapidement.

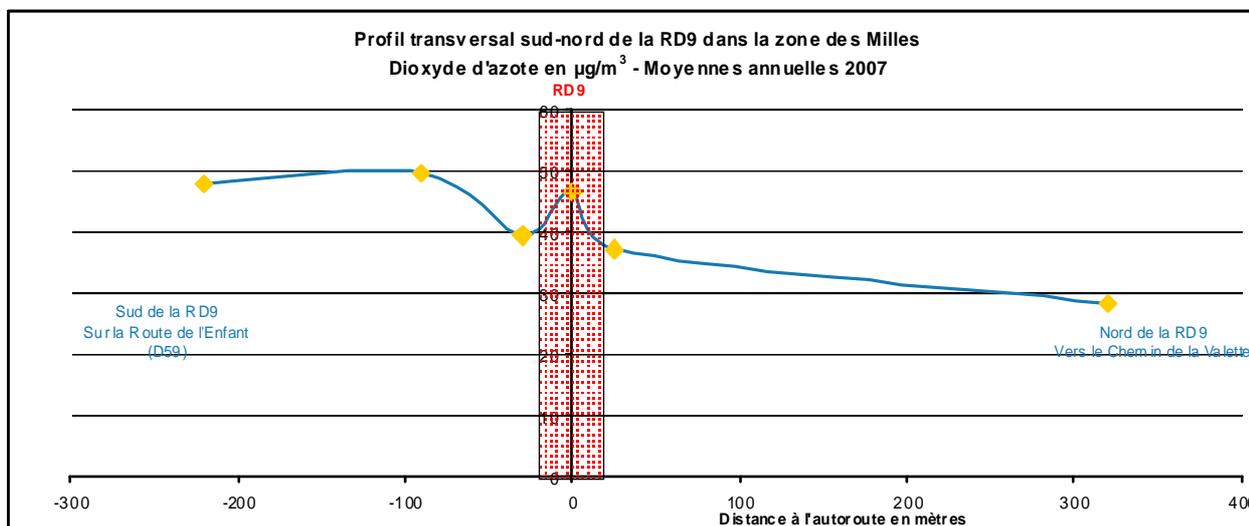


Figure 28 : Profil transversal en dioxyde d'azote de la RD9 dans la zone des Milles

La RD9 supporte quotidiennement environ 60 000 véhicules. Sur cet axe, large et aéré, la concentration annuelle en dioxyde d'azote est de $47 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Au sud, le premier point correspond au virage vers la route de l'Enfant, moins empruntée et aérée : la concentration annuelle diminue jusqu'à $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Ensuite, les 2 points placés sur la chaussée de la route de l'Enfant, à 100 m puis 200 m de la RD9 enregistrent des concentrations plus importantes, de 50 puis $48 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Cette voie est bien moins circulante. Cependant, elle est encaissée et bordée de haies, ce qui favorise la concentration des polluants. De plus, elle dessert le parking de poids lourds d'une entreprise, situé à l'ouest de la chaussée et de ces deux derniers points de mesure.

Vers le nord, se trouvent quelques bâtis bas et des champs. A 200 m de l'axe environ, on retrouve le niveau de fond de la périphérie du secteur des Milles variant entre 20 et $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

2.2.2. BENZENE (C₆H₆), TOLUENE ET XYLENES

2.2.2.1. 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. 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 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 brève à des doses fortes, soit par exposition chronique à des doses relativement faibles.

Le benzène est reconnu comme cancérigène par l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS). Elle estime que 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 la somme de quatre substances : éthylbenzène, ortho-, para-et meta-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.

2.2.2.2. RESULTATS SUR L'ANNEE 2007

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 $8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en 2007. Elle décroît à l'échéance 2010 jusqu'à $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

L'objectif de qualité est de $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

CARTOGRAPHIES POUR LE BENZENE - CHIFFRES CORRESPONDANT EN ANNEXE PAGE 152

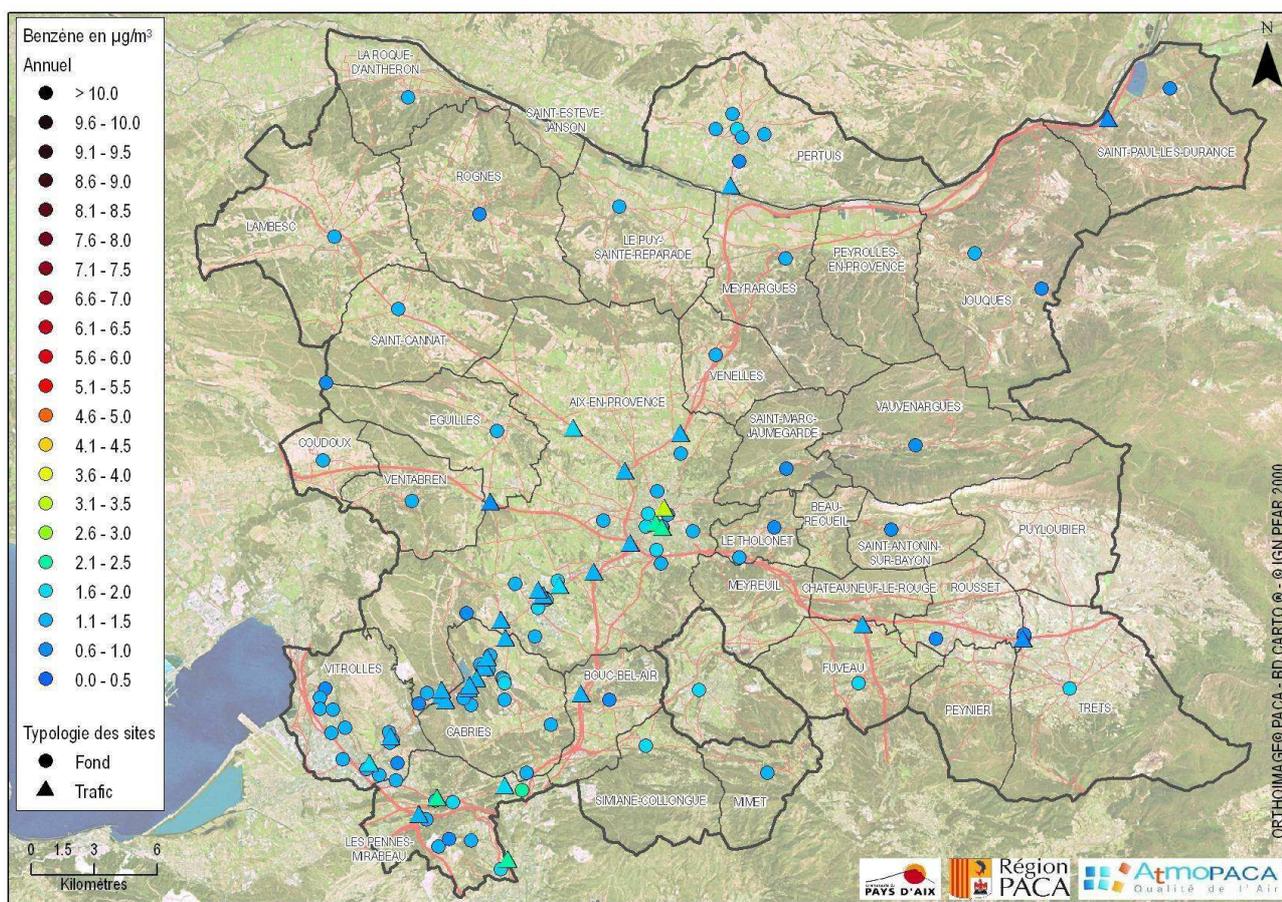


Figure 29 : Concentrations annuelles 2007 en benzène

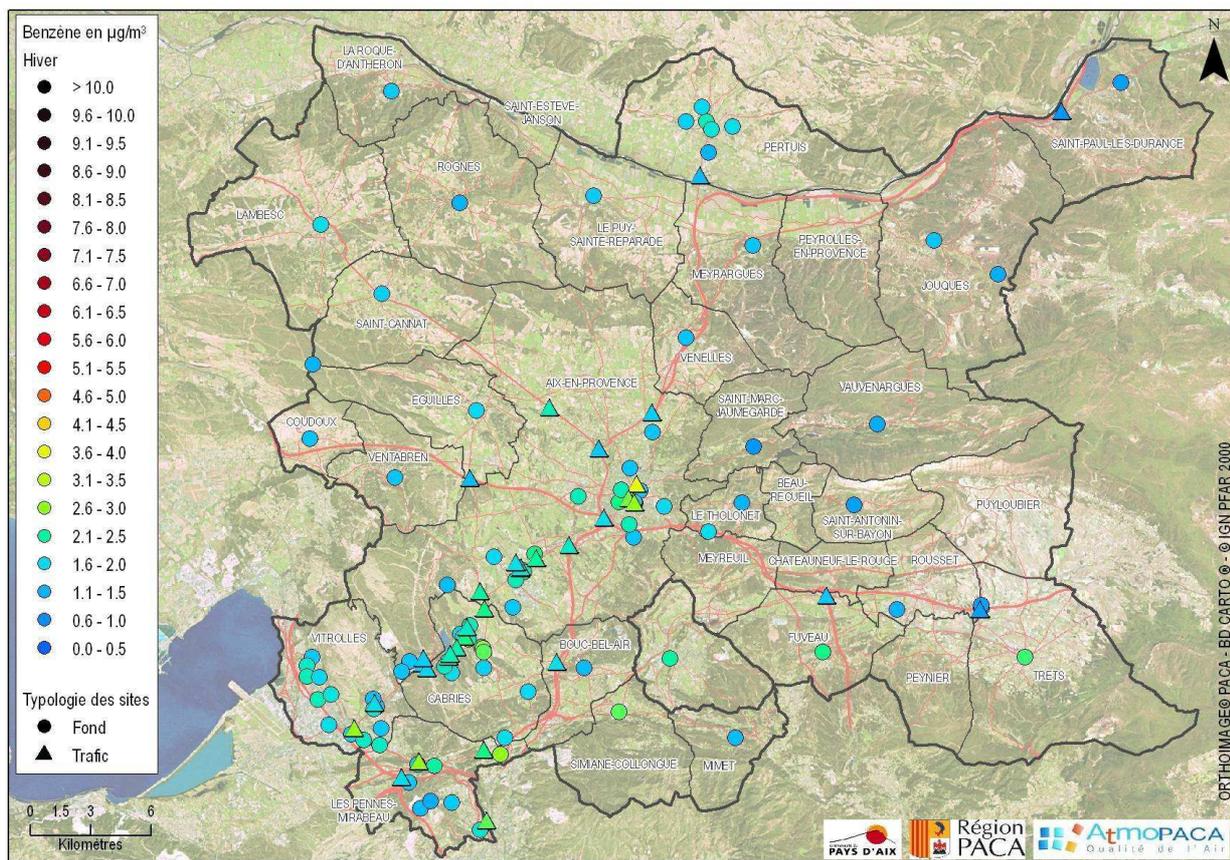


Figure 30 : Concentrations hivernales en benzène

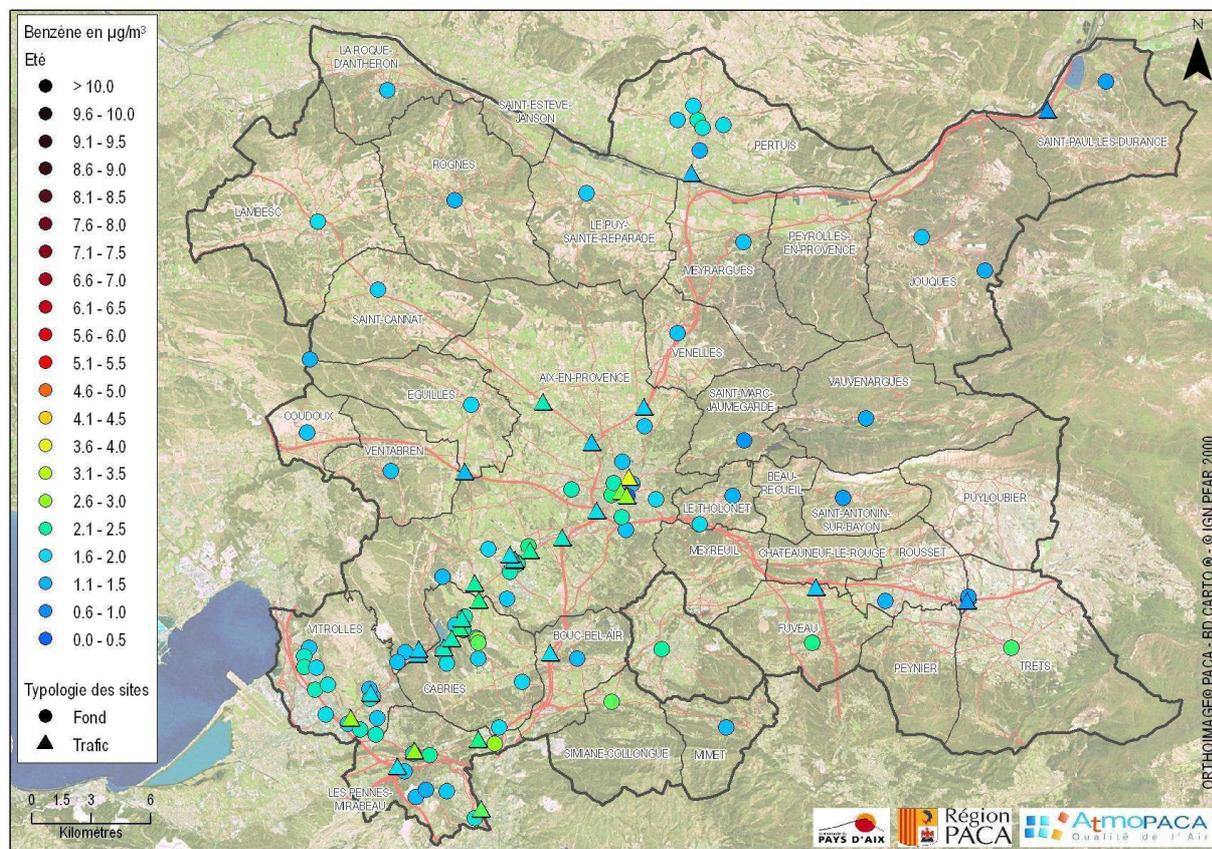


Figure 31 : Concentrations estivales en benzène

TYPOLOGIE DES SITES

Le benzène a été évalué sur 128 sites en air extérieur (et 13 en air intérieur – cf. chapitre suivant).

	Effectif	Moyenne	Ecart-type	Minimum	Maximum
urbain	13	1.7	0.93	0.9	4.7
trafic	32	1.5	0.47	0.6	3.0
observation	14	1.3	0.41	0.7	2.2
périurbain	60	1.2	0.29	0.6	1.9
rural	6	1	0.30	0.6	1.4
industriel	3	1.2			
Total	128				

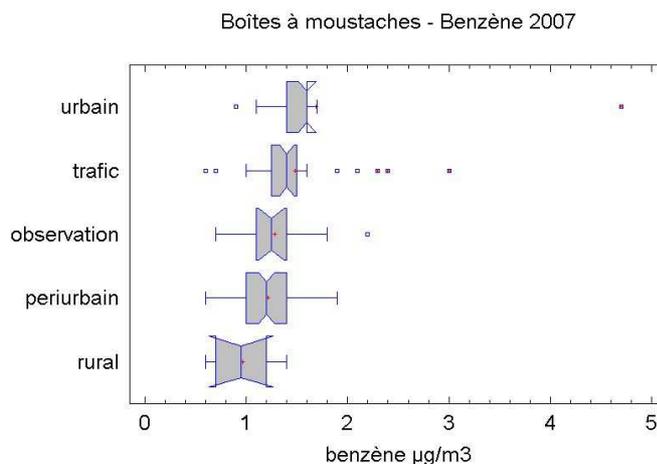


Figure 32 : Données statistiques - valeurs 2007 en benzène et typologie des sites

Les boîtes à moustaches représentent par typologie de sites la répartition des valeurs en benzène : la boîte représente 50% des échantillons. L'encoche est la médiane et la croix rouge la moyenne. Les valeurs atypiques (extrêmes) sont représentées par des points en dehors des boîtes.

Les sites urbains correspondent à l'échantillon de valeurs les plus élevées (le point extrême étant celui de la cheminée d'extraction du parking Mignet à Aix). Les sites urbains sont 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.

Les sites de trafic, pourtant directement soumis aux émissions de benzène dues à la circulation, montrent une moyenne générale en benzène moins élevée que les sites urbains (de 1.5 µg/m³ contre 1.7 µg/m³). La catégorie « trafic », toujours « calibrée » en fonction d'un nombre minimum journalier de véhicules au nombre de 10 000, présente néanmoins des environnements très différents : les valeurs extrêmes basses sont les autoroutes (A8-Rousset et A51 au niveau de Saint Paul les Durance) car les voies sont larges et aérées et le benzène émis se disperse facilement. Les valeurs extrêmes hautes correspondent à des situations de trafic encombrées : il s'agit de la place Bellegarde à Aix et de la Rotonde.

Ainsi les teneurs élevées en benzène sont dépendantes de la combinaison des facteurs environnementaux défavorables suivants, mais toujours accompagnés d'une conformation locale peu large et peu aérée :

- 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...

RESULTATS POUR LE BENZENE

Niveaux Annuels

Dans l'aire d'étude de la CPA, aucun site échantillonné ne dépasse la valeur limite annuelle de 5 µg/m³ à l'échéance 2010 et, a fortiori, celle de 8 µg/m³ pour 2007.

L'objectif de qualité pour le benzène, de 2 µg/m³ annuel, est dépassé sur 7 sites :

La cheminée d'extraction du parking Mignet à Aix (site urbain) présente 4.7 µg/m³ : les polluants issus des véhicules circulant dans le parking souterrain sont concentrés au débouché de la cheminée.

A Aix-en-Provence, les points situés place Bellegarde, Rotonde et bd du Roy René indiquent respectivement des concentrations de 3 µg/m³, 2.3 µg/m³ et 2.1 µg/m³. Au niveau de ces 3 sites circulent environ 20 000 véhicules par jour.

Les émissions en benzène sont favorisées en raison des vitesses de roulage peu élevées (rond-point, embouteillages). L'environnement (bâti) limite également la dispersion des polluants.

Aux Pennes Mirabeau, 2 sites (tunnel au niveau de la N113 et A7 secteur Notre Dame à l'entrée de Marseille) atteignent respectivement $2.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ et $2.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Le trafic important est à l'origine de ces teneurs.

Le site au sud de la zone commerciale de Plan de Campagne, devant le Mac Donald, indique une concentration de $2.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Le trafic est régulier et assez important sur ce secteur, qui, de plus, correspond à une vaste zone de parking.

Les teneurs en benzène en zones rurales, les plus basses relevées sur le domaine de la CPA, varient entre 0.6 et $0.8 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Elles concernent les secteurs de Cadarache et Saint-Paul-lez-Durance, Jouques, Saint-Antonin-sur-Bayon, Rousset, secteurs de la vallée de la Durance, Sainte Victoire et Nord du bassin de l'Arc.

Niveaux Saisonniers

La saison estivale est la moins favorable, en terme de météorologie, à l'accumulation des polluants primaires, tel que le benzène, même si les émissions par évaporation avec la chaleur peuvent être un peu plus importantes. Les niveaux sont donc inférieurs aux concentrations hivernales : la moyenne de l'ensemble des sites en été est de 1.7 contre $3.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en hiver (en excluant le site un peu atypique de l'extracteur du parking Mignet à Aix).

Le rapport Toluène sur Benzène (T/B), qui est compris entre 1 et 7 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.

RESULTATS POUR LE TOLUENE ET LES XYLENES

Les sites dont les concentrations annuelles 2007 en benzène sont les plus élevées de l'échantillon, montrent également les concentrations maximales en toluène et xylènes. Ces teneurs sont à relier directement aux émissions des véhicules.

La répartition spatiale de ces trois polluants est similaire.

CARTOGRAPHIES POUR LE TOLUENE ET LES XYLENES - CHIFFRES CORRESPONDANT EN PAGE 152

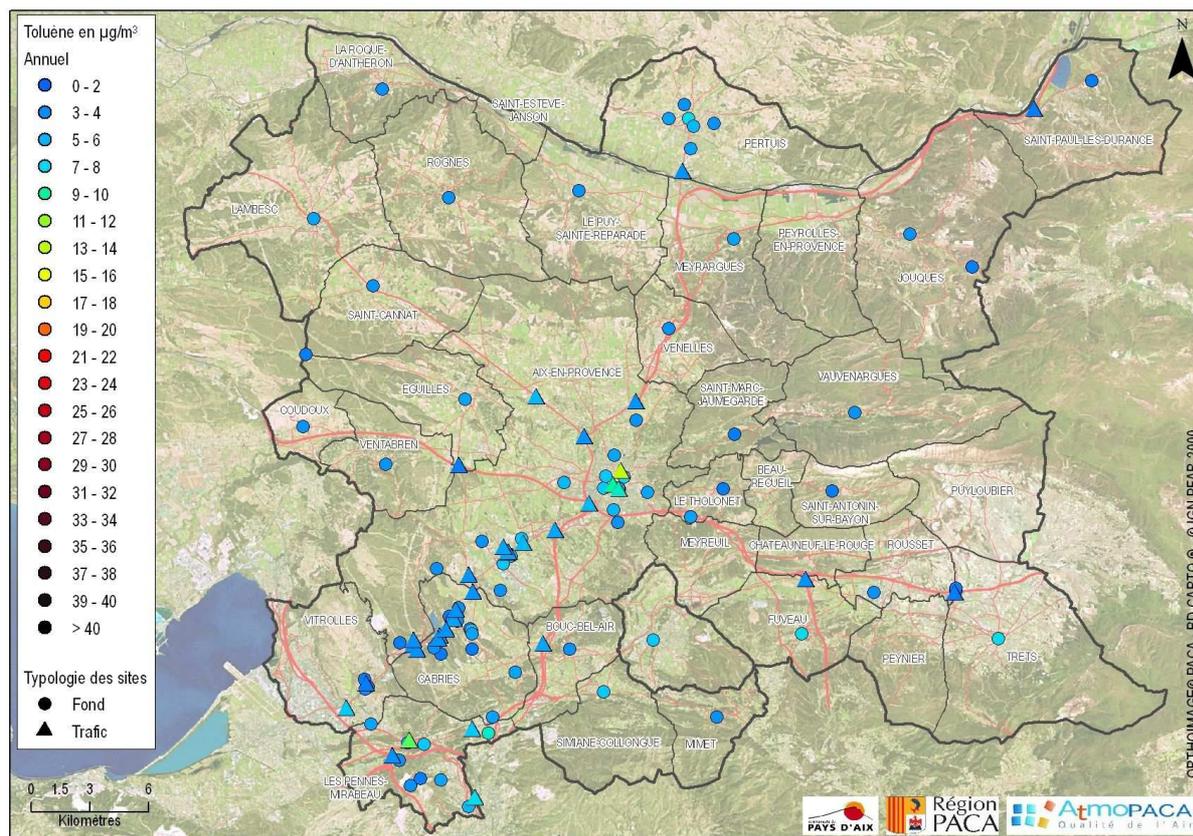


Figure 33 : Concentrations annuelles 2007 en toluène

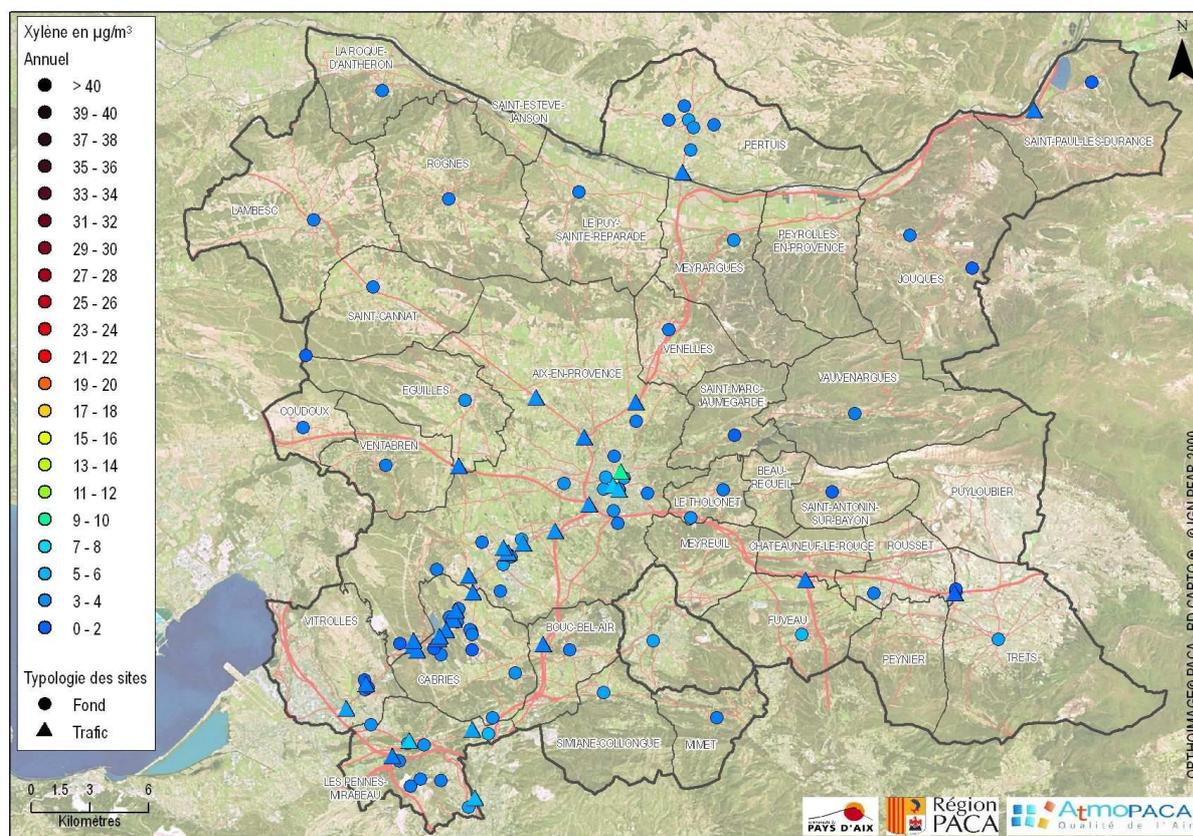


Figure 34 : Concentrations annuelles 2007 en xylènes

2.2.3. ALDEHYDES

2.2.3.1. ORIGINE, DYNAMIQUE, EFFETS SANITAIRES ET NORMES

Formaldéhyde :

Les sources de formaldéhyde (colles, résines, isolants, panneaux, contre plaqués, tissu, émissions des livres et magazines neufs, peintures à base de solvants) sont plutôt présentes en air intérieur. La fumée de cigarette et les opérations de cuisson ménagère sont également des émetteurs. En air extérieur, les concentrations sont données par les échappements non équipés de pots catalytiques.

Le formaldéhyde, odeur piquante, est un gaz irritant et un cancérigène potentiel.

Valeurs de référence disponibles pour le **formaldéhyde** (pour information):

- L'AFSSET a proposé en 2007 une VGAI (valeur guide pour l'air intérieur) court terme applicable sur deux heures et une VGAI pour une exposition long terme. Elles sont respectivement de 50 µg/m³ sur 2 heures et de 10 µg/m³.
- Pour les expositions en air intérieur, l'OMS a fixé une valeur guide de 100 µg/m³ sur 30 minutes.

(Cf. : WHO Air Quality Guidelines for Europe (2000), chap. 5-8, formaldéhyde

http://www.euro.who.int/document/aicq/5_8formaldehyde.pdf)

- Projet européen INDEX : 30 µg/m³ avec un objectif de concentration aussi bas que possible (principe ALARA)
- Norvège : 100 µg/m³ (30 min)
- Finlande (target value for indoor air quality and climate) : 30 µg/m³ (S1 : qualité la meilleure), 50 µg/m³ (S2 : bonne qualité), 100 µg/m³ (S3 : qualité moyenne sans effets sanitaires)
- Canada : 123 µg/m³ (1h), 50 µg/m³ (8h)

Autres aldéhydes :

	Sources
Acroléine	Effluent automobile, fumée de tabac, combustion et chauffages des graisses animales et végétales
Propionaldéhyde	Incinérateurs de déchets municipaux, combustion du bois, de l'essence, du carburant diesel, et des polyéthylènes La fumée du tabac en contient également
Butyraldéhyde	Photocopieurs
Benzaldéhyde	Peintures à phase solvant, photocopieurs, parquet traité. Panneaux de particules, émissions des livres et magazines neufs, peintures à phase solvant, produit de traitement du bois (phase aqueuse), panneaux de bois brut
Isovaléraldéhyde	Parquet traité, panneaux de particules.
Valéraldéhyde	Emissions des livres et magazines neufs, peintures à phase solvant, panneaux de particules

2.2.3.2. RESULTATS

Tableau 3 : Evaluation des niveaux d'Aldéhydes sur la moyenne des deux périodes

Id	typo	Description	Moyenne des 2 périodes							
			Formaldéhyde	Acroléine	Acétaldéhyde	Propionaldéhyde	Butyraldéhyde	Benzaldéhyde	Isovaléraldéhyde	Valéraldéhyde
194	intérieur	Pertuis salle double	40.29	< 0,5	< 0,2	2.81	7.10	0.96	16.78	5.35
192	intérieur	Pertuis salle de l'école A vers rue	40.01	0.93	< 0,2	2.78	9.36	1.73	1.18	5.37
195	intérieur	Pertuis salle simple	33.01	< 0,5	< 0,2	3.92	12.35	0.85	< 0,3	15.33
193	intérieur	Pertuis salle de l'école B vers stade	31.96	0.62	< 0,2	3.13	10.63	2.07	< 0,3	10.05
93	intérieur	Aix college Mignet classe 2	29.87	< 0,5	< 0,2	4.70	15.25	0.42	< 0,3	22.58
90	intérieur	Aix college Mignet classe 1	29.57	< 0,5	< 0,2	1.47	4.03	0.31	< 0,3	2.50
76	intérieur	Pertuis cantine C	25.91	< 0,5	< 0,2	2.12	9.26	1.54	< 0,2	6.58
197	intérieur	Milles dir . Transport CPA bureau directrice	23.35	< 0,3	< 0,2	3.68	10.65	1.07	< 0,3	8.20
198	intérieur	Penne Mirabeau Mairie bureau B	18.62	< 0,3	< 0,2	2.10	6.72	0.79	1.34	4.40
77	intérieur	Aix Hôtel de Boades accueil A	15.57	< 0,5	< 0,2	2.73	6.68	0.80	< 0,2	4.14
210	intérieur	Milles dir . Transport CPA Second bureau	14.44	< 0,5	< 0,2	8.24	14.86	0.77	< 0,3	12.73
196	intérieur	Hotel Boades bureau B	10.96	< 0,3	< 0,2	2.60	7.20	0.95	< 0,3	4.08
79	intérieur	Milles dir. transport CPA accueil A	10.56	< 0,5	< 0,2	2.90	7.10	0.56	0.92	5.28
78	intérieur	Penne Mirabeau accueil A	8.83	< 0,5	< 0,2	1.46	4.35	0.37	< 0,2	3.35
39	trafic	Aix rotonde office du tourisme	2.71	< 0,3	< 0,1	0.50	1.21	0.14	< 0,2	0.42
174	trafic	Vitrolles Le Griffon arrêt bus le griffon	2.20	< 0,5		0.52	1.59	< 0,2	< 0,3	0.47
183	trafic	Aix Roy René station Aix centre	2.13	< 0,3	< 0,1	0.41	1.00	0.13	< 0,2	0.36
186	périurbain	Pennes Mirabeau station	2.08	< 0,3	< 0,1	0.44	1.27	< 0,1	< 0,2	0.41
163	périurbain	Calas rue du Baseli	2.07	< 0,5		0.48	1.44	< 0,2	< 0,3	0.46
164	périurbain	Calas place de l'église	2.02	< 0,5		0.50	1.40	< 0,2	< 0,3	0.44
89	urbain	Aix Cours collège Mignet extraction parking	2.00	< 0,3		0.43	1.79	0.14	< 0,2	0.40
2	périurbain	Lambesc mairie	1.80	< 0,3	< 0,1	0.44	1.37	< 0,1	< 0,2	0.44
178	trafic	Calas RD9 & RD9b	1.75	< 0,5		0.40	1.32	< 0,1	< 0,3	0.40
151	périurbain	Pertuis Ecole Saint Roch - Labo Atmo PACA	1.74	< 0,3	< 0,1	0.42	1.12	0.11	< 0,2	0.39
24	périurbain	RD9 Calas impasse Paul Boussin	1.73	< 0,5		0.40	1.12	< 0,2	< 0,3	0.35
18	périurbain	Tholonet Palette rue de la Libération	1.72	< 0,3	< 0,1	0.41	1.26	< 0,1	< 0,2	0.38
156	périurbain	Calas_Clos Saint Imbert	1.69	< 0,5		0.44	1.27	< 0,2	< 0,3	0.40
114	périurbain	Penne Mirabeau mairie	1.68	< 0,3		0.40	1.30	< 0,1	< 0,2	0.42
162	périurbain	Calas rue Van Gogh	1.68	< 0,5		0.43	1.38	< 0,2	< 0,3	0.47
182	urbain	Aix Ecole d'Art station	1.65	< 0,3	< 0,1	0.39	0.97	< 0,1	< 0,2	0.34
161	trafic	Calas pont sous RD9	1.65	< 0,5		0.44	1.30	< 0,2	< 0,3	0.41
185	industriel	Gardanne station	1.64	< 0,3	< 0,1	0.37	1.15	< 0,1	< 0,2	0.34
9	périurbain	Jouques mairie	1.60	< 0,3		0.20	0.82	< 0,1	< 0,2	0.32
181	urbain	Aix Jas de Bouffan station	1.59	< 0,3	< 0,1	0.33	0.84	< 0,1	< 0,2	0.26
176	rural	Calas rural golf	1.54	< 0,5		0.39	1.11	< 0,2	< 0,3	0.39
109	périurbain	Milles cabine P. D des transports de la CPA	1.48	< 0,3	< 0,1	0.32	1.03	< 0,1	< 0,2	0.33
169	trafic	Calas Rond point RD9	1.47	< 0,5		0.40	1.06	< 0,2	< 0,3	0.40
101	trafic	Milles ferronnerie Ventajol	1.46	< 0,3	< 0,1	0.34	0.98	< 0,1	< 0,2	0.41
180	périurbain	Aix Platanes station	1.41	< 0,3	< 0,1	0.33	1.02	< 0,1	< 0,2	0.37
160	observation	Calas_Clos Saint Imbert	1.39	< 0,5		0.37	0.98	< 0,2	< 0,3	0.32
107	observation	Milles entrée de la base aérienne	1.38	< 0,3	< 0,1	0.32	0.93	< 0,1	< 0,2	0.36
184	industriel	Bouc-Bel-Air station	1.38	< 0,3	< 0,1	0.30	0.89	0.14	< 0,2	0.30
102	périurbain	Milles mairie Av du docteur Reibaud	1.37	< 0,3		0.25	1.02	< 0,1	< 0,2	0.31
16	périurbain	Coudoux impasse Calendal	1.32	< 0,3		0.27	1.03	< 0,1	< 0,2	0.26
155	trafic	Gare TGV Aix-en-Provence pont sur RD9	1.28	< 0,3		0.24	0.94	< 0,1	< 0,2	0.31
68	trafic	Roussset A8	1.26	< 0,3	< 0,1	0.38	1.17	< 0,1	< 0,2	0.41
84	rural	Jouques Saint Charles	1.24	< 0,3		0.18	0.71	< 0,1	< 0,2	3.90
179	rural	Cadarache station	1.20	< 0,3	< 0,1	0.24	0.82	< 0,1	< 0,2	0.29
85	trafic	Saint-Paul-les-Durance Autoroute	1.12	< 0,3	< 0,1	0.27	0.98	< 0,1	< 0,2	0.38
211	trafic	Camion labo RD9	0.21	< 0,3	< 0,1	< 0,1	< 0,4	< 0,1	< 0,2	< 0,1

Les sites en air intérieur (surlignés en bleu clairs) sont traités dans le chapitre suivant.

Les concentrations relevées en formaldéhyde en air extérieur sur le domaine d'étude, toutes périodes confondues, varient de 0.2 à 2,8 µg/m³.

Ces résultats sont conformes à ceux trouvés pour d'autres études environnementales françaises : concentrations inférieures à 2 µg/m³ pour des sites ruraux ou périurbains, et de 3 à 20-30 µg/m³ pour des sites urbains (source INERIS)

La saison estivale est moins favorable à l'accumulation des polluants primaires, tel que le formaldéhyde. Aussi, les résultats de la campagne estivale sont-ils inférieurs aux concentrations hivernales et par extension aux concentrations moyennes sur les deux périodes (se reporter aux tableaux page 154 : résultats sur les périodes estivale et hivernale).

Tableau 4 : Concentrations en formaldéhydes dans différents environnements (source : INERIS³)

Environnement	Concentration (µg/m ³)
Air ambiant	
Rural	< 1
Périurbain	< 2
Urbain	3 à 20-30
Urbain (circulation dense ou épisode d'inversion)	Pics de 100
Proximité sources industrielles (raffineries, pétrochimie)	5-15
Air intérieur	
Habitat conventionnel	25-60
Chambre	6-127
Mobil home	100
Présence de fumeurs	50-350
Hygiène professionnelle	
Bureau conventionnel	30-60
Avec présence de source	1000
Présence de fumeurs	30-350
Concentration dans les flux d'aspiration d'une cigarette	60 000-130 000

Sept sites présentent les concentrations maximales en formaldéhyde. Ils montrent également des teneurs élevées en propanaldéhyde, butyraldéhyde et valéraldéhyde. Il s'agit des sites :

- n° 39 « Aix Rotonde », avec 2.7 µg/m³ en formaldéhyde (moyenne des deux périodes)
- n° 174 « Vitrolles Griffon », avec 2,2 µg/m³
- n° 183 « Station Aix centre Roy René », avec 2.1 µg/m³
- n° 186 « Station des Pennes Mirabeau », avec 2.1 µg/m³
- n° 163 « Calas Rue Baseli », avec 2,1 µg/m³
- n°164 « Calas Place de l'Eglise », avec 2 µg/m³
- n° 89 « Aix Extracteur du parking Mignet », avec 2 µg/m³

Ces polluants prennent plutôt leur source en air intérieur. En air extérieur, sur le domaine d'étude de la CPA, ces teneurs sont peu importantes, à relier aux émissions du trafic routier. Les sites montrant les teneurs les plus élevées en formaldéhyde ont aussi des teneurs hautes en benzène et/ou dioxyde d'azote.

A noter la concentration non expliquée de 3.9 µg/m³ en valéraldéhyde sur le site rural de Jouques (secteur Saint Charles), alors que les sites en air extérieur présentent des concentrations variant entre 0.26 et 0.47 µg/m³.

³ Rapport d'étude – Exposition par inhalation au formaldéhyde dans l'air – 21/12/2004

CARTOGRAPHIES POUR LE FORMALDEHYDE

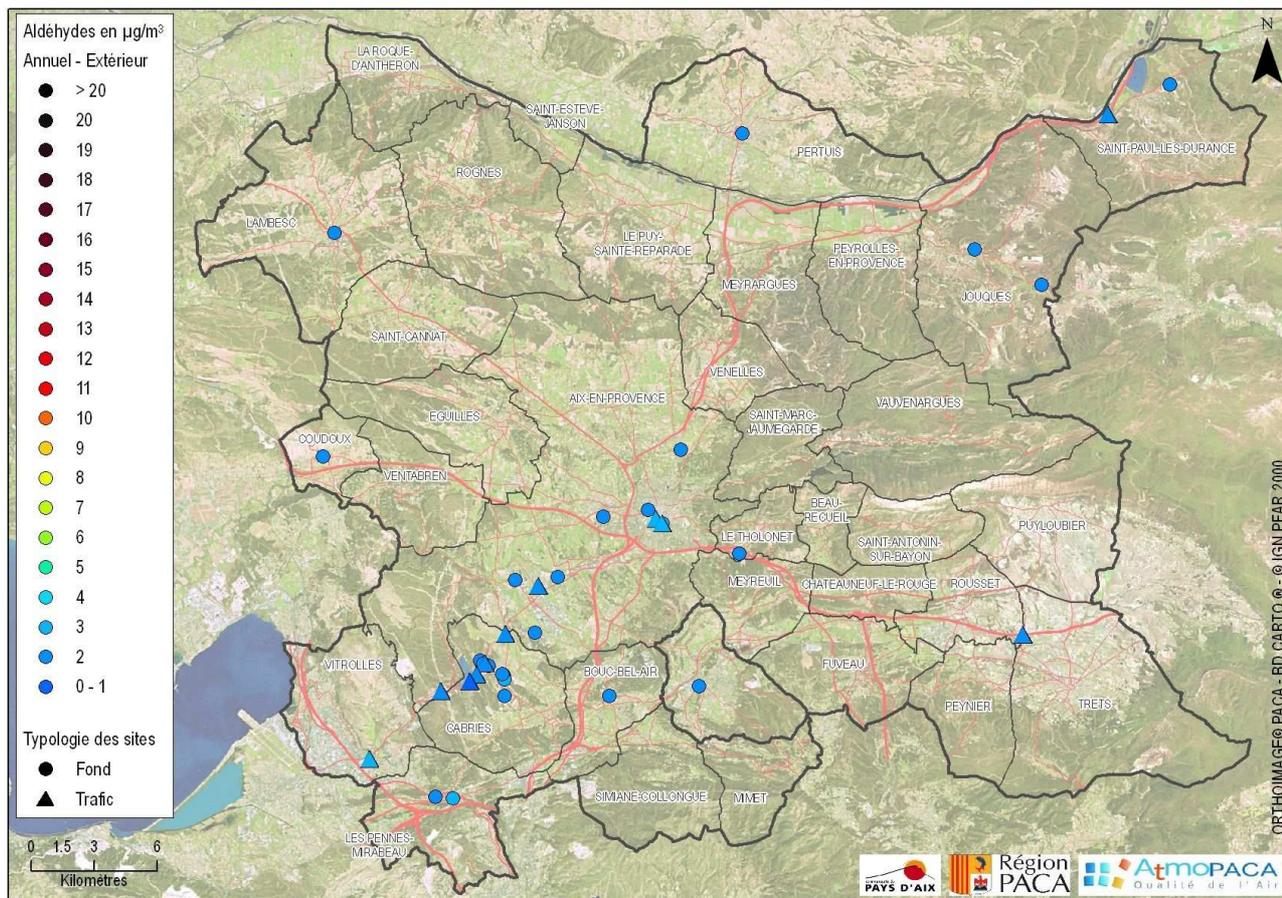


Figure 35 : Concentrations moyennes sur les deux périodes pour le formaldéhyde

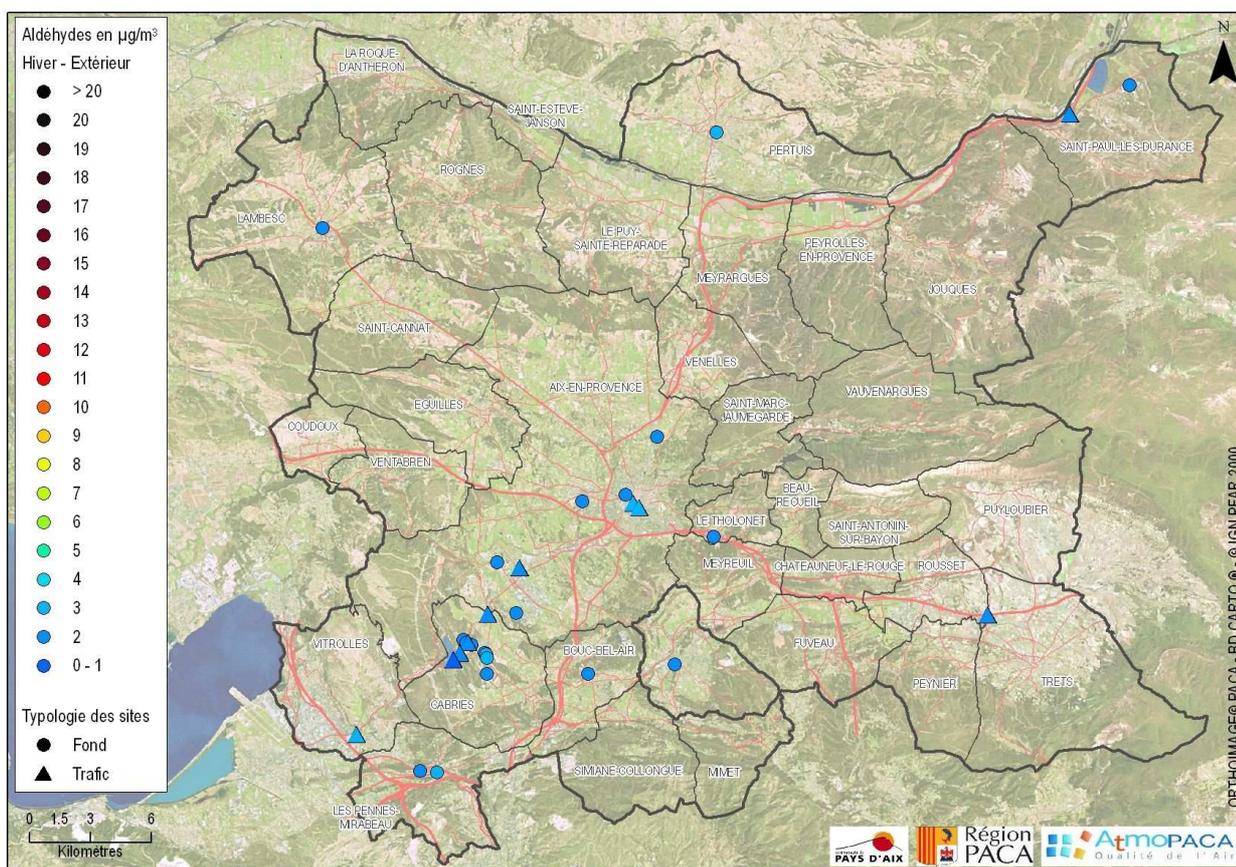


Figure 36 : Concentrations moyennes en hiver pour le formaldéhyde

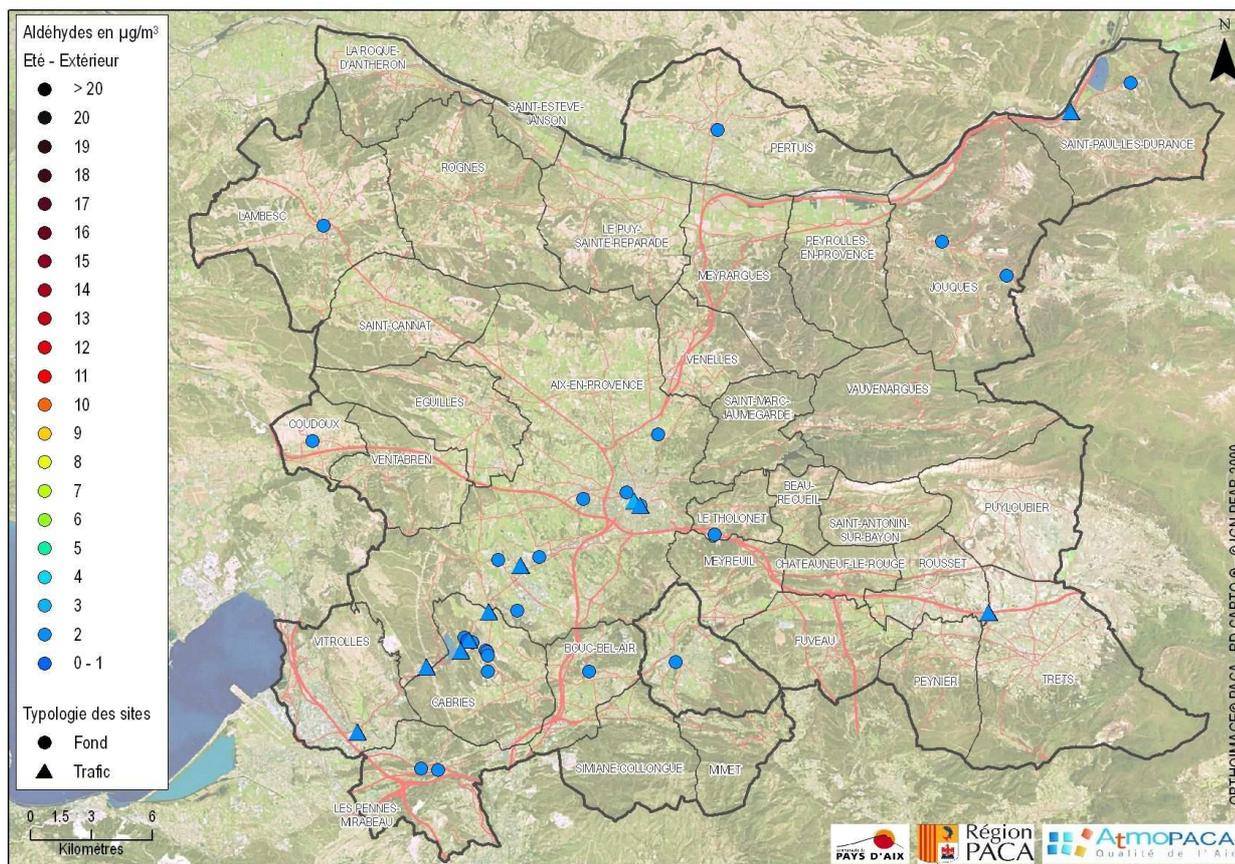


Figure 37 : Concentrations moyennes en été pour le formaldéhyde

2.3. RESULTATS EN AIR INTERIEUR - DISCUSSION -

2.3.1. CONTEXTE

Le Ministère de l'Ecologie, de l'Energie, du Développement Durable et de l'Aménagement du Territoire, au travers d'une note datée de janvier 2008, donne pour mandat aux associations de surveillance de la qualité de l'air en France, la mission d'évaluer, la qualité de l'air des lieux clos ouverts au public, en accord avec les exploitants de ces lieux (enceintes ferroviaires, aéroports, gares, tunnels, écoles, crèches, piscines, gymnases, parkings, centres commerciaux, etc). Il s'agit aussi de constituer un lieu d'information privilégié sur la qualité de l'air intérieur, pour les lieux clos ouverts au public.

Les mesures réalisées en air intérieur au sein de la campagne CPA ont concerné des lieux d'accueil du public : accueil de la mairie des Pennes Mirabeau, accueil de la CPA (sa direction des transports et sa direction de la communication), quelques bureaux de travail et des salles de classes de l'école Saint Roch à Pertuis. Deux classes du collège Mignet à Aix se sont greffées à cet échantillonnage en air intérieur à l'occasion de mesures dans la cour du collège, réalisées en parallèle de la campagne CPA.

Ces mesures doivent être considérées comme exploratoires. En effet, la qualité de l'air intérieur dépend de sources qui lui sont propres, différentes de celles en extérieur (émissions de formaldéhyde par les contreplaqués et les peintures à base de solvants, d'acroléine par la fumée de cigarette, de valéraldéhyde par les magazines et les livres neufs, de butyraldéhyde par les photocopieurs, ...). Le monoxyde de carbone provient du mode de chauffage et le dioxyde d'azote des combustions de cuisinière ; le benzène est issu de solvants utilisés par exemple dans des produits d'entretien. Aussi, les mesures en air intérieur doivent s'accompagner d'une description précise des locaux (paramètres de confort : hygrométrie, température, type d'ameublement) pour relier les concentrations enregistrées à des émissions intérieures.

Cependant, un tel protocole de recueil de ces données équivaut à un projet à part entière. Cela n'a pas été réalisé dans le cadre de la campagne CPA dont l'objectif principal était l'évaluation de la qualité de l'air extérieur.

Les résultats des mesures en air intérieur ont donc été analysés plutôt en regard des données d'air extérieur et correspondent à des tendances.

2.3.2. REFERENCES

A titre d'information et pour comparer avec les résultats en air intérieur de la CPA, l'Observatoire de la Qualité de l'Air Intérieur (OQAI)⁴ donne une concentration médiane de 12.2 µg/m³ pour le **toluène** mesuré dans 567 logements français (et de 110.4 µg/m³ dans les garages).

La médiane pour le **m-p-xylène** est de 5.6 µg/m³ dans les logements français (et 58.9 µg/m³ dans les garages).

La médiane pour le **o-xylène** dans les logements est de 2.3 µg/m³ (et de 20.8 µg/m³ dans les garages).

La médiane pour l'**éthylbenzène** (sources : effluents automobiles et cires) est de 2.3 µg/m³ pour les logements (et de 18 µg/m³ dans les garages).

Pour le **benzène** (sources en air intérieur : carburant, tabagisme, produits de bricolage, ameublement, produits de construction et de décoration), la médiane dans les logements français est de 2.1 µg/m³ (et de 4.4 µg/m³ dans les garages).

Concernant le **formaldéhyde**, la valeur guide de l'AFSSET en air intérieur est de 10 µg/m³ sur du long terme.

Les gammes de concentrations d'études recensées par l'INERIS sont les suivantes :

- Habitat conventionnel : 25 à 60 µg/m³
- Chambres : 6 à 127 µg/m³
- Mobil home : 100 µg/m³
- Présence de fumeurs : 50 à 350 µg/m³

Une étude autrichienne (Wantke et al – 1996) donne une étendue de teneurs en formaldéhyde de 53 à 92 µg/m³ dans des écoles avec panneaux d'agglomérés en 1992, contre 29 à 36 µg/m³ dans des écoles en briques en 1993.

Le suivi du formaldéhyde dans l'ensemble des établissements scolaires et lieux d'accueil de la petite enfance de la ville de Strasbourg (526 points de mesure) a été réalisé pendant 3 mois d'hiver en 2004 par l'ASPA (réseau de surveillance de l'air en Alsace). La concentration moyenne en formaldéhyde mesurée sur l'ensemble des sites suivis est de 23 µg/m³ (médiane de 19 µg/m³ ; écart type de 15 µg/m³). Respectivement 49%, 11%, 2% et 1% des sites présentaient des concentrations supérieures à 20, 40, 60, et 80 µg/m³.

Le formaldéhyde est en quantité plus importante dans les locaux où les sources sont présentes, et/ou le renouvellement d'air est faible. En effet, dans les constructions actuelles, l'étanchéité des bâtiments est souvent optimisée, et parfois aucun système de ventilation n'est installé. Aussi, afin de réduire les teneurs en polluants, le premier conseil est de ventiler en ouvrant les fenêtres des salles de classe ou bureaux, pour renouveler l'air intérieur par de l'air extérieur moins chargé en ce composé, mais également de vérifier le bon fonctionnement des unités de ventilation mécanique ou d'en équiper les locaux.

⁴ L'OQAI (Observatoire de la Qualité de l'Air Intérieur), créé par les ministères en charge de la construction, de la santé et de l'écologie, l'ADEME (Agence De l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie), le CSTB (Centre Scientifique et Technique du Bâtiment) et l'ANAH (Agence Nationale de l'Habitat) a dressé le premier état de la qualité de l'air intérieur représentatif de 24 millions de résidences principales en France – 21 novembre 2006

2.3.3. RESULTATS



Figure 38 : Concentrations moyennes en aldéhydes en air intérieur

AIX COLLEGE MIGNET

Id	typo	Description	NO ₂ été	NO ₂ Hiver	NO ₂ 2007	B_ete	T_ete	X_ete	B_hiv	T_hiv	X_hiv	B_2007	T_2007	X_2007
90	intérieur	Aix college Mignet classe 1 RDC	/	26.2	23.9	/	/	/	1.4	4.5	2.5	1.1	3.9	2.6
93	intérieur	Aix college Mignet classe 22eme ét	/	21.2	19.5	/	/	/	0.9	5.4	6.7	0.6	4.6	6.1
88	urbain	Aix Cours du collège Mignet fond	25.1	39.3	34.6									
35	urbain	Aix rue Cabassol	22.3	37.9	32.5									

Id	Mesures été								Mesures hiver								Moyenne des 2 périodes							
	For	Acr	Acé	Pro	But	Ben	Iso	Val	For	Acr	Acé	Pro	But	Ben	Iso	Val	For	Acr	Acé	Pro	But	Ben	Iso	Val
90	/	/	/	/	/	/	/	/	29.57	< 0,5	< 0,2	1.47	4.03	0.31	< 0,3	2.50	29.57	< 0,5	< 0,2	1.47	4.03	0.31	< 0,3	2.50
93	/	/	/	/	/	/	/	/	29.87	< 0,5	< 0,2	4.70	15.25	0.42	< 0,3	22.58	29.87	< 0,5	< 0,2	4.70	15.25	0.42	< 0,3	22.58
88	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
35	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/

Abbréviations : B : Benzène ; T : Toluène ; X : Xylène ; For : formaldéhyde ; Acr : Acroléine ; Acé : Acétaldéhyde ; Pro : Propionaldéhyde ; But : Butyraldéhyde ; Ben : Benzaldéhyde ; Iso : Isovaléraldéhyde ; Val : Valéraldéhyde ; « / » : pas de mesures sur cette période

Les teneurs annuelles en **dioxyde d'azote** relevées dans les deux classes du collège Mignet sont modérées, de 24 µg/m³ pour la classe du rez-de-chaussée (point n°90) et de 20 µg/m³ pour la classe du 2ème étage (point n° 93).

La mesure en air extérieur au niveau de la façade du bâtiment (point n°88) est de 35 µg/m³, ce qui donne un coefficient de transfert extérieur vers intérieur de l'ordre de 70%. Cet abattement est probablement dû en grande partie au dépôt sec du dioxyde d'azote sur les surfaces, sachant que les classes ne contenaient pas de source de NO₂.

Les teneurs 2007 en **benzène** sont de 0.6 µg/m³ pour la classe du 2ème étage (point 93) et de 1.1 µg/m³ pour la classe du RDC (point 90).

Dans ces deux salles de classe, les teneurs en toluène et en xylène sont quasiment similaires (classe du RDC) ou bien, plus élevées (classe du 2eme étage) que celles de l'ensemble des sites en air extérieur, alors que les niveaux en benzène sont bien moins importants ; ce qui milite en faveur de sources intérieures spécifiques. Cela est bien marqué au niveau de la classe du 2ème étage.

En air intérieur, les principales sources de toluène et de xylène sont les peintures, vernis et colles. Les xylènes proviennent également des insecticides et le toluène des encres, moquettes, tapis, calfatage siliconé et vapeurs d'essences.

Les niveaux en benzène ou en aldéhydes (ci-après) relevés au niveau du collège pourraient être influencés par les émissions des travaux (peintures ?,...) qui ont eu lieu au niveau des façades (échafaudages) pendant la campagne de mesure, mais également par la conformation des locaux pouvant entraîner une aération très différente entre les deux salles de classes : le RDC et le premier étage sont de type « ancien » haussmannien, alors que le second étage est plus récent.

Les teneurs en **formaldéhyde** analysées sur le site n° 89, « extraction Mignet » sont de 2 µg/m³ pour le mois de juin 2007. Ce résultat est conforme à ceux trouvés pour d'autres études environnementales françaises : concentrations inférieures à 2 µg/m³ pour des sites ruraux ou périurbain, et de 3 à 20-30 µg/m³ pour des sites urbains (source INERIS : Rapport d'étude – Exposition par inhalation au formaldéhyde dans l'air – 21/12/2004).

Les concentrations mesurées sur d'autres sites d'Aix, de typologie trafic (2.1 µg/m³ sur le Bd du Roy René, 2.7 µg/m³ sur la Rotonde,...) sont équivalentes à celles de l'extracteur en raison de leur proximité aux émissions d'aldéhydes issues des échappements de véhicules en milieu extérieur.

Les mesures de formaldéhyde de 30 µg/m³ en air intérieur dans les deux classes du collège Mignet (point 93 et 90) ne constituent qu'une approche, puisqu'elles ne concernent que le mois d'octobre 2007. Les variations saisonnières pourraient faire fluctuer ces données.

Ces mesures entrent dans la moyenne des concentrations en formaldéhyde (10-80 µg/m³) relevées dans d'autres écoles françaises (références ci-dessus – écoles de Strasbourg). Elles sont supérieures à la valeur guide de l'AFSSET de 10 µg/m³ sur du long terme.

Carte d'implantation des points de mesures

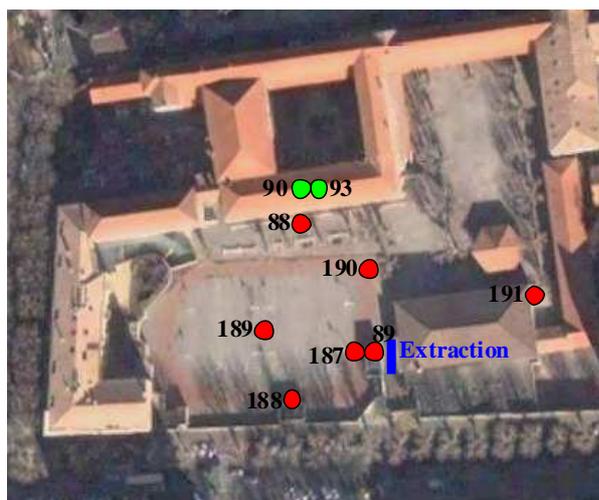


Figure 39 : Carte d'implantation des points de mesures au collège Mignet (en rouge : sites extérieurs, en vert : sites intérieurs)

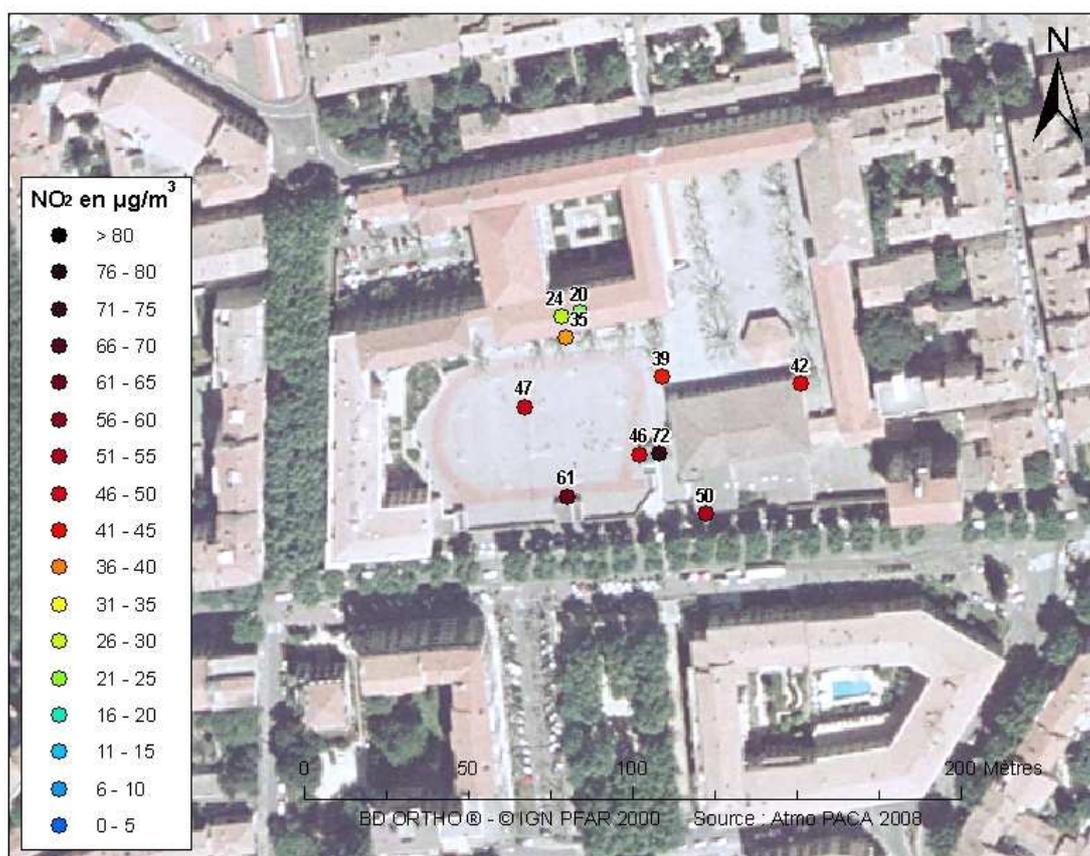


Figure 40 : Cartographie des niveaux de dioxyde d'azote au collège Mignet

AIX HOTEL BOADES – LOCAUX DE LA DIRECTION DE LA COMMUNICATION DE LA CPA

Id	typo	Description	NO ₂ été	NO ₂ Hiver	NO ₂ 2007	B_ete	T_ete	X_ete	B_hiv	T_hiv	X_hiv	B_2007	T_2007	X_2007
77	intérieur	Aix Hôtel de Boades accueil A	29.4	46.7	40.2	1.9	30.0	16.3	2.8	46.8	33.7	2.7	36.5	25.3
196	intérieur	Aix Hotel Boades bureau B	31.2	52.4	43.8	2.0	28.2	17.1	2.7	33.3	22.7	2.7	29.3	20.1
39	trafic	Aix rotonde office du tourisme	41.9	97.3	70.5	1.5	7.8	4.7	2.5	9.9	5.9	2.3	8.7	5.5
36	trafic	Aix Cours Sextius	46.1	61.6	55.3									

Id	Mesures été								Mesures hiver								Moyenne des 2 périodes							
	For	Acr	Acé	Pro	But	Ben	Iso	Val	For	Acr	Acé	Pro	But	Ben	Iso	Val	For	Acr	Acé	Pro	But	Ben	Iso	Val
77	19.16	< 0,3	/	3.09	8.06	1.01	< 0,2	5.38	11.98	< 0,5	< 0,2	2.37	5.30	0.59	< 0,3	2.91	15.57	< 0,5	< 0,2	2.73	6.68	0.80	< 0,2	4.14
196	13.31	< 0,3	/	3.04	8.50	1.15	< 0,2	5.62	8.61	< 0,5	< 0,2	2.16	5.91	0.74	< 0,3	2.54	10.96	< 0,3	< 0,2	2.60	7.20	0.95	< 0,3	4.08
39	/	/	/	/	/	/	/	/	2.82	< 0,3	< 0,1	0.59	1.02	0.15	< 0,2	0.50	2.71	< 0,3	< 0,1	0.50	1.21	0.14	< 0,2	0.42
36	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/

Abréviations : B : Benzène ; T : Toluène ; X : Xylène ; For : formaldéhyde ; Acr : Acroléine ; Acé : Acétaldéhyde ; Pro : Propionaldéhyde ; But : Butyraldéhyde ; Ben : Benzaldéhyde ; Iso : Isovaléraldéhyde ; Val : Valéraldéhyde ; « / » : pas de mesures sur cette période

L'estimation de la moyenne annuelle en **dioxyde d'azote** pour l'année 2007 est 71 µg/m³ au niveau de la Rotonde à quelques dizaines de mètres du bâtiment Boadès, et de 55 µg/m³ sur le cours Sextius. Les teneurs intérieures sont de 40 µg/m³ dans le hall d'accueil et de 44 µg/m³ dans le bureau dont la fenêtre donne sur le bd de la République. Le coefficient de transfert est d'environ 65% entre le boulevard et l'intérieur du bâtiment.

