

L2



le sens de la ville



L2 Marseille

Etude Air/Santé Document de synthèse



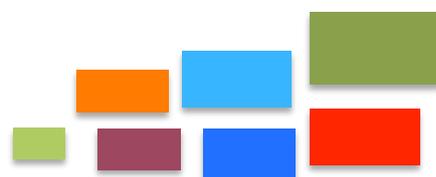


L2 Marseille

Etude Air/Santé Document de synthèse

Sommaire

Présentation du projet L2	3
Caractéristiques	3
Le financement	4
L'exploitation	4
L'étude air-santé	4
ANNEXES	7
Rapport de l'étude Air/Santé.....	9
Support de présentation des résultats de l'étude Air-Santé lors du Comité de suivi du 24 février 2012.....	103





Présentation du projet L2

Caractéristiques

La L2 doit assurer un contournement du centre de Marseille entre l'A7 et l'A50. Elle vise à contribuer aux objectifs de reconquête des voiries du centre ville, d'amélioration de la qualité de vie des habitants des quartiers et de développement de transports collectifs.

Le projet d'une longueur de 9.7 km comprend 2 sections :

- ❑ la L2 Est, reliant l'A50 (futur échangeur Florian) au giratoire de Saint-Jérôme, sur laquelle une majorité des travaux a été réalisée.
- ❑ la L2 Nord reliant Saint-Jérôme à l'A7 aux Arnavaux, dont l'intégralité des travaux est à réaliser.

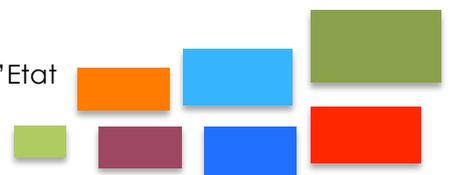
Le projet de rocade L2 consiste donc à :

- ❑ Relier les deux autoroutes A7 et A50 par une voie rapide.
- ❑ Délester le centre-ville en véhicules particuliers pour y développer les transports en commun et les modes de déplacement doubles.

Les travaux seront réalisés par la **Société de la Rocade L2 à Marseille qui a été retenue au terme de la passation d'un Contrat de Partenariat Public Privé (PPP)¹**. La mise en service de la L2 Est est prévue en juillet 2016 et octobre 2017 pour la L2 Nord. La durée du contrat est de 30 ans.

Le contrat de partenariat est piloté par la Direction Générale des Infrastructures des Transports et de la Mer (DGITM), l'Etat local et notamment la DREAL qui est en charge de la relation avec les acteurs locaux.

¹ Les travaux ont fait l'objet d'un contrat dit de « PPP », où l'Etat choisit un prestataire privé pour effectuer les travaux.





Le financement

Le financement de la construction est assuré par l'Etat et la Région PACA à hauteur de 27,5 % chacun, le Département des Bouches-du-Rhône et la Communauté Urbaine de Marseille Provence Métropole à hauteur de 22,5% chacun.

Le financement de l'entretien et de la maintenance de l'infrastructure est assuré par l'Etat.

L'exploitation

L'exploitation de la L2 est confiée à la Direction Interdépartementale des Routes Méditerranée (DIRMED), qui est l'une des 11 Directions Interdépartementales des Routes Nationales qui constituent les services routiers de l'Etat.

L'étude air-santé

La L2 traverse différents quartiers de la ville de Marseille. Aussi, la qualité de son intégration dans le tissu urbain et la limitation ou la réduction de ses nuisances potentielles ont-elles fait l'objet d'une attention particulière de la part de l'Etat, des cofinanceurs et des élus et acteurs locaux.

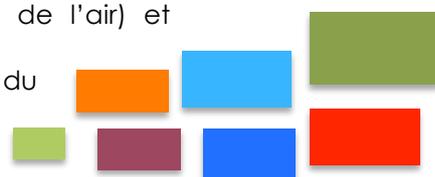
En 2010, en amont du dialogue compétitif du Contrat de PPP, l'Etat, alors maître d'ouvrage de la L2, a initié une étude Air-Santé² afin d'apprécier les incidences de la mise en service de la L2 sur la qualité de l'air à Marseille et localement au droit de la L2.

Cette étude, réalisée entre 2011 et 2012 par la DREAL PACA³ avec l'assistance d'ATMO PACA (devenu Airpaca), a consisté à :

- Dresser un état initial de la qualité de l'air le long de la L2 et à Marseille. Pour ce faire, une étude de niveau 1 a été réalisée selon la réglementation en vigueur et 16 polluants ont été analysés durant 2 campagnes de mesures (hiver et été). En complément, 6 stations fixes et 55 sites équipés d'échantillonneurs passifs du réseau Airpaca ont effectué des prélèvements.

² Le volet Air PACA de l'étude (état des lieux de la qualité de l'air) et disponible en ligne sur le site internet de l'association

³ Direction Régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement





- Simuler les incidences sur la qualité de l'air de la L2 lors de sa mise en service, à l'échelle de l'agglomération marseillaise et au droit du linéaire de la L2.
- Simuler, via la modélisation en 3 dimensions, de la dispersion des polluants, l'efficacité de différentes mesures de réduction comme par exemple les murs de dispersion, les usines de ventilation ou les revêtements absorbants.

Les résultats de l'étude ont été partagés avec les cofinanceurs et le comité de suivi que l'État a mis en place. Elle a donc donné lieu à 3 comités de suivi :

- le 3 février 2011 : partage des objectifs de l'étude Air-Santé et son mode opératoire
- le 24 juin 2011 : point sur l'avancement de l'étude et coordination entre l'élaboration du PPA⁴ et la procédure du Contrat de PPP
- le 24 février 2012 pour analyser l'impact de la mise en service de la L2 ainsi que les mesures possibles de réduction et de dispersion et prendre connaissance des suites du projet

Chaque Comité de suivi a été précédé d'un COTECH⁵ : le 17 novembre 2010 pour la présentation de l'étude Air-Santé et de la démarche de travail (cahier des charges) puis respectivement le 16 juin 2011 et le 20 février 2012.

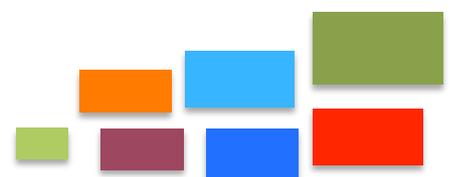
Les campagnes de mesures de l'hiver et l'été 2011 ont été réalisées à partir de techniques et moyens mobiles respectant les réglementations françaises européennes. Les résultats de l'état initial réalisé par Airpaca sont joints en annexe 1 au présent document.

En ce qui concerne les effets de la mise en service de la L2, les résultats des simulations montrent que la L2 participera à l'amélioration générale de la qualité de l'air de la ville de Marseille. Ainsi, alors qu'au moment de l'état initial, près d'1/4 de la population marseillaise est soumise à des dépassements de seuils de qualité de l'air chaque année, cette proportion sera diminuée par 2, soit 1/8 de la population marseillaise en conjuguant les effets de l'amélioration du parc de véhicules et de la mise en service de la L2. Pour autant, la mise en service de la L2 générera localement des augmentations des concentrations de pollution, principalement au droit des têtes de tunnel.

L'efficacité spécifique de solutions (murs, ventilation, mesures d'exploitation, ...) permettant de diminuer ces concentrations a été évaluée dans le cadre de l'étude.

⁴ Plan de Protection de l'Atmosphère

⁵ Comité Technique





Les résultats de ces travaux ont fait l'objet d'une synthèse et d'une présentation dans le cadre du COTECH L2 Air-Santé et du Comité de suivi Air-Santé qui est jointe en annexe 2 au présent document.

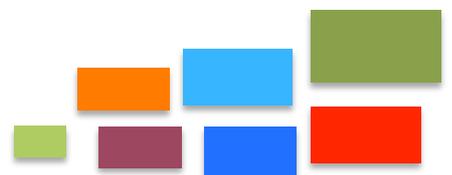
Sur la base de ces résultats, l'Etat, en concertation avec les cofinanceurs, s'est engagé à demander au titulaire du contrat de partenariat :

- ❑ De respecter la réglementation en vigueur sur la qualité de l'air
- ❑ De prendre en considération à cet effet les résultats de l'étude Air-Santé, qui constitue un document de référence pour le titulaire aux différentes étapes du projet

Le titulaire du contrat de partenariat doit ainsi respecter les engagements suivants :

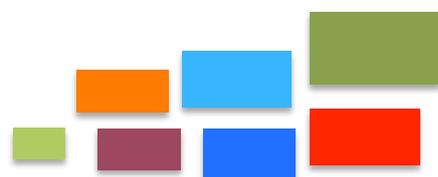
- ❑ En phase de construction, il doit préserver la qualité de l'air en limitant les incidences des travaux : poussières, engins de chantier, ...
- ❑ Une fois la L2 mise en service, il doit respecter la réglementation relative à la qualité de l'air à partir :
 - De l'approfondissement de l'étude Air-Santé et de l'évaluation des impacts du projet sur la qualité de l'air durant la phase de conception
 - De la définition de solutions d'amélioration de la situation sanitaire des populations exposées lorsque cela se justifie .

Après la mise en service, le titulaire devra respecter ces engagements durant la durée du contrat de 30 ans.





ANNEXES





ANNEXE 1

Rapport de l'étude Air-Santé

L'étude « Air et Santé » relative à la L2 a été réalisée par la DREAL PACA avec l'assistance d'AirPACA.

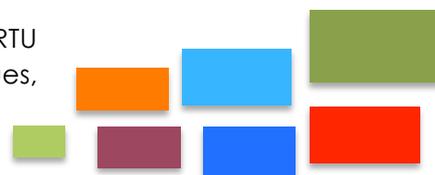
Son protocole correspond à celui d'une étude de niveau I. Les polluants retenus sont ceux de la circulaire du 25 février 2005 et l'étude a été conduite conformément à la note méthodologique du CERTU⁵ sur l'évaluation des effets sur la santé de la pollution de l'air dans les études d'impact routier.

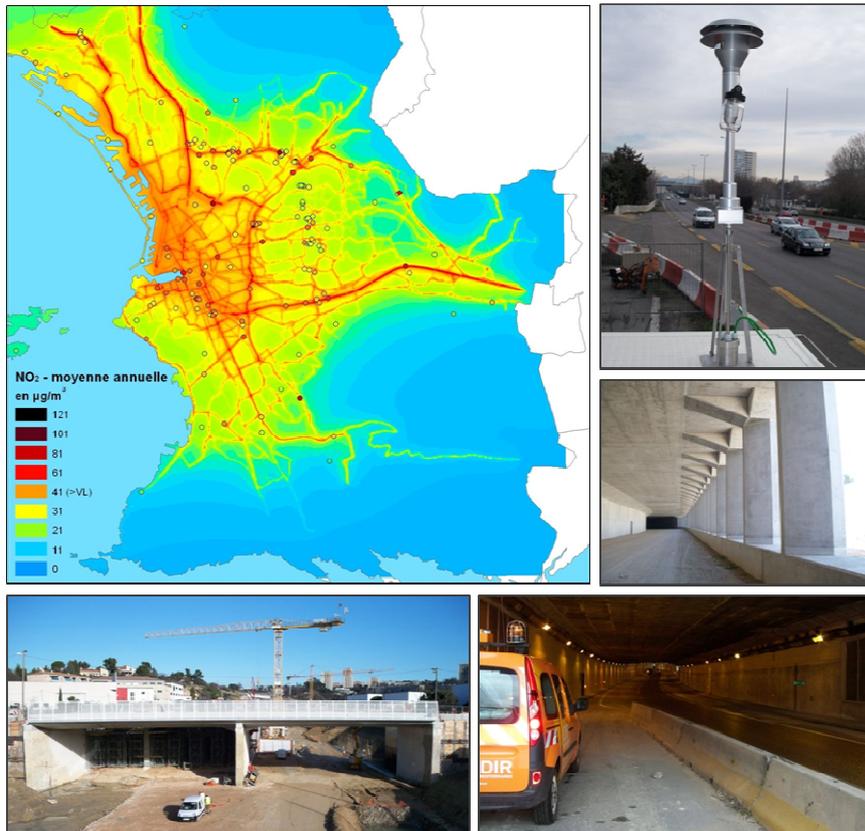
Deux campagnes de mesures (hiver et été 2011) ont été réalisées avec des mesures spécifiques le long du tracé de la L2 et des mesures réalisées grâce au réseau d'AirPACA existant à l'échelle de l'agglomération marseillaise.

Le document ci-après est le rapport de synthèse caractérisant l'état initial de la qualité de l'air le long de la L2 et à Marseille en 2011.

Il propose une présentation des objectifs de l'état initial, des méthodes et matériels employés, des protocoles et paramètres des mesures mis en œuvre et expose l'ensemble des résultats obtenus.

⁵ Organisme d'études du Ministère français de l'Urbanisme. Le CERTU a intégré le CEREMA, Centre d'Etudes et d'expertise sur les Risques, l'Environnement, la Mobilité et l'Aménagement en 2014.





RAPPORT FINAL – AOUT 2012

ÉTAT INITIAL DE LA QUALITÉ DE L'AIR MARSEILLE - ROCADE L2

HIVER - ETE 2011

Date de publication : 08/2012
Numéro de projet : 06BDR15I

P r o v e n c e - A l p e s - C ô t e d ' A z u r

www.airpaca.org

Etablissement de Martigues

Route de la Vierge - 13500 Martigues
Tél. : 04 42 13 01 20 - Fax : 04 42 13 01 29



Siège social

146 rue Paradis - Le Noilly Paradis - 13294 Marseille Cedex 06
Tél. : 04 91 32 38 00 - Fax : 04 91 32 38 29

Etablissement de Nice

333 Promenade des Anglais - 06000 Nice
Tél. : 04 93 18 88 00 - Fax : 04 93 18 83 06



RESUME

Le volet « Air et Santé » du projet routier L2 (future rocade de Marseille) a fait l'objet d'études d'impact pour ses deux sections, Est et Nord, préalablement à leur déclaration d'utilité publique (DUP). Cependant, pour prendre en compte l'évolution de la réglementation depuis la DUP de la L2 Est, il a été décidé d'approfondir ces études afin d'évaluer plus précisément l'impact de la mise en service de la L2, en utilisant la méthodologie imposée par la réglementation en vigueur. Celle-ci requiert une étude d'impact de niveau I compte tenu des caractéristiques de la future infrastructure. Les résultats seront utilisés dans la procédure pour la désignation du titulaire du contrat de PPP.

Le maître d'ouvrage est la DREAL PACA. Les partenaires techniques sont le CETE méditerranée, le bureau d'études NUMTECH et l'observatoire Air PACA.

L'étude comprend, entre autres, une estimation de l'état initial de la qualité de l'air dans une bande d'étude de 300 mètres autour du futur axe routier. Cette estimation est confiée à Air PACA.

Air PACA intervient dans la réalisation de mesures sur site, et dans l'évaluation des concentrations dans la bande d'étude et ses zones urbanisées limitrophes. Les mesures s'étendent de janvier à juillet 2011, période qui couvre les deux saisons hiver et été. Seize polluants sont mesurés, dont deux principalement liés au trafic routier, à savoir les particules PM10 et PM2,5, et le dioxyde d'azote NO₂.

Les concentrations en NO₂ sont supérieures à la valeur limite annuelle de 40 µg/m³ en bordure d'axe routier (distance inférieure à 10 mètres) sur l'avenue Allende dans le quartier de Picon-Busserine et sur l'autoroute A50. La valeur limite annuelle est respectée en fond urbain. Les sorties de tunnel favorisent l'augmentation des concentrations. Celles-ci peuvent être jusqu'à 2,5 fois supérieures à la valeur limite de 40 µg/m³ en sortie immédiate des têtes de tunnel, sur les voies de circulation. A 50 mètres de l'axe circulé, les concentrations diminuent pour devenir inférieures à la valeur limite puis atteindre progressivement la valeur de fond.

Les particules PM10 (inférieures à 10 µm), peuvent être issues du transport routier, mais d'autres sources sont également en cause. Quelle que soit la configuration des sites (trafic ou fond), les teneurs relevées autour de la L2 sont plus homogènes que pour le NO₂. Elles restent inférieures à la valeur limite annuelle de 40 µg/m³. Cependant, la valeur limite journalière de 50 µg/m³, tolérée 35 jours par an, risque fort d'être dépassée sur l'A50 à proximité de la jonction avec la L2.

Les PM2,5 sont des particules très fines (inférieures à 2,5 µm), ici essentiellement liées à la combustion des carburants. La concentration annuelle en PM2,5 relevée à l'A50 est inférieure à la valeur limite annuelle de 25 µg/m³, issue de la réglementation applicable en 2015.

Sur le site de mesure de l'A50, les résultats en composés organiques volatils tels que le benzène et le 1,3-butadiène, sont influencés par les émissions du site industriel Arkéma dans le couloir de la vallée de l'Huveaune. Les teneurs sur les autres sites de mesures de la L2 sont inférieures aux valeurs réglementaires existantes.

Les autres polluants étudiés (aldéhydes, hydrocarbures aromatiques polycycliques, dioxyde de soufre, monoxyde de carbone, métaux lourds, ozone) respectent tous leur valeur réglementaire respective sur les sites de mesure le long de la L2. Ces composés sont moins, ou indirectement, tributaires des émissions dues au transport routier (confinement en air intérieur, chauffage urbain, industrie, transformation et accumulation en zone rurale etc.).

Mots-clefs :

Marseille, état initial de la qualité de l'air 2011, autoroute urbaine, projet L2, Air PACA,.

Auteur : Aurélie Stoerkel

Relecteurs : Patricia Lozano, Alexandre Armengaud, Benjamin Rocher, Dominique Robin, Grégory Gille, Carole Genevé

SOMMAIRE

1. PRESENTATION DE L'ETUDE	5
1.1. OBJECTIFS	5
1.2. CARACTERISATION DU SITE	6
1.3. METHODES ET MATERIELS DE MESURE	7
1.3.1. METHODOLOGIE	7
1.3.2. STRATEGIE D'ECHANTILLONNAGE	7
1.3.3. MATERIELS ET EQUIPEMENTS MOBILISES	12
1.4. PROTOCOLE DE L'ETUDE	13
1.5. PARAMETRES DES MESURES	13
1.5.1. PARAMETRES PHYSICO-CHIMIQUES	13
1.5.2. PARAMETRES METEOROLOGIQUES	13
2. RESULTATS – DISCUSSION	14
2.1. PARTICULES EN SUSPENSION	14
2.1.1. ORIGINE ET DYNAMIQUE	14
2.1.2. EFFETS SANITAIRES ET REGLEMENTATION	14
2.1.3. MOYENS DE MESURE	15
2.1.4. RESULTATS ANNUELS ESTIMES	15
2.1.5. RESULTATS PAR SAISON	19
2.2. DIOXYDE D'AZOTE (NO ₂)	24
2.2.1. ORIGINE ET DYNAMIQUE	24
2.2.2. EFFETS SANITAIRES ET REGLEMENTATION	24
2.2.3. MOYENS DE MESURE	24
2.2.4. RESULTATS ANNUELS ESTIMES	24
2.2.5. RESULTATS PAR SAISON (NO ₂)	30
2.3. BENZENE (C ₆ H ₆)	33
2.3.1. ORIGINE, EFFETS SANITAIRES ET REGLEMENTATION	33
2.3.2. RESULTATS	33
2.4. ALDEHYDES	34
2.4.1. ORIGINE, EFFETS SANITAIRES ET REGLEMENTATION	34
2.4.2. RESULTATS	34
2.5. MONOXYDE DE CARBONE (CO)	35
2.5.1. ORIGINE, EFFETS SANITAIRES ET REGLEMENTATION	35
2.5.2. RESULTATS	35
2.6. OZONE (O ₃)	36
2.6.1. ORIGINE, EFFETS SANITAIRES ET REGLEMENTATION	36
2.6.2. RESULTATS	36
2.7. DIOXYDE DE SOUFRE (SO ₂)	39
2.7.1. ORIGINE, EFFETS SANITAIRES ET REGLEMENTATION	39
2.7.2. RESULTATS	39
2.8. HYDROCARBURES AROMATIQUES POLYCYCLIQUES (HAP)	40
2.8.1. ORIGINE, EFFETS SANITAIRES ET REGLEMENTATION	40
2.8.2. RESULTATS	40
2.9. METAUX LOURDS	41
2.9.1. ORIGINE, EFFETS SANITAIRES ET REGLEMENTATION	41
2.9.2. RESULTATS	41
2.10. 1,3-BUTADIENE	44
2.10.1. ORIGINE ET EFFETS SANITAIRES	44
2.10.2. RESULTATS	44
3. CONCLUSION	48

4. REFERENCES	54
5. LISTE DES TABLEAUX ET FIGURES	56
6. ANNEXES	58
6.1. ANNEXE 1 : CIRCULAIRE INTERMINISTERIELLE GDS/SD7B N° 2005-273 DU 25 FEVRIER 200558	
6.2. ANNEXE 2 : DESCRIPTIF DES APPAREILS DE MESURES : METHODES DE MESURES ET UTILISATION	70
6.3. ANNEXE 3 : EMISSIONS EN PM10 ET NO _x PAR LE PARC ROULANT EN PACA	71
6.4. ANNEXE 4 : CONCENTRATIONS EN PM10 SUR L'AUTOROUTE A7.....	73
6.5. ANNEXE 5 : EVOLUTION DU TRAFIC (2009) ET DES PM10 (2011) SUR L'A50 A L'ENTREE DE MARSEILLE	75
6.6. ANNEXE 7 : METHODE DE RECONSTITUTION DES DONNEES DES CAMPAGNES	76
6.6.1. TRAITEMENT DES DONNEES BRUTES ISSUES DES ECHANTILLONNEURS PASSIFS (TUBES) EN FONCTION DES RESULTATS DES ANALYSEURS AUTOMATIQUES, PAR CAMPAGNE DE MESURE	76
6.6.2. INTERPOLATION ENTRE LES RESULTATS DES CAMPAGNES HIVER-ETE ET LES ESTIMATIONS MOYENNES ANNUELLES :	77
6.6.3. CAS PARTICULIER EN RAISON DE DONNEES MANQUANTES SUR UNE DES SERIES.....	78
6.7. ANNEXE 7 : RESULTATS COMPLETS NO ₂ - TUBES PASSIFS L2.....	79
6.8. ANNEXE 8 : RESULTATS COMPLETS BTEX - TUBES PASSIFS L2	81
6.9. ANNEXE 9 : RESULTATS COMPLETS ALDEHYDES PAR SAISON - TUBES PASSIFS L2.....	82
6.10. ANNEXE 10 : DIAGRAMME EN BOITE	84
6.11. ANNEXE 11 : CAMPAGNE DE MESURES AU PARC DE LA MOLINE – L2 EST.....	85
6.11.1. CONTEXTE.....	85
6.11.2. EMBLACEMENT.....	85
6.11.3. RESULTATS.....	86
6.11.4. CONCLUSION	93

1. PRESENTATION DE L'ETUDE

PREAMBULE (DREAL PACA, 2010)

Le projet L2 est une autoroute urbaine de 9 km de long, divisée en deux sections, une au Nord de Marseille en contact avec l'A7, et une seconde à l'Est reliée à l'A50. Il s'agit d'une rocade de 2x3 voies (Figure 1). La mise en service est prévue pour fin 2016, avec un trafic moyen journalier annuel (TMJA) pouvant atteindre 140 000 véhicules/jour, trafic comparable à celui de l'A7 et légèrement supérieur à celui de l'A50 (respectivement 138 000 et 107 000 véhicules/jour).

Ainsi, les objectifs de la rocade « L2 » sont doubles :

- Relier les deux autoroutes par une voie rapide,
- Délester le centre-ville en véhicules particuliers pour y développer les transports en commun et les modes de déplacement doux.

1.1. OBJECTIFS

La DREAL PACA est le maître d'ouvrage du projet L2. La réalisation du projet comprend un volet « Air et Santé » au sein duquel figure une étude d'impact de niveau I. C'est dans ce cadre qu'Atmo PACA a été sollicitée en tant qu'expert de mesure de la qualité de l'air. Atmo PACA est agréée par le Ministère de l'Ecologie, du Développement durable, des Transports et du Logement, dans le cadre de la loi sur l'air du 30 décembre 1996, pour assurer la mise en œuvre de la surveillance de la qualité de l'air et de l'information sur la région PACA.

Les mesures réalisées pour cette étude intègrent les polluants de la circulaire du 25 février 2005 et sont conduites conformément à la note méthodologique du CERTU relative à l'évaluation des effets sur la santé de la pollution de l'air dans les études d'impact routier (REFERENCES ?).

La réalisation de l'état initial d'une campagne de mesure de la qualité de l'air implique les objectifs suivants :

- Effectuer une évaluation de la qualité de l'air pour la situation actuelle dans l'aire d'étude au moyen de campagnes de mesures, estimer les niveaux des polluants en les rapportant aux normes annuelles en vigueur,
- Présenter les concentrations des polluants étudiés sous forme de cartographie,
- A partir du trafic estimé par le CETE Méditerranée, calculer les émissions des polluants sur le réseau routier avant et après la mise en circulation de la L2.
- Fournir l'ensemble de ces résultats au partenaire chargé de la modélisation et de la cartographie de la qualité de l'air dans la zone d'étude : NUMTECH.

1.2. CARACTERISATION DU SITE

L'étude « Air et Santé » de la L2 est classée « étude niveau I » d'après la note méthodologique du CERTU (Annexe 1 : Circulaire interministérielle GDS/SD7B n° 2005-273 du 25 février 2005), ce qui détermine la liste des polluants à investiguer et le cadrage du domaine d'étude représenté en Figure 1. La bande d'étude, quant à elle, se situe à 300 mètres de part et d'autre de l'axe. Elle est déterminée par des critères de trafic, et notamment par le trafic prévisionnel attendu de plus de 100 000 véhicules par jour sur l'axe.

La Figure 1 nous indique également les principales liaisons routières, actuellement en circulation, entre les autoroutes nord et est. En traits pleins sont représentées les liaisons empruntées par tous types de véhicules ; en pointillés figurent les tunnels « Vieux-Port » et « Prado-Carénage », espaces souterrains au sein desquels seuls les véhicules légers sont autorisés. Les vitesses y sont limitées respectivement à 50 km/h et 60 km/h. Une fois mise en service, la L2, en tracé bleu et blanc, fera alors office de voie rapide puisqu'elle sera majoritairement limitée à 90 km/h.

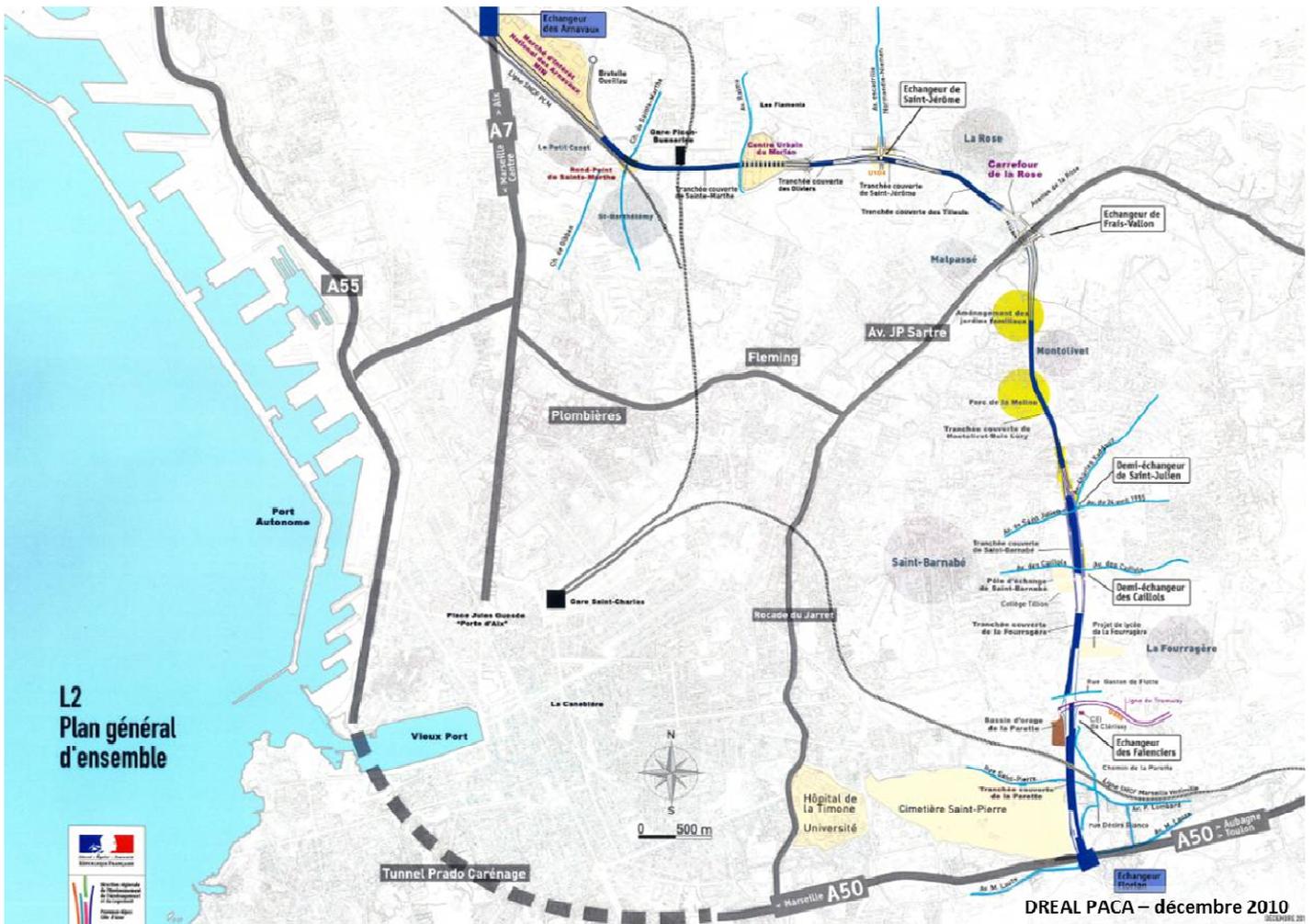


Figure 1 : Liaisons routières A7/A55 - A50 existantes, et en projet (L2)

La section nord de la L2, longue de 3,5 km, suit le tracé du boulevard Salvador Allende, actuellement en 2x2 voies avec un trafic moyen journalier de 50 000 véhicules/jour. La future autoroute, à 2x3 voies, sera couverte à 65%. Cet axe est situé dans les quartiers nord de Marseille, zone particulièrement urbanisée. Il commence au rond-point de Sainte Marthe, continue sur la zone commerciale du Merlan, puis sur le quartier Saint Jérôme, et se termine à l'échangeur de Frais Vallon. La jonction de la L2 avec l'autoroute A7 est prévue au niveau du MIN (Marché d'Intérêt National) des Amavaux.

La section est de la L2 est en cours de construction et son achèvement sera confié au titulaire du contrat de partenariat. Il s'agit d'une 2x3 voies de 5,2 km, couverte à 70%. Elle débute à Frais Vallon, se poursuit sur les quartiers de Montolivet, Bois Luzy, Saint Barnabé, la Fourragère et rejoint l'A50 à l'échangeur Florian.

1.3. METHODES ET MATERIELS DE MESURE

1.3.1. METHODOLOGIE

Deux méthodologies sont mises en œuvre pour la mesure des polluants sur le domaine d'étude :

- La mise en place de capteurs dits « tubes passifs » légers fonctionnant par prélèvement passif (Annexe 2 : Descriptif des appareils de mesures : méthodes de mesures et utilisation) disposés sur le domaine d'étude de manière à connaître le comportement du polluant (NO₂, benzène et aldéhydes) à grande échelle. 210 capteurs ont été placés dont 59 le long du tracé L2. Ces tubes passifs présentent l'avantage d'être légers, sans entretien particulier lors de leur fonctionnement et bon marché d'un point de vue humain et matériel.
- La mise en place de stations de mesures temporaires sur les cinq sites stratégiques de la L2 (voir Figure 2). Ces stations sont équipées d'analyseurs automatiques mesurant les concentrations à un pas de temps au quart horaire (Annexe 2 : Descriptif des appareils de mesures : méthodes de mesures et utilisation). Ce matériel permet de suivre de façon permanente les évolutions des concentrations (NO₂, O₃, SO₂, particules), et sa durée de fonctionnement est sans limite. En revanche, il s'agit d'une installation plus lourde, nécessitant un raccordement électrique, des phases de démarrage, une surveillance régulière de ses enregistrements, et le coût est plus important que les capteurs précédents. Il n'est donc pas possible de disposer un appareil de mesure sur 210 sites. Les stations disposent également de préleveurs de particules bas débit (métaux lourds) et haut débit (Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques) (voir § 2.1.3). Des canisters (Annexe 2 : Descriptif des appareils de mesures : méthodes de mesures et utilisation) permettant la récupération et l'analyse de COV sont aussi placés au niveau des cinq stations L2.

1.3.2. STRATEGIE D'ECHANTILLONNAGE

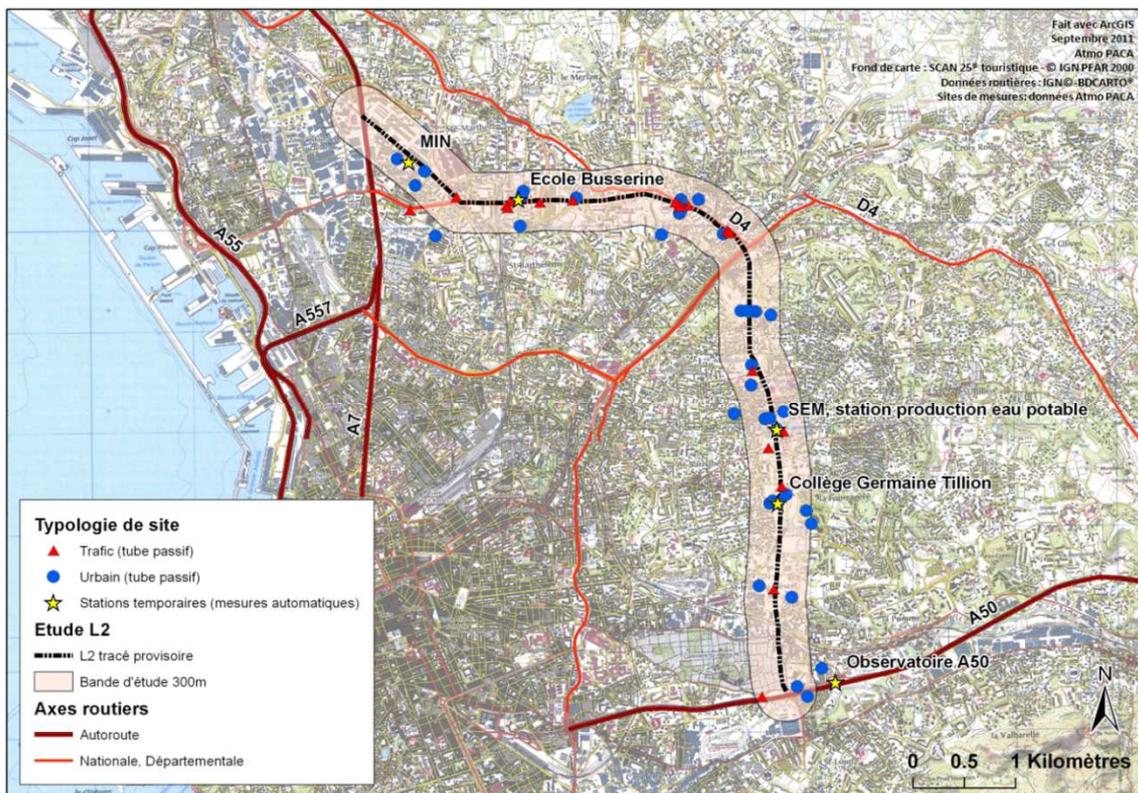


Figure 2 : Echantillonnage dans la bande d'étude L2

Les mesures sont réalisées le long de la L2, dans la bande d'étude des 300 mètres (les critères de distance à l'axe sont énoncés dans l'Annexe 1 : Circulaire interministérielle GDS/SD7B n° 2005-273 du 25 février 2005) :

- Sur **59 sites par tubes passifs**,
- Sur **5 sites par des stations équipées** de moyens de mesures automatiques.