Les variations saisonnières sont sensibles en air intérieur, largement dépendantes des concentrations extérieures. En période hivernale, les concentrations intérieures en dioxyde d'azote augmentent de moitié, comme celles extérieures qui subissent cette même augmentation.

Les teneurs en **benzène** sont de 2.7 µg/m³ dans les deux lieux intérieurs (supérieures à l'objectif de qualité de 2 µg/m³ en air extérieur pour le benzène) alors qu'elles ne sont que de 2.3 µg/m³ sur la Rotonde. Ceci est également vrai pour le toluène et le xylène, ce qui indique des sources propres pour ces polluants en air intérieur. Le transfert extérieur vers intérieur seul ne permet pas d'atteindre ces niveaux.

Le ratio Toluène sur Benzène varie entre 3 et 5 sur les sites influencés uniquement par la pollution liée aux transports ; Lorsque ce ratio est inférieur à 3, une source de benzène autre que transport est généralement présente (ex : source industrielle). Le ratio toluène sur benzène dans l'Hôtel Boadès est très élevé (12) ce qui montre un excès de toluène et donc une source spécifique.

Une enquête spécifique permettrait de déterminer cette source : il pourrait s'agir d'une activité d'imprimerie en RDC, d'utilisation de solvants, de peinture fraîche, ou d'une prise d'air pour l'aération au niveau du parking extérieur.

Le moyenne sur les deux périodes en **formaldéhyde** est de 16 µg/m³ pour l'accueil et de 11 µg/m³ dans le bureau, soit des teneurs légèrement supérieures à la valeur guide de 10 µg/m³, mais dans la tranche basse des mesures réalisées dans le cadre des lieux intérieurs de la CPA ; mesures variant de 9 à 40 µg/m³. Ces valeurs moyennes en formaldéhydes vont de pair avec l'aération probable des locaux.

Hôtel Boades

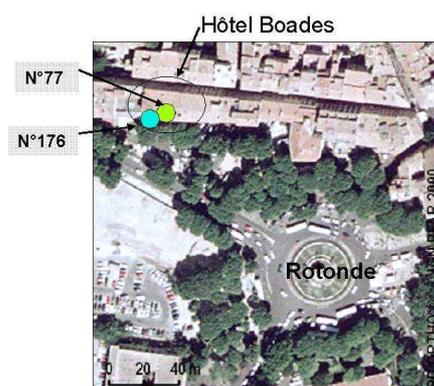


Bureau (N° 77)



Accueil (N°176)

Localisation des sites



AIX LES MILLES – LOCAUX DE LA DIRECTION DES TRANSPORTS DE LA CPA

Id	typo	Description	NO ₂ été	NO ₂ Hiver	NO ₂ 2007	B_ete	T_ete	X_ete	B_hiv	T_hiv	X_hiv	B_2007	T_2007	X_2007
79	intérieur	Milles dir. transport CPA accueil A	13.8	17.7	18.8	0.6	2.8	2.7	1.2	4.0	2.9	1.0	3.6	3.0
197	intérieur	Milles dir. Transport CPA bureau direction	11.2	20.4	18.9	0.6	3.4	3.4	/	/	/	1.3	4.7	4.3
210	intérieur	Milles dir. Transport CPA Second bureau	-	13.5	16.6	/	/	/	1.1	4.4	3.7	0.8	3.9	3.6
109	périurbain	Milles cabine P. D des transports de la CPA	18.5	43.5	33.4	0.7	2.2	1.3	1.3	3.2	1.8	1.1	2.9	1.7

Id	Mesures été								Mesures hiver						Moyenne des 2 périodes									
	For	Acr	Acé	Pro	But	Ben	Iso	Val	For	Acr	Acé	Pro	But	Ben	Iso	Val	For	Acr	Acé	Pro	But	Ben	Iso	Val
79	11.50	< 0,3		2.40	7.26	0.60	< 0,2	5.21	9.61	< 0,5	< 0,2	3.41	6.94	0.52	0.92	5.34	10.56	< 0,5	< 0,2	2.90	7.10	0.56	0.92	5.28
197	30.74	< 0,3		2.67	9.96	1.32	< 0,2	7.66	15.95	< 0,5	< 0,2	4.70	11.35	0.81	< 0,3	8.74	23.35	< 0,3	< 0,2	3.68	10.65	1.07	< 0,3	8.20
210	/	/	/	/	/	/	/	/	14.44	< 0,5	< 0,2	8.24	14.86	0.77	< 0,3	12.73	14.44	< 0,5	< 0,2	8.24	14.86	0.77	< 0,3	12.73
109	/	/	/	/	/	/	/	/	1.51	< 0,3	< 0,1	0.37	1.02	< 0,1	< 0,2	0.40	1.48	< 0,3	< 0,1	0.32	1.03	< 0,1	< 0,2	0.33

Abbréviations : B : Benzène ; T : Toluène ; X : Xylène ; For : formaldéhyde ; Acr : Acroléine ; Acé : Acéaldéhyde ; Pro : Propionaldéhyde ; But : Butyraldéhyde ; Ben : Benzaldéhyde ; Iso : Isovaléraldéhyde ; Val : Valéraldéhyde ; « / » : pas de mesures sur cette période

Les teneurs intérieures 2007 en **dioxyde d'azote** au niveau de l'accueil et dans les deux bureaux échantillonnés vont de 17 à 19 µg/m³. A l'extérieur, sur le parking devant l'entrée des locaux, cette mesure est de 33 µg/m³. Le différentiel est donc de 55% entre l'extérieur et l'intérieur (coefficient de transfert).

Les concentrations intérieures en **benzène** varient de 0.8 à 1.3 µg/m³ ; elles sont de 1.1 µg/m³ à l'extérieur.

Les concentrations en benzène et dioxyde d'azote intérieures sont dictées par les conditions extérieures. Effectivement ces teneurs sont plus faibles durant l'été et plus hautes durant la période hivernale.

La valeur guide pour le **formaldéhyde** en air intérieur édictée par l'AFSSET, de 10 µg/m³ est quasiment respectée à l'accueil, avec 11 µg/m³ en moyenne. Les teneurs faibles en formaldéhyde sont souvent le reflet d'une aération des locaux. Dans le bureau « direction » et le « second bureau face à la direction » les teneurs sont respectivement de 23 µg/m³ et 14 µg/m³, inférieures à la moyenne de l'échantillon des 14 mesures en air intérieur (sur 14 sites en air intérieur, la moyenne est de 24 µg/m³, la médiane de 25 µg/m³, l'écart type de 11 µg/m³, le minimum de 9 µg/m³ et le maximum de 40 µg/m³).

Par contre, les concentrations moyennes en propionaldéhyde, avec 8.2 µg/m³, en butyraldéhyde, avec 14.9 µg/m³ et en valéraldéhyde, avec 12.7 µg/m³, dans le second bureau sont plus élevées que les moyennes de l'échantillon pour ces polluants, respectivement de 3.2 µg/m³, 9 µg/m³ et 7.9 µg/m³. Ce marquage est un peu moins net dans le bureau direction.

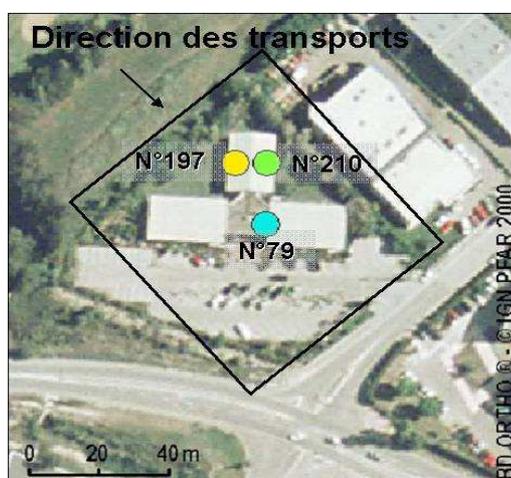
Ces polluants peuvent provenir de combustions, de photocopieurs en fonctionnement, d'émissions de livres neufs et peintures... Une source spécifique est probablement présente dans le second bureau ou à proximité de celui-ci.

Direction des transports de la CPA



Accueil (N°79)

Localisations des sites



LES PENNES MIRABEAU – LOCAUX DE L'HOTEL DE VILLE

Id	typo	Description	NO ₂ été	NO ₂ Hiver	NO ₂ 2007	B_ete	T_ete	X_ete	B_hiv	T_hiv	X_hiv	B_2007	T_2007	X_2007
78	intérieur	Penne Mirabeau accueil A	17.9	29.4	26.4	0.6	2.5	1.6	1.2	4.5	2.3	1.1	3.7	2.1
198	intérieur	Penne Mirabeau Mairie bureau B (comptable)	18.2	16.8	20.5	0.7	3.5	2.1	1.2	5.2	2.5	1.1	4.5	2.5
114	périurbain	Penne Mirabeau mairie	23.0	36.5	32.2	0.8	2.8	1.7	1.5	3.7	2.0	1.3	3.5	2.1

Id	Mesures été							Mesures hiver							Moyenne des 2 périodes									
	For	Acr	Acé	Pro	But	Ben	Iso	Val	For	Acr	Acé	Pro	But	Ben	Iso	Val	For	Acr	Acé	Pro	But	Ben	Iso	Val
78	8.49	< 0,3		1.19	4.62	0.37	< 0,2	3.97	9.18	< 0,5	< 0,2	1.73	4.08	0.37	< 0,3	2.73	8.83	< 0,5	< 0,2	1.46	4.35	0.37	< 0,2	3.35
198	17.69	< 0,3		1.54	6.62	0.77	< 0,2	4.10	19.55	< 0,5	< 0,2	2.66	6.82	0.81	1.34	4.71	18.62	< 0,3	< 0,2	2.10	6.72	0.79	1.34	4.40
114	1.51	< 0,3		0.28	1.15	< 0,1	< 0,2	0.35	1.85	< 0,3	< 0,1	0.53	1.44	< 0,1	< 0,2	0.49	1.68	< 0,3	< 0,1	0.40	1.30	< 0,1	< 0,2	0.42

Abréviations : B : Benzène ; T : Toluène ; X : Xylène ; For : formaldéhyde ; Acr : Acroléine ; Acé : Acétaldéhyde ; Pro : Propionaldéhyde ; But : Butyraldéhyde ; Ben : Benzaldéhyde ; Iso : Isovaléraldéhyde ; Val : Valéraldéhyde ; « / » : pas de mesures sur cette période

Les concentrations annuelles 2007 en **dioxyde d'azote** sont dans le hall d'accueil et dans le bureau comptable de 26 µg/m³ et de 21 µg/m³. A l'extérieur du bâtiment, au niveau du parking de la mairie, la concentration extérieure est de 32 µg/m³. Le coefficient de transfert extérieur vers intérieur est de 75% environ. La perte en dioxyde d'azote est due à des dépôts secs sur les surfaces.

Les teneurs en **benzène** sont de 1.1 µg/m³ à l'intérieur et de 1.3 µg/m³ à l'extérieur de la mairie.

Benzène et dioxyde d'azote à l'intérieur sont sous l'influence des conditions de concentrations extérieures. En effet, en hiver ces teneurs sont plus élevées dans les deux milieux ; c'est l'inverse en été.

Les teneurs moyennes en **formaldéhyde**, avec 19 µg/m³ sont plus hautes dans le bureau comptable qu'au niveau de l'accueil (9 µg/m³) peut-être mieux ventilé. La valeur de 19 µg/m³ est au-dessus de la valeur guide de 10 µg/m³ en formaldéhyde édictée par l'AFSSET. Cependant, ces teneurs en formaldéhydes font partie de classe basse des concentrations en formaldéhyde échantillonnées dans le cadre de la campagne CPA : moyenne de 24 µg/m³, minimum de 9 µg/m³ et maximum de 40 µg/m³ pour 14 sites.

Les teneurs en propionaldéhyde, en butyraldéhyde, et en valéraldéhyde sont en-dessous également des valeurs moyennes de l'échantillon.

Mairie des Pennes Mirabeau

Localisation des points de mesures



Bureau Comptable (N°198)



Accueil (N°78)



PERTUIS – ECOLE SAINT ROCH

Id	typo	Description	NO ₂ été	NO ₂ Hiver	NO ₂ 2007	B_ete	T_ete	X_ete	B_hiv	T_hiv	X_hiv	B_2007	T_2007	X_2007
192	intérieur	Pertuis salle de l'école A vers rue	11.3	/	21.3	0.6	5.6	2.7	/	/	/	1.4	7.0	3.7
193	intérieur	Pertuis salle de l'école B vers stade	11.3	10.9	14.3	0.4	10.4	4.8	1.1	7.7	4.1	0.9	8.9	4.7
194	intérieur	Pertuis salle double (2 classes coté à coté)	/	9.0	12.3	/	/	/	1.1	5.0	3.4	0.8	4.3	3.4
195	intérieur	Pertuis salle simple	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
76	intérieur	Pertuis cantine C	14.2	14.3	17.3	0.6	3.2	2.8	0.8	5.0	2.6	0.8	4.3	2.9
151	périurbain	Pertuis Ecole St Roch - Labo Atmo PACA	13.0	19.5	19.3	0.7	3.9	2.2	1.8	5.5	3.0	1.4	4.8	2.8

Id	Mesures été								Mesures hiver								Moyenne des 2 périodes							
	For	Acr	Acé	Pro	But	Ben	Iso	Val	For	Acr	Acé	Pro	But	Ben	Iso	Val	For	Acr	Acé	Pro	But	Ben	Iso	Val
192	40.00	0.93	/	2.04	9.13	2.01	< 0,2	3.93	40.02	< 0,5	< 0,2	3.51	9.58	1.45	1.18	6.81	40.01	0.93	< 0,2	2.78	9.36	1.73	1.18	5.37
193	34.87	0.62	/	1.86	8.60	2.39	< 0,2	6.53	29.05	< 0,5	< 0,2	4.40	12.67	1.75	< 0,3	13.56	31.96	0.62	< 0,2	3.13	10.63	2.07	< 0,3	10.05
194	/	/	/	/	/	/	/	/	40.29	< 0,5	< 0,2	2.81	7.10	0.96	16.78	5.35	40.29	< 0,5	< 0,2	2.81	7.10	0.96	16.78	5.35
195	/	/	/	/	/	/	/	/	33.01	< 0,5	< 0,2	3.92	12.35	0.85	< 0,3	15.33	33.01	< 0,5	< 0,2	3.92	12.35	0.85	< 0,3	15.33
76	19.24	< 0,3	/	1.30	7.86	1.25	< 0,2	6.13	32.58	< 0,5	< 0,2	2.94	10.67	1.83	< 0,3	7.04	25.91	< 0,5	< 0,2	2.12	9.26	1.54	< 0,2	6.58
151	1.09	< 0,3	/	0.21	0.78	< 0,1	< 0,2	0.26	2.38	< 0,3	< 0,1	0.62	1.46	0.11	< 0,2	0.53	1.74	< 0,3	< 0,1	0.42	1.12	0.11	< 0,2	0.39

Abréviations : B : Benzène ; T : Toluène ; X : Xylène ; For : formaldéhyde ; Acr : Acroléine ; Acé : Acétaldéhyde ; Pro : Propionaldéhyde ; But : Butyraldéhyde ; Ben : Benzaldéhyde ; Iso : Isovaléraldéhyde ; Val : Valéraldéhyde ; « / » : pas de mesures sur cette période

Les teneurs extérieures annuelles 2007 en **dioxyde d'azote**, coté stade, sont de 19 µg/m³. Dans les classes, elles varient de 12 à 21 µg/m³. Les locaux coté rue, salle de classe (A) et cantine, ont des concentrations respectives de 21 µg/m³ et 17 µg/m³. Ceux-ci sont probablement influencés directement par la circulation de la rue Saint Roch ou bien sous l'émission de dioxyde d'azote en provenance d'activité de cuisson ? Pour les autres classes, le coefficient de transfert extérieur vers intérieur est d'environ 70%.

Les concentrations en **benzène** sont inférieures à l'objectif de qualité de 2 µg/m³ annuel en air extérieur ; elles varient de 0.8 à 1.4 µg/m³ dans les classes et sont de 1.4 µg/m³ à l'extérieur sur le stade.

La variation saisonnière en dioxyde d'azote est peu marquée en atmosphère intérieure comme en atmosphère extérieure, car les niveaux pour ce polluant sont modérés.

Pour le benzène, la variation est visible : les niveaux passent du simple au double entre l'été et l'hiver dans les deux milieux.

Les teneurs moyennes en **formaldéhyde** varient de 32 µg/m³ à 40 µg/m³ dans les classes et sont de 26 µg/m³ dans la cantine :

- Salles de classe (préfabriquées), côté rue, et salle double : 40 µg/m³
- Salle de classe simple (préfabriquée) : 33 µg/m³
- Salle de classe (préfabriquée) coté stade : 32 µg/m³
- Salle de cantine : 26 µg/m³

La valeur guide de l'AFSSET sur le long terme, de 10 µg/m³ pour l'air intérieur est dépassée dans toutes ces salles.

De plus, ces teneurs sont les plus importantes parmi l'échantillon des 14 valeurs en air intérieur relevées pendant la campagne CPA. En effet, la moyenne est de 24 µg/m³, le minimum de 9 µg/m³ et le maximum de 40 µg/m³.

L'école de Pertuis possède actuellement des classes en préfabriquées, qui en principe sont plus fortement émettrices de formaldéhyde que d'autres locaux en dur (cf. les études citées en introduction).

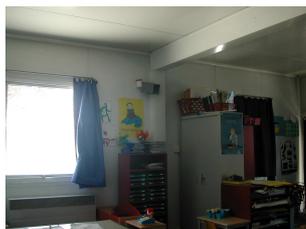
La salle de cantine, probablement plus aérée, voit ses niveaux diminuer.

De l'acroléine est décelée dans deux classes, avec 0.9 et 0.6 µg/m³, alors que les 12 autres sites ne présentaient que des traces inférieures à 0.5 µg/m³. Les sources d'acroléine sont les effluents automobiles, la fumée de tabac, les combustions,...

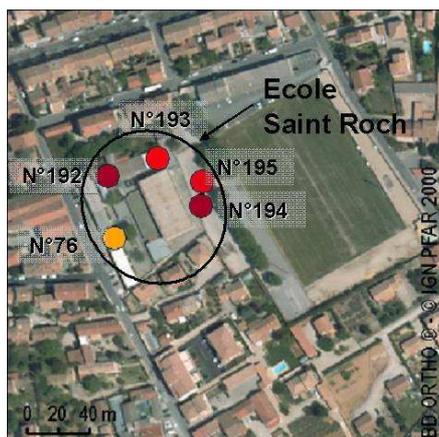
Dans la « classe simple », des concentrations moyennes en propionaldéhyde, avec 3.9 µg/m³, en butyraldéhyde, avec 12.4 µg/m³ et en valéraldéhyde, avec 15.3 µg/m³, sont plus élevées que les moyennes de l'échantillon pour ces polluants, respectivement de 3.2 µg/m³, 9 µg/m³ et 7.9 µg/m³. Cela pourrait dénoter une source spécifique de ces polluants dans cette classe, mais également dans la « classe B coté stade » où ces polluants sont présents également en quantité un peu moins importante : 3.1 µg/m³ pour le propionaldéhyde, 10.6 µg/m³ pour le butyraldéhyde, et 10.1 µg/m³ pour le valéraldéhyde.

Ces polluants sont issus de livres et magazines neufs, de solvants, de peintures, de combustion, de photocopieurs en fonctionnement, ...

Ecole Saint Roch



Laboratoire mobile coté stade / Classe A coté rue / Classe B coté stade / Cantine



Localisation des sites

2.3.4. RESUME

Sur 14 sites échantillonnés en air intérieur dans des locaux d'accueil du public, des écoles ou des bureaux, tous respectent la valeur limite annuelle extérieure pour le dioxyde d'azote de $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Il n'existe pas l'équivalent de cette norme en air intérieur.

Il apparaît que le coefficient de transfert entre l'extérieur et l'intérieur est d'environ 70% dans la plupart des cas. Le dioxyde d'azote se dépose sur les surfaces (dépôts secs) en pénétrant dans les locaux. Ce polluant n'était pas généré dans ces locaux (combustions de gazinières).

L'objectif de qualité pour le benzène de $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en air extérieur est respecté sur 12 des 14 sites. Avec $2.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$, il est dépassé dans l'accueil et le bureau de l'Hotel Boadès à Aix où une source spécifique pourrait exister. En effet, les concentrations en toluène et xylène sont également plus élevées que sur les autres sites.

Les concentrations intérieures en benzène et dioxyde d'azote, sans sources intérieures notables sont dictées par les concentrations extérieures. Les variations saisonnières extérieures (teneurs plus élevées en hiver et plus faibles en été) sont reportées dans les atmosphères intérieures.

Les teneurs en formaldéhydes sont toutes supérieures à la valeur guide de $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ sur le long terme, édictée par l'AFSSET pour l'air intérieur. Les concentrations les plus hautes, de l'ordre de 30 à $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$, sont présentes dans des classes en préfabriqué d'une école. Il est important de mettre ces résultats en regard d'autres études menées en air intérieur : valeurs mesurées de 25 à $60 \mu\text{g}/\text{m}^3$ dans l'habitat conventionnel par l'INERIS ainsi que des concentrations supérieures à $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (soit plus de 11% de l'échantillon) mesurées dans des écoles à Strasbourg par l'ASPA.

Les teneurs les plus importantes de l'échantillon en propionaldéhyde, butyraldéhyde, et valéraldéhyde dans la classe du collège Mignet au 2ème étage, dans un bureau de la Direction des Transport de la CPA aux Milles et dans une salle de classe de l'école Saint Roch à Pertuis, pourraient indiquer une source spécifique pour ces polluants en ces lieux.

Les variations saisonnières ne sont pas marquées pour le formaldéhyde, le butyraldéhyde et le valéraldéhyde. Le relargage du formaldéhyde pourrait être corrélé à la température du local. Le propionaldéhyde a augmenté en moyenne de 30 % entre l'été et l'hiver sur l'ensemble des 14 sites échantillonnés. Le benzaldéhyde a diminué d'environ 30%. Ces tendances restent à confirmer dans d'autres études qui pourront être menées en air intérieur.

2.4. CONCLUSIONS

Le projet « **Information et aide à la décision sur le territoire de la communauté du Pays d'Aix** » est réalisé en partenariat entre la CPA, la Région PACA et Atmo PACA.

Le 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 plateforme de modélisation à l'échelle de la CPA, à partir de laquelle des *scenarii* pourront être réalisés sur les communes.

La mise en place de ces outils de modélisation nécessite des données d'entrée : données d'émissions, de mesures, données météorologiques. Le modèle disperse les polluants (il contient également un module de chimie pour la transformation des espèces) afin d'aboutir à des cartographies spatialisées.

Le premier volet de ce projet, faisant l'objet de ce rapport, est consacré au calcul du cadastre d'émissions et à l'analyse des résultats de la campagne de mesures sur la CPA. Le deuxième volet consiste à modéliser la qualité de l'air sur la CPA.

Le cadastre des émissions sur la CPA regroupe une centaine d'activités répertoriées pour une trentaine de polluants. Ce cadastre a été réalisé avec l'année 2004 comme référence (année 2006 pour les données de trafic).

Le « poids » des émissions de la CPA dans les Bouches-du-Rhône varie de 10 à 25 % en fonction des polluants considérés. Les émissions d'oxydes d'azote, de monoxyde de carbone et de particules sont issues majoritairement des transports routiers. Le dioxyde de soufre et le dioxyde de carbone proviennent essentiellement du secteur de la production et distribution d'énergie. Enfin, le secteur agriculture/sylviculture/nature constitue la principale source de composés organiques volatils non méthaniques.

Une vaste campagne de mesure en air extérieur, sur environ 200 sites, s'est déroulée en 2007 sur deux saisons afin de disposer :

- d'un état de la qualité de l'air pour les polluants traceurs des transports (dioxyde d'azote, benzène et aldéhydes),
- d'un jeu de données disponible pour la réalisation du deuxième volet de l'étude, à savoir la validation du modèle de pollution atmosphérique.

15 % des sites échantillonnés en **dioxyde d'azote** dépassent la valeur limite de 2007 pour ce polluant, à savoir 46 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. 23 % dépassent la valeur limite à l'échéance 2010 de 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Ils sont situés sur des voies de trafic dense (autoroute, rond-point), ou bien sous leur influence directe. 20 % des sites périurbains (petites villes et villages) ou ruraux enregistrent des concentrations annuelles faibles, inférieures à 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ dont certains avec 8 à 12 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ rejoignent les niveaux « de fond » en Provence.

Aucun des sites échantillonnés en **benzène** ne dépasse la valeur limite annuelle de 5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (et a fortiori celle de 2007 : 8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). 7 sites ont des valeurs supérieures à l'objectif de qualité, de 2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Ce sont des places, ronds-points, boulevards urbains, tête de tunnel, zone commerciales où les embouteillages et le roulage lent sont à l'origine d'émissions importantes et où la conformation de voirie freine la dispersion des polluants dans l'air.

Les concentrations relevées en **formaldéhyde** varient de 0.2 à 2.8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Ces résultats sont conformes à ceux publiés pour d'autres études environnementales françaises : concentrations inférieures à 2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ pour des sites ruraux ou périurbains et de 3 à 20-30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ pour des sites urbains.

Le territoire de la CPA montre trois facettes en terme de qualité de l'air :

- les axes autoroutiers (A7, A8) et grandes nationales (RD9, D6) dépassent les normes de qualité de l'air en raison du trafic important. Ces axes représentent un filaire en croix sur le territoire CPA.
- Les centres urbains des villes les plus importantes (Aix-en-Provence, les Pennes Mirabeau, Pertuis et Vitrolles) montrent également des dépassements en raison du trafic et des embouteillages.
- Une majorité de petites villes ou villages et de domaines naturels (Sainte Victoire, Trévaresse,...) montrent une bonne qualité de l'air.

14 points de **mesures exploratoires en air intérieur** ont été placés dans des lieux d'accueil ouverts au public et dans des établissements scolaires.

Tous montrent des concentrations en dioxyde d'azote inférieures à la valeur limite de $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ par an (pas d'équivalent de cette norme en air intérieur). Le transfert de l'extérieur vers l'intérieur pour ce polluant est d'environ 70 %.

2 sites, avec $2.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$, montrent des teneurs en benzène supérieures à l'objectif de qualité.

Pour le dioxyde d'azote et le benzène, les concentrations en air intérieur, sans sources intérieures spécifiques, sont dictées par les concentrations extérieures.

Les teneurs en formaldéhyde avoisinent ou sont supérieures à la valeur guide de $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ sur le long terme édictée par l'AFSSET. Elles varient de 9 à $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$, avec une moyenne de $24 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Les variations saisonnières ne sont pas marquées pour le formaldéhyde. La présence de ce composé est en relation avec la température des locaux, des sources spécifiques (peintures, contre plaqués,...) et l'aération. Les teneurs les plus hautes sont relevées dans des locaux en préfabriqués.

3. MODELISATION

3.1. CONTEXTE ET OBJECTIFS

Atmo PACA a sollicité NUMTECH pour réaliser une première modélisation de la qualité de l'air haute résolution sur la zone CPA pour l'année de référence 2007, en considérant toutes les sources d'émissions de la zone (sources routières, sources industrielles, sources résidentielles et tertiaires,...).

Ces calculs ont pu être validés et le modèle ajusté grâce aux données des campagnes de mesures (été et hiver 2007), et aux mesures réalisées en continues sur les stations permanentes des réseaux Atmo PACA et AIRFOBEP.

Ce chapitre présente la méthodologie adoptée pour cette modélisation de référence, et les résultats obtenus pour trois polluants spécifiques de la pollution urbaine : le dioxyde d'azote (NO_2), le benzène (C_6H_6) et les particules (PM_{10}).

Une première partie présente le modèle ADMS-Urban, la configuration employée pour modéliser l'état de la qualité de l'air ainsi que la méthodologie de calage du modèle. Une seconde partie présente la distribution spatiale des concentrations moyennes annuelles en NO_2 , benzène et PM_{10} sur l'agglomération ainsi que les performances de la chaîne de calcul.

3.2. MODELE ET METHODOLOGIE

3.2.1. LE MODELE ADMS-URBAN

Le système de gestion de la qualité de l'air ADMS-Urban⁵ repose sur le modèle de dispersion atmosphérique ADMS (Atmospheric Dispersion Modelling System) développé depuis 1993 par le Cambridge Environmental Research Consultant (CERC) et distribué en France et dans les pays francophones par NUMTECH.

ADMS-Urban, dans sa version 2.3 utilisée dans le cadre de cette étude, permet de prendre en compte la dispersion simultanée de plusieurs polluants (NO, CO, SO, COV, particules...) émis par plus de 7500 sources différentes x2 telles que:

- Les routes et les trafics associés (jusqu'à 150 000 brins peuvent être considérés) ;
- Les sources industrielles ponctuelles ;
- Les sources diffuses (modélisées sous la forme de volumes ou de surfaces).

ADMS-Urban réalise des calculs en régime stationnaire pour une situation météorologique donnée. Les situations météorologiques sont réactualisées toutes les heures, ce qui permet de prendre en compte l'évolution temporelle des conditions météorologiques durant la journée. L'utilisation d'un schéma de dispersion fonctionnant en régime stationnaire pendant des échelles de temps de l'ordre de l'heure est tout à fait adéquat, car celui-ci est précis en terme de dispersion et relativement peu coûteux en temps de calcul. Les valeurs réglementaires font d'ailleurs référence à des échantillonnages effectués généralement à une résolution temporelle horaire.

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

ADMS-Urban est un modèle conçu pour travailler de l'échelle de la rue (« Canyon street »), avec une prise en compte des effets de turbulence liés au trafic et aux effets « canyons », jusqu'à celle de l'agglomération (~ 40 x 40 km²), où des phénomènes tels que la photochimie ou la formation « d'îlots de chaleur urbains » sont considérés.

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

- Modèle de terrain : à partir de paramètres météorologiques moyens, le modèle d'écoulements fluides : FLOWSTAR calcule en 3D tous les champs de vent (résolution de l'ordre de 100 m) et de turbulence en prenant en compte l'effet de la topographie et de la rugosité du sol ;
- Préprocesseur météorologique : à partir de données météorologiques mesurées au sol, un préprocesseur météorologique calcule dans les 3 dimensions, les paramètres de la couche atmosphérique de dispersion (entre le sol et 2000 mètres d'altitude) ;
- Modèle de dépôt : calcul du dépôt sec et du lessivage par les pluies des effluents. Prise en compte de la taille des particules lors de la dispersion. Jusqu'à 10 tailles de particules peuvent être considérées, ce qui permet de prendre en compte des spectres dimensionnels de particules
- Modèle de trajectoire des panaches : pour les sources ponctuelles (cheminées industrielles...), un modèle dynamique calcule intégralement la trajectoire des panaches émis (surélévation) à partir des vitesses d'éjection et des températures des rejets

⁵ McHugh C., D.J. Carruthers, and H.A. Edmunds, *ADMS-Urban: an Air Quality Management System for Traffic, Domestic and Industrial Pollution**, /Int. J. Environment and Pollution/, 8 (3-6), p. 437-440, 1997.

- 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 NO, NO₂, O₃ et COV (Schéma de 7 réactions). Il utilise notamment les données de rayonnements solaires pour calculer les taux de photolyse. Un tel module est indispensable si l'on souhaite correctement estimer les concentrations de NO_x notamment ;
- Modèle des effets « Street Canyon » : prise en compte des phénomènes de recirculations dans les rues, et de la turbulence provoquée par le passage des véhicules entre les bâtiments ;
- Module statistique : ce module permet notamment de faire des comparaisons directes avec les valeurs réglementaires.

Les principales données d'entrée à fournir au modèle sont les suivantes :

- Des données météorologiques, généralement issues de mesures de surfaces à fréquence horaire (format Météo France). Les paramètres nécessaires sont la vitesse et la direction du vent, la température sous abri, la nébulosité et les précipitations ;
- Des données d'émission, intégrant la localisation des sources, leur géométrie et leurs profils temporels d'émission.
- Des données topographiques relatives au domaine d'étude : relief, occupation des sols et détail du bâti.

A partir de ces données, ADMS-Urban peut fournir :

- Des résultats ponctuels à court terme (concentrations horaires, journalières) ou des données statistiques sur du long terme (moyennes annuelles, percentiles, valeurs maximales...) ;
- Des cartographies réalisées via avec des liens avec les SIG et des outils de visualisation connus (ARCVIEW, MAPINFO, SURFER).

3.2.2. LES PHENOMENES ATMOSPHERIQUES PRIS EN COMPTE

Le Tableau 5 rappelle les phénomènes pris en compte dans le cadre de cette étude.

Phénomène physique	Pris en compte par le modèle dans l'étude	Commentaires
Météorologie locale	oui	Données horaires mesurées à la station Météo France d'Aix-en-Provence
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 industrielles 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	Méthode statistique à partir des mesures aux stations, fournies par Atmo PACA et AIRFOBEP
Variabilité temporelle des émissions	oui	Suivant les profils temporels fournis par Atmo PACA
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)

Tableau 5 : Phénomènes physiques pris en compte dans la modélisation

3.2.3. LA MODELISATION DE LA CPA

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

Définition des domaines d'étude et des grilles de calcul

La communauté d'Agglomération du Pays d'Aix regroupe 34 communes, dont celle d'Aix-en-Provence.

Compte tenu de l'étendue de la zone CPA, des contraintes de modélisation et du nombre important de sources modélisées, NUMTECH a proposé deux niveaux de restitution pour la cartographie de la qualité de l'air (Figure 41):

- Une première restitution globale sur l'ensemble de la zone de la CPA qui permettra de visualiser la qualité de l'air sur l'ensemble de la zone. Ce domaine, est appelé « domaine CPA » dans les pages suivantes ;

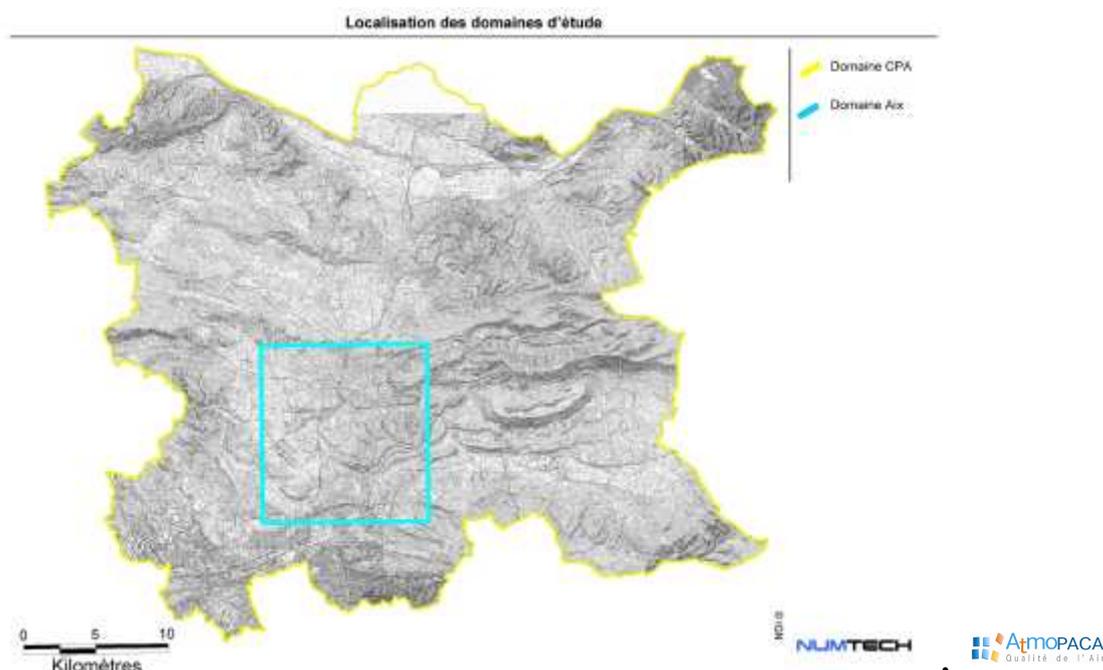


Figure 41 : Localisation des domaines d'étude : CPA et Aix

- Une seconde restitution à l'échelle de la ville d'Aix-en-Provence (zoom), sur la zone d'activité d'Aix-les-Milles et sur la zone industrielle de Gardanne, et ainsi de visualiser à l'échelle du quartier la pollution de proximité. Il s'agit du « domaine Aix ».

Les 2 domaines présentent des différences en termes de modélisation. Le « domaine Aix » présente une description exhaustive des sources d'émission (3.3.1). En raison des contraintes de modélisation, le domaine a été découpé en 2 grilles de calcul (Figure 42). Compte tenu de l'étendue de la Communauté d'agglomération du Pays d'Aix, le « domaine CPA » prend en compte un nombre de sources limité et a été découpé en 3 grilles de calcul (Figure 43).

Localisation des différentes grilles de calcul du domaine Aix



Figure 42 : Localisation du domaine d'Aix et des différentes grilles de calcul du domaine d'Aix

Localisation des différentes grilles de calcul du domaine CPA

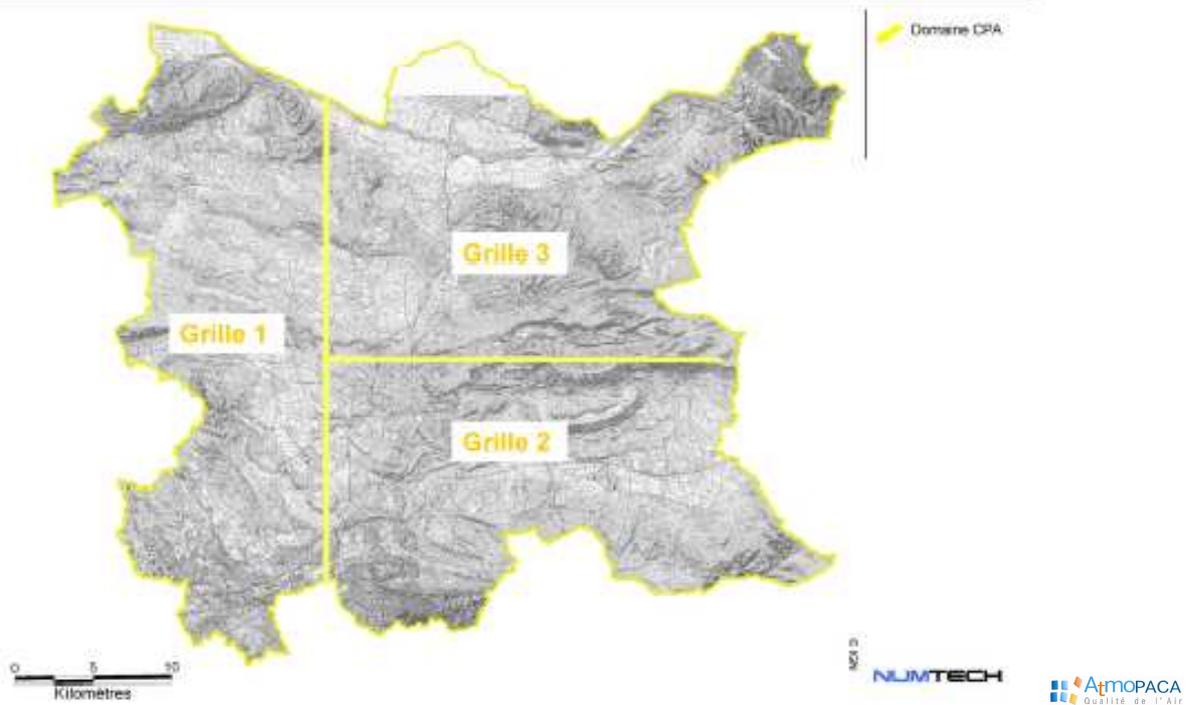


Figure 43 : Localisation du domaine CPA et des différentes grilles de calcul du domaine CPA

Les valeurs de concentration ont été simulées en chaque point d'une grille régulière de 400 m et d'une grille régulière plus fine au niveau des zones urbaines (200 m), ainsi que sur un ensemble de points répartis sous forme de transects de part et d'autre des axes routiers, permettant ainsi de cartographier les concentrations sur les 2 domaines d'étude (Figure 44 et Figure 45).

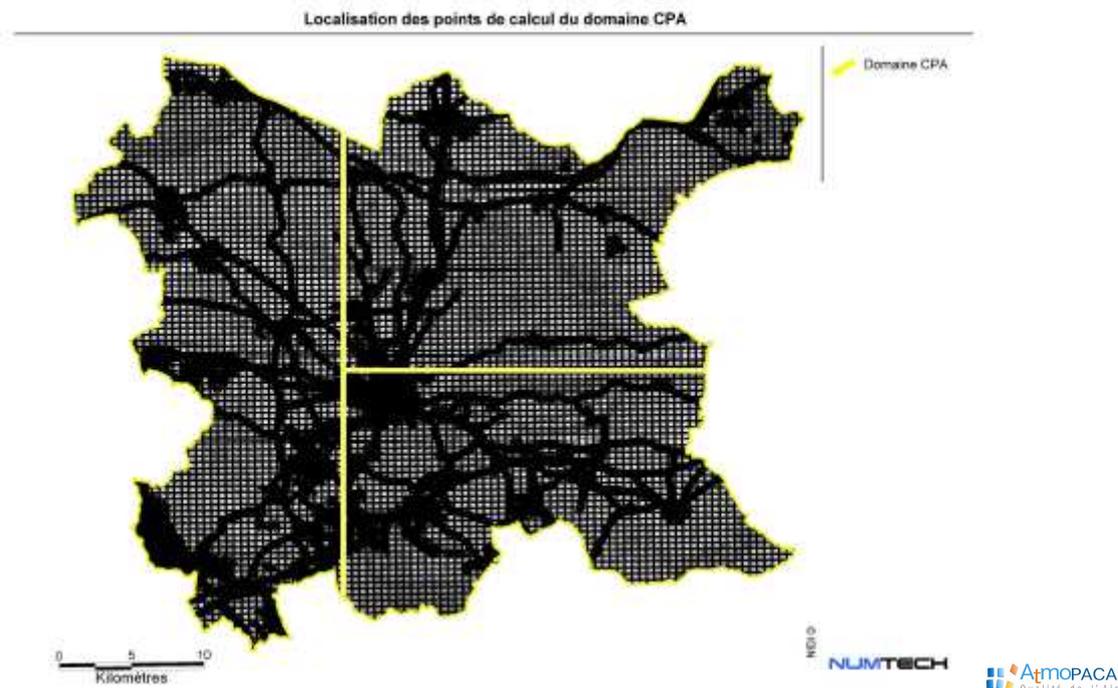


Figure 44 : Localisation des points de grille ADMS (grille régulière et maillage intelligent) pour le domaine CPA

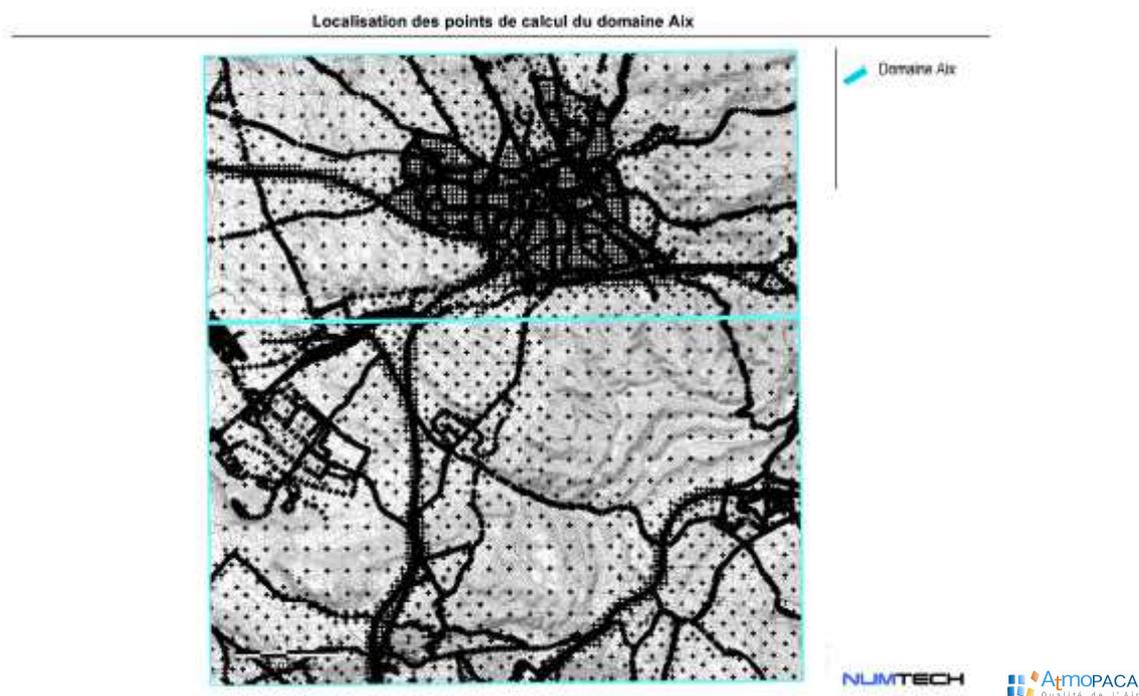


Figure 45 : Localisation des points de grille ADMS (grille régulière et maillage intelligent) pour le domaine d'Aix

Les calculs des concentrations ont également été réalisés pour une centaine de points récepteurs correspondant :

- Aux stations de mesures fixes du réseau Atmo PACA (Figure 46) ;
- À des points de mesures ponctuelles (tubes passifs) placées par Atmo PACA sur la communauté d'agglomération du Pays d'Aix au cours d'une campagne de mesures estivale datant du 29 mai au 26 juin 2007, ainsi que deux campagnes de mesures hivernale datant du 1 au 30 octobre et du 13 novembre au 11

décembre 2007 (Figure 47). La campagne du 13 novembre au 11 décembre 2007 a été réalisée dans le cadre de l'étude de l'état initial de la qualité de l'air de la RD9.

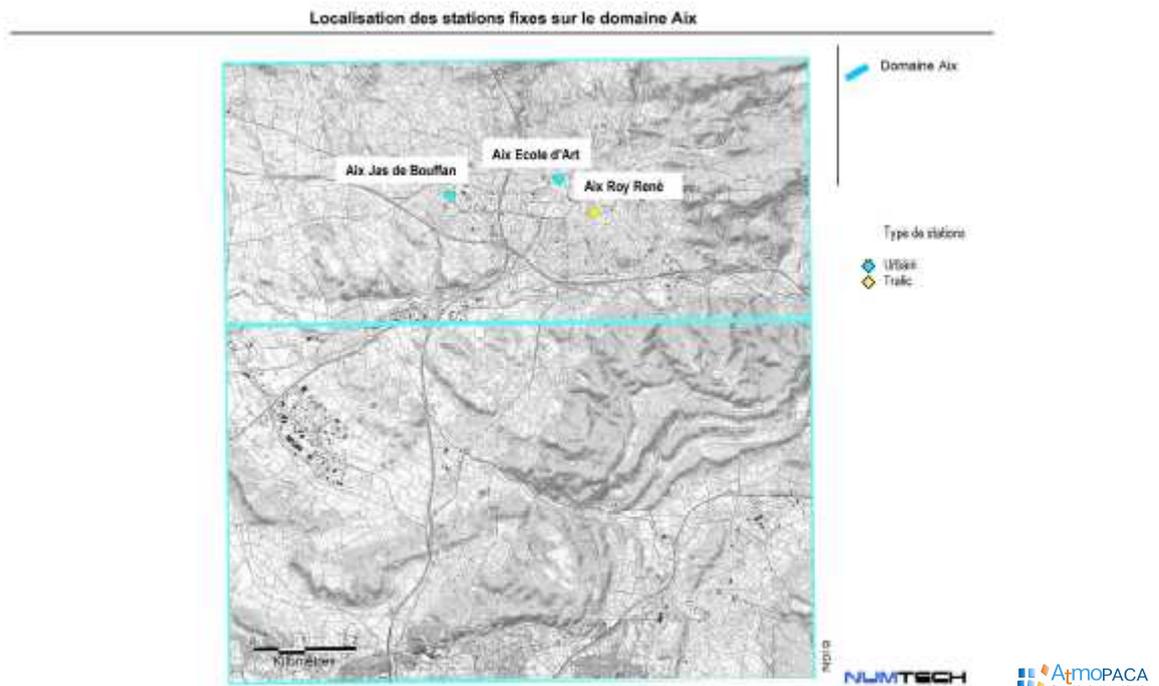


Figure 46 : Localisation des stations permanentes sur le domaine Aix

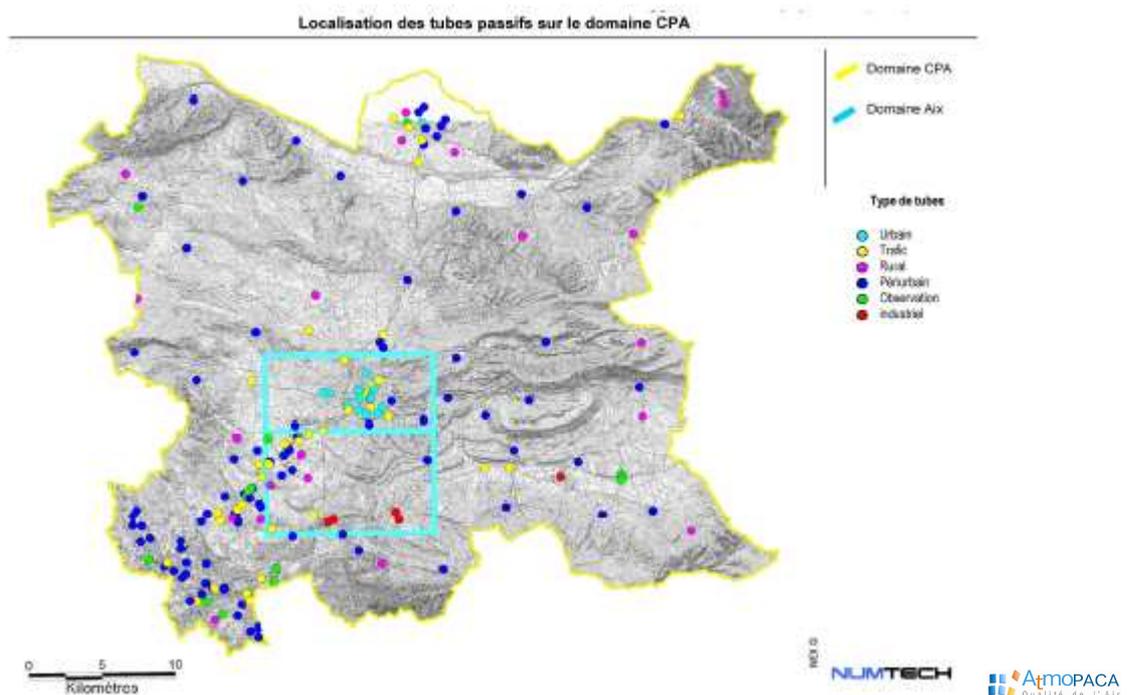


Figure 47 : Localisation des points récepteurs sur le domaine CPA

Remarque : Il conviendra d'être prudent lors de l'exploitation (comparaisons modèle/mesure) des résultats issus de certains points de mesure. Cela concerne notamment :

- Les tubes 61, 67, 113, 155, 161 et 172 localisés à proximité, sous ou sur de ponts placés sur des axes routiers très fréquentés (A8 et RD9);
- Le tube 115 localisé dans un tunnel aux Pennes-Mirabeau ;
- Le tube 89 placé sur une bouche d'évacuation du parking souterrain au collège Mignet d'Aix-en-Provence.

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

Topographie et occupation des sols

Le modèle ADMS-Urban permet d'intégrer la topographie dans le calcul de la dispersion atmosphérique des polluants. Le relief du domaine d'étude est susceptible d'influencer les champs de vent et de turbulence, et ainsi la répartition en surface des concentrations des polluants. La topographie représentée sur la Figure 48 provient des données SRTM (MNT 50m).

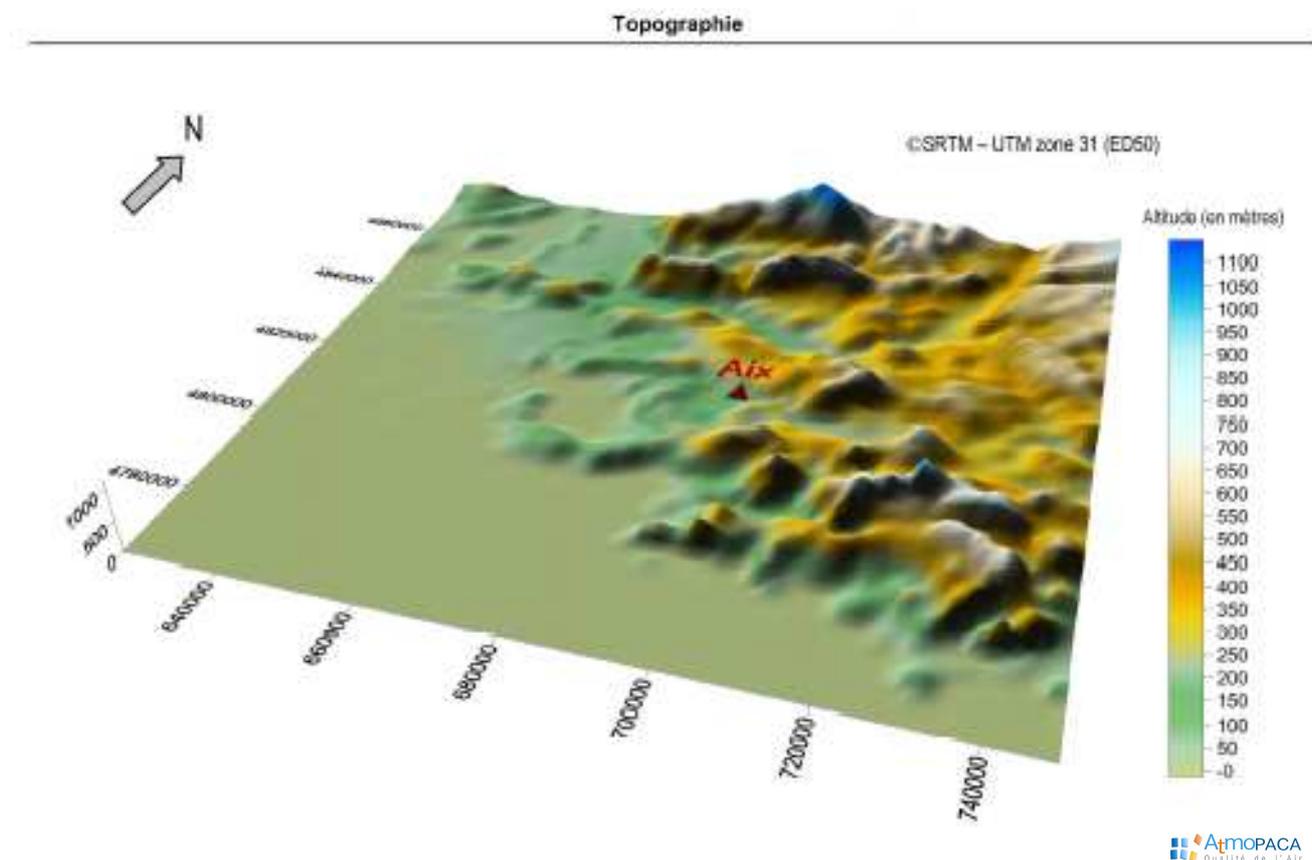


Figure 48 : Topographie de la communauté d'agglomération du Pays d'Aix

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

- De 0.7 m caractéristique d'un milieu dense urbain pour le domaine d'Aix ;
- De 0.3 m caractéristique d'un milieu dégagé et péri-urbain pour le domaine CPA ;
- De 0.2 m pour le site météorologique.

A partir de la topographie et des données d'occupation des sols, le module dynamique FLOWSTAR (inclus dans le modèle ADMS, une description en est donnée en annexe 1) 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).

Météorologie

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

L'étude s'est appuyée sur les paramètres météorologiques mesurés à fréquence horaire par Météo France à la station d'Aix-en-Provence (nébulosité, température, précipitation, vitesse et direction du vent). Ces paramètres peuvent être directement utilisés par le modèle qui intègre un pré-processeur météorologique.

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

Ces données ont été fournies par Atmo PACA sur l'année de référence complète (2007).

Ces données ont permis :

- De caler et d'évaluer le modèle numérique ADMS-Urban à partir des résultats des campagnes de mesures du 28 mai au 26 juin 2007 (période estivale), du 1 octobre au 30 octobre 2007 et du 13 novembre 2007 au 11 décembre 2007 (période hivernale) ;
- De calculer les concentrations moyennes sur les 2 domaines d'étude (période estivale, période hivernale et période annuelle).

Les Figure 49 et Figure 50 présentent respectivement les roses des vents enregistrés durant les campagnes de mesure (périodes hivernale et estivale) et la rose des vents annuelle à la station Météo France. Elles montrent des vents dominants très majoritairement orientés nord-ouest, et dans une moindre mesure de secteur sud-est pour toute l'année. L'influence de la vallée du Rhône est significative. On remarque une fréquence non négligeable de vents orientés ouest en octobre. Les vitesses de vent sont relativement faibles au mois d'octobre avec une moyenne de 1.3 m/s, alors que la campagne de mesure de la mi-novembre présente des conditions de vent plus dispersives (2.4 m/s en moyenne) et équivalentes en moyenne à la période estivale (2.2 m/s). Ces dernières conditions sont représentatives des conditions de vent annuelles (2.1 m/s en moyenne).

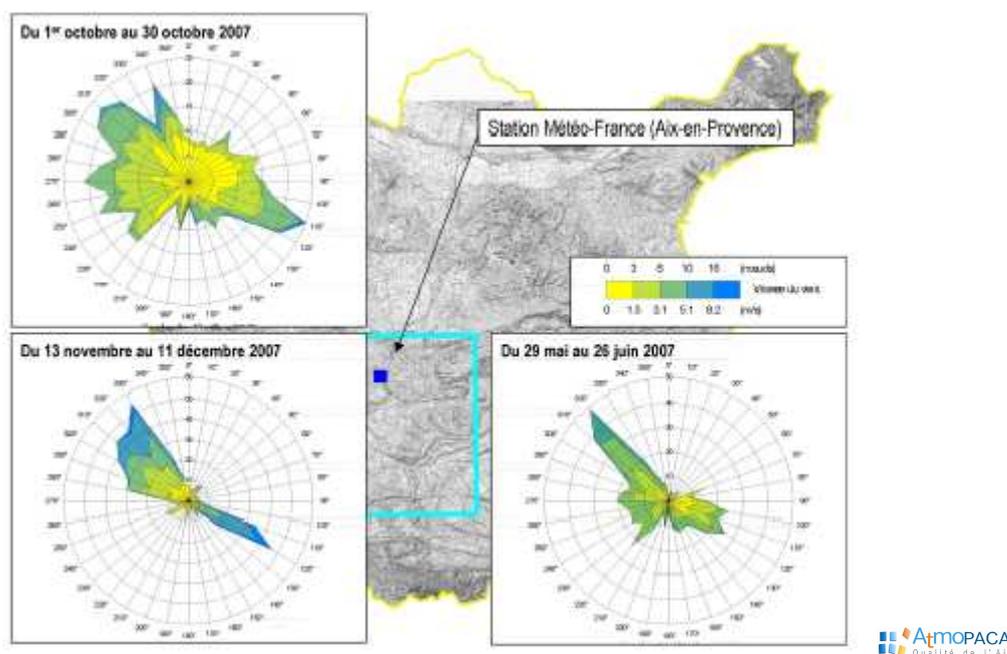


Figure 49 : Roses des vents issues des paramètres mesurés à la station Météo-France des périodes hivernale et estivale

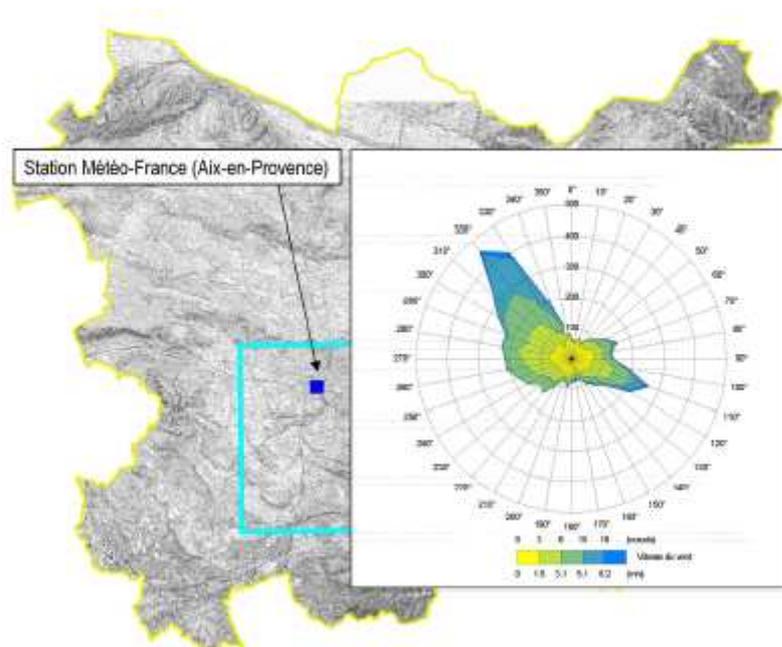


Figure 50 : Rose des vents issue des paramètres mesurés à la station Météo-France pour l'année de référence (2007)

Les polluants étudiés dans cette étude sont :

- Le dioxyde d'azote (NO) et les oxydes d'azote (NO₂) ;
- Les poussières (PM10) ;
- Le benzène (C₆H₆).

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 est donc important 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, ... Les concentrations en NO₂ contenues dans les concentrations de NO₂ simulées par notre modèle dans l'environnement ont été estimées à partir du schéma de Dewent-Middleton (1996) implémenté dans ADMS, basé sur une simple corrélation NO_x-NO₂.

Concernant les poussières, au cours de la phase de calage, les dépôts sec et humide ont été activés pour le calcul des concentrations. Pour cela, les poussières (PM10) ont été assimilées à des particules de diamètre 10µm. À défaut de valeurs pour leur densité, celle-ci a été fixée arbitrairement à 5000 kg/m³. Toutefois, malgré la pollution de fond intégrée dans les calculs, le modèle a tendance à sous-estimer les niveaux en PM10 sur le domaine d'étude.

Afin de minimiser cette sous-estimation, il a été retenu de désactiver les dépôts pour l'estimation des concentrations moyennes sur le domaine d'étude. Cela peut par ailleurs se justifier pour la prise en compte des phénomènes de re-suspension souvent mal représentés dans les calculs d'émissions.

Pollution de fond

Dans le cadre de cette étude, les données de la pollution de fond utilisées proviennent des mesures de différentes stations urbaines et industrielles des réseaux Atmo PACA et AIRFOBEP (Figure 51).

Pour les deux domaines d'étude, une pollution de fond horaire en PM10 a été estimée statistiquement à partir de 11 stations, au moyen d'une méthode développée par NUMTECH. Pour cela, on dispose d'un ensemble de stations dont aucune n'est a priori représentative de la concentration de fond. Globalement les données issues de ces stations correspondent à des concentrations pouvant être écrites de la façon suivante :

$$C = C_f + E_{\text{emis}} + \text{Bruit}$$

Avec C : la concentration mesurée, Cf : la concentration de fond recherchée, Emis : la contribution des différents émissaires et Bruit, le bruit regroupant un ensemble de facteurs tels que les erreurs de mesure ou les variations dues à la turbulence.

La pollution de fond permet de prendre en compte dans les calculs les émissions particulières qui ne seraient pas intégrées dans le cadastre, c'est-à-dire : les particules d'origine naturelle (fraction terrigène, aérosols marins, ...), les effets de re-suspension des particules, les aérosols secondaires, et l'apport des masses d'air extérieures.