22 des 59 sites équipés en tubes passifs sont des **sites « trafic »** (triangle, Figure 2), c'est-à-dire situés à moins de 5 m d'une voirie supportant un trafic minimal de 10 000 véhicules par jour. L'objectif est de fournir des informations sur les concentrations mesurées dans des zones représentatives du niveau maximum d'exposition auquel la population, située en proximité d'une infrastructure routière, est susceptible d'être exposée (ADEME, 2002).

Les **37 autres sites** échantillonnés sont des **sites dits « urbains »**. Ils permettent de suivre l'exposition moyenne de la population aux phénomènes de pollution atmosphérique dits « de fond » dans les centres urbains (ADEME, 2002) (rond, Figure 2), en restant dans la bande des 300 mètres (Annexe 1 : Circulaire interministérielle GDS/SD7B n° 2005-273 du 25 février 2005).

Les stations de mesures temporaires sont au nombre de deux sur la L2 nord, et trois sur la section est (Figure 2) :

- La première station, de typologie urbaine, est proche de la zone du Marché d'Intérêt National (MIN) au sein de la Fourrière des Arnavaux (Figure 3, appellation « MIN »),
- La deuxième station, de typologie trafic, est placée à l'école de la Busserine qui est à proximité du Boulevard Allende, future L2 nord (Figure 4),
- La troisième station, actuellement de typologie urbaine (à terme il s'agira d'un site trafic puisque la L2 sera circulante), est située dans l'enceinte de la station de production d'eau potable de la SEM à Saint Barnabé ; ce site est à proximité de la future L2 est actuellement en construction (Figure 5),
- La quatrième station, actuellement de typologie urbaine (à terme il s'agira d'un site trafic puisque la L2 sera circulante), est disposée sur le stade du collègue Tillion, qui est également proche du chantier L2 est (Figure 6),
- La dernière station de mesure, de typologie trafic, est placée en bordure de l'autoroute A50, au niveau du poste de police autoroutière. Cet emplacement n'est pas le long de la L2 est mais se situe près de la jonction A50-L2 (Figure 7).

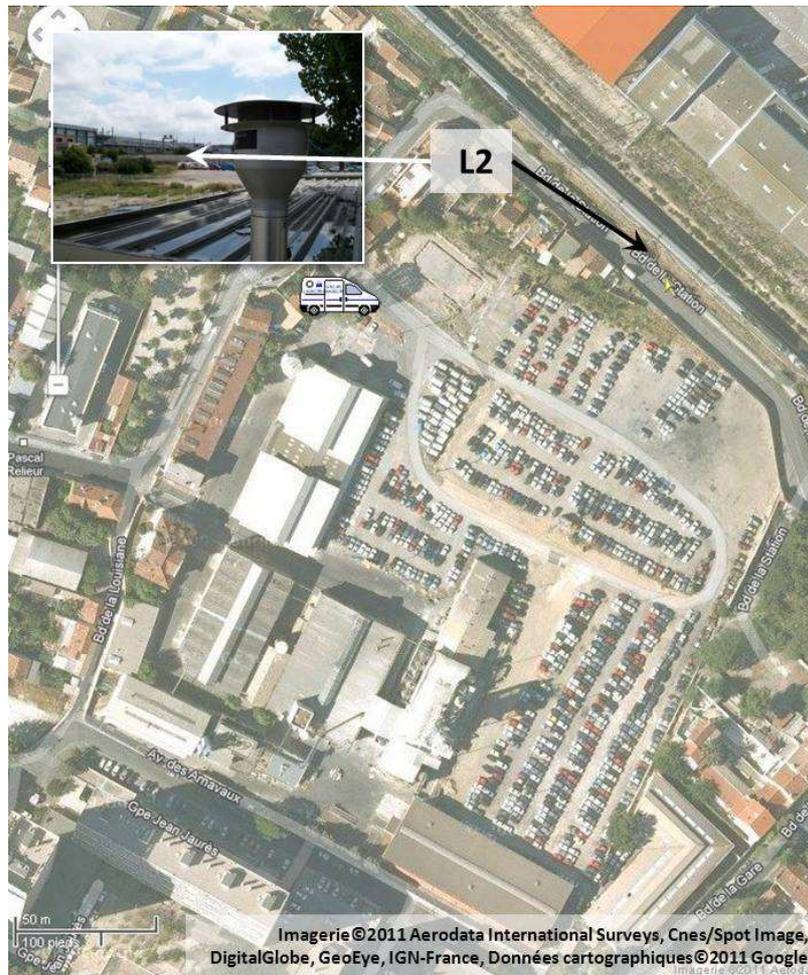


Figure 3 : Emplacement de la station de mesures MIN à la fourrière des Arnavaux



Figure 4 : Emplacement de la station de mesures de la Busserine au sein dans la cour d'école maternelle

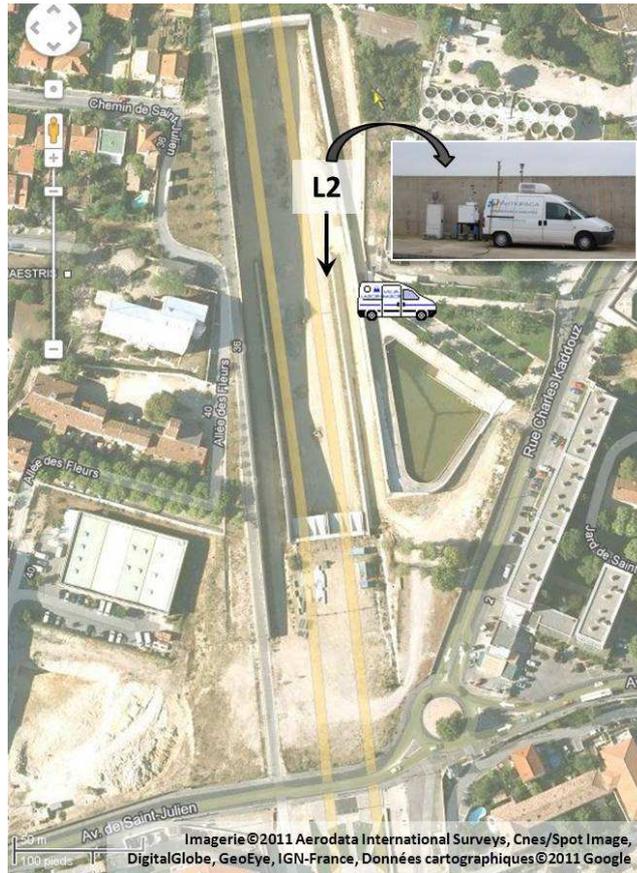


Figure 5 : Emplacement de la station de mesures de la SEM située contre le mur séparant l'enceinte de la SEM de la L2 Est



Figure 6 : Emplacement de la station de mesures Tillion, située sur le stade du collège Tillion



Figure 7 : Emplacement de la station de mesures A50, au bord de l'autoroute A50

1.3.3. MATERIELS ET EQUIPEMENTS MOBILISES

Tableau 1 : Equipement des stations et sites échantillonnés, et durées de prélèvement

Emplacement de la mesure	Matériel ¹
Station du MIN (urbain) Cabine équipée	Analyseur automatique NO _x /NO/NO ₂ (5 mois) Analyseur automatique PM10 (5 mois) Préleveur bas débit PM10 (pour l'analyse des métaux lourds) (1 mois hiver en PM10 ; 2 semaines été en PM10) Préleveur haut débit PM10 (pour l'analyse des HAP) (2 semaines hiver ; 1 semaine été) Canister (prélèvement des COV) (24h l'hiver ; 24h l'été)
Station de la Busserine (trafic) Cabine équipée	Analyseur automatique NO _x /NO/NO ₂ (6 mois) Analyseur automatique PM10 (6 mois) Analyseur automatique CO (6 mois) Préleveur bas débit PM10/PM2,5 (pour l'analyse des métaux lourds) (2 mois hiver en PM2,5 ; 1 mois été en PM2,5 et 1 mois été en PM10) Préleveur haut débit PM10 (pour l'analyse des HAP) (1 semaine hiver ; 1 semaine été) Canister (prélèvement des COV) (24h l'hiver ; 48h l'été)
Station de la SEM (urbain) Camion laboratoire mobile	Analyseur automatique NO _x /NO/NO ₂ (1 mois hiver ; 1 mois été) Analyseur automatique PM10 (1 mois hiver ; 1 mois été) Analyseur automatique SO ₂ (1 mois hiver ; 1 mois été) Analyseur automatique O ₃ (1 mois hiver ; 1 mois été) Analyseur automatique CO (1 mois hiver ; 1 mois été) Préleveur bas débit PM10 (pour l'analyse des métaux lourds) (2 semaines hiver en PM10 ; 2 semaines été en PM10) Préleveur haut débit PM10 (pour l'analyse des HAP) (1 semaine hiver ; 1 semaine été) Canister (prélèvement des COV) (24h l'hiver ; 48h l'été)
Station du Collège Germaine Tillion (urbain) Camion laboratoire mobile	Analyseur automatique NO _x /NO/NO ₂ (4 mois et demi) Analyseur automatique PM10 (4 mois et demi) Analyseur automatique SO ₂ (4 mois et demi) Analyseur automatique O ₃ (4 mois et demi) Préleveur bas débit PM10 (pour l'analyse des métaux lourds) (2 semaines hiver en PM10 ; 2 semaines été en PM10) Préleveur haut débit PM10 (pour l'analyse des HAP) (1 semaine hiver ; 1 semaine été) Canister (prélèvement des COV) (24h l'hiver ; 48h l'été)
Station de l'autoroute A50 (trafic) Cabine équipée	Analyseur automatique NO _x /NO/NO ₂ (7 mois) Analyseur automatique PM10/PM2,5 (7 mois) Analyseur automatique CO (6 mois) Préleveur bas débit PM10 (pour l'analyse des métaux lourds) (2 semaines hiver en PM10 ; 2 semaines été en PM10) Préleveur haut débit PM10 (pour l'analyse des HAP) (1 semaine hiver ; 1 semaine été) Canister (prélèvement des COV) (24h l'hiver ; 48h l'été)
Bande d'étude des 300 m	59 tubes passifs NO ₂ (1 mois hiver ; 1 mois été) 27 tubes passifs BTX NO ₂ (1 mois hiver ; 1 mois été) 27 tubes passifs aldéhydes NO ₂ (1 mois hiver ; 1 mois été)

¹ Les équipements de mesures sont détaillés en Annexe 2 : Descriptif des appareils de mesures : méthodes de mesures et utilisation.

1.4. PROTCOLE DE L'ETUDE

Les exigences du protocole pour une étude d'impact de niveau I sont importantes sur le plan métrologique. Pour cela, Atmo PACA a mobilisé l'ensemble de ses moyens mobiles de mesure sur le domaine d'étude.

Atmo PACA intervient sur trois étapes :

1. La réalisation de deux campagnes de mesures d'un ou deux mois (en hiver 2011 et en été 2011) : ces campagnes de mesures utilisent les techniques et les moyens mobiles les mieux adaptés afin de respecter les réglementations françaises européennes,
2. L'exploitation des résultats comprenant la réalisation de cartographies des niveaux en polluants relevés pendant la campagne et une estimation des teneurs annuelles rapportées aux normes. Ces éléments seront repris par le prestataire en charge de la modélisation,
3. La mise à disposition du rapport final de l'étude de mesure de la qualité de l'air pour le prestataire, et accompagnement de ce dernier sous forme d'expertise pour le calage du modèle de l'état initial.

1.5. PARAMETRES DES MESURES

1.5.1. PARAMETRES PHYSICO-CHIMIQUES

Les différents paramètres de qualité de l'air, évalués par Atmo PACA, sont définis par la méthodologie du CERTU et dans la circulaire du 25 février 2005 pour une étude d'impact de niveau I d'aménagement des axes routiers (CERTU, 2005). Il s'agit :

- Des oxydes d'azote, dont le dioxyde d'azote **NO₂**,
- Des **PM₁₀**, particules en suspension d'un diamètre inférieur à 10 µm,
- Des **PM_{2,5}**, particules en suspension d'un diamètre inférieur à 2,5 µm,
- Des Benzène Toluène Xylènes (BTX), dont le **benzène** C₆H₆,
- Des aldéhydes dont l'**acroléine**, le **formaldéhyde** et l'**acétaldéhyde** (INRS, 1999, 2011, 2004),
- Du dioxyde de soufre **SO₂**,
- Des métaux lourds suivants : **nickel** (Ni), **cadmium** (Ca), **arsenic** (As), **plomb** (Pb), **mercure** (Hg), **baryum** (Ba), **chrome** (Cr),
- Des Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP), dont le **benzo[a]pyrène** B(a)P,
- Des Composés Organiques Volatils (COV), dont le **1,3-butadiène**.

1.5.2. PARAMETRES METEOROLOGIQUES

L'étude des conditions météorologiques de la zone d'étude s'appuie sur les données météorologiques mesurées par Météo France, à la station Marseille Hippodrome (direction et vitesse du vent, température, pression, précipitations, temps d'ensoleillement, rayonnement global et humidité relative). Des données complémentaires ont été observées à titre indicatif avec les sorties du modèle météo dynamique WRF d'Atmo PACA (www.aires-mediterranee.org).

2. RESULTATS – DISCUSSION

2.1. PARTICULES EN SUSPENSION

2.1.1. ORIGINE ET DYNAMIQUE

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

- La fraction thoracique des particules appelée PM₁₀ (particules de diamètre aérodynamique inférieur à 10 µm)
- Les particules plus fines, ou fraction alvéolaire, appelées PM_{2,5} (diamètre aérodynamique inférieur à 2,5 µm)

La taille des particules détermine leur temps de suspension dans l'atmosphère. En effet, si les PM₁₀ finissent par disparaître de l'air ambiant dans les quelques heures qui suivent leur émission de par l'effet de la sédimentation et des précipitations, les PM_{2,5} peuvent rester en suspension pendant des jours, voire pendant plusieurs semaines. Par conséquent, ces dernières particules peuvent parcourir de longues distances.

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

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

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

2.1.2. EFFETS SANITAIRES ET REGLEMENTATION

Ses effets sur la santé sont une altération de la fonction respiratoire chez l'enfant en particulier, une irritation des voies respiratoires inférieures, des effets mutagènes et cancérigènes (dus notamment aux hydrocarbures aromatiques polycycliques, adsorbés à la surface des particules) et une mortalité prématurée. Selon leurs tailles, ces particules fines ont une pénétration différente dans le système respiratoire ; plus elles sont fines, plus elles sont susceptibles de pénétrer profondément dans le système respiratoire, jusqu'au niveau des alvéoles pulmonaires pour les PM_{2,5}.

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

La valeur limite annuelle en PM₁₀ est de 40 µg/m³ ; la valeur limite journalière est de 50 µg/m³ à ne pas dépasser plus de 35 jours par an (décret n°2010-1250 du 23 octobre 2010).

La valeur limite applicable en 2015 pour les PM_{2,5} est fixée à 25 µg/m³ (décret n°2010-1250 du 23 octobre 2010).

2.1.3. MOYENS DE MESURE

Les particules PM10 et PM2,5 sont mesurées par des analyseurs automatiques fournissant les concentrations à un pas de temps au quart horaire (Annexe 2 : Descriptif des appareils de mesures : méthodes de mesures et utilisation). Ceux-ci sont placés au sein des cinq stations temporaires dédiées à l'étude L2 (voir § 1.3).

Les particules sont également récupérées à l'aide de préleveurs haut et bas débit, disposés eux aussi aux cinq stations de mesure dédiées à la L2 (Annexe 2 : Descriptif des appareils de mesures : méthodes de mesures et utilisation). Ces préleveurs ne quantifient pas automatiquement les particules. Ils aspirent l'air ambiant et stockent les particules sur des filtres destinés à une analyse en laboratoire a posteriori. Il est alors possible à partir des filtres colmatés de déterminer la concentration et surtout la nature des composés adsorbés sur ces poussières : Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP) et métaux lourds (voir § 2.8).

2.1.4. RESULTATS ANNUELS ESTIMES

Particules inférieures à 10 µm (PM10)

Les **concentrations en PM10 le long de la L2 sont assez homogènes**, qu'il s'agisse d'une station trafic ou d'une station de fond urbain. Les **moyennes annuelles sont toutes inférieures à la valeur limite annuelle de 40 µg/m³** (Tableau 2) Elles sont comprises entre 32 et 37 µg/m³. Ces moyennes se situent entre celle du site de Cinq Avenues avec 28 µg/m³ (station est caractéristique du fond de base en centre-ville) et le site trafic très empoussiéré de Rabatau avec 49 µg/m³.

Tableau 2 : Evaluation des niveaux de PM10

PM10 en µg/m ³ .	Station permanente Cinq Avenues (urbain)	Station permanente Rabatau (trafic)	Station L2-Busserine (trafic)	Station L2-A50 (trafic)	Station L2-SEM (urbain)	Station L2-MIN (urbain)	Station L2-Collège Tillion (urbain)
Moyenne annuelle Valeur limite pour la protection de la santé humaine : 40 µg/m³	28	49	33	32	37	33	33
Maximum journalier	72 2/02/11	98 29/03/11	61 8/04/11	73 9/02/11	85 2/02/11	78 12/04/11	95 12/04/11
Nombre de jours de dépassement Valeur limite journalière pour la protection de la santé humaine : 50 µg/m³ , tolérance 35 j/an	10/213 soit 5%	67/133 soit 50%	16/149 soit 11%	29/160 soit 18%	18/64 soit 28%	15/143 soit 10%	7/86 soit 8%
Evaluation du risque du nombre de jours de dépassement à l'année Valeur limite journalière pour la protection de la santé humaine : 50 µg/m³ , tolérance 35 j/an	Faible 18	Assuré 142	A considérer ≈ 35	Assuré > 35	A considérer ≈ 35	Faible < 35	Faible < 35
Maximum horaire	167 14/07/11 23h	428 29/08/11 7h	176 12/04/11 14h	171 12/04/11 14h	261 8/02/11 12h	204 12/04/11 14h	403 12/04/11 15h

Le dispositif de prélèvement de la SEM est placé juste au-dessus du chantier de la tête sud du tunnel de Montolivet (Figure 8) ; les travaux de terrassement de la L2 ont probablement impacté les mesures qui révèlent la teneur la plus élevée des sites L2, soit 37 µg/m³.



Figure 8 : Zone de travaux sur la portion ouverte comprise entre le tunnel de Montolivet et la tranchée couverte de Saint Barnabé

La station de l'A50 quant à elle relève la concentration moyenne la plus faible des sites L2 en PM10, c'est-à-dire $32 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (la moyenne hivernale est de $43 \mu\text{g}/\text{m}^3$, et de $22 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en été). Plusieurs explications peuvent être retenues :

1. L'A50 n'est pas une autoroute canalisée par des bâtiments, il s'agit d'un environnement un peu plus ouvert que le tissu urbain de Marseille,
2. Le passage des véhicules lancés à 90 km/h génère un flux d'air important permettant une meilleure dispersion des particules qu'en centre-ville où les véhicules circulent à vitesse réduite.
3. Il s'avère également que la vitesse pour laquelle les émissions d'un parc roulant moyen sont minimales soit de 90 km/h, vitesse limite appliquée sur le tronçon de l'A50 où est disposée la station de mesure (voir Annexe 3 : Emissions en PM10 et NO_x par le parc roulant en PACA).

A titre comparatif, des mesures réalisées sur l'autoroute A7 sont présentées en Annexe 4 : Concentrations en PM10 sur l'autoroute A7. Y figurent les résultats d'une campagne de mesure menée par Atmo PACA, Airfobep (association de surveillance de la qualité de l'air sur l'ouest des Bouches-du-Rhône) et Atmo Rhône-Alpes sur les secteurs de Valence, Avignon sud et Salon de Provence.

Des informations mensuelles sur le trafic et les teneurs en PM10 et PM2,5 sur l'A50 sont en

Annexe 5 : Evolution du trafic (2009) et des PM10 (2011) sur l'A50 à l'entrée de Marseille.

Les maximums journaliers de la SEM ($85 \mu\text{g}/\text{m}^3$) et du collège Tillion ($95 \mu\text{g}/\text{m}^3$) se produisent le même jour, de même que leur maximum horaire : il s'agit du 12/04/11, journée sujette au mistral (vent de direction NO, atteignant des vitesses horaires de 18 m/s, Figure 9). Les stations Busserine et A50 relèvent également les maximums horaires ce jour-ci. Des zones de travaux (L2 est pour la SEM et le collège Tillion, échangeur Florian pour l'A50, rond-point du Prado pour la station Rabatau) et le terrain vague dédié à l'emplacement des voitures dans l'enceinte de la fourrière pour le site MIN, sont des environnements propices à la remise en suspension des particules PM10 lors d'épisodes de vents forts. De plus, le matériel de mesure à la SEM est placé dans l'enceinte du lit de séchage des boues, qui peuvent être source de particules lors de rafales de vent.

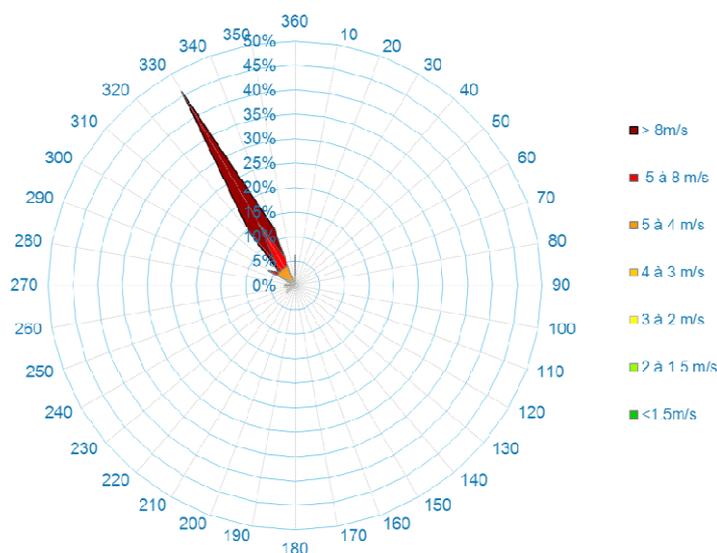


Figure 9 : Episode de mistral le 12/04/11 à la station Météo France de Marseille Hippodrome

Le nombre de jours de dépassement des $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ le plus important est enregistré à Rabatau : le site est proche des travaux de construction du tunnel du Prado carénage reliant le rond-point du Prado à l'A50 sur 1,5 km (Société Prado Sud, 2010). Ces travaux entraînent une perturbation du trafic sur la zone, voire sur une bonne partie du sud de Marseille. 67 dépassements sur 133 jours de mesures sont comptabilisés (143 jours de dépassement ont été enregistrés sur l'année).

Le site de l'A50 comptabilise sur la période de mesure 29 dépassements journaliers : 22 en hiver et 7 en été. Pour une année complète, le site de l'A50 risque d'obtenir un nombre de jours de dépassements supérieur à la valeur limite 35 jours par an (risque estimé).

La SEM dénombre 18 jours de dépassements, ce qui représente 28% des mesures totales relevées sur ce site : la tête de prélèvement de la station est soumise aux soulèvements des particules issues des travaux entre les deux tranchées couvertes de Montolivet et Saint Barnabé (Figure 8). Le nombre de dépassements annuels estimé est d'environ 35 jours. Les travaux de la L2 génèrent des particules supplémentaires à celles initialement présentes au fond urbain, ce qui contribue à rehausser le niveau moyen. Sans la présence de travaux à proximité du site de mesure, ce chiffre de 35 jours de dépassements devrait être revu à la baisse.

Par opposition, le site du collège Tillion possède le plus faible nombre de jours de dépassement : 7 durant la campagne, donc estimé inférieur aux 35 jours sur l'année. Les travaux sur la L2 à ce niveau ne sont pas permanents mais risquent de l'être plus tard : les teneurs en particules relevées actuellement sur la station de la SEM pourraient se retrouver au niveau de la station Tillion.

Le nombre de dépassements sur le site de la Busserine est de 16 jours sur 6 mois de mesure (soit 11% du temps). Les dépassements ramenés à l'année peuvent potentiellement approcher les 35 jours tolérés. La station située au MIN relève 15 journées supérieures à $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ durant la période de mesure, c'est-à-dire 10% du temps. Le risque de dépassement à l'année est considéré comme plus faible que celui de la Busserine : la période de mesure au MIN était légèrement plus courte, avec un nombre de dépassement sur la période inférieur à celui de la Busserine.

Particules inférieures à 2,5 µm (PM2,5)

Tableau 3 : Evaluation des niveaux de PM2,5

PM2,5 en µg/m ³ .	Station permanente Cinq Avenues (urbain)	Station permanente Rabatau (trafic)	Station L2-A50 (trafic)
Moyenne annuelle Valeur limite pour la protection de la santé humaine (applicable en 2015) : 25 µg/m ³	17	23	22
Maximum journalier	41 6/03/11	64 9/04/11	55 9 et 10/02/11
Maximum horaire	118 9/04/11 2h	421 9/04/11 3h	133 21/05/11 2h

La station L2 de l'A50 relève 22 µg/m³ en moyenne annuelle estimée en PM2,5, concentration supérieure à la valeur de fond de Cinq Avenues (17 µg/m³), mais inférieure à la valeur limite de 25 µg/m³. La station Rabatau obtient une moyenne similaire à l'A50 (23 µg/m³) Particules inférieures à 2,5 µm (PM2,5)

Tableau 3). La station de fond Cinq Avenues relève 17 µg/m³ en PM2,5, c'est la concentration moyenne la plus faible des trois sites mesurés en PM2,5.

La station Rabatau est influencée par les travaux du rond-point du Prado : ce sont les PM10, particules plus grosses issues de la construction et de l'excavation dans ce cas, qui sont davantage impactées que les PM2,5. Les encombrements du trafic sur le boulevard Rabatau contribuent à la teneur en PM2,5, très proche de l'A50. Un axe routier est une zone de production de particules : l'usure de la route, des pneus et du système de freinage sont les sources principales des particules PM10, les résidus de combustion issus des pots d'échappement (notamment des diesel récents) produisent des particules fines PM2,5.

Tableau 4 : Comparaison des ratios PM2,5/PM10

	Station permanente Cinq Avenues (2011) (urbain)	Station permanente Rabatau (2011) (trafic)	Station L2-A50 (2011) (trafic)	Station permanente Drôme (2011) (rurale)	Moyenne réseau stations Atmo PACA (2010)
Moyenne PM2,5	17	23	22	15	
Moyenne PM10	28	49	32	18	
Ratio PM2,5/PM10	0,61	0,47	0,69	0,83	0,62

Sur l'A50, la part des PM2,5 dans les PM10 est à peine plus élevée que celle des autres stations d'Atmo PACA : le ratio PM2,5/PM10 est de 0,69 sur l'A50 et de 0,62 en moyenne sur les autres stations (Tableau 4). La part des PM2,5 dans les PM10 de l'A50 ne se démarque pas réellement dans la mesure où l'autoroute est située en zone urbaine, environnement étant déjà soumis à certaines teneurs en PM2,5 par le trafic, le chauffage etc. La faible part des PM2,5 par rapport aux PM10 à la station Rabatau est une nouvelle fois mise en évidence (voir § précédent).

En revanche, la station Drôme sud rurale (Atmo Rhône-Alpes, 2011) obtient un ratio plus élevé que les autres ratios urbains ou trafic de Marseille. Les PM2,5 sont à peine plus faibles que les stations de fond de Marseille mais les PM10 ont en moyenne 10 µg/m³ de moins. La situation rurale permet d'obtenir les teneurs les plus basses en particules constituant une première base du fond.

2.1.5. RESULTATS PAR SAISON

Particules inférieures à 10 µm (PM10)

Le graphe en Figure 10 présente les teneurs en **PM10 par saison**, avec les données des mois de février-mars 2011 pour l'hiver, et celles des mois de juin-juillet 2011 pour l'été.

La valeur limite annuelle est présente sur le graphe (Figure 10) à titre indicatif : les données représentées ne sont pas annuelles.

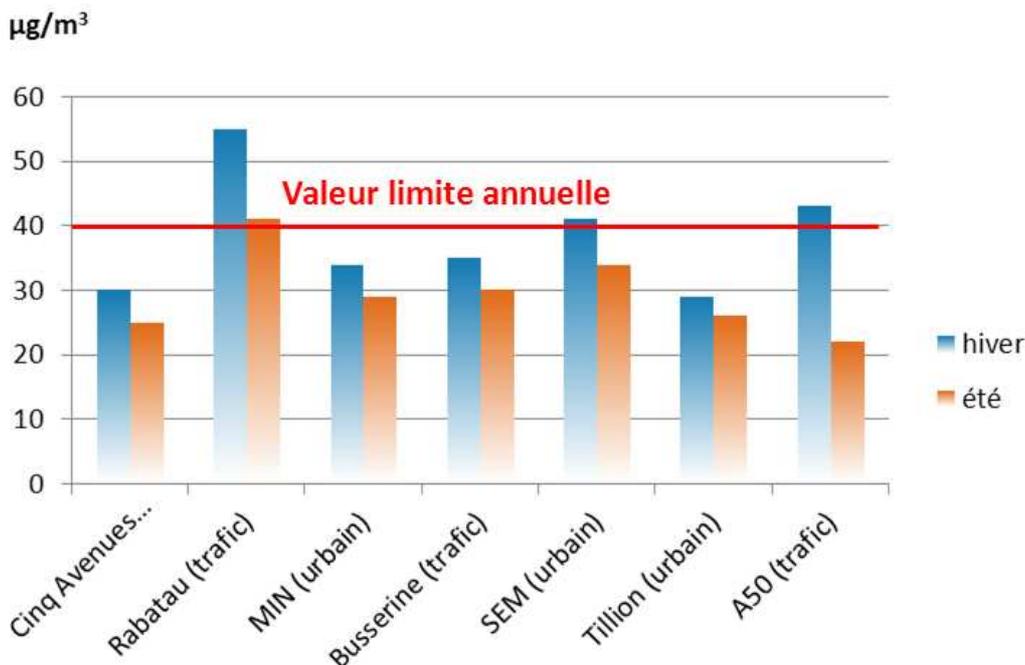


Figure 10 : Concentrations moyennes 2011 en PM10 par saison dans la bande d'étude L2

De manière générale, les concentrations hivernales sont plus importantes que les concentrations estivales. La raison est essentiellement météorologique.

En situation normale, la température de l'air diminue en fonction de l'altitude (Figure 11, gauche). En journée, le soleil chauffe l'air en surface, l'air chaud monte, une certaine turbulence se crée (processus de convection). La pollution est dispersée verticalement.

En hiver, en situation d'inversion thermique, la température augmente en fonction de l'altitude (Figure 11, droite) : le soleil ne chauffe que très peu le sol, voire pas du tout. L'air au niveau du sol est plus froid et plus lourd que l'air ambiant ; cet air a une couche d'air chaud au-dessus de lui, il stagne en bas sans échange vertical. Les polluants émis en surface s'accumulent proches du sol.

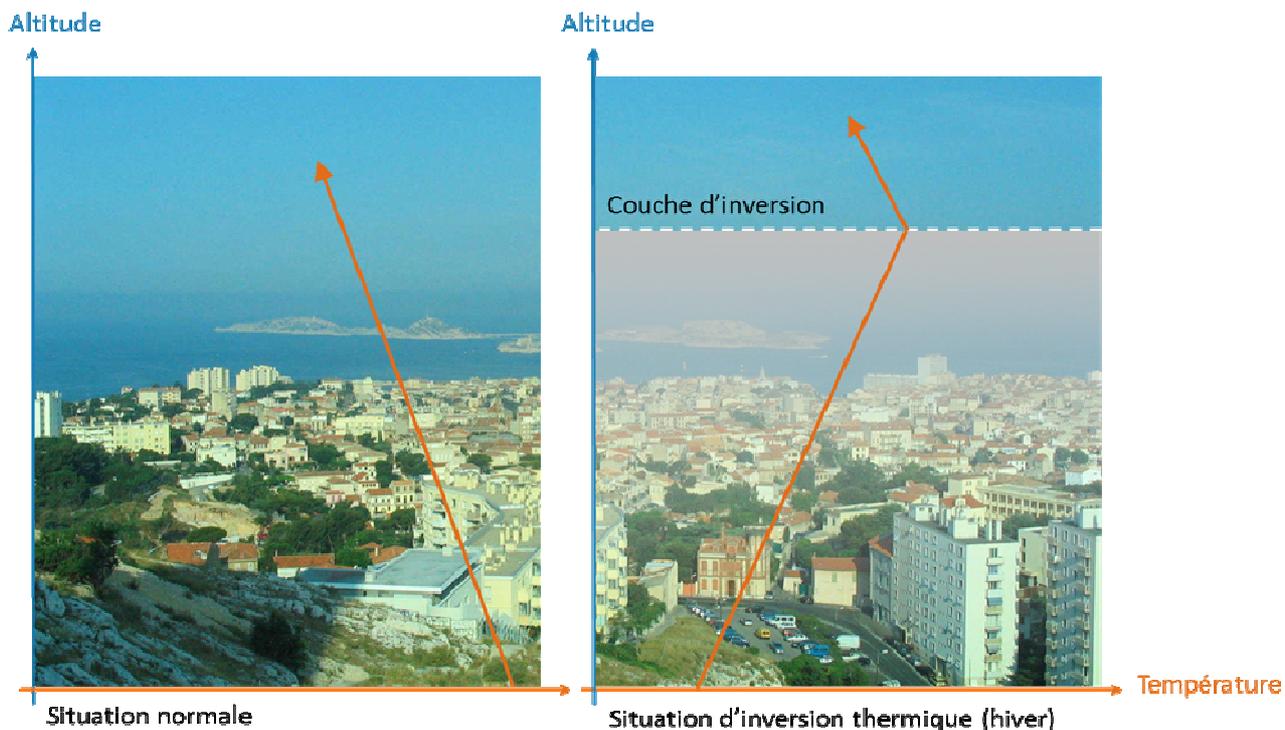


Figure 11 : Schéma du principe d'inversion thermique se produisant en hiver

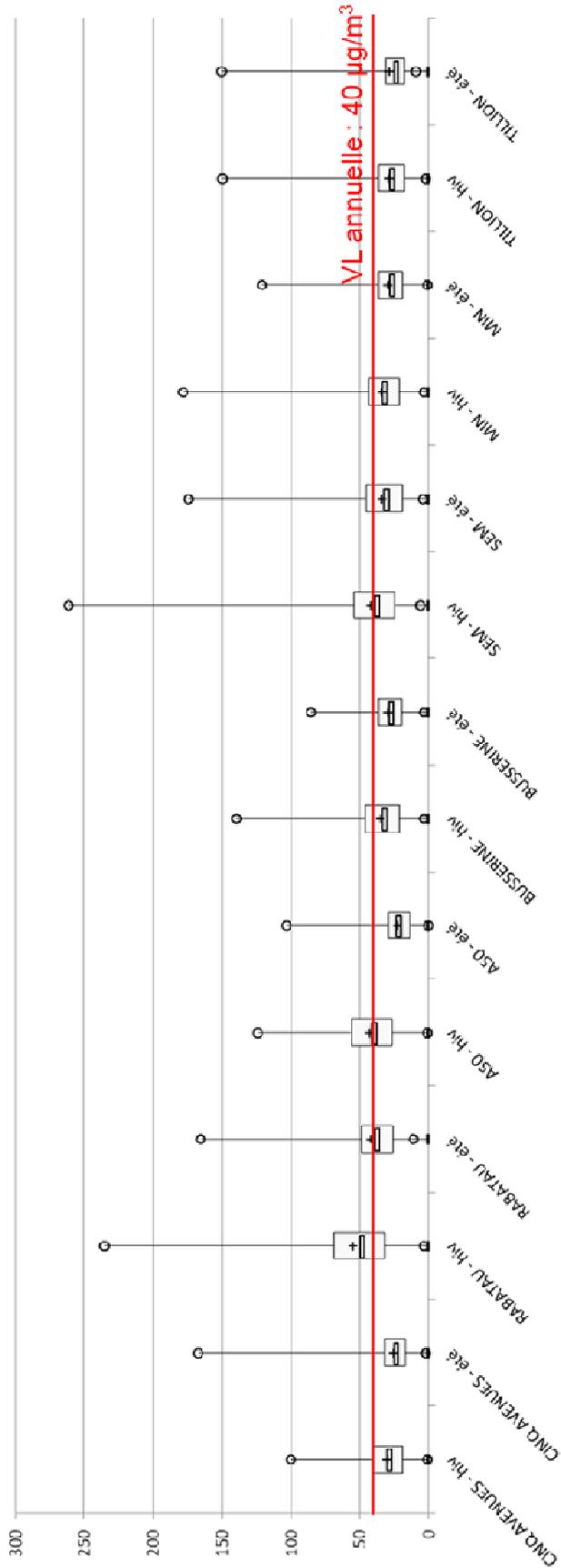
Les stations de fond Cinq Avenues, MIN et Tillion relèvent plus de particules en hiver (entre 29 et 34 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) qu'en été (de 25 à 29 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), de par la stabilité météorologique de l'hiver mais également à cause du chauffage urbain (les émissions de particules dues au chauffage urbain sont plus importantes l'hiver).