Pour le benzène, Atmo PACA ne réalise pas de mesure en continu sur la communauté d'agglomération du Pays d'Aix. Il n'a donc pas été possible d'appliquer une pollution de fond horaire dans les calculs. Une pollution de fond moyenne a pu être estimée à partir des écarts moyens modèle / mesures.

Enfin, pour le NO₂, les résultats ont montré qu'il n'était pas nécessaire d'ajouter une pollution de fond aux concentrations générées par l'ensemble des sources de l'inventaire.

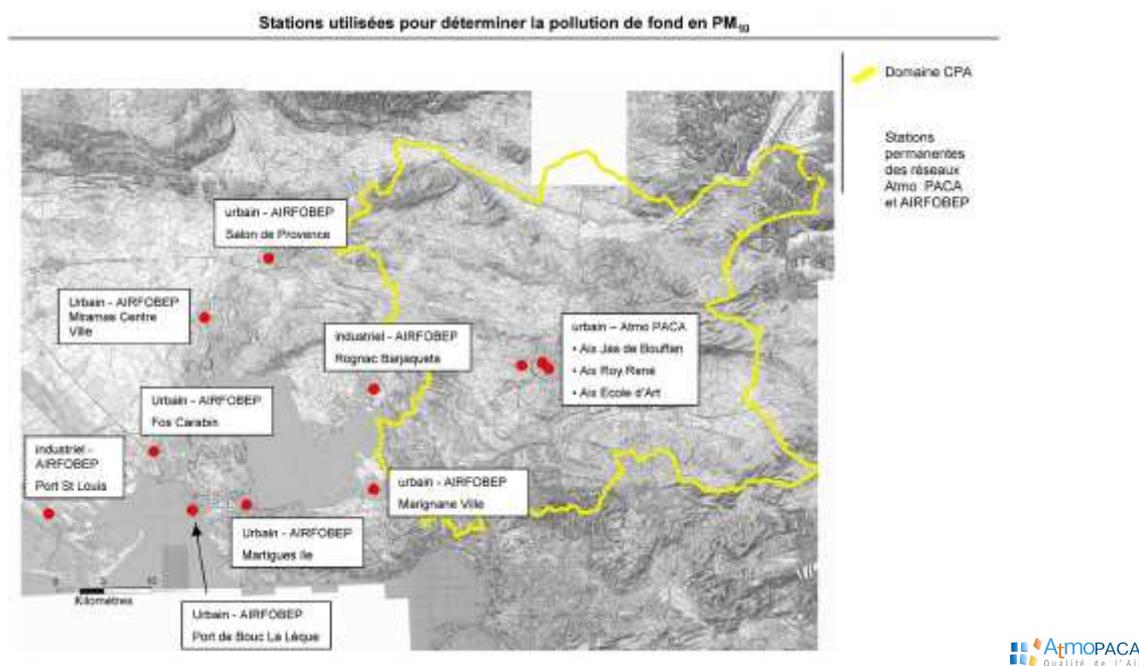


Figure 51 : Stations utilisées pour la détermination de la pollution de fond en PM10

3.2.4. LES SOURCES D'EMISSION

Ce paragraphe présente les sources d'émissions considérées pour l'étude de dispersion.

Les émissions d'origine anthropique et biogénique prises en compte dans les modélisations ont été fournies par Atmo PACA sous la forme d'un inventaire d'émission. Cet inventaire des émissions (ou cadastre) nous permet de connaître la répartition des émissions des polluants étudiés par secteurs d'activités sur la CPA. A l'origine, cet inventaire est développé selon la méthodologie européenne SNAP (Selected Nomenclature for Air Pollution) : les activités émettrices sont séparées en différentes catégories émettrices décrites dans la nomenclature SNAP. Pour la modélisation, Atmo PACA a regroupé (ou sommé) les émissions ayant des profils temporels identiques ou très proches suivant 68 activités (la correspondance entre les catégories SNAP et les nouvelles activités définies par Atmo PACA est présentée en annexe).

Toutes les émissions fournies par Atmo PACA 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 prises en compte sont :

- Le trafic routier (réseau principal et secondaire) ;
- Les sources industrielles ponctuelles et surfaciques ;

- Les sources diffuses : émissions liées aux activités du secteur résidentiel et tertiaire, aux sources biogènes et agricoles, aux activités du trafic aérien de l'aérodrome d'Aix-les-Milles et de l'aéroport Marseille Marignane.

Compte tenu de l'étendue des domaines CPA et d'Aix, deux niveaux de restitution ont été mis en place.

Pour le domaine CPA, les principales sources d'émission à l'échelle de la petite région CPA sont explicitées :

- Sources ponctuelles industrielles ;
- Sources routières du réseau principal.

Le reste des sources est pris en compte par le cadastre d'émissions.

Pour le domaine d'Aix (Figure 52), le traitement des sources d'émission est plus explicite afin d'offrir une restitution à l'échelle de la ville d'Aix-en-Provence et de visualiser à l'échelle du quartier la pollution de proximité. Toutes les sources d'émission fournies ont été explicitées dans ADMS.

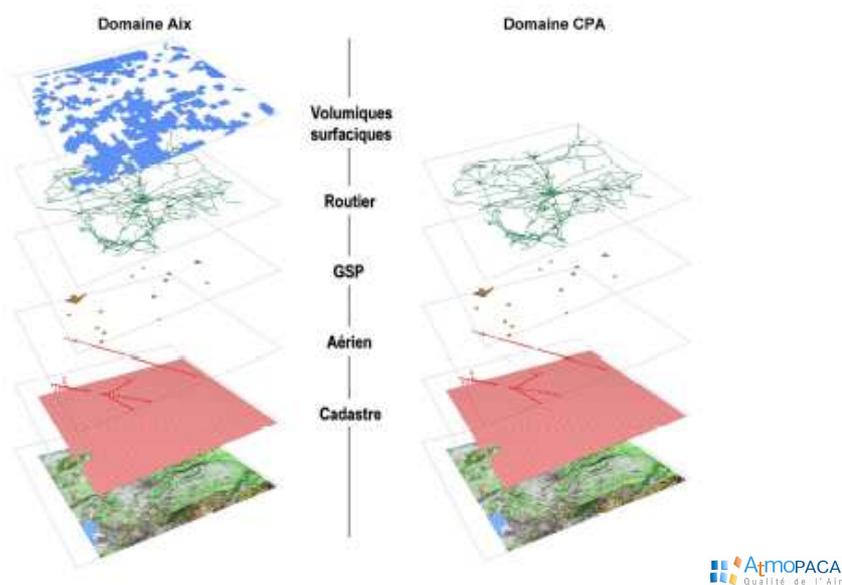


Figure 52 : Sources d'émission prises en compte pour les domaines Aix et CPA

Données fournies par Atmo PACA

Les émissions sur la communauté d'agglomération du Pays d'Aix nous ont été fournies par Atmo PACA sous plusieurs formes :

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

Toutes ces informations ont été utilisées dans les calculs :

- Le cadastre total a été modélisé pour prendre en compte de façon exhaustive toutes les émissions de la communauté d'agglomération du Pays d'Aix (cadastre kilométrique d'environ 80 x 65 km) ;
- Les sources ont été intégrées de façon détaillée sur une zone plus large que le domaine d'étude afin de limiter les effets de bord aux limites de la grille de calcul.

Cadastre kilométrique des émissions

La globalité des émissions rencontrées sur notre domaine d'étude a été modélisée dans ADMS-Urban sous forme d'un cadastre kilométrique. Ainsi, chaque maille de cet inventaire contient la totalité des émissions (routières, industrielles, naturelles, tertiaires, ...). Cet inventaire permet d'intégrer aux simulations toutes les sources qui ne seraient pas modélisées explicitement. En effet, les émissions des sources modélisées explicitement dans ADMS sont soustraites au cadastre d'émission. Ceci est particulièrement utile pour les zones situées à l'extérieur du cadastre détaillé. Afin de prendre en compte la pollution provenant de l'environnement proche du domaine d'étude, le cadastre finalement retenu déborde du domaine d'étude : 80 x 65 km (Figure 53)

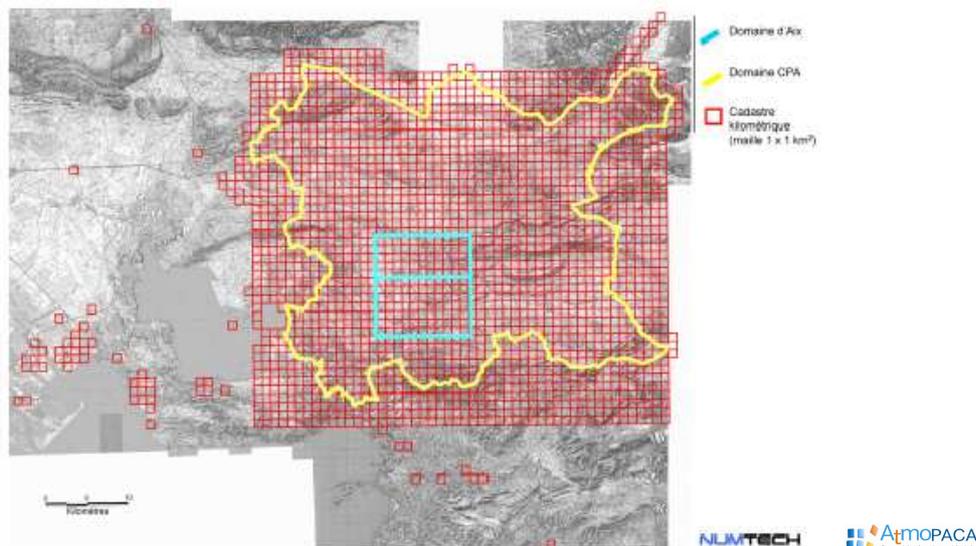


Figure 53 : Visualisation des contours du cadastre kilométrique modélisé

Cet inventaire est fourni par Atmo PACA pour chacun des polluants étudiés.

Chaque maille du cadastre est modélisée comme une source volumique dont la hauteur doit être suffisamment importante pour contenir la majorité des sources présentes sur le domaine, sauf les grandes sources ponctuelles (GSP). Une épaisseur de 10m par rapport au sol a été retenue. Les émissions sont considérées comme uniformément réparties à l'intérieur de ces volumes. Les émissions en NO_x, poussières et benzène prises en compte dans les simulations sont présentées respectivement sur les Figure 54, Figure 55 et Figure 56.

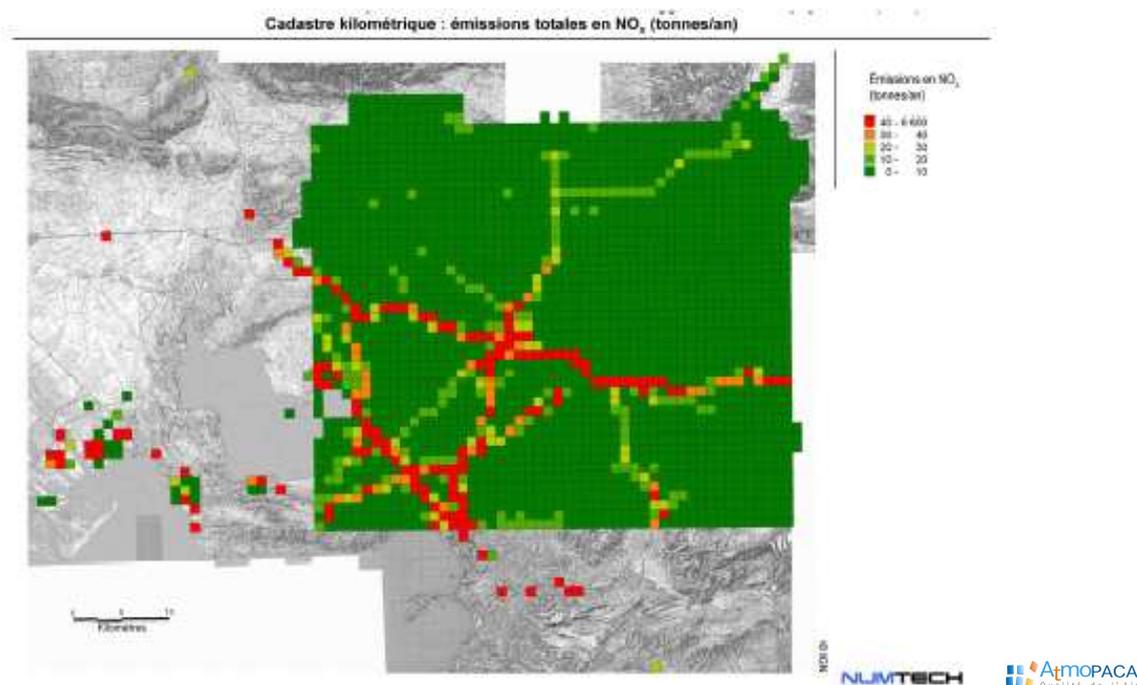


Figure 54 : Emissions totales en NO_x (tonnes/an)

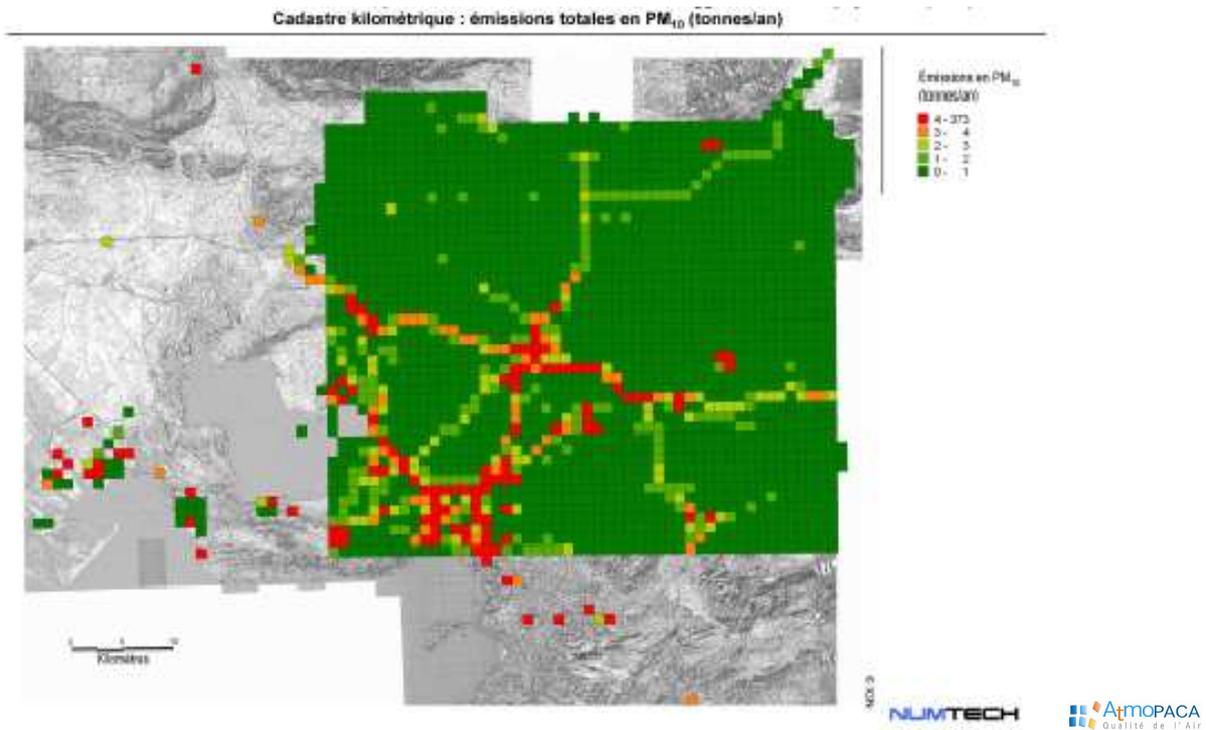


Figure 55 : Emissions totales en poussières (tonnes/an)

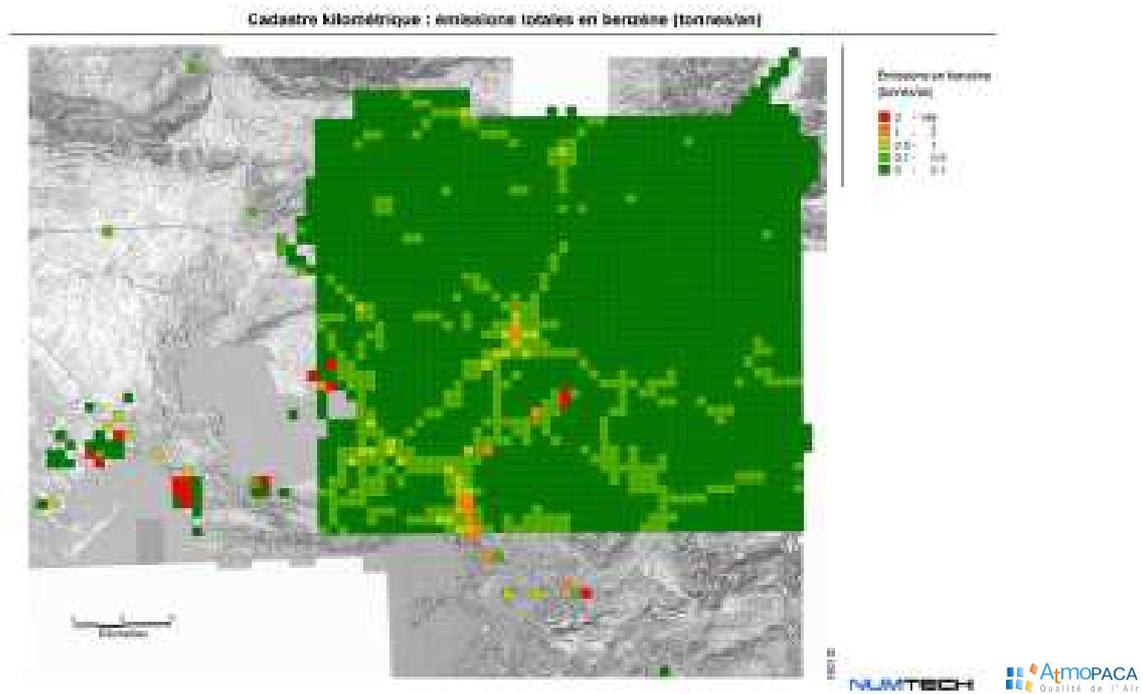


Figure 56 : Emissions totales en benzène (tonnes/an)

Grandes sources ponctuelles (GSP)

331 sources ponctuelles (dont les hauteurs varient de 2 m à 295 m) ont été recensées sur le domaine d'étude (Figure 57). Ces sources ont été modélisées explicitement. Les profils temporels associés au GSP, fournis par Atmo PACA, ont été intégrés dans les calculs ADMS.

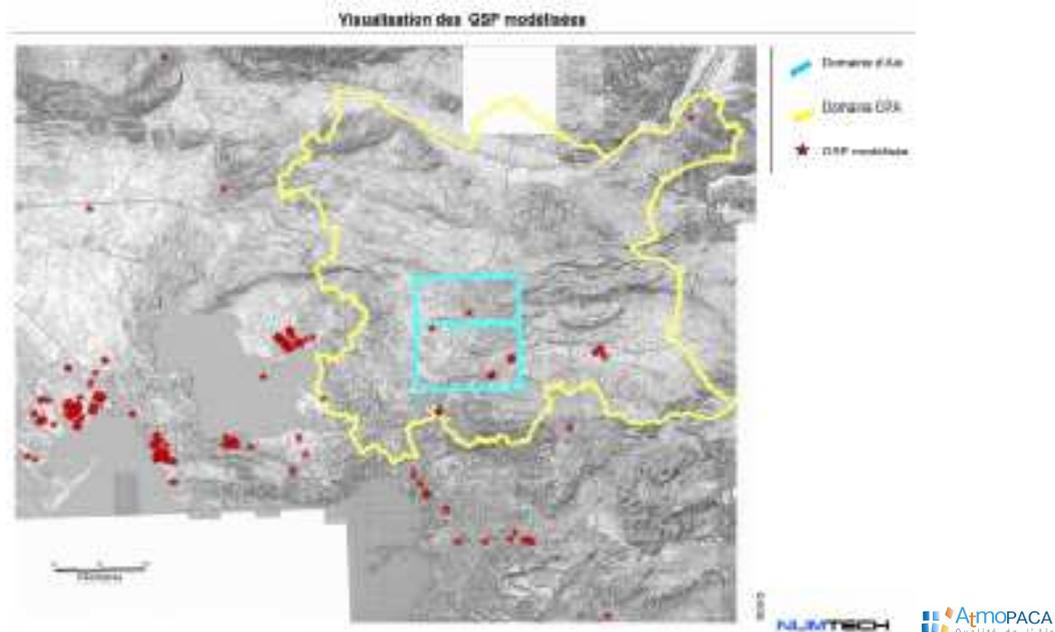


Figure 57 : Localisation des grandes sources ponctuelles (GSP) modélisées

La modélisation des GSP requiert des caractéristiques d'émission : une hauteur de cheminée (m), un diamètre de cheminée (m), une température de rejet (°C) et une vitesse de rejet (m/s). Parmi les 331 GSP recensées, 100 sites possèdent des caractéristiques d'émission par défaut : une hauteur de cheminée à 5 m et une température d'émission à 20°C. Nous avons associé une vitesse de rejet de 0 m/s qui peut jouer sur la surélévation du panache émis, et un diamètre de cheminée de 1 m. Les valeurs ont été retenues sous les conseils d'Atmo PACA.

Trafic routier principal

Le réseau routier principal fourni par Atmo PACA a été modélisé explicitement dans ADMS. Il est constitué de plus de 29 562 axes routiers sur le domaine d'étude (Figure 58). Les émissions du trafic routier secondaire correspondent aux activités : 33, 35, 37, 45, 47, 49, 59 et 61 pour les véhicules légers (VL) et aux activités 34, 36, 38, 46, 48, 50, 60 et 62 pour les poids lourds (PL). Ces activités dépendent du type d'axes routiers (autoroute, route, ville). Pour les principaux axes routiers (autoroute, route nationale, ...), les émissions des VL et des PL ont été modélisées séparément afin de prendre en compte des profils spécifiques pour chaque catégories de véhicules. Pour les autres axes, pour lesquels la part des émissions des poids lourds est faible, les émissions des VL et des PL ont été sommées.

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

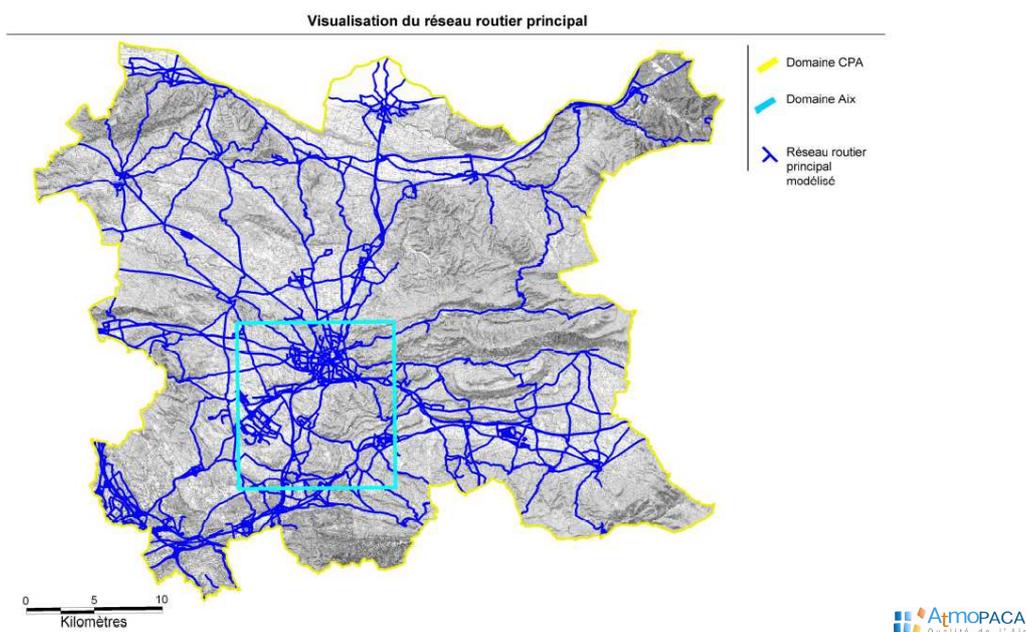


Figure 58 : Réseau routier principal modélisé

Réseau routier secondaire (Domaine d'Aix uniquement)

Le réseau routier secondaire a été modélisé comme des sources volumiques de 1m de hauteur (Figure 59). Comme pour le réseau routier principal, les émissions du trafic routier secondaire correspondent aux activités 33, 35, 37, 45, 47, 49, 59 et 61 pour les véhicules légers (VL) et aux activités 34, 36, 38, 46, 48, 50, 60 et 62 pour les poids lourds (PL). Ces activités dépendent du type d'axes routiers (autoroute, route, ville). En accord avec Atmo PACA, pour chaque maille modélisée, les émissions des différentes activités ont été sommées par catégories de véhicules (VP et PL). Les profils temporels associés aux véhicules légers et aux poids lourds, fournis par Atmo PACA, ont été intégrés dans les calculs ADMS.

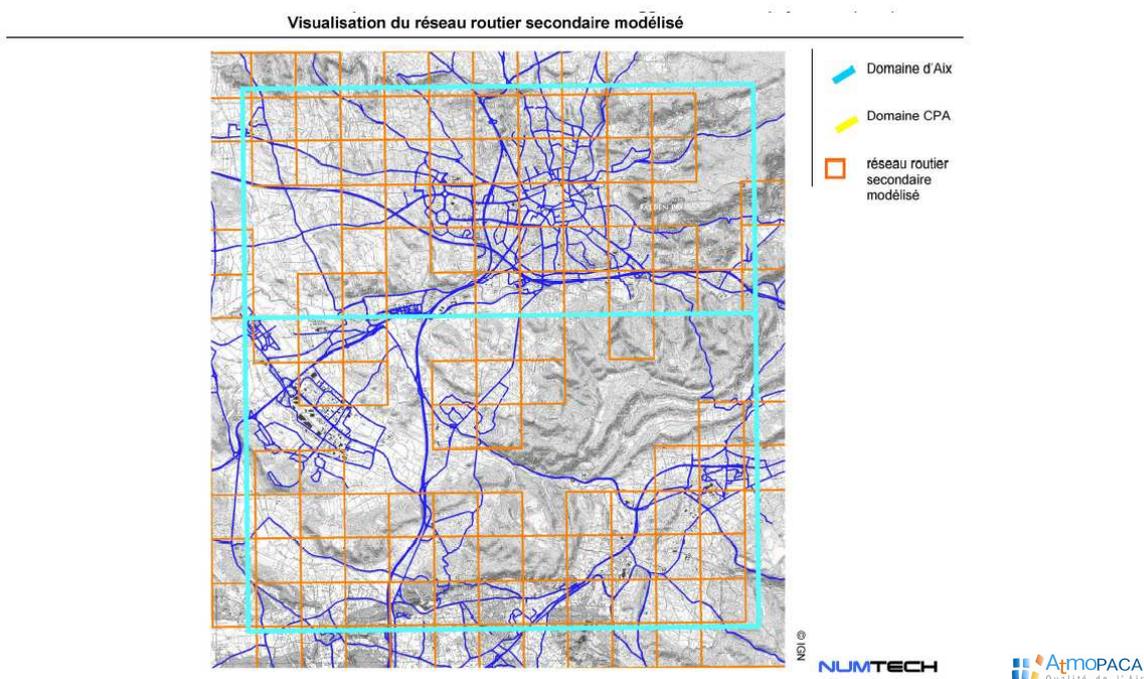


Figure 59 : Réseau routier secondaire modélisé

Autres sources

Le Tableau 6 synthétise les caractéristiques des sources modélisées autres que le trafic routier et les GSP. L'activité est associée à un type d'activité fourni par Atmo PACA qui est basé sur la nomenclature SNAP. Le tableau précise le type de source (volumique), la surface d'émission (surface de maille), l'épaisseur du volume émetteur et la disponibilité ou non d'un profil temporel.

Activité	Activité (Atmo PACA)	Type de source	Surface	Epaisseur	Profil temporel
Réseau routier secondaire	15,...	Volumique	1 x 1 km ²	1 m	Oui
Traitement et élimination des déchets	1	Volumique	1 x 1 km ²	5 m	Oui
Trafic non routier (activités maritime, ferroviaire et agricole)	2	Volumique	1 x 1 km ²	5 m	Oui
Combustion en chaudière	3	Volumique	1 x 1 km ²	5 m	Oui
Combustion en four	4	Volumique	1 x 1 km ²	5 m	Oui
Distribution de combustibles	5	Volumique	1 x 1 km ²	5 m	Oui
Application de peinture et utilisation de solvants	6	Volumique	1 x 1 km ²	5 m	Oui
Autres sources et puits, forêts non fertilisées et prairies	7	Volumique	1 x 1 km ²	5 m	Oui
Cultures fertilisées et non fertilisées	8	Volumique	1 x 1 km ²	1 m	Oui
Combustion en industrie (chimie, métallurgie)	9	Volumique	1 x 1 km ²	10 m	Oui
Trafic non routier (trafic aérien)	10	Volumique	1 x 1 km ²	10 m	Oui
Activités domestiques et jardinage	11	Volumique	1 x 1 km ²	1 m	Oui
Combustion hors industrie (résidentiel, agriculture, forêt...)	12	Volumique	1 x 1 km ²	5 m	Oui
Combustion en industrie (énergie)	13	Volumique	1 x 1 km ²	10 m	Oui
Combustion hors industrie (commercial et institutionnel)	14	Volumique	1 x 1 km ²	10 m	Oui

Tableau 6 : Description des sources pour la modélisation de base

Les profils temporels associés à chaque activité et dont à chaque type de sources, fournis par Atmo PACA, ont été intégrés dans les calculs ADMS.

3.2.5. L'ÉVALUATION DE LA CHAÎNE DE CALCUL

Pour évaluer les performances de la chaîne de modélisation, le moyen le plus simple et le plus direct est de comparer les résultats simulés avec les concentrations mesurées lors des campagnes et par le réseau fixe d'Atmo

PACA. L'évaluation consiste alors à réaliser :

- La comparaison à des concentrations intégrées dans le temps (moyennes sur un jour ou une année) pour évaluer la capacité du modèle à reproduire la distribution spatiale des concentrations ;
- La comparaison à des séries temporelles horaires pour évaluer la capacité du modèle à reproduire l'évolution temporelle des concentrations.

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

- Le *BIAIS* (moyenne des différences entre observation et modèle) pour décrire l'erreur systématique ;
- La *RMSE* fournissant l'erreur totale entre observation et modèle ;
- Le coefficient de corrélation, *R*, qui permet de qualifier l'intensité de la relation linéaire qu'il existe entre observation et valeur modélisée. Proche de 1, la liaison linéaire est forte.

Les indicateurs statistiques ont été utilisés pour réaliser le calage du modèle, et pour valider les résultats simulés.

Les performances du modèle dans le cadre de cette étude sont présentées dans le chapitre 3.3.

3.2.6. LES PROCEDURES DE CALAGE DE LA CHAÎNE DE CALCUL

Il est important de distinguer la phase de validation, de la phase de calage. D'un côté, la phase de validation permet d'évaluer la représentativité d'un modèle de dispersion (c'est-à-dire les performances de la restitution de l'information réelle). D'un autre côté, la phase de calage consiste à réduire les écarts entre mesures et valeurs simulées, et à restreindre au mieux l'incertitude globale en sortie de modélisation, en ajustant certains paramètres d'entrée dont les incertitudes sont fortes et variables.

La Figure 60 synthétise la phase de calage en 4 étapes. La phase de validation apparaît à plusieurs moments dans la phase de calage, il s'agit d'une étape préliminaire (étape 1) et d'une étape finale (inclus dans l'étape 4).

L'étape 1 consiste à comparer les sorties de modèle aux mesures, cette tâche nécessite plusieurs moyens comme, en priorité, l'utilisation d'indicateurs statistiques. Ces outils permettent de connaître l'état général de la modélisation en quantifiant l'erreur totale et l'erreur systématique du modèle.

Les valeurs des indicateurs statistiques obtenues permettent de déterminer si un ajustement est nécessaire. Il s'agit de l'étape 2. On pourra juger par exemple que des ajustements sont indispensables pour des valeurs de biais et de

RMSE importantes et/ou un coefficient de détermination trop faible (inférieur à 0.5).

L'étape 3 consiste ensuite à modifier la chaîne de modélisation, c'est-à-dire ajuster les données d'entrée, complexifier ou simplifier le modèle...

Parallèlement, l'étape 4 consiste à faire une analyse de la sensibilité du modèle pour différents jeux de données d'entrée testés, afin de faciliter et d'optimiser l'étape 3.

Lorsque le calage est abouti pour une période et une zone donnée, la modélisation pourra être envisagée pour des scénarii pour lesquelles aucun moyen de comparaison à la réalité n'est possible.

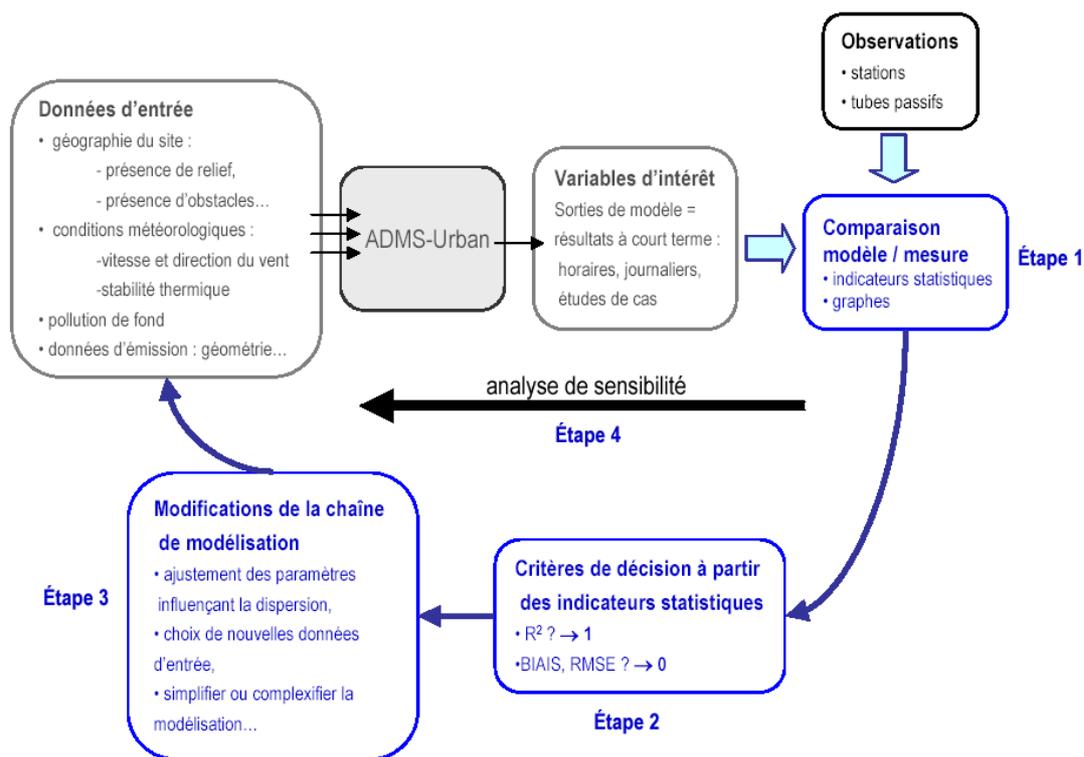


Figure 60 : Schéma descriptif de la phase de calage



Variables d'ajustement

La configuration de la modélisation de base a été optimisée afin de mieux prendre en compte l'environnement de la zone d'étude. Cette optimisation a porté sur les paramètres suivants :

- la pollution de fond estimée statistiquement à partir des mesures des stations Atmo PACA et AIRFOBEP ;
- les paramètres de description de l'environnement (rugosité de surface, relief, localisation des points spécifiques...);
- la stabilité thermique minimale pour les conditions nocturnes (longueur minimale de Monin-Obukhov) ;
- les paramètres météorologiques (mesures Météo France) ;
- la hauteur de mélange pour les sources diffuses (réseau routier secondaire et cadastre d'émission) et pour le cadastre des émissions intégrés dans ADMS ;
- le choix du schéma chimique pour le NO₂.

La phase de calage est en partie dépendante des valeurs mesurées aux stations et aux tubes passifs. Pour la période hivernale, le calage a été réalisé à partir des mesures continues et ponctuelles issues de 2 campagnes de mesure datant du 1 octobre au 30 octobre 2007 et du 13 novembre au 11 décembre 2007. Pour la période estivale, les mesures ont été effectuées du 29 mai au 26 juin 2007.

D'un domaine à l'autre, le nombre et le type de sites de mesure varient comme on peut le voir dans le Tableau 7.

Type de tubes	Domaine d'Aix	Domaine CPA
Rural	3	18
Péri-urbain	11	77
Urbain	21 (18 tubes + 3 stations)	22 (19 tubes+ 3 stations)
Trafic	16	47
Observation	4	19

Tableau 7 : Type de sources par domaine de modélisation

Compte tenu du contexte relativement différent des 2 domaines étudiés, nous avons optimisé le calage en zone urbaine pour le domaine d'Aix et en zones rurale et péri-urbaine pour le domaine CPA. Pour le domaine d'Aix, une majorité de tubes était de type urbain, aussi les niveaux de concentrations mesurés sont plus élevés que ceux du domaine CPA. Sur le domaine CPA, une majorité de tubes est de type rural et péri-urbain sur l'ensemble de tubes disponibles, cela explique des niveaux de concentration plus faibles en zone rurale que sur le domaine d'Aix.

Le calage a principalement porté sur les oxydes d'azote totaux (NO_x afin de s'affranchir d'un certain nombre de réactions photochimiques puis NO₂).

Les paragraphes suivants présentent les principaux tests de sensibilité réalisés et configurations retenues.

Pollution de fond

Pour évaluer la sensibilité de la pollution de fond sur les concentrations simulées, nous avons estimé une pollution de fond à partir des concentrations mesurées par les stations du réseau Atmo PACA et AIRFOBEP sur la région.

Les nombreux tests de sensibilité réalisés avec l'ensemble des données de pollution ont montré qu'il n'est pas nécessaire de « forcer » le modèle ADMS avec une pollution de fond en NO₂ entrant sur le domaine. En effet, l'ensemble des sources émettrices de la communauté d'agglomération du Pays d'Aix est intégré dans ADMS par l'intermédiaire du cadastre Atmo PACA.

En revanche, pour les concentrations en PM₁₀, le calage a montré qu'il était nécessaire d'intégrer la pollution de fond dans les calculs. En effet, les premiers tests réalisés sans pollution de fond ont mis en évidence des concentrations très faibles par rapport aux valeurs mesurées. Comme précisé ci-dessus, la pollution de fond permet, entre autres, d'intégrer dans les calculs les particules d'origine naturelle (fraction terrigène, aérosols marins, ...), les aérosols secondaires et la pollution particulaire provenant des industriels (cimenteries, carrières, ...) principalement implantés autour de l'étang de Berre situé à l'ouest du domaine et qui ne seraient pas intégrés dans le cadastre des émissions.

Les mesures aux stations urbaines de fond du réseau Atmo PACA et AIRFOBEP ont été utilisées comme pollution de fond dans ADMS. Les valeurs estimées statistiquement par des routines développées par NUMTECH ont montré de bons résultats en termes d'indicateurs statistiques (paragraphe 3.3).

Ces valeurs ont donc été intégrées à la modélisation. Elles donnent une pollution de fond moyenne sur une zone donnée. Au fil des études, ces méthodes s'avèrent robustes pour estimer une pollution de fond en PM₁₀ sur une région donnée.

Les premiers résultats relatifs aux concentrations simulées en benzène ont montré que le modèle a tendance à surestimer les plus fortes concentrations mesurées et à légèrement sous-estimer les faibles concentrations mesurées. Cette faible sous-estimation peut s'expliquer par l'existence d'un niveau de fond en benzène compris entre 0.5 et 1 µg/m³. Aucune mesure en continu est disponible pour estimer une pollution de fond à fréquence horaire. Aussi, pour chaque campagne de mesure, la comparaison modèle / mesure aux tubes a permis d'estimer un niveau de fond moyen qui a été appliqué pour constituer les cartographies des périodes hivernale et estivale, et pour réaliser les calculs annuels.

Le Tableau 8 présente les valeurs de niveau de fond en benzène, estimé sur les 2 domaines d'étude et par période étudiée (période estivale, période hivernale et période annuelle).

	Domaine Aix	Domaine CPA
Période estivale	0.16	0.2
Période hivernale	0.67	0.6
Année de référence	0.5	0.46

Tableau 8 : Niveaux de fond moyens en benzène (en µg/m³)

Rugosité de surface

Concernant la description de l'environnement, nous avons testé la sensibilité d'une rugosité variable sur le domaine d'étude. Les résultats ont cependant donné de meilleurs résultats statistiques avec les valeurs constantes suivantes :

- 0.7 m en milieu dense urbain que l'on retrouve dans le domaine d'Aix ;
- 0.3 m en milieu périurbain et rural, milieu très majoritairement représenté dans le domaine CPA ;
- 0.2 m au niveau de la station météorologique.

Données météorologiques

Deux stations Météo-France, avec l'ensemble des paramètres météorologiques nécessaires à ADMS, sont disponibles sur la zone d'étude. Il s'agit des stations de Marignane et d'Aix-en-Provence. Il a été envisagé d'utiliser les données météorologiques de ces 2 stations pour le domaine CPA, en appliquant les données météorologiques de Marignane sur la grille de calcul 1 (Figure 43) et les données météorologiques d'Aix-en-Provence sur les grilles de calcul 2 et 3 (Figure 43). L'utilisation des données Météo France d'Aix-en-Provence sur tout le domaine CPA ont fourni de meilleurs résultats statistiques que l'introduction des données météorologiques de Marignane. Aussi, l'ensemble des calculs a été réalisé avec les données Météo France d'Aix-en-Provence. Les données sont bien représentatives des deux domaines d'étude. Par conséquent, le modèle ADMS a tendance à bien estimer les concentrations sur la ville d'Aix-en-Provence ainsi que sur la majorité du domaine CPA.

L'état de stabilité atmosphérique en zone urbaine (réchauffement lié à la présence d'un îlot de chaleur) est pris en compte à travers l'application d'une longueur minimale de Monin-Obukhov (L_{MO} minimale). Compte tenu des deux domaines modélisés, la valeur de longueur minimale de Monin-Obukhov est variable :

- Pour le domaine CPA, 15 m pour la période hivernale et 20 m pour l'été ;
- Pour le domaine d'Aix, 20 m pour la période hivernale et 30 m pour l'été.

Les différences de valeur de L_{MO} minimale peuvent s'expliquer par le fait que le phénomène d'îlot de chaleur est généralement plus marqué en zone urbaine qu'en zone rurale et d'autant plus prononcé en été. Nous avons choisi des valeurs de L_{MO} minimale plus élevées pour le domaine d'Aix étant donné que le domaine est majoritairement urbain. La Figure 61 montre l'influence de la longueur minimale de Monin-Obukhov sur les concentrations en NO_2 horaires simulées à la station Ecole d'Art au mois de juin 2007, on note une diminution des niveaux simulés durant la nuit ce qui est cohérent avec les niveaux mesurés.

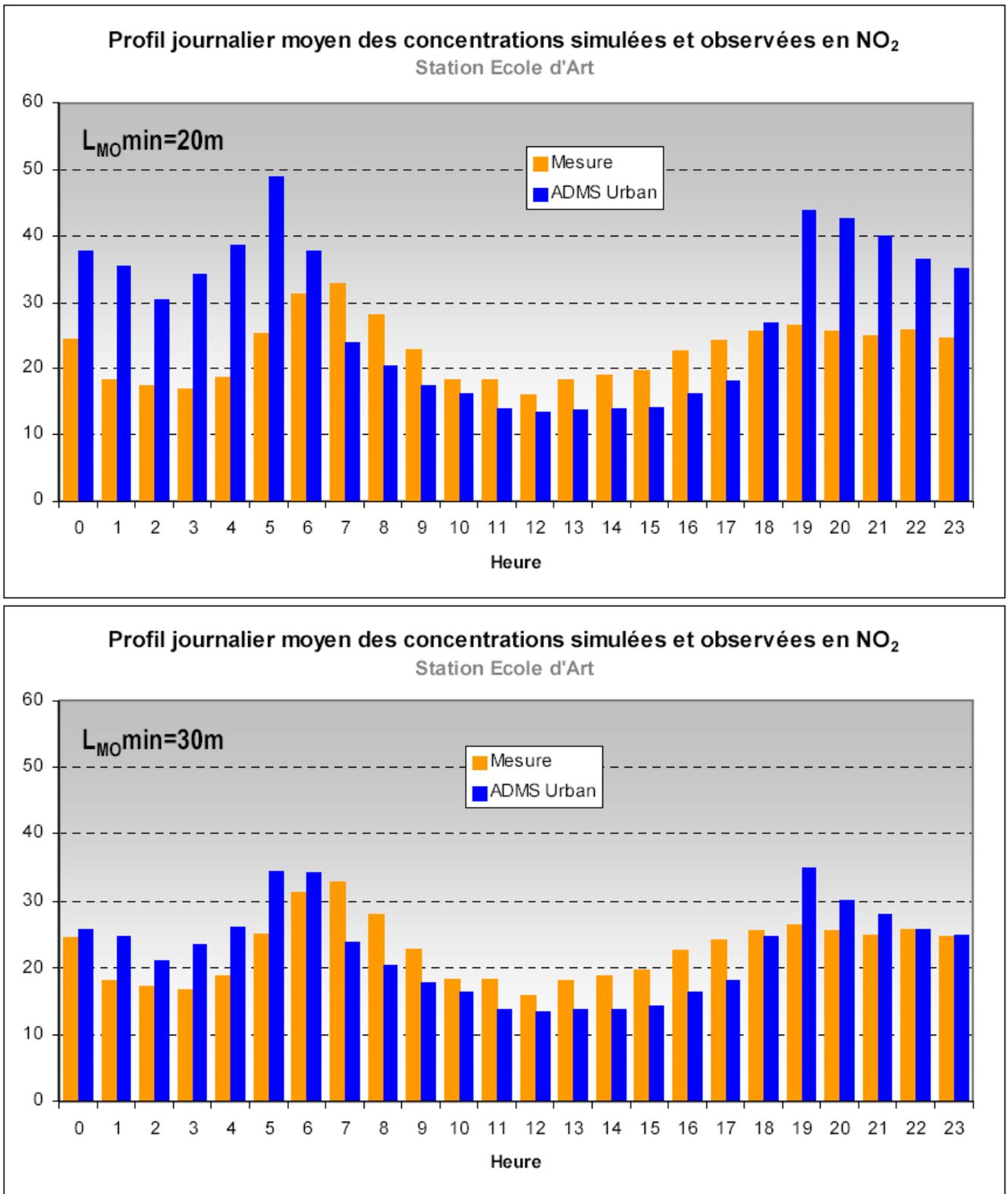


Figure 61 : Influence de la longueur minimale de Monin-Obukhov sur le profil journalier des concentrations en NO₂ simulées à la station Ecole d'Art en période estivale

Description des sources du réseau routier secondaire et du cadastre des émissions totales

L'épaisseur de la couche de mélange initiale des émissions diffuses du réseau routier secondaire a été ajustée de 2m à 1m, ce qui a permis d'améliorer les résultats simulés. De plus, l'épaisseur du cadastre total a été ajustée à 10m, ce qui peut être jugé représentatif de l'ensemble des sources résiduelles.

Schéma photochimique

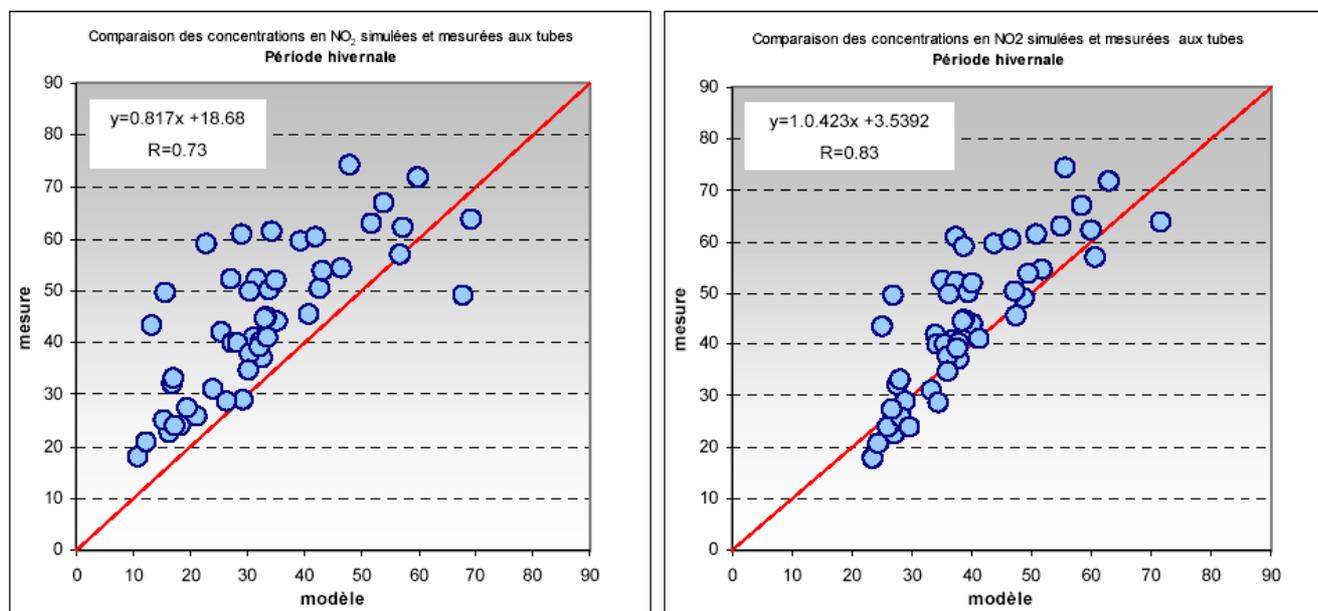
Nous avons testé 2 schémas chimiques qui sont implémentés dans ADMS-Urban. Le schéma chimique de corrélation de Derwent-Middleton calcule les concentrations de NO₂, uniquement en fonction des concentrations de NO_x. Adapté à des conditions de pollution urbaine, ce module a montré de bons résultats pour restituer les niveaux de pollution aux stations urbaines et de type trafic d'Aix-en-Provence.

Synthèse

Afin de bien restituer les niveaux de pollution moyens mensuels et annuels, la configuration optimale retenue prend en compte les options suivantes :

- Une rugosité constante et adapté au domaine ;
- Une hauteur de mélange de 1 m d'épaisseur pour les émissions du trafic routier secondaire ;
- Une épaisseur du cadastre total de 10 m ;
- L'utilisation de données de la station Météo France d'Aix-en-Provence ;
- Une longueur minimale de Monin Obukhov adaptée à la saison et au domaine ;
- L'utilisation du schéma chimique de Derwent-Middleton.

La Figure 62 illustre l'amélioration des résultats simulés en NO₂ au droit des tubes passifs en considérant cette configuration.



3.3. RESULTATS

Les paragraphes suivants présentent les résultats des chaînes de modélisation pour les périodes hivernale, estivale et annuelle étudiées. Dans un premier temps, sont présentés les résultats sur le domaine d'Aix, puis dans un deuxième temps, les résultats sur le domaine CPA. Chacune des parties comprend les cartographies des concentrations simulées en NO₂, en benzène et en PM₁₀, ainsi que les indicateurs de performance associés.

3.3.1. DOMAINE D'AIX

Période hivernale

Les campagnes de mesure pour l'évaluation de la chaîne de calcul datent du 1^{er} au 30 octobre 2007 et du 13 novembre au 11 décembre 2007. Les cartographies ont été obtenues sur une seule période : du 1^{er} au 30 octobre 2007.

Cartographies des concentrations moyennes en NO₂, benzène et PM₁₀

- NO₂

La Figure 63 représente la cartographie des concentrations de NO₂ moyennes sur la période d'octobre 2007. Les concentrations de NO₂ sont maximales le long des axes routiers les plus chargés en terme de trafic routier (polluant traceur de la pollution automobile) avec des valeurs supérieures à 60 µg/m³. Cela concerne notamment les autoroutes A8 et A51, les axes RD9 en direction de Marignane, RD6 et RD60 à proximité de la zone de Gardanne, ainsi que les axes routiers délimitant le centre-ville d'Aix-en-Provence.

On remarque également la présence de zones assez fortement polluées entre le centre-ville historique d'Aix-en-Provence, de part et d'autre de l'A8 et l'A51, ainsi que dans le triangle A51-RD9-RD7. Ces zones présentent des niveaux autour de 40 µg/m³. A quelques dizaines de mètres des sources, les concentrations de NO₂ diminuent jusqu'à 30-35 µg/m³. A l'extérieur des zones urbaines, elles varient entre un niveau de fond de 10 µg/m³ et 25 µg/m³.

- Benzène

La Figure 64 présente la cartographie des concentrations de benzène (C₆H₆) moyennes sur la même période et la même zone. Les valeurs maximales de concentrations de benzène sont localisées sur les axes routiers majeurs et en particulier les axes présentant des conditions de circulation congestionnées (A51, RD9...), où se trouvent les principales sources d'émission (gaz de combustion des véhicules). Ils atteignent des valeurs supérieures à 4 µg/m³ en moyenne sur la période. Les concentrations diminuent rapidement en fonction de la distance aux voies pour atteindre un niveau inférieur à 1 µg/m³ au-delà de la zone urbaine. Le centre-ville d'Aix-en-Provence est soumis à des concentrations en benzène supérieures à 1 µg/m³. Un niveau de fond de 0.67 µg/m³ a été estimé et ajouté aux concentrations simulées.

- PM₁₀

La Figure 65 représente la cartographie des concentrations moyennes de PM₁₀ sur la même période et la même zone. Comme pour le dioxyde d'azote et le benzène, les plus fortes concentrations (supérieures à 50 µg/m³) sont atteintes au niveau des axes routiers les plus chargés. Les niveaux simulés sont également assez élevés au niveau du centre-ville d'Aix-en-Provence et dans une moindre mesure au-delà de la zone urbaine. Les niveaux en PM₁₀ sont compris entre 21.8 µg/m³ (valeur correspondant à la pollution de fond moyenne intégrée dans les calculs ADMS et estimée à partir de différentes stations Atmo PACA et AIRFOBEP) et 60 µg/m³ (valeurs obtenues à proximité immédiate des routes). Il est à noter la contribution relativement importante de la pollution de fond en PM₁₀ par rapport à la contribution des sources modélisées sur le domaine d'étude.

Concentrations moyennes en NO₂ sur le domaine d'Aix-en-Provence Période hivernale

Pollution de fond : non

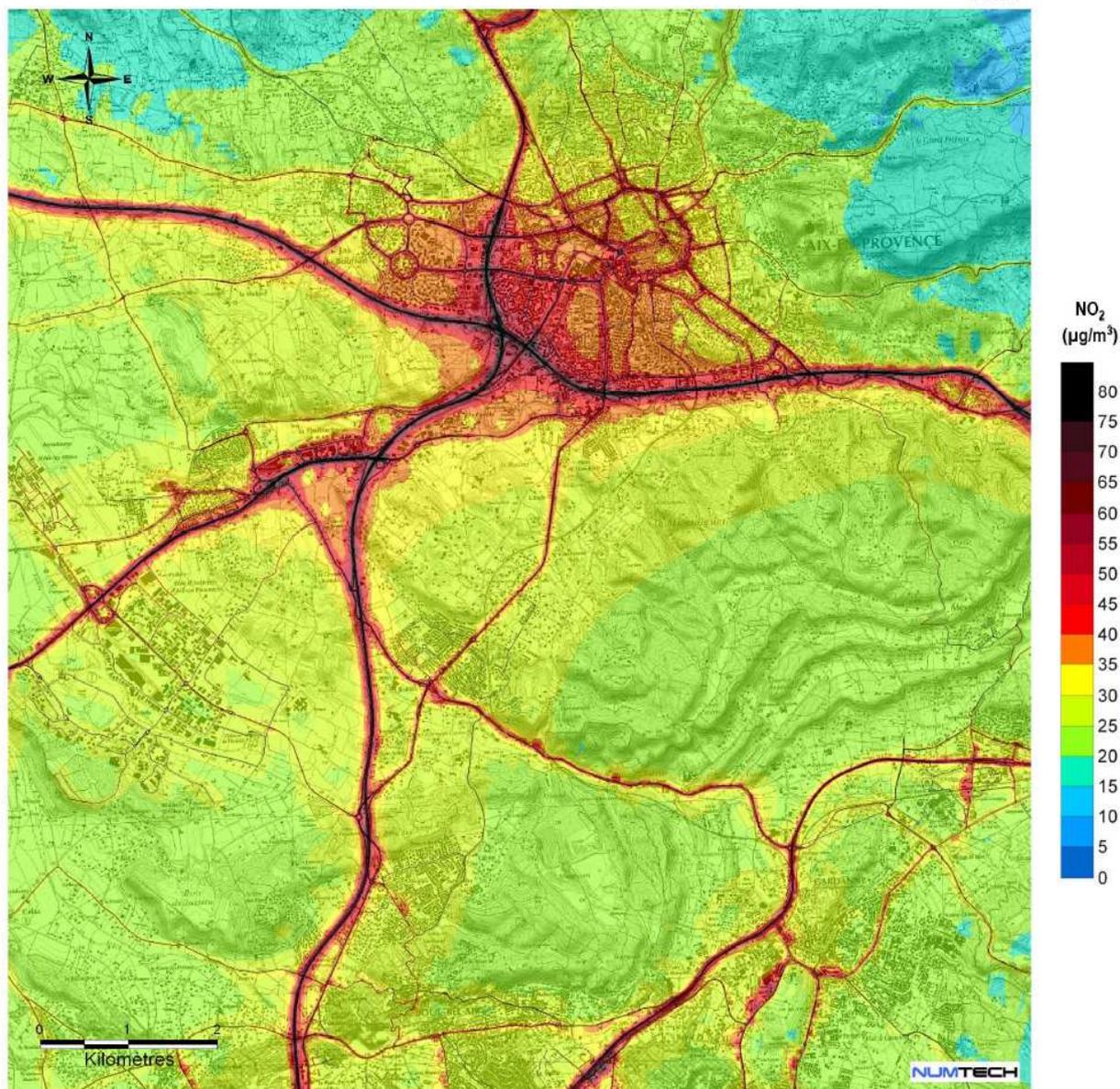
Cadastre d'émission : domaine CPA

Unité : µg/m³

Temps d'intégration : horaire

Période météorologique : du 1^{er} octobre au 30 octobre 2007

© IGN



septembre 2009 – © NUMTECH

Figure 63 : Concentrations moyennes simulées en NO₂ (µg/m³) au cours de la période hivernale

Concentrations moyennes en benzène sur le domaine d'Aix-en-Provence Période estivale

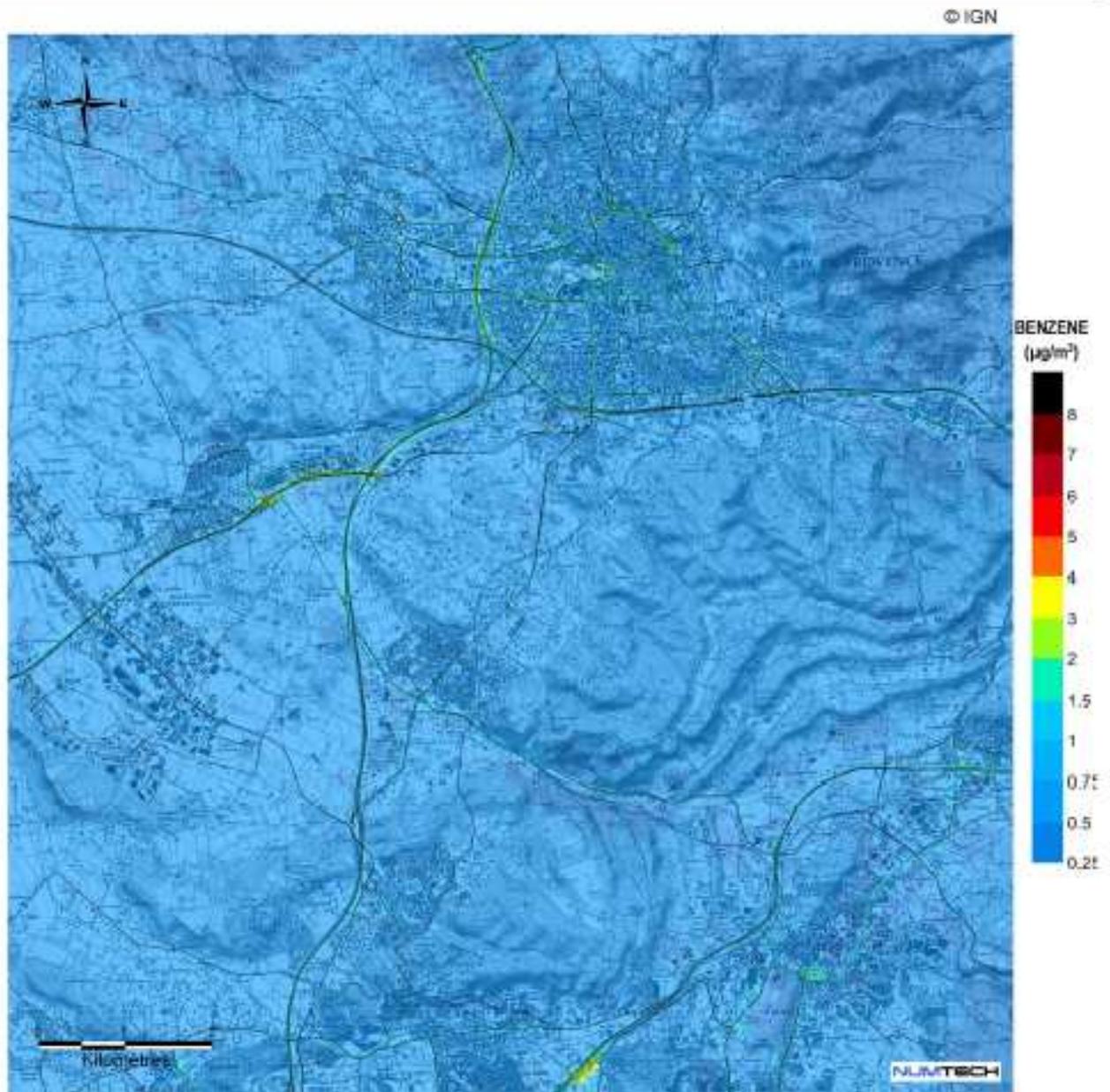
Pollution de fond : constante dans le temps (moyenne : 0.16 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

Cadastre d'émission : domaine CPA

Unité : $\mu\text{g}/\text{m}^3$

Temps d'intégration : horaire

Période météorologique : du 29 mai au 26 juin 2007



septembre 2009 – © NUMTECH

Figure 64 : Concentrations moyennes simulées en benzène ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) au cours de la période hivernale

Concentrations moyennes en PM₁₀ sur le domaine d'Aix-en-Provence Période estivale

Pollution de fond : variable dans le temps (moyenne : 17.7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

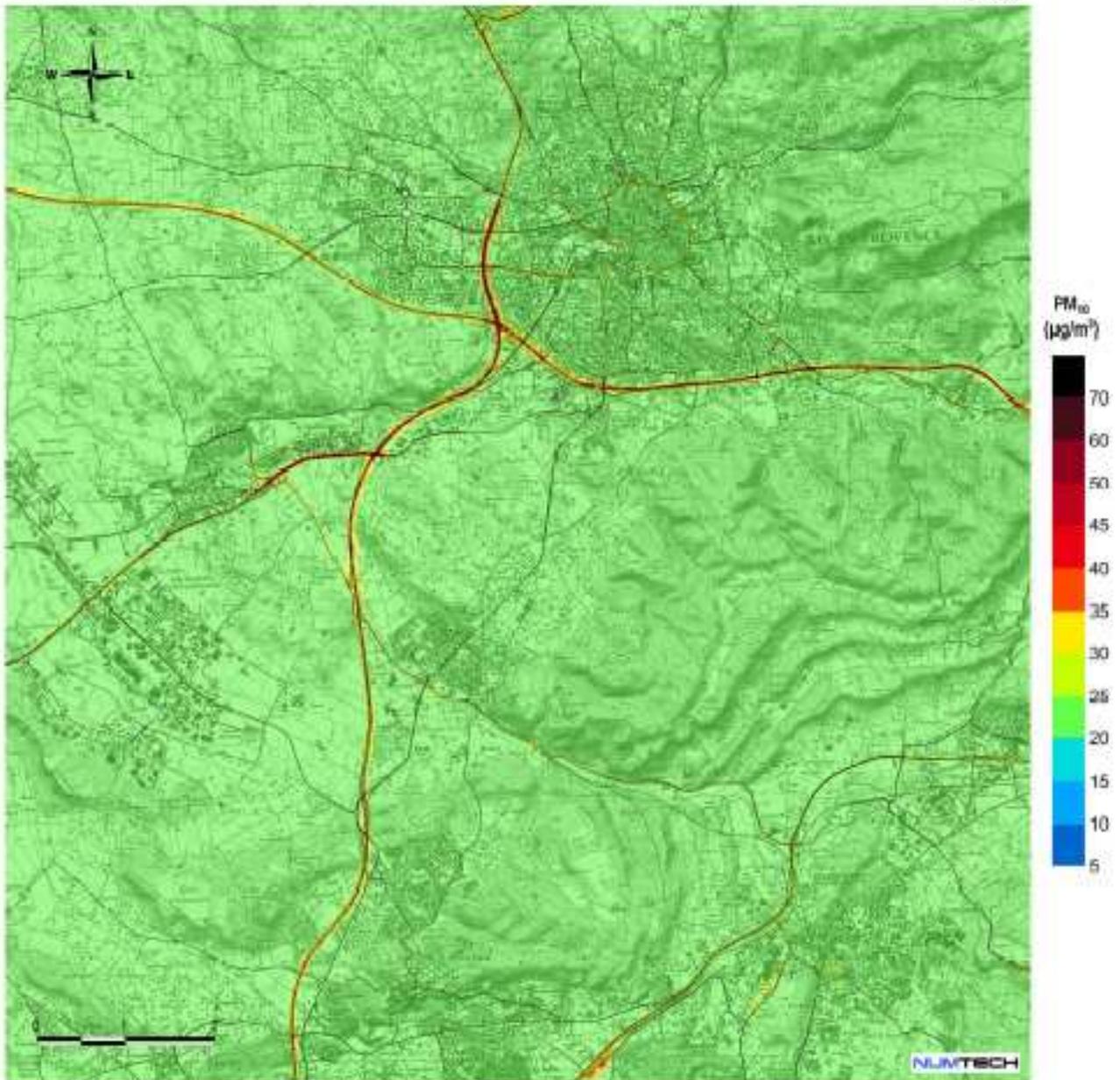
Cadastre d'émission : domaine CPA

Unité : $\mu\text{g}/\text{m}^3$

Temps d'intégration : horaire

Période météorologique : du 29 mai au 26 juin 2007

© IGN



septembre 2009 – © NUMTECH

Figure 65 : Concentrations moyennes simulées en PM₁₀ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) au cours de la période hivernale

Capacité du modèle à restituer la distribution spatiale des concentrations

- NO₂

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

Les concentrations en NO₂ ont été simulées au niveau des tubes passifs disposés sur le domaine d'Aix au cours des périodes d'octobre 2007 et du 13 novembre au 11 décembre 2007. Les calculs ont été réalisés à partir des données Météo France mesurées à la station d'Aix-en-Provence.

Après ajustement de la chaîne de modélisation, la comparaison entre les concentrations simulées et mesurées montre des résultats satisfaisants (Figure 66 et Figure 67) en termes d'indicateurs statistiques, avec notamment un coefficient de corrélation supérieur à 0.8 et un biais moyen de 5.21 µg/m³. De grosses différences sont notées pour les tubes localisés dans la zone d'activité d'Aix les Milles ou à proximité d'axes très fréquentés, où le modèle sous-estime les niveaux de concentrations mesurées. Les conditions locales n'étant pas différentes de celles observées sur Aix, cette sous-estimation des concentrations est probablement liée aux calculs des émissions.

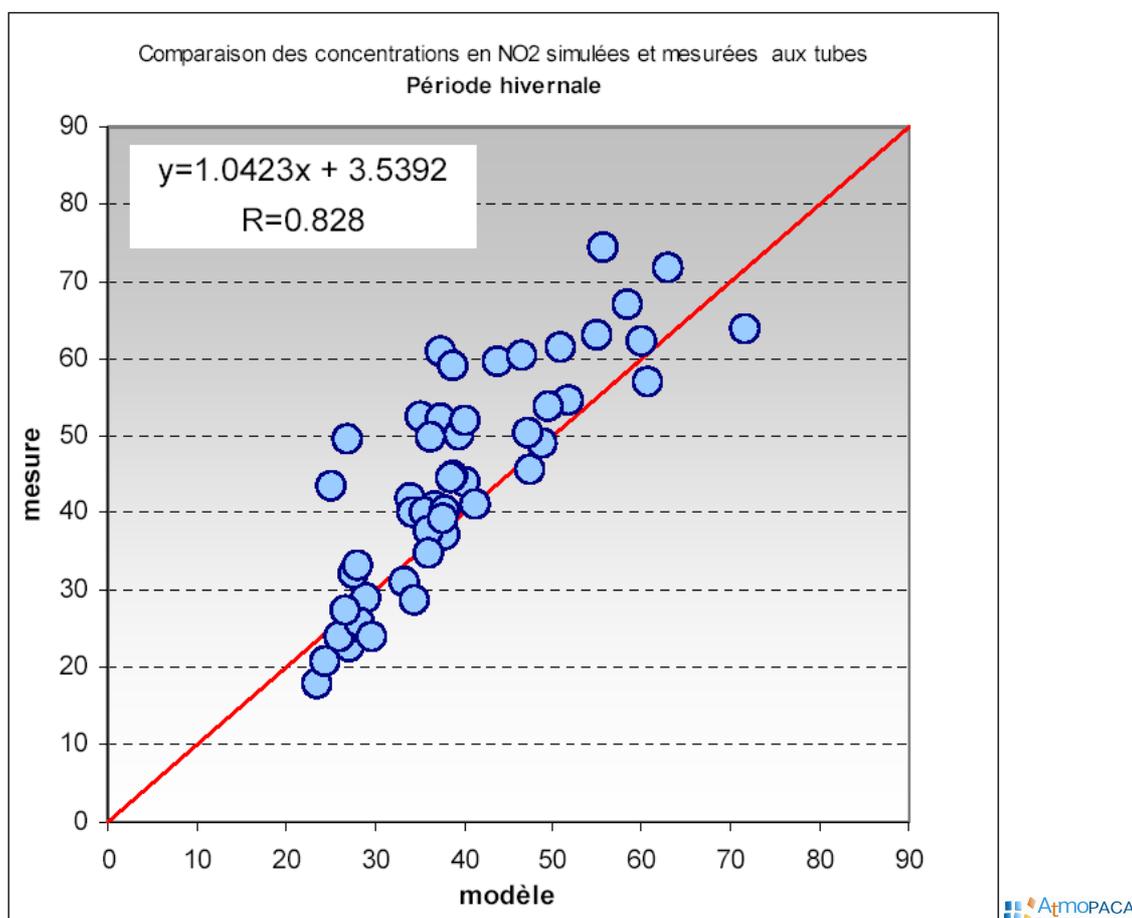


Figure 66 : Comparaison des concentrations mesurées et simulées en NO₂ au cours de la période hivernale pour le domaine d'Aix

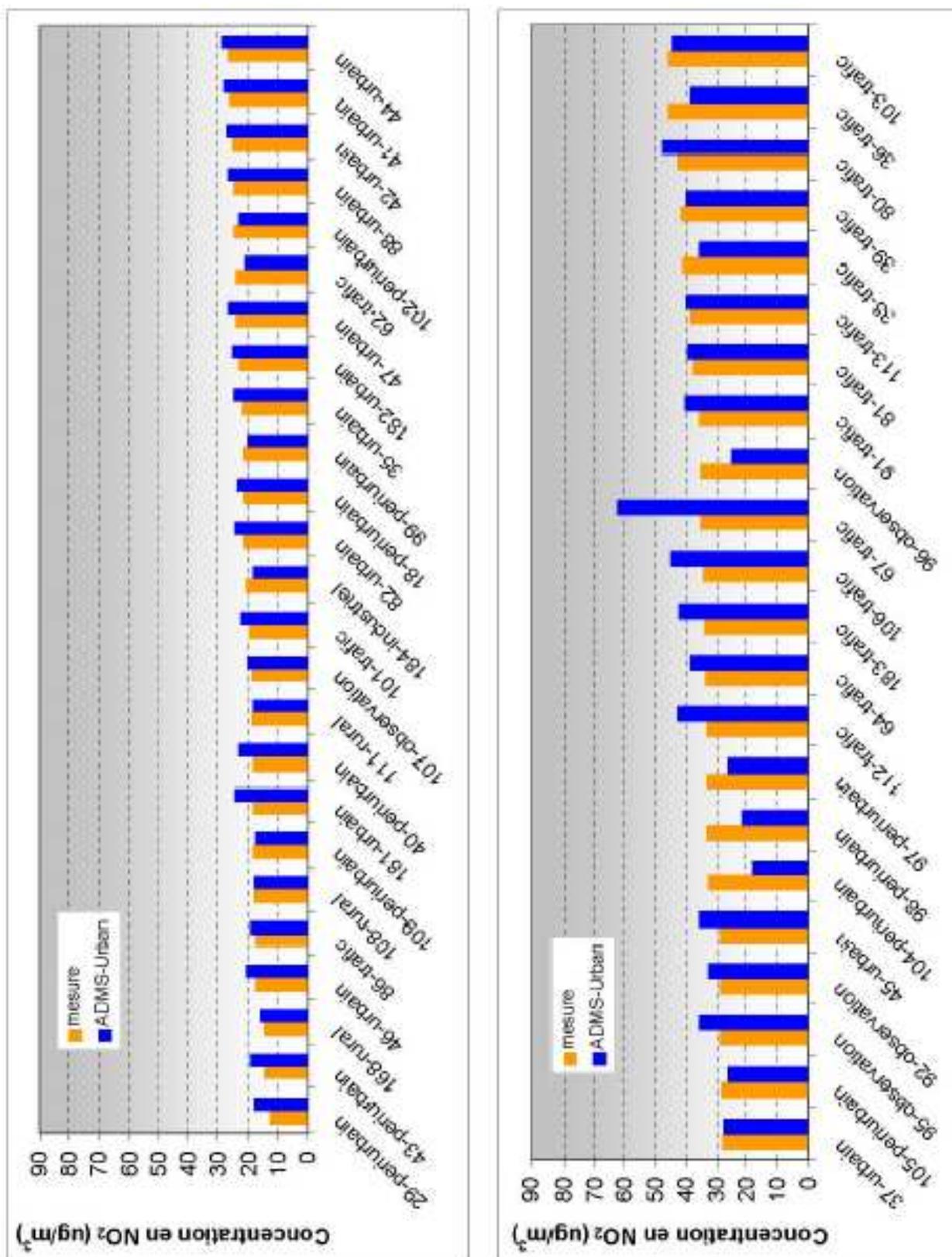


Figure 67 : Comparaison des concentrations mesurées et simulées en NO₂ au droit des tubes passifs et stations au cours de la période estivale pour le domaine d'Aix

- Benzène

La comparaison entre les concentrations simulées et mesurées en benzène montre des résultats satisfaisants (Figure 68) en termes d'indicateurs statistiques, avec notamment un coefficient de corrélation supérieur à 0.75. Une pollution de fond de $0.67 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (correspondant au biais moyen) a été considérée dans le calcul, car le modèle avait tendance à sous-estimer les faibles concentrations mesurées.

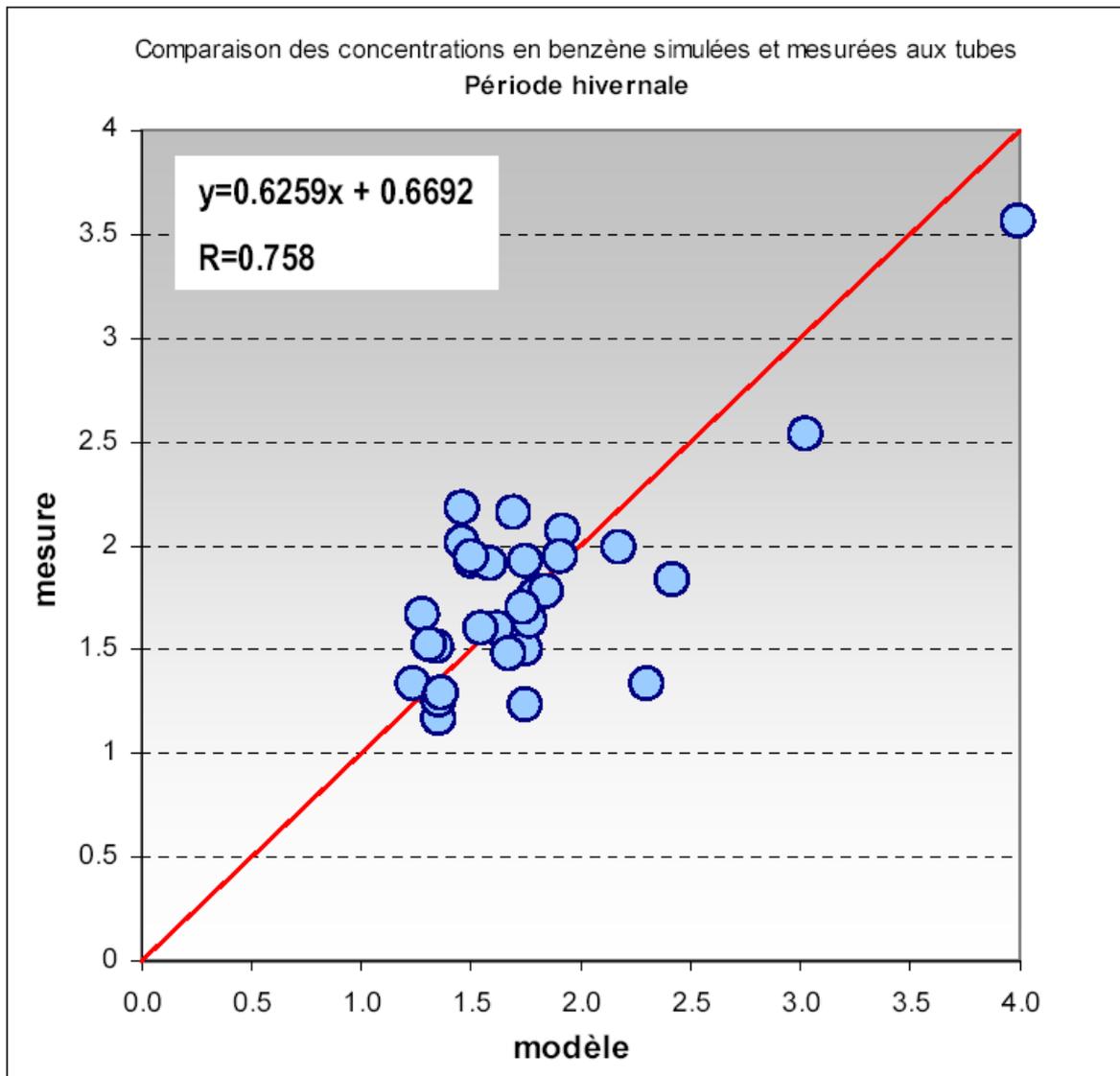


Figure 68 : Comparaison des concentrations mesurées et simulées en benzène au cours de la période estivale pour le domaine d'Aix

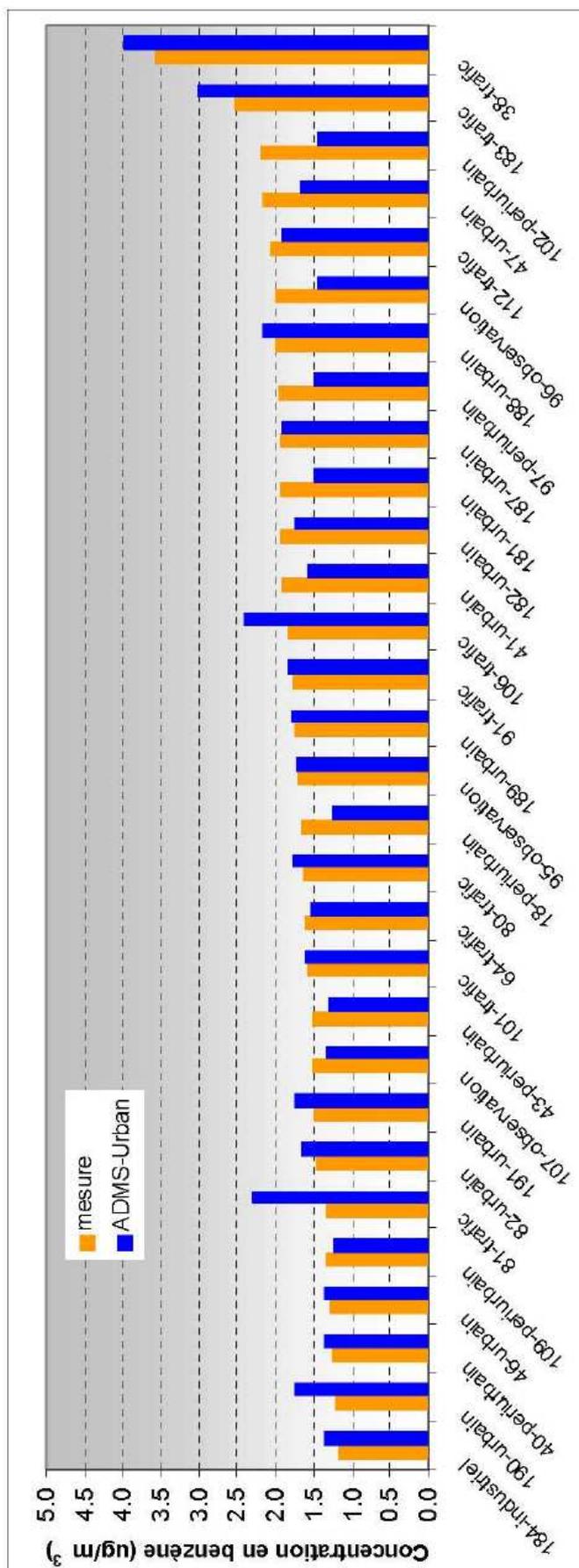


Figure 69 : Comparaison des concentrations mesurées et simulées en benzène au droit des tubes passifs et stations au cours de la période hivernale pour le domaine d'Aix (par ordre croissant de concentrations mesurées)

Comparaison des résultats du modèle aux concentrations mesurées aux stations

Les résultats simulés sont comparés à des mesures continues de capteurs localisés dans la ville d'Aix-en-Provence.

Pour cela, nous avons utilisé les mesures de 3 stations permanentes (Jas de Bouffan, Roy René, et Ecole d'Art) appartenant au réseau Atmo PACA.

La Figure 70 présente une comparaison des concentrations moyennes simulées et mesurées en NO₂ et en NO_x aux stations permanentes du réseau Atmo PACA. Le modèle reproduit relativement bien les concentrations moyennes en NO₂ et en PM₁₀, et dans une moindre mesure les concentrations en NO_x pour les stations Roy René et Jas de Bouffan (Tableau 9).

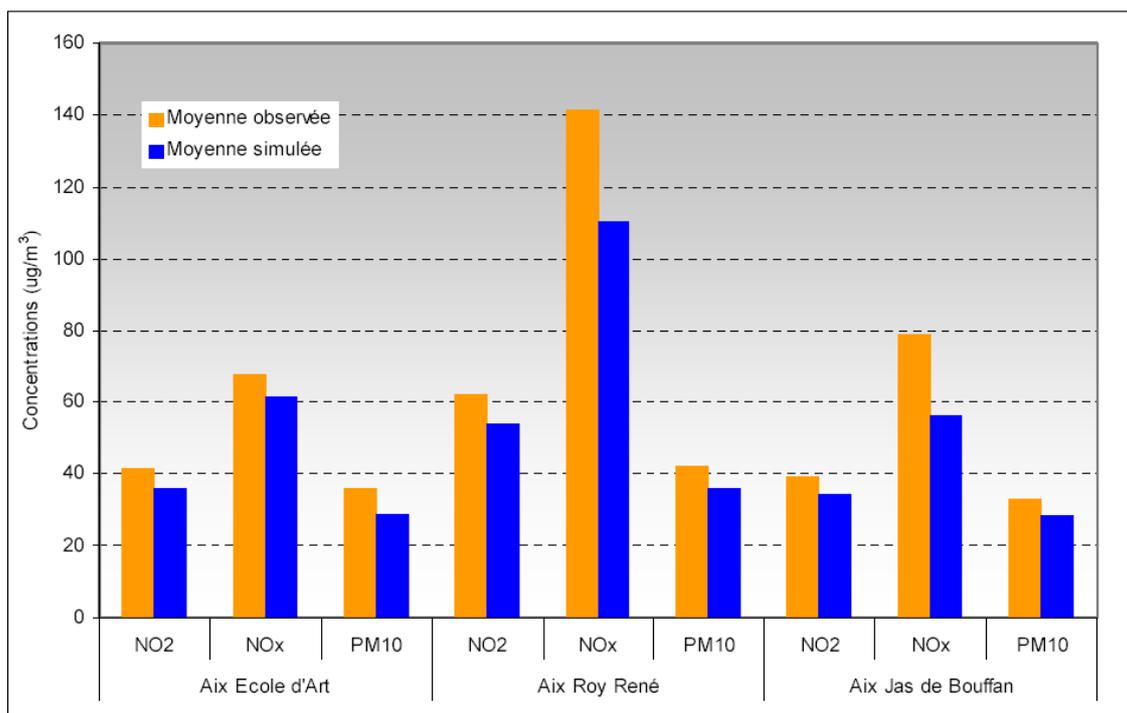


Figure 70 : Comparaison des concentrations moyennes simulées et mesurées en NO₂, NO_x et PM₁₀ aux stations permanentes du réseau Atmo PACA du 1er au 30 octobre 2007

Hiver	Ecole d'Art			Roy René			Jas de Bouffan		
	NO ₂	NO _x	PM ₁₀	NO ₂	NO _x	PM ₁₀	NO ₂	NO _x	PM ₁₀
Moyenne mesurée (µg/m ³)	41.20	67.69	35.92	62.42	78.89	42.03	39.31	78.89	32.79
Moyenne simulée (µg/m ³)	36.13	61.27	28.96	53.94	56.59	35.84	34.24	56.59	28.52
Biais	5.08	6.42	6.96	8.48	22.29	6.20	5.07	22.29	4.27
Biais normalisé (FB)	0.13	0.09	0.21	0.15	0.30	0.16	0.14	0.30	0.14
RMSE	22.36	86.88	17.39	32.08	91.90	16.86	22.46	91.86	14.35
NMSE	0.02	0.02	0.02	0.01	0.02	0.01	0.02	0.02	0.02
MAE	17.20	53.48	11.37	25.77	57.01	12.51	16.52	57.01	9.58
Ecart type	26.83	90.25	16.32	32.02	111.27	16.86	29.52	109.53	15.46
FA2	0.74	0.58	0.91	0.76	0.71	0.93	0.76	0.71	0.91
R	0.50	0.24	0.57	0.43	0.33	0.65	0.52	0.33	0.53

Tableau 9 : Bilan des indicateurs statistiques en NO₂, NO_x et PM₁₀ calculés aux stations fixes du réseau Atmo PACA pour la période hivernale

Globalement, le modèle restitue relativement bien la variabilité temporelle des niveaux de concentrations en PM₁₀ atteints par ces stations (Tableau 9), les résultats de corrélation sont satisfaisants. Les résultats de corrélation pour les concentrations en NO₂ et en NO_x sont moins satisfaisants. Plusieurs facteurs peuvent expliquer ces résultats, comme un écart entre les conditions météorologiques intégrées dans le modèle et réellement observées, le schéma chimique utilisé et dans une moindre mesure, un écart local entre les émissions réelles et les émissions modélisées (événements particuliers très difficilement modélisables, réseau routier secondaire présent à proximité de la station et modélisé comme une source volumique et non comme une source explicite...).

Les figures suivantes sont des exemples de restitution temporelle des concentrations en NO₂ aux stations urbaines Ecole d'Art et Jas de Bouffan. Globalement, on note que le modèle reproduit difficilement l'ensemble des pics horaires (sous-estimation des pics).

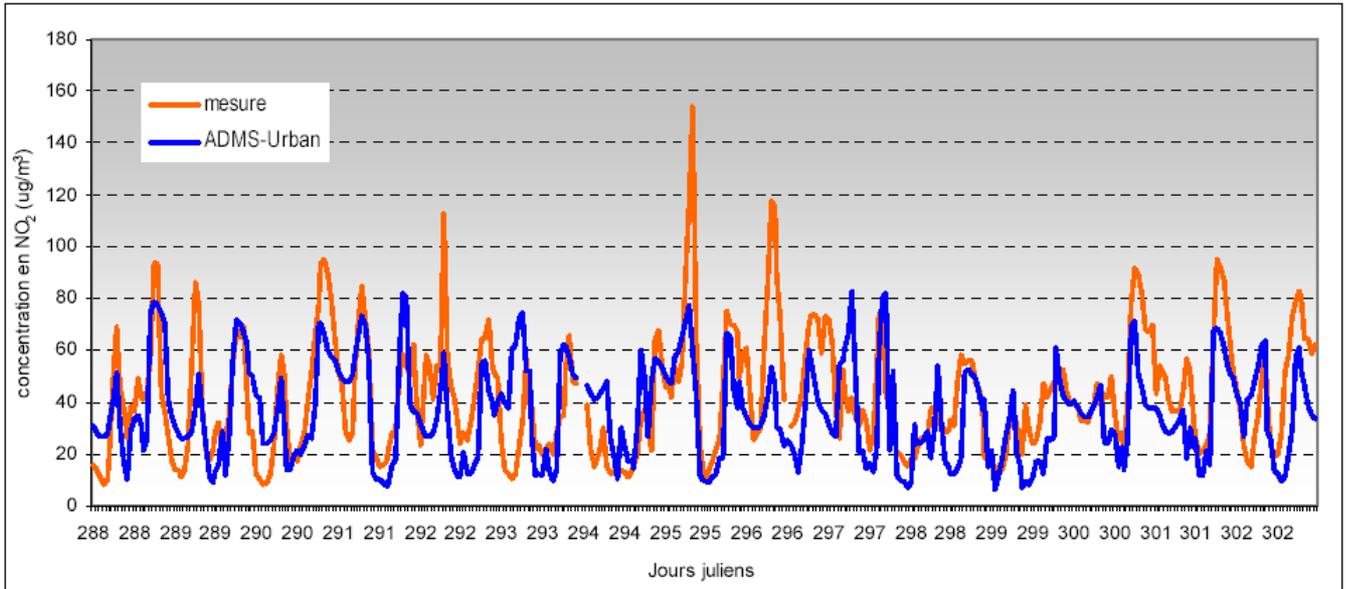


Figure 71 : Comparaison des concentrations simulées et mesurées en NO₂ à la station d'Ecole d'Art du 15 au 29 octobre 2007

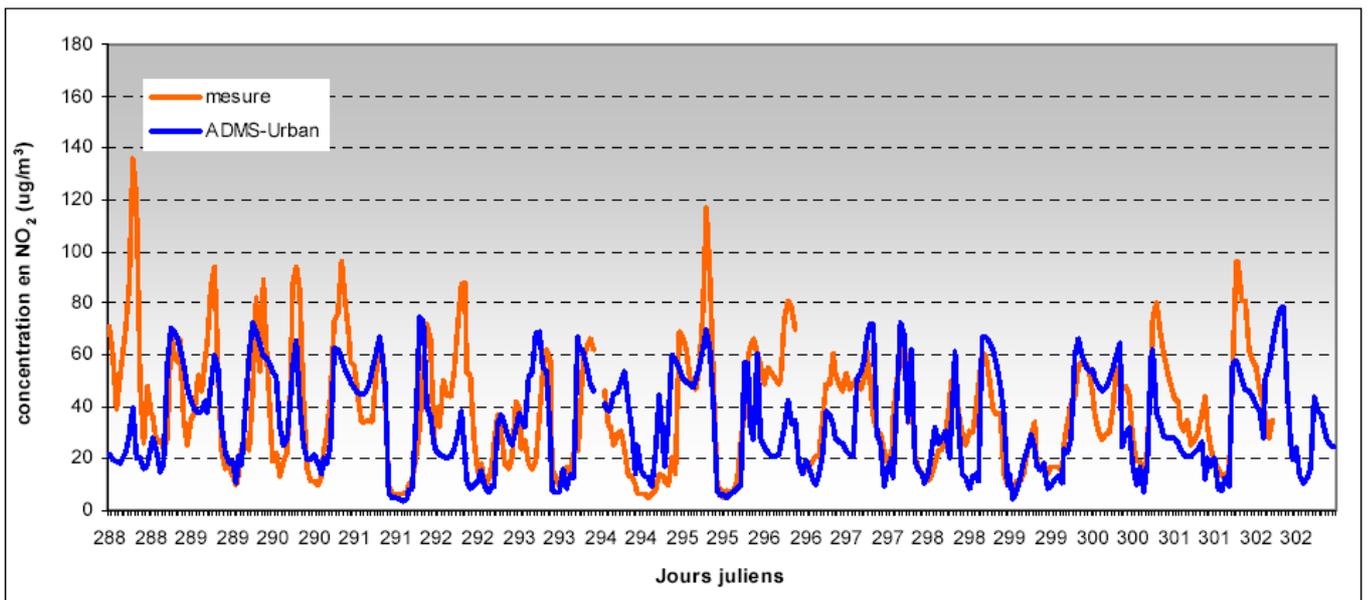


Figure 72 : Comparaison des concentrations simulées et mesurées en NO₂ à la station Jas de Bouffan du 15 au 29 octobre 2007

Période estivale

La période estivale étudiée est celle du 29 mai au 26 juin 2007.

Cartographies des concentrations moyennes en NO₂, benzène et PM₁₀

- NO₂

La Figure 73 représente la cartographie des concentrations de NO₂ moyennes sur la période estivale. Globalement, les niveaux sont plus faibles qu'avec la période hivernale. Par contre, on retrouve des gammes de valeurs équivalentes à la période hivernale au niveau des axes routiers (valeur supérieure à 60 µg/m³). Aux alentours des axes routiers, les concentrations restent supérieures à 40 µg/m³. Le centre-ville d'Aix-en-Provence et le triangle A51-

RD9-RD7 restent plus impactées que le reste du domaine. Au-delà de la zone urbaine, les concentrations varient entre un niveau de fond de 5 µg/m³ et 20 µg/m³.

- Benzène

La Figure 74 présente la cartographie des concentrations de benzène (C₆H₆) moyennes sur la même période et la même zone. Elle indique des niveaux comparables à ceux simulés pour la période hivernale. Les valeurs maximales en benzène sont localisées sur les tronçons d'axes routiers où les conditions de trafic sont congestionnées (A51, RD9, axes routiers confinés en centre-ville d'Aix). Elles peuvent atteindre des valeurs supérieures à 4 µg/m³. Le niveau diminue ensuite en fonction de la distance aux voies pour atteindre un niveau de fond (d'environ 1 µg/m³).

- PM₁₀

La Figure 75 représente la cartographie des concentrations moyennes en PM₁₀ sur la même période et la même zone. Les fortes concentrations en PM₁₀ (supérieures à 60 µg/m³) sont également localisées au niveau des axes routiers. Les concentrations décroissent rapidement en fonction de la distance aux sources pour atteindre des valeurs urbaines de fond (allant de 20 à 25 µg/m³). Par rapport à la période hivernale, on constate une diminution des concentrations en PM₁₀ sur le domaine d'étude. Ceci est principalement lié à une baisse en moyenne de la pollution de fond entrante sur le domaine de 21.8 µg/m³ sur la période hivernale à presque 17.7 µg/m³ sur la période estivale (valeurs estimées statistiquement).

Concentrations moyennes en NO₂ sur le domaine d'Aix-en-Provence Période estivale

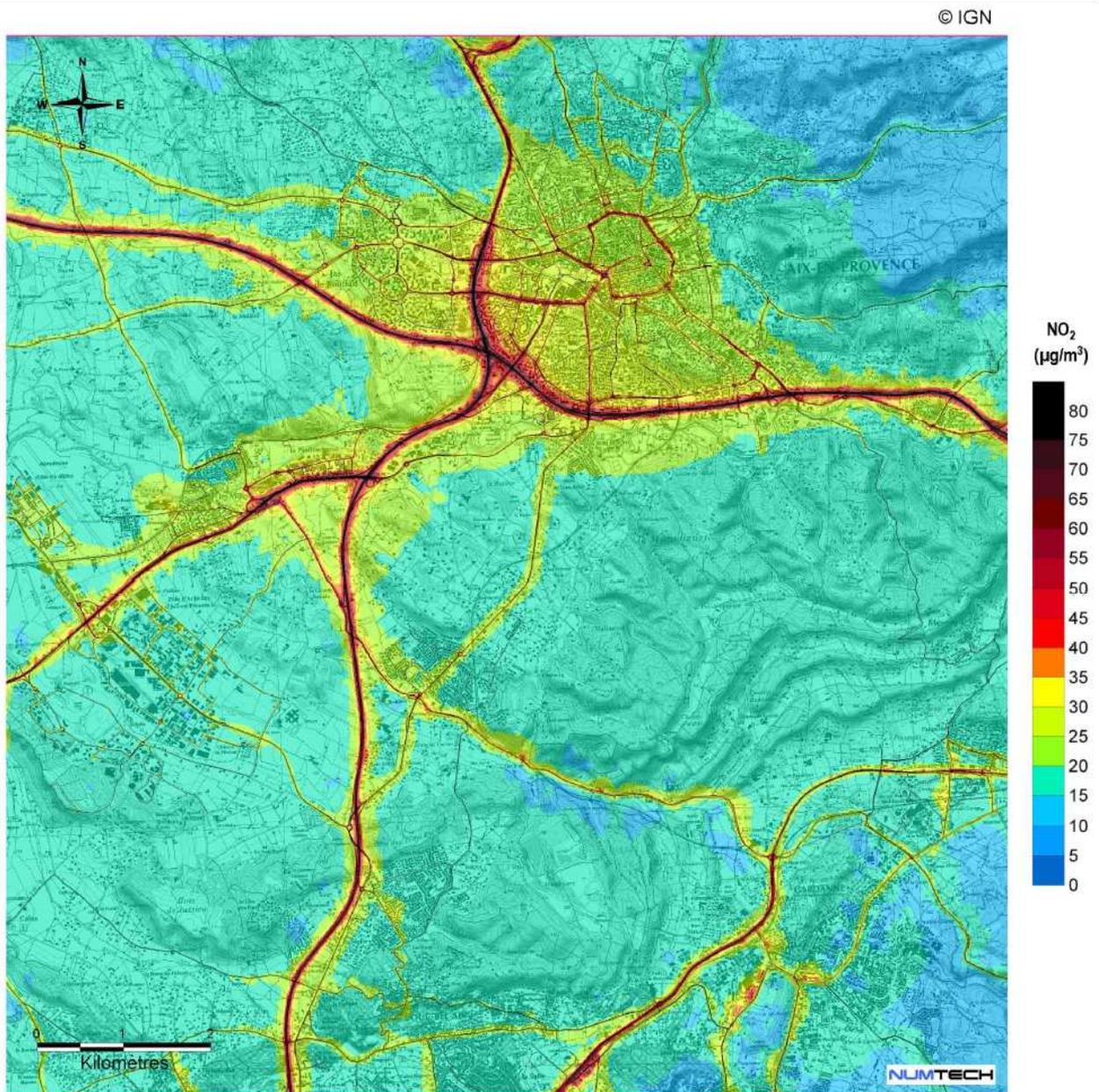
Pollution de fond : non

Cadastre d'émission : domaine CPA

Unité : µg/m³

Temps d'intégration : horaire

Période météorologique : du 29 mai au 26 juin 2007



septembre 2009 – © NUMTECH

Concentrations moyennes en benzène sur le domaine d'Aix-en-Provence Période estivale

Pollution de fond : constante dans le temps (moyenne : $0.16 \mu\text{g}/\text{m}^3$)

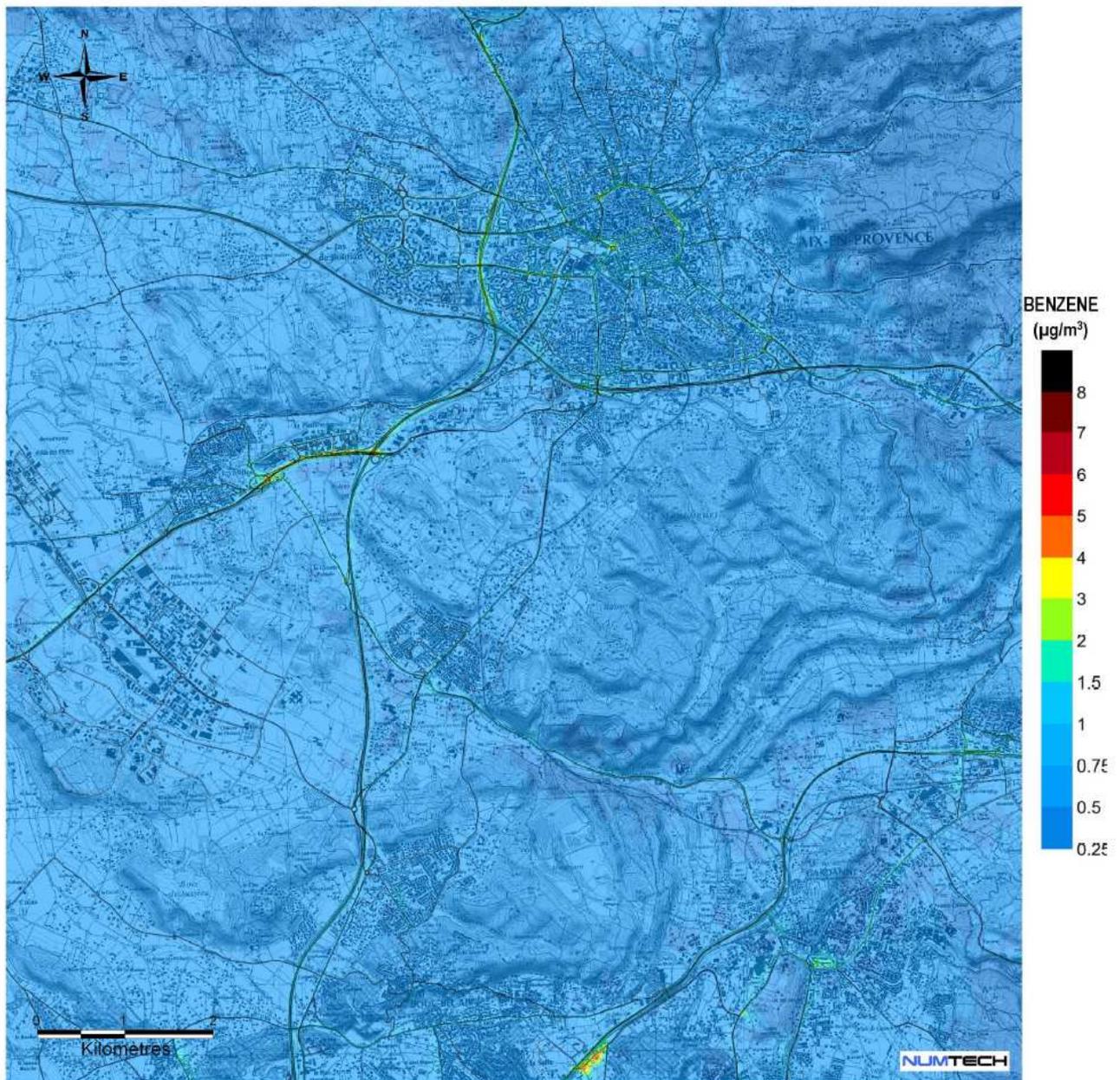
Cadastre d'émission : domaine CPA

Unité : $\mu\text{g}/\text{m}^3$

Temps d'intégration : horaire

Période météorologique : du 29 mai au 26 juin 2007

© IGN



septembre 2009 - © NUMTECH

Concentrations moyennes en PM₁₀ sur le domaine d'Aix-en-Provence Période estivale

Pollution de fond : variable dans le temps (moyenne : 17.7 ug/m³)

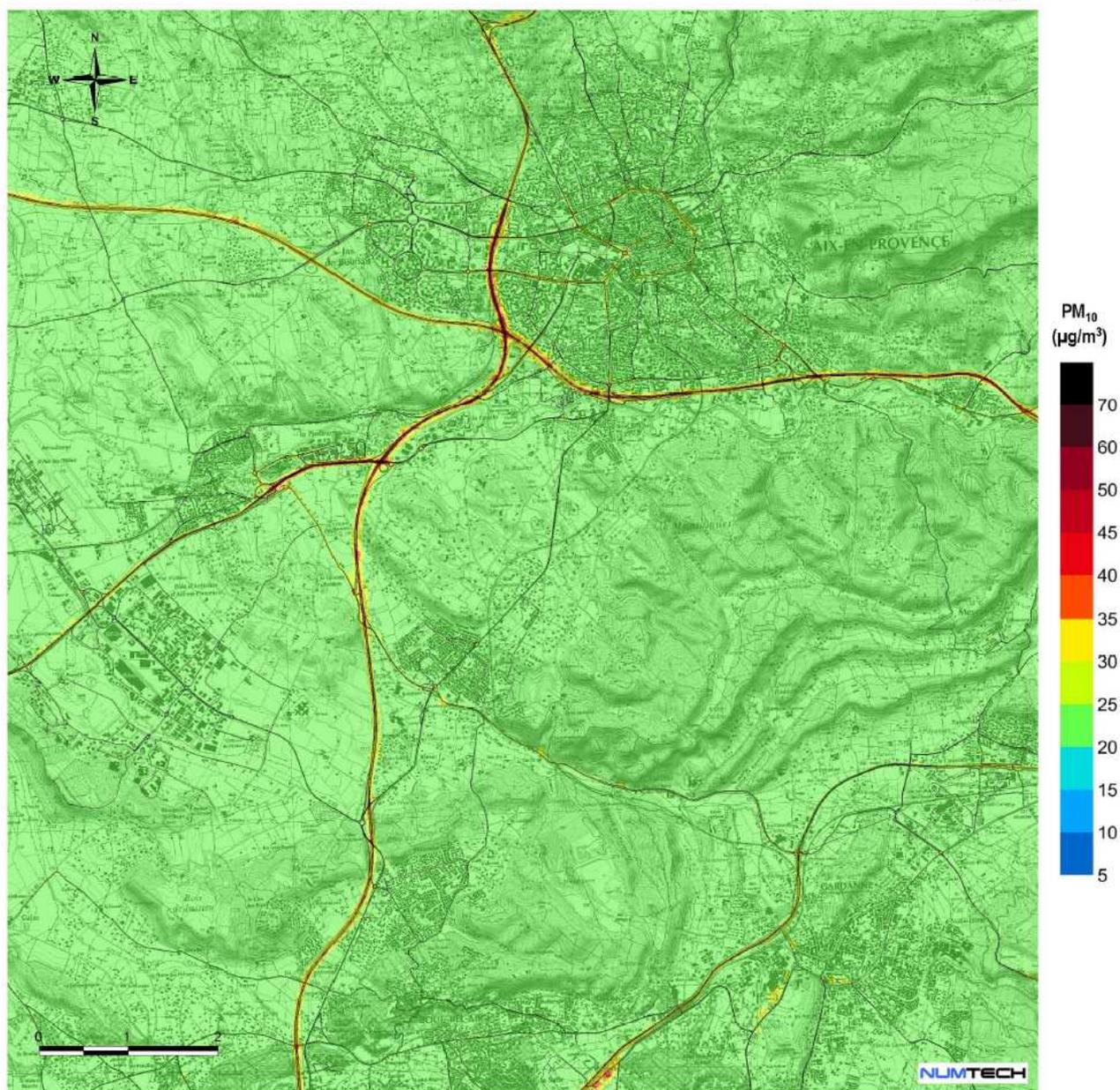
Cadastre d'émission : domaine CPA

Unité : µg/m³

Temps d'intégration : horaire

Période météorologique : du 29 mai au 26 juin 2007

© IGN



septembre 2009 – © NUMTECH

Capacité du modèle à restituer la distribution spatiale des concentrations

- NO₂

La chaîne de calcul a été validée en comparant les résultats modèle / mesure pour la campagne estivale (4 juin au 3 juillet 2008). Le modèle fournit des résultats aussi satisfaisants qu'en période hivernale (Figure 76 et Figure 77). Le biais moyen est de -1.48 µg/m³, le coefficient de corrélation (R) passe de 0.828 pour la période hivernale, à 0.783 pour la période estivale sur l'ensemble des tubes passifs.

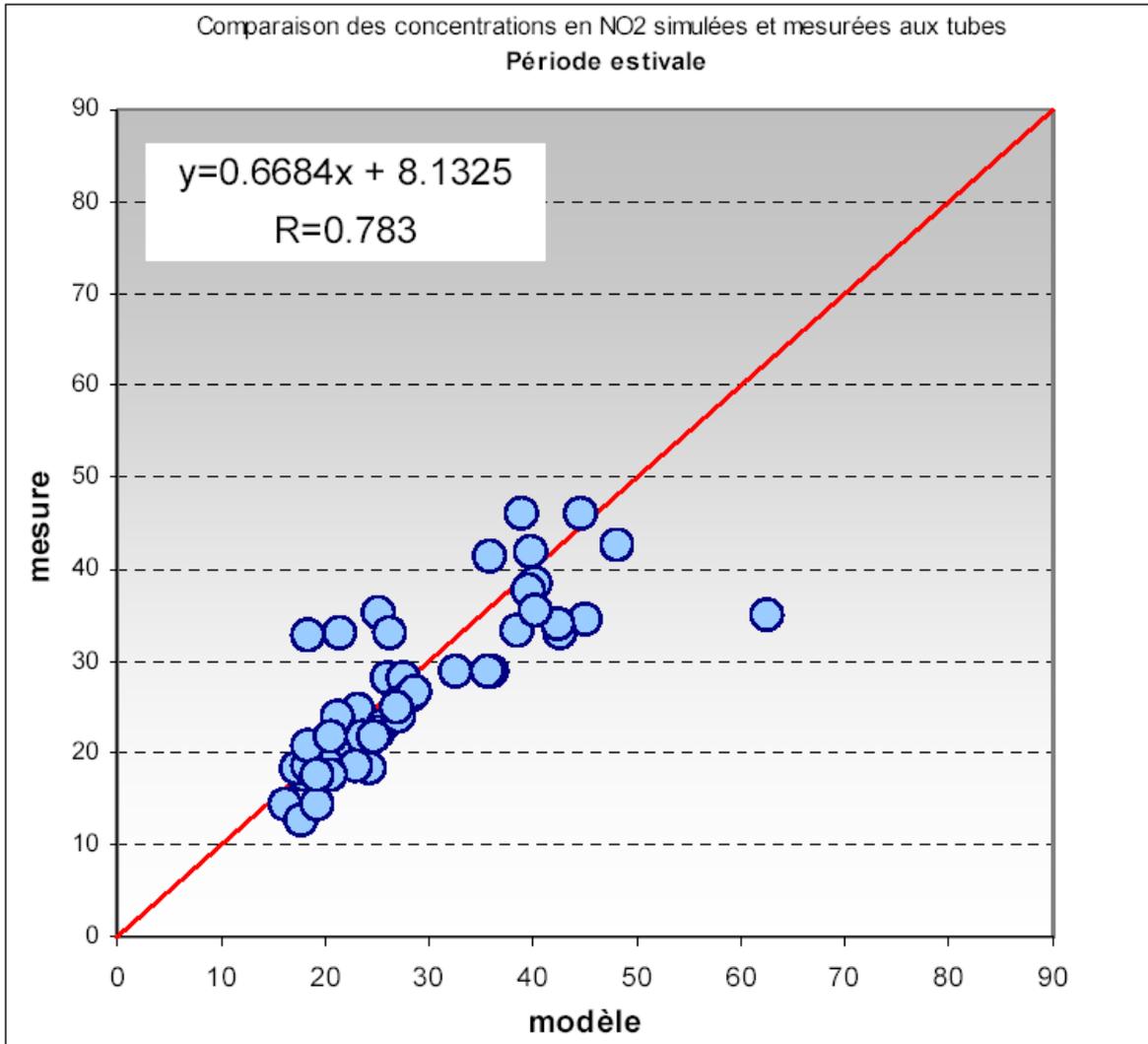


Figure 76 : Comparaison des concentrations mesurées et simulées en NO₂ au cours de la période estivale pour le domaine d'Aix

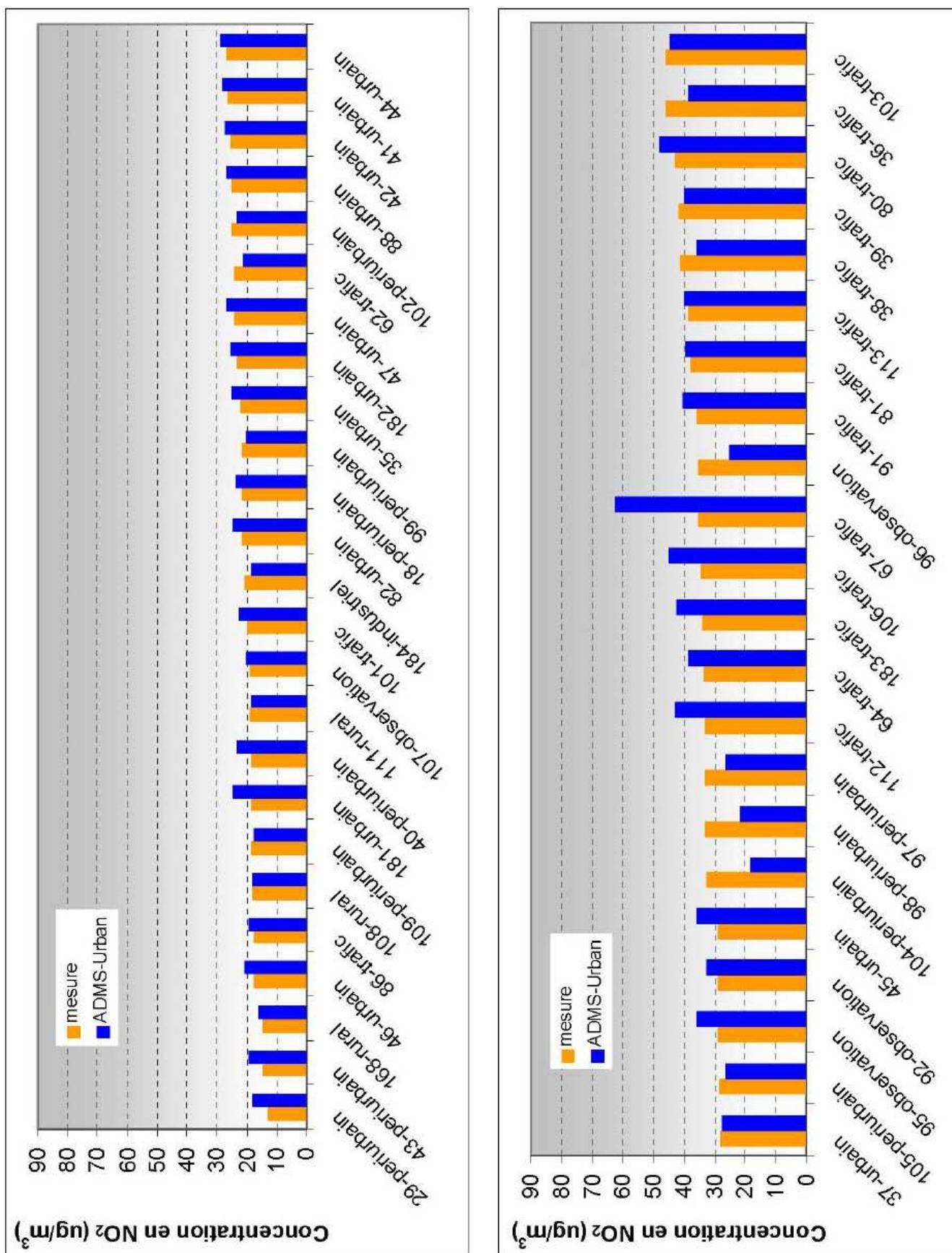


Figure 77 : Comparaison des concentrations mesurées et simulées en NO₂ au droit des tubes passifs et stations au cours de la période estivale pour le domaine d'Aix

• Benzène

Les indicateurs statistiques (**figure 78**) indiquent une corrélation satisfaisante entre les concentrations simulées et mesurées en benzène ($R = 0.693$). Comme pour la période hivernale, la sous-estimation des faibles concentrations a été corrigée en prenant en compte une pollution de fond moyenne de $0.16 \mu\text{g}/\text{m}^3$ dans les calculs, qui correspond au biais moyen avant correction.

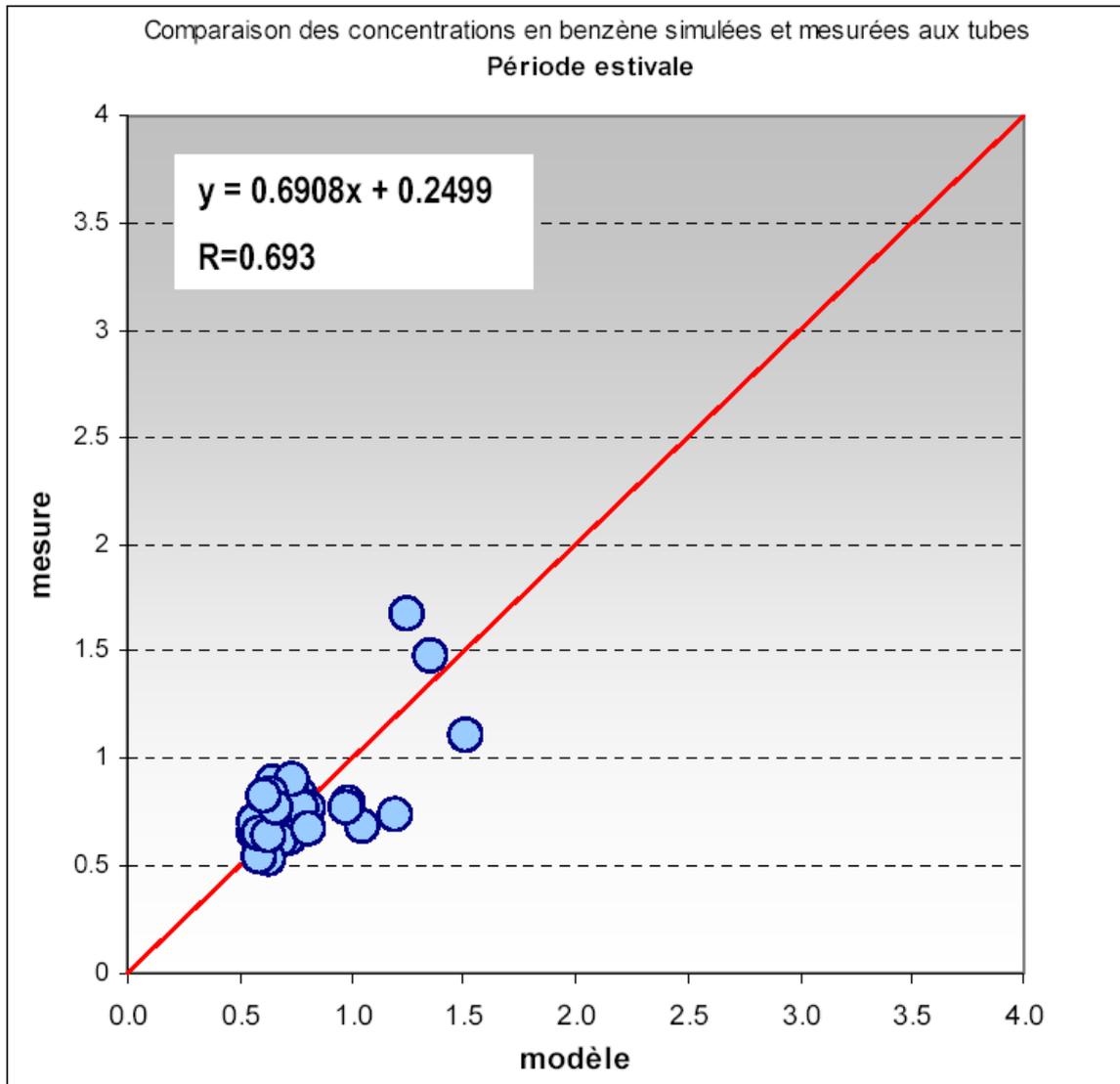


Figure 78 : Comparaison des concentrations mesurées et simulées en benzène au cours de la période estivale pour le domaine d'Aix

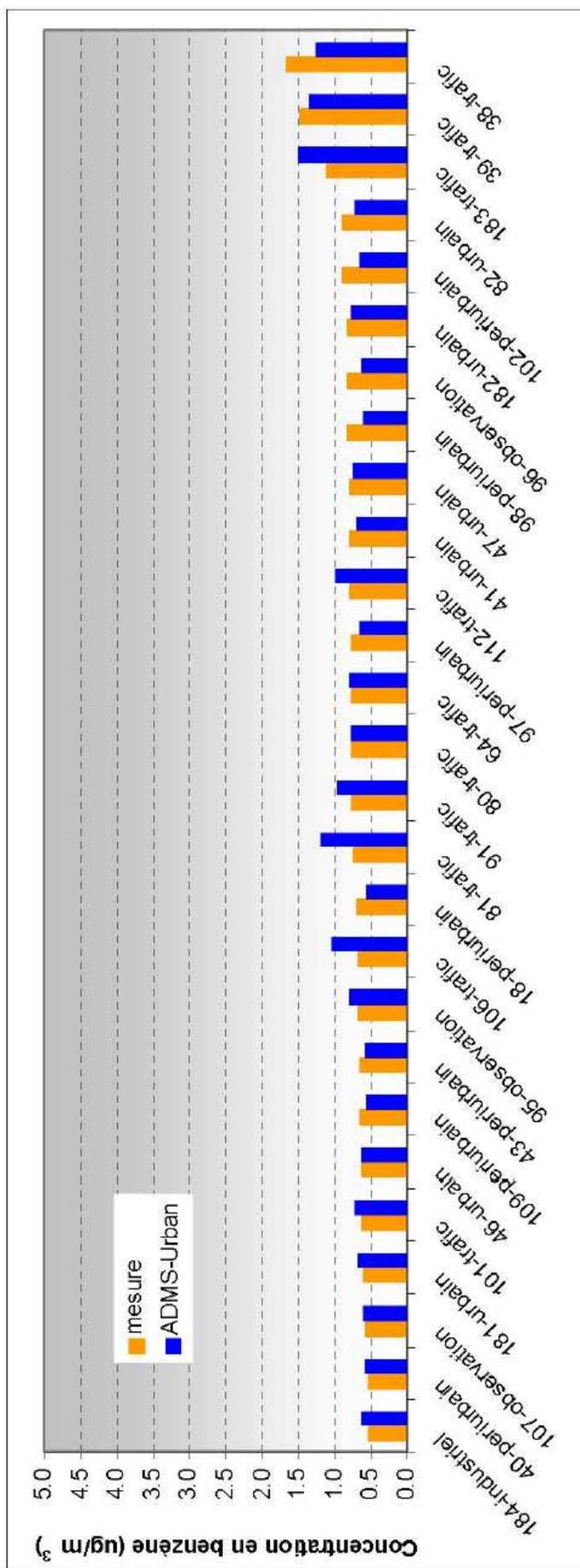


Figure 79 : Comparaison des concentrations mesurées et simulées en benzène au droit des tubes passifs et stations au cours de la période estivale pour le domaine d'Aix

Comparaison des résultats du modèle aux concentrations mesurées aux stations

Comme pour la période hivernale, les capacités du modèle à restituer les concentrations simulées en moyenne sont évaluées à partir d'une comparaison avec les valeurs mesurées aux stations permanentes (Ecole d'Art, Roy René et Jas de Bouffan).

Globalement, les concentrations moyennes sont bien restituées pour l'ensemble des stations (Figure 80 et Tableau 10). Toutefois le modèle a tendance à surestimer les niveaux de concentrations en NO₂ et en NO_x, et à sous-estimer les niveaux de concentrations en PM₁₀. Les écarts entre le modèle et la mesure en NO₂ sont toujours plus importants pour la station de Roy René, alors que les résultats s'améliorent pour les 2 autres stations. Les indicateurs statistiques indiquent par ailleurs une meilleure reproduction des concentrations en NO₂ qu'en NO_x.

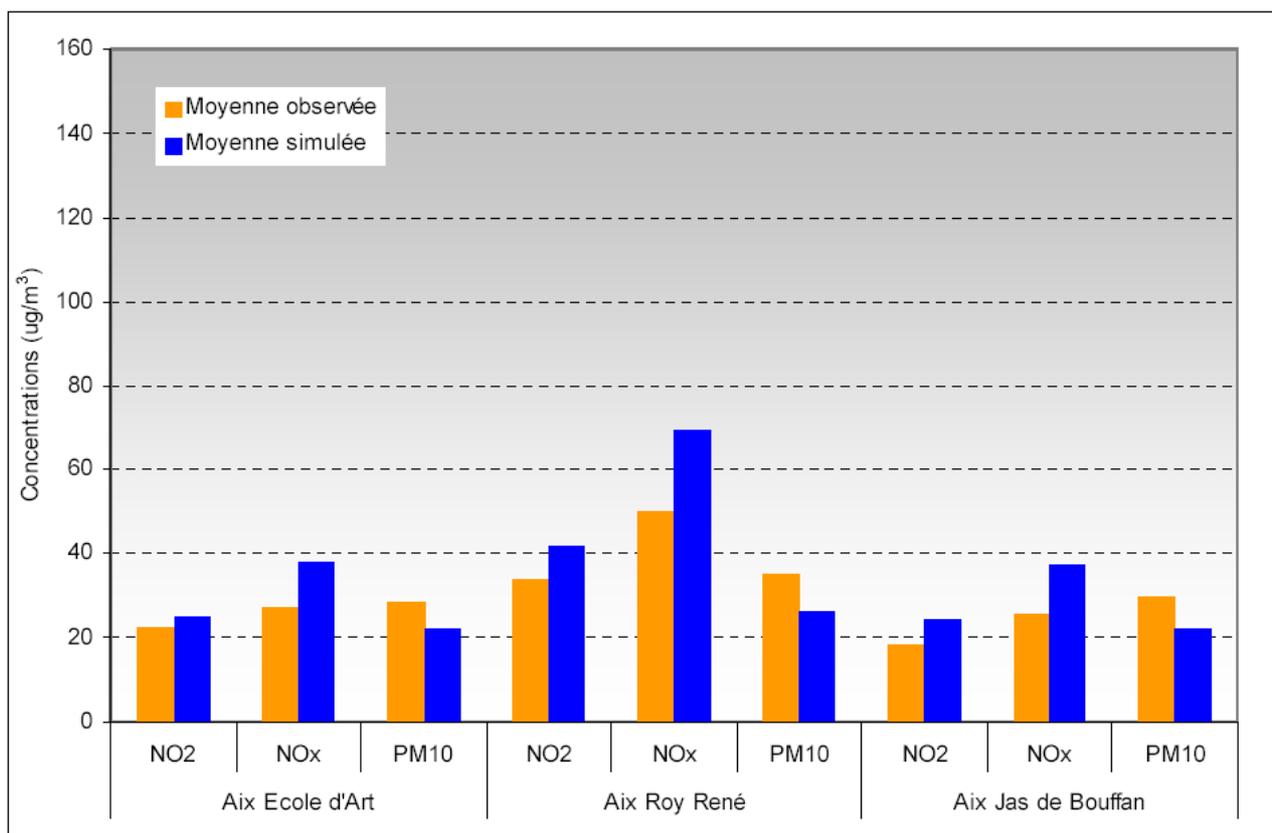


Figure 80 : Comparaison des concentrations moyennes simulées et mesurées statistiques en NO₂, en NO_x et en PM₁₀ aux stations permanentes du réseau Atmo PACA.

Été	Ecole d'Art			Roy René			Jas de Bouffan		
	NO ₂	NO _x	PM ₁₀	NO ₂	NO _x	PM ₁₀	NO ₂	NO _x	PM ₁₀
Moyenne mesurée	22.70	27.12	28.39	34.03	50.23	34.97	18.48	25.41	29.62
Moyenne simulée	25.11	37.93	22.09	41.94	69.20	26.25	24.36	37.11	22.09
Biais	-2.41	-10.80	6.30	-7.91	-18.97	8.72	-5.88	-11.70	7.53
Biais normalisé (FB)	-0.10	-0.30	0.25	-0.21	-0.28	0.28	-0.27	-0.34	0.29
RMSE	16.23	36.07	12.09	37.24	50.08	17.64	16.76	35.10	12.74
NMSE	0.03	0.03	0.02	0.03	0.01	0.02	0.04	0.03	0.02
MAE	12.04	26.97	9.15	26.98	46.45	11.98	12.23	15.83	9.30
Ecart type	23.55	45.99	9.68	92.42	106.40	18.71	23.05	43.31	10.32
FA2	0.65	0.53	0.76	0.71	0.61	1.03	0.57	0.58	0.88
R	0.39	0.32	0.59	0.36	0.28	0.51	0.57	0.44	0.60

Tableau 10 : Bilan des indicateurs statistiques en NO₂, en NO_x et en PM₁₀ calculés aux stations fixes du réseau Atmo PACA pour la période estivale

Période annuelle

Les mêmes calculs de concentrations ont pu être réalisés sur l'année 2007 complète. Ce paragraphe présente les cartographies correspondantes et les indicateurs de performance du modèle.

Cartographies des concentrations moyennes annuelles en NO₂, benzène et PM₁₀

- NO₂

La Figure 82 représente la cartographie des concentrations moyennes annuelles de NO₂. Sur les axes routiers, on retrouve des niveaux de concentrations équivalents aux périodes hivernale et estivale (maximum proche de 60 µg/m³). L'objectif qualité et la valeur limite de 40 µg/m³ en moyenne annuelle en NO₂ sont dépassés sur et à proximité des principaux axes routiers et localement en centre-ville d'Aix. L'ouest du centre-ville d'Aix et les abords des principaux axes routiers restent les zones les plus impactées. A la limite de la zone péri-urbaine, les concentrations atteignent un niveau de fond compris entre 5 et 25 µg/m³.