Concernant les stations trafic, seule la station Rabatau reste supérieure aux 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ au cours des deux saisons, avec 55 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ l'hiver et 41 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ l'été. Cette station est actuellement très empoussiérée (voir § 2.1.4).

La SEM et l'A50 dépassent légèrement la valeur limite en hiver. La station de la SEM était soumise aux travaux de la L2 Est entre les deux tranchées couvertes de Montolivet et de Saint Barnabé durant l'hiver ; en été, le chantier sur cette section n'était pas exploité. L'A50 relève 43 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ l'hiver contre 22 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en été. L'A50 est une autoroute urbaine, c'est-à-dire dans un environnement avec une certaine concentration de fond en particules, notamment l'hiver, où en plus du trafic routier, figure le chauffage urbain. Cette dernière source n'apparaît pas en été, et les phénomènes météorologiques plus dispersifs l'été rendent le couloir de l'A50 plus dilué en particules. (§ 2.1.4 et Figure 10)

DISPERSION DES DONNEES PM10 PAR SAISON LE LONG DE LA L2

Une explication de lecture du diagramme en boîte à moustache figure en Annexe 10 : Diagramme en boîte.



Les données sont plus dispersées l'hiver que l'été pour toutes les stations, mais le phénomène est moins prononcé que pour le NO₂.

La dispersion est plus importante pour les stations trafic (A50, Rabatau, Busserine) et celles soumises à des travaux (Rabatau et la SEM) que pour les stations de fond.

Durant la campagne hivernale, c'est la station Rabatau qui enregistre le plus de valeurs supérieures à la valeur limite (environ 60% des données) ; l'A50 et la SEM détiennent 50% des valeurs dépassant les 40 µg/m³.

En été, la station Rabatau (cumulant l'impact trafic et travaux) obtient 50% de ses valeurs supérieures aux 40 µg/m³ ; toutes les autres stations ont 75% des données inférieures à la valeur limite, quelle que soit leur typologie.

Particules inférieures à 2,5 µm (PM2,5)

La Figure 13 représente les teneurs en **PM2,5 par saison** pour trois stations de Marseille, dont l'A50 dédiée à la L2.

La valeur limite annuelle figure sur le graphe à titre indicatif : les données représentées ne sont pas annuelles. De plus, la valeur limite de 25 µg/m³ ne sera applicable qu'en janvier 2015.

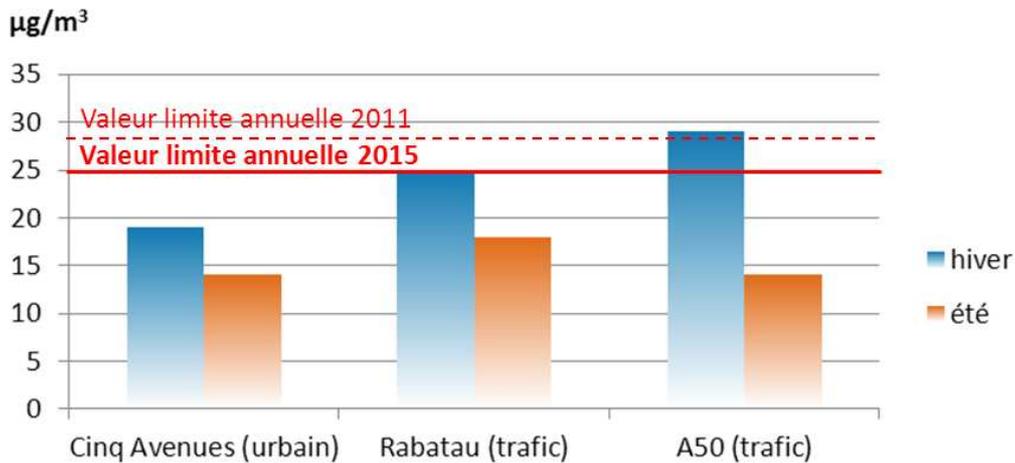


Figure 13 : Concentrations moyennes 2011 en PM2,5 par saison sur Marseille et à la station A50

Les concentrations en PM2,5 restent toujours plus faibles l'été que l'hiver pour les trois stations.

La station de fond Cinq Avenues mesure les teneurs les plus faibles en PM2,5 pour les deux saisons (hiver : 19 µg/m³, été : 14 µg/m³).

En hiver, la concentration à l'A50 est plus élevée qu'à Rabatau (29 µg/m³ contre 25 µg/m³) : les travaux de construction proches du boulevard Rabatau impactent les particules d'un diamètre plus gros (PM10) que les PM2,5 (voir § ci-dessus) ; à l'A50, le trafic constitue une des sources majeures en PM2,5, celles-ci étant produites lors de la combustion des carburants (TMJA au niveau de la station Rabatau : 11 500 véhicules/jour, TMJA au niveau de la station A50 : 107 000 véhicules/jour). La situation plus dispersive l'été perturbe les teneurs en particules dans le couloir de l'A50 qui suit la vallée de l'Huveaune.

DISPERSION DES DONNEES PM_{2,5} PAR SAISON LE LONG DE LA L2

Une explication de lecture du diagramme en boîte à moustache figure en Annexe 10 : Diagramme en boîte.

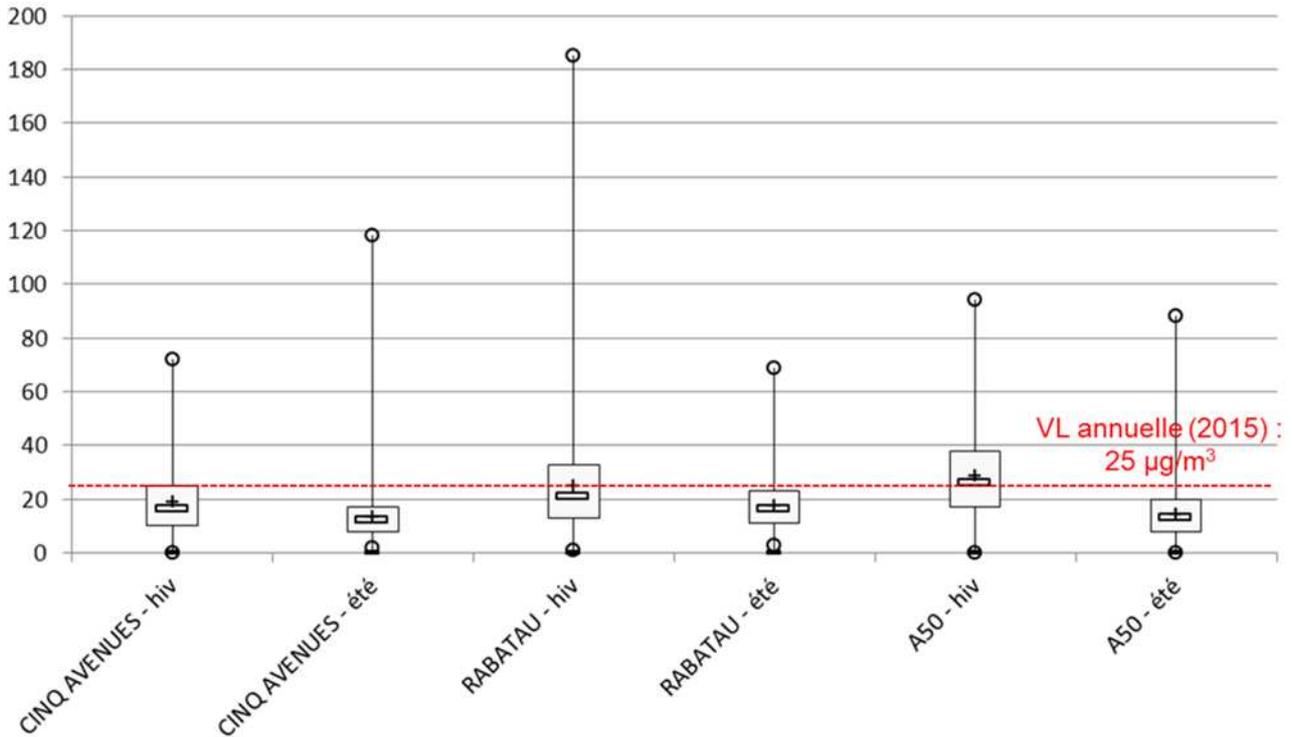


Figure 14 : Diagrammes en boîtes des données PM_{2,5} par saison sur la L2 et Marseille

L'étendue des données est plus importante l'hiver que l'été pour les trois stations mesurées.

En période hivernale :

- 50% des valeurs sont supérieures à la future valeur limite de 25 µg/m³ à l'échéance 2015 pour les deux stations trafic (Rabatau et l'A50),
- le site de fond de Cinq Avenues possède 75% de ses données inférieures à la valeur limite.

En été, toutes les stations ont au moins 75% des valeurs ne dépassant les 25 µg/m³.

2.2. DIOXYDE D'AZOTE (NO₂)

2.2.1. 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).

2.2.2. EFFETS SANITAIRES ET REGLEMENTATION

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.

La valeur limite annuelle en NO₂ est de **40 µg/m³**. Une seconde valeur limite est fixée à **200 µg/m³**, à ne pas dépasser plus de **18 heures** par an (décret n°2010-1250 du 23 octobre 2010).

Les oxydes d'azote (NO_x) sont réglementés par la valeur limite de protection de la végétation fixée à **30 µg/m³**.

2.2.3. MOYENS DE MESURE

Le dioxyde d'azote a été mesuré par tubes passifs sur tout le domaine d'étude (210 capteurs), dont 59 le long du tracé L2. Le NO₂ est également mesuré à l'aide d'analyseurs automatiques placés dans les stations de mesures temporaires (voir § 1.3). Ces analyseurs constituent la méthode de référence ; ils servent également à corriger les concentrations issues de l'analyse en laboratoire des tubes passifs. Pour chaque station, un tube passif a été positionné en doublon, ce qui permet d'avoir deux mesures de NO₂ avec deux techniques différentes (Annexe 2 : Descriptif des appareils de mesures : méthodes de mesures et utilisation).

2.2.4. RESULTATS ANNUELS ESTIMES

LE DIOXYDE D'AZOTE (NO₂) : MESURES AUTOMATIQUES

Les mesures en NO₂ ont été réalisées en mesures automatiques, fournissant des concentrations exploitables au pas de temps horaire. Les deux campagnes (hivernale : du 8/02/11 au 8/04/11, estivale : du 25/05/11 au 27/07/11) ont permis d'obtenir une moyenne annuelle pour chaque site L2.

Tableau 5 : évaluation des niveaux de NO₂

NO ₂ en µg/m ³ .	Station permanente Cinq Avenues (urbain)	Station permanente Rabatau (trafic)	Station L2-Busserine (trafic)	Station L2-A50 (trafic)	Station L2-SEM (urbain)	Station L2-MIN (urbain)	Station L2-Collège Tillion (urbain)
Moyenne annuelle Valeur limite pour la protection de la santé humaine : 40 µg/m ³	32	56	41	59	25	32	31
Maximum horaire	142 7/04/11 9h	204 24/05/11 8h	173 24/03/11 8h	212 6/05/11 6h	106 04/02/11 10h	134 7/04/11 8h	143 25/05/11 17h
Nombre d'heures de dépassement Valeur limite pour la protection de la santé humaine : 200 µg/m ³ , tolérance de 18 h/an	0	1	0	2	0	0	0
Maximum journalier	79 3/02/11	107 23/05/11	80 24/03/11	112 11/05/11	66 2/02/11	74 26/02/11	83 25/05/11

Les concentrations en NO₂ sont dépendantes du type de site mesuré.

Les sites « trafic » dépassent la valeur limite annuelle de 40 µg/m³ : l'A50 relève la moyenne la plus élevée avec 59 µg/m³, suivi de la station Rabatau avec 56 µg/m³ où des véhicules sont présents en permanence, avec un trafic fluide ou ralenti, puis la station de la Busserine qui mesure 41 µg/m³.

Les autres sites L2, de typologie « fond urbain » récoltent des valeurs très similaires à la station de fond Cinq Avenues, à savoir 31 ou 32 µg/m³.

LE DIOXYDE D'AZOTE (NO₂) : MESURES PAR TUBES PASSIFS

A l'échelle du domaine d'étude

La Figure 15 compile les résultats en NO₂ issus des capteurs passifs répartis à travers le domaine d'étude Marseille, la Penne sur Huveaune, Aubagne, Gémenos et Roquevaire, ainsi qu'un échantillonnage plus étoffé le long de la bande L2. La forme des symboles correspond à la typologie du site mesuré, à savoir un triangle pour les sites « trafic » et un rond pour les sites de fond.

Un site est dit « trafic » lorsque le capteur est placé à moins de 5 mètres de l'axe routier de manière mesurer l'impact de la pollution issue des véhicules. Pour les sites de fond, les capteurs doivent d'une part être suffisamment éloignés de toute source émettrice de façon à ne pas mesurer uniquement la pollution concentrée à la sortie de la source, l'objectif étant de mesurer l'impact de toute source de pollution confondue sur la population résidente. Les sites de fond peuvent être urbains, périurbains ou ruraux, critères variables en fonction de la densité de population.

Sur les 210 sites de mesures, 82 sont en sites trafic et 128 sites de fond.

Les couleurs des points d'échantillonnage correspondent aux concentrations annuelles estimées à partir des mesures hiver et été (Annexe 7 : Méthode de reconstitution des données des campagnes). Lorsque la couleur orange est atteinte, la valeur limite annuelle pour la protection de la santé humaine de 40 µg/m³ est dépassée.

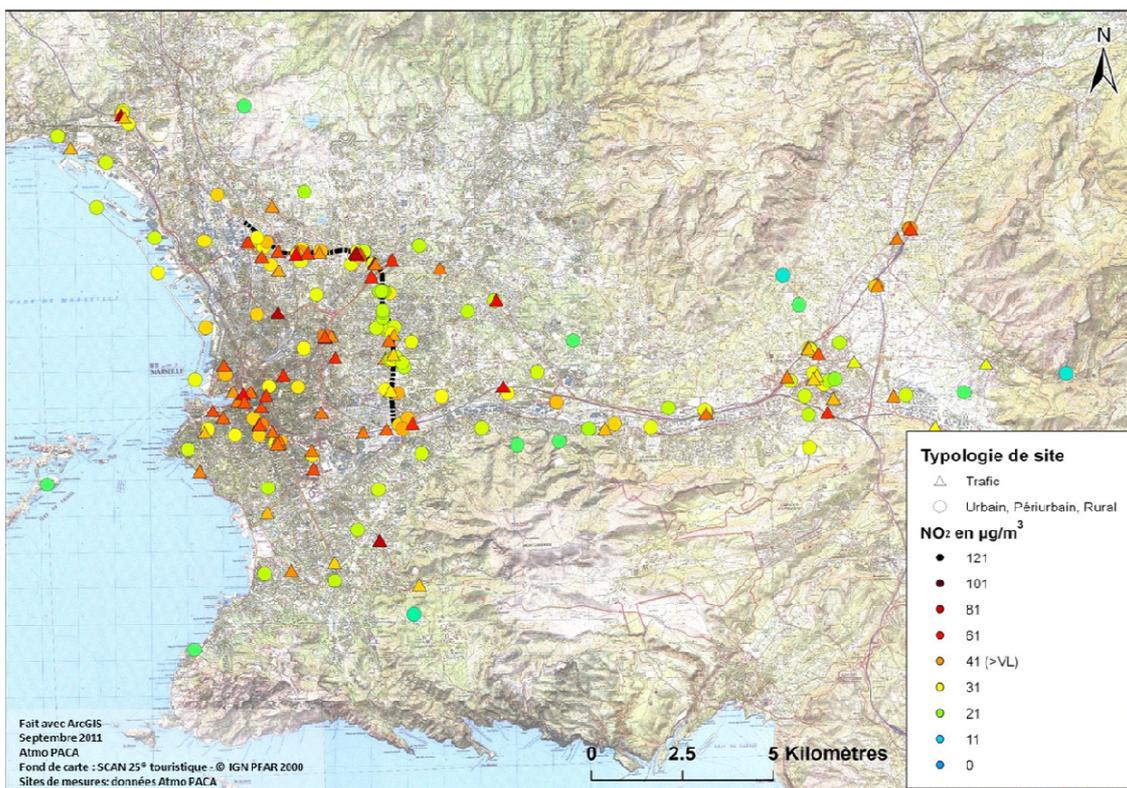


Figure 15 : Concentrations moyennes annuelles 2011 en NO₂ de Marseille à Aubagne

La plupart des sites trafic enregistrent des niveaux supérieurs à la valeur limite annuelle de 40 µg/m³. Plusieurs raisons expliquent ce constat :

- L'axe routier est une artère importante (boulevard, avenue, voie rapide) avec un trafic moyen journalier relativement élevé (à partir de 50 000 véhicules/jour),
 - o Ex : boulevard Allende (L2 nord), autoroute A55, avenue du Prado
- L'axe routier est fréquemment encombré : les véhicules à vitesse réduite émettent plus de NO₂ (Annexe 3 : Emissions en PM10 et NO_x par le parc roulant en PACA),
 - o Ex : boulevard Allende (L2 nord) aux heures de pointe, la Canebière
- L'axe routier est en montée, les véhicules émettent plus de NO₂,
 - o Ex : boulevard Allende (L2 nord) au niveau du Merlan, boulevard de la Libération
- Le point de prélèvement est en sortie de tunnel, site pour lequel la pollution est concentrée
 - o Ex : boulevard Allende (L2 nord) au niveau de la dalle des Tilleuls
- L'axe routier est dans un environnement peu dispersif type rue « canyon », c'est-à-dire bordé de part et d'autre de bâtiments hauts et plutôt étroits,
 - o Ex : rue Paradis, boulevard de la Libération

En ce qui concerne les concentrations de fond, elles sont dans 94% des cas inférieures à 40 µg/m³. Nous distinguons trois catégories en fonction des concentrations :

- les sites de fond urbain en centre-ville pour lesquels les teneurs sont comprises entre 30 et 40 µg/m³ : la qualité de l'air du centre-ville est impactée par le trafic dense, et la dispersion y est limitée ;
- les sites de fond urbain en quartiers périphériques de Marseille (L2 Est entre autres) avec des concentrations comprises entre 20 et 30 µg/m³, où le trafic peut y être localement important mais plus fluide en général. Le bâti est moins dense qu'en centre-ville ;
- les sites de fond périurbains (la Pointe Rouge, Gémenos) voire ruraux (Luminy, massif du Garlaban) aux teneurs inférieures à 20 µg/m³ : le trafic est faible, voire nul et la dispersion est bonne.

Zoom sur certains quartiers

L2 nord – la Busserine



Figure 16 : Concentrations moyennes annuelles 2011 en NO₂ sur le boulevard Allende (quartier de la Busserine)

Un échantillonnage transversal a été réalisé de part et d'autre du boulevard Allende au niveau du quartier de la Busserine (Figure 16). Cette stratégie consiste :

1. à mesurer la concentration en polluant (NO₂ en l'occurrence) au niveau de l'axe routier,
2. à mesurer la concentration en polluant à intervalle régulier en s'éloignant jusqu'à 300 mètres de l'axe (Annexe 1 : Circulaire interministérielle GDS/SD7B n° 2005-273 du 25 février 2005), ce qui permet d'observer le gradient de diminution de la pollution jusqu'à atteindre le niveau de fond.

Les sites trafic sont supérieurs à 40 µg/m³. Les deux sites trafic placés l'un en face de l'autre (avec 63 µg/m³ et 45 µg/m³) sont placés à la même distance de l'axe mais obtiennent 20 µg/m³ d'écart. A cet endroit, le boulevard Allende possède une pente : la teneur de 63 µg/m³ est placée du côté où la voie est ascendante, les véhicules sont en surconsommation de carburant, alors que la teneur de 45 µg/m³ est située du côté descendant, les véhicules sont en sous consommation.

A titre informatif, le point trafic (41 µg/m³) est situé à 15 mètres au-dessus de la chaussée du boulevard Allende.

Les concentrations des sites de fond régressent au fur et à mesure de l'éloignement de l'axe pour se rapprocher de 30 µg/m³. A partir de 50 mètres, les concentrations sont inférieures aux valeurs limites. A partir de 100 mètres, le niveau de fond est atteint ; les concentrations dans la bande d'étude des 300 mètres restent donc inférieures à la valeur limite des 40 µg/m³.

Zoom sur certains quartiers

L2 nord – la dalle des Tilleuls

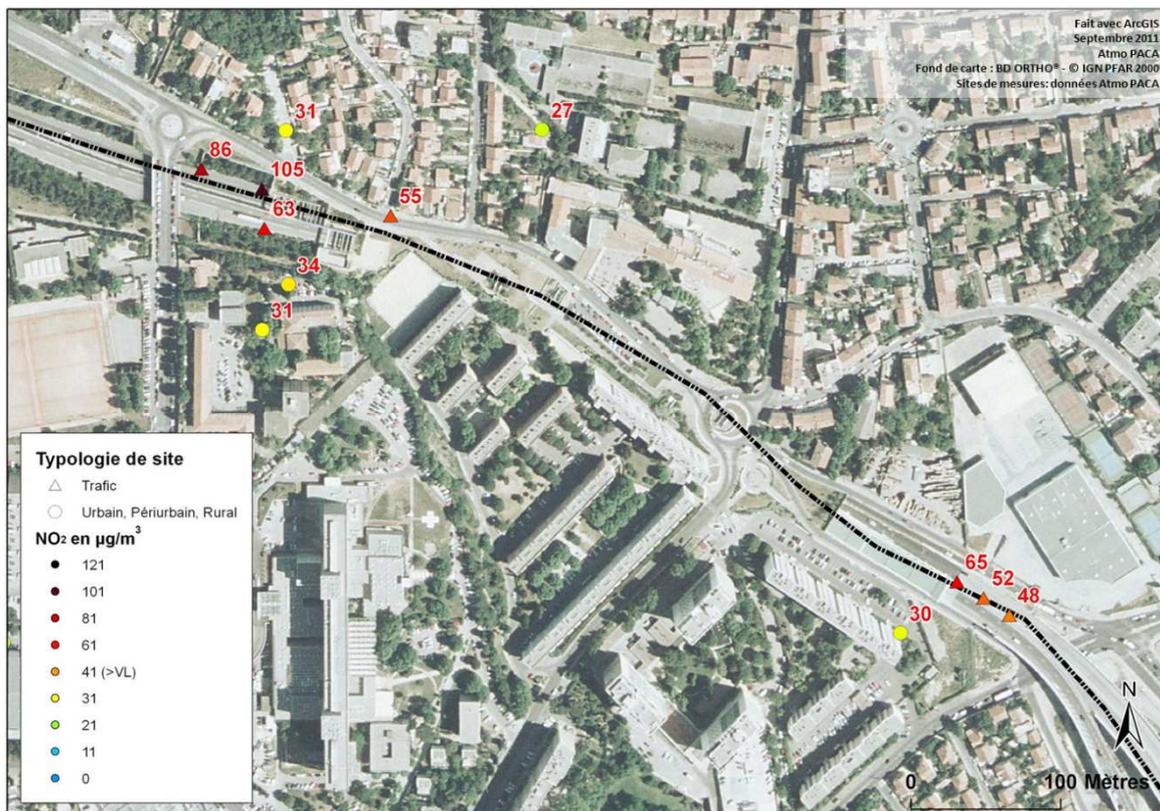


Figure 17 : Concentrations moyennes annuelles 2011 en NO₂ à la dalle des Tilleuls (quartier Saint Jérôme, la Rose)

La tranchée couverte de la dalle des Tilleuls s'étend sur plus de 400 mètres de voirie. Des points de mesure « trafic » ont été placés à la sortie des têtes du tunnel, puis un peu plus loin le long de la voie ; l'échantillonnage comprend également des points de fond disposés selon un transect pour estimer la dissipation du NO₂ de part et d'autre de l'axe.

La tête du tunnel au nord-ouest obtient les concentrations les plus fortes de tous les points échantillonnés le long de la L2. Il s'agit du site ayant une concentration moyenne annuelle de 105 µg/m³, qui est immédiatement placé à la sortie du tunnel. Cinquante mètres plus loin, la concentration est de 86 µg/m³. Le site trafic d'en face, placé à cinquante mètres de l'entrée du tunnel relève 63 µg/m³, c'est-à-dire environ 25% de moins que celui relevant 86 µg/m³. Plusieurs points sont à prendre en compte :

1. du côté sortie de tunnel : l'air contenu dans le tunnel, et donc concentré en pollution puisqu'il y est confiné, est entraîné par le flux des véhicules et se retrouve en sortie du tunnel, d'où les 105 µg/m³. De plus, la chaussée est encaissée, ce qui contraint la dispersion de la pollution. Notons également que sur cette voie, les véhicules circulent dans le sens de la montée, les échappements sont importants. Après quelques dizaines de mètres, la masse d'air commence à se dissiper, entraînant de fait une diminution de la concentration, d'où les 86 µg/m³.
2. du côté entrée de tunnel : l'air mesuré par le capteur correspond à l'air ambiant extérieur impacté par les émissions du trafic : il s'agit d'un site trafic classique. Sur cette voie, les véhicules circulent sur la descente, leurs émissions sont alors plus faibles que celles de l'autre sens de circulation. De plus, le capteur n'est pas en proximité directe du début du tunnel, d'où les 63 µg/m³ comparé aux 105 µg/m³.

Du côté sud-est, seule la sortie du tunnel a fait l'objet de mesures, l'entrée étant située plus haut. Les trois capteurs sont placés le long de la voie, espacés d'une vingtaine de mètres chacun en s'éloignant de la tête de tunnel. Le capteur le plus proche relève une concentration de 65 µg/m³, puis celle-ci diminue pour atteindre 48 µg/m³ à une cinquantaine de mètres de la sortie de tunnel. Bien qu'il s'agisse d'une sortie de tunnel, les teneurs sont plus faibles que celles de la sortie nord-ouest car :

1. cette voie de sortie débouche sur une passerelle en hauteur, beaucoup plus soumise aux mouvements d'air, et de fait ayant une meilleure dispersion de la pollution, que l'autre sortie bordée par des murs, et par des talus avec de hauts arbres,
2. l'entrée du tunnel (sud-est) n'étant pas au même endroit que la sortie, seuls les véhicules circulant sur les voies de sortie impactent les capteurs.

Cependant, bien qu'un seul sens de circulation impacte le capteur, les $65 \mu\text{g}/\text{m}^3$ sont déjà atteints : les véhicules issus du tunnel viennent d'une voie en montée, d'où des émissions importantes.

Concernant les sites de fond, leurs concentrations rejoignent celles de la Busserine, c'est-à-dire aux alentours de $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Les teneurs de fond sont néanmoins atteintes dès les premiers 50 mètres en s'éloignant de l'axe, contrairement à la Busserine où il fallait une distance un peu plus grande. Les concentrations dans la bande d'étude des 300 mètres restent donc inférieures à la valeur limite des $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

A la Busserine, la chaussée est au même niveau que son environnement extérieur, il est facile pour le nuage de pollution de s'étendre. A la tête nord-ouest du tunnel des Tilleuls, la chaussée est encaissée de 7 à 8 mètres par rapport aux niveaux environnants, le nuage est alors retenu dans cette cuvette ; au niveau de la tête de tunnel sud-est, la sortie débouche sur la passerelle surélevée de 5 mètres, plus soumise aux mouvements d'air, d'où des concentrations atténuées retrouvées au pied de la barre d'immeuble ($30 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

Zoom sur certains quartiers : L2 est

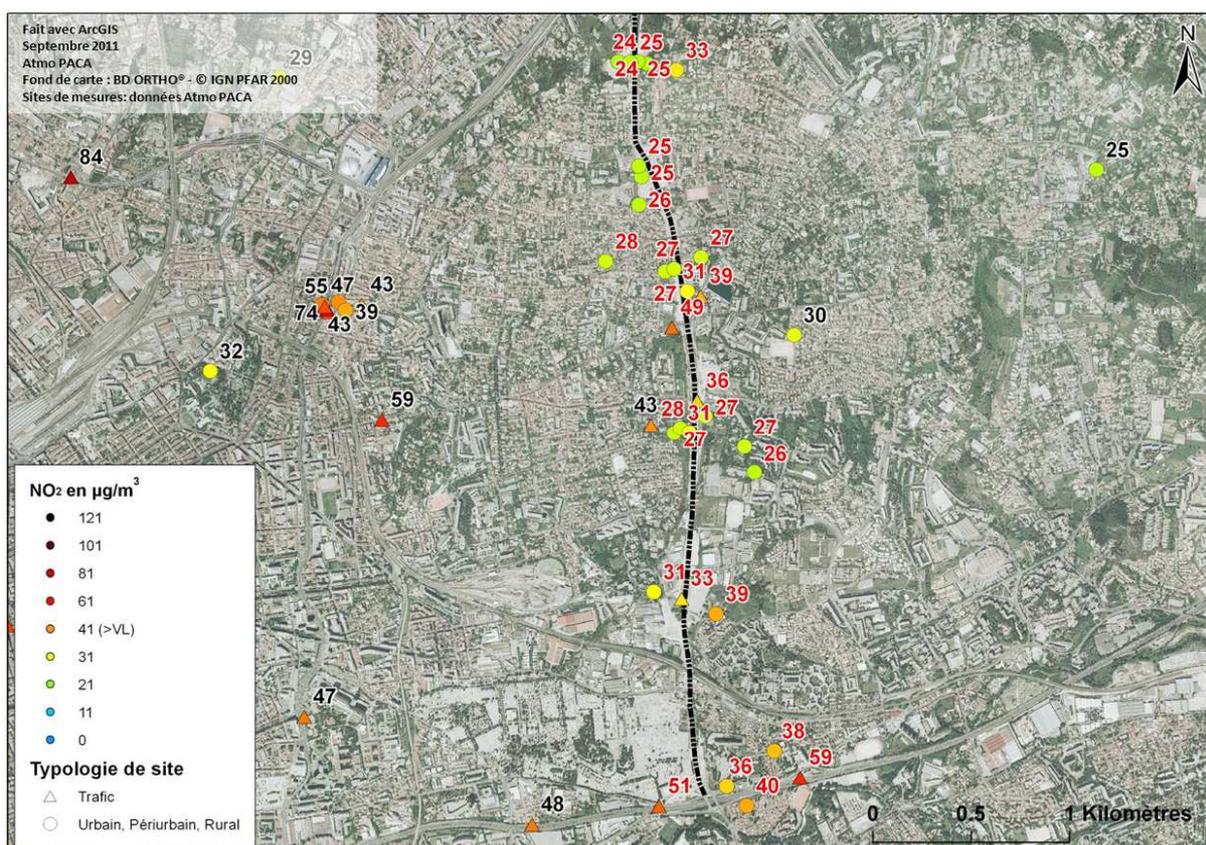


Figure 18 : Concentrations moyennes annuelles 2011 en NO_2 le long de la L2 Est

La section est de la L2 comprend davantage de sites urbains que trafic puisqu'elle n'est actuellement pas circulante. Les concentrations relevées en site de fond le long de l'axe L2 dans la bande des 300 mètres sont comprises entre $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ et $31 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Les sites de fond aux abords de l'A50 sont un peu plus élevés avec des valeurs approchant $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Seuls les sites trafic situés sur les axes transversaux au tracé de la L2 est dépassent les $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (avenue de Saint Julien, avenue des Caillols). Les sites trafic en bordure de l'A50 sont plus élevés avec un des trois points à $59 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en moyenne annuelle.

LES OXYDES D'AZOTE (NO_x) : MESURES AUTOMATIQUES

Les oxydes d'azote comprennent principalement le monoxyde d'azote (NO) et le dioxyde d'azote (NO₂). Les variations de NO, de NO₂ et de NO_x sont par conséquent étroitement liées lorsqu'il s'agit d'émissions du trafic.

La réglementation des NO_x porte sur la protection de la végétation avec une valeur limite fixée à 30 µg/m³.

Tableau 6 : évaluation des niveaux de NO_x

NO _x en µg/m ³ .	Station permanente Cinq Avenues (urbain)	Station permanente Rabatau (trafic)	Station L2-Busserine (trafic)	Station L2-A50 (trafic)	Station L2-SEM (urbain)	Station L2-MIN (urbain)	Station L2-Collège Tillion (urbain)
Moyenne annuelle Valeur limite pour la protection de la végétation : 30 µg/m ³	43	119	72	134	38	47	42
Maximum horaire	673 1/02/11 8h	1033 4/02/11 8h	1891 8/04/11 6h, 7h, 8h	695 23/02/11 8h	422 28/02/11 22h	358 7/04/11 8h	257 11/04/11 7h
Maximum journalier	192 3/02/11	328 3/02/11	431 3/02/11	213 24/05/11	170 02/02/11	135 26/02/11	80 24/05/11

Tous les sites de mesure, trafic et de fond, dépassent la valeur limite de 30 µg/m³. Les sites de fond sont supérieurs de 10 à 20 µg/m³, les sites trafic sont deux à quatre fois plus importants que la valeur limite.

Les sites trafic (la Busserine et l'A50 pour la L2, et Rabatau en station permanente) sont les plus concentrés en NO_x en moyenne annuelle. Ces sites relèvent également les maximums horaires et maximums journaliers les plus élevés. Les teneurs maximales se produisent majoritairement en hiver du fait de la météorologie peu dispersive.