A titre indicatif, les Figure 83 et Figure 84 présentent les cartographies des percentiles 98 et 99.8 horaires en NO₂ calculés sur le domaine d'Aix. Rappelons que ces résultats doivent être regardés avec précaution comme le calage a été optimisé pour restituer les concentrations moyennes annuelles (voir le paragraphe dédié à la comparaison du modèle aux mesures aux pages suivantes). On note que les plus fortes valeurs sont atteintes sur les axes de circulation puis diminuent assez rapidement en fonction de la distance aux sources. La valeur réglementaire de 200 µg/m³ est a priori respectée sur la zone d'étude sauf à proximité immédiate des axes routiers les plus chargés.

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

- Benzène

La Figure 85 présente la cartographie des concentrations de benzène (C₆H₆) semblable au niveau atteint sur la zone d'étude en été et en hiver. Une pollution de fond de 0.5 µg/m³ intégré aux calculs a été estimée en confrontant les valeurs simulées et estimées sur une base annuelle à partir des mesures des campagnes estivale et hivernale. La valeur d'objectif qualité de 2 µg/m³ est ponctuellement dépassée au niveau des axes routiers présentant des conditions de circulation congestionnées (RD9, A51, axes routiers confinés dans la ville d'Aix-en-Provence). En revanche, la valeur limite de 5 µg/m³ (2010) est globalement respectée.

- PM₁₀

La Figure 86 représente la cartographie des concentrations de PM₁₀ moyennes. Les cartographies indiquent des valeurs intermédiaires entre la période estivale et la période hivernale. Les fortes concentrations en PM₁₀ (supérieures à 50 µg/m³) sont localisées à proximité immédiate des axes routiers les plus chargés. Ailleurs sur le domaine d'étude, les concentrations moyennes annuelles en PM₁₀ varient entre 20 et 35 µg/m³ en périphérie des routes et de la ville d'Aix. Au sud est du domaine d'étude, la présence de carrières à proximité de la zone industrielle de Gardanne génère ponctuellement des niveaux de concentrations plus élevés.

L'objectif de qualité de 30 µg/m³ en PM₁₀ est atteint localement sur le domaine d'étude. La valeur limite de 40 µg/m³ doit être respectée sur les zones les moins urbanisées de l'agglomération.

On retiendra que les niveaux de concentration en poussières présentés sont très fortement conditionnés par la pollution de fond utilisée. La pollution de fond intégrée dans ADMS étant de 20.6 µg/m³ en moyenne annuelle.

Concentrations moyennes annuelles en NO₂ sur le domaine d'Aix-en-Provence

Pollution de fond : non

Valeur limite (2010) : 40 µg/m³

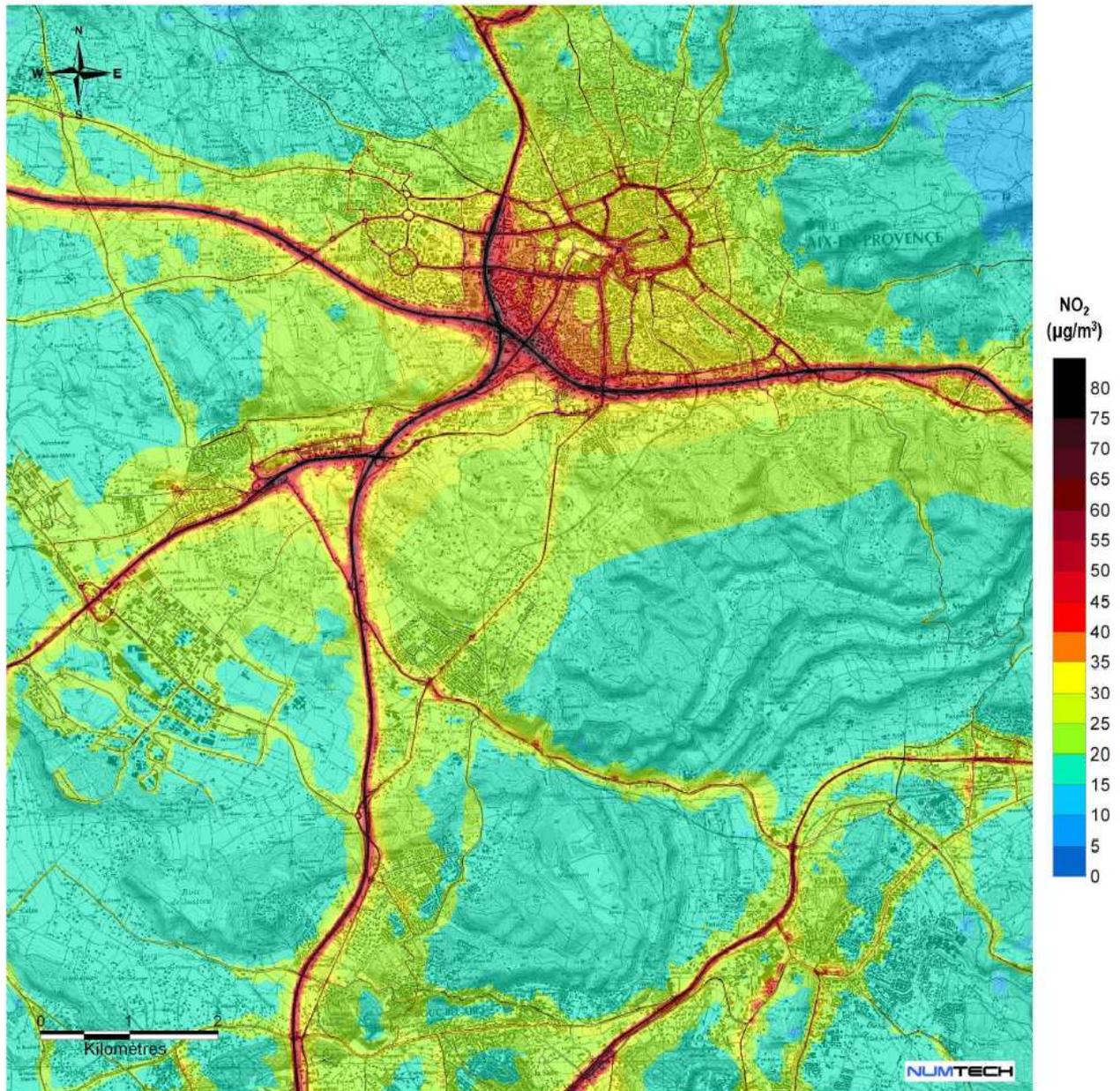
Cadastre d'émission : domaine CPA

Unité : µg/m³

Temps d'intégration : horaire

Période météorologique : du 1^{er} janvier au 31 décembre 2007

© IGN



septembre 2009 – © NUMTECH

Figure 82 : Concentrations moyennes annuelles simulées en NO₂ (µg/m³) pour le domaine d'Aix

Percentiles 98 horaires en NO₂ sur le domaine d'Aix-en-Provence

Pollution de fond : non

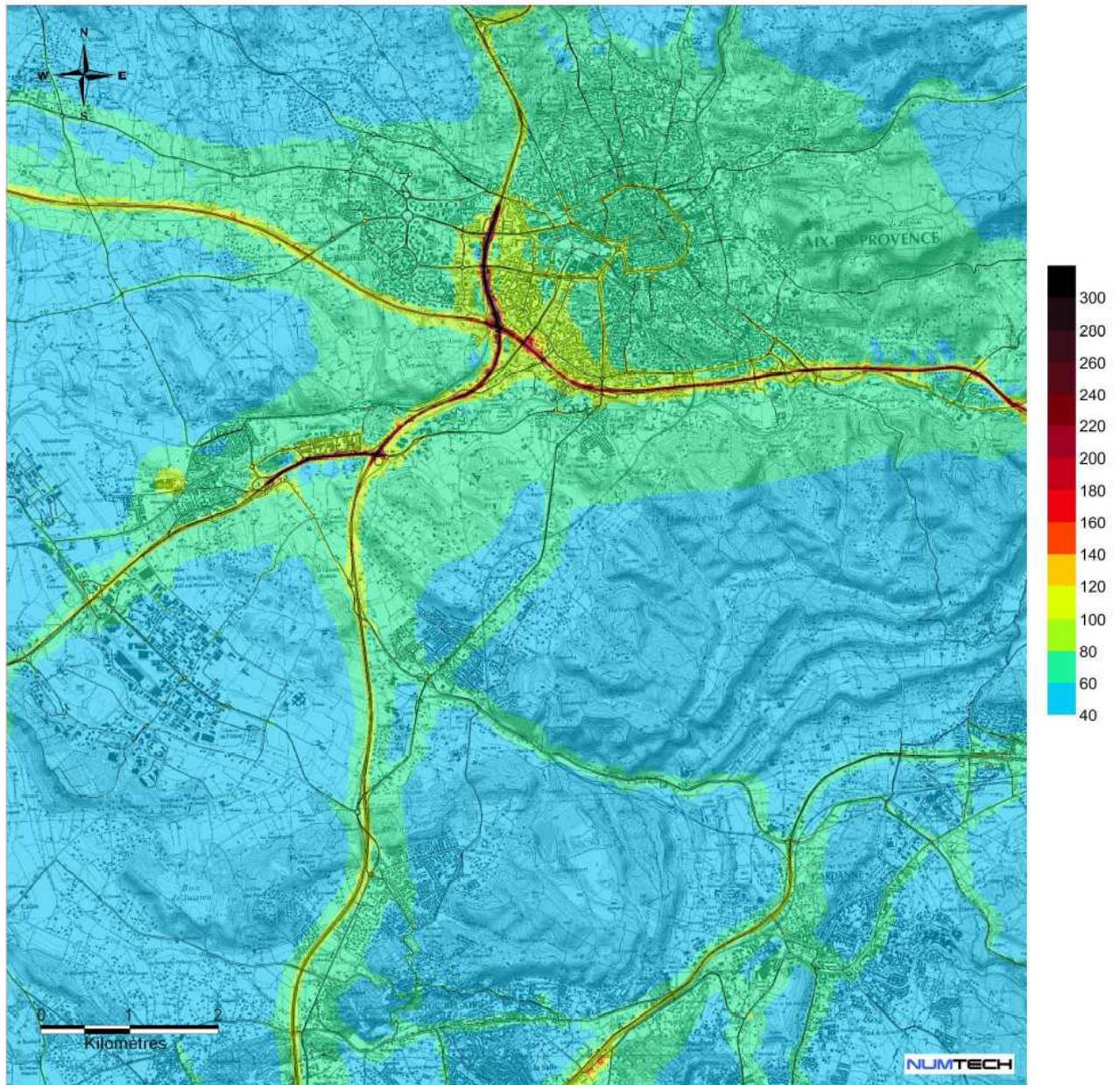
Cadastre d'émission : domaine CPA

Unité : $\mu\text{g}/\text{m}^3$

Temps d'intégration : horaire

Période météorologique : du 1^{er} janvier au 31 décembre 2007

© IGN



septembre 2009 – © NUMTECH

Figure 83 : Percentiles 98 horaires en NO₂ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) pour le domaine d'Aix

Percentiles 99.8 horaires en NO₂ sur le domaine d'Aix-en-Provence

Pollution de fond : non

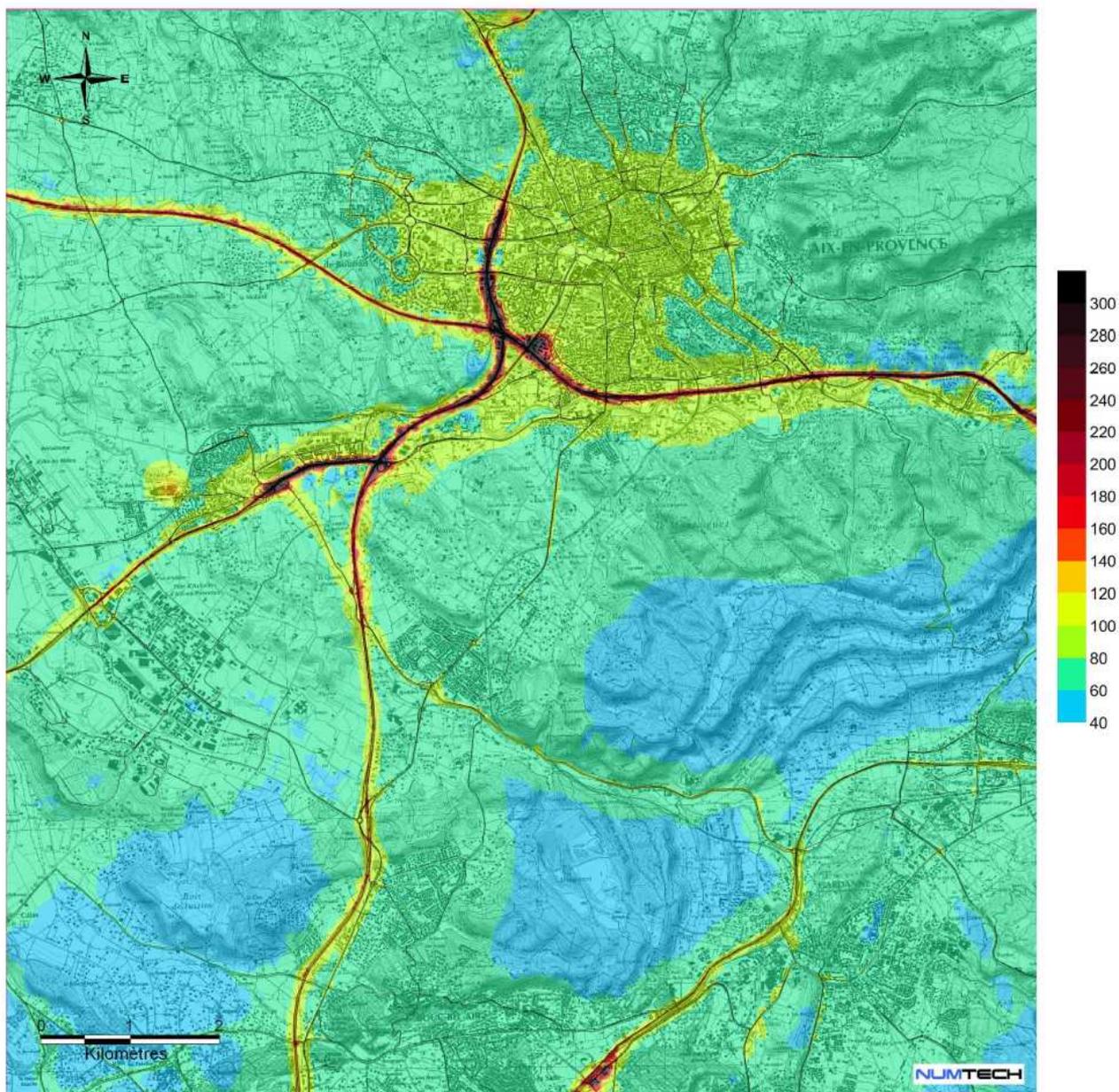
Cadastre d'émission : domaine CPA

Unité : $\mu\text{g}/\text{m}^3$

Temps d'intégration : horaire

Période météorologique : du 1^{er} janvier au 31 décembre 2007

© IGN



septembre 2009 – © NUMTECH

Figure 84 : Percentiles 99.8 horaires en NO₂ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) pour le domaine d'Aix

Concentrations moyennes annuelles en benzène sur le domaine d'Aix-en-Provence

Pollution de fond : valeur constante dans le temps : 0.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

Valeur limite (2010) : 5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

Cadastre d'émission : domaine CPA

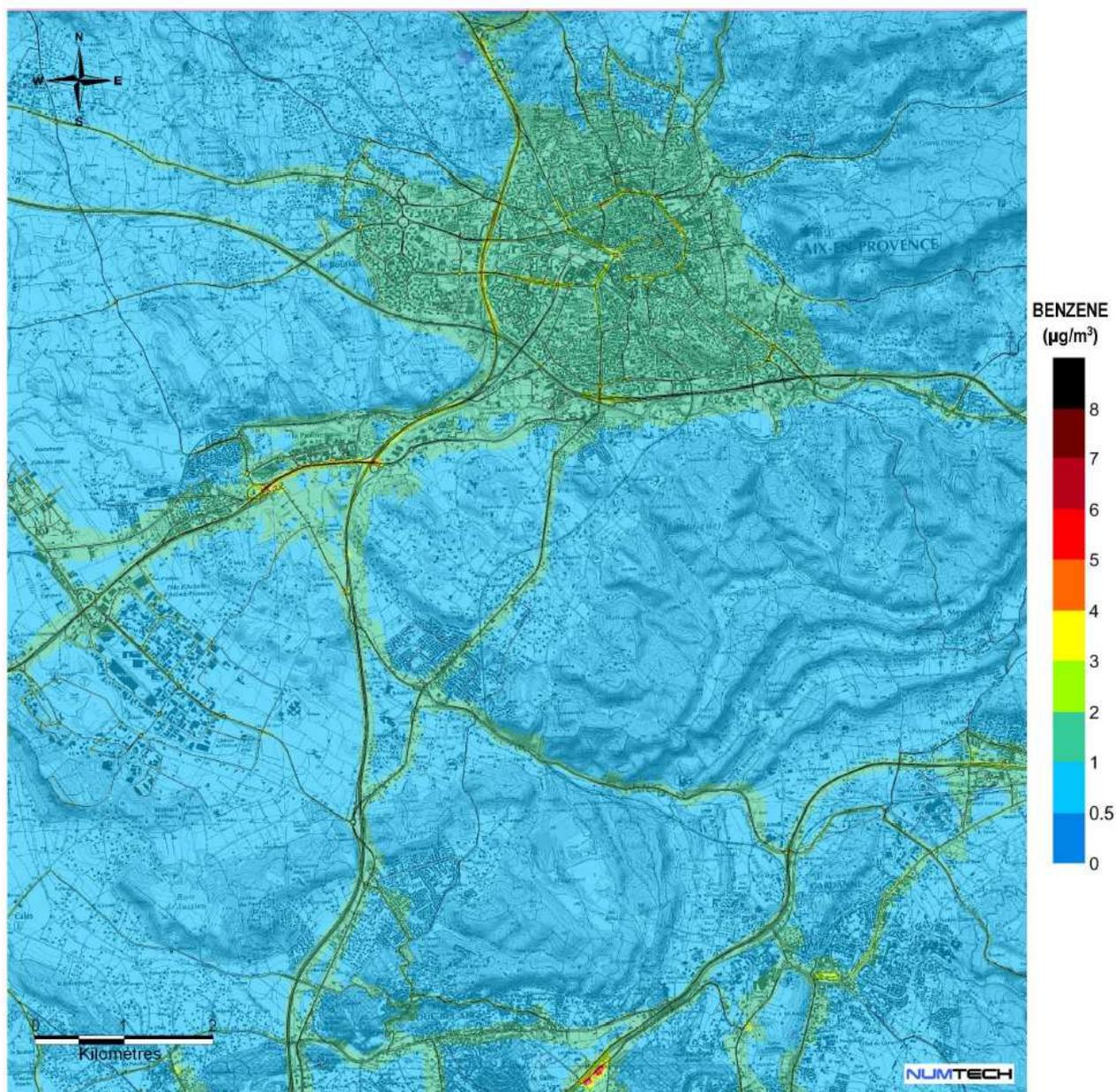
Objectif qualité : 2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

Unité : $\mu\text{g}/\text{m}^3$

Temps d'intégration : horaire

Période météorologique : du 1^{er} janvier au 31 décembre 2007

© IGN



septembre 2009 – © NUMTECH

Figure 85 : Concentrations moyennes annuelles simulées en benzène ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) pour le domaine d'Aix

Concentrations moyennes annuelles en PM_{10} sur le domaine d'Aix-en-Provence

Pollution de fond : variable dans le temps (moyenne : $20.6 \mu g/m^3$)

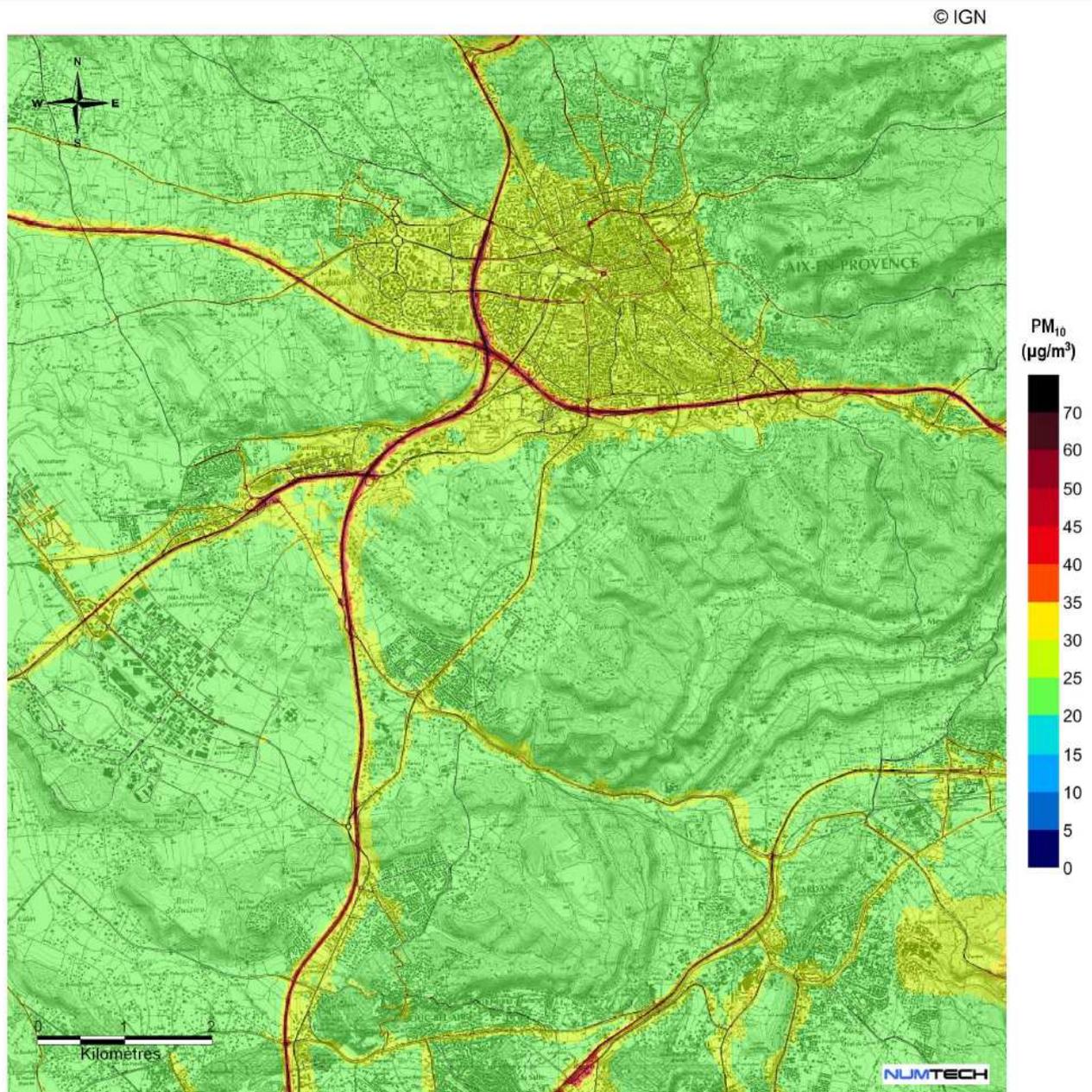
Valeur limite (2005) : $40 \mu g/m^3$

Cadastre d'émission : domaine CPA

Unité : $\mu g/m^3$

Temps d'intégration : horaire

Période météorologique : du 1^{er} janvier au 31 décembre 2007



septembre 2009 – © NUMTECH

Figure 86 : Concentrations moyennes annuelles simulées en PM_{10} ($\mu g/m^3$) pour le domaine d'Aix

Capacité du modèle à restituer la distribution spatiale des concentrations

La chaîne de modélisation a été validée en comparant les valeurs simulées sur l'année et les valeurs reconstituées par Atmo PACA sur une base annuelle à partir des mesures des campagnes estivale et hivernale.

- NO₂

La comparaison entre les concentrations simulées et mesurées (estimation annuelle) donne des résultats satisfaisants (Figure 87) en termes d'indicateurs statistiques, avec notamment un coefficient de corrélation proche de 0.8. Le biais moyen est de 4.98 µg/m³, ce qui indique une sous-estimation du modèle à restituer les niveaux estimés à partir des mesures des campagnes estivale et hivernale.

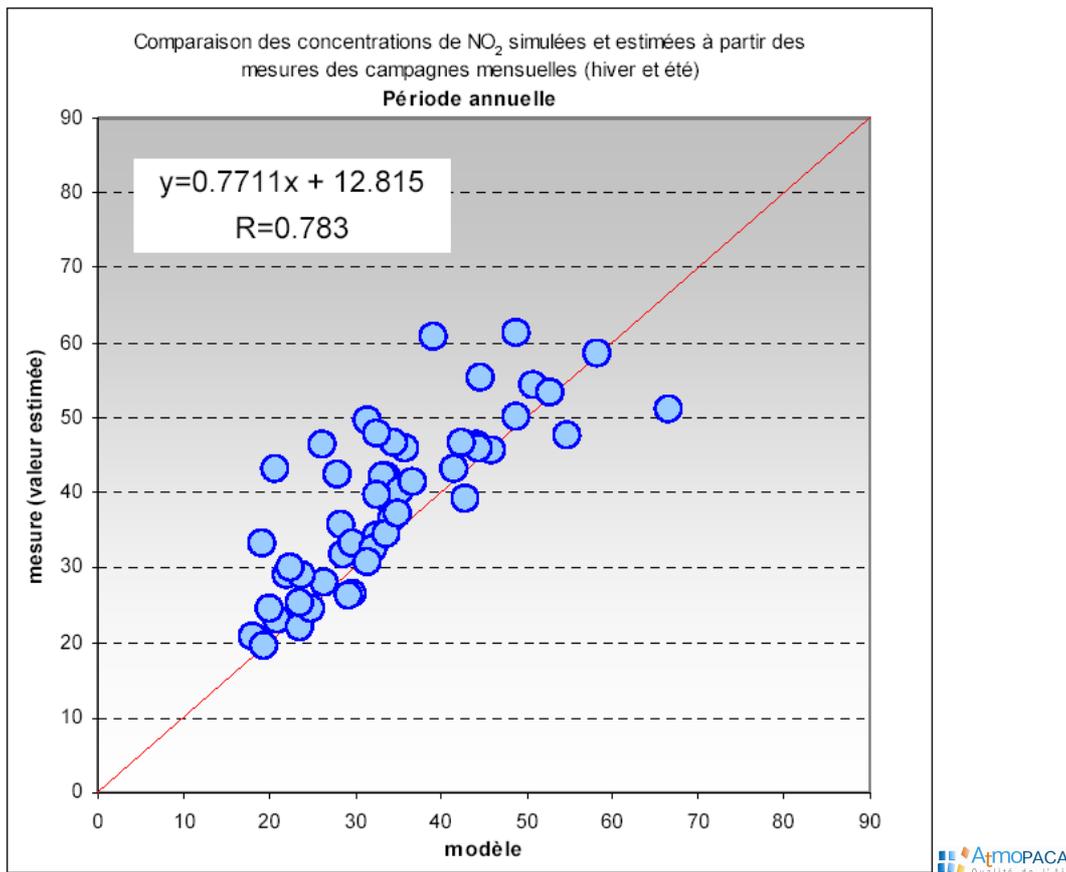


Figure 87 : Comparaison des concentrations estimées à partir des mesures des campagnes estivale et hivernale, et des concentrations simulées en NO₂ sur l'année

- Benzène

La comparaison des résultats du modèle avec les valeurs estimées par Atmo PACA est également satisfaisante en terme d'indicateurs statistiques (Figure 88). La corrélation est proche de 0.8 et le biais est quasi nul.

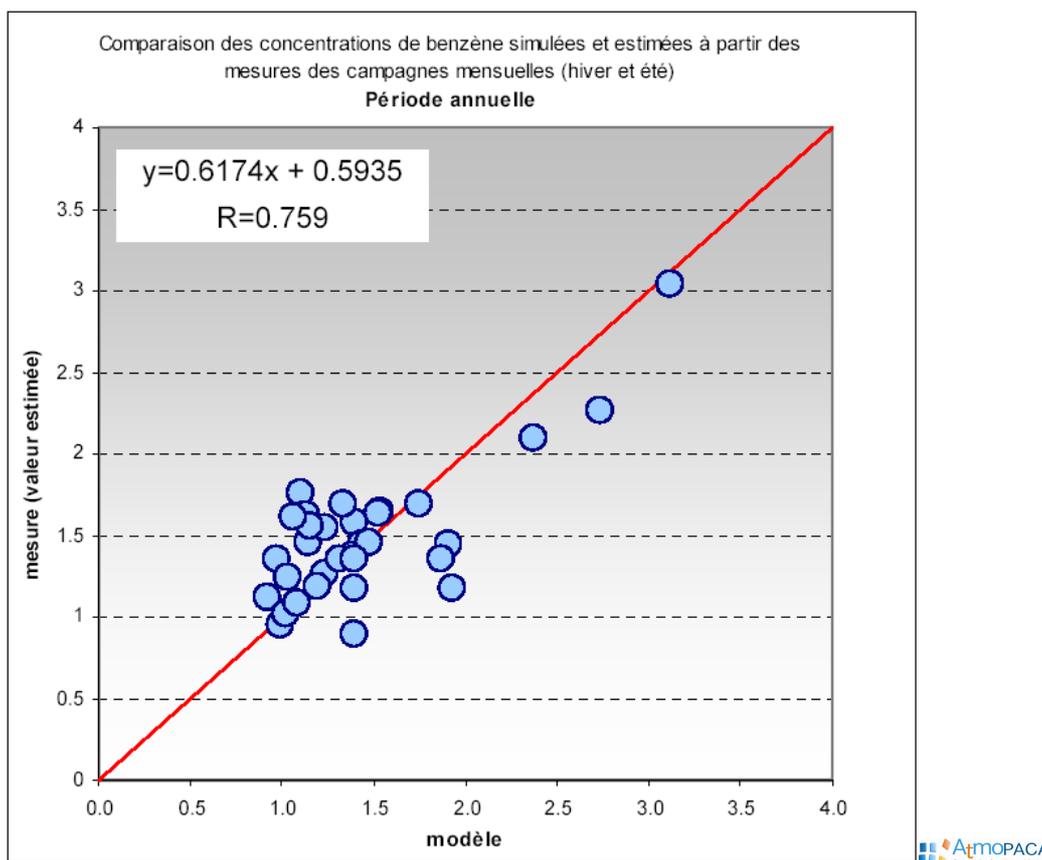


Figure 88 : Comparaison des concentrations estimées à partir des mesures des campagnes estivale et hivernale, et des concentrations moyennes annuelles simulées en benzène

Comparaison des résultats du modèle aux concentrations mesurées aux stations

• Concentrations moyennes annuelles

La Figure 89 et le Tableau 11 présentent une comparaison des concentrations moyennes annuelles simulées et mesurées en NO_2 et en PM_{10} aux stations de mesures du réseau Atmo PACA présentes sur le domaine d'étude ainsi que les indicateurs statistiques associés.

La comparaison des concentrations moyennes annuelles simulées et mesurées montre des résultats annuels globalement satisfaisants, compte tenu des indicateurs statistiques obtenus (Tableau 11). On constate toutefois que le modèle a tendance à globalement sous-estimer les niveaux en NO_2 , en NO_x et en PM_{10} aux 3 stations (Tableau 11).

Concernant les résultats du modèle vis-à-vis des normes⁶, on note que :

- l'objectif qualité et la valeur limite de $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ sont dépassés en NO_2 à la station de Roy René, en revanche, ces seuils réglementaires sont respectés aux stations d'Ecole d'Art et de Jas de Bouffan ;
- l'objectif qualité de $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en PM_{10} est dépassé aux 3 stations, la valeur limite de $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en PM_{10} est respectée

⁶ L'étude se base sur les normes préconisées dans l'article R221-1 du Code de l'Environnement 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

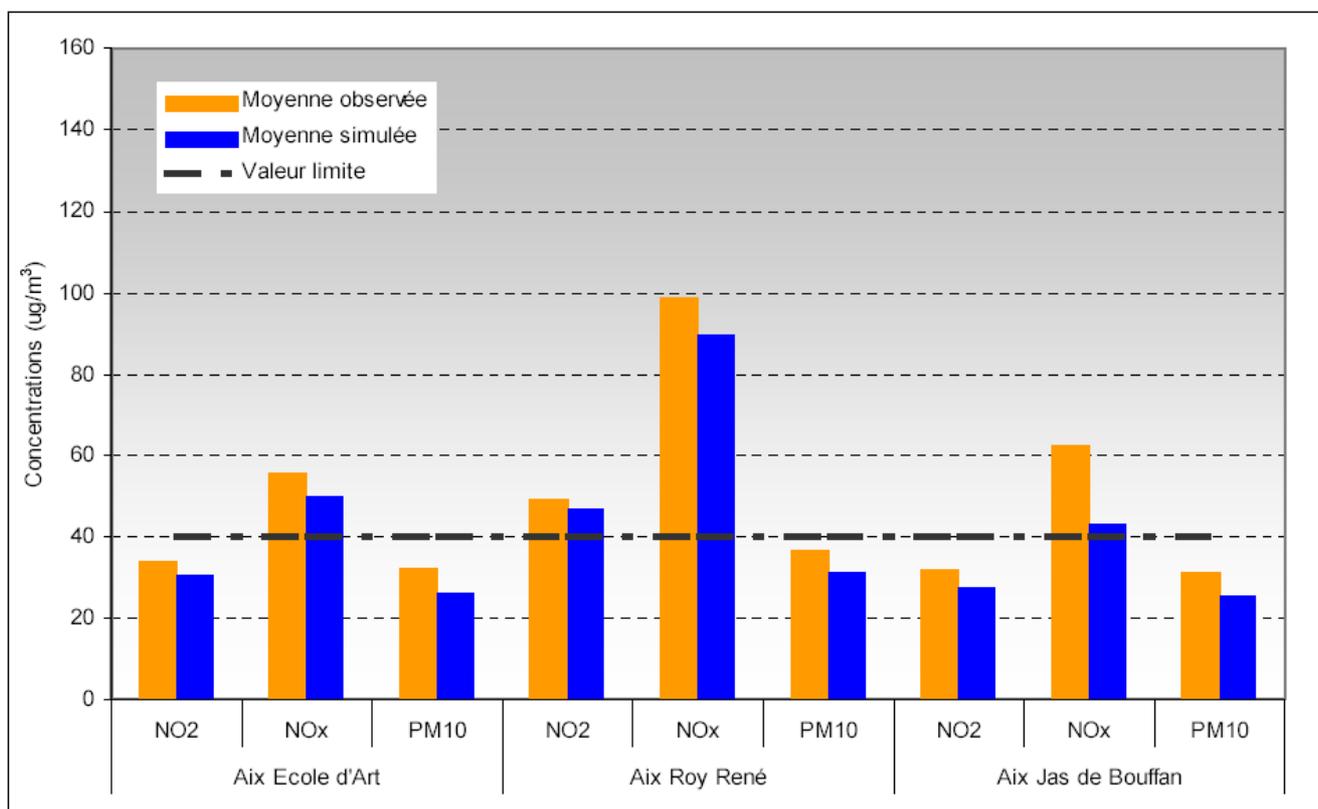


Figure 89 : Comparaison des concentrations moyennes simulées et mesurées en NO₂, en NO_x et en PM₁₀ aux stations permanentes du réseau Atmo PACA.

La valeur limite est de 40 µg/m³ pour le NO₂ et les PM₁₀ dans l'article R221-1 du Code de l'Environnement.

Période annuelle	Ecole d'Art			Roy René			Jas de Bouffan		
	NO ₂	NO _x	PM ₁₀	NO ₂	NO _x	PM ₁₀	NO ₂	NO _x	PM ₁₀
Moyenne mesurée	34.02	55.70	32.13	49.47	98.61	36.85	31.77	62.13	31.50
Moyenne simulée	30.54	49.95	26.11	46.86	89.61	31.31	27.50	43.15	25.58
Biais	3.48	5.75	6.02	2.61	8.99	5.54	4.27	18.98	5.93
Biais normalisé (FB)	0.11	0.11	0.21	0.05	0.10	0.16	0.14	0.36	0.21
RMSE	20.13	72.20	12.83	25.02	88.36	17.18	20.18	85.33	15.10
NMSE	0.02	0.03	0.02	0.01	0.01	0.01	0.02	0.03	0.02
MAE	14.42	10.35	7.73	19.38	22.80	11.99	13.86	8.35	9.84
Ecart type	19.82	71.97	11.74	24.05	84.96	15.37	20.15	83.06	13.82
FA2	0.75	1.00	0.90	0.73	0.93	0.77	0.71	0.80	0.87
R	0.61	0.40	0.70	0.51	0.40	0.59	0.65	0.47	0.71

Tableau 11 : Bilan des indicateurs statistiques en NO₂, en NO_x et en PM₁₀ calculés aux stations fixes du réseau Atmo PACA pour la période annuelle

• Percentiles horaires

A titre indicatif, le Tableau 12 synthétise les valeurs de percentiles horaires du NO₂ simulées et mesurées. Les percentiles 98 horaires obtenus à partir des simulations sont inférieurs aux percentiles mesurés pour les 3 stations. Ces différences sont en grande partie liées à l'ajustement des paramètres du modèle reposant d'abord sur une bonne restitution des niveaux moyens.

Station	Polluant	Type	Valeurs réglementaires (2009)	Percentiles 98 horaires ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Percentiles 99.8 horaires ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Ecole d'Art	NO ₂	Simulé	200	74	82.7
		Mesuré		100	148
Roy René	NO ₂	Simulé	200	82.6	88.7
		Mesuré		115	153
Jas de Bouffan	NO ₂	Simulé	200	69.4	79.8
		Mesuré		96	140

Tableau 12 : Comparaison des percentiles 98 et 99.8 horaires en NO₂ mesurées et simulées.

A titre indicatif, sont associés les seuils de qualité de l'air préconisés par l'article R221-1 du Code de l'Environnement

Dans le Tableau 13, les valeurs de percentiles journaliers des PM₁₀ mesurés atteignent ou dépassent le seuil réglementaire pour les 3 stations, par contre le modèle a tendance à sous-estimer les niveaux mesurés.

Station	Polluant	Type	Valeurs réglementaires (2005)	Percentiles 90.4 journaliers ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Ecole d'Art	PM ₁₀	Simulé	50	39.1
		Mesuré		50
Roy René	PM ₁₀	Simulé	50	46.8
		Mesuré		52
Jas de Bouffan	PM ₁₀	Simulé	50	38.1
		Mesuré		52

Tableau 13 : Comparaison des percentiles 90.4 journaliers en PM₁₀ mesurées et simulées.

Synthèse

Les cartographies des concentrations annuelles en NO₂, en benzène et en PM₁₀ ont permis de localiser les zones les plus impactées en terme de pollution atmosphérique, il s'agit des principaux axes routiers (autoroutes, RD9...) et à proximité du centre-ville. ADMS-Urban restitue correctement les concentrations en NO₂, en NO_x et en PM₁₀ pour l'année étudiée sur le domaine d'Aix, puisque, en moyenne annuelle, les concentrations simulées sont proches des concentrations mesurées aux stations permanentes. On retient une légère tendance à sous-estimer en moyenne les niveaux mesurés pour l'ensemble des polluants. De plus, les dépassements de seuil réglementaire ne sont pas systématiquement reproduits par le modèle au niveau des stations de mesure.

Ces travaux montrent de bonnes capacités du modèle à reproduire les niveaux moyens des polluants et leur distribution spatiale, malgré une légère sous-estimation des niveaux moyens de NO₂ et en PM₁₀. Des travaux supplémentaires dans le cadre d'URBAN'Air system viendront améliorer la restitution temporelle des pics horaires.

3.3.2. DOMAINE CPA

Ce paragraphe détaille les résultats obtenus sur le domaine CPA, pour lequel la modélisation des sources dans ADMS-Urban est différente de celle du domaine d'Aix (paragraphe 3.2.4).

Période hivernale

Cartographies des concentrations moyennes en NO₂, benzène et PM₁₀

- NO₂

La Figure 90 représente la cartographie des concentrations de NO₂ moyennes sur la période hivernale (octobre 2007). Les concentrations de NO₂ sont maximales le long des axes routiers les plus chargés en terme de trafic routier (polluant traceur de la pollution automobile) ; elles atteignent des valeurs supérieures à 60 µg/m³. Cela concerne notamment les autoroutes A7, A8, A51 et A52, ainsi que les axes secondaires très fréquentés comme la RD9 en direction de Marignane, la RD6 et la RD60 à proximité de la zone de Gardanne.

En centre-ville d'Aix-en-Provence, les concentrations moyennes sont similaires au niveau des axes routiers les plus fréquentés. En s'éloignant des axes routiers, les niveaux restent proches de 40 µg/m³. On retrouve ces niveaux dans les autres villes de la CPA (Marignane, Pennes-Mirabeau).

En zone péri-urbaine, on remarque globalement des niveaux de concentrations plus élevées au sud de la CPA qu'au nord avec des valeurs comprises entre 20 et 30 µg/m³. En zone rurale, les concentrations varient entre un niveau de fond de 5 µg/m³ (valeur typique d'un milieu rural) et 15 µg/m³. Les niveaux les plus faibles se trouvent sur la partie nord de la CPA.

- Benzène

La Figure 91 présente la cartographie des concentrations de benzène (C₆H₆) moyennes sur la période hivernale.

Les niveaux les plus élevés en benzène sont localisés sur les principaux axes routiers qui présentent des conditions de circulation congestionnées. Ils atteignent des valeurs supérieures à 5 µg/m³. Cela concerne les tronçons des axes routiers localisés à proximité d'Aix-en-Provence (A8, A51, A52 et RD9) et au sud-ouest de la CPA (A7 près du Plan de Campagne).

En centre-ville d'Aix-en-Provence, des concentrations moyennes de 5 µg/m³ sont atteints localement au niveau de certains tronçons de routes confinés dans le tissu urbain. Les concentrations diminuent rapidement en fonction de la distance aux voies pour atteindre un niveau intermédiaire de 1-2 µg/m³. On remarque cette tendance pour les autres villes de la CPA (Marignane, Pennes-Mirabeau).

En zone rurale, les concentrations varient entre un niveau de fond de 0.6 µg/m³ et 2 µg/m³. La partie nord du domaine d'étude présente les concentrations les plus faibles.

- PM₁₀

La Figure 92 représente la cartographie des concentrations moyennes de PM₁₀ sur la période hivernale. Les plus fortes concentrations (supérieures à 40 µg/m³) sont atteintes au niveau des axes routiers les plus chargés et au niveau de carrières.

Le centre-ville d'Aix-en-Provence présente des concentrations moyennes en PM₁₀ du même ordre de grandeur au niveau des axes routiers. En s'éloignant des routes, les concentrations restent supérieures à 30 µg/m³. Cette tendance est observée pour les autres villes de la CPA (Marignane, Pennes-Mirabeau).

Les niveaux de fond en PM₁₀ sont compris entre 22 µg/m³ (valeur correspondant à la pollution de fond moyenne intégrée dans les calculs ADMS et estimée à partir de différentes stations Atmo PACA et AIRFOBEP) et 30 µg/m³. On note que le nord de la CPA présente les concentrations les plus faibles.

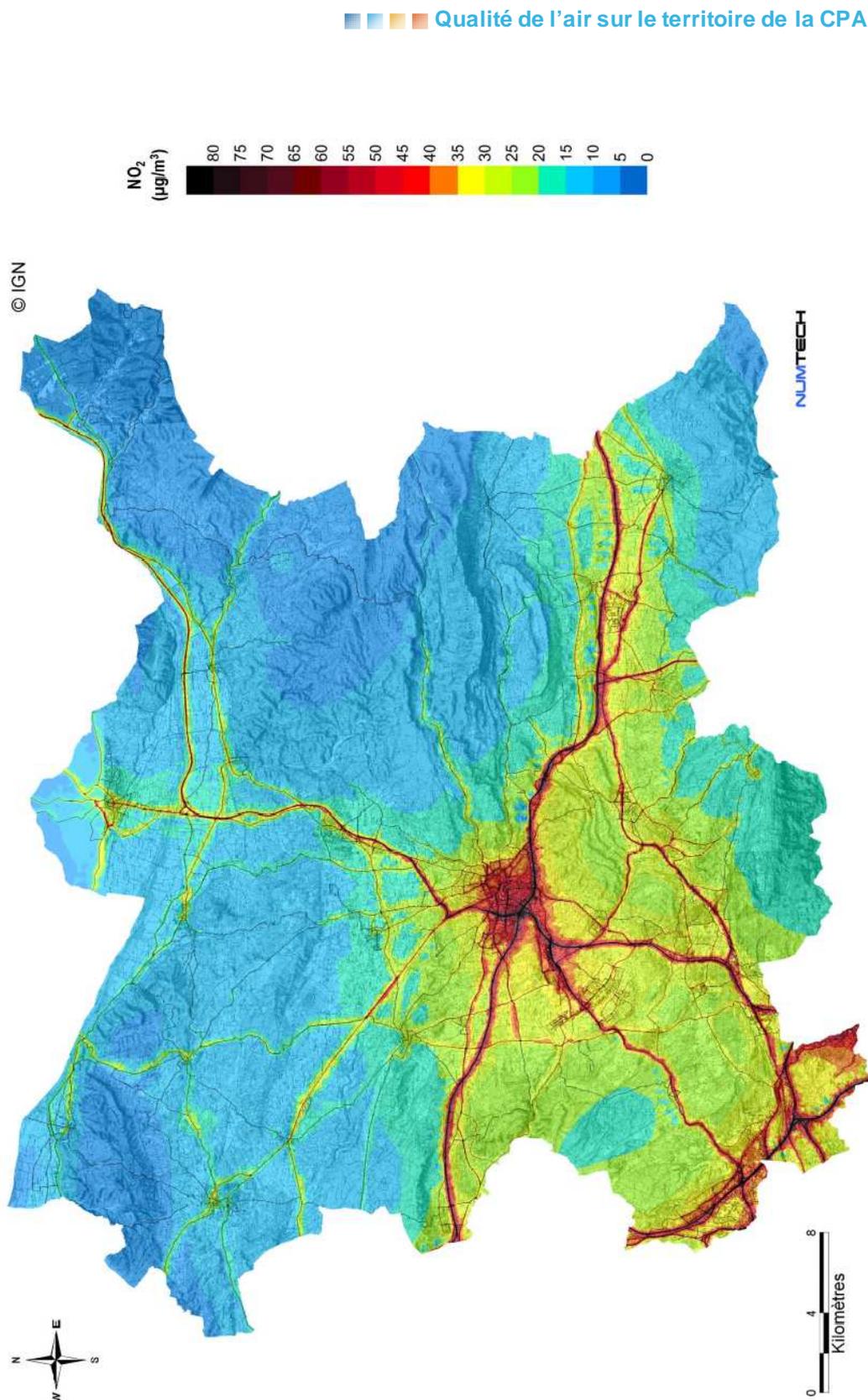
Il est à noter que la contribution de la pollution de fond en PM₁₀ entrante sur le domaine d'étude est relativement importante, par rapport à la contribution des sources modélisées sur le domaine d'étude.

Concentrations moyennes en NO₂ sur le domaine de la Communauté d'Agglomération d'Aix-en-Provence
Période hivernale

Pollution de fond : non
Unité : µg/m³

Cadastré d'émission : domaine CPA

Temps d'intégration : horaire Période météorologique : du 1^{er} octobre au 30 octobre 2007



octobre 2009 – © NUMTECH

Figure 90 : Concentrations moyennes simulées en NO₂ (µg/m³) au cours de la période hivernale

Concentrations moyennes en benzène sur le domaine de la Communauté d'Agglomération d'Aix-en-Provence
Période hivernale

Pollution de fond : **valeur constante (0.6 µg/m³)** Cadastre d'émission : **domaine CPA**
 Unité : **µg/m³** Temps d'intégration : **horaire** Période météorologique : **du 1^{er} octobre au 30 octobre 2007**

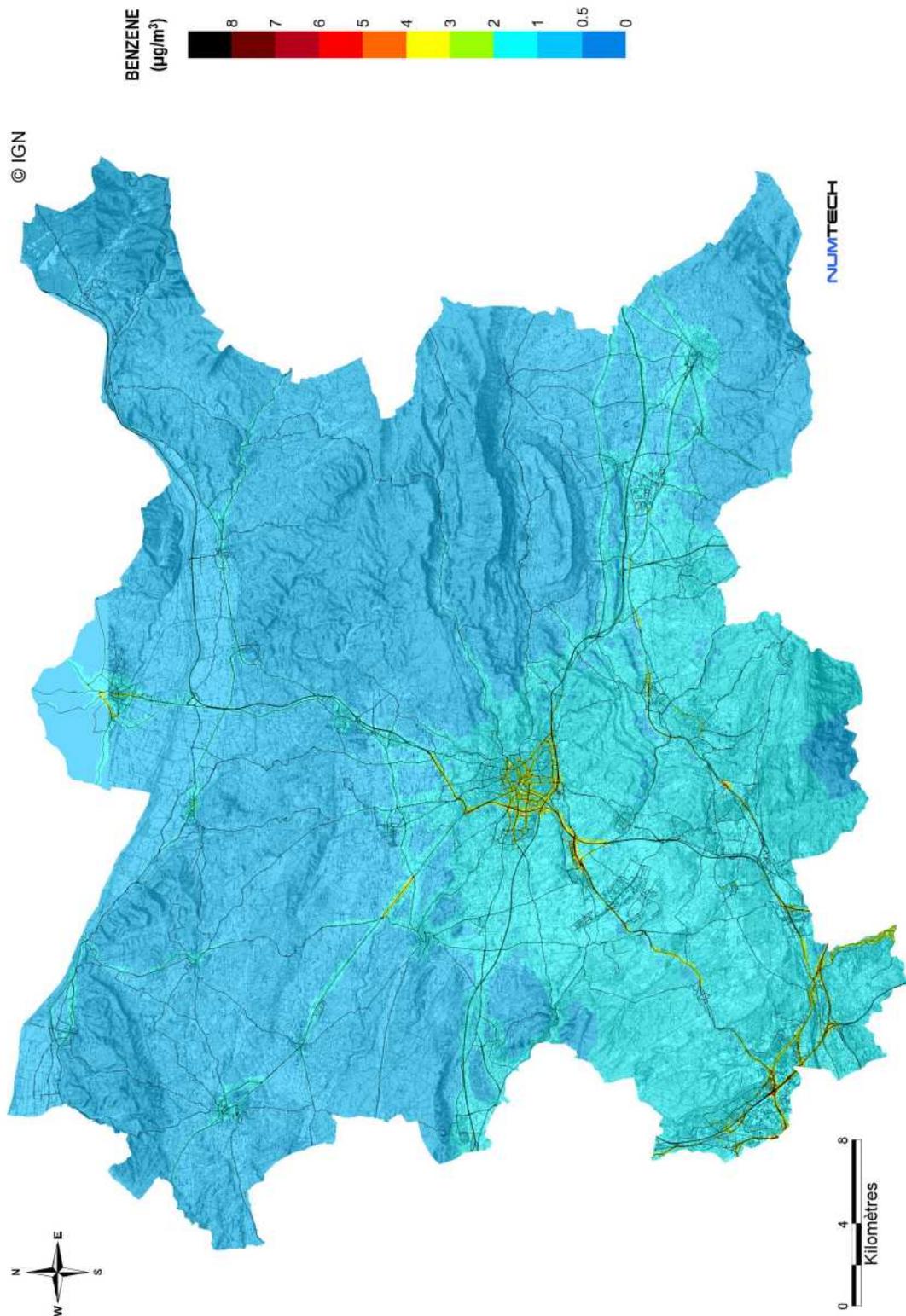
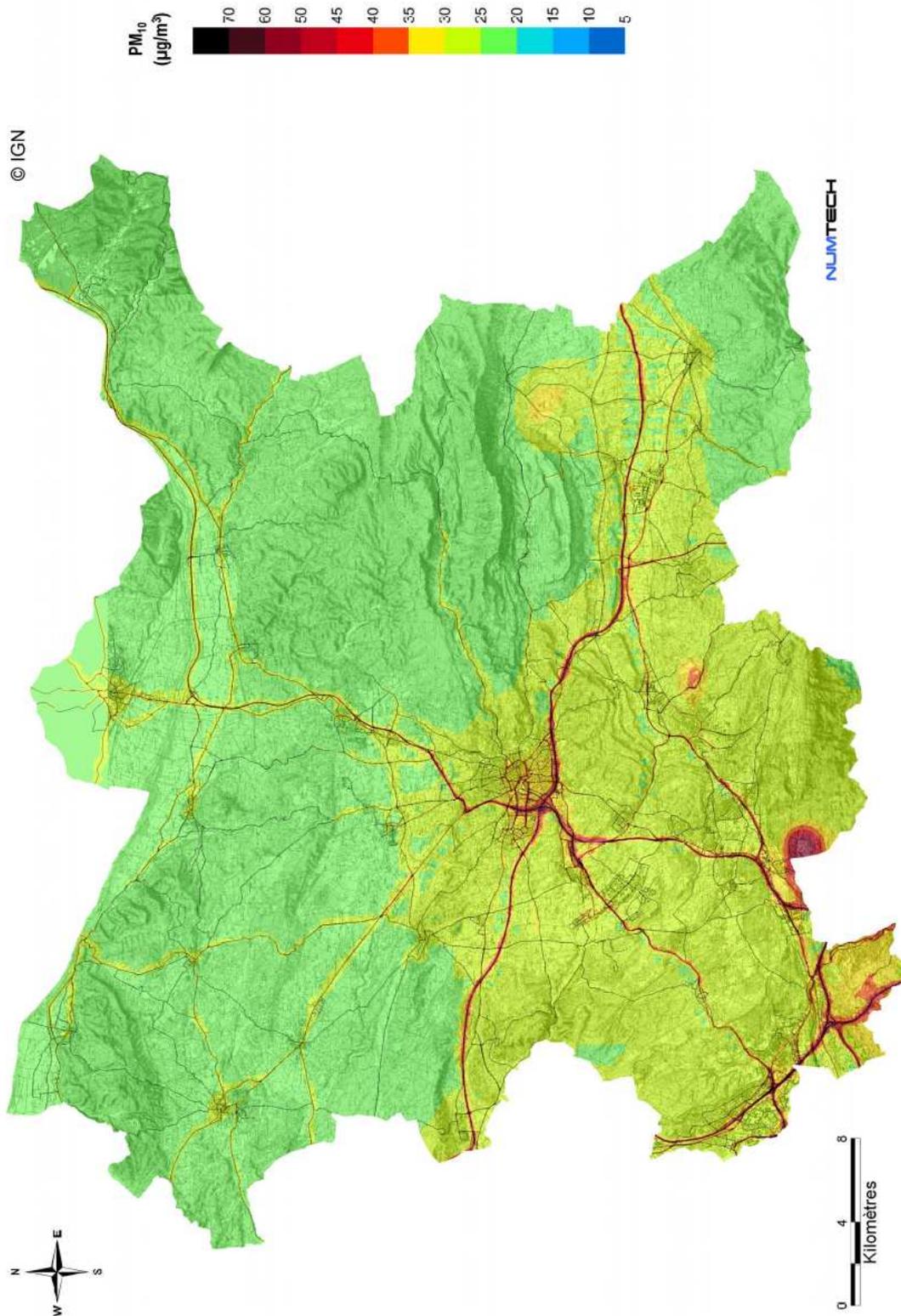


Figure 91 : Concentrations moyennes simulées en benzène (µg/m³) au cours de la période hivernale

Concentrations moyennes en PM_{10} sur le domaine de la Communauté d'Agglomération d'Aix-en-Provence
 Période hivernale

Pollution de fond : variable dans le temps (moyenne : $21.8 \mu g/m^3$) Cadastre d'émission : domaine CPA
 Unité : $\mu g/m^3$ Temps d'intégration : horaire Période météorologique : du 1^{er} octobre au 30 octobre 2007



octobre 2009 – © NUMTECH

Figure 92 : Concentrations moyennes simulées en PM_{10} ($\mu g/m^3$) au cours de la période hivernale

Capacité du modèle à restituer la distribution spatiale des concentrations

- NO₂

La comparaison entre les concentrations simulées et mesurées en NO₂ montre de bons résultats (Figure 93) en termes d'indicateurs statistiques, avec notamment un coefficient de corrélation supérieur à 0.75 et un biais moyen de -1.28 µg/m³. Les plus gros écarts modèle / mesure sont notés sur les tubes de type observation et péri-urbain qui sont placés dans les zones d'activité (comme Aix les Milles), dans les grandes zones commerciales (Plan de Campagne, Aix les Milles) ou en zone urbaine (Aix-en-Provence, Pertuis). Cela s'explique notamment par le fait que le réseau routier secondaire n'est pas modélisé explicitement.

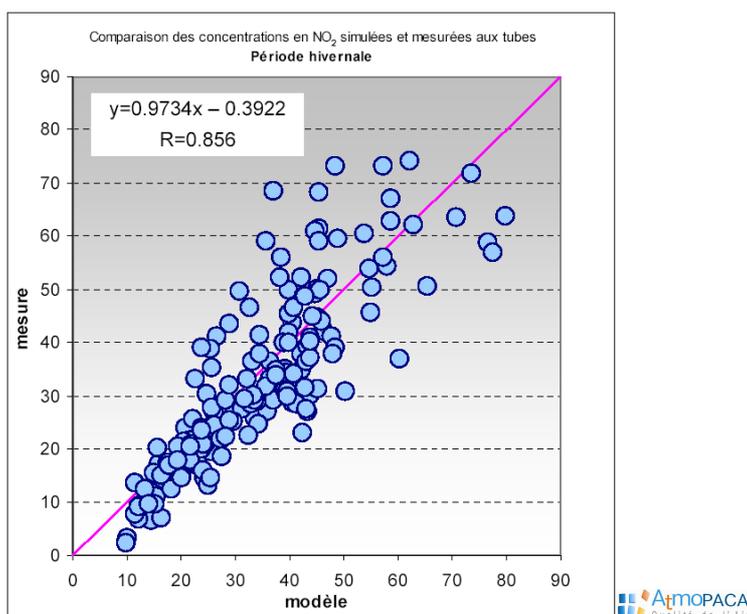


Figure 93 : Comparaison des concentrations mesurées et simulées en NO₂ au cours de la période hivernale

Benzène

Sur la Figure 94, les résultats restent satisfaisants avec un coefficient de corrélation supérieur à 0.6. Un niveau de fond moyen de 0.6 µg/m³ (biais moyen) a été appliqué aux concentrations simulées aux tubes car le modèle avait tendance à sous-estimer les faibles concentrations mesurées.

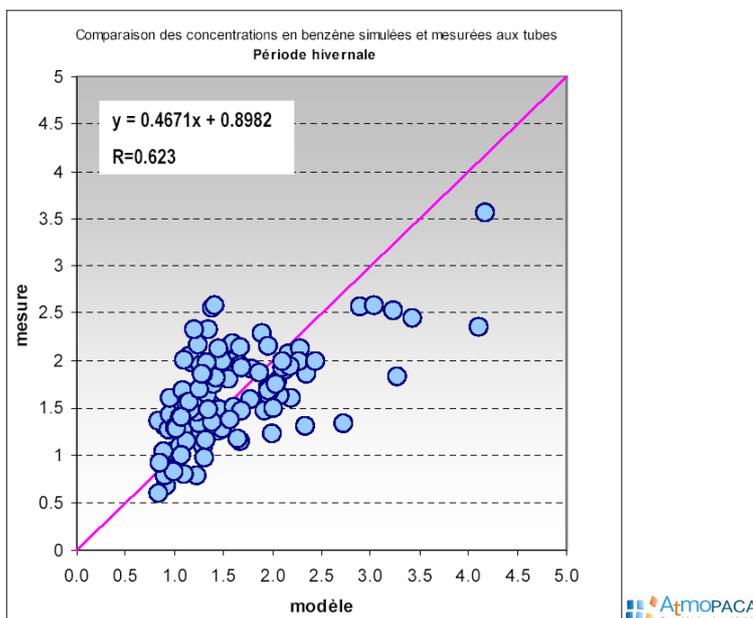


Figure 94 : Comparaison des concentrations mesurées et simulées en benzène au cours de la période hivernale

Période estivale

Cartographies des concentrations moyennes en NO₂, benzène et PM₁₀

- NO₂

La Figure 95 représente la cartographie des concentrations de NO₂ moyennes sur la période estivale. Globalement, les concentrations sont plus faibles en période estivale qu'en période hivernale.

Les axes routiers les plus fréquentés (autoroutes A7, A8, A51 et A52, RD9...) présentent les maximums de concentrations (valeurs proches de 60 µg/m³).

Le centre-ville d'Aix-en-Provence présente des concentrations variant entre 25 µg/m³ (niveau de fond urbain) et 60 µg/m³ (au niveau des routes). On remarque cette tendance pour les autres villes de la CPA (Marignane, Pennes-Mirabeau).

En zone rurale, les concentrations varient entre un niveau de fond de 5 et 20 µg/m³. Les niveaux les plus faibles sont localisés dans la partie nord du domaine d'étude. Toutefois les différences sud / nord sont moins marquées pour cette période.

- Benzène

La Figure 96 présente la cartographie des concentrations de benzène (C₆H₆) moyennes sur la période estivale.

Globalement, les concentrations sont plus faibles en période estivale qu'en période hivernale.

Les valeurs maximales en benzène sont localisées au niveau des principaux axes routiers (autoroutes A7, A8, A51 et A52, RD9...). Elles peuvent atteindre des valeurs supérieures à 4 µg/m³.

En centre-ville d'Aix et des villes de la CPA, les niveaux diminuent en fonction de la distance aux voies pour atteindre des concentrations inférieures à 1 µg/m³.

En zone rurale, le niveau de fond varie entre 0.2 et 1 µg/m³. Le sud de la CPA reste plus impacté que le nord.

- PM₁₀

La Figure 97 représente la cartographie des concentrations moyennes en PM₁₀. Par rapport à la période hivernale, on constate également une diminution des concentrations en PM₁₀ sur le domaine d'étude. Ceci est principalement lié à une baisse en moyenne de la pollution de fond entrante sur le domaine, qui est de 17.7 µg/m³ sur la période estivale (valeurs estimées statistiquement).

Les fortes concentrations en PM₁₀ (supérieures à 40 µg/m³) sont localisées au niveau des grands axes routiers (autoroutes A7, A8, A51 et A52, RD9...).

En centre-ville d'Aix et dans les villes de la CPA, les concentrations décroissent rapidement en fonction de la distance aux sources pour atteindre des valeurs intermédiaires allant de 20 à 25 µg/m³.

En zone rurale, le niveau de fond varie entre 17.7 et 20 µg/m³. Le sud de la CPA reste plus impacté que le nord.