2.2.5. RESULTATS PAR SAISON (NO₂)

Les résultats présentés en Figure 19 sont ceux issus des cinq stations de mesure dédiées à l'étude L2, auxquelles sont ajoutées deux stations permanentes d'Atmo PACA. Pour chaque saison, les données ont été choisies sur une durée de deux mois, à savoir février-mars pour l'hiver et juin-juillet pour l'été. Pour les stations de la SEM et du collège Tillion, un seul mois a été mesuré par saison (transfert de matériel d'un site à l'autre).

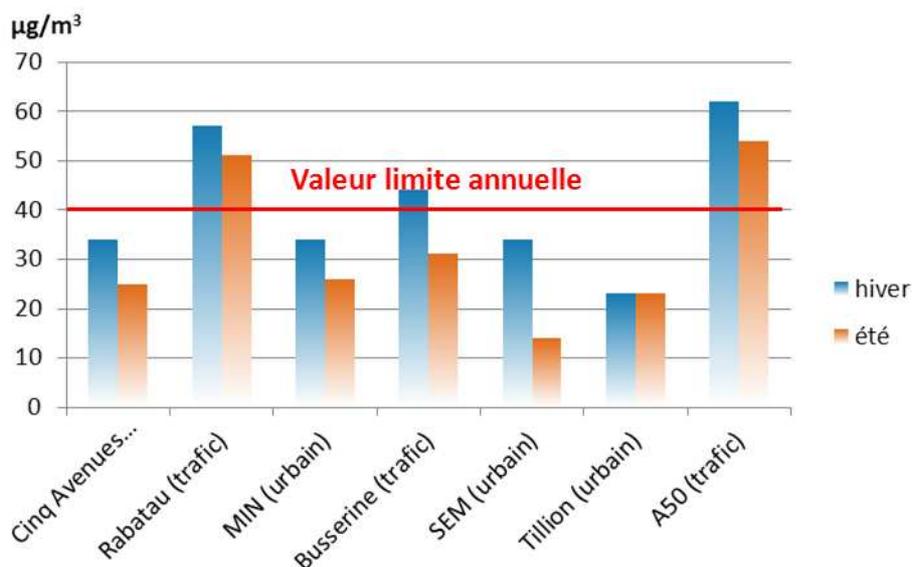


Figure 19 : Concentrations moyennes 2011 en NO₂ par saison dans la bande d'étude L2

De manière générale, les concentrations hivernales sont plus importantes que les concentrations estivales (voir § 2.1.5) de 18% en moyenne pour les stations trafic, et de 25% pour les stations urbaines.

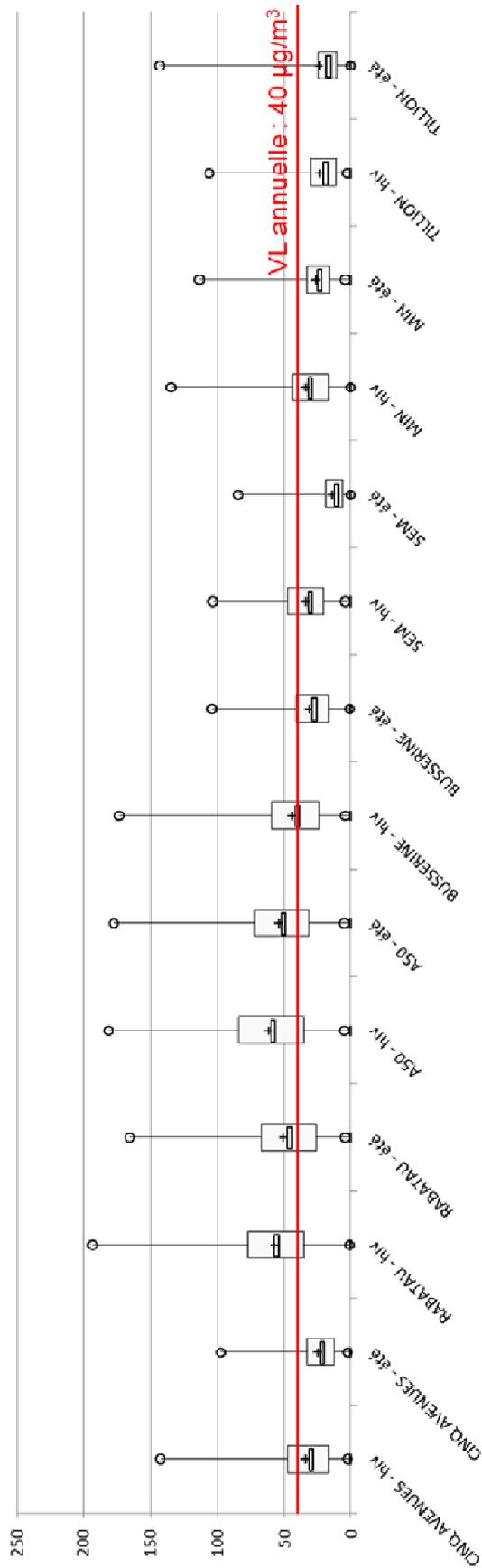
La valeur limite annuelle figure sur le graphe à titre indicatif : les données représentées ne sont pas annuelles.

Les sites trafic présentent les teneurs en NO₂ les plus élevées. Les stations Rabatau et A50 dépassent la valeur limite annuelle de 40 µg/m³ pour les deux saisons. En hiver, les concentrations sont proches de 60 µg/m³, en été elles dépassent les 50 µg/m³. Le nombre important de véhicules (107 000 pour l'A50), ainsi que les embouteillages permanents, renforcés aux heures de pointe, sont les principaux facteurs de pollution en NO₂. La station de la Busserine atteint 44 µg/m³ en hiver, et à peine plus de 30 µg/m³ en moyenne estivale. Le boulevard Allende compte actuellement 50 000 véhicules/jour, et subit des embouteillages aux heures de pointe.

Tous les sites de fond restent inférieurs aux 40 µg/m³. Les teneurs hivernales sont les mêmes pour Cinq Avenues, le MIN et la SEM, soit 33 µg/m³, celle du collège Tillion étant plus faible. La station de la SEM est dans une enceinte plus à l'écart d'un quelconque axe routier, mais est soumise aux travaux de la L2 est entre les deux tranchées couvertes de Montolivet et de Saint Barnabé durant l'hiver ; en été, le chantier sur cette section n'était pas exploité. La station de mesure au collège Tillion est également à l'écart de tout axe routier et enregistre des teneurs déjà faibles en hiver, qu'elle conserve en été.

DISPERSION DES DONNEES NO₂ PAR SAISON LE LONG DE LA L2

Une explication de lecture du diagramme en boîte à moustache figure en Annexe 10 : Diagramme en boîte.



Les données sont plus dispersées l'hiver que l'été pour toutes les stations.

La dispersion est plus importante pour les stations trafic (A50, Rabatau, Busserine) que pour les stations de fond

75% des données sont supérieures à la valeur limite de 40 µg/m³ pour les stations trafic en hiver ; un peu plus de 50% le sont en été

75% des données pour les stations de fond sont généralement inférieures à la valeur limite pour les deux saisons.

2.3. BENZENE (C₆H₆)

2.3.1. ORIGINE, EFFETS SANITAIRES ET REGLEMENTATION

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 polluant **principalement émis par d'anciens véhicules essences (pré EURO)** dans des conditions de fortes congestions

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.

La valeur limite annuelle du benzène est de **5 µg/m³** et l'objectif de qualité est fixé à **2 µg/m³** (décret n°2010-1250 du 23 octobre 2010).

2.3.2. RESULTATS

Le benzène a été mesuré par tubes passifs, sur une période d'un mois par saison (février pour l'hiver, juin pour l'été).

Tous les sites disposés dans la bande d'étude de 300 mètres possèdent une concentration annuelle inférieure à la valeur limite, et seulement 20% sont supérieurs à l'objectif de qualité (Annexe 8 : Résultats complets BTEX - tubes passifs L2). Ces 20% sont majoritairement des sites trafic. Les sites relevant les concentrations maximales (max : 3,1 µg/m³) se trouvent dans le couloir de l'A50 qui cumule l'impact du trafic et les émissions issues de l'usine Arkéma Saint Menet située 5,5 km à l'est.

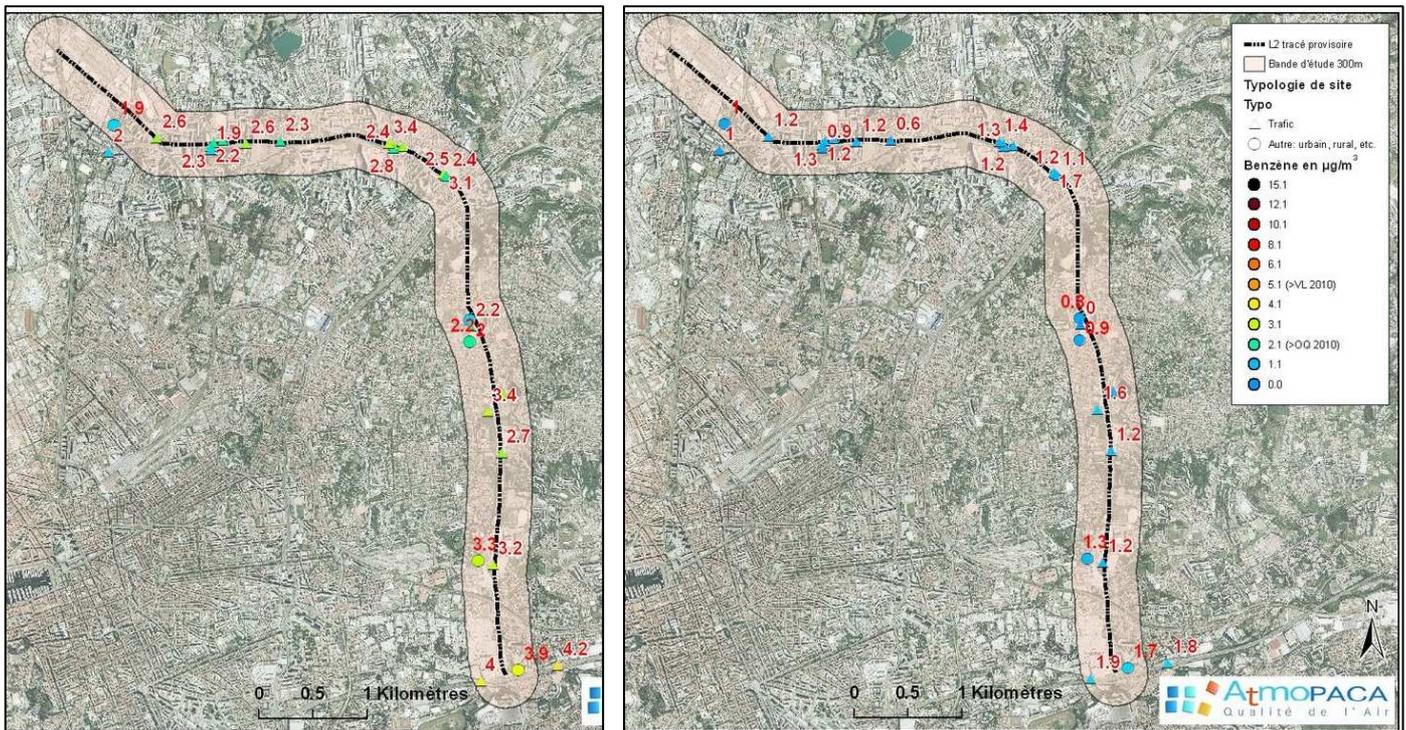


Figure 21 : Concentrations saisonnières 2011 en benzène dans la bande d'étude L2 : hiver à gauche et été à droite

La Figure 21 permet de visualiser les différences hiver/été des teneurs en benzène le long de la L2. Toutes les concentrations restent inférieures à 5 µg/m³ l'hiver sont inférieures à 2 µg/m³ l'été. Les teneurs d'été sont plus faibles que celles d'hiver du fait de la météorologie dispersive (voir § 2.1.5 et Figure 11).

De façon générale, l'amélioration et le renouvellement progressif du parc automobile permettent une diminution des émissions et des concentrations de benzène dans l'air ambiant.

2.4. ALDEHYDES

2.4.1. ORIGINE, EFFETS SANITAIRES ET REGLEMENTATION

Les sources d'aldéhydes (colles, résines, isolants, panneaux, contre plaqués, tissus, 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.

Les trois aldéhydes mesurés dans le cadre de cette étude sont le formaldéhyde, l'acétaldéhyde et l'acroléine.

Seul le formaldéhyde possède une valeur cible en qualité de l'air intérieur qui est de $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Haut Conseil de santé publique, 2009). Le formaldéhyde, odeur piquante, est un gaz irritant et est le plus connu pour ses effets cancérigènes (classé cancérigène certain par le Centre International de Recherche sur le Cancer).

2.4.2. RESULTATS

Les composés ont été mesurés par tubes passifs, sur une période d'un mois par saison (février pour l'hiver, juin pour l'été). Les résultats entiers sont compilés dans l'Annexe 9 : Résultats complets Aldéhydes par saison - tubes passifs L2.

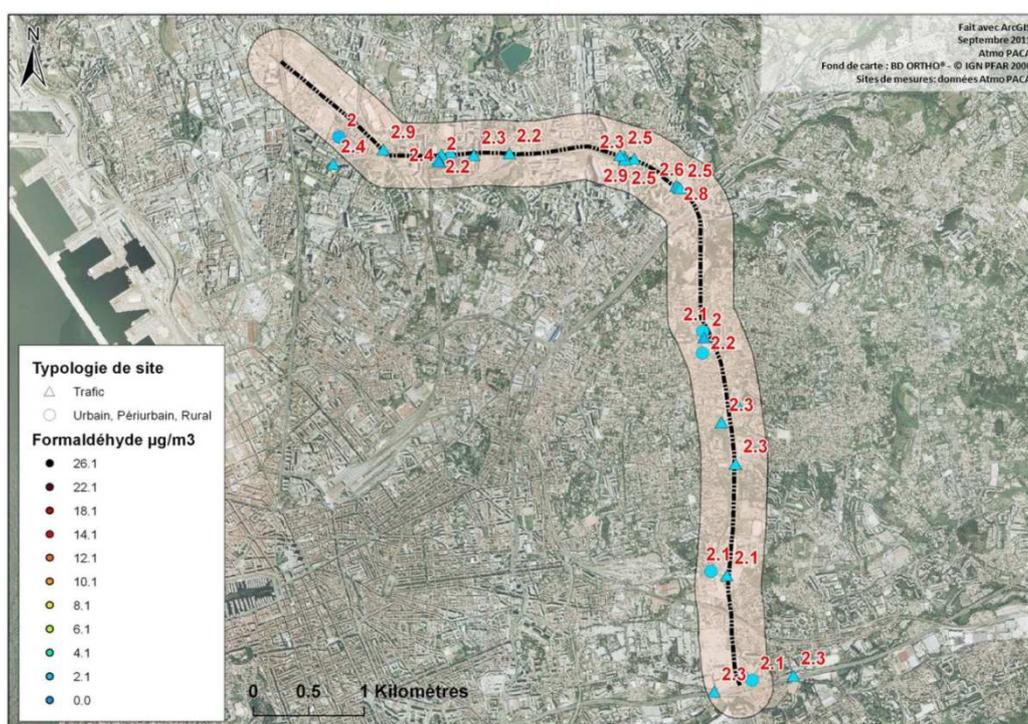


Figure 22 : Concentrations annuelles 2011 en formaldéhyde dans la bande L2

Les concentrations en formaldéhyde moyennées sur les périodes hiver et été sont très homogènes dans toute la bande d'étude : elles sont comprises entre 2 et $2,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Figure 22). La différence de saison n'a pas d'impact sur les teneurs en formaldéhyde, celles-ci restent semblables à la moyenne. Ces résultats sont conformes à ceux trouvés dans d'autres études environnementales françaises : concentrations inférieures à $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en site rural ou périurbain, et pouvant aller jusqu'à $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en site urbain.

Les résultats en acroléine sont tous inférieurs à $0,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Il n'existe pas de norme en air ambiant (à titre informatif, la valeur moyenne d'exposition préconisée par l'INRS est $250 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (INRS, 1999)).

Les concentrations en acétaldéhyde sont identiques sur les deux saisons, à savoir $1,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$; la moyenne des deux périodes est donc de $1,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$, avec un maximum de $2,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (sortie de la dalle des tilleuls). Elles sont également très homogènes dans la bande d'étude L2. A titre informatif, les concentrations en acétaldéhyde relevées lors de la campagne de 2007 sur la Communauté d'Agglomération du Pays d'Aix ne dépassaient pas $0,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$, quelle que soit la typologie de site.

2.5. MONOXYDE DE CARBONE (CO)

2.5.1. ORIGINE, EFFETS SANITAIRES ET REGLEMENTATION

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

Il est principalement émis par l'automobile (à faible vitesse : ralentissements, bouchons), mais aussi par les chauffages domestiques. On le retrouve surtout à proximité des axes à fort trafic et en milieu confiné. Il est plus particulièrement présent lors des conditions de forte stabilité atmosphérique : situations anticycloniques et inversions thermiques en hiver qui limitent sa dispersion habituellement rapide.

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

Depuis une vingtaine d'années, le parc de mesure d'Atmo PACA enregistre une baisse de 80% des teneurs en monoxyde de carbone. L'installation des pots catalytiques en est la principale raison.

La valeur limite pour la protection de la santé humaine est de **10 mg/m³**, tolérée sur **8 heures** consécutives (décret n°2010-1250 du 23 octobre 2010).

2.5.2. RESULTATS

Tableau 7 : Evaluation des niveaux de CO

CO en mg/m ³ .	Station permanente Plombières (trafic)	Station L2-Busserine (trafic)	Station L2-A50 (trafic)	Station L2-SEM (urbain)	Station L2-Collège Tillion (urbain)
Période de mesure	8/02-27/07/2011	9/02-27/07/2011	10/05-27/07/2011	8/02-7/03/2011	7/03-24/03/2011
Moyenne sur la période	0,6	0,1	0,3	0,3	0,2
Maximum sur 8h Valeur limite pour la protection de la santé humaine : 10 mg/m³	1,9	0,8	1	1,1	0,8
Nombre de moyenne sur 8h > 10 mg/m³	0	0	0	0	0
Maximum horaire Valeur guide OMS : 35 mg/m³/h	3,1 3/02/11 8h	0,9 3/03/11 8h	1,5 3/05/11 7h	1,8 18/02/11 10h	0,9 10/03/11 8h, 9h

Les périodes de mesure du CO sont inégales, variant de 3 semaines à 6 mois selon les stations.

Cependant, les concentrations moyennes en CO sont très faibles sur tous les sites, toutes inférieures à 1 mg/m³.

La moyenne la plus élevée, avec 0,6 mg/m³, est celle de la station permanente de Plombières. Celle-ci est extrêmement encaissée et supporte un trafic conséquent d'environ 90 000 véhicules par jour. Les stations temporaires de la L2 étaient quant à elles systématiquement positionnées dans des milieux plus ouverts, d'où des concentrations plus faibles.

Les maximums sur 8h pour toutes les stations restent très bas : aucune station n'enregistre une moyenne sur 8h supérieure à 10 mg/m³.

2.6. OZONE (O₃)

2.6.1. ORIGINE, EFFETS SANITAIRES ET REGLEMENTATION

L'O₃ (ozone) est un polluant issu de réactions complexes faisant intervenir le NO₂ (dioxyde d'azote) et les COV (composés organiques volatils) sous l'action du rayonnement solaire. C'est donc un polluant secondaire, par opposition au NO₂ et aux COV qui sont des polluants précurseurs.

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

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

Ils existent plusieurs réglementations pour l'ozone dont deux principales, à savoir le seuil d'information et de recommandation horaire de **180 µg/m³**, et la valeur cible pour la protection de la santé humaine de **120 µg/m³** sur **8h**, à ne pas dépasser plus de **25** jours par an (décret n°2010-1250 du 23 octobre 2010).

2.6.2. RESULTATS

L'ozone a été mesuré sur deux stations dédiées à la L2, à savoir la SEM et le collège Tillion. La mesure sur le site de la SEM a couvert une période hiver et une été ; sur le site du collège Tillion, l'ozone n'a pu être mesuré qu'en période hivernale (problème technique en période été).

Tableau 8 : Résultats de la période hiver 2011 en ozone sur deux stations permanentes d'Atmo PACA et sur la L2

O ₃ en µg/m ³ .	Station permanente Cinq Avenues (urbain) 31/01-7/04/11	Station permanente La Penne s/ Huveaune (périurbain) 31/01-7/04/11	Station L2-SEM (urbain) 31/01-7/03/11	Station L2-Collège Tillion (urbain) 7/03-7/04/11
Moyenne sur la période	40	47	62	53
Maximum horaire Seuil de recommandation : 180 µg/m³/h	94 23/03/11 13h	134 6/04/11 15h	113 13/02/11 22h, 23h	107 24/03/11 13h
Nombre de jours de dépassement du seuil de recommandation de 180 µg/m³/h	0	0	0	0
Maximum sur 8H	85	129	110	96
Nombre de jours de dépassement Valeur cible européenne pour la protection de la santé humaine 120 µg/m³/8h , tolérance 25 jours/an	0	3	0	0
Maximum journalier	75 12/03/11	99 12/03/11	87 14/02/11	83 12/03/11

La saison hivernale n'est pas propice à la formation d'ozone (la période considérée commence le 31/01/11 et se termine le 7/04/11). Les moyennes des quatre sites sur la période de mesure sont homogènes. **Aucun maximum horaire n'a atteint le seuil réglementaire de 180 µg/m³**. Trois jours de dépassement des 120 µg/m³ sur 8h sont enregistrés à la Penne sur Huveaune ; cette même station possède le maximum journalier le plus élevé sur les quatre

stations présentées (99 µg/m³). Le site de la Penne sur Huveaune est placé à proximité de l'usine Arkéma, émettrice de composés précurseurs de l'ozone.

Tableau 9 : Résultats de la période été 2011 en ozone sur deux stations permanentes d'Atmo PACA et à la station SEM

O ₃ en µg/m ³ .	Station permanente Cinq Avenues (urbain) 27/06-27/07/11	Station permanente La Penne s/ Huveaune (périurbain) 27/06-27/07/11	Station permanente Ste Marguerite (urbain) 27/06-27/07/11	Station L2-SEM (urbain) 27/06-27/07/11
Moyenne sur la période	68	66	74	78
Maximum horaire Seuil de recommandation : 180 µg/m ³ /h	173 6/07/11 17h	177 6/07/11 18h	190 6/07/11 18h	188 6/07/11 17h
Nombre de jours de dépassement du seuil de recommandation de 180 µg/m³/h	0	0	1	1 6/07/11 17h
Maximum sur 8H	134	157	157	148
Nombre de jours de dépassement Valeur cible européenne pour la protection de la santé humaine : moyenne sur 8h consécutives : 120 µg/m ³ , tolérance 25 jours/an	5	8	7	8
Maximum journalier	101 1/07/11	99 1/07/11	102 6/07/11	109 1/07/11

La saison estivale est propice à la formation d'ozone (la période considérée commence le 27/06/11 et se termine le 27/07/11). Les moyennes sur l'été sont homogènes sur les quatre stations et plus importantes que celles mesurées en hiver (Tableau 8, Tableau 9 et Figure 23).

Le seuil d'information et de recommandation de 180 µg/m³ a été atteint une fois à la SEM début juillet, où la valeur horaire était de 188 µg/m³. Le même jour à la même heure, les trois autres stations permanentes d'Atmo PACA enregistrent leur maximum sur la période : 173 µg/m³ à Cinq Avenues, 177 µg/m³ à La Penne sur Huveaune et 190 µg/m³ à Sainte Marguerite : il s'agit d'un épisode de pollution global à l'échelle de Marseille et non particulier à la SEM (visible sur la Figure 23).

Concernant le respect de la valeur cible de 120 µg/m³ sur 8h tolérée 25 jours par an, la SEM enregistre 8 dépassements sur la période été ; les 25 jours par an tolérés risquent d'être dépassés.

Les valeurs d'ozone sont assez homogènes sur ces stations de Marseille, mais le sont également sur Marseille de façon générale : les maximums journaliers enregistrés par les stations le confirment puisqu'ils se produisent le même jour (en l'occurrence le 1/07/11) pour cette période de mesure estivale.

Ponctuellement, des teneurs un peu plus élevées en proximité de site industriel, comme à la Penne sur Huveaune, peuvent être retrouvées : l'ozone n'est plus consommé au profit des COV produits en excès par l'industrie, et a tendance à s'accumuler.

Au niveau départemental,

Pour l'ozone, les déclenchements de procédures préfectorales d'information et de recommandation du public sont faits à l'échelle du département des Bouches-du-Rhône. En 2011, 26 niveaux de recommandation se sont produits sur les Bouches-du-Rhône, dont 6 touchant le bassin de Marseille. Ces procédures ont été assorties de mesures d'urgence onze fois (restrictions des émissions industrielles, réduction de la vitesse sur les gros axes routiers, etc.).

DISPERSION DES DONNEES O₃ PAR SAISON LE LONG DE LA L2 ET SUR MARSEILLE

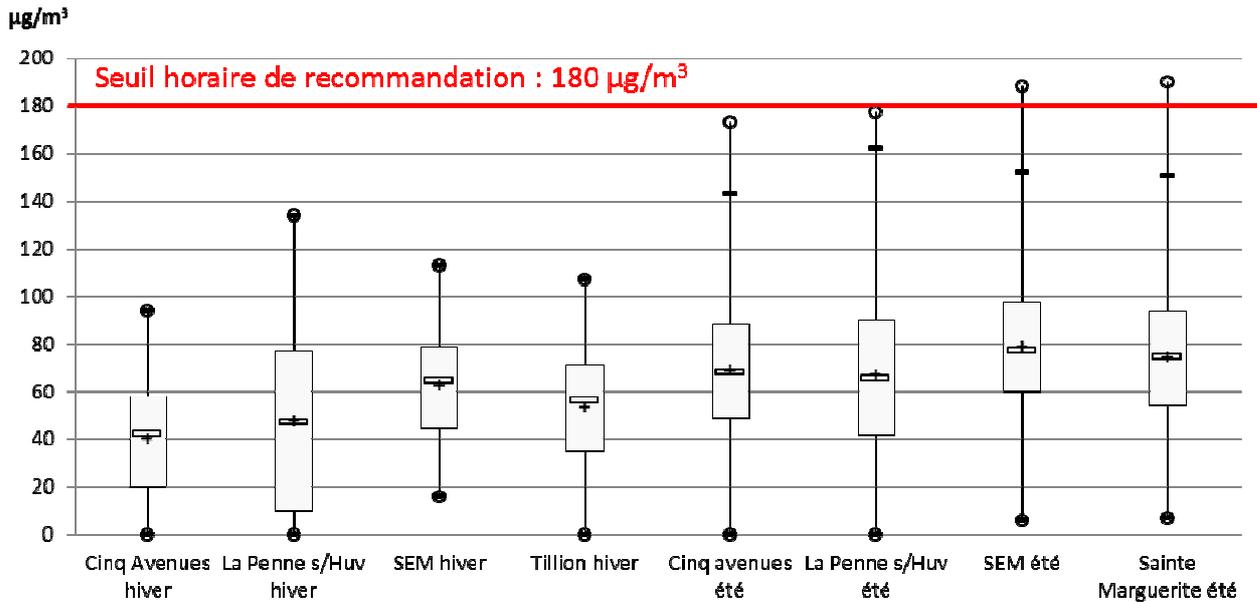


Figure 23 : Diagrammes en boîte des données horaires en ozone par saison sur la L2, Marseille et la Penne sur Huveaune

La Figure 23 représente la dispersion des données en ozone en hiver à gauche et en été à droite. Il s'agit des mesures pour quelques stations urbaines de Marseille (la Penne sur Huveaune comprise) et celles de la L2, à savoir celle de la SEM, et de celle de Tillion uniquement pour l'hiver.

La saisonnalité du comportement de l'ozone apparaît clairement sur ces diagrammes et touche toutes les stations urbaines ci-dessus. La dispersion des données est plus importante à la Penne sur Huveaune pour les deux saisons (influence industrielle, voir § précédent pour les concentrations hautes, et autoroute A50 agissant comme un puits d'ozone permanent pour les faibles concentrations). Les dispersions sont similaires pour les autres stations urbaines.

En été apparaissent les dépassements horaires du seuil de recommandation de 180 µg/m³ pour la SEM et Sainte Marguerite, avec les stations Cinq Avenues et la Penne sur Huveaune qui frôlent ce seuil.

2.7. DIOXYDE DE SOUFRE (SO₂)

2.7.1. ORIGINE, EFFETS SANITAIRES ET REGLEMENTATION

Le SO₂ (dioxyde de soufre) est un polluant d'origine principalement industrielle, issu de la combustion de produits pétroliers. En ville, il provient des activités anthropiques et notamment des combustions au fuel (chauffages domestiques).

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

De façon générale, les concentrations de ce polluant montrent une forte décroissance depuis 20 ans, notamment grâce aux carburants moins soufrés et aux processus industriels de désulfuration. Le SO₂ se fait rare à Marseille, la pollution de fond est très faible et peut être conditionnée par les émissions chroniques du Grand Port de Maritime de Marseille. Des épisodes très succincts peuvent se produire lorsqu'une masse d'air issue de l'étang de Berre passe au-dessus de la ville, ou bien lorsqu'il s'agit d'une pollution très locale (chaudière au fuel par exemple).

Ses effets du SO₂ sur la santé sont une altération de la fonction respiratoire chez l'enfant en particulier, une exacerbation des gênes respiratoires, des troubles de l'immunité du système respiratoire, un abaissement du seuil de déclenchement chez l'asthmatique, une mortalité prématurée. De plus, c'est un cofacteur de la bronchite chronique.

Il existe plusieurs réglementations pour le SO₂ dont deux principales, à savoir le seuil d'information et de recommandation horaire de 300 µg/m³, et l'objectif de qualité annuel de 50 µg/m³ (décret n°2010-1250 du 23 octobre 2010).

2.7.2. RESULTATS

Le dioxyde de soufre a été mesuré sur deux stations dédiées à la L2, à savoir la SEM et le collège Tillion. Les mesures sur site ont couvert une période hiver et une été d'un mois chacune.

Tableau 10 : Résultats 2011 en SO₂ pour une station permanente d'Atmo PACA et sur la L2

SO ₂ en µg/m ³ .	Station permanente Cinq Avenues (urbain)	Station L2-SEM (urbain)	Station L2-Collège Tillion (urbain)
Moyenne sur la période	1,3	2	1
Moyenne annuelle Objectif de qualité : 50 µg/m ³ /an	1,4	1,7	1,1
Maximum horaire Seuil de recommandation : 300 µg/m ³ /h	123 7/04/11 12h	30 14/02/11 – 15h, 16h 3/03/11 – 13h	80 7/04/11 12h

Les concentrations sont très faibles sur les trois stations : les moyennes annuelles ne dépassent pas 2 µg/m³, elles sont donc loin de l'objectif de qualité de 50 µg/m³.

Les maximums horaires n'atteignent pas le seuil de recommandation de 300 µg/m³. La station Cinq Avenues relève un maximum de 123 µg/m³ le 7/04 ; le maximum de 80 µg/m³ se produit au collège Tillion le même jour : cet événement commun aux deux stations, cumulé à la direction ouest du vent ce jour-là conforte l'idée qu'il s'agit d'une masse d'air provenant de la région de Fos/étang de Berre.

2.8. HYDROCARBURES AROMATIQUES POLYCYCLIQUES (HAP)

2.8.1. ORIGINE, EFFETS SANITAIRES ET REGLEMENTATION

Plusieurs centaines de composés sont générés par la combustion des matières fossiles notamment par les moteurs diesel (sous forme gazeuse ou particulaire), ou encore par le chauffage urbain au fuel. Le plus étudié est le benzo(a)pyrène ; son risque de cancer est l'un des plus anciennement connus.

La réglementation concerne un composé en particulier : **le benzo(a)pyrène**. Sa valeur cible annuelle est de **1 ng/m³** (décret n°2010-1250 du 23 octobre 2010). Le benzo(a)pyrène est utilisé comme traceur du risque cancérigène lié aux HAP dans l'air ambiant (HAP non réglementés du type : chrysène, benzo(a)anthracène, indeno(1,2,3-cd)pyrène, etc.).

2.8.2. RESULTATS

Les HAP ont été mesurés par préleveurs haut débit aux cinq stations dédiées à l'étude L2. Le prélèvement a duré une semaine par saison par site, excepté au MIN où la mesure durant l'hiver s'est prolongée sur deux semaines.

Les HAP n'ayant pas le même comportement l'hiver que l'été, il est préférable de présenter les résultats par saison plutôt que ceux moyennés sur l'année.

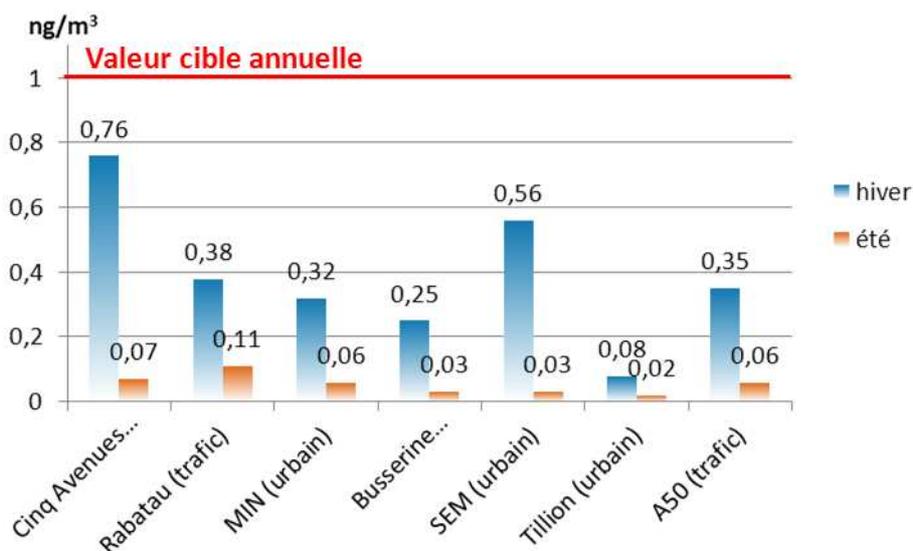


Figure 24 : Concentrations par saison en B(a)P sur Marseille en 2011

Pour tout site et toute saison, la valeur cible annuelle en B(a)P de 1 ng/m³ n'est pas atteinte.

Les valeurs hivernales sont toutes beaucoup plus élevées que celles d'été, bien que la valeur cible ne soit jamais atteinte (en moyenne sur une semaine). En hiver, la source principale en B(a)P correspond au chauffage urbain. Notons que d'un hiver à l'autre ou d'une semaine à l'autre, les teneurs en HAP peuvent être très différentes pour un même site, tout dépend de la température extérieure qui influencera les usagers sur leur consommation de chauffage, et de la météorologie, d'où le 0,76 ng/m³ à Cinq Avenues (teneur hiver 2009 : 0,55 ng/m³, teneur hiver 2010 : 0,26 ng/m³).

Les valeurs estivales sont comprises entre 0,02, et 0,11 ng/m³ retrouvée à Rabatau. En été, la part de B(a)P s'explique surtout par le trafic, particulièrement en zone embouteillée (combustion incomplète lors du démarrage, et lors du passage de la première vitesse) d'où la concentration la plus élevée à Rabatau. De plus, il s'agit d'un boulevard type « canyon » : bordé d'immeubles ou de bâtiments assez hauts induisant un milieu peu dispersif.

2.9. METAUX LOURDS

2.9.1. ORIGINE, EFFETS SANITAIRES ET REGLEMENTATION

Les métaux proviennent généralement de la combustion des charbons, pétroles, ordures ménagères et de certains procédés industriels particuliers. Ils se retrouvent, le plus souvent, sous forme de particules (sauf le mercure qui est principalement gazeux). La généralisation de l'essence sans plomb a considérablement fait diminuer les concentrations de ce polluant dans l'air.

Les métaux s'accumulent dans l'organisme et provoquent des effets toxiques à court et/ou à long terme. Ils peuvent affecter le système nerveux, les fonctions rénales, hépatiques, respiratoires, ou autres... Les métaux toxiques contaminent les sols et les aliments. Ils s'accumulent dans les organismes vivants et perturbent les équilibres et mécanismes biologiques. Certains lichens ou mousses sont couramment utilisés pour surveiller les métaux dans l'environnement et servent de « bio indicateurs ».

Quatre métaux sont réglementés (décret n°2010-1250 du 23 octobre 2010) :

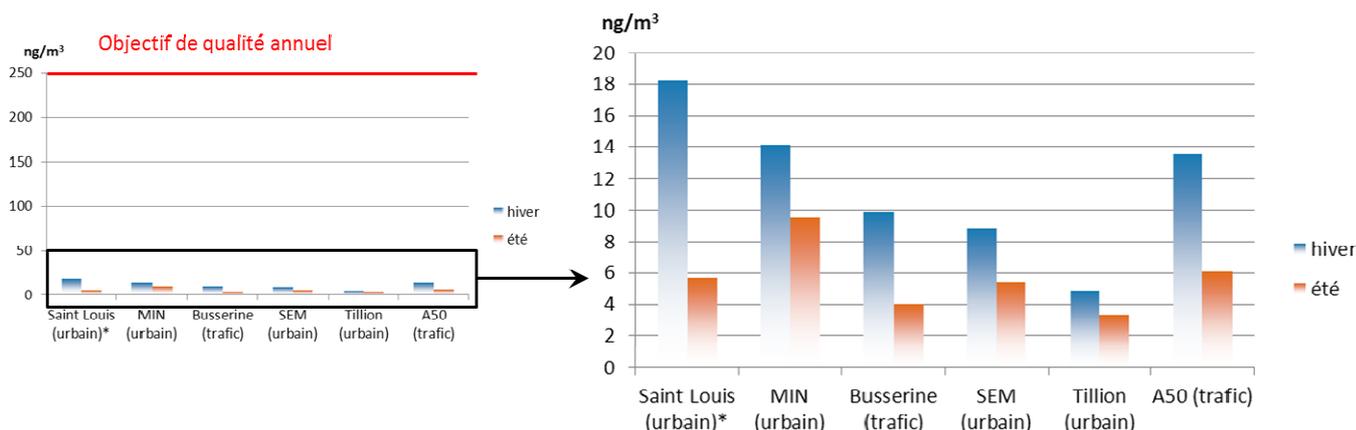
- Le plomb, avec un objectif de qualité annuel de **250** ng/m³ et une valeur limite annuelle de **500** ng/m³,
- L'arsenic, avec une valeur cible annuelle fixée à **6** ng/m³,
- Le cadmium, avec une valeur cible égale à **5** ng/m³,
- Le nickel, avec une valeur cible fixée à **20** ng/m³.

2.9.2. RESULTATS

Les particules PM10 contenant les métaux lourds sont récoltées sur des filtres journaliers par des préleveurs bas débit disposés sur les cinq stations dédiées à la L2. Les prélèvements ont duré deux semaines par saison pour les sites de l'A50, la SEM et le collège Tillion, un mois l'hiver et deux semaines l'été au MIN, deux mois en hiver (PM2,5) à la Busserine et neuf semaines l'été dont cinq semaines en PM2,5 et quatre semaines en PM10.

Les métaux faisant l'objet de la mesure sont stipulés par la circulaire relative à l'étude d'impact de niveau I. Il s'agit du plomb (Pb), de l'arsenic (As), du cadmium (Cd), du nickel (Ni), du chrome (Cr), du baryum (Ba) et du mercure (Hg).

PLOMB (Pb)



*Saint Louis : concentration moyenne sur les trois dernières années (2009, 2010 et 2011)

Figure 25 : Concentrations en plomb par saison sur les cinq stations L2 en 2011

La Figure 25 compile deux histogrammes sur les teneurs en plomb, avec une première échelle sur celui de gauche où figure l'objectif de qualité de 250 ng/m³, et une échelle plus adaptée à la lecture des données sur l'histogramme de droite.

Les concentrations en plomb pour tout site et toute saison sont nettement inférieures au premier seuil réglementaire de 250 ng/m³. Elles sont du même ordre de grandeur que celles mesurées régulièrement sur le site de

Saint Louis (Tableau 11, moyenne Saint Louis 2009, 2010 et 2011 : 9,7 ng/m³, L2 : teneurs comprises entre 4,1 et 11,9 ng/m³, sachant que l'objectif de qualité est de 250 ng/m³ et la valeur limite annuelle est fixée à 500 ng/m³).

A plus fine échelle, quelques variations sont constatées. Les teneurs sont plus importantes l'hiver que l'été. Le comportement des particules en fonction des saisons (voir § 2.1.5) pourrait expliquer ces variabilités de concentrations. Mais d'après l'historique des mesures menées par Atmo PACA, cette situation n'est pas systématique pour les teneurs en métaux. Concernant la L2, cette différence inter saison est la plus marquée à l'A50 avec une concentration deux à trois fois plus faible l'été que l'hiver (liée aux PM10 retrouvées à l'A50 l'été, voir § 2.1.5).

Le site du MIN présente été comme hiver les concentrations les plus élevées en plomb parmi tous les sites. La fourrière de véhicules des Arnavaux (emplacement de la station MIN) pourrait contribuer aux teneurs en plomb.

Les concentrations retrouvées au site trafic de la Busserine en PM2,5 (celles qui figurent sur l'histogramme, la partie PM10 n'y figure pas) restent proches des sites de fond à la SEM, au collège Tillion, et de Saint Louis (station de fond permanente Atmo PACA) qui eux sont mesurés en PM10. Cela renforce deux idées :

- D'une part, que les véhicules émettent peu de plomb,
- D'autre part, que le plomb a tendance à se retrouver dans la fraction particulaire fine, puisque l'on constate peu de différence entre les teneurs retrouvées dans les PM2,5 de la Busserine et les PM10 des stations de fond, PM10 comprenant la fraction PM2,5.

AUTRES METAUX

Les analyses des filtres exposés sur 24 heures donnent des concentrations en **nickel, cadmium, arsenic, chrome et mercure** inférieures aux limites de détection journalières des appareils pour tous les sites et les durant les deux saisons. Une exception est à relever avec une teneur moyenne estivale de 8,1 ng/m³ en nickel sur le site de l'A50. Au pas de temps journalier, **aucune valeur cible n'est atteinte pour ces composés réglementés.**

Le baryum n'a été détecté qu'en situation de trafic, c'est-à-dire à l'A50 avec des teneurs similaires pour les deux saisons se rapprochant de 35 ng/m³, et à la Busserine uniquement dans la fraction PM10 avec 18 ng/m³.

Lors d'études antérieures (Airfobep, 2010), le même constat a pu être effectué : le baryum (sous forme de sulfate) se retrouvait en situation de trafic, dans des particules d'arrachement.

La concentration moyenne annuelle à Saint Louis (fond urbain) en 2009 est de 6,2 ng/m³ (Tableau 11).

Tableau 11 : Concentrations 2011 par saison en métaux lourds le long de la L2

Métaux lourds ng/m ³		Ni Valeur cible : 20 ng/m ³	As Valeur cible : 6 ng/m ³	Cd Valeur cible : 5 ng/m ³	Pb Valeur limite : 250 ng/m ³	Cr	Ba	Hg
Station permanente Saint Louis (urbain)	Moyenne hiver 2009, 2010, 2011	2,3	1,4	0,3	18		6,8*	
	Moyenne été 2009, 2010, 2011	5,4	0,2	0,2	5,7		8,3*	
	Moyenne année 2009, 2010, 2011	4,0	0,3	0,3	9,7		6,2*	
Station L2-Busserine (trafic)	Moyenne hiver (PM2,5)	< LD	< LD	< LD	9,9	< LD	< LD	< LD
	Moyenne été (PM2,5)	< LD	< LD	< LD	4	< LD	< LD	< LD
	Moyenne été (PM10)	< LD	< LD	< LD	6,9	< LD	18,4	< LD
	Moyenne périodes (PM2,5)				7			
Station L2-A50 (trafic)	Moyenne hiver	< LD	< LD	< LD	13,5	15,1	36,4	< LD
	Moyenne été	8,1	< LD	< LD	6,1	< LD	34,7	< LD
	Moyenne périodes				9,8		35,6	
Station L2-SEM (urbain)	Moyenne hiver	< LD	< LD	< LD	8,8	< LD	< LD	< LD
	Moyenne été	< LD	< LD	< LD	5,4	< LD	< LD	< LD
	Moyenne périodes				7,1			
Station L2-MIN (urbain)	Moyenne hiver	< LD	< LD	< LD	14,1	< LD	< LD	< LD
	Moyenne été	< LD	< LD	< LD	9,6	< LD	< LD	< LD
	Moyenne périodes				11,9			
Station L2-Collège Tillion (urbain)	Moyenne hiver	Pollution blancs	< LD	< LD	4,9	< LD	Pollution blancs	< LD
	Moyenne été	< LD	< LD	< LD	3,3	< LD	< LD	< LD
	Moyenne périodes				4,1			
Limite de détection journalière par élément (ng/m ³)		1,6	0,3	0,3	0,3	2,6	5,2	0,5

*Le baryum n'est pas un polluant réglementé mais a fait l'objet de mesures en 2009 dans le cadre d'une étude sur le site de Saint Louis.

2.10. 1,3-BUTADIENE

2.10.1. ORIGINE ET EFFETS SANITAIRES

Le 1,3-butadiène est un composé organique volatil entrant dans la fabrication des caoutchoucs synthétiques, résines, peintures. Il est également retrouvé en plus faibles quantités dans le raffinage de pétrole, et est présent dans les gaz d'échappement des véhicules et dans la fumée de cigarette.

Le 1,3-butadiène est classé cancérogène catégorie 1 par l'Union Européenne (INRS, 2002²). Les études existantes sur les effets toxicologiques ont surtout été réalisées en exposition professionnelle

2.10.2. RESULTATS

1,3-BUTADIENE

Le 1,3-butadiène a été mesuré par canister (Annexe 2 : Descriptif des appareils de mesures : méthodes de mesures et utilisation) au niveau des cinq stations dédiées à l'étude L2. Sur chacune de ces stations, deux prélèvements de 24h ont été réalisés, un en hiver et un en été.

En France, il n'existe pas de réglementation concernant ce composé. A titre indicatif, l'objectif de qualité annuel au Royaume Uni est de 2,25 µg/m³ (DEFRA, 2003). De façon générale, le 1,3-butadiène est mesuré dans des teneurs faibles pour les cinq sites marseillais, par comparaison à l'objectif de qualité (U.K.) (Figure 26).

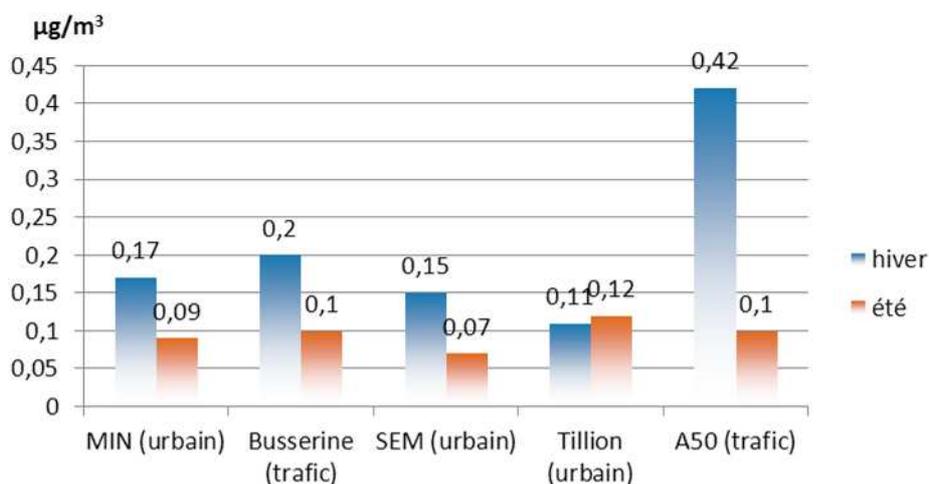


Figure 26 : Concentrations en 1,3-butadiène aux cinq stations L2

Les teneurs hivernales en 1,3-butadiène sont généralement plus élevées que celles d'été, en lien avec une météorologie moins dispersive l'hiver.

Le site de l'A50 se démarque des autres en hiver : durant la journée de prélèvement, ce site était sous les vents d'Arkéma (voir § 2.3.2 relatif au benzène) provenant de l'est, ce qui a contribué à l'augmentation des COV sur le couloir de l'A50. Durant la journée d'été, le vent n'était pas dans la même direction (Figure 27), les concentrations reflètent uniquement les émissions de l'autoroute.

² INRS, 2002 : « 1,3-butadiène, fiche toxicologique FT 241 »

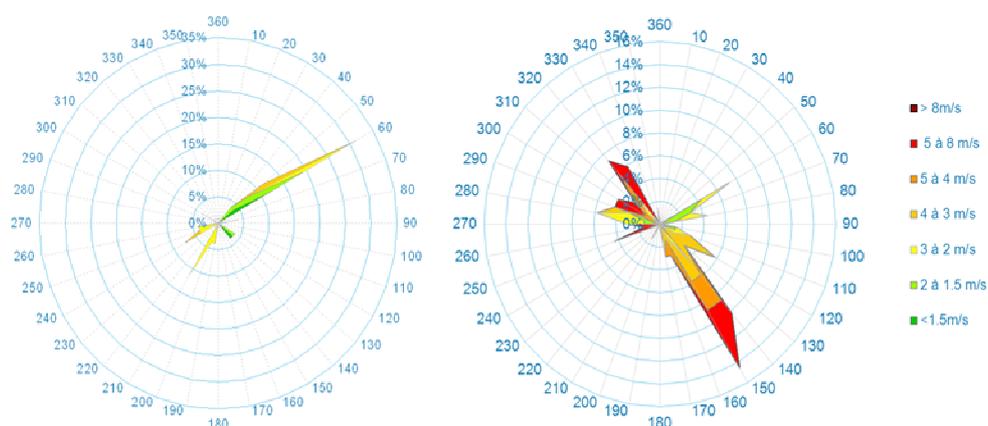


Figure 27 : Roses des vents lors des prélèvements : à gauche en hiver (10/03/11), à droite en été (du 21 au 23/06/11)

AUTRES COV

Tableau 12 : Teneurs en COV relevées en 2011 par les canisters sur les sites L2

COV $\mu\text{g}/\text{m}^3$		Station L2-Busserine (trafic)	Station L2-A50 (trafic)	Station L2-SEM (urbain)	Station L2-MIN (urbain)	Station L2-Collège Tillion (urbain)
1,3-butadiène	Hiver	0,20	0,42	0,15	0,17	0,11
	Été	0,10	0,10	< 0,07	0,09	0,12
Benzène Valeur limite pour la protection de la santé humaine : 5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Hiver	1,14	7,32	0,93	0,75	1,26
	Été	0,79	2,24	0,64	0,55	0,49
Toluène Valeur guide hebdomadaire : 260 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Hiver	3,48	4,51	2,14	3,67	2,17
	Été	2,85	4,02	2,50	4,41	1,69
Benzène/Toluène	Hiver	0,33	1,62	0,43	0,20	0,58
	Été	0,28	0,56	0,26	0,12	0,29

Les données en 1,3-butadiène du Tableau 12 correspondent à celles représentées sur l'histogramme en Figure 26. D'autres COV, tels le benzène et toluène, ont été analysés. La concentration élevée en benzène à l'A50 est à relier avec celle du 1,3-butadiène sur ce même site (voir § 2.3.2, § ci-dessus et Figure 27).

Le ratio Benzène/Toluène permet également de discerner la source trafic du benzène de la source industrielle : un rapport compris entre 0,2 et 0,5 confirme l'influence majoritaire de l'automobile ; entre 0,5 et 1, l'automobile contribue aux teneurs en benzène mais n'est pas prédominante, d'autres sources sont en cause ; lorsque le ratio est supérieur à 1, il est caractéristique d'une source industrielle (excès de benzène). C'est le cas sur le site de l'A50 en hiver avec un ratio égal 1,62 (ratio maximal de la vallée de l'Huveaune en 2010 : 1,82).

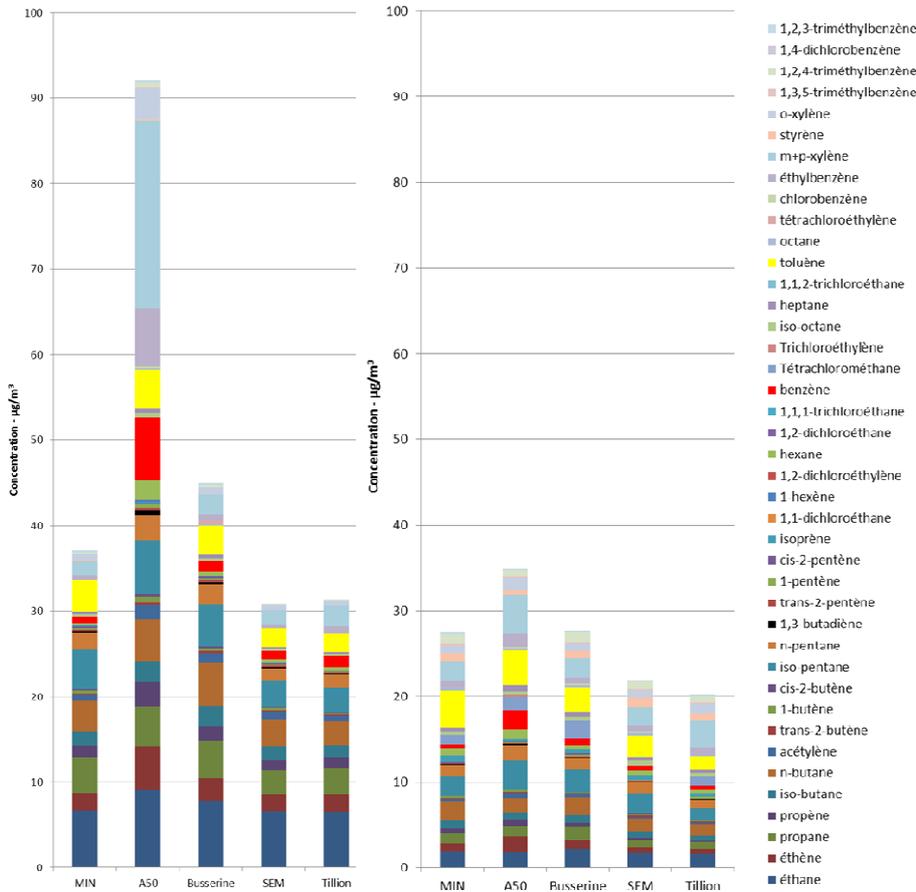


Figure 28 : Répartition des COV issus des canisters exposés 24h en hiver (à gauche) et en été (à droite) le long de la L2

La quantité de COV totaux (somme des quantités par composé) est légèrement plus importante l'hiver que l'été pour toutes les stations (Figure 28).

Le site de l'A50 se singularise en hiver des autres stations dans la mesure où le site était sous les vents de l'usine Arkéma le jour du prélèvement (voir § précédent et Figure 27). Le benzène, l'éthylbenzène et le m+p-xylène sont les trois composés se démarquant le plus en termes de quantité et proportion lors de cet évènement (Figure 28).

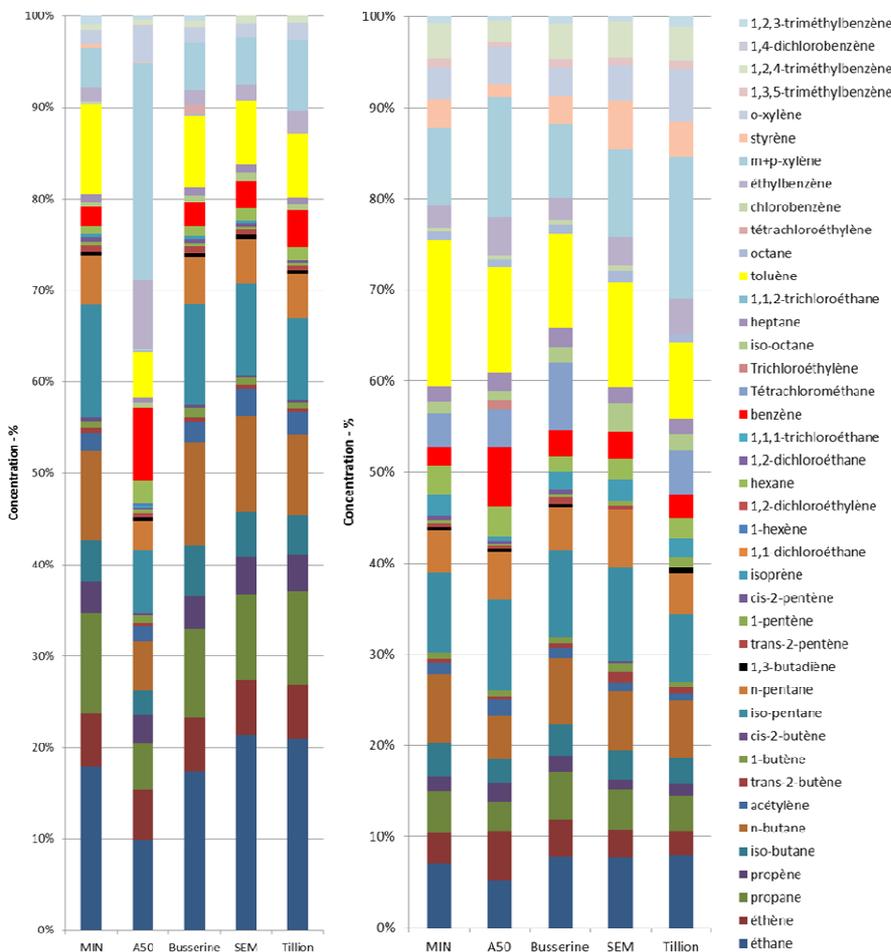


Figure 29 : Répartition (en %) des COV issus des canisters exposés 24h en hiver (à gauche) et en été (à droite) le long de la L2

Par saison, la répartition des COV est homogène entre les sites (Figure 29), excepté pour l'A50 en hiver (voir § précédent). En revanche, cette répartition est différente d'une saison à l'autre : certains composés comme l'éthane et le propane prennent une proportion plus importante en hiver qu'en été, et vice-versa pour d'autres molécules, à savoir le toluène, le m+p-xylène (A50 exceptée) et le styrène qui détiennent une proportion moins élevée en hiver qu'en été dans l'échantillon récolté.

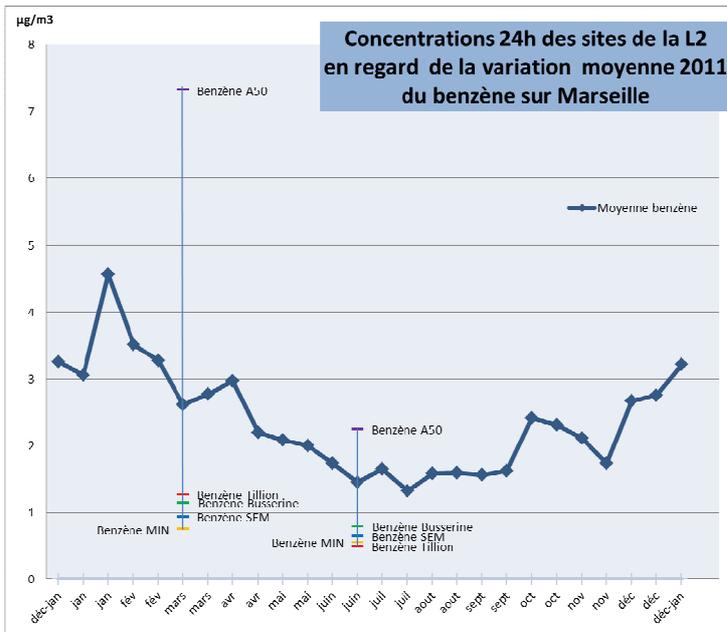
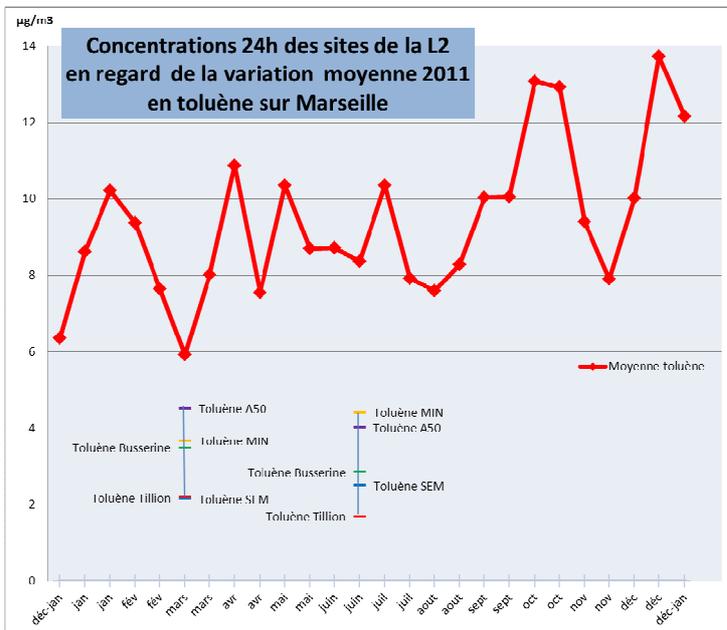


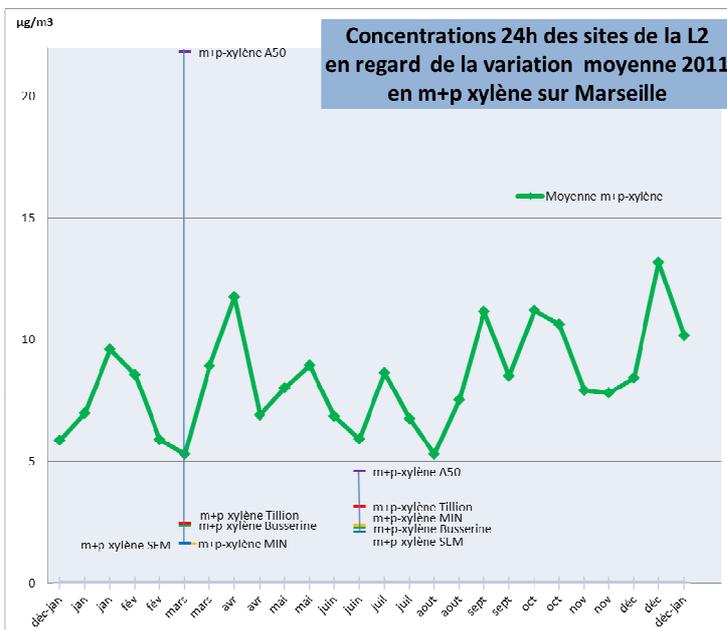
Figure 30 : Teneurs 24h en COV des sites de la L2 en regard des variations annuelles du réseau fixe*

Le benzène, toluène et xylène sont suivis sur le réseau de stations marseillaises. La moyenne du réseau, par polluant, est figurée sur ces graphes. La saisonnalité est marquée pour le benzène avec une diminution des teneurs en été, liée à un brassage de l'atmosphère plus important. Pour le toluène et les xylènes, les concentrations sont plus importantes lors de l'automne et de l'hiver 2011-2012.



Les prélèvements ponctuels de canisters (24h) des sites de la L2 sont représentés quantitativement sur ces graphes par des petits segments. Sur les 5 sites, les prélèvements ont eu lieu début mars et fin juin.

Les concentrations 24h, quel que soit le polluant, se situent en deçà de la tendance bimensuel du réseau fixe. A l'exception du site de l'A50, dont les concentrations en benzène et xylène sont plus importantes.



* La technique de mesure sur les stations du réseau fixe diffère de celle des canisters : il s'agit de « tubes » à diffusion passive exposés toute l'année, renouvelés chaque quinzaine de jours (26 concentrations sur un an).

3. CONCLUSION

Le volet « Air et Santé » du projet L2 a fait l'objet d'une actualisation, par une étude d'impact de niveau I comprenant plusieurs items, prévue par la réglementation en vigueur. Atmo PACA a été sollicitée pour les deux items suivants :

- La qualification de l'état initial par des mesures in situ,
- L'estimation des concentrations dans la bande d'étude et, selon la nature du projet, dans l'ensemble du domaine des zones urbanisées.

Selon les critères de trafic (à l'horizon de l'étude et aux heures de pointe) et de concentrations minimales en dioxyde d'azote, la largeur de la bande d'étude est définie sur 300 mètres. Seize polluants doivent être pris en compte dans le cadre d'études d'impact d'infrastructures routières (CERTU, 2005), dont deux principaux, à savoir le dioxyde d'azote et les particules.

La période de mesure s'étend de début février 2011 à fin juillet 2011. Les campagnes de mesure hiver et été sont mises en place en fonction des polluants et des techniques de mesure applicables.

PARTICULES

La valeur limite annuelle pour la protection de la santé humaine en PM10 est fixée à 40 µg/m³. Le seuil journalier est de 50 µg/m³, toléré 35 fois par an.

Les résultats dans la bande d'étude montrent des teneurs homogènes malgré la typologie des sites de mesure : la moyenne annuelle en fond urbain est de 30 µg/m³, celle en trafic est de 35 µg/m³. Cela dit, les PM10 peuvent être impactées localement sur une zone de chantier de construction où elles sont remises en suspension.

Le long du tracé L2, les moyennes en PM10 se situent en deçà de la valeur limite annuelle.

En revanche, les concentrations journalières sont à suivre de près : la station placée au bord de l'A50 (TMJA actuel de 107 000 véhicules/jour) relève sur 6 mois de mesure 29 dépassements de 50 µg/m³, alors que 35 sont tolérés sur l'année. **Le site de l'A50 est vraisemblablement en dépassement de cette valeur limite journalière sur l'année pour les PM10.**

La valeur limite annuelle en PM2,5 est de 25 µg/m³, et sera applicable d'ici 2015. En 2011, elle est temporairement de 28 µg/m³.

La valeur limite annuelle en PM2,5 est respectée sur le site de l'A50 : la concentration moyenne annuelle atteint 22 µg/m³ en PM2,5. La proximité du trafic joue directement sur les teneurs en PM2,5, dites particules fines, issues en grande partie de la combustion des carburants.

DIOXYDE D'AZOTE (NO₂)

Le NO₂ est un polluant traceur du trafic routier. La valeur limite annuelle est de 40 µg/m³.

Le boulevard Allende possède actuellement un TMJA de 50 000 véhicules/jour. **Les concentrations annuelles dépassent la valeur limite à moins de 10 mètres de l'axe de la future L2 nord :** elles sont comprises entre 45 et 63 µg/m³, en fonction de la pente de la route (les véhicules montant une côte émettent plus de polluants).

Cependant, à partir de 50 mètres de l'axe circulé, les concentrations deviennent inférieures à la valeur limite.

Le fond urbain dans le quartier de la future L2 nord est estimé entre 30 µg/m³ et 40 µg/m³.

Les teneurs constatées à la sortie immédiate du tunnel des Tilleuls sont 2,5 à 3 fois plus importantes que la valeur limite, sur les voies de circulation à la tête Nord (concentration supérieure à 100 µg/m³) : cette situation se produit lorsque l'air vicié du tunnel se retrouve en sortie, dans un milieu encaissé non dispersif, et avec une certaine pente qui constitue un facteur aggravant. A la sortie immédiate de la tête Sud, la valeur mesurée sur les voies de circulation est quant à elle supérieure à la valeur limite par un facteur de 1,6.

Les concentrations diminuent progressivement avec la distance à l'axe circulé pour devenir inférieures à la valeur limite à partir de 50 mètres, puis atteindre la valeur de fond.

Les concentrations en fond urbain du côté de la L2 Est, non circulante, sont comprises entre 25 et 31 µg/m³, excepté sur les axes transversaux qui dépassent les 40 µg/m³ (avenue des Caillols, avenue de Saint Julien, A50).

AUTRES POLLUANTS

Benzène

Les concentrations annuelles en benzène sont toutes inférieures à la valeur limite de 5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. 20% d'entre elles sont supérieures à l'objectif de qualité de 2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ caractérisant des sites de trafic.

Les points d'échantillonnage situés dans la vallée de l'Huveaune sont impactés par l'usine chimique Arkéma du quartier Saint Menet (site de l'A50 entre autres).

Aldéhydes

Les concentrations dans la bande d'étude sont toutes comprises entre 1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ et 3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

La différence inter saison n'est pas marquée sur les trois aldéhydes mesurés. La seule valeur réglementaire existante est fixée à 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ sur le formaldéhyde, polluant plutôt suivi en qualité de l'air intérieur.

Monoxyde de carbone (CO)

Depuis une vingtaine d'années, le parc de mesure d'Atmo PACA enregistre une baisse de 80% des teneurs en monoxyde de carbone. L'installation des pots catalytiques en est la principale raison.

La valeur limite pour la protection de la santé humaine est de 10 mg/m^3 , tolérée sur 8 heures consécutives. Celle-ci est amplement respectée. Aucune moyenne durant la période de mesure n'excède 1 mg/m^3 .

Ozone (O₃)

L'ozone est un polluant secondaire, c'est-à-dire produit à partir de la transformation de polluants primaires issus des combustions (trafic en ville, autoroutes, sources industrielles). Sous l'effet du rayonnement UV, les réactions chimiques sont amplifiées et l'ozone est produit et s'accumule dans les zones rurales. C'est la raison pour laquelle les concentrations en ozone ne dépassent pas fréquemment les seuils réglementaires en ville.

La situation est similaire pour l'étude d'impact autour de la L2 située en zone urbaine : le seuil de recommandation et d'information de 180 $\mu\text{g}/\text{m}^3/\text{h}$ n'est atteint qu'une seule fois sur le site de la SEM, épisode commun à d'autres stations permanentes de Marseille, dénotant un épisode photochimique sur l'agglomération.

Dioxyde de soufre (SO₂)

Le dioxyde de soufre est un composé traceur de la pollution industrielle. Les concentrations sur Marseille sont très faibles depuis la mise en place des carburants diesel sans soufre. Les moyennes annuelles sur la L2 ne dépassent pas 2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, et sont de fait très inférieures à l'objectif de qualité de 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Les seuls épisodes horaires sur Marseille plus marqués en SO₂ sont dus à l'arrivée de panaches industriels de la région de Fos/étang de Berre ; mais les concentrations restent bien inférieures au seuil horaire de recommandation 300 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques

Le benzo(a)pyrène est le seul HAP faisant l'objet d'une valeur cible annuelle de 1 ng/m^3 .

Aucun site de la L2 ne dépasse la valeur cible pour les deux saisons.

Le B(a)P a des teneurs plus élevées en hiver qu'en été puisqu'il est, entre autres, issu du chauffage résidentiel.

Les concentrations peuvent être importantes sur quelques jours en particulier, en lien avec l'intensité de la chauffe en fonction de la température extérieure.