Concentrations moyennes en NO₂ sur le domaine de la Communauté d'Agglomération d'Aix-en-Provence
Période estivale

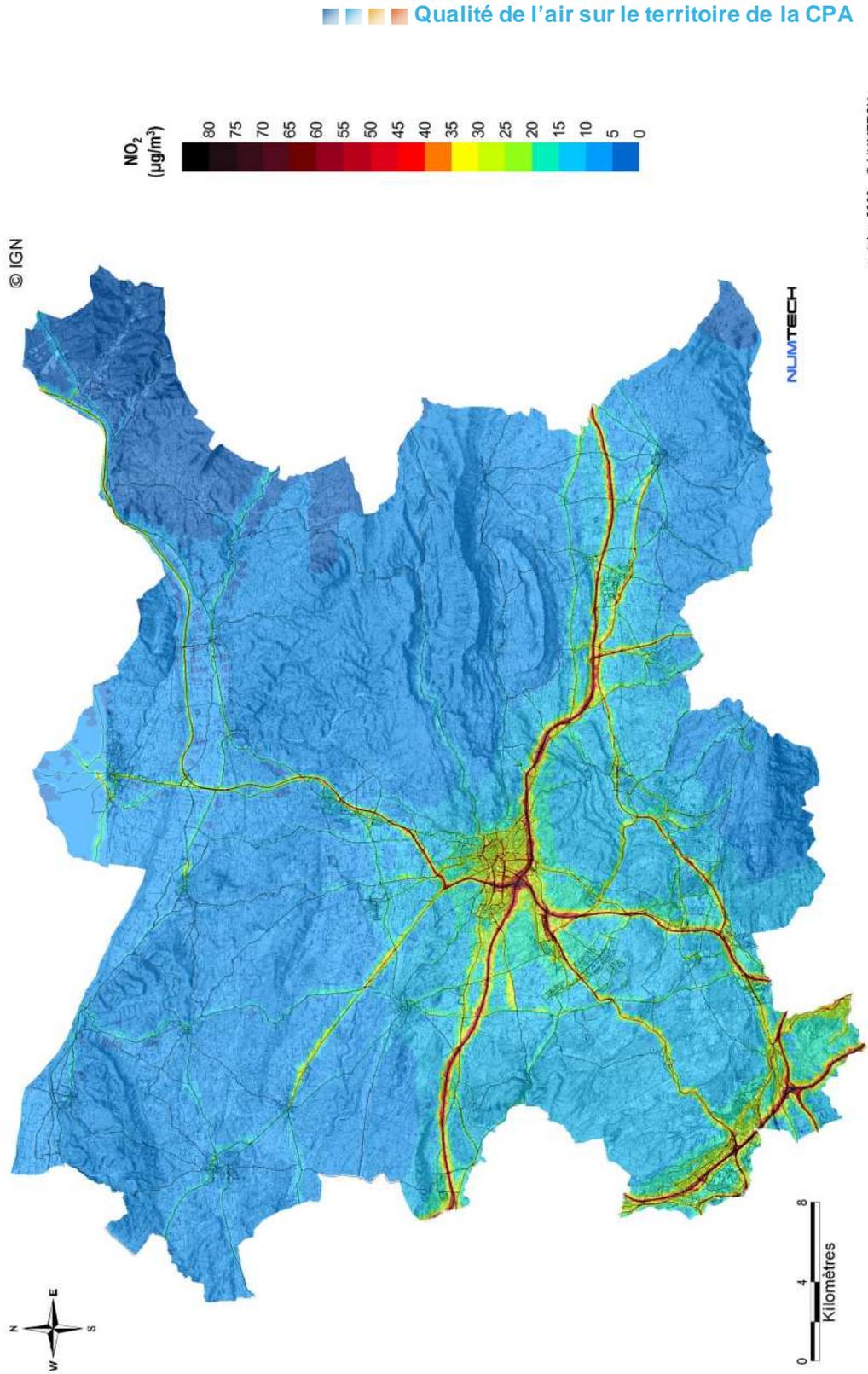
Pollution de fond : non

Cadastre d'émission : domaine CPA

Unité : µg/m³

Temps d'intégration : horaire

Période météorologique : du 29 mai au 26 juin 2007



octobre 2009 – © NUMTECH

Figure 95 : Concentrations moyennes simulées en NO₂ (µg/m³) au cours de la période estivale

Concentrations moyennes en benzène sur le domaine de la Communauté d'Agglomération d'Aix-en-Provence
Période estivale

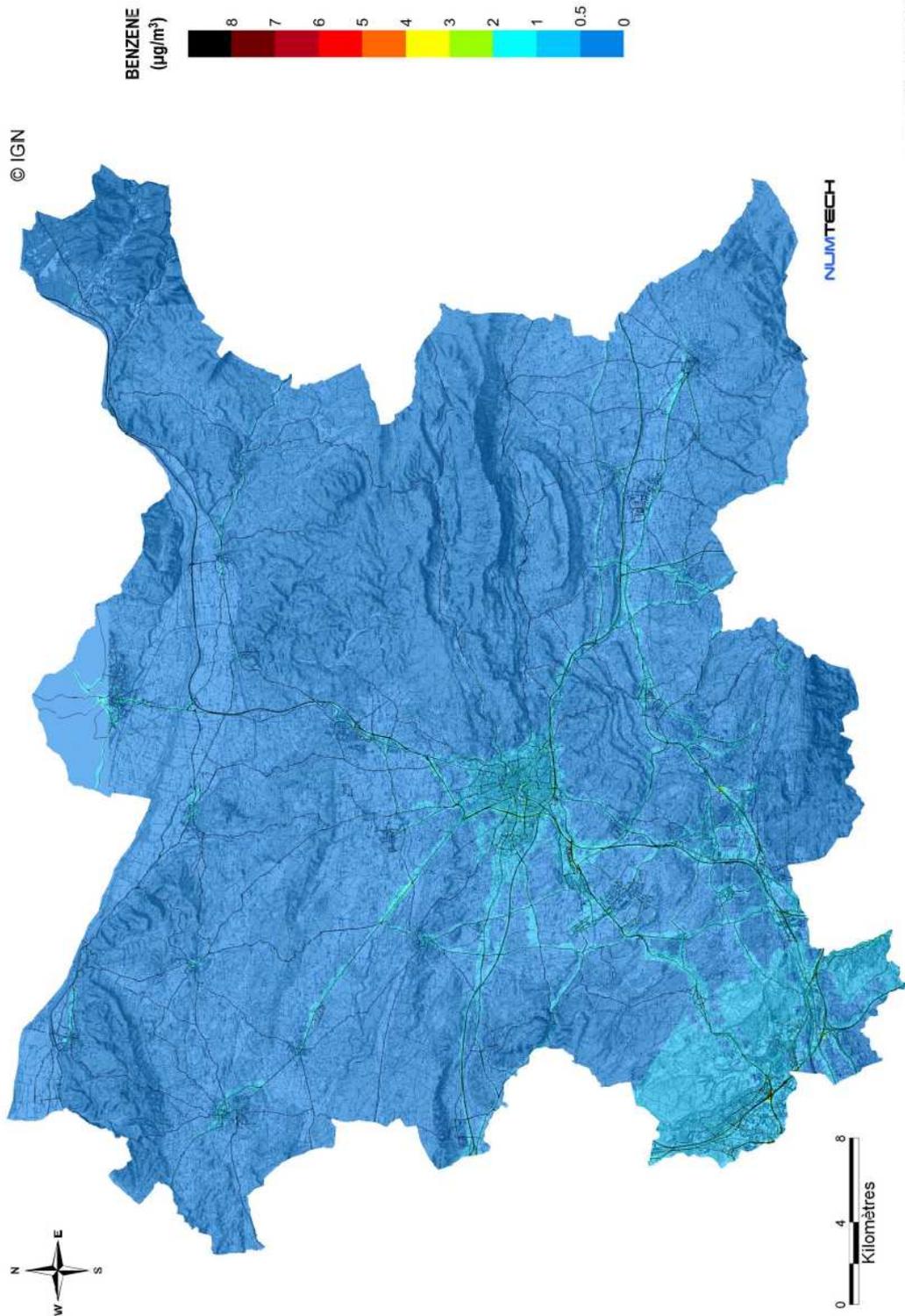
Pollution de fond : valeur constante (0.2 µg/m³)

Cadastré d'émission : domaine CPA

Unité : µg/m³

Temps d'intégration : horaire

Période météorologique : du 29 mai au 26 juin 2007



octobre 2009 – © NUMTECH

Figure 96 : Concentrations moyennes simulées en benzène (µg/m³) au cours de la période estivale

Concentrations moyennes en PM_{10} sur le domaine de la Communauté d'Agglomération d'Aix-en-Provence
Période estivale

Pollution de fond : variable dans le temps (moyenne : $17.7 \mu g/m^3$) Cadastre d'émission : domaine CPA

Unité : $\mu g/m^3$ Temps d'intégration : horaire

Période météorologique : du 29 mai au 26 juin 2007

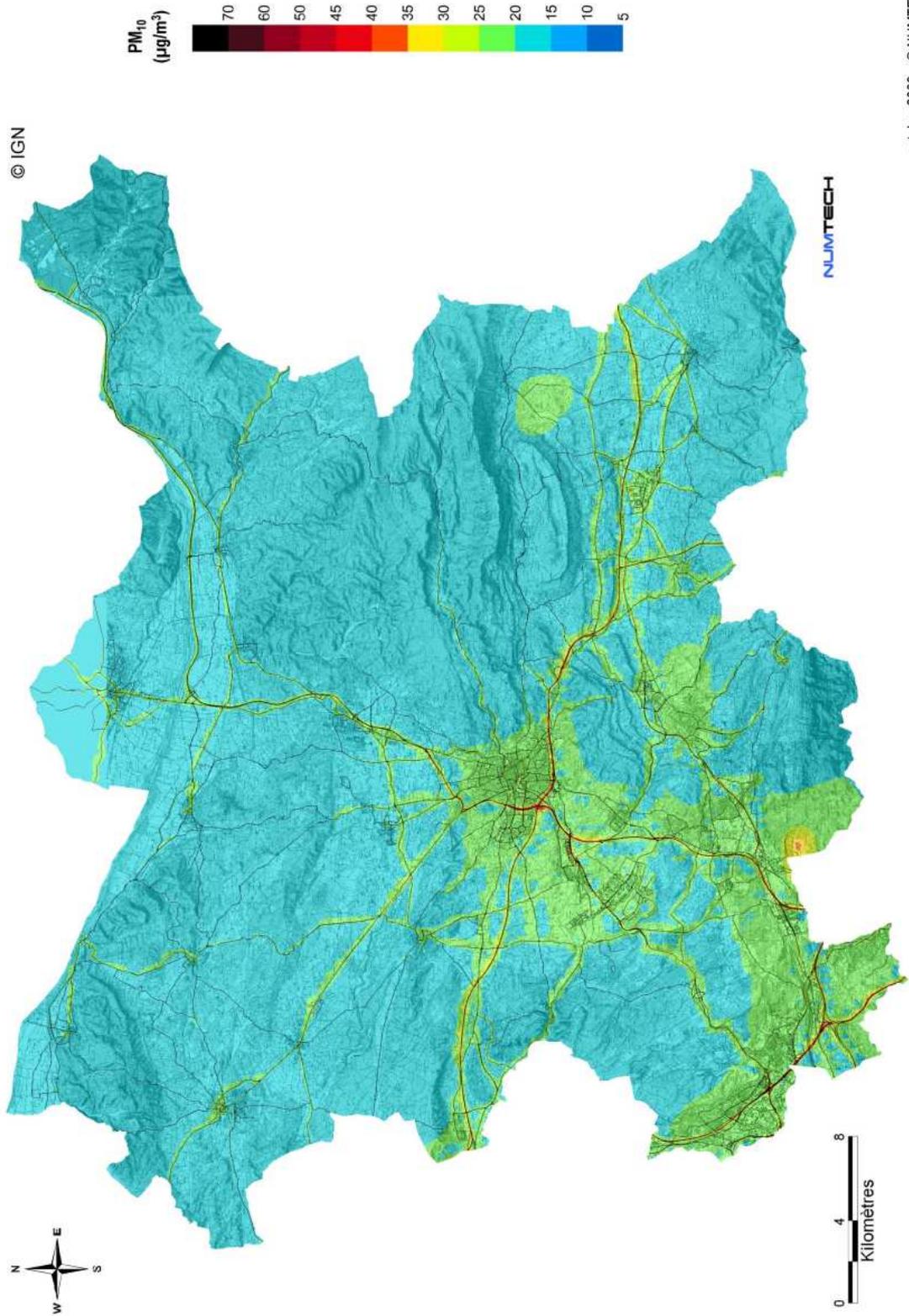


Figure 97 : Concentrations moyennes simulées en PM_{10} ($\mu g/m^3$) au cours de la période estivale

Capacité du modèle à restituer la distribution spatiale des concentrations

- NO₂

Les comparaisons entre les concentrations simulées et mesurées en NO₂ est très satisfaisante (Figure 98) en terme d'indicateurs statistiques, avec notamment un coefficient de corrélation supérieur à 0.7. Le modèle restitue les résultats de façon satisfaisante avec un biais moyen de 0.73 µg/m³, indiquant une légère sous-estimation des concentrations mesurées.

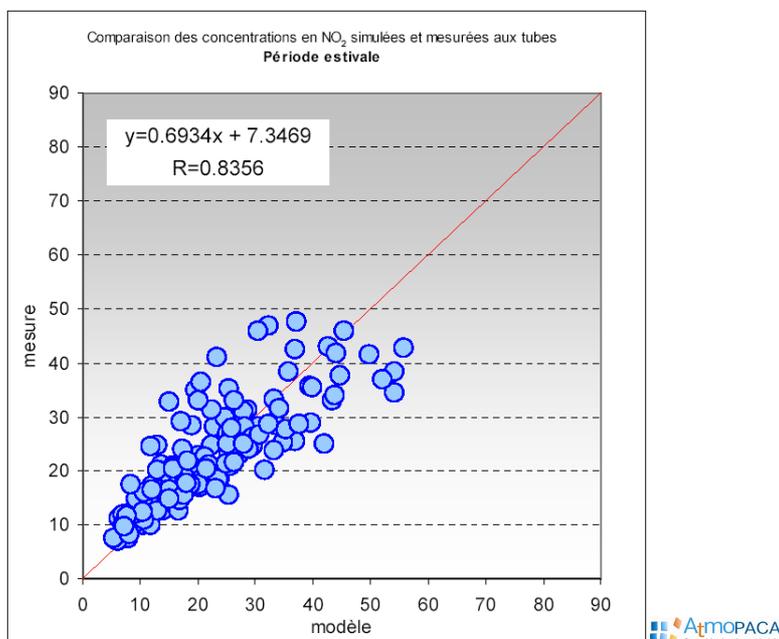


Figure 98 : Comparaison des concentrations mesurées et simulées en NO₂ au cours de la période estivale

- Benzène

note également une comparaison modèle / mesure satisfaisante (Figure 99) avec un coefficient de corrélation supérieur à 0.7. Comme en période hivernale, la sous-estimation des faibles valeurs mesurées a été corrigée en appliquant une pollution de fond de 0.2 µg/m³, qui correspondait au biais moyen avant correction.

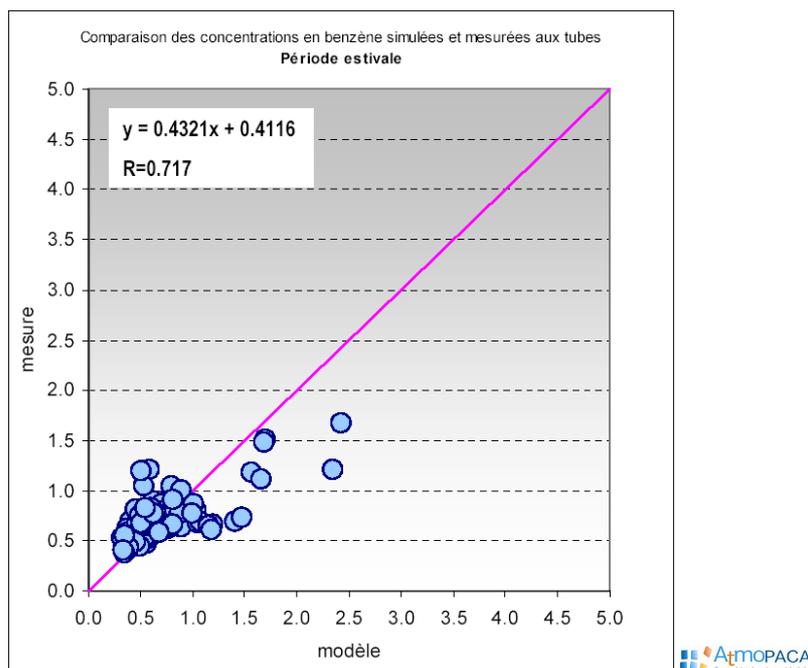


Figure 99 : Comparaison des concentrations mesurées et simulées en benzène au cours de la période estivale

Période annuelle

Les mêmes calculs de concentrations ont pu être réalisés sur l'année 2007 complète. Ce paragraphe présente les cartographies correspondantes et les indicateurs de performance du modèle.

Cartographies des concentrations moyennes annuelles en NO₂, benzène et PM₁₀

- NO₂

La Figure 100 représente la cartographie des concentrations moyennes annuelles de NO₂. Globalement, la cartographie obtenue est un état moyen des cartographies hivernale et estivale.

Les concentrations moyennes annuelles sont maximales sur les principaux axes routiers (autoroutes A7, A8, A51 et A52, RD9...), les valeurs sont supérieures à 40 µg/m³. Au niveau des zones urbaines (centre-ville d'Aix et des autres villes de la CPA), les concentrations dépassent localement 40 µg/m³. En zone péri-urbaine, les niveaux de concentrations moyens varient entre 15 et 25 µg/m³, et en zone rurale, les concentrations atteignent un niveau de fond compris entre 5 et 15 µg/m³. Les niveaux les plus faibles sont localisés dans la partie nord du domaine d'étude.

La valeur limite de 40 µg/m³ (en vigueur en 2010) est atteinte localement au niveau des zones urbaines (centre-ville d'Aix et des autres villes de la CPA).

- Benzène

La Figure 101 présente la cartographie des concentrations moyennes annuelles de benzène (C₆H₆). Globalement, la cartographie obtenue est un état moyen des cartographies hivernale et estivale.

Les niveaux les plus élevés sont relevés au niveau des axes routiers présentant des conditions de circulation congestionnées (valeur proche de 5 µg/m³). Cela concerne des tronçons de la RD9, de l'A51... et des axes routiers confinés dans le tissu urbain. Loin des sources routières, les concentrations sont comprises entre un niveau de fond de 0.46 µg/m³ (valeur estimée en confrontant les valeurs simulées sur l'année et celles estimées sur une base annuelle à partir des mesures des campagnes estivale et hivernale) et un niveau de 2 µg/m³ à proximité des zones urbaines.

L'objectif qualité (2 µg/m³) est atteint au niveau des tronçons des axes routiers RD9 et A51, ainsi que ceux localisés en zone urbaine (centre-ville d'Aix, Marignane et Pennes-Mirabeau).

- PM₁₀

La Figure 102 représente la cartographie des concentrations moyennes annuelles de PM₁₀. La cartographie donne un état moyen des valeurs simulées pour les périodes estivale et hivernale.

Les fortes concentrations en PM₁₀ (supérieures à 50 µg/m³) sont localisées à proximité immédiate des axes routiers les plus chargés, et une carrière située à proximité des Pennes-Mirabeau. En centre-ville d'Aix et dans les villes de la CPA (Marignane et Pennes-Mirabeau), les concentrations moyennes annuelles en PM₁₀ varient entre 20 et 35 µg/m³. Sur le reste du domaine, la présence de carrières favorise localement des concentrations de 30-35 µg/m³ et en zone rurale, les concentrations sont comprises entre un niveau de fond de 20.6 µg/m³ et 25 µg/m³.

On retiendra que les concentrations en poussières présentées sont très fortement conditionnées par la pollution de fond utilisée.

Concentrations moyennes annuelles en NO₂ sur le domaine de la Communauté d'agglomération du Pays d'Aix-en-Provence

Pollution de fond : non

Cadastre d'émission : domaine CPA

Valeur limite (2010) : 40 µg/m³

Unité : µg/m³

Temps d'intégration : horaire

Période météorologique : du 1^{er} janvier 2007 au 31 décembre 2007

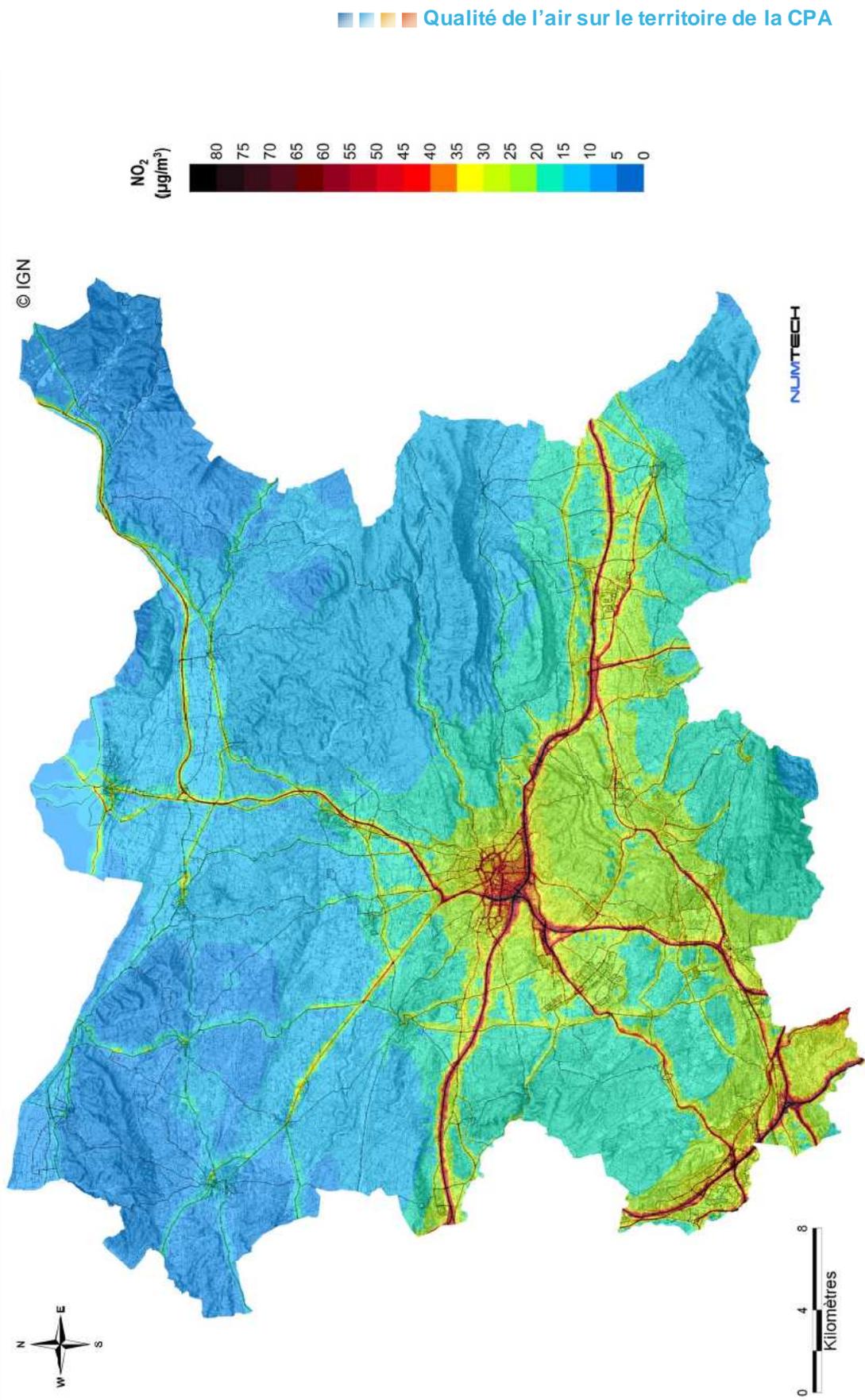


Figure 100 : Concentrations moyennes annuelles simulées en NO₂ (µg/m³)

Concentrations moyennes annuelles en benzène sur le domaine de la Communauté d'agglomération du Pays d'Aix-en-Provence

Pollution de fond : valeur constante (0,46 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) Cadastre d'émission : domaine CPA
 Unité : $\mu\text{g}/\text{m}^3$ Temps d'intégration : horaire

Valeur limite (2010) : 5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
 Période météorologique : du 1^{er} janvier 2007 au 31 décembre 2007

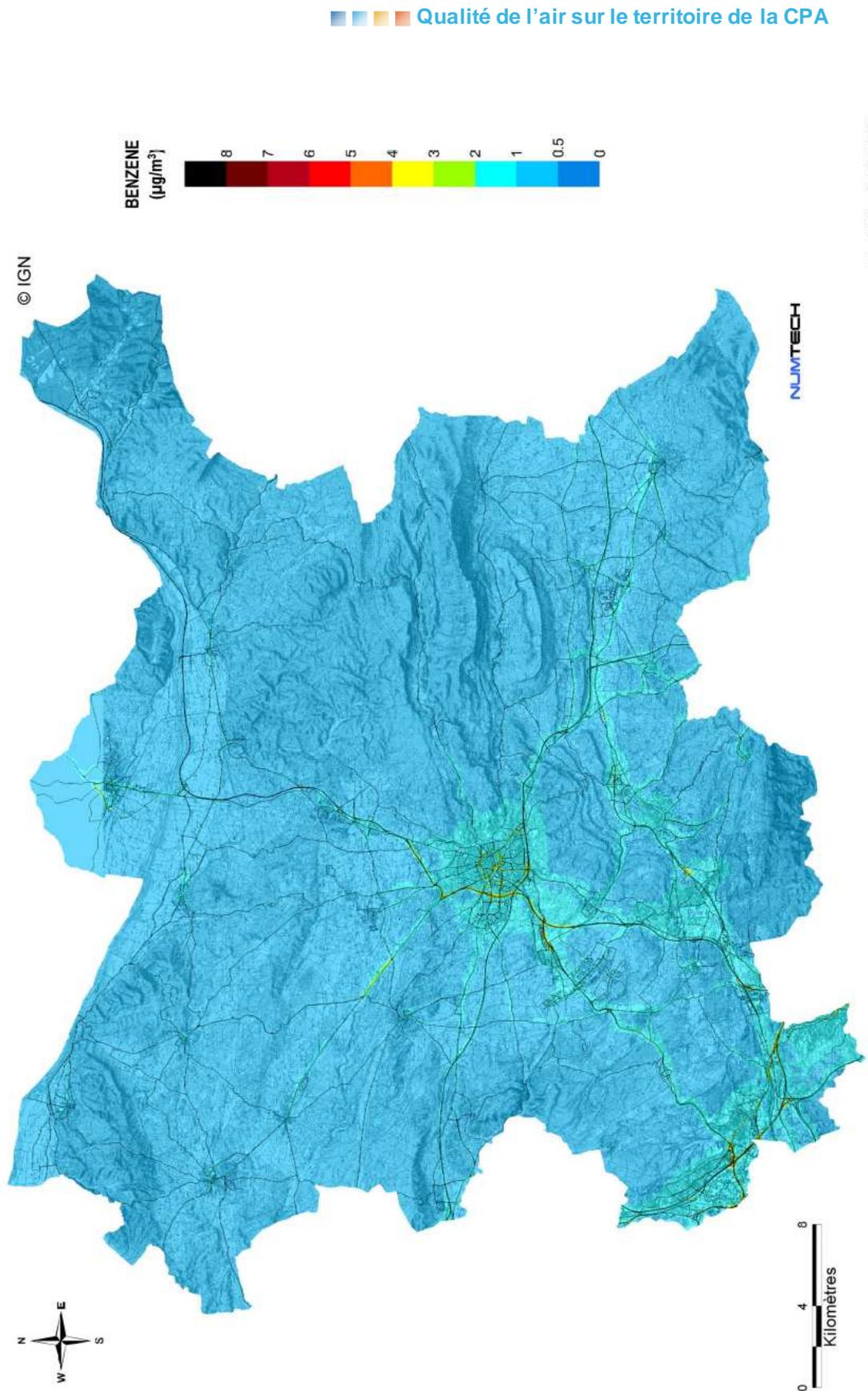


Figure 101 : Concentrations moyennes annuelles simulées en benzène ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

Concentrations moyennes annuelles en PM_{10} sur le domaine de la Communauté d'agglomération du Pays d'Aix-en-Provence

Pollution de fond : **variable (moyenne : $20.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$)** Cadastre d'émission : **domaine CPA**

Valeur limite (2005) : **$40 \mu\text{g}/\text{m}^3$**

Unité : $\mu\text{g}/\text{m}^3$ Temps d'intégration : **horaire**

Période météorologique : **du 1^{er} janvier 2007 au 31 décembre 2007**

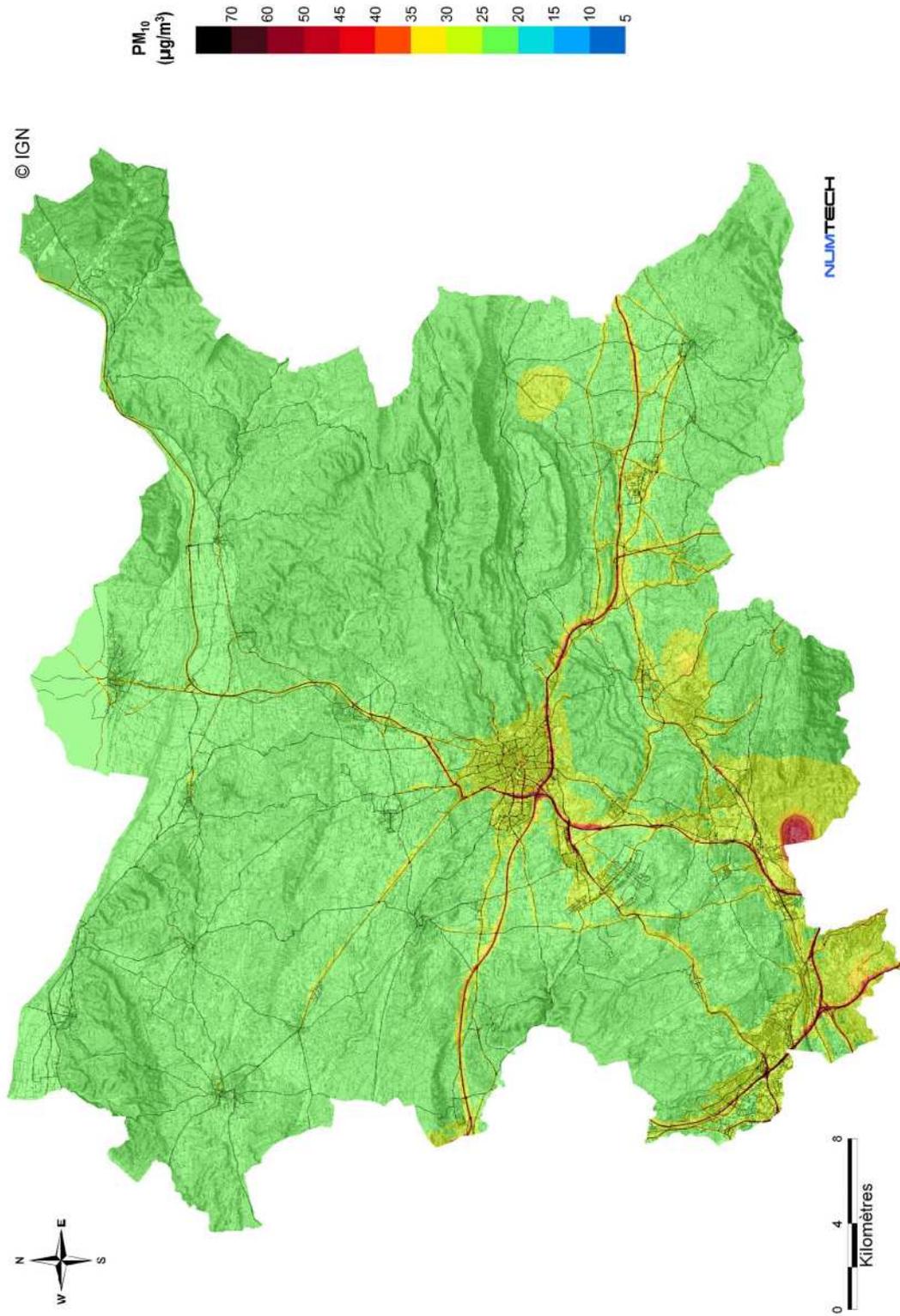


Figure 102 : Concentrations moyennes annuelles simulées en PM_{10} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

Capacité du modèle à restituer la distribution spatiale des concentrations

La chaîne de modélisation a été validée en comparant les résultats modèle / mesure issue d'une estimation annuelle à partir des mesures des campagnes estivale et hivernale.

- NO₂

La comparaison entre les concentrations simulées et mesurées est très satisfaisante (Figure 103) en terme d'indicateurs statistiques, avec notamment un coefficient de corrélation supérieur à 0.8. Le biais moyen est de 1.69 µg/m³, traduisant en moyenne une légère sous-estimation des niveaux moyens.

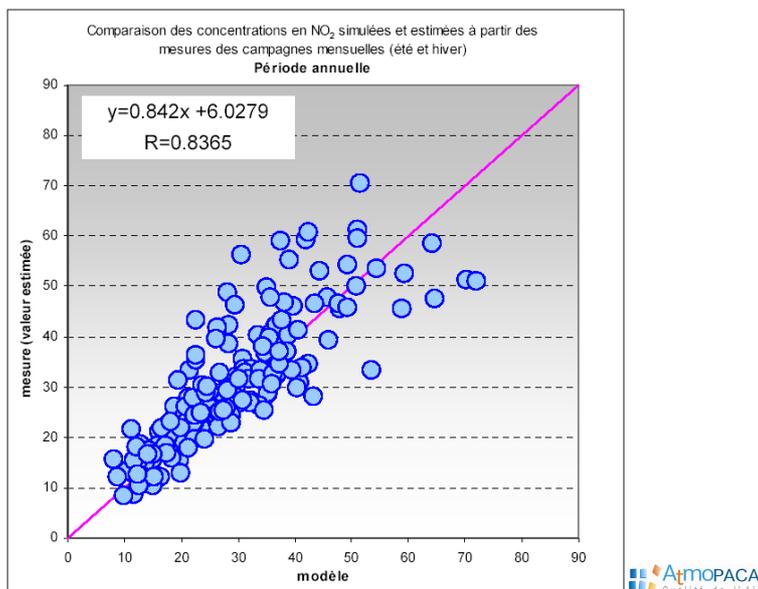


Figure 103 : Comparaison des concentrations moyennes estimées sur une base annuelle à partir des mesures des campagnes estivale et hivernale, et les concentrations moyennes annuelles simulées en NO₂

- Benzène

Sur la Figure 104, la comparaison entre les concentrations simulées et mesurées est également satisfaisante avec un bon coefficient de corrélation et un biais moyen proche de 0. Une pollution de fond de 0.46 µg/m³ a été appliquée aux calculs car le modèle avait tendance à sous-estimer les niveaux les plus bas.

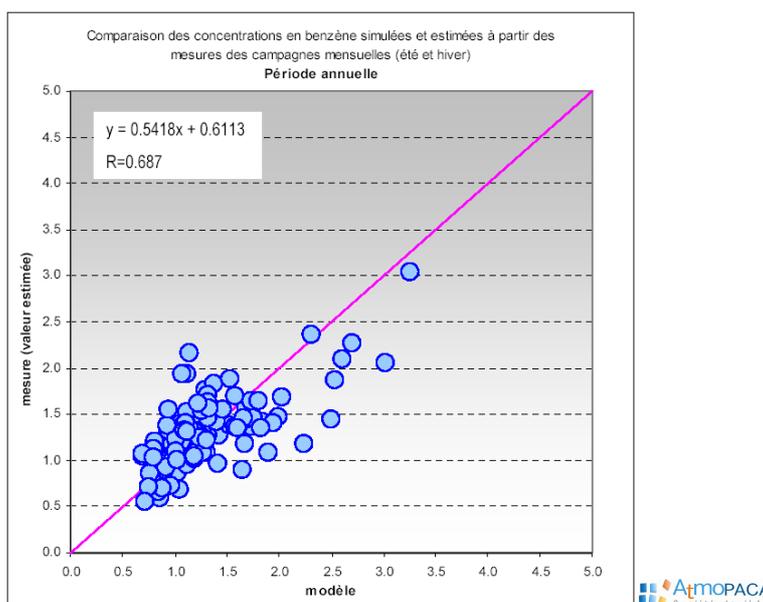


Figure 104 : Comparaison des concentrations moyennes estimées sur une base annuelle à partir des mesures des campagnes estivale et hivernale, et les concentrations moyennes annuelles simulées en benzène

Comparaison des résultats du modèle avec les mesures à la station Les Platanes

La Figure 105 montre que le modèle a tendance à sur estimer les niveaux moyens de concentrations à la station des Platanes. Il faut savoir que 90% des données d'immissions étaient manquantes à cette station, étant la seule station avec des données d'intérêt et qui est peu impactée par les sources urbaines.

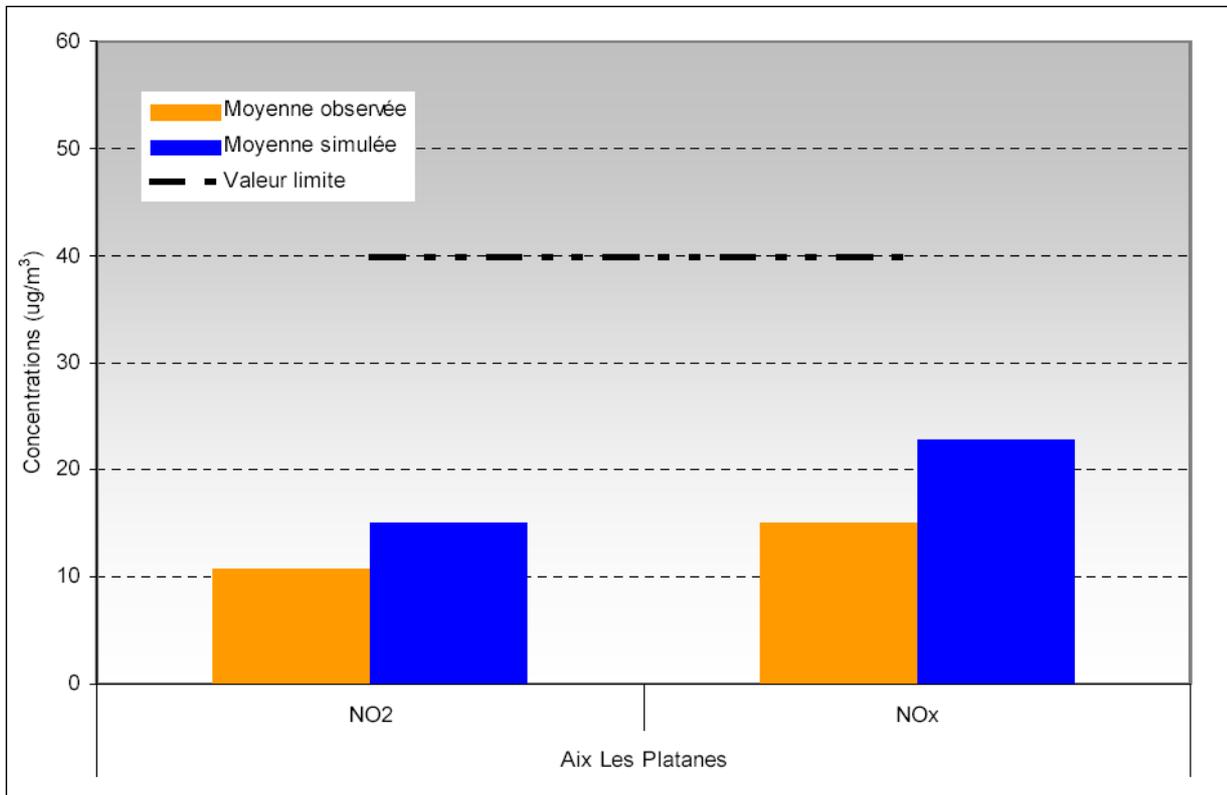


Figure 105 : Comparaison des concentrations moyennes annuelles mesurées et simulées en NO₂ et en NO_x à la station Les Platanes

Synthèse

Les calculs montrent que l'on retrouve les concentrations en polluants les plus élevées à proximité directe des grands axes de circulation (autoroutes, contournements, grands boulevards urbains). Les calculs montrent également des niveaux de pollution significatifs dans les centres urbains (Aix en Provence notamment, mais aussi communes des Pennes-Mirabeau et de Vitrolles), alors que les concentrations tendent vers un niveau de fond en périphérie des zones urbaines, à l'exception de quelques points de pollution locale à proximité de sources industrielles.

Globalement, ADMS-Urban restitue de façon satisfaisante la distribution spatiale des niveaux de concentration.

3.3.3. SYNTHÈSE DES RÉSULTATS

Compte tenu de l'étendue et de l'hétérogénéité de la zone étudiée, un modèle spécifique a été appliqué à chacun des deux domaines de la zone CPA (modèle Aix et modèle CPA). Le calage a été optimisé afin d'obtenir les meilleurs résultats en zone urbaine avec le modèle Aix et en zones rurale et péri-urbaine le modèle CPA.

Compte tenu de l'approche, les meilleurs résultats obtenus avec les deux modèles peuvent être regroupés en un ensemble de résultats à l'échelle de l'agglomération CPA complète.

Validation des résultats du modèle

Globalement, les résultats obtenus avec les deux chaînes de modélisation montrent une bonne corrélation avec les valeurs dérivées des mesures réalisées lors des campagnes de mesure estivale et hivernale (Figure 106 et Figure 107). Les coefficients de corrélation dépassent en effet 0.8 pour le NO₂ et sont proche de 0.7 pour le benzène.

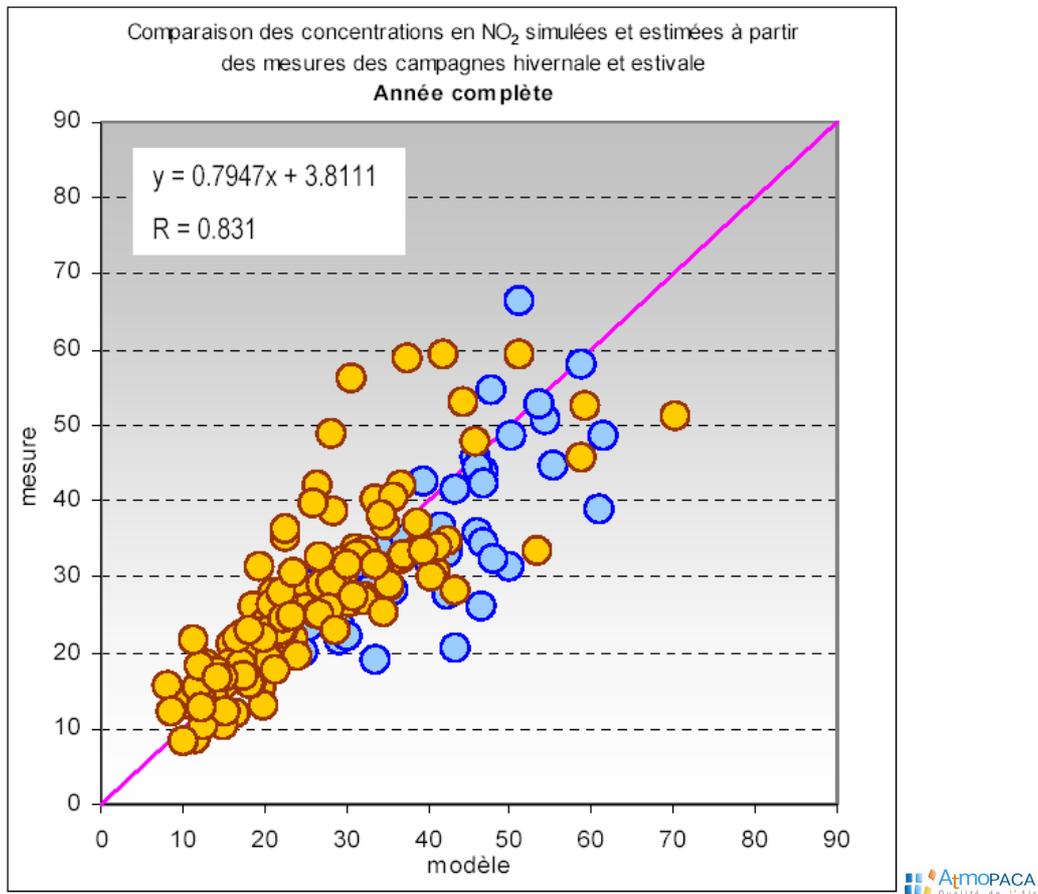


Figure 106 : Comparaison des concentrations moyennes annuelles en NO₂ simulées et estimées à partir des mesures des campagnes hivernale et estivale.

En orange, il s'agit des résultats du modèle sur le domaine Aix et en bleu, ceux sur le reste de la zone CPA.

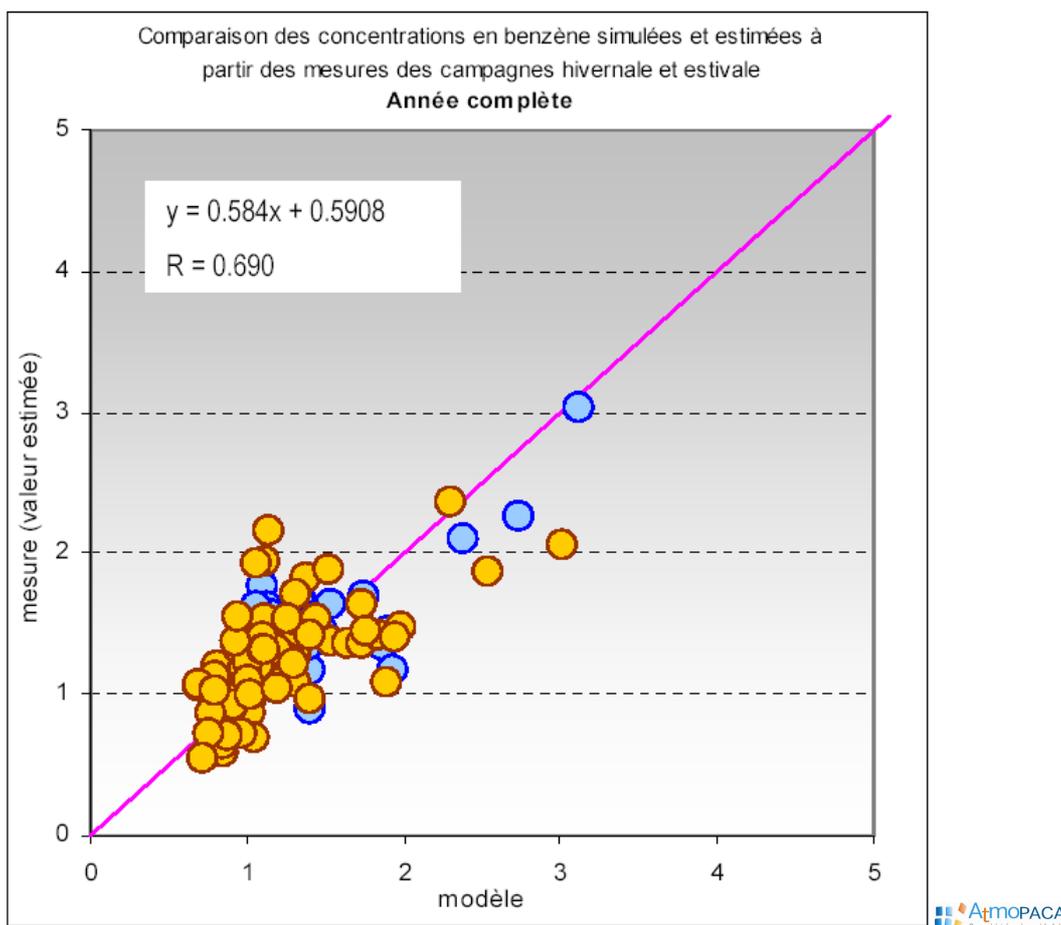


Figure 107 : Comparaison des concentrations en benzène moyennes annuelles simulées et estimées à partir des mesures des campagnes hivernale et estivale.

En orange, il s'agit des résultats de modèle avec le domaine Aix et en bleu, ceux du domaine CPA.

Distribution spatiale des niveaux de concentration

Les cartographies des concentrations moyennes annuelles ont permis d'appréhender la distribution spatiale des niveaux de concentration à l'échelle de l'agglomération, et de localiser les zones les plus impactées en terme de pollution atmosphérique. Les calculs montrent les niveaux de concentration les plus élevés à proximité des principaux axes routiers. Concernant le NO₂ et les PM10 on citera notamment les autoroutes A7, A8, A51 et A52, ainsi que les axes secondaires très fréquentés comme la RD9 en direction de Marignane, la RD6 et la RD60 à proximité de la zone de Gardanne. Les niveaux de benzène sont eux plus importants au niveau des axes routiers présentant des conditions de circulation congestionnées avec moins de poids lourds (RD9, A51...).

Les calculs montrent également des niveaux de pollution significatifs dans les centres urbains (ouest d'Aix en Provence notamment), alors que les concentrations tendent vers un niveau de fond en périphérie des zones urbaines, à l'exception de quelques points de pollution locale à proximité de sources industrielles.

Des gammes de valeurs de concentration ont pu être estimées pour chacun des polluants pour 4 zones d'intérêt : proximité des axes routiers, zones urbaines, périurbaines et rurales. Ces gammes de valeurs sont synthétisées dans les Tableau 14, Tableau 15, et Tableau 16.

	Moyenne annuelle	Période hivernale	Période estivale
Zone rurale	5-20	5-25	5-20
Zone péri-urbaine	20-30	25-35	20-25
Zone urbaine	20-35	30-45	20-35
Proximité trafic	35-70	40-80	35-60

Tableau 14 : Concentrations moyennes en NO₂ simulées (µg/m³) en zones rurale, péri-urbaine, urbaine et à proximité des principaux axes routiers

	Moyenne annuelle	Période hivernale	Période estivale
Zone rurale	0.5-1	0.5-1.5	0.2-0.5
Zone péri-urbaine	0.5-1	0.5-2	0.5-1
Zone urbaine	0.5-1.2	1-2	0.5-1
Proximité trafic	1.2-4	2-5	1-3

Tableau 15 : Concentrations moyennes en benzène simulées (µg /m³) en zones rurale, péri-urbaine, urbaine et à proximité des principaux axes routiers

	Moyenne annuelle	Période hivernale	Période estivale
Zone rurale	20-25	22-30	18-25
Zone péri-urbaine	25-30	25-30	20-25
Zone urbaine	25-35	25-35	20-25
Proximité trafic	30-40	30-45	25-35

Tableau 16 : Concentrations moyennes en PM10 simulées (µg /m³) en zones rurale, péri-urbaine, urbaine et à proximité des principaux axes routiers

On retiendra pour l'année étudiée :

- Une variabilité saisonnière des concentrations de NO₂, benzène et PM10. Les concentrations les plus élevées sont relevées en période hivernale en raison de l'intensité des émissions à cette période (chauffage résidentiel, production d'énergie...) et d'une météorologie plus pénalisante (stabilité hivernale).
- Une variabilité spatiale des concentrations quel que soit le type de polluant, qui dépend directement des émissions locales. Cette variabilité spatiale est moins marquée pour les poussières, puisque la pollution de fond conditionne déjà fortement le niveau de fond moyen simulé.

Dépassements des seuils réglementaires en NO₂, benzène et PM10

D'après les calculs par modélisation, la valeur limite en dioxyde d'azote ($40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en 2010) est dépassée à proximité des principaux axes routiers (Tableau 14) : autoroutes (A7, A8, A51 et A52...), connexions interurbaines et boulevards urbains. Ces dépassements sont par ailleurs observés à la station trafic Roy René. Loin de ces axes, les concentrations calculées sont inférieures aux valeurs réglementaires, même dans les zones urbaines. Cela est cohérent avec les observations aux stations urbaines Ecole d'Art et Jas de Bouffan d'Aix en Provence.

Concernant le benzène (Tableau 15), le modèle montre des dépassements de la valeur objectif qualité ($2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en moyenne annuelle) à proximité des principaux axes routiers. La valeur limite de $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ est globalement respectée partout.

Pour les niveaux en poussières (Tableau 16), la valeur limite de $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en moyenne annuelle est globalement respectée, sauf à proximité des principaux axes routiers.

3.4. CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Principaux résultats

NUMTECH a réalisé l'évaluation de l'état de la qualité de l'air sur la communauté d'agglomération du Pays d'Aix pour une année de référence (2007), en mettant en œuvre un modèle déterministe de dispersion atmosphérique à haute résolution : le modèle ADMS-Urban. Le modèle a permis de simuler les concentrations moyennes en dioxyde d'azote (NO₂), en benzène (C₆H₆) et en poussières (PM₁₀) sur une année complète de référence (2007) et à 2 échelles de restitution : la commune d'Aix-en-Provence (modèle Aix) et la Communauté d'agglomération du Pays d'Aix (modèle CPA).

Des mesures issues de plusieurs campagnes réalisées par Atmo PACA (du 29 mai au 26 juin 2007, du 1er octobre au 30 octobre 2007 et du 13 novembre au 11 décembre 2007) ont permis d'évaluer les performances de la chaîne de modélisation mise en œuvre, et de caler le modèle par rapport aux mesures en ajustant certains paramètres du modèle.

Les cartographies des concentrations moyennes annuelles ont permis d'appréhender la distribution spatiale des niveaux de concentration à l'échelle de l'agglomération, et de localiser les zones les plus impactées en terme de pollution atmosphérique. Les calculs montrent les niveaux de concentration les plus élevés à proximité des principaux axes routiers. Concernant le NO₂ et les PM₁₀ on citera notamment les autoroutes A7, A8, A51 et A52, ainsi que les axes secondaires très fréquentés comme la RD9 en direction de Marignane, la RD6 et la RD60 à proximité de la zone de Gardanne. Les niveaux de benzène sont eux plus importants au niveau des axes routiers présentant des conditions de circulation congestionnées avec moins de poids lourds (RD9, A51...).

Les calculs montrent également des niveaux de pollution significatifs dans les centres urbains (ouest d'Aix en Provence notamment, l'intersection des autoroutes A8 et A51), alors que les concentrations tendent vers un niveau de fond en périphérie des zones urbaines, à l'exception de quelques points de pollution locale à proximité de sources industrielles.

D'un point de vue réglementaire et d'après les résultats du modèle sur le domaine d'Aix :

- Les valeurs limites en NO₂ et en PM₁₀ (de 40 µg/m³ en moyenne annuelle le 1er janvier 2010) préconisées par l'article R221-1 du Code de l'Environnement sont globalement respectées en centre-ville, sauf à proximité des axes de circulation et de l'intersection des autoroutes A8 et A51. Ces valeurs limites sont également respectées sur les zones moins urbanisées de la zone d'étude.
- La valeur limite de 5 µg/m³ en benzène en moyenne annuelle est respectée sur la grande majorité du domaine d'étude, à l'exception des axes routiers les plus chargés. L'objectif qualité de 2 µg/m³ peut cependant être dépassé près des axes routiers présentant des conditions de circulation congestionnées, et ponctuellement dans les zones urbaines.

L'évaluation des performances de la chaîne de modélisation, effectuée sur la base d'une comparaison modèle / mesure, indique des résultats annuellement relativement satisfaisants dans l'ensemble pour les 3 polluants étudiés. Les nombreux tests réalisés indiquent toutefois que le modèle a tendance à légèrement sous-estimer les niveaux de pollution observés, notamment en zone urbaine.

Perspectives d'amélioration et de développement

Les résultats de la présente étude laissent entrevoir des perspectives concrètes d'optimisation de la chaîne de modélisation, et notamment dans le cadre de l'installation du système opérationnel URBAN'Air sur l'agglomération (basé sur le même code de calcul).

Les différents tests réalisés ont montré que l'effet de l'îlot de chaleur sur la dispersion (à travers la prise en compte d'une longueur minimale de Monin-Obukhov) était très sensible à l'échelle d'une ville telle que la ville d'Aix-en-Provence. De plus, nous avons obtenus dans le cadre de la modélisation de l'état initial de la qualité de l'air à proximité du tracé du tramway de l'agglomération de Nice (NCA), des résultats très prometteurs en utilisant la hauteur de couche limite fournie par le modèle MM5 (mis en œuvre dans la plate-forme AIRES) dans la chaîne de modélisation. L'utilisation des données météorologiques de modèle sera optimisée dans le cadre de l'installation d'URBAN'Air, en tenant compte de ces précédents résultats.

Dans ce cadre, de nombreux tests seront par ailleurs réalisés afin de reproduire au mieux les épisodes de pollution, peu étudiés dans le cadre de cette étude.

4. SYNTHÈSE

Le projet «services et **aide à la décision sur la qualité de l'air** dans les territoires de pays et les agglomérations» est réalisé en partenariat entre la Communauté du Pays d'Aix (CPA) et Atmo PACA. Il bénéficie du soutien financier de la Région PACA.

Le projet a débuté en 2007 avec le déploiement d'une vaste campagne de mesure de la qualité de l'air sur la CPA, accompagné de la réalisation de l'inventaire des émissions de polluants.

Ces données sont essentielles pour la construction de la plateforme de modélisation sur le domaine. En effet, les modélisations tiennent compte des émissions calculées sur la zone d'étude, de la météorologie et intègrent les phénomènes de chimie et de dispersion. Ces calculs numériques ont été réalisés en partenariat avec Numtech (www.numtech.fr). Le modèle utilisé, ADMS-Urban, a été calé et validé à partir des résultats des campagnes de mesures hivernales et estivales.

Les techniques de modélisation ont été testées et mise en place à l'occasion de ce projet pilote. Elles seront reproduites sur d'autres agglomérations de la région surveillées par Atmo PACA

La modélisation a permis d'aboutir à des **cartographies hautes définition** pour plusieurs polluants majoritairement traceurs de la pollution routière : le dioxyde d'azote (NO₂), les particules en suspension (PM10) et le benzène (C₆H₆).

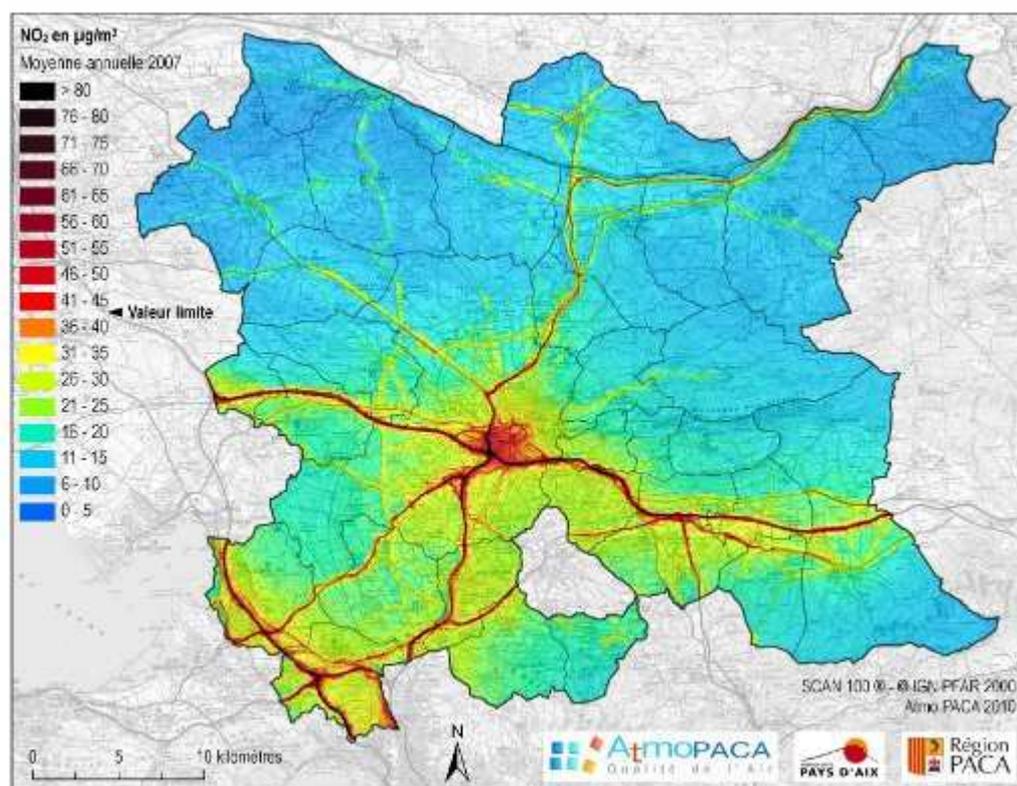


Figure 108 : Concentrations annuelles 2007 en dioxyde d'azote (NO₂)

La population résidentielle susceptible de respirer un air dont les niveaux dépassant la valeur limite annuelle du NO₂ (40 µg/m³) est estimée à environ 45 000 personnes sur l'ensemble des 34 communes, soit 14 % de la population de la CPA.

Les communes d'Aix, du Tholonet, et des Pennes Mirabeau sont les plus touchées, avec respectivement, 30 %, 11 % et 10 % de leur population exposée à des teneurs supérieures à la valeur limite.

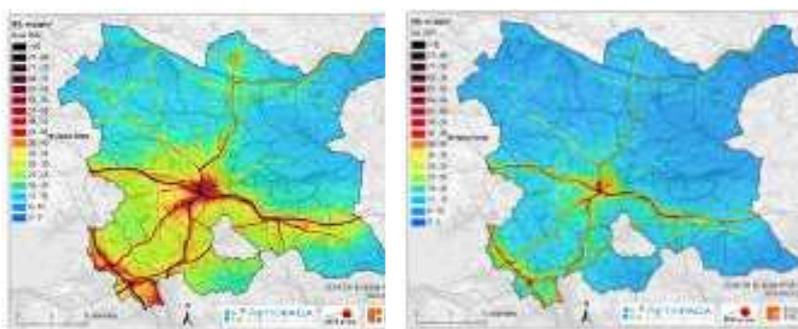


Figure 109 : Dioxyde d'azote Hiver 2007 et Été 2007

La pollution est plus marquée en hiver. Pendant cette période, les épisodes de stabilité de l'atmosphère sont plus nombreux. L'air est plus froid et les polluants ont tendance à s'accumuler proche du sol.

A l'inverse, l'été, les températures sont plus élevées, et le brassage vertical de l'atmosphère plus important ; la dispersion du dioxyde d'azote est plus facile.

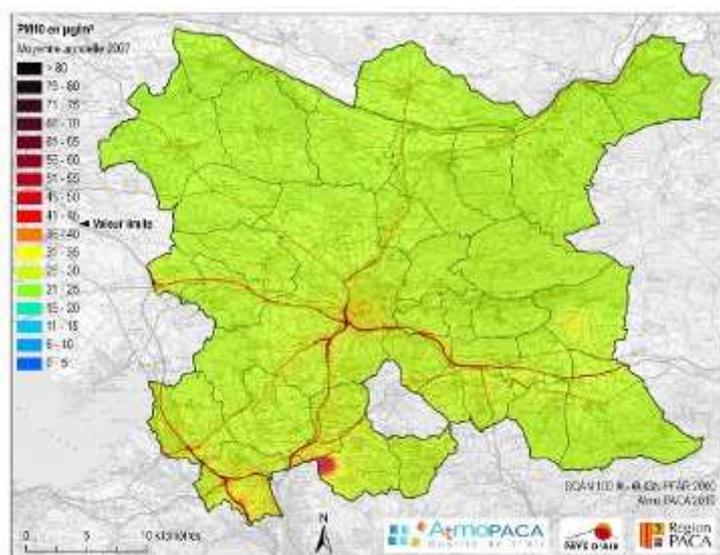


Figure 110 : Concentrations annuelles 2007 en particules (PM10)

Sur le domaine de la CPA, la valeur limite annuelle pour les particules inférieures à 10 µm (PM10) est de 40 µg/m³/an.

Elle est dépassée essentiellement à proximité des axes d'échanges à trafic dense. 2% des populations de la CPA sont exposées à ces teneurs. L'objectif de qualité pour les particules, de 30 µg/m³/an est dépassé aussi sur les villes et concerne 11 % de la population (environ 30 000 personnes sur Aix et 2 000 sur les Pennes Mirabeau).

Les cimenteries et carrières marquent le territoire avec localement des concentrations élevées.

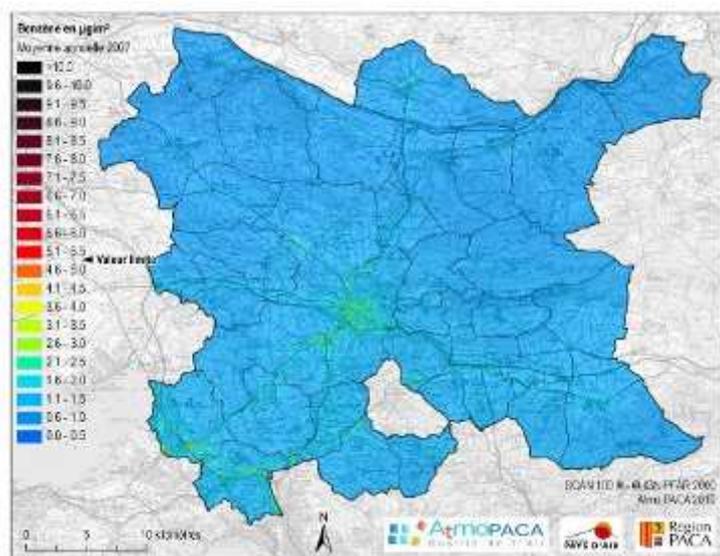


Figure 111 : Concentrations annuelles 2007 en Benzène (C6H6)

La valeur limite annuelle pour le benzène, de 5 µg/m³ est respectée.

L'objectif de qualité pour le benzène de 2 µg/m³/an est dépassé pour un tiers des communes de la CPA: Aix, Bouc Bel Air, Cabriès, Le Puy Sainte Réparate, Le Tholonet, Meyreuil, Les Pennes Mirabeau, Pertuis, Peyrolles, Simiane et Vitrolles.

Sur ces communes, les populations à proximité des ronds-points, des axes de circulations encombrés, des zones de parking sont les plus concernées (soit 7% environ de la population de la CPA).

Sur le territoire de la CPA, trois « typologies » en terme de qualité de l'air se dégagent :

- Les axes autoroutiers (A7, A8) et les grandes nationales (RD9, RD6), ainsi que leur voisinage immédiat, dépassent les normes de qualité de l'air pour les trois polluants : dioxyde d'azote, particules inférieures à 10 µm et benzène. Ces axes représentent un filaire en croix centré sur Aix-en-Provence.
- Les centres urbains des villes les plus importantes (Aix-en-Provence, les Pennes Mirabeau, Pertuis et Vitrolles) présentent aussi des dépassements en raison des émissions anthropiques et essentiellement celles du trafic routier.
- Une majorité de petites villes, de villages et de domaines naturels (Sainte Victoire, Trévaresse,...) témoignent d'une bonne qualité de l'air.

La population résidentielle susceptible de respirer un air dont les niveaux dépassent la valeur limite annuelle du NO₂ (40 µg/m³) est estimée à environ 45 000 personnes sur l'ensemble des 34 communes, soit 14 % de la population de la CPA.

Atmo PACA dispose aujourd'hui d'un outil permettant la modélisation de différents scénarios de réduction des émissions polluantes. La CPA et Atmo PACA travaillent en commun à l'élaboration de ces scénarios. Ils seront choisis en lien avec des projets d'aménagement et en concertation avec les collectivités

5. TABLES DES ILLUSTRATIONS ET DES TABLEAUX

5.1. TABLE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Emissions annuelles sur la CPA	11
Tableau 2 : Stations de mesures et analyseurs sur la CPA	19
Tableau 3 : Evaluation des niveaux d'Aldéhydes sur la moyenne des deux périodes	44
Tableau 4 : Concentrations en formaldéhydes dans différents environnements (source : INERIS)	45
Tableau 5 : Phénomènes physiques pris en compte dans la modélisation	62
Tableau 6 : Description des sources pour la modélisation de base	76
Tableau 7 : Type de sources par domaine de modélisation	78
Tableau 8 : Niveaux de fond moyens en benzène (en $\mu\text{g}/\text{m}^3$)	79
Tableau 9 : Bilan des indicateurs statistiques en NO_2 , NO_x et PM_{10} calculés aux stations fixes du réseau Atmo PACA pour la période hivernale	91
Tableau 10 : Bilan des indicateurs statistiques en NO_2 , en NO_x et en PM_{10} calculés aux stations fixes du réseau Atmo PACA pour la période estivale	101
Tableau 11 : Bilan des indicateurs statistiques en NO_2 , en NO_x et en PM_{10} calculés aux stations fixes du réseau Atmo PACA pour la période annuelle	111
Tableau 12 : Comparaison des percentiles 98 et 99.8 horaires en NO_2 mesurées et simulées.	112
Tableau 13 : Comparaison des percentiles 90.4 journaliers en PM_{10} mesurées et simulées.	112
Tableau 14 : Concentrations moyennes en NO_2 simulées ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) en zones rurale, péri-urbaine, urbaine et à proximité des principaux axes routiers	131
Tableau 15 : Concentrations moyennes en benzène simulées ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) en zones rurale, péri-urbaine, urbaine et à proximité des principaux axes routiers	131
Tableau 16 : Concentrations moyennes en PM_{10} simulées ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) en zones rurale, péri-urbaine, urbaine et à proximité des principaux axes routiers	131
Tableau 17 : Concentration station - triplon	155
Tableau 18 : Concentrations stations	156

5.2. TABLE DES ILLUSTRATIONS

Figure 1 : Carte de localisation et d'occupation du sol	9
Figure 2 : Part de chaque secteur d'activité dans les émissions de la CPA	11
Figure 3 : Analyse sectorielle des émissions de NO_x	12
Figure 4 : Cadastre des émissions de NO_x sur la CPA	12
Figure 5 : Analyse sectorielle des émissions de CO	13
Figure 6 : Cadastre des émissions de CO sur la CPA	13
Figure 7 : Analyse sectorielle des émissions de CO_2	14
Figure 8 : Cadastre des émissions de CO_2 sur la CPA	14
Figure 9 : Analyse sectorielle des émissions de SO_2	15
Figure 10 : Cadastre des émissions de SO_2 sur la CPA	15
Figure 11 : Analyse sectorielle des émissions de PM_{10} et de $\text{PM}_{2.5}$	16
Figure 12 : Cadastre des émissions de PM_{10} sur la CPA	16
Figure 13 : Analyse sectorielle des émissions de COVNM	17
Figure 14 : Cadastre des émissions de COVNM sur la CPA	17
Figure 15 : Laboratoire mobile d'Atmo PACA – Cannes de prélèvement de l'air – Baie d'analyseurs	19
Figure 16 : Tubes à diffusion passive	20
Figure 17 : Carte de localisation des sites de mesure de typologie « fond »	24
Figure 18 : Carte de localisation des sites de mesure de typologie « trafic »	25
Figure 19 : Carte de localisation des sites de mesures sur Aix-en-Provence	25
Figure 20 : Carte de localisation des sites de mesure sur Vitrolles	26
Figure 21 : Carte de localisation des sites de mesure de Pertuis	26
Figure 22: Carte de localisation des sites de mesure du transect de Rousset	27
Figure 23 : Concentrations annuelles 2007 en dioxyde d'azote	28
Figure 24 : Evolution saisonnière des concentrations en dioxyde d'azote sur quelques sites de la CPA	33

Figure 25 : Concentrations hivernales en dioxyde d'azote	34
Figure 26 : Concentrations estivales en dioxyde d'azote	34
Figure 27 : Profil transversal en dioxyde d'azote au niveau de l'A8 à Rousset	35
Figure 28 : Profil transversal en dioxyde d'azote de la RD9 dans la zone des Milles	36
Figure 29 : Concentrations annuelles 2007 en benzène	38
Figure 30 : Concentrations hivernales en benzène	39
Figure 31 : Concentrations estivales en benzène	39
Figure 32 : Données statistiques - valeurs 2007 en benzène et typologie des sites	40
Figure 33 : Concentrations annuelles 2007 en toluène	42
Figure 34 : Concentrations annuelles 2007 en xylènes	42
Figure 35 : Concentrations moyennes sur les deux périodes pour le formaldéhyde	46
Figure 36 : Concentrations moyennes en hiver pour le formaldéhyde	47
Figure 37 : Concentrations moyennes en été pour le formaldéhyde	47
Figure 38 : Concentrations moyennes en aldéhydes en air intérieur	49
Figure 39 : Carte d'implantation des points de mesures au collège Mignet (en rouge : sites extérieurs, en vert : sites intérieurs)	51
Figure 40 : Cartographie des niveaux de dioxyde d'azote au collège Mignet	51
Figure 41 : Localisation des domaines d'étude : CPA et Aix	63
Figure 42 : Localisation du domaine d'Aix et des différentes grilles de calcul du domaine d'Aix	64
Figure 43 : Localisation du domaine CPA et des différentes grilles de calcul du domaine CPA	64
Figure 44 : Localisation des points de grille ADMS (grille régulière et maillage intelligent) pour le domaine CPA	65
Figure 45 : Localisation des points de grille ADMS (grille régulière et maillage intelligent) pour le domaine d'Aix	65
Figure 46 : Localisation des stations permanentes sur le domaine Aix	66
Figure 47 : Localisation des points récepteurs sur le domaine CPA	66
Figure 48 : Topographie de la communauté d'agglomération du Pays d'Aix	67
Figure 49 : Roses des vents issues des paramètres mesurés à la station Météo-France des périodes hivernale et estivale	68
Figure 50 : Rose des vents issue des paramètres mesurés à la station Météo-France pour l'année de référence (2007)	69
Figure 51 : Stations utilisées pour la détermination de la pollution de fond en PM10	70
Figure 52 : Sources d'émission prises en compte pour les domaines Aix et CPA	71
Figure 53 : Visualisation des contours du cadastre kilométrique modélisé	72
Figure 54 : Emissions totales en NO (tonnes/an)	72
Figure 55 : Emissions totales en poussières (tonnes/an)	73
Figure 56 : Emissions totales en benzène (tonnes/an)	73
Figure 57 : Localisation des grandes sources ponctuelles (GSP) modélisées	74
Figure 58 : Réseau routier principal modélisé	75
Figure 59 : Réseau routier secondaire modélisé	75
Figure 60 : Schéma descriptif de la phase de calage	78
Figure 61 : Influence de la longueur minimale de Monin-Obukhov sur le profil journalier des concentrations en NO ₂ simulées à la station Ecole d'Art en période estivale	81
Figure 62 : Comparaisons des concentrations en NO ₂ simulées et mesurées sur le domaine d'Aix au cours de la période hivernale avant et après le calage de la chaîne de modélisation.	82
Figure 63 : Concentrations moyennes simulées en NO ₂ (µg/m ³) au cours de la période hivernale	84
Figure 64 : Concentrations moyennes simulées en benzène (µg/m ³) au cours de la période hivernale	85
Figure 65 : Concentrations moyennes simulées en PM10 (µg/m ³) au cours de la période hivernale	86
Figure 66 : Comparaison des concentrations mesurées et simulées en NO ₂ au cours de la période estivale pour le domaine d'Aix	87
Figure 67 : Comparaison des concentrations mesurées et simulées en NO ₂ au droit des tubes passifs et stations au cours de la période estivale pour le domaine d'Aix	88
Figure 68 : Comparaison des concentrations mesurées et simulées en benzène au cours de la période estivale pour le domaine d'Aix	89
Figure 69 : Comparaison des concentrations mesurées et simulées en benzène au droit des tubes passifs et stations au cours de la période hivernale pour le domaine d'Aix (par ordre croissant de concentrations mesurées)	90
Figure 70 : Comparaison des concentrations moyennes simulées et mesurées en NO ₂ , NO _x et PM10 aux stations permanentes du réseau Atmo PACA du 1er au 30 octobre 2007	91
Figure 71 : Comparaison des concentrations simulées et mesurées en NO ₂ à la station d'Ecole d'Art du 15 au 29 octobre 2007	92
Figure 72 : Comparaison des concentrations simulées et mesurées en NO ₂ à la station Jas de Bouffan du 15 au 29 octobre 2007	92
Figure 73 : Concentrations moyennes simulées en NO ₂ (µg/m ³) au cours de la période estivale pour le domaine d'Aix	94

Figure 74 : Concentrations moyennes simulées en benzène ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) au cours de la période estivale pour le domaine d'Aix	95
Figure 75 : Concentrations moyennes simulées en PM10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) au cours de la période estivale pour le domaine d'Aix	96
Figure 76 : Comparaison des concentrations mesurées et simulées en NO ₂ au cours de la période estivale pour le domaine d'Aix	97
Figure 77 : Comparaison des concentrations mesurées et simulées en NO ₂ au droit des tubes passifs et stations au cours de la période estivale pour le domaine d'Aix	98
Figure 78 : Comparaison des concentrations mesurées et simulées en benzène au cours de la période estivale pour le domaine d'Aix	99
Figure 79 : Comparaison des concentrations mesurées et simulées en benzène au droit des tubes passifs et stations au cours de la période estivale pour le domaine d'Aix	100
Figure 80 : Comparaison des concentrations moyennes simulées et mesurées statistiques en NO ₂ , en NO _x et en PM10 aux stations permanentes du réseau Atmo PACA.	101
Figure 81 : Comparaison des concentrations simulées et mesurées en NO ₂ à la station Jas de Bouffan du 2 au 7 juin 2007	102
Figure 82 : Concentrations moyennes annuelles simulées en NO ₂ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) pour le domaine d'Aix	104
Figure 83 : Percentiles 98 horaires en NO ₂ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) pour le domaine d'Aix	105
Figure 84 : Percentiles 99.8 horaires en NO ₂ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) pour le domaine d'Aix	106
Figure 85 : Concentrations moyennes annuelles simulées en benzène ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) pour le domaine d'Aix	107
Figure 86 : Concentrations moyennes annuelles simulées en PM10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) pour le domaine d'Aix	108
Figure 87 : Comparaison des concentrations estimées à partir des mesures des campagnes estivale et hivernale, et des concentrations simulées en NO ₂ sur l'année	109
Figure 88 : Comparaison des concentrations estimées à partir des mesures des campagnes estivale et hivernale, et des concentrations moyennes annuelles simulées en benzène	110
Figure 89 : Comparaison des concentrations moyennes simulées et mesurées en NO ₂ , en NO _x et en PM10 aux stations permanentes du réseau Atmo PACA.	111
Figure 90 : Concentrations moyennes simulées en NO ₂ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) au cours de la période hivernale	114
Figure 91 : Concentrations moyennes simulées en benzène ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) au cours de la période hivernale	115
Figure 92 : Concentrations moyennes simulées en PM10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) au cours de la période hivernale	116
Figure 93 : Comparaison des concentrations mesurées et simulées en NO ₂ au cours de la période hivernale	117
Figure 94 : Comparaison des concentrations mesurées et simulées en benzène au cours de la période hivernale	117
Figure 95 : Concentrations moyennes simulées en NO ₂ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) au cours de la période estivale	119
Figure 96 : Concentrations moyennes simulées en benzène ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) au cours de la période estivale	120
Figure 97 : Concentrations moyennes simulées en PM10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) au cours de la période estivale	121
Figure 98 : Comparaison des concentrations mesurées et simulées en NO ₂ au cours de la période estivale	122
Figure 99 : Comparaison des concentrations mesurées et simulées en benzène au cours de la période estivale	122
Figure 100 : Concentrations moyennes annuelles simulées en NO ₂ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	124
Figure 101 : Concentrations moyennes annuelles simulées en benzène ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	125
Figure 102 : Concentrations moyennes annuelles simulées en PM10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	126
Figure 103 : Comparaison des concentrations moyennes estimées sur une base annuelle à partir des mesures des campagnes estivale et hivernale, et les concentrations moyennes annuelles simulées en NO ₂	127
Figure 104 : Comparaison des concentrations moyennes estimées sur une base annuelle à partir des mesures des campagnes estivale et hivernale, et les concentrations moyennes annuelles simulées en benzène	127
Figure 105 : Comparaison des concentrations moyennes annuelles mesurées et simulées en NO ₂ et en NO _x à la station Les	128
Figure 106 : Comparaison des concentrations moyennes annuelles en NO ₂ simulées et estimées à partir des mesures des campagnes hivernale et estivale.	129
Figure 107 : Comparaison des concentrations en benzène moyennes annuelles simulées et estimées à partir des mesures des campagnes hivernale et estivale.	130
Figure 108 : Concentrations annuelles 2007 en dioxyde d'azote (NO ₂)	134
Figure 109 : Dioxyde d'azote Hiver 2007 et Eté 2007	135
Figure 110 : Concentrations annuelles 2007 en particules (PM10)	135
Figure 111 : Concentrations annuelles 2007 en Benzène (C ₆ H ₆)	135
Figure 112 : Régression linéaire par série	155
Figure 113 : Régression linéaire pour l'estimation annuelle à partir d'une moyenne « été-hiver »	157
Figure 114 : Régression linéaire pour l'estimation annuelle à partir d'une seule période : « été » ou « hiver »	157

5.3. REFERENCES

L'ensemble des études citées ci-après est disponible sur le site Internet d'Atmo PACA, par téléchargement (www.atmopaca.org).

Publications d'Atmo PACA concernant aérosols, émissions et modélisation.

- Atmo PACA, Ministère de l'Ecologie (2008-2009), FORMES, Fraction organique de l'aérosol urbain : méthodologie d'estimation des sources, CR 0001135 du Programme Primequal.
- Atmo PACA, DREAL (2008-2009), Caractérisation des particules dans la vallée du Paillon.
- Atmo PACA, DRE, DREAL (2006-2009), Surveillance de la qualité de l'air pendant les travaux du second tube du tunnel de Toulon – Liaison A50-A57.
- Atmo PACA, CPA, Région PACA (2009), Qualité de l'air en Pays d'Aix – 1ere phase Evaluation de la qualité de l'air et des émissions des principaux polluants sur toutes les communes du Pays d'Aix – février 2009
- Atmo PACA (2009), Inventaire d'émissions 2004 - Pollution atmosphérique et GES – avril 2009
- Atmo PACA, ASPA, AIRPARIF, AIRLOR, ATMO Rhône Alpes, AIR Pays de la Loire, ATMO Poitou-Charentes, ORAMIP, AFSSET (2008), Développement et application exploratoire d'une méthodologie de cartographie fine de l'exposition à la pollution atmosphérique sur l'ensemble du territoire national. Note d'avancement – Phase 1 – novembre 2008
- AIRMARAIX, GEOVARIANCES, NUMTECH (2006) Cartographies de la pollution à Toulon : approche géostatistique et déterministe - juin 2006.
- AIRMARAIX (2007), SIMPYC Project : Air quality of the cities of Toulon and la Seyne-sur-mer: comparison between downtown and ports. MP02 - février. 2007.
- AIRMARAIX (2007), « Qualité de l'air pendant les travaux du 2ème tube du tunnel de Toulon, jonction A50-A57 » - Maître d'œuvre : DDE Var – 2007-2009
- AIRMARAIX (2004), Evaluation de la qualité de l'air ambiant dans le secteur de Gardanne/Simiane, en liaison avec l'activité d'Aluminium Péchiney
- AIRMARAIX (2003), « Campagne de mesures temporaires – Particules et métaux lourds sur le site de l'Escalette à Marseille » - Maître d'œuvre : DRIRE PACA – juin 2003

Publications d'Atmo Paca concernant l'impact d'infrastructures routières

- « Evaluation de la qualité de l'air autour de la RD9 dans le cadre de la mise à 2 fois 2 voies de la section du Réaltor – lot 1 : Etude de l'état initial du site » – Maître d'œuvre : CG13 - En cours de réalisation.
- « Qualité de l'air pendant les travaux du 2ème tube du tunnel de Toulon, jonction A50-A57 » - Maître d'œuvre : DDE Var – En cours de réalisation : de 2007 à 2009.
- « Evaluation de la qualité de l'air dans le secteur de la Gare Routière à Aix-en-Provence » - Maître d'œuvre : CPA – Juillet 2006
- « Etude de la qualité de l'air à Ajaccio et à Bastia - Campagne d'été 2004 ». Maître d'œuvre : DRIRE – Septembre 2005
- « Etude de la qualité de l'air dans l'environnement des centrales EDF de Bastia et Ajaccio - Campagne d'hiver 2005 » - Maître d'œuvre : DRIRE – Septembre 2005
- « Evaluation de la qualité de l'air intérieure et extérieure de l'aéroport de Nice » - Partenariat CCI – Atmo PACA 2001-2004.
- « Etat de la qualité de l'air autour du projet du Boulevard Urbain Sud à Marseille » – Maître d'œuvre : CUMPM – Novembre 2004

- « Desserte du Golfe de Saint Tropez ; contournement ouest de Sainte Maxime – Etude Air – Etablissement de l'Etat initial » – Maître d'œuvre : DDE Var – Novembre 2004
- « Etat un : de la qualité de l'air après la mise en service du tunnel, jonction A50-A57 à Toulon » - Maître d'œuvre : DDE Var – Janvier 2004
- « Etat initial de la qualité de l'air sur l'Axe Littoral, sens Nord-Sud » - Maître d'œuvre : CUMPM – Novembre 2003
- « Campagne de mesures temporaires – Particules et métaux lourds sur le site de l'Escalette à Marseille » - Maître d'œuvre : DRIRE PACA – Juin 2003
- « Etat zéro de la qualité de l'air avant la mise en service du tunnel, jonction A50-A57 à Toulon » - Maître d'œuvre : DDE Var – Juillet 2002
- « Qualification de l'Etat 0 de la qualité de l'air sur le prolongement du tunnel Saint Charles » – Maître d'œuvre : CUMPM – Avril 2002
- « Qualification de l'Etat 0 de la qualité de l'air sur le projet de tracé de la rocade L2 Est » – Maître d'œuvre : CETE – Mars 2002
- « Etude d'impact atmosphérique de l'unité d'incinération d'ordures ménagères (UIOM) de l'agglomération toulonnaise » - Maître d'œuvre : Airmaraix et Université de Toulon et du Var – Début : 2001 prévu sur 3 ans.
- « Qualification de l'Etat 0 de la qualité de l'air sur le projet de tracé de la rocade L2 Nord » – Maître d'œuvre : CETE – Mars 2001
- « Etat 0 de la qualité de l'air autour de la LEO » – Maître d'œuvre : CETE – 2001
- « Etat 0 de la qualité de l'air sur deux tracés de l'autoroute A51 – Sisteron – Col de Fau » – Maître d'œuvre : CETE – Septembre 2000

Méthodes et techniques / Directives

- ADEME 2002 : Classification et critères d'implantation des stations de surveillance de la qualité de l'air – http://www.ademe.fr/htdocs/publications/publipdf/etude_clas.pdf
- CAFE 2006 : Clean Air For Europe : <http://ec.europa.eu/environment/air/caf/index.htm>
- EEA (2000) : COPERT III : computer program to calculate emissions from road transport : User manual : http://reports.eea.europa.eu/Technical_report_No_50/en
- Louka, P., Ketzel, M., Sahm, P., Guilloteau, E., Moussiopoulos, N., Sini, J.-F. (2001): CFD inter-comparison on a full-scale street-canyon. 7th International Conference on Harmonisation within Atmospheric Dispersion Modelling for Regulatory Purposes in Belgirate, Italy, 28-31 May 2001. European Commission, Joint Research Centre, Environment, Institute, Ispra, Italy. Proceedings, pp. 299-303.
- <http://www2.dmu.dk/atmosphericenvironment/trapos/cfd-wg.htm>
- TARGETING, KTT, TUV (2005) : Street 5.2 : Logiciel d'évaluation simple de la pollution atmosphérique provoquée par la circulation automobile. User Guide.

6. ANNEXES

6.1. ANNEXE 1 : DECRET DU 15 FEVRIER 2002

3198

JOURNAL OFFICIEL DE LA RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

19 février 2002

MINISTÈRE DE L'AMÉNAGEMENT DU TERRITOIRE ET DE L'ENVIRONNEMENT

Décret n° 2002-213 du 15 février 2002 portant transposition des directives 1999/30/CE du Conseil du 22 avril 1999 et 2000/69/CE du Parlement européen et du Conseil du 16 novembre 2000 et modifiant le décret n° 98-360 du 6 mai 1998 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

NOR : ATEP0190081D

Le Premier ministre,

Sur le rapport du ministre de l'aménagement du territoire et de l'environnement,

Vu la directive 1999/30/CE du Conseil du 22 avril 1999 relative à la fixation de valeurs limites pour l'anhydride sulfureux, le dioxyde d'azote et les oxydes d'azote, les particules et le plomb dans l'air ambiant ;

Vu la directive 2000/69/CE du Parlement européen et du Conseil du 16 novembre 2000 relative à la fixation de valeurs limites pour le benzène et le monoxyde de carbone dans l'air ambiant ;

Vu le code de l'environnement, notamment ses articles L. 221-1, L. 221-2 et L. 223-1 ;

Vu le décret n° 98-360 du 6 mai 1998 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 ;

Vu l'avis du Conseil supérieur d'hygiène publique de France du 3 mai 2001 ;

Le Conseil d'Etat (section des travaux publics) entendu,

Décrète :

Art. 1^{er}. – Le décret du 6 mai 1998 susvisé est modifié comme suit :

I. – Le deuxième alinéa de l'article 1^{er} est remplacé par les dispositions suivantes :

« L'annexe I fixe également les seuils de recommandation et d'information mentionnés à l'article 8, au-delà dequels la concentration en polluants a des effets limités et transitoires sur la santé de catégories de la population particulièrement sensibles en cas d'exposition de courte durée. »

II. – L'article 3 est abrogé.

III. – L'article 4 est remplacé par les dispositions suivantes :

« Art. 4. – Un arrêté du ministre chargé de l'environnement pris après avis de l'Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie précise les modalités et techniques de surveillance de la qualité de l'air à utiliser.

Ces modalités et techniques de surveillance sont définies pour chacun des polluants mentionnés à l'article 2 en tenant compte notamment de l'importance des populations concernées et des niveaux de polluants. »

IV. – A l'article 7 :

1° Le b est remplacé par les dispositions suivantes :

« b) Pour chaque polluant surveillé, une comparaison du niveau de concentration constaté avec les seuils de recommandation et d'information et les seuils d'alerte s'ils existent, avec les niveaux de concentration constatés dans le passé ainsi qu'avec les valeurs limites relatives aux périodes figurant à l'annexe I. »

2° Le cinquième alinéa est remplacé par les dispositions suivantes :

« Les organismes de surveillance de la qualité de l'air diffusent l'information en permanence et la mettent à jour au moins quotidiennement, et toutes les heures lorsque cela est possible. Les informations sur les concentrations en plomb et en benzène sont mises à jour tous les trois mois. »

V. – L'article 8 est remplacé par les dispositions suivantes :

« Art. 8. – Un arrêté conjoint des ministres chargés de l'environnement, de la santé et de l'intérieur précise le contenu

de l'information donnée par le préfet – à Paris par le préfet de police – lorsqu'un seuil de recommandation et d'information est dépassé ou lorsqu'un seuil d'alerte est atteint ou risque de l'être. »

VI. – Les annexes I à IV sont remplacées par les annexes I à IV du présent décret.

Art. 2. – Le ministre de l'économie, des finances et de l'industrie, la ministre de l'emploi et de la solidarité, le ministre de l'intérieur, le ministre de l'équipement, des transports et du logement, le ministre de l'aménagement du territoire et de l'environnement, le ministre délégué à la santé et le secrétaire d'Etat à l'industrie sont chargés, chacun en ce qui le concerne, de l'exécution du présent décret, qui sera publié avec ses annexes I et II au *Journal officiel* de la République française.

Fait à Paris, le 15 février 2002.

LIONEL JOSPIN

Par le Premier ministre :

*Le ministre de l'aménagement du territoire
et de l'environnement,*

YVES COCHET

*Le ministre de l'économie,
des finances et de l'industrie,*

LAURENT FABIUS

La ministre de l'emploi et de la solidarité,

ÉLISABETH GUIGOU

Le ministre de l'intérieur,

DANIEL VAILLANT

*Le ministre de l'équipement,
des transports et du logement,*

JEAN-CLAUDE GAYSSOT

Le ministre délégué à la santé,

BERNARD KOUCHNER

Le secrétaire d'Etat à l'industrie,

CHRISTIAN PIERRET

Nota. – Les annexes III et IV au présent décret peuvent être consultées à la préfecture de chaque département.

ANNEXE I

OBJECTIFS DE QUALITÉ, SEUILS D'ALERTE, SEUILS DE RECOMMANDATION ET D'INFORMATION ET VALEURS LIMITES

1. Polluant visé : dioxyde d'azote

L'expression du volume doit être ramenée aux conditions de température et de pression suivantes : 293 °K et 101,3 kPa.

La période annuelle de référence est l'année civile.

Objectif de qualité : 40 µg/m³ en moyenne annuelle.

Seuil de recommandation et d'information : 200 µg/m³ en moyenne horaire.

Seuils d'alerte :

400 µg/m³ en moyenne horaire.

200 µg/m³ en moyenne horaire si la procédure d'information et de recommandation pour le dioxyde d'azote a été déclenchée la veille et le jour même et que les prévisions font craindre un nouveau risque de déclenchement pour le lendemain.

Valeurs limites pour la protection de la santé humaine :

– centile 98 (soit 175 heures de dépassement autorisées par année civile de 365 jours), calculé à partir des valeurs moyennes par heure ou par périodes inférieures à l'heure, prises sur toute l'année, égal à 200 µg/m³. Cette valeur limite est applicable jusqu'au 31 décembre 2009 ;

– centile 99,8 (soit 18 heures de dépassement autorisées par année civile de 365 jours), calculé à partir des valeurs

moyennes par heure ou par périodes inférieures à l'heure, prises sur toute l'année, égal à 200 µg/m³. Cette valeur limite est applicable à compter du 1^{er} janvier 2010. Avant cette date, la valeur limite applicable est la valeur de 2010 augmentée des marges de dépassement suivantes :

ANNÉE	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
Marge de dépassement (en µg/m³)	90	80	70	60	50	40	30	20	10

40 µg/m³ en moyenne annuelle. Cette valeur est applicable à compter du 1^{er} janvier 2010. Avant cette date, la valeur limite applicable est la valeur de 2010 augmentée des marges de dépassement suivantes :

ANNÉE	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
Marge de dépassement (en µg/m³)	18	16	14	12	10	8	6	4	2

Valeur limite pour la protection de la végétation : 30 µg/m³ en moyenne annuelle d'oxydes d'azote.

2. Polluants visés : particules fines et particules en suspension

La période annuelle de référence est l'année civile.

Un arrêté des ministres chargés de l'industrie et de l'environnement définit les conditions d'équivalence entre les valeurs mesurées par la méthode des fumées noires et les valeurs mesurées par d'autres méthodes portant notamment sur les particules en suspension de diamètre aérodynamique inférieur à 2,5 ou 10 micromètres.

Objectif de qualité : 30 µg/m³ en moyenne annuelle des concentrations de particules en suspension de diamètre aérodynamique inférieur ou égal à 10 micromètres.

Valeurs limites pour la protection de la santé utilisées pour les concentrations de particules en suspension de diamètre aérodynamique inférieur ou égal à 10 micromètres. Elles ne s'appliquent qu'à la part des concentrations non liées à des événements naturels. On définit par « événements naturels » les événements suivants : éruptions volcaniques, activités sismiques, activités géothermiques, feux de terres non cultivées, vents violents ou remise en suspension atmosphérique ou transport de particules naturelles provenant de régions désertiques.

– centile 90,4 (soit 35 jours de dépassement autorisés par année civile de 365 jours) des concentrations moyennes journalières sur l'année civile : 50 µg/m³. Cette valeur est applicable à compter du 1^{er} janvier 2005. Avant cette date, la valeur limite applicable est la valeur de 2005 augmentée des marges de dépassement suivantes :

ANNÉE	2001	2002	2003	2004
Marge de dépassement (en µg/m³)	20	15	10	5

Moyenne annuelle : 40 µg/m³. Cette valeur est applicable à compter du 1^{er} janvier 2005. Avant cette date, la valeur limite applicable est la valeur de 2005 augmentée des marges de dépassement suivantes :

ANNÉE CIVILE CONSIDÉRÉE	2001	2002	2003	2004
Marge de dépassement (en µg/m³)	6	4	3	1

3. Polluant visé : plomb

La période annuelle de référence est l'année civile.

Objectif de qualité : 0,25 µg/m³ en concentration moyenne annuelle.

Valeur limite :

– jusqu'au 31 décembre 2001 : 0,8 µg/m³ en moyenne annuelle ;

– à compter du 1^{er} janvier 2002 : 0,5 µg/m³ en moyenne annuelle.

Le ministre chargé de l'environnement fixe par arrêté la liste des sites pour lesquels la valeur limite de 0,5 µg/m³ en moyenne annuelle s'applique à compter du 1^{er} janvier 2010.

Avant le 1^{er} janvier 2010 et à compter du 1^{er} janvier 2002, la valeur limite applicable pour ces sites est la valeur de 2010 augmentée des marges de dépassement suivantes :

ANNÉE	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
Marge de dépassement (en µg/m³)	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5	0,4	0,3	0,2	0,1

4. Polluant visé : dioxyde de soufre

L'expression du volume doit être ramenée aux conditions de température et de pression suivantes : 293 °K et 101,3 kPa. La période annuelle de référence est l'année civile.

Objectifs de qualité : 50 µg/m³ en moyenne annuelle.

Seuil de recommandation et d'information : 300 µg/m³ en moyenne horaire.

Seuil d'alerte : 500 µg/m³ en moyenne horaire, dépassé pendant trois heures consécutives.

Valeurs limites pour la protection de la santé humaine :

– centile 99,7 (soit 24 heures de dépassement autorisées par année civile de 365 jours) des concentrations horaires : 350 µg/m³. Cette valeur est applicable à compter du 1^{er} janvier 2005. Avant cette date, la valeur limite applicable est la valeur de 2005 augmentée des marges de dépassement suivantes :

ANNÉE CIVILE CONSIDÉRÉE	2001	2002	2003	2004
Marge de dépassement (en µg/m³)	120	90	60	30

– centile 99,2 (soit 3 jours de dépassement autorisés par année civile de 365 jours) des concentrations moyennes journalières : 125 µg/m³.

Valeur limite pour la protection des écosystèmes : 20 µg/m³ en moyenne annuelle et 20 µg/m³ en moyenne sur la période allant du 1^{er} octobre au 31 mars.

5. Polluant visé : ozone

Objectifs de qualité :

110 µg/m³ en moyenne sur une plage de 8 heures pour la protection de la santé humaine ;

200 µg/m³ en moyenne horaire et 65 µg/m³ en moyenne sur 24 heures pour la protection de la végétation.

Seuil d'alerte : 360 µg/m³ en moyenne horaire.

6. Polluant visé : monoxyde de carbone

Valeur limite pour la protection de la santé humaine : 10 mg/m³ pour le maximum journalier de la moyenne glissante sur 8 heures.

7. Polluant visé : benzène

Objectif de qualité : 2 µg/m³ en moyenne annuelle.

Valeur limite pour la protection de la santé humaine : 5 µg/m³ en moyenne annuelle, valable à compter du 1^{er} janvier 2010. Avant cette date, la valeur limite applicable est la valeur de 2010 augmentée des marges de dépassement suivantes :

ANNÉE	2001 à 2005	2006	2007	2008	2009
Marge de dépassement (en µg/m³)	5	4	3	2	1

Définition et mode de calcul des centiles

Le centile est calculé à partir des valeurs effectivement mesurées, arrondies au microgramme par mètre cube le plus proche.

Pour chaque site, toutes les valeurs sont portées dans une liste établie par ordre croissant. Le centile C est la valeur de l'élément de rang k pour lequel k est calculé au moyen de la formule suivante :

$k = C/100 * N$, N étant le nombre de valeurs portées dans la liste ci-dessus. k est arrondi au nombre entier le plus proche.

ANNEXE II

LISTE DES AGGLOMÉRATIONS

Agglomérations de plus de 250 000 habitants :

Avignon ;
Béthune ;
Bordeaux ;
Clermont-Ferrand ;
Douai - Lens ;
Grenoble ;
Lille ;
Lyon ;
Marseille - Aix-en-Provence ;
Metz ;
Montpellier ;
Nancy ;
Nantes ;
Nice ;
Orléans ;
Paris ;
Rennes ;
Rouen ;
Saint-Etienne ;
Strasbourg ;
Toulon ;
Toulouse ;
Tours ;
Valenciennes.

Agglomérations comprises entre 100 000 et 250 000 habitants :

Amiens ;
Angers ;
Angoulême ;
Annecy ;
Annemasse ;
Bayonne ;
Besançon ;
Brest ;
Caen ;
Calais ;
Chambéry ;
Dijon ;
Dunkerque ;
Le Havre ;
Limoges ;
Lorient ;
Le Mans ;
Maubeuge ;
Montbéliard ;
Mulhouse ;
Nîmes ;
Pau ;
Perpignan ;
Poitiers ;
Reims ;
La Rochelle ;
Saint-Nazaire ;
Thionville ;
Troyes ;

Valence ;
Fort-de-France (Martinique) ;
Pointe-à-Pitre, Les Abymes (Guadeloupe) ;
Saint-Denis (Réunion) ;
Saint-Pierre (Réunion).

Arrêté du 23 janvier 2002 fixant la liste des organisations syndicales habilitées à désigner des représentants au comité technique paritaire central de l'Office national de la chasse et de la faune sauvage

NOR : ATEN0210040A

Le ministre de l'aménagement du territoire et de l'environnement,
Vu le code de l'environnement, notamment l'article L. 421-1 ;
Vu le code rural, notamment les articles R. 221-8, R. 221-16 et R. 221-17 ;

Vu la loi n° 83-634 du 13 juillet 1983 portant droits et obligations des fonctionnaires, ensemble la loi n° 84-16 du 11 janvier 1984 modifiée portant dispositions statutaires relatives à la fonction publique de l'Etat ;

Vu le décret n° 82-452 du 28 mai 1982 modifié relatif aux comités techniques paritaires ;

Vu l'arrêté du 23 septembre 1998 portant création et fixant la composition d'un comité technique paritaire central à l'Office national de la chasse ;

Vu l'arrêté du 18 septembre 2001 fixant les modalités de la consultation du personnel organisée pour le renouvellement du comité technique paritaire central de l'Office national de la chasse et de la faune sauvage ;

Vu le résultat du scrutin du 11 décembre 2001 organisé en vue de désigner les organisations syndicales qui seront appelées à siéger au sein dudit comité technique paritaire,

Arrête :

Art. 1^{er}. - Les sièges de représentant du personnel au comité technique paritaire central de l'Office national de la chasse et de la faune sauvage sont attribués comme suit :

Syndicat national autonome des personnels de l'environnement UNSA (SNAPE-UNSA) : 3 titulaires et 3 suppléants ;

Syndicat national de l'environnement CFDT (SNE-CFDT) : 5 titulaires et 5 suppléants ;

Syndicat des personnels de l'Office national de la chasse et de la faune sauvage CGT (SPONCFS-CGT) : 1 titulaire et 1 suppléant.

Art. 2. - Les organisations syndicales susmentionnées désignent leurs représentants dans un délai de quinze jours à compter de la notification qui leur sera faite du présent arrêté.

Art. 3. - Les représentants de l'administration sont nommés par décision du directeur général de l'Office national de la chasse et de la faune sauvage parmi les fonctionnaires et agents non titulaires de l'Office national de la chasse et de la faune sauvage qui sont spécialement qualifiés pour traiter des questions entrant dans la compétence des comités techniques.

Art. 4. - L'arrêté du 24 septembre 1998 fixant la liste des organisations syndicales habilitées à désigner des représentants au comité technique paritaire central de l'Office national de la chasse est abrogé.

Art. 5. - Le directeur général de l'Office national de la chasse et de la faune sauvage est chargé de l'exécution du présent arrêté, qui sera publié au *Journal officiel* de la République française.

Fait à Paris, le 23 janvier 2002.

Pour le ministre et par délégation :
Par empêchement de la directrice de la nature
et des paysages :

*La sous-directrice de la chasse, de la faune
et de la flore sauvages,*

C. CARO

6.2. ANNEXE 2 : TYPOLOGIE ET DESCRIPTION DES EQUIPEMENTS DES SITES

Id	Typologie	Commune	Description	Polluants mesurés		
				NO ₂	C6H6	Aldéhyde
1	periurbain	Roque d'Anthéron	Roque d'Anthéron salle des fêtes	1	1	0
2	periurbain	Lambesc	Lambesc mairie	1	1	1
3	periurbain	Roannes	Roannes Chemin de la Fanée	1	1	0
4	periurbain	Saint-Estève-Janson	Saint-Estève-Janson chapelle	1	0	0
5	periurbain	Puy-Sainte-Réparate	Puy-Sainte-Réparate rue Quilbonas	1	1	0
6	urbain	Partuis	Partuis place Mirabeau Eglise	1	1	0
7	periurbain	Meyrargues	Meyrargues av d'Alberdas	1	1	0
8	periurbain	Peyrolles	Peyrolles place Albert Laurent	1	0	0
9	periurbain	Jougues	Jougues mairie	1	1	1
10	periurbain	Saint-Paul-les-Durance	Saint-Paul-les-Durance mairie	1	0	0
11	periurbain	Saint-Cannat	Saint-Cannat coopérative viticole	1	1	0
12	periurbain	Venelles	Venelles mairie allée de la Roberte	1	1	0
13	periurbain	Saint-Marc-Jaumougarh	Saint-Marc-Jaumougarh mairie	1	1	0
14	periurbain	Vauvenargues	Vauvenargues rue du centre	1	1	0
15	periurbain	Equilles	Equilles mairie	1	1	0
16	periurbain	Coudoux	Coudoux impasse Calendal	1	1	0
17	periurbain	Ventabren	Ventabren rue des oliviers	1	1	0
18	periurbain	Tholonet	Tholonet Palette rue de la Libération	1	1	1
19	periurbain	Reourcoveuil	Reourcoveuil mairie	1	0	0
20	periurbain	Saint-Antoine-sur-Ravon	Saint-Antoine-sur-Ravon chemin cîtes mairie	1	1	0
21	periurbain	Puyloubier	Puyloubier mairie	1	0	0
22	trafic	Cabriès	RD9 Hectollerie du Lac Bleu	1	1	0
23	periurbain	Roanne-Mirabeau	Roanne-Mirabeau bd du Paumartin	1	0	0
24	periurbain	Cabriès	RD9 Calas impasse Paul Roussin	1	1	1
25	periurbain	Cabriès	Cabriès mairie annexe St-Pec	1	1	0
26	periurbain	Roue-Bel-Air	Roue-Bel-Air av Victor Hugo	1	0	0
27	periurbain	Simiane	Simiane av du Général de Gaulle	1	1	0
28	periurbain	Mimet	Mimet école de la tour	1	1	0
29	periurbain	Mourvill	Mourvill mairie	1	0	0
30	periurbain	Fuveau	Fuveau mairie av Célestin Barthélemy	1	1	0
31	periurbain	Châteauneuf-le-Rouge	Châteauneuf-le-Rouge poste	1	0	0
32	periurbain	Rousset	Rousset mairie place Berdo	1	0	0
33	periurbain	Tréts	Tréts mairie	1	1	0
34	periurbain	Pevniair	Pevniair av de la Libération	1	0	0
35	urbain	Aix-en-Provence	Aix rue Cabassol	1	0	0
36	trafic	Aix-en-Provence	Aix Cours Seydus	1	0	0
37	urbain	Aix-en-Provence	Aix école av armée d'Afrique	1	0	0
38	trafic	Aix-en-Provence	Aix place Bolognarde	1	1	0
39	trafic	Aix-en-Provence	Aix rotonde office du tourisme	1	1	1
40	periurbain	Aix-en-Provence	Aix Pont de l'Arc chemin du viaduc	1	1	0
41	urbain	Aix-en-Provence	Aix av Henri Boncat crèche	1	1	0
42	urbain	Aix-en-Provence	Aix impasse Paul Belteuguy	1	0	0
43	periurbain	Aix-en-Provence	Aix La Torre av Cassin	1	1	0
44	urbain	Aix-en-Provence	Aix rue Debazac	1	0	0
45	urbain	Aix-en-Provence	Aix bd Schweitzer Stade Coulange	1	0	0
46	urbain	Aix-en-Provence	Aix av Salari groupe éclairage des Laurac	1	1	0
47	urbain	Aix-en-Provence	Aix allée de la bibliothèque Mélanie	1	1	0
48	rural	Aix-en-Provence	Puycard chemin de Janson	1	0	0
49	rural	Vauvenargues	Vauvenargues rural D10	1	0	0
50	rural	Aix-en-Provence	Les Milles D65 Domaine de la tour d'Arbois	1	0	0
51	rural	Partuis	Partuis voie com Malespina naïffont	1	0	0
52	rural	Tréts	Tréts château du grand boisé	1	0	0
53	periurbain	Tholonet	Tholonet moulin de Cézanne	1	1	0
54	industriel	Rousset	Rousset ZI	1	1	0
55	observation	Cabriès	Plan campagne avant Cap	1	1	0
56	rural	Simiane	Simiane chemin des puits	1	0	0
57	rural	Lambesc	Lambesc chemin de Camboussa	1	0	0
58	rural	Saint-Cannat	Les Quatre Termes D17 D67E	1	1	0
59	rural	Peyrolles	Peyrolles rural à l'éco aïb	1	0	0
60	trafic	Aix-en-Provence	Aix A51 pont de la partie Les Platanes	1	1	0
61	trafic	Equilles	Equilles pont sur l'A8	1	1	0
62	trafic	Cabriès	Cabriès D543 et D60	1	0	0
63	trafic	Aix-en-Provence	La Calade N7 voie ferrée	1	1	0
64	trafic	Roue-Bel-Air	Roue-Bel-Air D60 pont sur l'A51	1	1	0
65	trafic	Fuveau	Croisement D6 et D8C vers Fuveau	1	0	0
66	trafic	Fuveau	Fuveau impasse des Demoiselles sur A52	1	1	0
67	trafic	Aix-en-Provence	Aix Pont A8 avenue des Infirmeries	1	0	0
68	trafic	Rousset	Rousset A8	1	1	1
69	observation	Rousset	Rousset au nord A8 TN1	1	1	0
70	observation	Rousset	Rousset au nord A8 TN2	1	0	0

Id	Typologie	Commune	Description	Polluants mesurés		
				NO2	C6H6	Aldéhyde
71	observation	Roussot	Roussot au nord A8 TN3	1	1	0
72	observation	Roussot	Roussot au sud A8 TS1	1	0	0
73	observation	Roussot	Roussot au sud A8 TS2	1	0	0
74	observation	Roussot	Roussot au sud A8 TS3	1	0	0
75	observation	Lambesc	ZAC HOE de Lambesc	1	0	0
76	interieur	Portuis	Portuis centre C	1	1	1
77	interieur	Aix-en-Provence	Aix Hôtel de Bordes accueil A	1	1	1
78	interieur	Penne Mirabeau	Penne Mirabeau accueil A	1	1	1
79	interieur	Aix-en-Provence	Milles dir. transport CPA accueil A	1	1	1
80	trafic	Aix-en-Provence	Aix A51 Vasariv	1	1	0
81	trafic	Aix-en-Provence	Aix la Chevalière	1	1	0
82	urbain	Aix-en-Provence	Aix angle Chactel Amilo	1	1	0
83	rural	Puyubouin	Puyubouin rural D12 après N7	1	0	0
84	rural	Jouques	Jouques Saint Charles	1	1	0
85	trafic	Saint Paul les Durance	Saint Paul les Durance Autoroute	1	1	1
86	trafic	Aix-en-Provence	Aix cours de Alpes école	1	0	0
87	rural	Penne Mirabeau	Penne M. las de Rhede av du can. Bruts	1	1	0
88	urbain	Aix-en-Provence	Aix Cours du col Minnet bâtiment scolaire	1	0	0
89	urbain	Aix-en-Provence	Aix Cours collège Minnet extraction parking	1	1	1
90	interieur	Aix-en-Provence	Aix collège Minnet classe RDC	1	1	1
91	trafic	Aix-en-Provence	Milles Sortie 3 - 300m Pôle d'activité d'Aix	1	1	0
92	observation	Aix-en-Provence	Milles entrée de la SADE	1	0	0
93	interieur	Aix-en-Provence	Aix collège Minnet classe 2ème ét	1	1	1
94	periurbain	Aix-en-Provence	Milles fin transect champ	1	1	0
95	observation	Aix-en-Provence	Milles virage vers la route de l'enfant	1	1	0
96	observation	Aix-en-Provence	Milles Route de l'enfant parking camion	1	1	0
97	periurbain	Aix-en-Provence	Milles route de l'enfant bâtiment	1	1	0
98	periurbain	Aix-en-Provence	Milles CETE devant Orangerain	1	1	0
99	periurbain	Aix-en-Provence	Milles rue Léon Foucault face "Bizarba"	1	0	0
100	periurbain	Aix-en-Provence	Milles Europe de l'Arbris	1	1	0
101	trafic	Aix-en-Provence	Milles ferronnerie Ventail	1	1	1
102	periurbain	Aix-en-Provence	Milles mairie Aydu docteur Boibaud	1	1	0
103	trafic	Aix-en-Provence	Milles parking Carrefour	1	0	0
104	periurbain	Aix-en-Provence	Milles Renault	1	0	0
105	periurbain	Aix-en-Provence	Milles route d'Equilles	1	0	0
106	trafic	Aix-en-Provence	Milles Parking du Gymnase	1	1	0
107	observation	Aix-en-Provence	Milles entrée de la base aérienne	1	1	1
108	rural	Aix-en-Provence	Milles chemin du Mont Bobet	1	0	0
109	periurbain	Aix-en-Provence	Milles cabine P. D. des transports de la CPA	2	1	1
110	periurbain	Aix-en-Provence	Milles rue de la petite duranne	1	0	0
111	rural	Aix-en-Provence	Milles chemin de saint Hilaire	1	0	0
112	trafic	Aix-en-Provence	Milles chemin du SERRE	1	1	0
113	trafic	Aix-en-Provence	Milles pont sur RD9	1	0	0
114	periurbain	Penne Mirabeau	Penne Mirabeau mairie	1	1	1
115	trafic	Penne Mirabeau	Penne Mirabeau N113 tunnel	1	1	0
116	trafic	Penne Mirabeau	Penne Mirabeau Ecole Castel Haléas	1	0	0
117	periurbain	Penne Mirabeau	Penne Mirabeau La Penardière	1	0	0
118	periurbain	Penne Mirabeau	Penne Mirabeau Le Grand Verger	1	0	0
119	trafic	Penne Mirabeau	Penne Mirabeau A7 A55 nord	1	1	0
120	trafic	Penne Mirabeau	Penne Mirabeau A7 A55 sud	1	0	0
121	periurbain	Penne Mirabeau	Penne M. Gavotte Traversée des écoles crèche	1	1	0
122	periurbain	Penne Mirabeau	Penne Mirabeau chemin de la Cabassette	1	0	0
123	periurbain	Penne Mirabeau	Penne Mirabeau Le Brusq ch. plan des Lauras	1	0	0
124	periurbain	Penne Mirabeau	Pennes M. Les Bournaumettes r. des Mouettes	1	1	0
125	observation	Penne Mirabeau	Penne Mirabeau Pigne chemin du thord O-E	1	1	0
126	trafic	Penne Mirabeau	Penne Mirabeau Versailles	1	0	0
127	periurbain	Penne Mirabeau	Penne Mirabeau Les Amandiers	1	0	0
128	trafic	Penne Mirabeau	Penne Mirabeau A7 Notre Dame	1	1	0
129	periurbain	Penne Mirabeau	Penne Mirabeau rond point de la Cité Haute	1	0	0
130	trafic	Penne Mirabeau	Penne Mirabeau N113 Les Romarins	1	0	0
131	periurbain	Penne Mirabeau	Penne Mirabeau La Ronce terrain de boule	1	1	0
132	periurbain	Penne Mirabeau	Penne Mirabeau rond point de la Morandière	1	0	0
133	periurbain	Penne Mirabeau	Penne Mirabeau r. des Eglise police	1	0	0
134	observation	Penne Mirabeau	Penne Mirabeau las de Rhede	1	1	0
135	observation	Penne Mirabeau	Plan de Campanone Me Donald	1	1	0
136	observation	Penne Mirabeau	Plan de Campanone 7C Cuir Center	1	1	0
137	periurbain	Portuis	Portuis 1057 rue Léon Arnaud	1	0	0
138	periurbain	Portuis	Portuis ZA Inter sport/Champion	1	1	0
139	observation	Portuis	Portuis rue de la source (Hyver II)	1	1	0
140	periurbain	Portuis	Portuis Les Romarins rue des Jonquilles	1	1	0

Id	Typologie	Commune	Description	Polluants mesurés		
				NO ₂	C ₆ H ₆	Aldéhyde
141	trafic	Pertuis	Pertuis route sud ZA	1	0	0
142	trafic	Pertuis	Pertuis centre rue Ledru Rollin	1	0	0
143	rural	Pertuis	Pertuis rue de la source rural	1	0	0
144	trafic	Pertuis	Pertuis pont de la Duranço	1	1	0
145	periurbain	Pertuis	Pertuis rue des quatre saisons	1	0	0
146	rural	Pertuis	Pertuis canal vers le centre équestre	1	0	0
147	trafic	Pertuis	Pertuis rond point sud ouest chantier	1	0	0
148	trafic	Pertuis	Pertuis lotissement Le Grenoy	1	0	0
149	periurbain	Pertuis	Pertuis collège marie Mauron	1	1	0
150	periurbain	Pertuis	Pertuis route de l'étang de La Bonda	1	0	0
151	periurbain	Pertuis	Pertuis Ecole Saint Roch Labo Atmo PACA	3	1	1
152	periurbain	Aix-en-Provence	Réservoir du Réaltor D66D chantier	1	0	0
153	periurbain	Cabriès	Calas Domaine du Lac Bleu rue Aubanel	1	1	0
154	periurbain	Cabriès	Domaine du Lac Bleu rue Jean Giono	1	1	0
155	trafic	Aix-en-Provence	Gare TGV Aix-en-provence pont sur RD9	1	1	1
156	periurbain	Cabriès	Calas Clos Saint Imbert	1	1	1
157	trafic	Cabriès	Gare TGV Aix-en-provence arc sud	1	0	0
158	trafic	Aix-en-Provence	Gare TGV Aix-en-provence arc nord	1	1	0
159	periurbain	Aix-en-Provence	Réaltor Route du Maroc	1	1	0
160	observation	Cabriès	Calas Clos Saint Imbert	1	1	1
161	trafic	Cabriès	Calas pont sous RD9	1	1	1
162	periurbain	Cabriès	Calas rue Van Gogh	1	1	1
163	periurbain	Cabriès	Calas rue du Bassin	1	1	1
164	periurbain	Cabriès	Calas place de l'église	1	1	1
165	trafic	Cabriès	Domaine de l'Arbois Rue Valère Bernard	1	1	0
166	periurbain	Cabriès	Domaine de l'Arbois Av. Frédéric Mistral	1	0	0
167	observation	Cabriès	Domaine de l'Arbois Rue Victor Gollu	1	1	0
168	rural	Cabriès	Calas rural après station épuraton	1	0	0
169	trafic	Cabriès	Calas Rond point RD9	1	1	1
170	trafic	Aix-en-Provence	RD543 route d'Ant avant Arbois	1	1	0
171	periurbain	Vitrolles	Vitrolles Pinchinades bd Marcel Rognel	1	1	0
172	trafic	Vitrolles	Vitrolles Pont sud RD9 sortie Pinchinades	1	1	0
173	periurbain	Vitrolles	Vitrolles Coulobert SCEA	1	1	0
174	trafic	Vitrolles	Vitrolles Le Griffon arrat bus le griffon	1	1	1
175	periurbain	Vitrolles	Vitrolles RD9 lotissement chemin Di Oustaou	1	1	0
176	rural	Cabriès	Calas rural odf	1	1	1
177	periurbain	Cabriès	Calas rue des Eglises domaine du lac bleu	1	0	0
178	trafic	Cabriès	Calas RD9 & RD9h	1	1	1
179	rural	Saint-Paul-lès-Durance	Cadaroche station	0	1	1
180	periurbain	Aix-en-Provence	Aix Platanes station	0	1	1
181	urbain	Aix-en-Provence	Aix las de Bouffan station	3	1	1
182	urbain	Aix-en-Provence	Aix Ecole d'Art station	3	1	1
183	trafic	Aix-en-Provence	Aix Rav René station Aix centre	3	1	1
184	industriel	Bouc Bel Air	Bouc Bel Air station	1	1	1
185	industriel	Cardanne	Cardanne station	0	1	1
186	periurbain	Penne Mirabeau	Pennes Mirabeau station	1	1	1
187	urbain	Aix-en-Provence	Aix Cours col Minnet mur extracteur coté piste	1	1	0
188	urbain	Aix-en-Provence	Aix Cours col Minnet mur rue coté piste	1	1	0
189	urbain	Aix-en-Provence	Aix Cours col Minnet centre poteau basket	1	1	0
190	urbain	Aix-en-Provence	Aix Cours col Minnet entre bât et extracteur	1	1	0
191	urbain	Aix-en-Provence	Aix col Minnet zone en chantier	1	1	0
192	intérieur	Pertuis	Pertuis salle de l'école Avers rue	1	0	1
193	intérieur	Pertuis	Pertuis salle de l'école Bvers stade	1	1	1
194	intérieur	Pertuis	Pertuis salle double stade	1	1	1
195	intérieur	Pertuis	Pertuis salle simple	0	0	1
196	intérieur	Aix-en-Provence	Hotel Bordes bureau B	1	1	1
197	intérieur	Aix-en-Provence	Milles dir. Transport CPA bureau directrice	1	1	1
198	intérieur	Penne Mirabeau	Penne Mirabeau Mairie bureau B	1	1	1
199	periurbain	Vitrolles	Vitrolles Vieux villages place de l'aire	1	1	0
200	periurbain	Vitrolles	Vitrolles Salle des fêtes	1	1	0
201	periurbain	Vitrolles	Vitrolles Rue des caucadis	1	1	0
202	periurbain	Vitrolles	Vitrolles Salle coubertin	1	1	0
203	periurbain	Aix-en-Provence	Vitrolles Réaltor	1	1	0
204	periurbain	Vitrolles	Vitrolles Rue des Prêtres	1	1	0
205	periurbain	Vitrolles	Vitrolles II Rouine	1	1	0
206	observation	Vitrolles	Vitrolles Avenue de Rome	1	1	0
207	periurbain	Vitrolles	Vitrolles La ficoule	1	1	0
208	periurbain	Vitrolles	Vitrolles Les Pinchinades	1	1	0
209	periurbain	Vitrolles	Vitrolles Ecole Picasso	1	1	0
210	intérieur	Aix-en-Provence	Milles dir. Transport CPA 2nd bureau	0	0	1
211	trafic	Cabriès	RD9 Camion Laboratoire	3	1	0
212	rural	Cabriès	RD9 remorque Laboratoire	3	1	0

6.3. ANNEXE 3: CONCENTRATIONS 2007 EN DIOXYDE D'AZOTE, PAR COMMUNES

Les sites sont triés par commune et par concentration annuelle décroissante. Les sites en air intérieur réalisés au cours de cette étude sont renseignés séparément en fin de tableau.

Id	Typologie	Commune	Description	Concentration en dioxyde d'azote - NO ₂		
				Moyenne été	Moyenne Hiver	Moyenne 2007
89	urbain	Aix-en-Provence	Aix Cours collège Mignet extraction parking	64	-	72
39	trafic	Aix-en-Provence	Aix rotonde office du tourisme	42	97	71
103	trafic	Aix-en-Provence	Aix Les Milles parking Carrefour	46	74	61
188	urbain	Aix-en-Provence	Aix Cours collège Mignet 2	-	60	61
80	trafic	Aix-en-Provence	Aix A51 Va sarely	43	72	59
36	trafic	Aix-en-Provence	Aix Cours Sextius	46	62	55
113	trafic	Aix-en-Provence	Aix Les Milles pont sur RD9	39	67	54
38	trafic	Aix-en-Provence	Aix place Bellegarde	42	62	53
67	trafic	Aix-en-Provence	Aix Pont A8 a venue des Infirmeries	35	64	51
183	trafic	Aix-en-Provence	Aix Roy René station Aix centre	34	63	50
96	observation	Aix-en-Provence	Aix Les Milles Route de l'enfant parking camion	35	61	50
97	peñurbain	Aix-en-Provence	Aix Les Milles route de l'enfant bâtiment	33	59	48
106	trafic	Aix-en-Provence	Aix Les Milles Parking du Gmnase	35	57	48
189	urbain	Aix-en-Provence	Aix Cours collège Mignet 3	-	45	47
91	trafic	Aix-en-Provence	Aix Les Milles Sortie 3 - 300m Pôle d'activité d'Aix	36	54	47
45	urbain	Aix-en-Provence	Aix bd Schweitzer Stade Coulange	29	61	47
98	peñurbain	Aix-en-Provence	Aix Les Milles, CETE devant Orangerie	33	56	46
187	urbain	Aix-en-Provence	Aix Cours collège Mignet 1	-	44	46
81	trafic	Aix-en-Provence	Aix la Chevalière	38	50	46
112	trafic	Aix-en-Provence	Aix Les Milles chemin du SERRE	33	55	46
104	peñurbain	Aix-en-Provence	Aix Les Milles Renault	33	50	43
105	peñurbain	Aix-en-Provence	Aix Les Milles route d'Equilles	28	52	42
191	urbain	Aix-en-Provence	Aix Cours collège Mignet 5	-	40	42
37	urbain	Aix-en-Provence	Aix école av armée d'Afrique	28	52	42
155	trafic	Aix-en-Provence	Aix Gare TGV Aix en provence pont sur RD9	36	39	42
44	urbain	Aix-en-Provence	Aix rue Debazac	27	52	41
41	urbain	Aix-en-Provence	Aix av Henri Poncet crèche	26	50	40
42	urbain	Aix-en-Provence	Aix impasse Paul Belcaguy.	26	50	40
95	observation	Aix-en-Provence	Aix Les Milles virage vers la route de l'enfant	29	46	39
190	urbain	Aix-en-Provence	Aix Cours collège Mignet 4	-	37	39
92	observation	Aix-en-Provence	Aix Les Milles entrée de la SADE	29	41	37
60	trafic	Aix-en-Provence	Aix A51 pont de la sortie Les Platanes	28	42	37
47	urbain	Aix-en-Provence	Aix allée de la bibliothèque Méjane	24	45	37
102	peñurbain	Aix-en-Provence	Aix Les Milles mairie Av du docteur Reibaud	25	42	36
88	urbain	Aix-en-Provence	Aix Cours du collège Mignet fond	25	39	35
182	urbain	Aix-en-Provence	Aix Ecole d'Art station	23	41	34
109	peñurbain	Aix-en-Provence	Aix Les Milles cabine P. D des transports de la CPA	19	44	33
35	urbain	Aix-en-Provence	Aix rue Cabassol	22	38	33
181	urbain	Aix-en-Provence	Aix Jas de Bouffan station	19	40	32
63	trafic	Aix-en-Provence	Aix La Cala de N7 voie ferrée	25	33	32
82	urbain	Aix-en-Provence	Aix angle Châtel Arpile	22	35	31
99	peñurbain	Aix-en-Provence	Aix Les Milles, rue Léon Foucault face "Bizerba"	22	33	30
101	trafic	Aix-en-Provence	Aix Les Milles ferronnerie Ventajol	20	31	28
170	trafic	Aix-en-Provence	Aix RD543 route d'Apt avant Arbois	20	24	27
107	observation	Aix-en-Provence	Aix Les Milles entrée de la base aérienne	19	29	27
110	peñurbain	Aix-en-Provence	Aix Les Milles rue de la petite duranne	19	29	27
40	peñurbain	Aix-en-Provence	Aix Pont de l'Arc chemin du via duc	19	29	26
94	peñurbain	Aix-en-Provence	Aix Les Milles fin transect champ	18	28	26
86	trafic	Aix-en-Provence	Aix cours des Alpes école	18	28	25
111	rural	Aix-en-Provence	Aix Les Milles chemin de saint-Hilaire	19	25	25
46	urbain	Aix-en-Provence	Aix av Solar i groupe scolaire des Laures	18	26	24
158	trafic	Aix-en-Provence	Aix Gare TGV Aix en provence arc nord	19	21	24
108	rural	Aix-en-Provence	Aix Les Milles chemin du Mont-Robert	18	23	23
43	peñurbain	Aix-en-Provence	Aix la Torse av Cassin	15	24	22
100	peñurbain	Aix-en-Provence	Aix Les Milles Europe de l'Arbois	15	22	22
152	peñurbain	Aix-en-Provence	Aix Réservoir du Réaltor D65D chantier	16	18	21
203	peñurbain	Aix-en-Provence	Aix Vitrolles Réaltor	14	22	21
159	peñurbain	Aix-en-Provence	Aix Réaltor Route du Maroc	15	17	20
50	rural	Aix-en-Provence	Aix Les Milles D65 Domaine de la tour d'Arbois	13	13	16
48	rural	Aix-en-Provence	Aix Puyricard chemin de Lignane	10	7	12

Id	Typologie	Commune	Description	Concentration en dioxyde d'azote - NO ₂		
				Moyenne été	Moyenne Hiver	Moyenne 2007
19	peñurbain	Beaureceuil	Beaureceuil mairie	10	15	16
64	trafic	Bouc-Bel-Air	Bouc Bd Air D60 pont sur l'A51	33	49	43
184	industriel	Bouc-Bel-Air	Bouc-Bel-Air station	21	32	29
26	peñurbain	Bouc-Bel-Air	Bouc Bd Air av Victor Hugo	16	27	24
55	observation	Cabriès	Cabriès Plan campagne avant Cap	28	47	40
165	trafic	Cabriès	Cabriès Domaine de l'Arbois Rue Valère Bernard	31	34	37
178	trafic	Cabriès	Cabriès Calas RD9 & RD9b	28	30	33
169	trafic	Cabriès	Cabriès Calas Rond point RD9	27	30	33
161	trafic	Cabriès	Cabriès Calas pont sous RD9	25	28	31
22	trafic	Cabriès	Cabriès RD9 Hostellerie du lac bleu	24	27	30
62	trafic	Cabriès	Cabriès D543 et D60	24	24	29
211	trafic	Cabriès	Cabriès Camion la bo RD9	-	23	29
163	peñurbain	Cabriès	Cabriès Calas rue du Basdi	22	25	28
157	trafic	Cabriès	Cabriès Gare TGV Aix en provence arc sud	21	24	28
25	peñurbain	Cabriès	Cabriès mairie annexe St Roc	20	27	26
167	observation	Cabriès	Cabriès Domaine de l'Arbois Rue Victor Gelu	18	22	26
166	peñurbain	Cabriès	Cabriès Domaine de l'Arbois Av. Frédéric Mistral	17	21	25
162	peñurbain	Cabriès	Cabriès Cabriès Calas rue Van Gogh	18	21	24
164	peñurbain	Cabriès	Cabriès Calas place de l'église	17	21	24
160	observation	Cabriès	Cabriès Calas, Clos Saint Imbert	17	20	23
153	peñurbain	Cabriès	Cabriès Calas Domaine du Lac Bleu rue Aubanel	16	19	22
156	peñurbain	Cabriès	Cabriès Calas, Clos Saint Imbert	17	20	22
24	peñurbain	Cabriès	Cabriès RD9 Calas impasse Paul Boussin	16	20	22
168	rural	Cabriès	Cabriès Calas rural après station épuration	15	18	21
176	rural	Cabriès	Cabriès Calas rural golf	16	18	21
177	peñurbain	Cabriès	Cabriès Calas rue des Felibres domaine du lac bleu	14	16	19
154	peñurbain	Cabriès	Cabriès Domaine du Lac Bleu rue Jean Giono	13	15	17
212	rural	Cabriès	Cabriès Remorque RD9	-	15	13
31	peñurbain	Châteauneuf le Rouge	Châteauneuf le Rouge poste	17	28	25
16	peñurbain	Coudoux	Coudoux impasse Calendal	19	21	23
61	trafic	Eguilles	Eguilles pont sur l'A8	40	59	51
15	peñurbain	Eguilles	Eguilles mairie	17	22	22
66	trafic	Fuveau	Fuveau impasse des Demoiselles sur A52	37	51	46
65	trafic	Fuveau	Fuveau Croisement D6 et D6C vers Fuveau	28	44	38
30	peñurbain	Fuveau	Fuveau mairie av Célestin Barthélemy	20	30	28
9	peñurbain	Jouques	Jouques mairie	15	15	18
84	rural	Jouques	Jouques Saint Charles	10	9	13
75	observation	Lambesc	Lambesc ZAC HOE de Lambesc	17	20	22
2	peñurbain	Lambesc	Lambesc mairie	14	15	18
57	rural	Lambesc	Lambesc chemin de Cambousse	10	8	12
7	peñurbain	Meyrargues	Meyrargues av d'Albertas	12	15	17
29	peñurbain	Meyreuil	Meyreuil mairie	13	21	20
28	peñurbain	Mimet	Mimet école de la tour	25	33	31
119	trafic	Penne Mirabeau	Penne Mirabeau A7 A55 nord	43	73	60
115	trafic	Penne Mirabeau	Penne Mirabeau N113 tunnel	43	73	59
136	observation	Penne Mirabeau	Pennes Mirabeau Plan de Campagne ZC Cuir Center	41	69	56
128	trafic	Penne Mirabeau	Penne Mirabeau A7 Notre Dame	38	64	53
135	observation	Penne Mirabeau	Pennes Mirabeau Plan de Campagne Mc Donald	35	59	49
120	trafic	Penne Mirabeau	Penne Mirabeau A7 A55 sud	36	56	48
118	peñurbain	Penne Mirabeau	Penne Mirabeau Le Grand Verger	31	49	42
186	peñurbain	Penne Mirabeau	Pennes Mirabeau station	28	49	41
130	trafic	Penne Mirabeau	Penne Mirabeau N113 Les Romarins	30	47	40
123	peñurbain	Penne Mirabeau	Penne Mirabeau Le Brusq ch. plan des leurres	27	45	38
126	trafic	Penne Mirabeau	Penne Mirabeau Versailles	26	39	35
133	peñurbain	Penne Mirabeau	Penne Mirabeau r des Fraises eglise	25	38	34
116	trafic	Penne Mirabeau	Penne Mirabeau Ecole Castel Helène	23	40	34
132	peñurbain	Penne Mirabeau	Penne Mirabeau rond point de la Morandière	23	38	33
125	observation	Penne Mirabeau	Penne Mirabeau Pigne chemin du thord O-E	23	36	32
114	peñurbain	Penne Mirabeau	Penne Mirabeau mairie	23	37	32
23	peñurbain	Penne Mirabeau	Pennes Mirabeau bd du Raumarin	23	35	32
122	peñurbain	Penne Mirabeau	Penne Mirabeau chemin de la Cabassette	21	34	30
121	peñurbain	Penne Mirabeau	Penne Mirabeau Grotte Tra verse des écoles crèche	21	31	29
131	peñurbain	Penne Mirabeau	Penne Mirabeau Le Repos terrain de boule	20	32	28
87	rural	Penne Mirabeau	Penne Mirabeau Jas de Rhode av du cap Brutus	20	29	27
134	observation	Penne Mirabeau	Penne Mirabeau Jas de Rhode	19	30	27
127	peñurbain	Penne Mirabeau	Penne Mirabeau Les Amandiers	17	31	27
124	peñurbain	Penne Mirabeau	Pennes Mirabeau Les Bouroumettes r. des Mouettes	18	29	26
117	peñurbain	Penne Mirabeau	Penne Mirabeau La Renardière	18	28	26
129	peñurbain	Penne Mirabeau	Penne Mirabeau rond point de la Cité Haute	16	23	23