Métaux lourds

Les quatre métaux lourds réglementés sont l'arsenic, le cadmium, le nickel et le plomb. Les trois premiers éléments ne sont pas présents en quantité suffisante pour être détectés par les appareils de mesure, et sont de fait inférieurs à leurs valeurs cibles respectives.

Le plomb est détecté et quantifié, avec des valeurs comprises entre 3 et 18 ng/m³, et reste bien en-dessous de l'objectif de qualité fixé à 250 ng/m³.

Les autres éléments métalliques non réglementés tels que le mercure et le chrome ne sont pas détectés par les appareils de mesure.

Le baryum, lié aux particules d'arrachement de la circulation routière, est retrouvé sur les sites trafic de la Busserine et de l'A50 dans des proportions 3 à 6 fois supérieures aux teneurs de fond mesurées à Saint Louis (station permanente Atmo PACA) en 2009.

1,3-butadiène

Le 1,3-butadiène est un composé organique volatil émis entre autres par les caoutchoucs de synthèse, et par les gaz d'échappement. Il n'existe pas à l'échelle nationale de valeur réglementaire pour ce composé. L'objectif de qualité anglais est fixé à 2,25 µg/m³.

Les teneurs sur les sites L2 sont plus faibles l'été que l'hiver : la météorologie est plus dispersive l'été et la propriété volatile du composé est renforcée en période de chaleur.

La concentration maximale est retrouvée sur le site de l'A50 (0,42 µg/m³) située dans la vallée de l'Huveaune. Par vent d'Est, ce site est sous l'influence des émissions de l'usine Arkéma Saint Menet, qui agissent sur les valeurs en 1,3-butadiène.

DISCUSSION ET PERSPECTIVES

Les campagnes de mesures constituent la première étape de l'étude globale « Air et Santé L2 ». Celle-ci comporte également d'autres enjeux :

- l'étude du trafic avant et après la mise en circulation (2016) (CETE Méditerranée),
- le calcul des émissions polluantes dues au trafic avant et après la mise en circulation (2016) (Atmo PACA),
- la modélisation et les cartographies de la qualité de l'air avant et après la mise en circulation (2016) (Numtech),
- l'estimation de l'exposition de la population avant et après la mise en circulation (2016) (Numtech).

Les campagnes de mesures constituent l'une des données indispensables pour la réalisation des cartographies modélisées dans la bande d'étude L2, mais également à l'échelle de l'agglomération de Marseille. Une comparaison des concentrations modélisées et observées permet de valider le modèle utilisé pour l'estimation des concentrations avant et après mise en circulation de la L2. La création de la plateforme de modélisation est réalisée par le bureau d'études Numtech. Ci-dessous figure la carte « Etat initial 2011 de la qualité de l'air » sur le domaine d'étude L2 (Figure 31). Elle présente les concentrations observées par Air PACA (pastilles) et les concentrations modélisées (fond de couleur). Cette carte tient compte, des observations des émissions, de la météorologie, de la topographie, du bâti, etc.

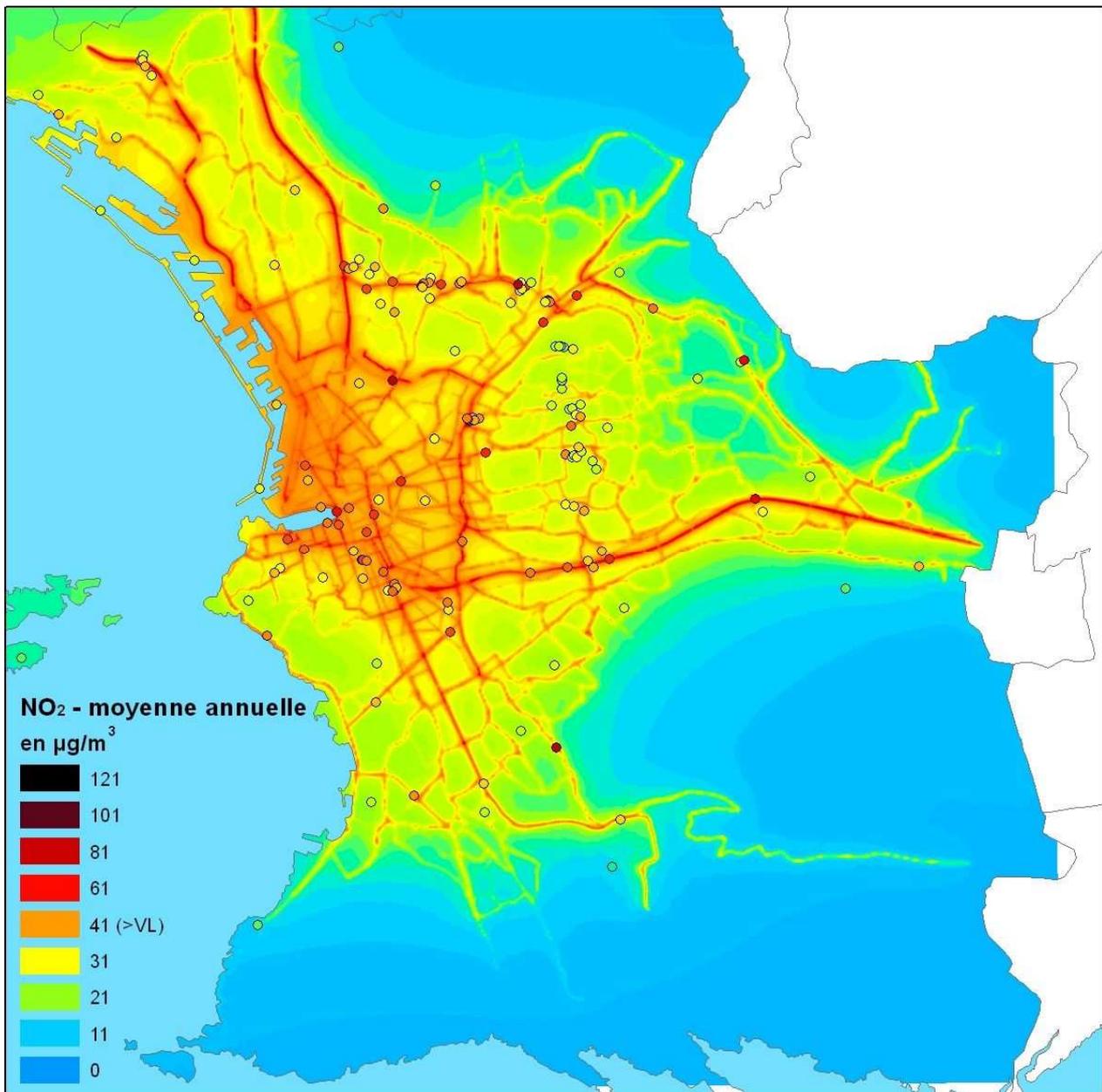


Figure 31 : Cartographie 2011 du dioxyde d'azote sur Marseille

Sur cet état 2011, comme à l'horizon 2016 (mise en circulation de la L2), les concentrations en polluants en air ambiant sont principalement dépendantes du trafic moyen journalier et des mesures de réduction (aménagement de l'axe, gestion du trafic, amélioration du parc automobile).

Concernant le NO₂, sans aménagement spécifique, des teneurs supérieures à la valeur limite annuelle sont à prévoir sur l'ensemble des situations de trafic, ainsi que dans les zones urbaines proches. Des points chauds sont également à envisager en tête de tunnel.

La tendance est similaire pour les particules sur les sites de trafic. Les teneurs devraient être atténuées en zones urbaines sur lesquelles les origines des particules sont plurielles.

Suite à cet état initial, les partenaires de l'étude L2, puis les candidats au contrat de partenariat vont étudier des mesures permettant la réduction de la pollution dans les zones habitées affectées par des dépassements de seuils réglementaires. Celles-ci seront simulées à-travers différents scénarios pouvant combiner plusieurs mesures.

Tableau 13 : Synthèse des résultats dans la bande d'étude L2 – campagnes 2011

Polluants mesurés			Stations	L2 MIN	L2 Busserine	L2 SEM	L2 Tillion	L2 A50	
Particules PM10 µg/m ³	Analyseur mesures automatiques (6 mois)	Moyenne annuelle Valeur limite pour la protection de la santé humaine : 40 µg/m ³		33	33	37	33	32	
		Nombre de jours de dépassement Valeur limite journalière pour la protection de la santé humaine : 50 µg/m ³ , tolérance : 35 j/an		15/143 soit 10%	16/149 soit 11%	18/64 soit 28%	7/86 soit 8%	29/160 soit 18%	
Particules PM2,5 µg/m ³	Analyseur mesures automatiques (6 mois)	Moyenne annuelle Valeur limite pour la protection de la santé humaine (2015) : 25 µg/m ³						22	
Dioxyde d'azote (NO ₂) µg/m ³	Analyseur mesures automatiques (6 mois)	Moyenne annuelle Valeur limite pour la protection de la santé humaine : 40 µg/m ³		32	41	25	31	59	
		Maximum horaire Seuil de recommandation : 200 µg/m ³ /h		134	173	106	143	212 2 dépassements	
	Echantillonneurs passifs (1 mois par saison)	Moyenne annuelle reconstituée Valeur limite pour la protection de la santé humaine : 40 µg/m ³	Sites trafic : de 33 à 105 Sites fond urbain : de 24 à 41						
Oxydes d'azote (NO _x) µg/m ³	Analyseur mesures automatiques (6 mois)	Moyenne annuelle Valeur limite pour la protection de la végétation : 30 µg/m ³		47	72	38	42	134	
Benzène µg/m ³	Echantillonneurs passifs (1 mois par saison)	Moyenne annuelle reconstituée Valeur limite pour la protection de la santé humaine : 5 µg/m ³	Sites trafic : de 1,4 à 3,1 Sites fond urbain : de 1,5 à 2,9						
	Canisters (24h par saison)	Moyenne par saison ³		0,9 0,7	1,1 0,8	0,9 0,6	1,3 0,5	7,3 2,2	
Formaldéhyde µg/m ³	Echantillonneurs passifs (1 mois par saison)	Moyenne sur les deux saisons Valeur cible pour la protection de la santé humaine : 10 µg/m ³	Sites trafic : de 1,6 à 2,3 Sites fond urbain : de 1,5 à 1,9						
Monoxyde de carbone (CO) µg/m ³	Analyseur mesures automatiques (3 semaines à 6 mois en fonction des sites)	Maximum sur 8h consécutives Valeur limite sur la protection de la santé humaine : 10 mg/m ³ /8h			0,8	1,1	0,8	1	
Ozone (O ₃) µg/m ³	Analyseur mesures automatiques (1 mois par saison)	Maximum horaire Seuil de recommandation : 180 µg/m ³ /h				113 188	107		
		Nombre de jours de dépassement Valeur cible européenne pour la protection de la santé humaine : moyenne sur 8h consécutives : 120 µg/m ³ , tolérance 25 j/an				0 8	0		
Dioxyde de soufre (SO ₂) µg/m ³	Analyseur mesures automatiques (1 mois par saison)	Moyenne annuelle Objectif qualité : 50 µg/m ³ /an				1,7	1,1		
		Maximum horaire Seuil de recommandation : 300 µg/m ³ /h				30	80		

³ Chaque site comprend deux colonnes, une première destinée au résultat hivernal, et une seconde pour la concentration estivale.

Benzo(a)pyrène ng/m ³	Filtres journaliers (une semaine par saison)	Moyenne par saison Valeur cible annuelle pour la protection de la santé humaine : 1 ng/m ³	0,32	0,06	0,25	0,03	0,56	0,03	0,08	0,02	0,35	0,06
Plomb (Pb) ng/m ³	Filtres journaliers (deux semaines minimum, jusqu'à deux mois sur certains sites, par saison)	Moyenne sur les deux saisons Valeur limite annuelle pour la protection de la santé humaine : 500 ng/m ³ Objectif de qualité annuel pour la protection de la santé humaine : 250 ng/m ³	11,9		6,9		7,1		4,1		9,8	
Arsenic (As) ng/m ³	Filtres journaliers (deux semaines minimum, jusqu'à deux mois sur certains sites, par saison)	Moyenne sur les deux saisons Valeur cible annuelle pour la protection de la santé humaine : 6 ng/m ³	<LD		<LD		<LD		<LD		<LD	
Cadmium (Cd) ng/m ³	Filtres journaliers (deux semaines minimum, jusqu'à deux mois sur certains sites, par saison)	Moyenne sur les deux saisons Valeur cible annuelle pour la protection de la santé humaine : 5 ng/m ³	<LD		<LD		<LD		<LD		<LD	
Nickel (Ni) ng/m ³	Filtres journaliers (deux semaines minimum, jusqu'à deux mois sur certains sites, par saison)	Moyenne sur les deux saisons Valeur cible annuelle pour la protection de la santé humaine : 20 ng/m ³	<LD		<LD		<LD		<LD		<LD en hiver 8,1 en été	
1,3-butadiène µg/m ³	Canisters (24h par saison)	Moyenne sur les deux saisons Objectif de qualité annuel (UK) : 2,25 µg/m ³	0,17	0,09	0,20	0,10	0,15	0,07	0,11	0,12	0,42	0,10

4. REFERENCES

- DREAL PACA, 2010 : http://www.paca.developpement-durable.gouv.fr/a507-rocade-l2-a-marseille-r471.html?page=rubrique&id_rubrique=471&id_article=998&masquable=OK
- CERTU, 2005 : note méthodologique et circulaire interministérielle GDS/SD7B n° 2005-273 du 25 février 2005
- ADEME, 2002 : "Classification et critères d'implantation des stations de surveillance de la qualité de l'air", ADEME Editions, Paris, 2002.
- INRS, 1999 : fiche toxicologique FT57
<http://www.inrs.fr/accueil/produits/bdd/doc/fichetox.html?refINRS=FT%2057>
- INRS, 2008 : fiche toxicologique FT 7
<http://www.inrs.fr/accueil/produits/bdd/doc/fichetox.html?refINRS=FT%207>
- INRS, 2004 : fiche toxicologique FT 120
<http://www.inrs.fr/accueil/produits/bdd/doc/fichetox.html?refINRS=FT%20120>
- INRS, 2002 : fiche toxicologique FT 241
<http://www.inrs.fr/accueil/produits/bdd/doc/fichetox.html?refINRS=FT%20241>
- Société Prado Sud, 2010 : <http://www.tunnelpradosud.com/>
http://www.tunnelpradosud.com/pdf_user/info_chantier_2_aout_2010.pdf
- Atmo PACA Rhône-Alpes, données 2011 <http://www.atmo-rhonealpes.org/site/accueil/monaccueil/all/>
- DEFRA, 2003 : objectif de qualité 1,3-butadiène (U.K.)
http://uk-air.defra.gov.uk/documents/National_air_quality_objectives.pdf
- Airfobep, 2010 : http://www.airfobep.org/docs/etude_sur_les_particules_sedimentables_ecran.pdf

PUBLICATIONS D'ATMO PACA CONCERNANT AEROSOLS, EMISSIONS ET MODELISATION.

- Atmo PACA, Nice Côte d'Azur (2009), Etat Initial de la qualité de l'air : projet Tramway.
http://www.atmopaca.org/files/et/0903_ATMO_PACA_NCA_rapport_technique_Tramway.pdf
- Atmo PACA, Ministère de l'Ecologie (2009), FORMES, Fraction organique de l'aérosol urbain : méthodologie d'estimation des sources, CR 0001135 du Programme Primequal.
- Atmo PACA, DREAL (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 ROUTIERES

- « 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 -
- « Qualité de l'air pendant les travaux du 2ème tube du tunnel de Toulon, jonction A50-A57 » - Maître d'œuvre : DDE Var – 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

5. LISTE DES TABLEAUX ET FIGURES

TABLEAUX

Tableau 1 : Equipement des stations et sites échantillonnés, et durées de prélèvement.....	12
Tableau 2 : Evaluation des niveaux de PM10	15
Tableau 3 : Evaluation des niveaux de PM2,5	18
Tableau 4 : Comparaison des ratios PM2,5/PM10.....	18
Tableau 5 : évaluation des niveaux de NO ₂	25
Tableau 6 : évaluation des niveaux de NO _x	30
Tableau 7 : Evaluation des niveaux de CO	35
Tableau 8 : Résultats de la période hiver 2011 en ozone sur deux stations permanentes d'Atmo PACA et sur la L2	36
Tableau 9 : Résultats de la période été 2011 en ozone sur deux stations permanentes d'Atmo PACA et à la station SEM.....	37
Tableau 10 : Résultats 2011 en SO ₂ pour une station permanente d'Atmo PACA et sur la L2	39
Tableau 11 : Concentrations 2011 par saison en métaux lourds le long de la L2	43
Tableau 12 : Teneurs en COV relevées en 2011 par les canisters sur les sites L2	45
Tableau 13 : Synthèse des résultats dans la bande d'étude L2 – campagnes 2011.....	52
Tableau 14 : Concentration station - triplon.....	76
Tableau 15 : Concentrations stations.....	77
Tableau 16 : Evaluation des niveaux de PM10	87
Tableau 17 : Evaluation des niveaux de PM2,5	89
Tableau 18 : Evaluation des niveaux en NO ₂	90
Tableau 19 : Evaluation des niveaux de CO	92

FIGURES

Figure 1 : Liaisons routières A7/A55 - A50 existantes, et en projet (L2).....	6
Figure 2 : Echantillonnage dans la bande d'étude L2.....	7
Figure 3 : Emplacement de la station de mesures MIN à la fourrière des Arnavaux.....	9
Figure 4 : Emplacement de la station de mesures de la Busserine au sein dans la cour d'école maternelle.....	9
Figure 5 : Emplacement de la station de mesures de la SEM située contre le mur séparant l'enceinte de la SEM de la L2 Est	10
Figure 6 : Emplacement de la station de mesures Tillion, située sur le stade du collège Tillion	10
Figure 7 : Emplacement de la station de mesures A50, au bord de l'autoroute A50.....	11
Figure 8 : Zone de travaux sur la portion ouverte comprise entre le tunnel de Montolivet et la tranchée couverte de Saint Barnabé.....	16
Figure 9 : Episode de mistral le 12/04/11 à la station Météo France de Marseille Hippodrome	17
Figure 10 : Concentrations moyennes 2011 en PM10 par saison dans la bande d'étude L2.....	19
Figure 11 : Schéma du principe d'inversion thermique se produisant en hiver	20
Figure 12 : Diagrammes en boîtes des données PM10 par saison sur la L2 et Marseille	21
Figure 13 : Concentrations moyennes 2011 en PM2,5 par saison sur Marseille et à la station A50	22
Figure 14 : Diagrammes en boîtes des données PM2,5 par saison sur la L2 et Marseille	23
Figure 15 : Concentrations moyennes annuelles 2011 en NO ₂ de Marseille à Aubagne	26
Figure 16 : Concentrations moyennes annuelles 2011 en NO ₂ sur le boulevard Allende.....	27
Figure 17 : Concentrations moyennes annuelles 2011 en NO ₂ à la dalle des Tilleuls.....	28
Figure 18 : Concentrations moyennes annuelles 2011 en NO ₂ le long de la L2 Est	29
Figure 19 : Concentrations moyennes 2011 en NO ₂ par saison dans la bande d'étude L2.....	30
Figure 20 : Diagrammes en boîtes des données NO ₂ par saison sur la L2 et Marseille	32

Figure 21 : Concentrations saisonnières 2011 en benzène dans la bande d'étude L2 : hiver à gauche et été à droite	33
Figure 22 : Concentrations annuelles 2011 en formaldéhyde dans la bande L2	34
Figure 23 : Diagrammes en boîte des données horaires en ozone par saison sur la L2, Marseille et la Penne sur Huveaune	38
Figure 24 : Concentrations par saison en B(a)P sur Marseille en 2011	40
Figure 25 : Concentrations en plomb par saison sur les cinq stations L2 en 2011	41
Figure 26 : Concentrations en 1,3-butadiène aux cinq stations L2	44
Figure 27 : Roses des vents lors des prélèvements : à gauche en hiver (10/03/11), à droite en été (du 21 au 23/06/11)	45
Figure 28 : Répartition des COV issus des canisters exposés 24h en hiver (à gauche) et en été (à droite) le long de la L2	46
Figure 29 : Répartition (en %) des COV issus des canisters exposés 24h en hiver (à gauche) et en été (à droite) le long de la L2	46
Figure 30 : Teneurs 24h en COV des sites de la L2 en regard des variations annuelles du réseau fixe*	47
Figure 31 : Cartographie 2011 du dioxyde d'azote sur Marseille	51
Figure 32 : Emission en PM10 (g/km) du parc roulant (VL+VUL+PL) en PACA en 2007 et 2015 en fonction des vitesses	71
Figure 33 : Emission en NOx (g/km) du parc roulant (VL+VUL+PL) en PACA en 2007 et 2015 en fonction des vitesses	72
Figure 34 : Répartition des différents secteurs d'émissions des particules PM2,5 (à gauche) et PM10 (à droite) sur la commune de Marseille	74
Figure 35 : Profils horaires moyens pour les mois de la campagne L2 à la station A50	75
Figure 36 : Profils horaires moyens du trafic en 2009 pour les mois correspondants à la campagne L2 sur l'A50 à l'entrée de Marseille	75
Figure 37 : Régression linéaire par série	76
Figure 38 : Régression linéaire pour l'estimation annuelle à partir d'une moyenne « été-hiver »	78
Figure 39 : Régression linéaire pour l'estimation annuelle à partir d'une seule période : « été » ou « hiver »	78
Figure 40 : Emplacement des tubes passifs NO ₂ dans la bande d'étude L2 avec leur numéro de site	80
Figure 41 : Emplacement des tubes passifs BTEX et aldéhydes dans la bande d'étude L2 avec leur numéro de site	83
Figure 42 : Emplacement de la station de mesures au parc de la Moline	86
Figure 43 : Corrélation PM10 entre la station Moline et la station Cinq Avenues	86
Figure 44 : A gauche : rose des vents durant la campagne Moline (22/11/2011 - 09/01/2012), à droite : rose des vents cumulant les hivers de 2006 à 2011 (station Météo France hippodrome de Marseille)	87
Figure 45 : Diagrammes en boîtes des données horaires PM10 durant la campagne Moline	88
Figure 46 : Corrélations PM2,5 entre la station Moline et les stations fixes sur Marseille	89
Figure 47 : Diagrammes en boîtes des données horaires PM2,5 durant la campagne Moline	90
Figure 48 : Diagrammes en boîtes des données horaires NO ₂ durant la campagne Moline	91
Figure 49 : Brûlage sur le site de la Moline le 20/12/11 entre 10h et 11h (CO en bleu, NOx en vert, PM2,5 en rouge)	92

6. ANNEXES

6.1. ANNEXE 1 : CIRCULAIRE INTERMINISTERIELLE GDS/SD7B N° 2005-273 DU 25 FEVRIER 2005

relative à la prise en compte des effets sur la santé de la pollution de l'air dans les études d'impact des infrastructures routières

Extrait

Référence : article L. 122-3 du code de l'environnement, décret n° 2003-767 du 1^{er} août 2003 modifiant le décret n° 77-1141 du 12 octobre 1977.

Annexe : note méthodologique sur l'évaluation des effets sur la santé de la pollution de l'air dans les études d'impact routières.

Le ministre des solidarités, de la santé et de la famille, le ministre de l'équipement, des transports, de l'aménagement du territoire, du tourisme et de la mer et le ministre de l'écologie et du développement durable à Mesdames et Messieurs les préfets de région ; Mesdames et Messieurs les préfets de département ; Mesdames et Messieurs les directeurs régionaux et départementaux de l'équipement ; Mesdames et Messieurs les directeurs régionaux et départementaux des affaires Sanitaires et sociales (pour instruction).

L'article L. 122-3 du code de l'environnement précise que tous les projets requérant une étude d'impact doivent comprendre « une étude des effets sur la santé » et présenter les mesures envisagées pour supprimer, réduire et, si possible compenser les conséquences dommageables du projet sur l'environnement et la santé.

Ses modalités d'application ont été précisées par le décret n° 2003-767 du 1^{er} août 2003 modifiant le décret n° 77-1141 du 12 octobre 1977 relatif aux études d'impact, notamment sur les aspects santé.

L'objectif de la présente circulaire est de fournir des indications méthodologiques sur l'élaboration et le contenu attendu des études d'impact des infrastructures routières en ce qui concerne les effets sur la santé de la pollution de l'air.

I. - RAPPEL DES DISPOSITIONS EN VIGUEUR

La circulaire MATE/DNP du 17 février 1998 a présenté les principes généraux qui doivent présider à l'élaboration de l'étude des effets du projet sur la santé :

1. L'étude doit porter sur tous les thèmes pertinents au regard des risques du projet sur la santé (air, bruit, eau, sols, sécurité routière,...), et évaluer les effets directs et indirects ;
2. L'étude doit apprécier les effets cumulatifs par rapport aux nuisances existantes ;
3. L'étude doit identifier les populations exposées ;
4. L'étude des effets sur la santé porte à la fois sur la phase chantier et sur la phase exploitation.

La circulaire MES/DGS du 3 février 2000 a diffusé le guide méthodologique réalisé par l'Institut de veille sanitaire (InVS) relatif à l'analyse critique du volet sanitaire des études d'impact. Le cadre général retenu dans ce guide est celui de la démarche d'évaluation quantitative des risques. Cette démarche nécessite cependant d'être adaptée aux projets d'infrastructures du fait de leur spécificité.

Le ministère chargé de la santé a, par ailleurs, dans une circulaire MES/DGS du 11 avril 2001, suggéré aux préfets de s'appuyer sur les DDASS pour procéder à l'analyse des études des effets sur la santé des projets soumis à étude d'impact et indiqué dans son annexe le contenu minimal desdites études. A cette occasion, a été rappelé le principe de proportionnalité de l'étude des effets du projet sur la santé : le contenu doit être proportionné à la dangerosité des substances émises et/ou à la fragilité de la population exposée.

Enfin, le ministère de l'équipement, direction des routes, a demandé au CERTU et au SETRA de préparer en liaison avec le ministère chargé de l'environnement une note méthodologique et une annexe technique sur le volet « air » des études d'environnement dans les projets routiers. Diffusée pendant l'été 2001, celle-ci constitue une première étape dans l'amélioration du volet « Air et Santé » des études d'environnement. Son annexe constitue une référence précieuse pour les projeteurs routiers.

II. - ADAPTATIONS DES INSTRUCTIONS ACTUELLES

Plus de trois ans après ces instructions il apparaît que l'évaluation des effets de la pollution atmosphérique sur la santé dans les études d'impact des infrastructures n'est toujours pas traitée de façon satisfaisante. C'est pourquoi, un groupe de travail a entrepris d'actualiser la note méthodologique relative aux effets de la pollution de l'air sur la santé en y intégrant les données sanitaires les plus récentes.

Cette note méthodologique annexée à la présente circulaire fournit aux DRE/DDE des éléments à prendre en compte dans l'élaboration des études d'impact concernant le réseau routier national, en les encourageant à se rapprocher en amont des services déconcentrés de la santé et de l'environnement pour l'établissement de leurs cahiers des charges « santé ». Elle constitue par ailleurs une aide à l'examen des études d'impact pour les DRASS/DDASS et DIREN. Elle pourra, le cas échéant, être portée à la connaissance d'autres maîtres d'ouvrage et maîtres d'oeuvre susceptibles de réaliser des projets routiers sous leur responsabilité. Du point de vue de la prise en compte de l'environnement dans la décision publique, une meilleure appréciation de l'impact de la pollution de l'air sur la santé doit contribuer à l'amélioration de l'information du public sur les risques sanitaires encourus et à une justification plus précise de la solution retenue, parmi d'autres possibles.

Compte tenu des incertitudes méthodologiques restant encore sur le volet « effets sur la santé de la pollution de l'air » dans les études d'impact appliquées aux infrastructures et du faible nombre d'expériences en la matière, la démarche présentée ici conserve un caractère évolutif. Il a été décidé d'en évaluer la mise en oeuvre dans un délai de trois ans maximum, afin d'y apporter les compléments, et corrections éventuellement nécessaires.

Nous vous rappelons enfin que vous devez veiller à ce que tous les dossiers déposés auprès de vos services départementaux ou régionaux comportant des études d'impact soient conformes aux exigences du code de l'environnement. Dans le cas contraire, vous devez les faire compléter.

Vous voudrez bien nous rendre compte sous le timbre de la direction des études économiques et de l'évaluation environnementale (MEDD/D4E) des éventuelles

difficultés que vous pourriez rencontrer dans la mise en oeuvre de ces dernières dispositions. Vous adresserez copie de vos observations à la direction de la prévention des pollutions et des risques (MEDD/DPPR), à la direction générale de la santé (MSSF/DGS) et, pour ce qui concerne le réseau routier national, à la direction des routes (METATM/DR).

*Le directeur général
de la santé, W. Dab*

*Le directeur de la
prévention
des pollutions et des risques,
T. Trouvé*

*Le directeur des études
économiques
et de l'évaluation
environnementale,
D. Bureau*

*Le directeur des routes,
P. Parisé*

NOTE MÉTHODOLOGIQUE SUR L'ÉVALUATION DES EFFETS SUR LA SANTÉ DE LA POLLUTION DE L'AIR DANS LES ÉTUDES D'IMPACT ROUTIÈRES

SOMMAIRE

- 1. Introduction**
 - 1.1. *Contexte*
 - 1.2. *Objectifs de la note méthodologique*
- 2. Quelles études entreprendre**
 - 2.1. *Zone géographique d'étude*
 - 2.1.1. *Domaine d'étude*
 - 2.1.2. *Bande d'étude*
 - 2.2. *Niveaux d'études*
 - 2.2.1. *Détermination des niveaux d'études à effectuer*
 - 2.2.2. *Cas particuliers nécessitant une révision de niveau d'étude*
 - 2.3. *Analyse des variantes et justification du choix retenu*
 - 2.3.1. *Analyse en fonction des niveaux d'étude*
 - 2.3.2. *Indice pollution population*
- 3. Contenu technique des études**
 - 3.1. *Etat initial*
 - 3.2. *Inventaires des émissions et modélisation de la dispersion*
 - 3.2.1. *Inventaires des émissions*
 - 3.2.2. *Modélisation de la dispersion*
 - 3.3. *Effets de la pollution atmosphérique sur la santé*
 - 3.4. *Evaluation des risques sanitaires liés au projet*
 - 3.4.1. *Etudes de niveau I*
 - 3.4.2. *Etudes de niveau II*
 - 3.4.3. *Etudes de niveau III et IV*
 - 3.5. *Mesure de lutte contre la pollution atmosphérique de proximité*
 - 3.6. *Appréciation des impacts du projet en phase chantier*
 - 3.7. *Monétarisation et analyse des coûts collectifs*
- 4. Annexes**
 - 4.1. *Annexe I : l'indice d'exposition de la population*
 - 4.2. *Annexe II : recensement des substances émises, des facteurs d'émission et des valeurs toxicologiques de référence*
 - 4.3. *Annexe III : recensement des valeurs toxicologiques de référence et des effets critiques*
 - 4.4. *Annexes IV : adresses utiles*
 - 4.4.1. *Ministères*
 - 4.4.2. *Services centraux du METATM*
 - 4.4.3. *Organismes divers*
 - 4.4.4. *CETE*
 - 4.4.5. *Sites internet*
 - 4.5. *Annexe V : Glossaire*
 - 4.6. *Annexe VI : Sigles et acronymes*

1. Introduction

1.1. Contexte

L'article 19 de la loi n° 96-1236 sur l'air et l'utilisation rationnelle de l'énergie impose aux maîtres d'ouvrage des études particulières sur la pollution atmosphérique, la santé et le coût social, dès lors qu'un projet d'aménagement ou d'occupation des sols présente des impacts significatifs pour l'environnement.

En juin 2001, le SETRA et le CERTU ont publié une note méthodologique dans le cas particulier des projets routiers pour accompagner la mise en oeuvre de l'article 19 de cette loi et de sa circulaire d'application 98-36 du 17 février 1998. Cette note se limitait à indiquer comment prendre en compte l'impact des projets routiers vis à vis de la pollution atmosphérique.

Parallèlement, la DGS a émis deux circulaires générales d'application de l'article 19 relatives aux études d'impacts sanitaires de tout projet (n° 2000-61 du 3 février 2000) (n° 2001-185 du 11 avril 2001).

Plus récemment, le décret du 1^{er} août 2003 a modifié le décret n° 77-1141 du 12 octobre 1977 pris pour application de l'article 2 de la loi n° 76-629 du 10 juillet 1976 relative à la protection de la nature, en introduisant :

- la nécessité d'une évaluation des effets du projet sur la santé ;
- une procédure de concertation en cas d'impacts transfrontaliers.

Enfin, l'instruction cadre relative aux méthodes d'évaluation économique des grands projets d'infrastructure de transport du 25 mars 2004 pose les bases d'une méthodologie prenant en compte les nuisances dues à la pollution atmosphérique pour l'estimation des coûts. Elle fixe des valeurs unitaires relatives pour les coûts de la pollution atmosphérique et de l'effet de serre, sur la base du rapport « Transports : choix des investissements et coût des nuisances », établi par le groupe présidé par M. Boiteux en 2001 (cf. note 1).

1.2. Objectifs de la note méthodologique

Dans ce cadre, la présente note méthodologique vise à uniformiser les pratiques des différents ministères pour une meilleure prise en considération de la santé via l'exposition à l'air dans les études d'impact d'infrastructures routières. Dans la suite du texte, cette notion apparaîtra sous le nom de « volet air et santé ». Cette note annule la note méthodologique de juin 2001 sur les études d'environnement dans les projets routiers « volet air ». Par contre, l'annexe technique à cette ancienne note est toujours maintenue.

Elle donne aux services de l'Etat réalisant ou analysant des projets routiers les éléments nécessaires à l'évaluation des effets de la pollution atmosphérique sur la santé. Elle se limite aux sujets pour lesquels existent des références scientifiques et méthodologiques, mais elle pourra être complétée et modifiée, le cas échéant, au fur et à mesure des progrès en ce domaine. Elle ne traite pas des dispositions de l'article 19 de la loi précitée relatives aux pollutions et nuisances autres que la pollution atmosphérique.

Les maîtres d'ouvrage routiers autres que l'Etat pourront, également, s'inspirer du présent document dans la réalisation de leurs propres projets.

2. Quelles études entreprendre ?

Les études d'impact environnemental concernant les infrastructures routières doivent être adaptées au projet étudié et à ses enjeux.

Le volet « air et santé » vise d'une part à déterminer le tracé routier minimisant l'impact de la pollution de l'air sur la santé des populations. Ses résultats sont destinés à inspirer les choix du décideur. D'autre part, il vise à évaluer les risques sanitaires individuels et collectifs auxquels sont soumis les personnes et populations vivant dans le domaine et les bandes d'étude pour proposer d'éventuelles mesures de lutte contre la pollution atmosphérique et informer les populations concernées.

Un projet peut être une partie d'un aménagement plus important (programme) dont la réalisation a été fractionnée dans le temps. Il est alors nécessaire d'étudier les impacts de l'ensemble du programme, avant d'étudier séparément chacun des projets qui le composent.

2.1. Zone géographique d'étude

On définit traditionnellement quatre échelles spatiales en matière de pollution atmosphérique :

- l'échelle locale (10 m à 1 km) adaptée à l'étude des effets sur la santé de sources de pollution proches et identifiées (routières ou industrielles principalement) ;
- l'échelle urbaine (1 à 50 km), où les effets sur la santé sont étudiés sur l'ensemble d'une zone urbaine, en prenant en compte plusieurs sources de pollution de l'air ainsi que des paramètres climatiques et topographiques ;
- l'échelle régionale (50 à 5 000 km), où l'on s'intéresse aux effets au niveau d'une région ou d'un continent (concentration d'ozone troposphérique en Europe par exemple) ;
- l'échelle globale (au-delà de 5 000 km).

Compte tenu de l'état des connaissances et des méthodes, et sauf exception (opérations exceptionnellement importantes affectant le fonctionnement global du trafic à l'intérieur d'une ou plusieurs grandes agglomérations ou entre plusieurs grandes agglomérations type métropoles), les échelles régionale et globale sont hors du champ de cette note.

2.2.1. Domaine d'étude

Le domaine d'étude est composé du projet et de l'ensemble du réseau routier subissant une modification (augmentation ou réduction) des flux de trafic de plus de 10 % du fait de la réalisation du projet.

Cette modification de trafic doit être évaluée en comparant les situations avec et sans aménagement au même horizon, et en se référant à l'instruction cadre du 25 mars 2004 relative aux méthodes d'évaluation des grands projets d'infrastructures de transports.

Cette définition du domaine d'étude reste toutefois indicative. Notamment, pour les parties du réseau routier subissant une variation inférieure à 10 % des flux de trafic, il appartient au chef de projet et au responsable de l'étude d'apprécier si les conditions locales (niveau de pollution, configuration du bâti, nature du trafic, sensibilités particulières des populations...) justifient leur prise en compte.

En milieu urbain : la variation de trafic sera examinée à l'heure de pointe la plus chargée (du soir ou du matin). Elle sera également calculée à partir du trafic moyen journalier annuel (TMJA) dans le cas où l'on dispose des données correspondantes.

En milieu interurbain : la variation de trafic sera évaluée à partir du TMJA.

2.2.2. Bande d'étude

La bande d'étude est définie autour de chaque voie subissant, du fait de la réalisation du projet, une hausse ou une baisse significative de trafic (variation de 10 %, comme pour le domaine d'étude).

Elle est adaptée à l'étude de l'influence du projet sur la pollution atmosphérique à l'échelle locale résultant des polluants primaires. Dans le domaine d'étude, il peut donc y avoir plusieurs bandes d'études.

Pour la pollution particulaire (métaux lourds...), la largeur de la bande d'étude est prise égale à 100 m, quel que soit le trafic, en attendant les résultats de recherches complémentaires.

Pour la pollution gazeuse, la largeur minimale de la bande d'étude de part et d'autre de l'axe médian du tracé le plus significatif du projet est définie dans le tableau

n° 1 par le plus contraignant des deux critères suivants :

- le trafic moyen journalier annuel (TMJA) prévu à terme ; ou en milieu urbain, le trafic à l'heure de pointe la plus chargée.
- en limite de bande, le non-dépassement de la concentration maximale en NO₂.

Tableau n° 1

Critères permettant de définir la largeur minimale de la bande d'étude

TMJA À L'HORIZON D'ÉTUDE (véh/jour)	TRAFIC À L'HEURE DE POINTE (uvp/h)	LARGEUR MINIMALE DE LA BANDE d'étude (en mètres) de part et d'autre de l'axe	VALEUR MAXIMALE EN NO ₂ en limite de bande µ g/m ³ (2020)
> 100 000	> 10 000	300	0.9
50 000 > ≤ 100 000	5 000 > ≤ 10 000	300	0.7
25 000 > ≤ 50 000	2 500 > ≤ 5 000	200	0.3
10 000 > ≤ 25 000	1 000 > ≤ 2 500	150	0.3
≤ 10 000	≤ 1 000	100	0.3

Ainsi, pour un projet prévoyant un trafic de plus de 100 000 véhicules par jour à l'horizon de sa mise en service, la largeur de la bande sera de 300 mètres si, à la limite de la bande, la valeur maximale en NO₂ de 0,9 µ g/m³ n'est pas dépassée. Si la valeur en NO₂ est dépassée, la bande d'étude est élargie jusqu'à ce que la concentration en NO₂ en limite de bande ne dépasse pas la valeur de 0,9 µ g/m³.

Les valeurs de largeur précisées ci-dessus sont issues des rapports CERTU-CETE Méditerranée : Dispersion de la pollution aux environs d'une route Volet « santé » Calculs ADMS de juin 2002 et février 2003 (disponibles auprès du CERTU sur simple demande).

2.2. Niveaux d'études

2.2.1. Détermination des niveaux d'études à effectuer

Quatre niveaux d'études sont distingués, en fonction de deux paramètres principaux :

- la charge prévisionnelle de trafic ;
- le nombre de personnes concernées par le projet.

Le tableau n° 2 suivant précise le type d'étude qu'il convient d'effectuer.

Tableau n° 2

Niveau d'étude en fonction du trafic, de la densité de population et la longueur du projet

TRAFIC À L'HORIZON d'étude (selon tronçons homogènes de plus de 1 km) densité hbts/km ² dans la bande d'étude	> 50 000 véh/j ou 5 000 uvp/h	25 000 véh/j à 50 000 véh/j ou 2 500 uvp/h à 5 000 uvp/h	≤ 25 000 véh/j ou 2 500 uvp/h	≤ 10 000 véh/j ou 1 000 uvp/h
G I Bâti avec densité ≥ 10 000 hbts/km ²	I	I	II	II si L projet ou III si L projet < ou = 5 kms
G II Bâti avec densité > 2 000 et < 10 000 hbts/km ²	I	II	II	II si L projet > 25 kms ou III si L projet < ou = 25 kms
G III Bâti avec densité ≤ 2 000 hbts/km ²	I	II	II	II si L projet > 50 km ou III si L projet < 50kms
G IV Pas de bâti	III	III	IV	IV

2.2.2. Cas particuliers nécessitant une révision de niveau d'étude

Plusieurs facteurs peuvent conduire à corriger le niveau d'étude résultant du tableau ci-dessus :

Dans le cas de présence de lieux dits sensibles (hôpitaux, crèches, écoles, stades, centres sportifs, résidences de personnes âgées) situés dans la bande d'étude du projet proprement dite, une étude de niveau II sera impérativement remontée au niveau I au droit des lieux sensibles et non pas sur la totalité de la bande d'étude. Il n'y aura, par contre, pas lieu de remonter les études de niveau III et IV au droit des lieux dits sensibles.

Dans le cas d'un projet avec des différences marquées de milieu (contexte urbain et interurbain), l'absence totale de population sur certains tronçons (supérieur à 1 km) du projet autorisera l'application d'un niveau d'étude de moindre complexité sur ces sections du projet. Les justifications correspondantes devront clairement apparaître dans l'étude d'environnement et être reprises dans l'étude d'impact.

Dans le cas où la population dans la bande d'étude est supérieure à 100 000 habitants, une étude de niveau II est remontée au niveau I, l'excès de risque collectif pouvant être alors non acceptable ; une étude de niveau III est remontée au niveau II. Pour les études de niveau IV, il n'y aura pas lieu d'effectuer d'études de niveau supérieur.

Dans le cas où un plan de protection de l'atmosphère (PPA) est approuvé ou doit être réalisé dans le domaine d'étude (il s'agit des agglomérations de plus de 250 000 habitants ainsi que des zones dans lesquelles les concentrations dans l'air ambiant des polluants dépassent ou risquent de dépasser les valeurs limites fixées par la réglementation), le niveau d'étude au droit de la zone faisant ou devant faire l'objet d'un PPA peut être remonté ; les informations nécessaires peuvent être obtenues après des DRIRE.

A titre indicatif, on trouvera ci-après quelques valeurs sur la densité de population en fonction du type de bâti :

Tableau n° 3
Type de bâti et densité de population

	TYPE de bâti	DENSITÉ de population
I	Centre-ville classique	30 à 40 000 hbts/km ²
	Grand collectif	26 000 hbts/km ²
	Petit collectif	14 000 hbts/km ²
II	Centre ancien des petites villes	10 000 hbts/km ²
	Centre ancien hétéroclite	8 000 hbts/km ²
	Semi-collectif	7 000 hbts/km ²
	Centre récent des petites villes	5 000 hbts/km ²
	Pavillonnaire dense	4 000 hbts/km ²
	Pavillonnaire	2 500 hbts/km ²
	Hameau lâche	1 000 hbts/km ²
III	Maisons groupées	100 hbts/km ²
	Maisons isolées	20 hbts/km ²

Source : rapport d'études des CETE de Lyon et de Rouen pour le compte du CERTU (densité de population et morphologie du bâti) disponible sur le site internet du CERTU (www.certu.fr).

La relation type de bâti/population est donnée à titre indicatif. Elle ne dispense pas de l'étude ultérieure sur la population exposée, à partir de la base îlots de l'INSEE issue du recensement 1999 ou par toute autre méthode, photos aériennes, visite sur site...

2.3. Analyse des variantes et justification du choix retenu

2.3.1. Analyse en fonction des niveaux d'étude

Pour chaque variante et quel que soit le niveau d'étude, on présentera une estimation de la population exposée et le repérage des lieux de vie sensibles.

Pour les réseaux routiers nécessitant des études de niveaux I et II, les variantes seront décrites et comparées en termes de qualité de l'air (comparaison d'inventaires et/ou de concentrations) et en termes d'exposition des populations à l'aide de l'Indice Pollution Population.

Pour les réseaux routiers nécessitant des études de niveau III et IV, les variantes seront décrites en termes de qualité de l'air (comparaison des émissions et des populations présentes dans la bande d'étude).

Dans le cas où des variantes sont de niveaux d'études différents, la comparaison ne peut se faire qu'à partir des données nécessaires à la réalisation du niveau d'études le moins exigeant.

Les résultats de la concertation et l'importance de la problématique « air » dans cette concertation seront présentés. On rappellera l'incidence des conclusions du volet « air », y compris l'exposition des populations, dans le choix de la solution proposée.

On rappellera ici que l'étude sanitaire n'est pas réservée au seul domaine de la pollution atmosphérique, et que, pour chaque variante, doivent être abordés également d'autres domaines tels que le bruit, l'eau, les sols et aussi la sécurité routière.

En outre, le choix du tracé s'appuie sur l'ensemble de l'étude d'impact : effets sur l'environnement, effets sur la santé, risques.

2.3.2. Indice pollution population

Objet de l'IPP

Cet indicateur permettra la comparaison des différentes variantes entre elles et entre la solution retenue et l'état de référence avec un critère basé non seulement sur les émissions, mais aussi sur la répartition spatiale de la population demeurant à proximité des voies de circulation.

Cet outil est proposé et doit être utilisé comme une aide à la comparaison de situation et, en aucun cas, comme le reflet d'une exposition absolue de la population à la pollution atmosphérique globale.

Cet indicateur utilise comme traceur le benzène. L'annexe technique à la note méthodologique sur les études d'environnement dans les projets routiers « volet air » du SETRA / CERTU de juin 2001, mentionnait les NOx comme traceurs de la pollution atmosphérique, et comme indicateur pour la construction de l'IPP.

Des études réalisées par le CETE Méditerranée en juin 2003 et intitulées « Dispersion de la pollution aux environs d'une route Volet Santé », et disponibles au CERTU sur simple demande, ont permis de retenir le benzène comme polluant à prendre désormais en compte dans la construction de l'IPP.

Le benzène est un hydrocarbure faisant partie de la famille des composés aromatiques et des composés organiques volatils non méthane. Il représente un cas particulier, car sa toxicité reconnue l'a fait classer par l'OMS (Organisation mondiale de la santé) parmi les « cancérigènes certains pour l'homme » (leucémie myéloïde aiguë groupe I, Classification du CIRC), sa toxicité hématologique par atteinte de la moelle osseuse est connue depuis longtemps. Elle touche toute les lignées sanguines et peut se manifester par une anémie ou, plus rarement, une polyglobulie (lignée des globules rouges), une leucopénie ou parfois une hyperleucocytose (globules blancs), une thrombopénie (plaquettes). Outre les expositions chroniques par inhalation, il a également été retenu pour les autres types d'effets et d'exposition (exposition aiguë et effets non cancérigènes dans l'exposition chronique) en raison de son caractère prioritaire établi dans le Plan National Santé Environnement.

Calcul de l'IPP

L'IPP comprend la population présente sur chacun des tronçons du réseau étudié, en situation actuelle et future et la quantité de polluants émise sur ceux-ci. A partir des plans locaux d'urbanisme, la méthode a pour but de découper le territoire de chaque commune en zones de densités de population (actuelles et futures) homogène, d'estimer les densités et de multiplier sur chaque tronçon les quantités de polluants émises à la population présente.

L'Indice Pollution Population est construit de la façon suivante : le domaine d'étude est divisé en mailles (50 à 200 mètres suivant le domaine d'étude) ; sur ces mailles, est calculée la somme des émissions de polluants en tenant compte de l'influence du vent afin d'obtenir un « cadastre d'émissions influencé par le vent ». Ce cadastre est associé à la population demeurant sur la surface de ladite maille. Enfin on détermine un histogramme de distribution par classes de valeurs d'émissions influencées par le vent (abscisse : émissions influencées par le vent EIV ; ordonnée : nombre de mailles). En calculant l'aire de l'histogramme, on obtient un indicateur global propre à chaque tracé étudié, l'indice pollution population. Les détails méthodologiques sont explicités en annexe I.

3. Contenu technique des études

La documentation technique relative au volet « air et santé » de l'étude d'impact d'une infrastructure est relativement récente (2001). Le travail sur la standardisation et l'homologation des outils (émissions unitaires, structure du parc, inventaires d'émissions, diffusion, photochimie, action sur la santé, coûts collectifs...) est en cours. Aussi, la prudence reste conseillée quant à la précision et à l'interprétation des résultats. Au besoin, il conviendra de contacter les services centraux des ministères ou leurs services techniques (CETU, CERTU et SETRA ainsi que l'ADEME) afin de mettre à jour les méthodes utilisées.

Il est conseillé de faire intervenir les spécialistes « air » dès le départ afin, d'une part, de fixer le travail des spécialistes « trafic » et, d'autre part, de définir, dans les meilleurs délais, le domaine d'étude qui est très important et qui doit être approuvé par le maître d'oeuvre et le maître d'ouvrage. Parallèlement il faut prévoir les délais de réalisation de la campagne pour l'établissement de l'état initial, de la modélisation éventuelle et de la récupération des données des systèmes d'information géographique. Le délai d'études peut varier de 6 à 18 mois.

Dans les coûts d'études, il faut distinguer celui des campagnes de mesures réalisées pour l'état initial et celui des prestations d'ingénierie.

Le coût d'une campagne de mesures dépend de la métrologie utilisée, du nombre de points de mesure et de la durée de la campagne. Pour les prestations d'ingénierie, il dépend de l'importance de l'étude, de la disponibilité des données nécessaires, de la nécessité ou non de la modélisation informatique (dispersion de polluants, photochimie pour la pollution régionale).

Bien que peu d'études « air et santé » aient été réalisées à ce jour, on peut estimer que : pour l'état initial (mesures), le coût est de 8 000 à 30 000 euros ; pour l'étude proprement dite, le coût d'ingénierie s'élève de 8 000 à 50 000 euros.

Les études porteront principalement sur la comparaison des variantes et les effets du projet définitif, mais elles doivent aussi évoquer la phase chantier.

3.1. Etat initial

L'étude de l'état initial a pour objectif d'effectuer un bilan de la qualité de l'air pour la situation actuelle dans le domaine d'étude. Elle pourra s'appuyer sur différentes données et sources d'informations :

- évaluation(s) de la qualité de l'air réalisée(s) par l'association agréée de surveillance de la qualité de l'air ;
- plan régional pour la qualité de l'air (ou PRQA) et inventaires d'émission par sources ;
- plans de protection de l'atmosphère (ou PPA) ;
- plans de déplacements urbains (ou PDU) ;
- inventaires d'émissions liées au trafic routier ;
- campagnes de mesures *in situ* spécifiques ;
- indicateurs biologiques.

Le recueil de ces données et la précision de l'état initial devront tenir compte de la sensibilité du domaine d'étude, de la disponibilité des données, de la nature et de l'importance du projet. Ils devront être adaptés aux méthodes et aux critères utilisés ultérieurement pour la comparaison des variantes et l'étude de la solution retenue.

Par ailleurs, pour toutes les catégories d'étude seront réalisés :

- un recensement des sources de contamination déjà présentes dans le domaine d'étude (substances émises, voies d'exposition, variabilité...) ;
- une description socio-démographique de la population concernée ;
- un recensement des milieux et des voies d'exposition de la population (habitat, commerces, terrains récréatifs, voies de passage, autres infrastructures, jardins ouvriers ou familiaux, zones de loisirs...) parmi lesquels peuvent se trouver des lieux sensibles (hôpitaux, crèches, écoles, stades, centres sportifs, résidences de personnes âgées) ;
- une identification des sources de données sanitaires pertinentes.

Les conclusions porteront sur une analyse fine de l'état initial dans la zone d'étude concernée par le projet et sur son évolution prévisible en l'absence de tout projet, qui constitue la situation de référence des impacts.

Remarques sur la réalisation de campagnes de mesures *in situ* :

En l'absence de données suffisantes pour décrire l'état initial du site, on pourra avoir recours à des campagnes spécifiques de mesures. Ces campagnes devront être bien adaptées aux enjeux de l'étude d'impact et aux méthodes de prévision des effets sur la qualité de l'air. Les choix devront porter sur la nature des polluants mesurés, les méthodes de mesure et la durée de la campagne.

Si les NOx sont de bons indicateurs de la pollution atmosphérique émise par le trafic routier (campagne par tubes à diffusion passive de NO₂), il est possible également d'effectuer des mesures par tubes passifs de BTEX tels que le benzène, et ses homologues supérieurs, toluène, éthylbenzène, xylène. Si on ne dispose pas de stations de mesures permanentes pouvant servir de référence à proximité du ou des axes étudiés, il conviendra de renouveler ces mesures sur deux périodes de l'année au minimum de manière à couvrir au mieux différentes situations représentatives des variations saisonnières du trafic et de la météorologie.

Dans des cas complexes, par exemple une sortie de tunnel ou une station de ventilation en milieu urbain déjà très pollué, on pourra envisager une campagne plus complète, portant sur plusieurs polluants et avec des appareils de mesure permettant de suivre les évolutions au cours de la journée (données horaires ou 1/4 horaires).

3.2.1. Inventaires des émissions

Selon les niveaux d'étude considérés, on fera appel à tout ou partie des éléments présentés dans cette section.

Inventaires d'émissions

Les émissions de polluants d'une infrastructure sont directement proportionnelles au flux de trafic (VL et PL), à la composition des parcs automobiles, aux émissions unitaires des véhicules et dépendent fortement de la vitesse moyenne sur le parcours.

Le recueil des données de trafic revêt donc une importance particulière et nécessite la collaboration des spécialistes « trafic » et « pollution atmosphérique » dès le début des études.

L'utilisation des données d'émission (émissions unitaires et composition du parc automobile) est assez délicate. Comme ces données varient rapidement avec les évolutions techniques, il convient de se renseigner auprès des services techniques centraux (CERTU et SETRA) ou de l'ADEME (direction Air bruit efficacité énergétique) afin de s'assurer de leur validité et de leur mise à jour.

Compte tenu de l'état des connaissances, la précision des inventaires d'émissions dans les horizons lointains reste incertaine. Seules des comparaisons entre scénarios ou variantes peuvent être prises en compte et refléter certaines tendances.

Les inventaires d'émissions doivent s'effectuer en trois étapes :

- 1^{re} étape : (état initial) inventaire d'émissions pour la situation actuelle ;
- 2^e étape : (états de référence) inventaires d'émissions aux différents horizons d'études pour le scénario « fil de l'eau » ; comparaison entre eux et l'inventaire de l'état initial ; le scénario « fil de l'eau » étant défini comme une évolution naturelle des flux de trafic compte tenu des autres aménagements prévus jusqu'à l'horizon de mise en service ;
- 3^e étape : (comparaison de variantes) pour chaque horizon d'étude, inventaires d'émissions pour les différents scénarios ou variantes et comparaison entre eux et avec l'inventaire « fil de l'eau » correspondant.

Les résultats de comparaison et de variation ne sont pas transposables d'un polluant à un autre. Actuellement, il n'existe aucun indicateur global validé de pollution et l'on sera obligé de raisonner polluant par polluant.

3.2.2. Modélisation de la dispersion

L'objectif de la modélisation est de prédire les concentrations en polluants résultant des projets envisagés.

L'utilisation d'un modèle de dispersion reste, à l'heure actuelle, relativement complexe et demande des connaissances en physico-chimie de l'atmosphère, en météorologie et en mécanique des fluides. Néanmoins, il existe des outils plus ou moins performants (modèle de dispersion, maquettes...) qu'il conviendra de sélectionner selon le contexte du projet et les enjeux de la pollution atmosphérique et des effets sanitaires identifiés. Lorsque l'usage d'un modèle s'avère nécessaire, sa complexité doit répondre à celle des phénomènes étudiés ainsi qu'au niveau de précision recherché. La validité des résultats obtenus dépend beaucoup de la qualité des données recueillies (données trafic, émissions des sources de pollution, données météo, état initial,...) et de leur utilisation.

Les variabilités inévitables dans les données d'entrée des modèles (météorologie, émissions,...) se traduisent par des incertitudes, en particulier en ce qui concerne les pollutions particulières, sur les résultats des modélisations dont il faudra tenir compte dans leur interprétation. Il est donc nécessaire de rester très prudent lors des comparaisons avec les seuils réglementaires définis au niveau français ou européen.

En outre, les modèles ne permettent pas actuellement de simuler toutes les conditions (vitesses de vent très faibles et îlots de chaleur urbains par exemple).

Parmi les polluants indiqués à l'annexe III, les polluants pour lesquels on peut envisager d'effectuer une modélisation de la dispersion sont :

D'une part des polluants gazeux tels que :

- le monoxyde de carbone (CO) ;
- les oxydes d'azote (NOx) ;
- le benzène (C₆H₆) ;
- le SO₂ (dans le cas d'une proximité d'un ou plusieurs émetteurs industriels).

D'autre part, un polluant particulaire (cadmium ou nickel par exemple).

Cas de la pollution photochimique

La pollution photochimique, dont l'ozone (O₃) est un indicateur, est fréquente l'été dans un grand nombre de régions européennes. Les concentrations d'ozone ont augmenté sur l'ensemble de l'hémisphère Nord depuis le début du siècle sous l'effet conjugué du développement des transports routiers, de l'industrie et de l'utilisation de solvants volatils.

L'ozone est un polluant dit « secondaire », par opposition aux polluants dits « primaires » émis directement par les activités humaines. L'ozone se forme sous l'effet du soleil en présence de précurseurs (CO, NOx et COV), particulièrement émis par les véhicules à moteur, et s'accumule progressivement dans les masses d'air en déplacement.

Pour des raisons complexes liées aux réactions chimiques à l'origine de ce polluant, les concentrations en ozone sont souvent plus faibles à proximité immédiate

de la voie de circulation routière qu'à quelques kilomètres. Et, d'une manière générale, elles sont plus élevées en périphérie qu'au centre des villes.

La mise en place d'un modèle de pollution photochimique reste encore techniquement très lourde (inventaires d'émissions très fins, spéciation des espèces, conditions aux limites...) et très coûteuse. Deux approches sont donc possibles en fonction du projet et des enjeux associés :

- dans la majorité des cas, l'étude donnera une approche descriptive simple du phénomène et indiquera les limites des connaissances sur le sujet,
- dans les cas spécifiques (autoroutes, contournement de grosses agglomérations notamment), lorsque des outils auront déjà été mis en place au niveau régional pour répondre à la question, une approche par modélisation pourra être envisagée.

3.3. Effets de la pollution atmosphérique sur la santé

Grâce aux progrès de l'épidémiologie et à l'avancée des connaissances toxicologiques depuis une quinzaine d'années, on sait à présent avec certitude que la pollution atmosphérique génère des impacts sur la santé des populations. Les effets les plus souvent décrits sont les effets de la pollution atmosphérique survenant à court terme (quelques heures ou quelques jours après une exposition de courte durée). Des études épidémiologiques en population générale ont permis d'établir le rôle de la pollution atmosphérique globale sur la mortalité anticipée toutes causes (sauf accidentelles) et sur les admissions hospitalières pour motifs respiratoires et cardio-vasculaires. Par ailleurs le trafic routier expose également les populations à des toxiques particuliers (acroléine, benzène...) et les effets sanitaires d'une exposition aiguë et à long terme à ces polluants pris individuellement peuvent être quantifiés. Les effets sanitaires des substances sont décrits dans la colonne effets critiques de l'annexe III.

La pollution atmosphérique a d'autres effets sur l'odorat ou la vue (pollution sensible). Ces effets de l'ordre de la nuisance mais pouvant avoir un impact sanitaire (psychologique par exemple) ne seront pas abordés du fait du peu de connaissance scientifique sur ce sujet.

3.4. Evaluation des risques sanitaires liés au projet

Ce chapitre précise le contenu de l'évaluation des risques sanitaires pour chaque niveau d'études. Il recommande les polluants à prendre en compte en l'état actuel des connaissances pour les différents types de niveaux d'études. Pour les projets où des problèmes de pollution sont prévisibles, il convient, en amont, de mettre en place des moyens de surveillance de la qualité de l'air de manière à disposer d'éléments dans la future zone d'étude. Il conviendra dans ce cas de se rapprocher de l'association agréée de surveillance de la qualité de l'air compétente dans la zone pour connaître les moyens de surveillance existants.

3.4.1. Etudes de niveau I

Le contenu des études de niveau I est le suivant :

- estimation des émissions de polluants au niveau du domaine d'étude ;
- qualification de l'état initial par des mesures in situ ;
- estimation des concentrations dans la bande d'étude et, selon la nature du projet, dans l'ensemble du domaine en zones urbanisées ;
- comparaison des variantes et de la solution retenue sur le plan de la santé via un indicateur sanitaire simplifié (IPP indice pollution-population, croisant émissions de benzène ou concentrations simplifiées et population) ;
- analyse des coûts collectifs de l'impact sanitaire des pollutions et des nuisances, et des avantages/inconvénients induits pour la collectivité ;
- évaluation quantitative des risques sanitaires sur le seul tracé retenu.

Cette dernière s'appuie sur une méthodologie précise qui a été définie en 1983 par l'académie des sciences américaine. Le guide pour l'analyse du volet sanitaire des études d'impact de l'Institut de veille sanitaire de 2000 l'a retranscrite (accessible sur le site www.invs.sante.fr).

Les quatre points ci-dessous rappellent la démarche et précisent les polluants à prendre en compte pour l'évaluation quantitative des risques sanitaires.

1. Identification des dangers et des valeurs toxicologiques de référence (VTR) :

Le travail d'identification des dangers et de quantification des facteurs d'émission des polluants par les véhicules a été réalisé par un groupe d'experts piloté par l'InVS. Ces résultats peuvent être considéré comme stables sur une période de temps relativement courte (3 à 5 ans).

Concernant l'identification des valeurs toxicologiques de référence, celle-ci a également été réalisée par le groupe d'experts.

Les tableaux en annexe II résument les informations retrouvées sur les facteurs d'émission. En annexe III les principales informations sur les substances disposant de VTR sont présentées.

Cependant du fait de l'évolution potentiellement plus rapide des informations dans ce domaine il est demandé aux maîtres d'ouvrage de vérifier l'actualité de ces VTR sur la base de données TERA (cf. note 2) .

2. Sélection des substances pertinentes pour l'évaluation du risque sanitaire :

Cette étape a consisté pour le groupe d'experts à choisir les traceurs de risques sanitaires parmi tous les polluants ayant un facteur d'émission et une valeur toxicologique de référence.

Lors du roulage, les émissions liées à l'échappement, l'usure des équipements automobiles et l'entretien des voies ont été pris en compte. Les émissions liées à l'évaporation des essences sont d'avis d'experts systématiquement très inférieures aux facteurs d'émission à l'échappement, il n'est donc pas nécessaire de les prendre en considération. En revanche, les émissions par évaporation n'étant pas négligeables pour les véhicules à l'arrêt, celles-ci sont à retenir sur les tronçons disposant d'aires de parking où un nombre important de véhicules peut stationner.

L'ensemble des voies, modes d'exposition et types d'effets (exposition aiguë, exposition chronique par inhalation et voie orale, effets cancérigènes et non cancérigènes) sont également à prendre en compte. Pour réaliser la sélection finale des substances, le facteur d'émission de chaque polluant a été rapproché de sa valeur toxicologique de référence pour évaluer son danger potentiel relativement aux autres polluants.

Après classification des polluants, il a été nécessaire de sélectionner comme substances a priori pertinentes pour l'évaluation du risque sanitaire dans le cadre des études d'impact des projets routiers celles qui génèrent le plus de risques :

- le polluant présentant le score le plus élevé (donc celui qui est classé en rang 1) ;
- tous les polluants dont le score est compris entre la valeur précédente et la valeur 100 fois inférieure ;
- les substances rémanentes dans l'environnement (métaux) dont le score est compris entre le score maximal et la valeur 1000 fois inférieure.

Cette sélection a été opérée pour chaque type d'exposition (aiguë, chronique), chaque type de danger (cancérigène, non cancérigène) et chaque voie d'exposition (inhalation et ingestion).

Lorsqu'un polluant cancérigène est classé prioritaire pour l'une des deux voies d'exposition (inhalation ou ingestion), s'il est également cancérigène par l'autre voie,

il doit systématiquement être sélectionné pour les deux voies d'exposition. Lorsqu'un polluant non cancérigène est classé prioritaire pour l'une des deux voies d'exposition (inhalation ou ingestion), s'il est responsable de l'atteinte du même organe cible par l'autre voie, il doit systématiquement être sélectionné pour être étudié pour les deux voies d'exposition.

En appliquant la méthodologie décrite ci-dessus, le groupe d'experts piloté par l'InVS a émis les recommandations concernant les substances à prendre en compte dans les études d'impacts, volet « air et santé ». Elles sont énumérées dans le tableau 4 ci-après.

Tableau 4 : Substances recommandées pour leur prises en compte dans les évaluations du risque sanitaire dans le cadre d'études d'impact d'infrastructures routières

SUBSTANCES	EXPOSITION aigüe	EXPOSITION chronique par inhalation, effets cancérigènes	EXPOSITION chronique par voie orale, effets cancérigènes	EXPOSITION chronique par inhalation, effets non cancérigènes	EXPOSITION chronique par voie orale, effets non cancérigènes
Acroléine	X			X	
Dioxyde d'azote	X			X	
Dioxyde de soufre	X				
Benzène	X	X		X	
Particules Diesel		X		X	
Chrome		X			X
Formaldéhyde		X		X	
1,3-Butadiène		X		X	
Acétaldéhyde		X		X	
Nickel		X		X	X
Cadmium		X		X	X
Benzo[a]pyrène		X	X		
Arsenic		X	X		X
Plomb				X	X
Mercure					X
Baryum					X

Concernant le benzène, sélectionné par la procédure pour ses effets cancérigènes dans les expositions chroniques par inhalation, il a également été retenu pour les autres types d'effets et d'exposition (exposition aiguë et effets non cancérigènes dans l'exposition chronique) en raison de son caractère prioritaire établi dans le Plan national santé environnement.

Concernant les aires de stationnement attenantes aux infrastructures, les émissions par évaporation de composés organiques volatils (hexane, benzène, toluène, m-xylène et p-xylène) ont également été étudiées par le groupe d'experts. Comparativement aux émissions de l'infrastructure proprement dite et après application d'une méthodologie de sélection identique, le benzène apparaît être le polluant à prendre en compte dans les évaluations du risque sanitaire.

On trouvera le document complet et recommandations du groupe de travail piloté par l'InVS sur le site de l'Observatoire des Pratiques de l'évaluation des risques sanitaires dans les études d'impact.

(http://www.sante.gouv.fr/html/dossiers/etud_impact/sommaire.htm).

3. Evaluation de l'exposition des populations :

Pour une voie donnée (inhalation, ingestion) l'exposition résulte du produit de l'intensité du contact et de sa durée. Elle est estimée pour des groupes de population homogènes quant à leurs modalités d'exposition en termes d'activité, d'âge, de durée et de fréquence d'exposition.

La dose d'exposition des personnes à un polluant résulte de la combinaison de quatre paramètres :

- les voies d'exposition ;
- la concentration du polluant dans les milieux avec lesquels les personnes sont en contact ;
- la fréquence des contacts avec le polluant ;
- la durée de ces contacts.

Dans la mesure où il n'y a pas d'uniformité de comportements dans une population considérée, la construction de plusieurs scénarios d'exposition (autant que de situations contrastées) est nécessaire de façon à encadrer les niveaux d'exposition. Concernant la durée d'exposition, le choix en première approche d'une durée de 70 ans, correspondant conventionnellement à une exposition vie entière, est largement retenu car il est protecteur pour les populations. Celle-ci peut cependant être modulée en fonction de la durée de résidence des personnes en un même lieu et en fonction de la durée d'émission probable du projet.

La détermination de l'exposition nécessite de connaître les concentrations des différents polluants ainsi que leurs variations. L'observation de ces variations à court terme se fait classiquement à partir des mesures issues des réseaux de surveillance de la qualité, et plus particulièrement par des stations urbaines de fond.

Les projets routiers, dont la configuration peut être très variable, sont rarement couverts par des réseaux de stations existantes assurant une mesure complète des niveaux de pollution. De plus, pour pouvoir évaluer les concentrations de polluants après la mise en service du projet, il sera nécessaire de recourir à une

modélisation trafic - émissions - concentrations à l'aide de modèles de diffusion nécessairement complexes (surtout en milieu urbanisé) ou à des campagnes de mesures spécifiques.

4. Caractérisation des risques :

Pour les effets obéissant à des relations dose / réponse à seuil, le résultat de la caractérisation des risques est, pour un individu, égal au rapport de la dose d'exposition sur la VTR. Ce rapport est appelé « quotient de danger » (QD). Lors de la caractérisation des risques, les « quotients de danger » de substances ayant les mêmes effets doivent être additionnés. Lorsque le quotient de danger global est inférieur à 1, l'individu exposé est théoriquement hors de danger. Dans le cas contraire, cela signifie que l'effet indésirable peut se produire sans qu'il soit possible d'en déterminer la probabilité de survenue.

Pour les effets obéissant à des relations dose / réponse sans seuil (effets cancérigènes généralement), le résultat est exprimé en excès de risque individuel (ERI). L'excès de risque individuel est la probabilité de survenue d'un danger au cours de la vie entière d'un individu, compte tenu de sa dose journalière d'exposition et de l'excès de risque unitaire (ERU (cf. note 3)) de l'agent étudié. Pour les substances cancérigènes, tous les ERI sont additionnés quel que soit le type de cancer, on obtient donc une somme de ERI.

Par ailleurs, le calcul d'un excès de risque collectif se fait ensuite en multipliant la somme des excès de risque individuel par la population concernée par cet excès, résidant donc dans les bandes d'études.

La présentation des résultats doit systématiquement s'accompagner d'une discussion sur les facteurs de surestimation, de sous-estimation et d'effets inconnus liés aux hypothèses prises au cours du déroulement de l'étude d'impact.

Pour un projet donné, l'impact sur la santé est présenté en l'état initial et à l'horizon du projet pour la situation de référence et la situation avec projet en place.

3.4.2. Etudes de niveau II

Les études de type II requièrent une analyse simplifiée des effets sur la santé avec utilisation de l'IPP (indice pollution-population).

Les polluants à prendre en considération, définis sur une base réglementaire, sont les suivants :

- les NOx ;
- le CO ;
- les hydrocarbures ;
- le benzène ;
- les particules émises à l'échappement ;
- le dioxyde de soufre.

Pour la pollution particulaire, on retiendra le nickel et le cadmium.