Id	Typologie	Commune	Description	Concentration en dioxyde d'azote - NO ₂		
				Moyenne été	Moyenne Hiver	Moyenne 2007
142	trafic	Pertuis	Pertuis centre rue Ledru Rollin	47	68	59
141	trafic	Pertuis	Pertuis route sud ZA	31	42	39
144	trafic	Pertuis	Pertuis pont de la Durance	27	35	34
147	trafic	Pertuis	Pertuis rond point sud ouest chantier	16	34	27
148	trafic	Pertuis	Pertuis Lotissement Le Gregorv	21	26	26
6	urbain	Pertuis	Pertuis place Mirabeau Eglise	16	22	22
138	periurbain	Pertuis	Pertuis ZA Inter sport/Champion	15	21	21
151	periurbain	Pertuis	Pertuis Ecole Saint Roch - Labo Atmo PACA	13	20	19
139	observation	Pertuis	Pertuis rue de la source (Hyper U)	13	18	19
149	periurbain	Pertuis	Pertuis collège marie Mauron	13	17	18
145	periurbain	Pertuis	Pertuis rue des quatre saisons	12	17	18
137	periurbain	Pertuis	Pertuis 1057 rue Léon Arnoux	12	14	16
140	periurbain	Pertuis	Pertuis Les Romarins, rue des Jonquilles	10	15	16
146	rural	Pertuis	Pertuis canal vers le centre équestre	10	15	16
51	rural	Pertuis	Pertuis voie com Malespine petit pont	12	13	15
150	periurbain	Pertuis	Pertuis route de l'étang de la Bonde	11	13	15
143	rural	Pertuis	Pertuis rue de la source rural	10	10	13
34	periurbain	Peynier	Peynier av de la Libération	13	21	20
8	periurbain	Peyrolles	Peyrolles place Albert Laurent	17	24	23
59	rural	Peyrolles	Peyrolles rural à l'éco-gîte	8	2	8
5	periurbain	Puy Sainte Réparate	Puy Sainte Réparate rue Quilho-pas	12	15	17
21	periurbain	Puylobier	Puylobier mairie	9	9	12
83	rural	Puylobier	Puylobier rural DI 2 après N7	8	10	12
3	periurbain	Rognes	Rognes Chemin de la Fanée	11	13	15
1	periurbain	Roque d'Anthéron	Roque d'Anthéron, salle des fêtes	11	14	16
68	trafic	Rousset	Rousset A8	25	37	33
69	observation	Rousset	Rousset au nord A8 TN1	32	30	33
32	periurbain	Rousset	Rousset mairie place Borde	20	35	30
72	observation	Rousset	Rousset au sud A8 TS1	20	31	28
70	observation	Rousset	Rousset au nord A8 TN2	21	27	27
54	industriel	Rousset	Rousset ZI	17	29	26
73	observation	Rousset	Rousset au sud A8 TS2	17	29	25
71	observation	Rousset	Rousset au nord A8 TN3	18	27	25
74	observation	Rousset	Rousset au sud A8 TS3	16	25	23
20	periurbain	Saint Antonin sur Bayon	Saint Antonin sur Bayon chemin gites mairie	7	6	10
11	periurbain	Saint Cannat	Saint Cannat cooperative viticole	14	17	19
58	rural	Saint Cannat	Saint Cannat Les Quatre Termes D17 D67E	15	16	18
4	periurbain	Saint Estève Janson	Saint Estève Janson chapelle	10	10	13
13	periurbain	Saint Marc Jaumegarde	Saint Marc Jaumegarde mairie	10	7	12
85	trafic	Saint Paul les Durances	Saint Paul les Durances Autoroute	29	39	36
10	periurbain	Saint Paul les Durances	Saint Paul les Durances mairie	12	11	15
27	periurbain	Simiane	Simiane av du Général de Gaulle	25	41	35
56	rural	Simiane	Simiane chemin des puits	12	16	17
18	periurbain	Tholonet	Tholonet Palette rue de la Libération	22	40	33
53	periurbain	Tholonet	Tholonet moulin de Cézanne	11	15	16
33	periurbain	Trets	Trets mairie	17	37	29
52	rural	Trets	Trets château du grand boisé	7	7	10
14	periurbain	Vauvenargues	Vauvenargues rue du centre	10	8	12
49	rural	Vauvenargues	Vauvenargues rural D10	7	3	9
12	periurbain	Venelles	Venelles mairie allée de la Roberte	14	21	20
17	periurbain	Ventabren	Ventabren rue des oliviers	14	17	19
174	trafic	Vitrolles	Vitrolles Le Griffon arrêt bus le griffon	48	50	53
206	observation	Vitrolles	Vitrolles Ave de Rome	25	56	42
172	trafic	Vitrolles	Vitrolles Pont sud RD9 sortie Pinchinades	29	32	34
209	periurbain	Vitrolles	Vitrolles Ecole P. Picasso	18	45	34
205	periurbain	Vitrolles	Vitrolles JJ Rouine	22	35	31
207	periurbain	Vitrolles	Vitrolles La friscoule	21	34	30
171	periurbain	Vitrolles	Vitrolles Pinchina des bd Marcel Pagnol	21	26	29
204	periurbain	Vitrolles	Vitrolles Rue des Poètes	15	36	28
201	periurbain	Vitrolles	Vitrolles Rue des Cauca dis	17	34	28
175	periurbain	Vitrolles	Vitrolles RD9 lotissement chemin Di Oustaou	19	23	25
208	periurbain	Vitrolles	Vitrolles Les Pinchina des	16	26	24
200	periurbain	Vitrolles	Vitrolles Salle des fêtes	13	28	23
173	periurbain	Vitrolles	Vitrolles Coulomb SCEA	18	21	23
202	periurbain	Vitrolles	Vitrolles Salle coubertin	14	25	22
199	periurbain	Vitrolles	Vitrolles Vieux village Place de l'aire	12	22	20
196	intérieur	Aix-en-Provence	Aix Hotel Boades bureau B	31	52	44
77	intérieur	Aix-en-Provence	Aix Hôtel de Boades accueil A	29	47	40
78	intérieur	Penne Mirabeau	Penne Mirabeau accueil A	18	29	26
90	intérieur	Aix-en-Provence	Aix college Mignet classe 1		26	24
192	intérieur	Pertuis	Pertuis salle de l'école A vers rue	11		21
198	intérieur	Penne Mirabeau	Penne Mirabeau Mairie bureau B	18	17	20
93	intérieur	Aix-en-Provence	Aix college Mignet classe 2		21	20
197	intérieur	Aix-en-Provence	Aix Les Milles dir. Transport CPA bureau directrice	11	20	19
79	intérieur	Aix-en-Provence	Aix Les Milles dir. transport CPA accueil A	14	18	19
210	intérieur	Aix-en-Provence	Aix Les Milles dir. Transport CPA Second bureau	-	13	17
76	intérieur	Pertuis	Pertuis cantine C	14	14	17
193	intérieur	Pertuis	Pertuis salle de l'école B vers stade	11	11	14
194	intérieur	Pertuis	Pertuis salle double	-	9	12

Annexe 4 : Concentrations en benzène, toluène, xylènes, par commune

Benzène : B ; Toluène : T ; Ethylbenzène : EB ; m+p Xylènes : MPX ; o xylènes : OX				Moyenne sur la période été					Moyenne sur la période hiver					Estimation annuelle 2007				
Id	Typologie	Commune	Description	B	T	EB	MPX	OX	B	T	EB	MPX	OX	B	T	EB	MPX	OX
				89	urbain	Aix-en-Provence	Aix Cours collège Mignet extr action parking	3,5	37,2	8,7	21,4	7,9	-	-	-	-	-	4,7
38	trafic	Aix-en-Provence	Aix place Bellegarde	1,7	10,2	2,6	6,3	2,5	3,6	15,7	3,7	9,4	3,7	3,0	12,6	3,1	8,1	3,1
39	trafic	Aix-en-Provence	Aix rotonde office du tourisme	1,5	7,8	2,1	4,7	1,9	2,5	9,9	2,4	5,9	2,3	2,3	8,7	2,2	5,5	2,1
183	trafic	Aix-en-Provence	Aix Roy René station Aix centre	1,1	5,6	1,4	3,4	1,4	2,5	9,8	2,3	5,8	2,3	2,1	7,6	1,9	4,8	1,9
102	périurbain	Aix-en-Provence	Aix Les Milles mairie Av du docteur Reibaud	0,9	4,2	1,0	2,5	1,0	2,2	6,6	1,5	3,6	1,4	1,8	5,5	1,3	3,3	1,3
47	urbain	Aix-en-Provence	Aix allée de la bibliothèque Méjane	0,8	3,5	0,9	2,1	0,8	2,2	6,8	1,5	3,6	1,4	1,7	5,2	1,2	3,0	1,2
188	urbain	Aix-en-Provence	Aix Cours collège Mignet 2	-	-	-	-	-	2,0	6,9	2,0	5,5	2,2	1,7	5,8	1,8	5,1	1,9
112	trafic	Aix-en-Provence	Aix Les Milles chemin du SERRE	0,8	2,8	0,7	1,6	0,7	2,1	5,4	1,2	3,0	1,2	1,6	4,3	1,0	2,5	1,0
187	urbain	Aix-en-Provence	Aix Cours collège Mignet 1	-	-	-	-	-	1,9	5,3	1,1	2,8	1,1	1,6	4,5	1,1	2,8	1,0
96	observation	Aix-en-Provence	Aix Les Milles Route de l'enfant parking camion	0,8	3,1	0,8	2,0	0,8	2,0	5,9	1,5	3,6	1,5	1,6	4,6	1,2	3,0	1,2
98	périurbain	Aix-en-Provence	Aix Les Milles, CETE devant Orangerie	0,8	3,7	1,0	2,3	0,9	2,0	7,0	1,7	4,1	1,7	1,6	5,4	1,3	3,4	1,4
182	urbain	Aix-en-Provence	Aix Ecole d'Art station	0,8	3,8	1,3	3,2	1,1	1,9	7,0	1,7	4,1	1,6	1,6	5,5	1,5	3,8	1,4
97	périurbain	Aix-en-Provence	Aix Les Milles route de l'enfant bâtiment	0,8	2,7	0,7	1,6	0,7	2,0	5,8	1,4	3,5	1,4	1,6	4,4	1,1	2,7	1,1
41	urbain	Aix-en-Provence	Aix av Henri Poncet crèche	0,8	3,3	0,8	1,9	0,8	1,9	6,0	1,3	3,2	1,3	1,6	4,8	1,1	2,7	1,1
63	trafic	Aix-en-Provence	Aix La Calade N7 voie ferrée	0,8	2,7	0,7	1,6	0,6	1,9	5,2	1,2	2,9	1,2	1,5	4,1	1,0	2,4	1,0
91	trafic	Aix-en-Provence	Aix Les Milles Sortie 3 - 300m Pôle d'activité d'Aix	0,8	2,6	0,7	1,6	0,7	1,8	4,7	1,1	2,7	1,1	1,5	3,8	0,9	2,3	0,9
181	urbain	Aix-en-Provence	Aix Jas de Bouffan station	0,6	2,7	0,6	1,3	0,5	1,9	6,8	1,6	3,6	1,4	1,5	4,8	1,1	2,6	1,1
189	urbain	Aix-en-Provence	Aix Cours collège Mignet 3	-	-	-	-	-	1,8	5,6	1,3	3,1	1,3	1,4	4,8	1,2	3,2	1,1
106	trafic	Aix-en-Provence	Aix Les Milles Parking du Gymnase	0,7	2,3	0,6	1,4	0,6	1,8	5,0	1,1	2,8	1,1	1,4	3,8	0,9	2,3	0,9
170	trafic	Aix-en-Provence	Aix RD543 route d'Apt avant Arbois	0,6	1,6	0,4	0,9	0,4	2,0	2,5	0,5	1,2	0,5	1,4	2,1	0,5	1,0	0,5
80	trafic	Aix-en-Provence	Aix A51 Vasarely	0,8	3,9	1,0	2,3	0,9	1,6	5,3	1,1	2,8	1,2	1,4	4,7	1,1	2,7	1,1
82	urbain	Aix-en-Provence	Aix angle Chas tel Arple	0,9	4,7	1,2	3,0	1,2	1,5	7,4	1,8	4,5	1,8	1,4	6,1	1,5	4,0	1,5
95	observation	Aix-en-Provence	Aix Les Milles virage vers la route de l'enfant	0,7	2,5	0,6	1,5	0,6	1,7	4,6	1,1	2,6	1,1	1,4	3,7	0,9	2,3	0,9
155	trafic	Aix-en-Provence	Aix Gare TGV Aix en provence ponts ur RD9	0,7	2,8	0,7	1,5	0,6	1,5	2,2	0,5	1,0	0,4	1,3	2,5	0,6	1,3	0,5
101	trafic	Aix-en-Provence	Aix Les Milles ferronnerie Ventajol	0,6	2,4	0,6	1,4	0,6	1,6	4,3	1,1	2,7	1,1	1,3	3,5	0,9	2,3	0,9
43	périurbain	Aix-en-Provence	Aix la Torse av Cassin	0,7	2,0	0,5	1,1	0,5	1,5	3,7	0,8	2,1	0,8	1,2	3,1	0,7	1,8	0,7
158	trafic	Aix-en-Provence	Aix Gare TGV Aix en provence arc nord	0,6	2,1	0,5	1,2	0,5	1,4	2,2	0,5	1,1	0,4	1,2	2,1	0,5	1,1	0,5
60	trafic	Aix-en-Provence	Aix A51 pont de la sortie Les Platanes	0,7	2,0	0,6	1,4	0,6	1,5	3,3	0,8	1,9	0,8	1,2	2,9	0,7	1,9	0,8
94	périurbain	Aix-en-Provence	Aix Les Milles fin transect champ	0,6	1,8	0,5	1,0	0,4	1,5	3,7	0,9	2,3	1,0	1,2	3,0	0,7	1,8	0,8
107	observation	Aix-en-Provence	Aix Les Milles entrée de la base aérienne	0,6	1,6	0,4	1,0	0,4	1,5	3,2	0,7	1,7	0,7	1,2	2,7	0,6	1,5	0,6
191	urbain	Aix-en-Provence	Aix Cours collège Mignet 5	-	-	-	-	-	1,5	4,7	1,1	2,8	1,1	1,2	4,1	1,1	2,8	1,0
81	trafic	Aix-en-Provence	Aix la Chevallière	0,7	2,3	0,6	1,2	0,5	1,3	3,2	0,7	1,5	0,7	1,2	3,0	0,7	1,6	0,7
159	périurbain	Aix-en-Provence	Aix Réaltor Route du Maroc	0,5	1,1	0,3	0,7	0,3	1,3	1,3	0,3	0,5	0,2	1,2	1,2	0,3	0,6	0,3
109	périurbain	Aix-en-Provence	Aix Les Milles caline P.D des transports de la CPA	0,7	2,2	0,6	1,3	0,5	1,3	3,2	0,7	1,8	0,7	1,1	2,9	0,7	1,7	0,7
46	urbain	Aix-en-Provence	Aix av Sdari groupe scolaire des Laures	0,6	2,6	0,6	1,5	0,6	1,3	3,4	0,7	1,8	0,7	1,1	3,2	0,7	1,8	0,8
40	périurbain	Aix-en-Provence	Aix Pont de l'Arc chemin du viaduc	0,5	1,4	0,4	0,9	0,4	1,3	2,7	0,6	1,4	0,6	1,0	2,3	0,5	1,3	0,6
180	périurbain	Aix-en-Provence	Aix Platanes Station	0,6	2,4	0,7	1,6	0,7	1,2	2,7	0,6	1,5	0,6	1,0	2,8	0,7	1,7	0,7
100	périurbain	Aix-en-Provence	Aix Les Milles Eurpoled de l'Arbois	0,5	1,3	0,4	0,8	0,3	1,2	2,1	0,5	1,1	0,5	0,9	2,0	0,5	1,1	0,5
190	urbain	Aix-en-Provence	Aix Cours collège Mignet 4	-	-	-	-	-	1,2	4,4	1,0	2,5	1,0	0,9	3,9	1,1	2,6	0,9
203	périurbain	Aix-en-Provence	Aix Réaltor	0,1	-	-	-	-	1,3	-	-	-	-	0,8	-	-	-	-
64	trafic	Bouc Bel Air	Bouc Bel Air D60 pont sur l'A51	0,8	2,3	0,6	1,4	0,6	1,6	3,7	0,8	2,1	0,8	1,4	3,2	0,7	1,9	0,8
184	industriel	Bouc Bel Air	Bouc Bel Air station	0,5	1,4	0,4	0,9	0,4	1,2	2,3	0,5	1,2	0,5	1,0	2,2	0,5	1,2	0,5
163	périurbain	Cabriès	Cabriès Calas rue du Baseli	0,9	4,1	0,9	2,3	0,9	2,6	6,1	1,3	3,3	1,3	1,7	5,1	1,1	2,8	1,1
164	périurbain	Cabriès	Cabriès Calas place de l'église	0,7	3,0	0,7	1,7	0,7	2,3	4,1	0,9	2,1	0,8	1,5	3,6	0,8	1,9	0,8
161	trafic	Cabriès	Cabriès Calas pont sous RD9	0,7	2,4	0,7	1,6	0,7	2,1	3,6	0,9	2,1	0,8	1,5	3,0	0,8	1,8	0,8
211	trafic	Cabriès	Cabriès Camion labo RD9	-	-	-	-	-	2,0	3,6	0,8	1,8	0,7	1,5	3,6	0,8	1,8	0,7
169	trafic	Cabriès	Cabriès Calas Rond point RD9	0,6	1,7	0,5	1,1	0,4	2,1	3,0	0,6	1,4	0,6	1,4	2,3	0,6	1,3	0,5
178	trafic	Cabriès	Cabriès Calas RD9 & RD9b	0,7	2,6	0,7	1,6	0,7	1,9	2,6	0,5	1,2	0,5	1,4	2,6	0,6	1,4	0,6
22	trafic	Cabriès	Cabriès RD9 Hostelrie du lac bleu	0,7	3,1	0,8	2,1	1,0	1,9	2,6	0,6	1,4	0,6	1,4	2,9	0,7	1,7	0,8
24	périurbain	Cabriès	Cabriès RD9 Calas impasse Paul Boussin	0,6	2,2	0,5	1,3	0,5	2,1	3,1	0,7	1,7	0,7	1,4	2,7	0,6	1,5	0,6
212	rural	Cabriès	Cabriès Remorque RD9	-	-	-	-	-	1,9	2,1	0,4	0,9	0,4	1,4	2,1	0,4	0,9	0,4
160	observation	Cabriès	Cabriès Calas, Clos Saint Imbert	-	-	-	-	-	1,9	2,6	0,6	1,3	0,6	1,4	2,6	0,6	1,3	0,6
162	périurbain	Cabriès	Cabriès Calas rue Van Gogh	0,6	2,1	0,5	1,2	0,5	2,0	3,1	0,7	1,6	0,7	1,4	2,6	0,6	1,4	0,6
165	trafic	Cabriès	Cabriès Domaine de l'Arbois Rue Valère Bernard	0,6	1,8	0,5	1,1	0,4	1,9	2,5	0,5	1,2	0,5	1,4	2,1	0,5	1,1	0,4
153	périurbain	Cabriès	Cabriès Calas Domaine du Lac Bleu rue Aubanel	0,6	2,0	0,5	1,2	0,5	1,8	2,7	0,6	1,4	0,6	1,3	2,3	0,6	1,3	0,5
167	observation	Cabriès	Cabriès Domaine de l'Arbois Rue Victor Geli	0,5	1,6	0,4	1,0	0,4	2,0	2,5	0,5	1,2	0,5	1,3	2,1	0,5	1,1	0,4
25	périurbain	Cabriès	Cabriès mairie annexe StRoc	0,8	3,5	0,8	2,0	0,8	1,6	4,1	0,9	2,2	0,9	1,3	3,9	0,9	2,3	0,9
55	observation	Cabriès	Cabriès Plan campagne avant Cap	0,7	2,4	0,6	1,5	0,6	1,6	4,8	1,1	2,6	1,1	1,3	3,7	0,9	2,3	0,9
156	périurbain	Cabriès	Cabriès Calas, Clos Saint Imbert	0,6	1,9	0,5	1,2	0,5	1,5	2,0	0,4	1,1	0,4	1,3	1,9	0,5	1,1	0,5
157	trafic	Cabriès	Cabriès Gare TGV Aix en provence care sud	-	-	-	-	-	1,6	2,5	0,5	1,1	0,5	1,3	2,5	0,5	1,1	0,5
154	périurbain	Cabriès	Cabriès Domaine du Lac Bleu rue Jean Giono	0,5	1,3	0,4	0,8	0,4	1,7	2,5	0,6	1,3	0,5	1,3	1,9	0,5	1,0	0,5
176	rural	Cabriès	Cabriès Calas rural gdf	0,6	1,3	0,4	0,8	0,3	1,4	1,4	0,3	0,7	0,3	1,2	1,4	0,4	0,7	0,3

Benzène : B ; Toluène : T ; Ethylbenzène : EB ; m+p Xylènes : MPX ; o xylènes : OX				Moyenne sur la période été					Moyenne sur la période hiver					Estimation annuelle 2007				
Id	Typologie	Commune	Description	B	T	EB	MPX	OX	B	T	EB	MPX	OX	B	T	EB	MPX	OX
				16	périurbain	Coudoux	Coudoux impasse Calenda	0,7	2,8	0,7	1,5	0,6	1,3	2,6	0,6	1,4	0,6	1,1
15	périurbain	Eguilles	Eguilles mairie	0,8	2,9	0,8	1,6	0,7	1,5	4,2	0,9	2,2	0,9	1,3	3,7	0,9	2,1	0,9
61	trafic	Eguilles	Eguilles pont sur IA8	0,6	1,3	0,4	0,8	0,3	1,2	1,9	0,4	0,9	0,4	1,0	1,9	0,4	1,0	0,5
30	périurbain	Fuveau	Fuveau mairie av Césaire Barthélemy	1,2	5,5	1,4	3,2	1,2	2,2	7,8	1,9	4,5	1,8	1,9	6,7	1,6	4,1	1,6
66	trafic	Fuveau	Fuveau impasse des Demoiselles sur A52	0,6	2,0	0,4	1,0	0,4	1,3	2,9	0,7	1,4	0,6	1,1	2,7	0,6	1,4	0,6
185	industriel	Gardanne	Gardanne Station	0,9	3,5	0,9	2,2	0,9	2,0	6,7	1,6	4,2	1,6	1,7	5,2	1,3	3,4	1,3
9	périurbain	Jouques	Jouques mairie	0,6	2,0	0,5	1,2	0,5	1,3	2,7	0,6	1,5	0,6	1,0	2,6	0,6	1,5	0,7
84	rural	Jouques	Jouques Saint Charles	0,4	0,8	0,2	0,5	0,2	0,9	1,5	0,4	0,8	0,4	0,7	1,5	0,4	0,8	0,4
2	périurbain	Lambesc	Lambesc mairie	0,8	3,3	0,6	1,3	0,6	1,6	3,6	0,8	1,9	0,8	1,4	3,6	0,7	1,8	0,8
7	périurbain	Meyrargues	Meyrargues av d'Albertas	0,6	2,2	0,6	1,9	0,8	1,3	4,0	1,0	2,7	1,0	1,0	3,3	0,8	2,5	1,0
28	périurbain	Mimet	Mimet école de la tour	0,8	2,4	0,6	1,5	0,6	1,2	2,9	0,7	1,8	0,7	1,1	2,9	0,7	1,8	0,8
115	trafic	Penne Mirabeau	Penne Mirabeau N113 tunnel	1,5	7,7	2,1	4,7	1,9	2,6	11,1	2,4	5,8	2,5	2,4	9,2	2,2	5,5	2,2
135	observation	Penne Mirabeau	Pennes Mirabeau Plan de Campagne Mc Donald	1,2	5,8	1,6	3,7	1,5	2,6	9,2	2,3	5,6	2,2	2,2	7,4	1,9	4,8	1,9
128	trafic	Penne Mirabeau	Penne Mirabeau A7 Notre Dame	1,2	5,4	1,4	3,4	1,4	2,4	8,3	2,0	5,2	2,1	2,1	6,8	1,7	4,5	1,8
136	observation	Penne Mirabeau	Pennes Mirabeau Plan de Campagne ZC Cuir Center	1,0	4,4	1,3	3,0	1,2	2,1	6,5	1,7	4,3	1,6	1,8	5,5	1,5	3,8	1,5
186	périurbain	Penne Mirabeau	Pennes Mirabeau station	0,9	3,7	0,9	2,2	0,9	2,0	6,2	1,4	3,4	1,4	1,6	5,1	1,2	3,0	1,2
121	périurbain	Penne Mirabeau	Penne Mirabeau Gavotte Traversée des écoles crèche	1,0	4,0	1,1	2,6	1,0	1,7	5,2	1,3	3,2	1,3	1,5	4,7	1,2	3,1	1,2
131	périurbain	Penne Mirabeau	Penne Mirabeau Le Reposterain de boule	0,7	2,5	0,7	1,6	0,6	1,8	5,0	1,2	3,0	1,2	1,4	3,9	1,0	2,5	1,0
119	trafic	Penne Mirabeau	Penne Mirabeau A7 A55 nord	0,8	2,1	0,6	1,3	0,5	1,6	3,3	0,7	1,6	0,7	1,4	2,9	0,7	1,6	0,7
114	périurbain	Penne Mirabeau	Penne Mirabeau mairie	0,8	2,8	0,8	1,7	0,7	1,5	3,7	0,8	2,0	0,8	1,3	3,5	0,8	2,1	0,8
124	périurbain	Penne Mirabeau	Pennes Mirabeau Les Bouroumettes r. des Mouttes	0,8	2,8	0,7	1,7	0,6	1,4	3,1	0,7	1,8	0,7	1,2	3,2	0,8	1,9	0,8
125	observation	Penne Mirabeau	Penne Mirabeau Pigne chemin du thor d'O-E	0,6	1,7	0,5	1,0	0,4	1,4	2,3	0,6	1,3	0,5	1,1	2,3	0,5	1,3	0,6
87	rural	Penne Mirabeau	Penne Mirabeau Jas de Rhode av du cap. Brutus	0,7	1,8	0,5	1,2	0,4	1,1	1,7	0,4	0,9	0,4	1,0	2,1	0,5	1,2	0,5
134	observation	Penne Mirabeau	Penne Mirabeau Jas de Rhode	0,6	1,6	0,5	1,1	0,4	1,0	1,5	0,4	0,9	0,4	0,9	1,9	0,5	1,2	0,5
6	urbain	Pertuis	Pertuis place Mirabeau Eglise	0,7	5,4	0,9	2,2	0,9	2,0	7,2	1,6	3,9	1,6	1,6	6,3	1,3	3,3	1,3
151	périurbain	Pertuis	Pertuis Ecole Saint Roch - Labo Atmo PACA	0,7	3,9	0,8	2,2	0,8	1,8	5,5	1,1	3,0	1,2	1,4	4,8	1,0	2,8	1,1
149	périurbain	Pertuis	Pertuis col Egémarie Mauron,	0,6	1,9	0,5	1,1	0,4	1,5	3,4	0,8	1,8	0,7	1,2	2,9	0,7	1,6	0,7
139	observation	Pertuis	Pertuis rue de la source (Hyper U)	0,6	2,3	0,5	1,3	0,5	1,5	3,4	0,8	1,9	0,8	1,2	3,1	0,7	1,8	0,7
140	périurbain	Pertuis	Pertuis Les Romarins, rue des Jonquilles	0,4	1,5	0,5	1,1	0,5	1,6	3,7	0,8	2,0	0,8	1,1	2,9	0,7	1,7	0,7
144	trafic	Pertuis	Pertuis port de la Durance	0,7	2,6	0,7	1,5	0,6	1,2	2,8	0,8	1,9	0,8	1,1	2,9	0,8	1,9	0,8
138	périurbain	Pertuis	Pertuis ZA Inter sport/Champion	0,6	2,6	0,7	1,8	0,7	1,0	3,0	0,8	2,0	0,8	0,9	3,0	0,8	2,1	0,8
5	périurbain	Puy Sainte Réparate	Puy Sainte Réparate rue Quiho-pas	0,5	1,6	0,5	1,1	0,5	1,4	3,2	0,8	1,9	0,8	1,1	2,7	0,7	1,7	0,7
3	périurbain	Rognes	Rognes Chemin de la Fanée	0,5	1,4	0,4	0,8	0,4	1,1	2,1	0,5	1,2	0,5	0,9	2,1	0,5	1,2	0,5
1	périurbain	Roque d'Anthéron	Roque d'Anthéron, salle des fêtes	0,6	1,9	0,5	1,1	0,5	1,3	3,1	0,8	2,0	0,7	1,1	2,8	0,7	1,7	0,7
54	industriel	Rousset	Rousset ZI	0,6	1,7	0,4	1,0	0,4	1,1	2,6	0,7	1,6	0,6	0,9	2,4	0,6	1,5	0,6
69	observation	Rousset	Rousset au nord A8 TN1	0,5	1,2	0,3	0,6	0,3	0,8	1,2	0,3	0,6	0,3	0,7	1,5	0,3	0,8	0,4
71	observation	Rousset	Rousset au nord A8 TN3	0,4	0,8	0,2	0,4	0,2	0,8	1,2	0,3	0,6	0,3	0,7	1,4	0,3	0,7	0,3
68	trafic	Rousset	Rousset A8	0,4	0,9	0,2	0,5	0,3	0,8	1,4	0,4	0,7	0,3	0,7	1,5	0,3	0,8	0,4
20	périurbain	Saint Antonin sur B	Saint Antonin sur Bayon chemin gîtes mairie	0,4	0,6	0,1	0,3	0,1	0,8	1,0	0,2	0,4	0,2	0,7	1,1	0,2	0,6	0,3
11	périurbain	Saint Cannat	Saint Cannat coopérative viticole	0,7	2,2	0,6	1,3	0,6	1,4	3,2	0,8	1,8	0,7	1,2	3,0	0,7	1,7	0,7
58	rural	Saint Cannat	Saint Cannat Les Quatre Terres D17 D67E	0,5	1,2	0,3	0,7	0,3	1,0	1,5	0,4	0,8	0,3	0,9	1,7	0,4	0,9	0,4
13	périurbain	Saint Marc Jaume	Saint Marc Jaume gar de mairie	0,4	0,9	0,3	0,5	0,2	0,7	0,9	0,2	0,5	0,2	0,6	1,2	0,3	0,7	0,3
85	trafic	Saint Paul les Duran	Saint Paul les Durancc Autoroute	0,4	0,8	0,5	1,1	0,4	0,6	1,2	0,5	1,4	0,5	0,6	1,3	0,5	1,4	0,5
179	rural	Saint Paul les Duran	Saint Paul les Durancc Cadache Station	0,3	0,5	0,2	0,3	0,1	0,8	1,8	0,3	0,5	0,3	0,6	1,5	0,3	0,6	0,3
27	périurbain	Simiane	Simiane av du Général de Gaulle	1,1	4,8	1,2	3,0	1,2	2,3	6,7	1,6	4,0	1,6	1,9	5,8	1,4	3,7	1,5
18	périurbain	Tholonet	Tholonet Palette rue de la Libération	0,7	2,7	0,6	1,4	0,6	1,7	4,1	0,9	2,2	0,9	1,4	3,6	0,8	2,0	0,8
53	périurbain	Tholonet	Tholonet moulin de Cézanne	0,6	1,3	0,3	0,7	0,3	1,0	1,9	0,4	1,0	0,4	0,9	1,9	0,4	1,0	0,4
33	périurbain	Trets	Trets mairie	1,0	5,1	1,1	2,7	1,0	2,3	8,5	2,0	4,8	1,9	1,9	6,8	1,6	3,9	1,5
14	périurbain	Vauvenargues	Vauvenargues rue du centre	0,6	2,0	0,5	1,2	0,5	0,9	2,0	0,5	1,1	0,5	0,8	2,3	0,5	1,3	0,6
12	périurbain	Venelles	Venelles mairie allée de la Roberte	0,6	2,0	0,6	1,4	0,6	1,2	2,6	0,7	1,7	0,7	1,0	2,6	0,7	1,7	0,7
17	périurbain	Ventabren	Ventabren rue des oliviers	0,5	1,4	0,4	0,8	0,3	1,3	2,2	0,5	1,0	0,4	1,0	2,1	0,5	1,1	0,5
174	trafic	Vitrolles	Vitrolles Le Griffon arret bus le griffon	1,2	4,9	1,4	3,0	1,2	2,6	6,1	1,5	3,7	1,5	1,9	5,5	1,5	3,4	1,3
172	trafic	Vitrolles	Vitrolles Pont sud RD9 sur tie Pinchinades	0,7	1,6	0,5	1,0	0,4	1,7	2,4	0,5	1,2	0,5	1,4	2,0	0,5	1,1	0,4
175	périurbain	Vitrolles	Vitrolles RD9 lotissement chemin Di Oustaou	0,6	1,9	0,6	1,2	0,5	1,7	2,3	0,5	1,1	0,5	1,3	2,1	0,6	1,2	0,5
171	périurbain	Vitrolles	Vitrolles Pinchinades bd Marcel Pagnol	0,6	1,4	0,4	0,8	0,4	1,5	1,9	0,5	1,0	0,4	1,3	1,7	0,4	0,9	0,4
205	périurbain	Vitrolles	Vitrolles JJ Rouine	0,4					1,8					1,2	-	-	-	-
201	périurbain	Vitrolles	Vitrolles Rue des Caucaids	0,2					2,0					1,2	-	-	-	-
173	périurbain	Vitrolles	Vitrolles Coumb SCEA	0,6	1,2	0,5	0,8	0,4	1,3	1,4	0,3	0,7	0,3	1,2	1,3	0,4	0,8	0,4
209	périurbain	Vitrolles	Vitrolles Ecole P. Picasso	0,2					1,9					1,2	-	-	-	-
204	périurbain	Vitrolles	Vitrolles Rue des Poètes	0,1					2,0					1,2	-	-	-	-
206	observation	Vitrolles	Vitrolles Av de Rome	0,3					1,7					1,1	-	-	-	-
200	périurbain	Vitrolles	Vitrolles Salle des fêtes	0,1					1,9					1,1	-	-	-	-
202	périurbain	Vitrolles	Vitrolles Salle coubertin	0,3					1,6					1,0	-	-	-	-
207	périurbain	Vitrolles	Vitrolles La friscoué	0,2					1,6					1,0	-	-	-	-
208	périurbain	Vitrolles	Vitrolles Les Pinchinades	0,2					1,4					0,9	-	-	-	-
199	périurbain	Vitrolles	Vitrolles Meux village Place de l'aire	0,2					1,4					0,8	-	-	-	-

6.4. ANNEXE 5 : EVALUATION DES NIVEAUX D'ALDEHYDES

Id	Description	Typologie	Mesures été							Mesures hiver								
			Formal déhyde	Acroléine	Acétal déhyde	Propional déhyde	Butyral déhyde	Benzal déhyde	Isovaléral déhyde	Valéral déhyde	Formal déhyde	Acroléine	Acétal déhyde	Propional déhyde	Butyral déhyde	Benzal déhyde	Isovaléral déhyde	Valéral déhyde
194	Pertuis salle double	interieur	-	-	-	-	-	-	-	40,3	< 0,5	< 0,2	2,81	7,10	0,96	16,78	5,35	
192	Pertuis salle de l'école A vers rue	interieur	40,0	0,9	-	2,0	9,1	2,0	< 0,2	3,9	40,0	< 0,5	< 0,2	3,51	9,58	1,45	1,18	6,81
195	Pertuis salle simple	interieur	-	-	-	-	-	-	-	-	33,0	< 0,5	< 0,2	3,92	12,35	0,85	< 0,3	15,33
193	Pertuis salle de l'école B vers stade	interieur	34,9	0,6	-	1,9	8,6	2,4	< 0,2	6,5	29,0	< 0,5	< 0,2	4,40	12,67	1,75	< 0,3	13,56
93	Aix collège Mignet classe 2	interieur	-	-	-	-	-	-	-	-	29,9	< 0,5	< 0,2	4,70	15,25	0,42	< 0,3	22,58
90	Aix collège Mignet classe 1	interieur	-	-	-	-	-	-	-	-	29,6	< 0,5	< 0,2	1,47	4,08	0,31	< 0,3	2,50
76	Pertuis cantine C	interieur	19,2	< 0,3	-	1,3	7,9	1,3	< 0,2	6,1	32,6	< 0,5	< 0,2	2,94	10,67	1,83	< 0,3	7,04
197	Milles dir. Transport CPA bureau directrice	interieur	30,7	< 0,3	-	2,7	10,0	1,3	< 0,2	7,7	15,9	< 0,5	< 0,2	4,70	11,35	0,81	< 0,3	8,74
198	Penne Mirabeau Mairie bureau B	interieur	17,7	< 0,3	-	1,5	6,6	0,8	< 0,2	4,1	19,6	< 0,5	< 0,2	2,66	6,82	0,81	1,34	4,71
77	Aix Hôtel de Boades accueil A	interieur	19,2	< 0,3	-	3,1	8,1	1,0	< 0,2	5,4	12,0	< 0,5	< 0,2	2,37	5,30	0,59	< 0,3	2,91
210	Milles dir. Transport CPA Second bureau	interieur	-	-	-	-	-	-	-	-	14,4	< 0,5	< 0,2	8,24	14,86	0,77	< 0,3	12,73
196	Hôtel Boades bureau B	interieur	13,3	< 0,3	-	3,0	8,5	1,2	< 0,2	5,6	8,6	< 0,5	< 0,2	2,16	5,91	0,74	< 0,3	2,54
79	Milles dir. transport CPA accueil A	interieur	11,5	< 0,3	-	2,4	7,3	0,6	< 0,2	5,2	9,6	< 0,5	< 0,2	3,41	6,94	0,52	0,92	5,34
78	Penne Mirabeau accueil A	interieur	8,5	< 0,3	-	1,2	4,6	0,4	< 0,2	4,0	9,2	< 0,5	< 0,2	1,73	4,08	0,37	< 0,3	2,73
39	Aix rotonde office du tourisme	trafic	2,6	< 0,3	-	0,4	1,4	0,1	< 0,2	0,3	2,8	< 0,3	< 0,1	0,59	1,02	0,15	< 0,2	0,50
174	Vitrolles Le Griffon arrêt bus le griffon	trafic	1,8	< 0,5	-	0,4	1,6	< 0,2	< 0,3	0,4	2,6	< 0,5	-	0,62	1,60	< 0,2	< 0,3	0,52
183	Aix Roy René station Aix centre	trafic	1,5	< 0,3	-	0,2	1,0	< 0,1	< 0,2	0,3	2,8	< 0,3	< 0,1	0,56	0,98	0,13	< 0,2	0,40
186	Pernes Mirabeau station	peu urbain	1,7	< 0,3	-	0,3	1,4	< 0,1	< 0,2	0,4	2,5	< 0,3	< 0,1	0,55	1,13	< 0,1	< 0,2	0,45
163	Calas rue du Baséli	peu urbain	1,8	< 0,5	-	0,4	1,5	< 0,2	< 0,3	0,5	2,4	< 0,5	-	0,58	1,41	< 0,2	< 0,3	0,45
164	Calas place de l'église	peu urbain	1,7	< 0,5	-	0,4	1,4	< 0,2	< 0,3	0,4	2,3	< 0,5	-	0,58	1,36	< 0,2	< 0,3	0,44
89	Aix Cours collège Mignet extraction parking	urbain	2,0	< 0,3	-	0,4	1,8	0,1	< 0,2	0,4	-	-	-	-	-	-	-	-
2	Lambesc mairie	peu urbain	1,7	< 0,3	-	0,3	1,1	< 0,1	< 0,2	0,3	1,9	< 0,3	< 0,1	0,59	1,60	< 0,1	< 0,2	0,59
178	Calas RD9 & RD9b	trafic	1,7	< 0,5	-	0,4	1,4	< 0,2	< 0,3	0,5	1,9	< 0,5	-	0,40	1,19	< 0,2	< 0,3	0,35
151	Pertuis Ecole Saint Roch - Labo Atmo PACA	peu urbain	1,1	< 0,3	-	0,2	0,8	< 0,1	< 0,2	0,3	2,4	< 0,3	< 0,1	0,62	1,46	0,11	< 0,2	0,53
24	RD9 Calas impasse Paul Bousin	peu urbain	1,7	< 0,5	-	0,4	1,2	< 0,2	< 0,3	0,4	1,8	< 0,5	-	0,42	1,02	< 0,2	< 0,3	0,33
18	Tholonet Palette rue de la Libération	peu urbain	1,5	< 0,3	-	0,3	1,2	< 0,1	< 0,2	0,3	2,0	< 0,3	< 0,1	0,48	1,28	< 0,1	< 0,2	0,45
156	Calas Clos Saint Imbert	peu urbain	1,6	< 0,5	-	0,4	1,3	< 0,2	< 0,3	0,4	1,8	< 0,5	-	0,51	1,23	< 0,2	< 0,3	0,37
114	Penne Mirabeau mairie	peu urbain	1,5	< 0,3	-	0,3	1,1	< 0,1	< 0,2	0,3	1,9	-	-	0,53	1,44	-	-	0,49
162	Calas rue Van Gogh	peu urbain	1,8	< 0,5	-	0,4	1,4	< 0,2	< 0,3	0,5	1,6	< 0,5	-	0,46	1,31	< 0,2	< 0,3	0,43
182	Aix Ecole d'Art station	urbain	1,4	< 0,3	-	0,3	1,0	< 0,1	< 0,2	0,3	1,9	< 0,3	< 0,1	0,49	0,90	< 0,1	< 0,2	0,38
161	Calas pont sous RD9	trafic	1,7	< 0,5	-	0,4	1,3	< 0,2	< 0,3	0,4	1,6	< 0,5	-	0,48	1,29	< 0,2	< 0,3	0,42
185	Gardanne station	industriel	1,4	< 0,3	-	0,3	1,1	< 0,1	< 0,2	0,3	1,9	< 0,3	< 0,1	0,48	1,21	< 0,1	< 0,2	0,43
9	Jouques mairie	peu urbain	1,6	< 0,3	-	0,2	0,8	< 0,1	< 0,2	0,3	-	-	-	-	-	-	-	-
181	Aix Jass de Bouffan station	urbain	1,2	< 0,3	-	0,2	0,9	< 0,1	< 0,2	0,2	1,9	< 0,3	< 0,1	0,42	0,74	< 0,1	< 0,2	0,27
176	Calas rural golf	rural	1,6	< 0,5	-	0,4	1,2	< 0,2	< 0,3	0,4	1,5	< 0,5	-	0,43	0,97	< 0,2	< 0,3	0,37
109	Milles cabine P. D des transports de la CPA	peu urbain	1,4	< 0,3	-	0,3	1,0	< 0,1	< 0,2	0,3	1,5	< 0,3	< 0,1	0,37	1,09	< 0,1	< 0,2	0,40
169	Calas Rond point RD9	trafic	1,3	< 0,5	-	0,4	1,1	< 0,2	< 0,3	0,4	1,6	< 0,5	-	0,42	0,92	< 0,2	< 0,3	0,35
101	Milles ferronnerie Ventajol	trafic	1,2	< 0,3	-	0,3	0,9	< 0,1	< 0,2	0,4	1,7	< 0,3	< 0,1	0,41	1,04	< 0,1	< 0,2	0,40
180	Aix Platanes station	peu urbain	1,3	< 0,3	-	0,2	0,9	< 0,1	< 0,2	0,3	1,5	< 0,3	< 0,1	0,43	1,09	< 0,1	< 0,2	0,42
160	Calas Clos Saint Imbert	observation	1,0	< 0,5	-	0,3	1,0	< 0,2	< 0,3	0,3	1,8	< 0,5	-	0,44	0,98	< 0,2	< 0,3	0,33
107	Milles entrée de la base aérienne	observation	1,2	< 0,3	-	0,2	0,9	< 0,1	< 0,2	0,3	1,6	< 0,3	< 0,1	0,41	0,99	< 0,1	< 0,2	0,38
184	Bouc-Bel-Air station	industriel	1,1	< 0,3	-	0,2	0,9	< 0,1	< 0,2	0,2	1,7	< 0,3	< 0,1	0,38	0,87	0,14	< 0,2	0,35
102	Milles mairie Av du docteur Reibaud	peu urbain	1,4	< 0,3	-	0,2	1,0	< 0,1	< 0,2	0,3	-	-	-	-	-	-	-	-
16	Coudoux impasse Calendal	peu urbain	1,3	< 0,3	-	0,3	1,0	< 0,1	< 0,2	0,3	-	-	-	-	-	-	-	-
155	Gare TGV Aix en provence pont sur RD9	trafic	1,3	< 0,3	-	0,2	0,9	< 0,1	< 0,2	0,3	-	-	-	-	-	-	-	-
68	Rousset A8	trafic	1,1	< 0,3	-	0,3	0,9	< 0,1	< 0,2	0,3	1,4	< 0,3	< 0,1	0,50	1,47	< 0,1	< 0,2	0,53
84	Jouques Saint Charles	rural	1,2	< 0,3	-	0,2	0,7	< 0,1	< 0,2	0,3	-	-	-	-	-	-	-	-
179	Cadarache station	rural	1,3	< 0,3	-	0,1	0,6	< 0,1	< 0,2	0,2	1,1	< 0,3	< 0,1	0,33	0,99	< 0,1	< 0,2	0,40
85	Saint Paul les Durance Autoroute	trafic	1,0	< 0,3	-	0,2	0,7	< 0,1	< 0,2	0,3	1,2	< 0,3	< 0,1	0,37	1,26	< 0,1	< 0,2	0,48
211	Camion labo RD9	trafic	-	-	-	-	-	-	-	-	0,2	< 0,3	< 0,1	< 0,1	< 0,4	< 0,1	< 0,2	< 0,1

Id	Description	Typologie	Moyenn des 2 périodes							
			Formal déhyde	Acroléine	Acétal déhyde	Propional déhyde	Butyral déhyde	Benzal déhyde	Isovaléral déhyde	Valéral déhyde
194	Pertuis salle double	interieur	40,3	< 0,5	< 0,2	2,8	7,1	1,0	16,8	5,3
192	Pertuis salle de l'école A vers rue	interieur	40,0	0,9	< 0,2	2,8	9,4	1,7	1,2	5,4
195	Pertuis salle simple	interieur	33,0	< 0,5	< 0,2	3,9	12,3	0,9	< 0,3	15,3
193	Pertuis salle de l'école B vers stade	interieur	32,0	0,6	< 0,2	3,1	10,6	2,1	< 0,3	10,0
93	Aix collège Mignet classe 2	interieur	29,9	< 0,5	< 0,2	4,7	15,2	0,4	< 0,3	22,6
90	Aix collège Mignet classe 1	interieur	29,6	< 0,5	< 0,2	1,5	4,0	0,3	< 0,3	2,5
76	Pertuis cantine C	interieur	25,9	< 0,5	< 0,2	2,1	9,3	1,5	< 0,2	6,6
197	Milles dir. Transport CPA bureau directrice	interieur	23,3	< 0,3	< 0,2	3,7	10,7	1,1	< 0,3	8,2
198	Penne Mirabeau Mairie bureau B	interieur	18,6	< 0,3	< 0,2	2,1	6,7	0,8	1,3	4,4
77	Aix Hôtel de Boades accueil A	interieur	15,6	< 0,5	< 0,2	2,7	6,7	0,8	< 0,2	4,1
210	Milles dir. Transport CPA Second bureau	interieur	14,4	< 0,5	< 0,2	8,2	14,9	0,8	< 0,3	12,7
196	Hôtel Boades bureau B	interieur	11,0	< 0,3	< 0,2	2,6	7,2	0,9	< 0,3	4,1
79	Milles dir. transport CPA accueil A	interieur	10,6	< 0,5	< 0,2	2,9	7,1	0,6	0,9	5,3
78	Penne Mirabeau accueil A	interieur	8,8	< 0,5	< 0,2	1,5	4,4	0,4	< 0,2	3,3
39	Aix rotonde office du tourisme	trafic	2,7	< 0,3	< 0,1	0,5	1,2	0,1	< 0,2	0,4
174	Vitrolles Le Griffon arrêt bus le griffon	trafic	2,2	< 0,5	-	0,5	1,6	< 0,2	< 0,3	0,5
183	Aix Roy René station Aix centre	trafic	2,1	< 0,3	< 0,1	0,4	1,0	0,1	< 0,2	0,4
186	Pernes Mirabeau station	peu urbain	2,1	< 0,3	< 0,1	0,4	1,3	< 0,1	< 0,2	0,4
163	Calas rue du Baséli	peu urbain	2,1	< 0,5	-	0,5	1,4	< 0,2	< 0,3	0,5
164	Calas place de l'église	peu urbain	2,0	< 0,5	-	0,5	1,4	< 0,2	< 0,3	0,4
89	Aix Cours collège Mignet extraction parking	urbain	2,0	< 0,3	0,4	1,8	0,1	< 0,2	0,4	-
2	Lambesc mairie	peu urbain	1,8	< 0,3	< 0,1	0,4	1,4	< 0,1	< 0,2	0,4
178	Calas RD9 & RD9b	trafic	1,8	< 0,5	0,4	1,3	< 0,1	< 0,3	0,4	-
151	Pertuis Ecole Saint Roch - Labo Atmo PACA	peu urbain	1,7	< 0,3	< 0,1	0,4	1,1	0,1	< 0,2	0,4
24	RD9 Calas impasse Paul Bousin	peu urbain	1,7	< 0,5	0,4	1,1	< 0,2	< 0,3	0,3	-
18	Tholonet Palette rue de la Libération	peu urbain	1,7	< 0,3	< 0,1	0,4	1,3	< 0,1	< 0,2	0,4
156	Calas Clos Saint Imbert	peu urbain	1,7	< 0,5	-	0,4	1,3	< 0,2	< 0,3	0,4
114	Penne Mirabeau mairie	peu urbain	1,7	< 0,3	-	0,4	1,3	< 0,1	< 0,2	0,4
162	Calas rue Van Gogh	peu urbain	1,7	< 0,5	-	0,4	1,4	< 0,2	< 0,3	0,5
182	Aix Ecole d'Art station	urbain	1,7	< 0,3	< 0,1	0,4	1,0	< 0,1	< 0,2	0,3
161	Calas pont sous RD9	trafic	1,6	< 0,5	-	0,4	1,3	< 0,2	< 0,3	0,4
185	Gardanne station	industriel	1,6	< 0,3	< 0,1	0,4				

6.5. ANNEXE 6 : METHODE DE RECONSTITUTION DES DONNEES DES campagnes

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 de benzène.

I - TRAITEMENT DES DONNEES BRUTES ISSUES DES ECHANTILLONNEURS PASSIFS (TUBES) EN FONCTION DES RESULTATS DES ANALYSEURS AUTOMATIQUES, PAR CAMPAGNE DE MESURE

Ce traitement nécessite de corriger les valeurs brutes des tubes, par séries (de 15 jours ou de 7 jours), en fonction des corrélations entre échantillonneurs passifs et stations de références (sites automatiques mobiles ou fixes). La correction est construite à partir des stations doublées par les tubes (X valeurs tubes, Y valeurs stations) pour chacune des séries de prélèvement.

Pour la réalisation de ces corrections, on utilise toutes les valeurs du triplon (sauf invalidation d'un tube), associé à la seule valeur de l'analyseur.

station	code tube	tubes série 1	stations série1	tubes série2	stations série 2
Pertuis 1	151A	22,1	18	24,9	21
	151B	23	18	25	21
	151C	22,2	18	26,8	21
Aix Ouest 1	181A	51,3	41	42,8	39
	181B	49,7	41	44,9	39
	181C	50	41	43,2	39
Aix Art 1	182A	44,2	40	45	42
	182B	45,2	40	45,3	42
	182C	43,2	40	44,8	42
Aix centre 1	183A			66,1	60
	183B	73,8	66		
	183C	74,8	66	68,7	60
Milles 1	109A	33,5	45	32,9	42
	109B	33,1	45	32,2	42
	109C	34,2	45	33,3	42

Tableau 17 : Concentration station - triplon

Campagne classique : 2 périodes hiver et été, constitué chacune des 2 séries, soit 4 séries de correction.

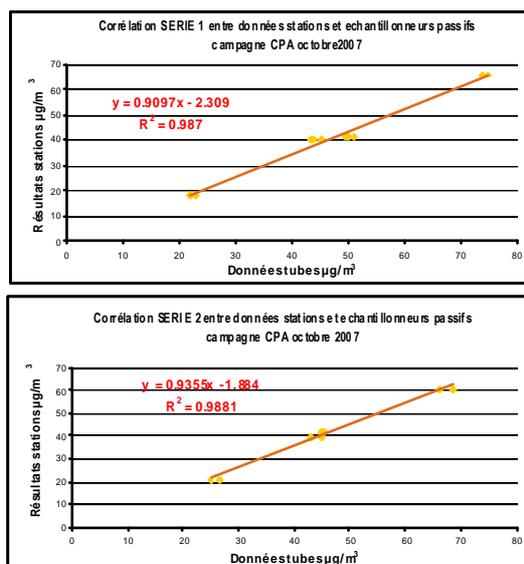


Figure 112 : Régression linéaire par série

Une fois ces régressions linéaires définies et validées, il suffit d'appliquer l'équation obtenue pour corriger la valeur de chacun des tubes. Exemple :

$$\text{Valeur reconstitué d'un tube (série1)} = 0.9097 * (\text{valeur brute du tube série 1}) - 2.309$$

Limites de la méthode pour la validation :

- Le choix des couples doit bien être validé
- Les valeurs extrêmes des tubes les plus faibles ou les plus fortes sont interpolées par rapport à la droite de régression. Leur incertitude est nettement plus importante – surestimation ou sous-estimation selon les cas. La méthode reste toutefois dans ces cas là bien meilleure qu'une simple règle de trois. Il est donc nécessaire de choisir ces sites de références afin d'avoir un écart entre les valeurs mesurées le plus grand possible : soit, disposer de toute les typologies dans le panel de référence.

Point positif de la méthode :

- La correction appliquée dépend de la concentration mesurée, donc les spécificités locales sont mieux prises en compte dans la correction.

II - INTERPOLATION ENTRE LES RESULTATS DES CAMPAGNES HIVER-ETE ET LES ESTIMATIONS MOYENNES ANNUELLES :

Les séries ont été corrigées sur l'ensemble des campagnes, été et hiver. Elles sont moyennées sur les deux périodes été et hiver pour comparaison et validation.

Ces données « hiver » et « été » nécessitent d'être rapportées à l'année.

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 :

	Concentrations mesurées en dioxyde d'azote sur les stations PACA			
	Moyenne annuelle	Moyenne Juin	Moyenne Octobre	Moyenne des périodes
Timone	51	42	54	48
Plombières	82	74	85	79,5
Rabatau	57	55	59	57
Saint Louis	38	31	44	37,5
Roy René	49	33	62	47,5
Aubagne Pénitent	27	19	33	26
Aix art	35	23	41	32
Aix Bouffan	32	18	39	28,5
Cinq Av	38	24	43	33,5
Thiers	39	26	42	34
Toulon Chalucet	44	36	51	43,5
Toulon Arsenal	37	22	47	34,5
Toulon Foch	63	53	76	64,5
Avignon Mairie	22	17	23	20
Avignon Charles de G	44	41	47	44
Pontet	25	24	26	25
Nice pellos	68	58	78	68
Antibes Guynemer	48	38	48	43
Ant Jean moulin	42	26	48	37
Cannes Broussailles	30	19	34	26,5
Grasse Clavecin	28	26	30	28
Cagnes ladoumeques	29	21	29	25
Contes 2	28	22	31	26,5
Aéroport Nice	27	20	27	23,5

Tableau 18 : Concentrations stations

Les concentrations moyennes sur les deux périodes sont moyennées et une régression linéaire simple est calculée avec toutes les stations, entre Y : la concentration moyenne annuelle et X : la moyenne des deux périodes.

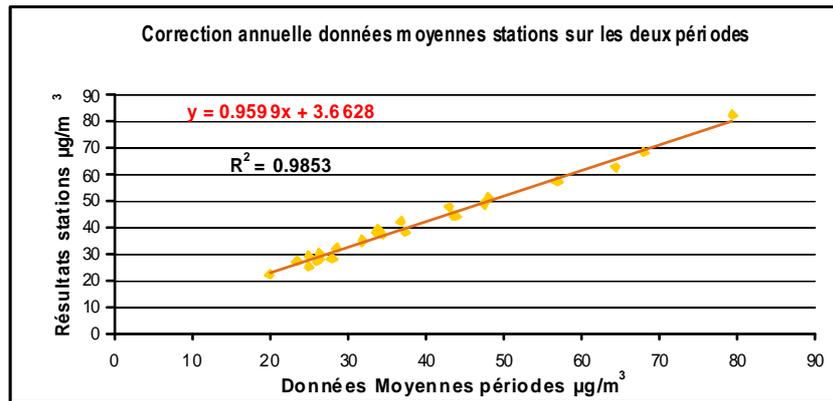


Figure 113 : Régression linéaire pour l'estimation annuelle à partir d'une moyenne « été-hiver »

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

$$\text{Estimation annuelle (site1)} = 0.9599 * (\text{Moyenne de été \& hiver site 1}) + 3.6828$$

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 :

Exemple à partir de la série de données extraites de l'ensemble des stations PACA :

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

- Y : la concentration moyenne annuelle
- X : la moyenne sur la période

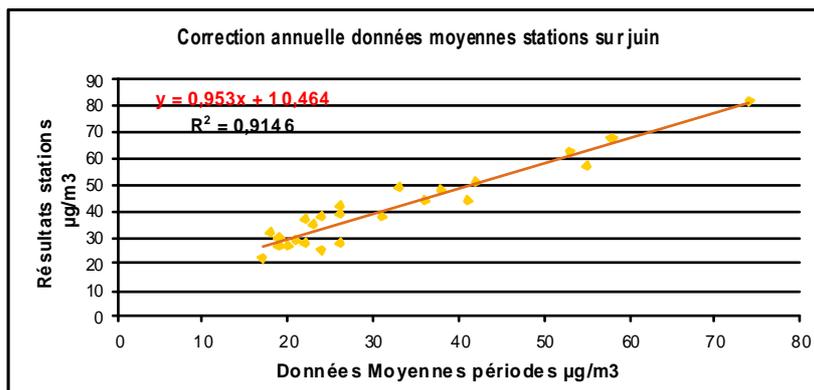


Figure 114 : Régression linéaire pour l'estimation annuelle à partir d'une seule période : « été » ou « hiver »

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

$$\text{Estimation annuelle (site1)} = 0.953 * (\text{Moyenne de la période}) + 10.464$$

6.6. ANNEXE 7: PRESENTATION DU MODULE FLOWSTAR

FLOWSTAR est un modèle d'écoulement dynamique 3D diagnostique, qui permet de recalculer les champs de vent et de turbulence tenant compte de la topographie et de l'occupation des sols. Le calcul est réalisé dans la couche limite atmosphérique selon plusieurs niveaux verticaux de 0 à 2000 m. La hauteur des sources et du panache ainsi que ses paramètres de diffusion sont alors ajustés.

FLOWSTAR réalise les calculs suivants :

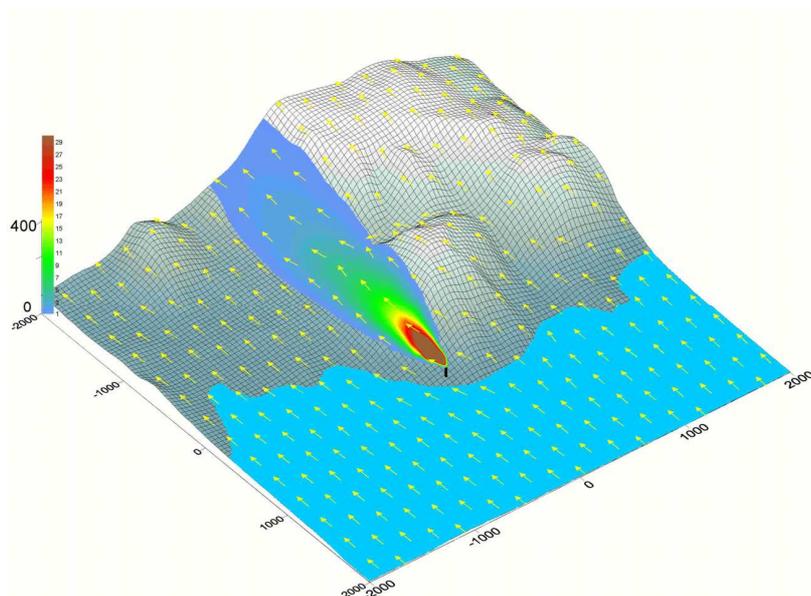
- Interpolation des données de terrain et de rugosité (si variable) sur une grille locale ;
- Calcul d'un écoulement d'air moyen en chaque point de la grille ;
- Calcul du cisaillement du vent ;
- Calcul de la turbulence qui joue sur l'étalement horizontal et vertical du panache.

A la suite de quoi, ADMS calcule la ligne de courant moyenne du panache depuis la source qui détermine la trajectoire du panache, puis la distribution de la concentration.

Le champ de vent est donc modifié, en intensité et en direction, en fonction des effets locaux du relief et de l'occupation des sols. La ligne de courant moyenne du panache et donc sa trajectoire est ensuite déduite des champs de vent recalculés par le modèle d'écoulement.

L'approche utilisée dans FLOWSTAR est dérivée du travail théorique de Jackson et Hunt (1975)⁷. Il se base sur l'hypothèse que différents processus contrôlent les flux dynamiques en couches, à différents niveaux au-dessus du sol.

Des validations du modèle (Carruthers et al, 1988)⁸ 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.



⁷ P.S. Jackson et J.C.R. Hunt, 1975, Turbulent wind flow over a low hill.

⁸ D.J. Carruthers, J.C.R. Hunt et W. Weng, 1988: Computational model of airflow over hills. FLOWSTAR I. Proc. Of Envirossoft. *Computer Techniques in Environmental Studies*, P. Zanetti, Ed., Springer Verlag.

6.7. ANNEXE 8 : DESCRIPTION DES ACTIVITES DEFINIES PAR ATMO PACA DANS L'INVENTAIRE DES EMISSIONS

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

Activité Atmo PACA	Description du contenu des activités
1	Traitement et élimination des déchets
2	Trafic non routier (activités maritime, ferroviaire et agricole)
3	Combustion en chaudière
4	Combustion en four
5	Distribution d'essence
6	Application de peinture et utilisation de solvants
7	Autres sources et puits, forêts non fertilisées et prairies
8	Cultures
9	Combustion en industries chimiques inorganiques et industries métallurgiques
10	Trafic aérien
11	Activités domestiques et jardinage
12	Combustion hors industrie (résidentiel, agriculture, forêt...)
13	Combustion en industrie
14	Combustion hors industrie (commerce, institution...)
15 à 68	Trafic routier selon les classes de voies (autoroute, urbain ou route), selon le type de véhicule (VP, VUL ou PL) et selon le département.