Le contenu des études est le suivant :

- estimation des émissions de polluants au niveau du domaine d'étude ;
- qualification de l'état initial par des mesures *in situ* ;
- estimation des concentrations dans la bande d'étude autour du projet ;
- comparaison des variantes et de la solution retenue sur le plan de la santé via un indicateur sanitaire simplifié (IPP = indice pollution - population défini précédemment) ;
- analyse des coûts collectifs de l'impact sanitaire des pollutions et des nuisances, et des avantages/inconvénients induits pour la collectivité.

3.4.3. Etudes de niveaux III et IV

Les études de types III et IV requièrent une simple information des effets de la pollution atmosphérique sur la santé. Les polluants, définis sur une base réglementaire, sont les suivants :

- les NOx ;
- le CO ;
- les hydrocarbures ;
- le benzène ;
- les particules émises à l'échappement ;
- le dioxyde de soufre.

Pour la pollution particulaire, on retiendra le plomb et le cadmium.

Le contenu des études de niveaux III et IV est le suivant :

- estimation des émissions de polluants au niveau du domaine d'étude (niveaux III et IV) ;
- réalisation éventuelle de mesures *in situ* pour la qualification de l'état initial (niveau III) ;
- rappel sommaire des effets de la pollution atmosphérique sur la santé (niveaux III et IV).

3.5. Mesure de lutte contre la pollution atmosphérique de proximité

La pollution atmosphérique dans le domaine des transports est une nuisance pour laquelle il n'existe pas de mesures compensatoires quantifiables. Plusieurs types d'actions peuvent être envisagés pour limiter, à proximité d'une voie donnée, la pollution :

La réduction ou la préservation par la « matière grise » (éloignement des sites sensibles, à forte densité de population pour les projets neufs...), qui consiste à étudier les mesures constructives pour éviter au maximum les situations à risques

La réduction des émissions polluantes à la source : indépendamment des mesures envisageables sur le véhicule lui-même, on peut influencer les émissions polluantes par une modification des conditions de circulation (limitation de vitesse à certaines périodes ou en continu, restrictions pour certains véhicules...). Ces mesures relèvent de la législation des transports.

La limitation de la dispersion des polluants : on distingue deux types de pollution : la pollution gazeuse et la pollution particulaire. A l'inverse des ondes sonores, qui peuvent être stoppées par un écran ou un talus antibruit, la pollution gazeuse ne peut pas être éliminée par un obstacle physique. On pourra tout au plus limiter les situations à risques en facilitant sa dilution ou déviation du panache de polluants d'un endroit vers un autre. La diffusion de la pollution particulaire peut quant à elle

être piégée par des écrans physiques et végétaux.

Ces actions peuvent se faire de différentes façons :

Sur le tracé :

- adaptation des profils en long (pentes et tracés) ;
- modulation du profil en travers de la route (route en déblai) ;
- utilisation d'enrobés drainants (piégeage des particules ; incertitudes sur le long terme).

Insertion d'obstacles physiques et mesures d'accompagnement :

A. Généralités :

- augmenter la profondeur des dépendances vertes et créer des zones tampons faisant office de piège à poussières ;
- imposer des marges de recul minimales.

B. Mise en place d'écrans végétaux :

- distance du bord de la voie : 5 à 15 mètres ;
- profondeur minimale de 10 mètres et hauteur minimale de 2 mètres ;
- composition mixte (1/2 à 2/3 de conifères) ;
- essences efficaces (liste non exhaustive) : Pin de Corse, Cyprès de Leyland, Pin Sylvestre, Orme, Tilleul, Alisier blanc, frêne, platane, érable champêtre, merisier, Pin noir, Thuya...

La végétalisation des talus et des merlons peut suivre des caractéristiques équivalentes.

C. Mise en place d'écrans physiques autres (murs anti-bruits, merlon...) : distance du bord de la voie de 0 à 5 mètres, hauteur minimale de 3,5 à 6 mètres suivant la distance à la voie.

Un modèle de prise en compte des écrans acoustiques est contenu dans le programme MLuS-2002, la MLuS étant une circulaire du ministère fédéral des transports en Allemagne. Il décrit les écrans physiques assimilables à des murs ou à des talus antibruit.

Ce modèle, qui tient compte des effets des murs et des talus antibruit sur la propagation des polluants dus à la circulation, est présenté dans la brochure « Note explicative relative aux pollutions atmosphériques en bordure des routes avec ou sans constructions parsemées » de la MLuS-2002.

D'après les évaluations effectuées par les scientifiques allemands, il a été notablement possible de se prononcer sur :

- les murs antibruit d'une hauteur comprise entre 4 et 6 mètres. Espace base bas-côté (voie extérieure) $a_F = 7$ mètres ;
- les remblais raides avec inclinaison vers la route de 1 : 0.5 ou inclinaison raide en sens opposé à la route de 1 : 2.5 ou encore plus raides ;
- les remblais antibruit avec inclinaison vers la route ou en sens opposé de 1 : 1.5 ou encore plus raide avec mur rapporté, hauteur du mur = 1 mètre et espace mur-bas-côté (voie extérieure) $a_F = 7$ mètres ;
- les remblais anti-bruit avec inclinaison vers la route plus plane 1 : 0.5 à 1 : 1.5 et inclinaison en sens opposé de 1 : 2.5 ou plus raide et avec des hauteurs de 4 à 6 mètres. Espace base-bas-côté (voie extérieure) 1 mètre = $a_F = 10$ mètres.

Sont assimilables à des remblais anti-bruit :

Les remblais avec inclinaison vers la route plus plane 1 : 0.5 à 1 : 1.5 et inclinaison en sens opposé de 1 : 2.5 ou plus raide avec mur rapporté, hauteur du mur < 1 mètre et/ou espace mur-bas-côté (voie extérieure) 7 mètres = $a_F = 10$ mètres.

Ces deux dispositifs d'écrans peuvent être conjugués entre eux.

Cas particulier en milieu urbain :

- réduire la pollution de proximité en profitant d'écrans acoustiques (murs, talus ou merlon) déjà prévus ou en installant spécialement ;
- suivant leur performances techniques, mise en place de nouveaux procédés de murs « digesteurs » de NOx.

Cas particulier en milieu inter-urbain

- en milieu inter-urbain, envisager un accompagnement financier des exploitants au titre des changements de productions agricoles, maraîchères ou fruitières à proximité des infrastructures. (cas de cultures sensibles ou à haute valeur ajoutée).

Actions de suivi, de surveillance et d'information :

Dans le cadre de très gros projets (études de type 1...) ou dans le cas où des problèmes de pollution sont à attendre (dépassement des objectifs de qualité de l'air, milieu fortement urbanisé...), des capteurs de mesures de la pollution peuvent être installés à demeure. L'implantation de ce type de station vient compléter le dispositif de surveillance des associations agréées de surveillance de la qualité de l'air (AASQA) et doit donc être réalisée en liaison avec celles-ci. Le maître d'ouvrage pourra réaliser le suivi de l'impact de l'infrastructure, associé à l'AASQA qui en assurera la surveillance et la diffusion de l'information. Ces stations sont majoritairement équipées d'analyseurs en continu, sur les polluants tels que NOx, benzène, PM.

3.6. *Appréciation des impacts du projet en phase chantier*

En phase chantier, la pollution émise par tous les matériels roulants ainsi que les compresseurs, les groupes électrogènes, les centrales d'enrobage, etc., peut être considérée comme non négligeable momentanément. Elle sera donc évoquée de façon simple et générale.

Certaines installations de chantier peuvent être soumises à la réglementation des installations classées pour la protection de l'environnement (ICPE). Il sera donc nécessaire de tenir compte des prescriptions figurant dans l'arrêté préfectoral correspondant.

Une autre forme de pollution est la pollution sensible (odeurs, transparence de l'air, nuages de poussières) qu'il conviendra également de mentionner d'une manière succincte.

Enfin, il convient de se préoccuper également des nuisances liées aux modifications de circulation induites par le chantier (phénomènes de congestion, reports de trafic sur d'autres voies...). Dans le cas de chantiers importants sur une longue période, il peut être nécessaire de réaliser une étude spécifique à cette phase selon la proximité ou non de lieux sensibles.

3.7. *Monétarisation et analyse des coûts collectifs*

Le décret n° 2003-767 a introduit, pour les infrastructures de transport, un nouveau chapitre de l'étude d'impact pour une analyse des coûts collectifs des pollutions et nuisances induits pour la collectivité.

La monétarisation des coûts s'attache à comparer avec une unité commune (l'euro) l'impact lié aux externalités négatives (ou nuisances) et les bénéfices du projet.

Dans le cas d'études des impacts locaux, la quantification de ces externalités doit permettre d'éclairer les choix de projets et la mise en place de mesures d'atténuation des risques. Une application intéressante de la monétarisation est la comparaison des variantes d'un projet sur une base chiffrée. On procédera à cette évaluation, pour les effets de la pollution de l'air sur la santé, pour les projets conduisant à des études de niveau 1 ou 2.

L'instruction cadre du 25 mars 2004 relative aux méthodes d'évaluation économique des grands projets d'infrastructure de transport a officialisé les valeurs des coûts externes établies par le rapport « Boiteux II ». Ces valeurs ne couvrent pas tous les effets externes mais elles concernent notamment la pollution locale de l'air sur la base de ses effets sanitaires. Ainsi, le rapport fournit, pour chaque type de trafic (poids lourds, véhicules particuliers, véhicules utilitaires légers) et pour quelques grands types d'occupation humaine (urbain dense, urbain diffus, rural), une valeur de l'impact, principalement sanitaire, de la pollution atmosphérique.

A ce jour, lorsqu'elle est réalisée par les services instructeurs, l'estimation chiffrée des impacts sanitaires de la pollution atmosphérique se base généralement sur les trafics sans prendre en compte ni la répartition spatiale de la population, ni des paramètres d'exposition.

Il devrait être possible d'affiner l'estimation des coûts sanitaires en prenant en compte l'exposition de la population dès lors que l'on se base sur le principe d'un lien de proportionnalité entre le coût sanitaire et l'IPP. La D4E et le SETRA développent actuellement ce type de démarche.

Avant de généraliser cette approche au niveau des services, il est prévu d'en valider l'algorithme et les différents paramètres, sur la base de quelques cas concrets. Une méthode simplifiée de calcul applicable aux cas réels sera alors définie. Elle utilisera, comme données en entrée, les prévisions de trafic et les densités de population. Elle pourra alors être diffusée aux services instructeurs.

Le calcul du coefficient de proportionnalité sera effectué en considérant des cas standards simples (densité de population homogène, circulation constante...) pour lesquels on calculera facilement à la fois l'IPP et (selon le rapport Boiteux) le coût externe de la pollution atmosphérique. Ce coefficient pourra alors être appliqué aux différentes valeurs de l'IPP correspondant à chaque variante étudiée.

On notera que ces calculs seront effectués lorsque l'IPP a été calculé, c'est-à-dire dans le cas d'études de niveau I ou II. A ce stade de développement méthodologique, les facteurs de sur-risque évoqués précédemment ne peuvent pas être pris en compte de manière quantitative dans la monétarisation.

Annexes : non listées dans ce document

6.2. ANNEXE 2 : DESCRIPTIF DES APPAREILS DE MESURES : METHODES DE MESURES ET UTILISATION

Analyseur de monoxyde de carbone : appareil automatique ; mesures en continu au pas de temps minimal quart horaire. Principe de mesure : absorption dans l'infrarouge

Analyseur d'oxydes d'azote : appareil automatique ; mesures en continu au pas de temps minimal quart horaire. Principe de mesure : chimiluminescence

Analyseur d'ozone : appareil automatique ; mesures en continu au pas de temps minimal quart horaire. Principe de mesure : absorption dans l'ultraviolet

Préleveur bas débit 1 m³/h (modèle Partisol) : appareil semi-automatique avec passeur de filtres – prélèvement des particules sur filtre de 24heures pour analyse des métaux lourds.

Analyseur PM10 et PM2,5 : Microbalance à quartz (modèle TEOM et modèle TEOM-FDMS), appareil automatique ; mesures en continu au pas de temps minimal quart horaire. Principe : les particules en suspension contenues dans l'échantillon d'air se déposent sur un filtre de collection, lui-même posé sur un cristal de quartz vibrant à une fréquence de 200 Hz.

Préleveur haut débit 30 m³/h (modèle DA80) : appareil semi-automatique avec passeur de filtres – prélèvement des particules sur filtre de 24 heures pour analyse HAP.

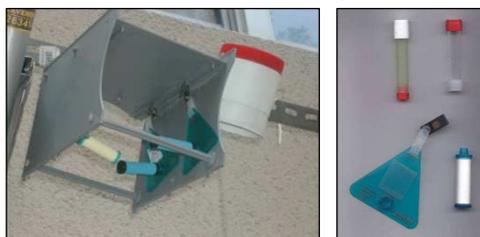
Echantillonneur passifs pour le NO₂ (ou tubes NO₂) de marque PASSAM : exposition de 7 ou 14 jours puis analyse en laboratoire.

Echantillonneur passif pour le benzène, toluène et xylènes (ou tubes BTX) de marque Radiello (code 145) : exposition de 7 à 14 jours.

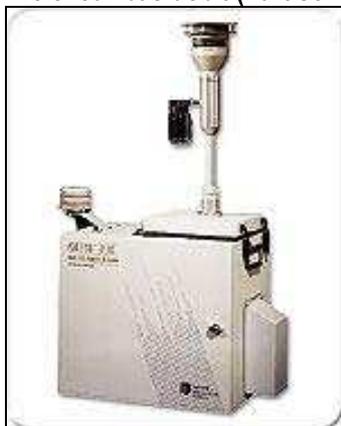
Canister



Echantillonneurs passifs



Préleveur bas débit (Partisol Plus)



TEOM



TEOM-FDMS



Préleveur haut débit (DA 80)



6.3. ANNEXE 3 : EMISSIONS EN PM10 ET NO_x PAR LE PARC ROULANT EN PACA

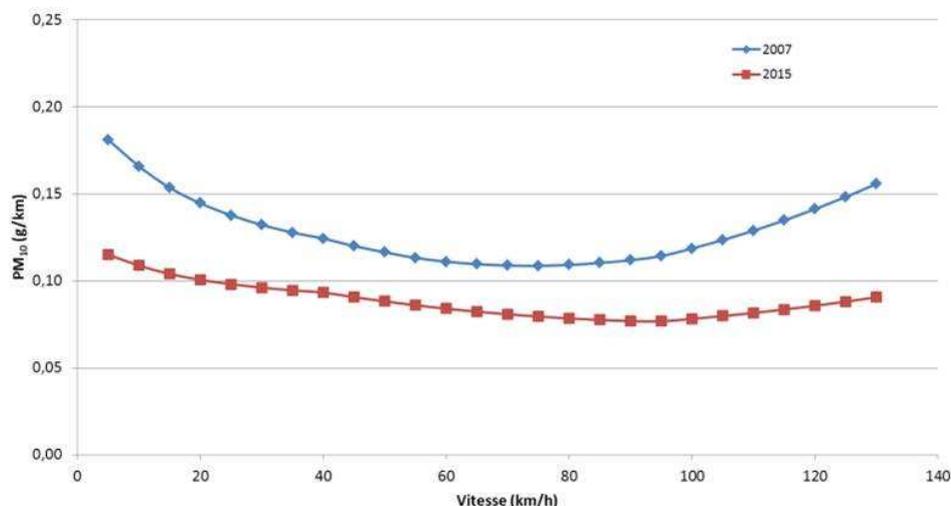


Figure 32 : Emission en PM10 (g/km) du parc roulant (VL+VUL+PL) en PACA en 2007 et 2015 en fonction des vitesses

Les émissions de PM10 par les véhicules sont dépendantes de plusieurs facteurs, à savoir le type de véhicules (légers, utilitaires et poids lourds), le type de carburant et la vitesse pratiquée. La Figure 32 représente l'évolution des émissions en particules pour le parc moyen du territoire de PACA, en fonction de la vitesse, et ce en 2007 puis en 2015.

En 2007, les émissions en PM10 du parc sont minimales (0,12 g/km) lorsque les véhicules ont une allure comprise entre 60 et 90 km/h (avec le régime moteur adapté). Elles sont maximales (jusqu'à 0,18 g/km) lorsque les véhicules ont une très faible vitesse (5 km/h) ou alors lorsque leur vitesse approche les 130 km/h.

Pour l'horizon 2015, les tendances diffèrent : les émissions sont plus homogènes en fonction de la vitesse, le profil en « U » est nettement moins prononcé que celui de 2007. Les émissions restent maximales lorsque les vitesses sont faibles (0,12 g/km pour une vitesse de 5 km/h), et sont au minimum (0,07 g/km) lorsque les véhicules roulent à 90 km/h. Ces changements s'expliquent par le renouvellement du parc roulant.

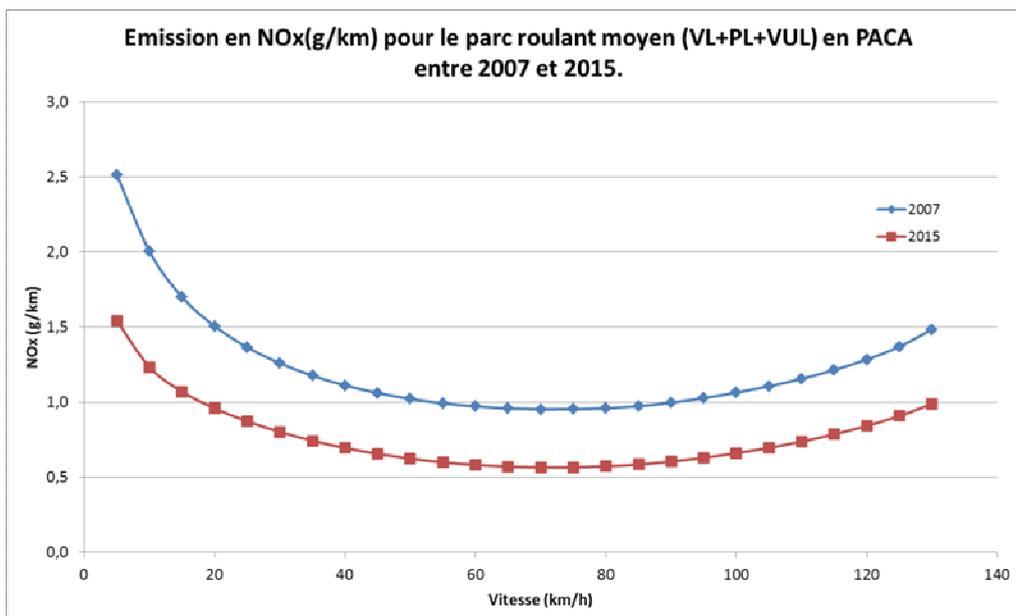


Figure 33 : Emission en NOx (g/km) du parc roulant (VL+VUL+PL) en PACA en 2007 et 2015 en fonction des vitesses

Les émissions de NOx par les véhicules sont dépendantes de plusieurs facteurs, à savoir le type de véhicules (légers, utilitaires et poids lourds), le type de carburant et la vitesse pratiquée. La Figure 32 représente l'évolution des émissions en oxydes d'azote pour le parc moyen du territoire de PACA, en fonction de la vitesse, et ce en 2007 puis en 2015.

En 2007, les émissions en NOx du parc sont minimales (0,95 g/km) lorsque les véhicules ont une allure comprise entre 60 et 90 km/h (avec le régime moteur adapté). Elles sont maximales (jusqu'à 2,5 g/km) lorsque les véhicules ont une très faible vitesse (5 km/h). Les concentrations augmentent aussi lorsque leur vitesse approche les 130 km/h (1,5 g/km).

Pour l'horizon 2015, les tendances restent similaires mais les concentrations sont moindres : les émissions sont plus homogènes en fonction de la vitesse, le profil en « U » est moins prononcé que celui de 2007. Les émissions restent maximales lorsque les vitesses sont faibles (1,5 g/km pour une vitesse de 5 km/h), et sont au minimum (0,06 g/km) lorsque les véhicules roulent à 70 km/h. Ces changements s'expliquent par le renouvellement du parc roulant.

6.4. ANNEXE 4 : CONCENTRATIONS EN PM10 SUR L'AUTOROUTE A7

2011 PM10-PM2,5 µg/m ³	A7 – Valence 01/01/11 – 17/10/11		A7 –Avignon – Salon 10/01/11 – 24/02/11 7/05/11 – 19/08/11		A50 – Marseille 07/02/11 – 17/10/11	
	PM10	PM2,5	PM10	PM2,5	PM10	PM2,5
Moyenne annuelle	29	19	26	18	34	20
Moyenne hiver	36	28	37	26	43	29
Moyenne été	23	13	22	13	22	14
Ratio PM2,5/PM10 année	0,66		0,69		0,61	
Ratio PM2,5/PM10 Hiver	0,79		0,71		0,67	
Ratio PM2,5/PM10 été	0,55		0,59		0,64	
Nombre de jours > 50 µg/m³	18/269 soit 7%		4/109 soit 4%		32/206 soit 16%	

Moyenne annuelle :

Les valeurs de l'A50 sont légèrement plus élevées que celles de l'A7, Valence et Avignon-Salon confondues, et ce pour les deux fractions de particules (de +5 à +25% en fonction de la fraction particulaire considérée). Le nombre de dépassements journaliers des 50 µg/m³ est également le plus élevé pour l'A50 avec 32 dépassements sur 206 jours, soit 16% des journées. Les concentrations annuelles pour les deux sites A7 sont très proches pour les PM10 et PM2,5.

Moyenne hiver :

Des similarités sont encore constatées pour les deux sites A7, l'A50 est supérieure de 6 µg/m³ en PM10, la teneur en PM2,5 est proche de celles des deux autres sites.

Moyenne été :

Les concentrations sont identiques sur chaque site pour chaque type de particules.

Ratio année : ceux-ci sont tous compris entre 0,6 et 0,7, le minimal étant à l'A50 avec 0,61.

Ratio hiver : nous constatons 0,12 d'écart entre le maximum (A7 Valence : 0,79) et le minimum (A50 : 0,67).

Ratio été : une diminution nette du ratio en été est avérée pour les sites A7, l'A50 reste proche du ratio hivernal.

Pour résumer,

De manière générale, l'A50 est en situation urbaine avec un fond en particules modérément plus élevé que l'environnement plus « périurbain » voire rural de l'A7, d'où des concentrations moyennes annuelles et un nombre de jours de dépassements sur l'A50 plus importants en PM.

Selon les saisons, plusieurs facteurs entrent en jeu dans les concentrations retrouvées :

Hiver :

- Pour l'A50 en ville, les émissions en PM10 et PM2,5 sont plus importantes (chauffage), et plus de PM2,5 sont émises par le résidentiel et tertiaire à Marseille que de PM10 (33% de PM2,5 contre 22% pour les PM10, voir
- Figure 34),

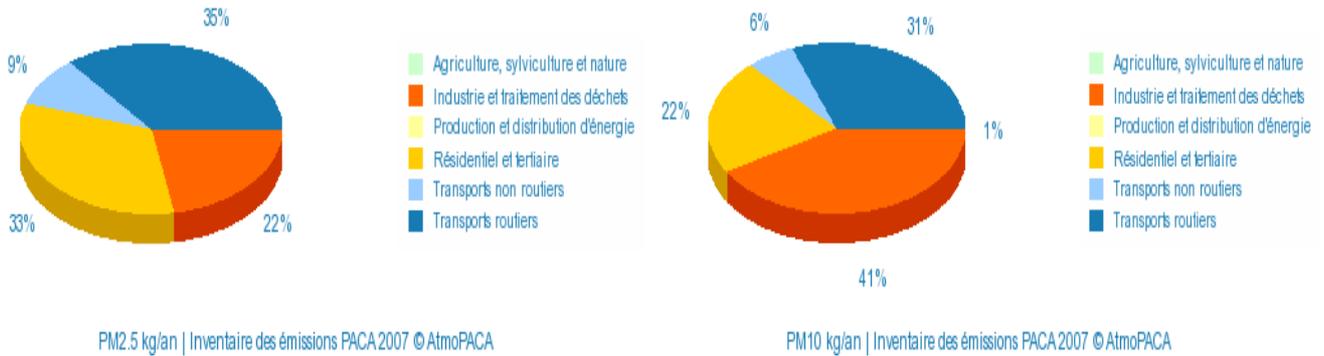


Figure 34 : Répartition des différents secteurs d'émissions des particules PM2,5 (à gauche) et PM10 (à droite) sur la commune de Marseille

- La météo n'est pas favorable à la dispersion des polluants : couche limite basse, turbulences moins importantes d'où des concentrations plus élevées.

Eté :

- Pour l'A50 en ville, les émissions en particules sont plus faibles (pas de chauffage),
- La météo est favorable à la dispersion des polluants : la couche limite bloquant les polluants dans notre air ambiant est plus haute, induisant des turbulences de l'air sont plus prononcées, d'où des polluants moins concentrés,
- La dispersion étant meilleure et la température plus élevée, la propriété volatile des particules PM2,5 est accentuée.

6.5. ANNEXE 5 : EVOLUTION DU TRAFIC (2009) ET DES PM10 (2011) SUR L'A50 A L'ENTREE DE MARSEILLE

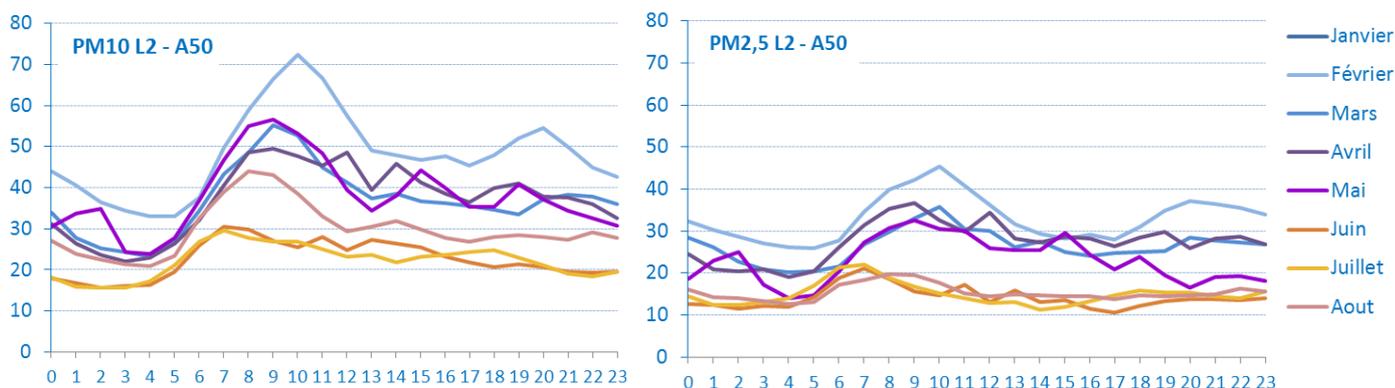


Figure 35 : Profils horaires moyens pour les mois de la campagne L2 à la station A50 PM10 (gauche) et PM2,5 (droite)

Les concentrations en PM10 et PM2,5 diminuent au fur et à mesure de l'hiver à l'été. Le mois de février obtient une concentration moyenne en PM10 de 48 µg/m³ contre 22 µg/m³ en juillet ; la teneur en PM2,5 est de 33 µg/m³ en février et de 15 µg/m³ au mois de juillet (Figure 36).

Les pics du matin sont plus marqués que ceux du soir, et ce pour les deux fractions particulières et pour toute saison. Le pic du matin moyen en PM10 au mois de février atteint 72 µg/m³ contre 30 µg/m³ en juillet ; pour les PM2,5, le maximum matinal se produit en février avec 45 µg/m³ contre 22 µg/m³ en juillet. L'air se recharge en particules au mois d'août (Figure 35). Le ratio PM2,5/PM10 au fur et à mesure des saisons reste stable : 0,67 en hiver et 0,64 en été.

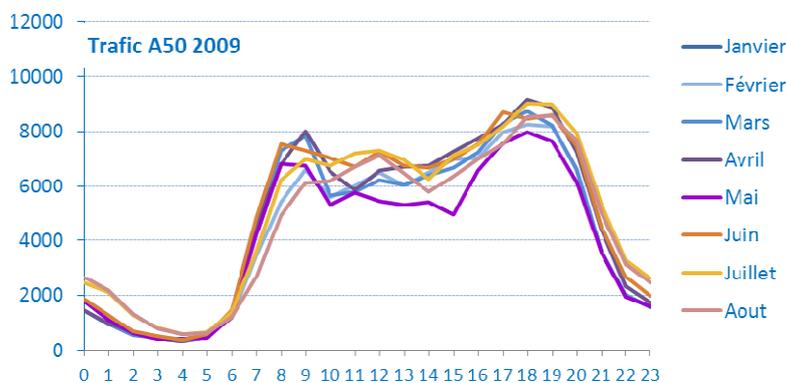


Figure 36 : Profils horaires moyens du trafic en 2009 pour les mois correspondants à la campagne L2 sur l'A50 à l'entrée de Marseille

Les profils ci-dessus nous indiquent que les évolutions du trafic en 2009 sont similaires pour les huit premiers de l'année. La tendance est la suivante : une hausse du nombre de véhicules dès l'heure de pointe matinale, soit 7000 véhicules à 9h en moyenne, ce taux diminue légèrement en milieu de journée pour dépasser les 8000 véhicules à 18h. Le pic du soir est cette fois plus important que celui du matin et plus étalé (Figure 36).

Concernant les mois estivaux, la pointe du matin se matérialise plutôt sous la forme d'un palier : le nombre de véhicules atteint 7000 en milieu de matinée et reste stable jusqu'à l'augmentation du soir, cette fois identique aux mois précédents (Figure 36).

L'autoroute a tendance à être embouteillée le matin puisque les usagers commencent à travailler aux mêmes heures, et est plus fluide en fin de journée car les sorties du travail sont échelonnées sur plus de temps. Le parc des véhicules (tous véhicules confondus) émet plus de particules à faible vitesse (Figure 32), d'où le pic bien visible des PM10 et PM2,5 le matin.

6.6. ANNEXE 7 : 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.

6.6.1. 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.

Tableau 14 : Concentration station - triplon

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

Campagne classique : 2 périodes hiver et été, constitué chacune des 2 séries, soit 4 séries de correction.

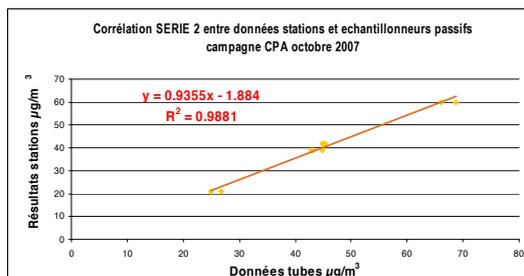
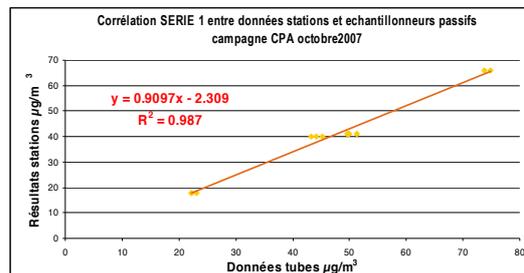


Figure 37 : Régression linéaire par série

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.

6.6.2. 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 :

Tableau 15 : Concentrations stations

	Concentrations mesurées en dioxyde d'azote sur les stations PACA			
	Moyenne Juin	Moyenne Octobre	Moyenne des périodes	Moyenne annuelle
Timone	42	54	48	51
Plombières	74	85	79,5	82
Rabatau	55	59	57	57
Saint Louis	31	44	37,5	38
Roy René	33	62	47,5	49
Aubagne Pénitent	19	33	26	27
Aix art	23	41	32	35
Aix Bouffan	18	39	28,5	32
Cinq Av	24	43	33,5	38
Thiers	26	42	34	39
Toulon Chalucet	36	51	43,5	44
Toulon Arsenal	22	47	34,5	37
Toulon Foch	53	76	64,5	63
Avignon Mairie	17	23	20	22
Avignon Charles de G	41	47	44	44
Pontet	24	26	25	25
Nice pellos	58	78	68	68
Antibes Guynemer	38	48	43	48
Ant Jean moulin	26	48	37	42
Cannes Broussailles	19	34	26,5	30
Grasse Clavecin	26	30	28	28
Cagnes ladoumegues	21	29	25	29
Contes 2	22	31	26,5	28
Aéroport Nice	20	27	23,5	27

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.

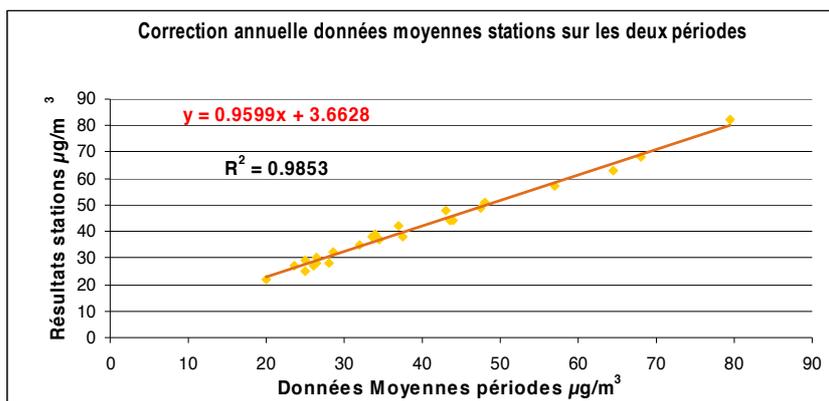


Figure 38 : Régression linéaire pour l'estimation annuelle à partir d'une moyenne « été-hiver »

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 :

$$\text{Estimation annuelle (site1)} = 0.9599 * (\text{Moyenne de été \& hiver site 1}) + 3.6828$$

6.6.3. 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

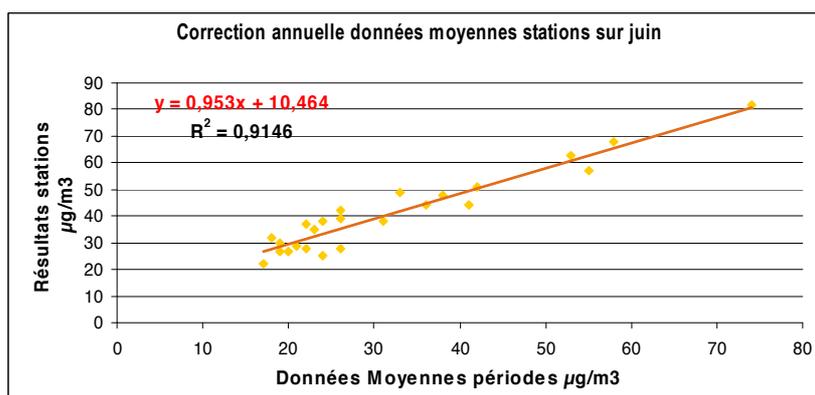


Figure 39 : Régression linéaire pour l'estimation annuelle à partir d'une seule période : « été » ou « hiver »

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 :

$$\text{Estimation annuelle (site1)} = 0.953 * (\text{Moyenne de la période}) + 10.464$$

6.7. ANNEXE 7 : RESULTATS COMPLETS NO₂ - TUBES PASSIFS L2

NO ₂ - µg/m ³						
Numéro de site	Localisation	Type de site	Période hiver 8/02-8/03/11	Période été 27/06-27/07/11	Moyenne période	Moyenne annuelle estimée
4	Rue Berardo (quartier des Arnavaux)	Trafic	64	53	58	56
10	Avenue Allende côté nord (transect Busserine)	Trafic	56	37	47	45
11	Avenue Allende côté sud (transect Busserine)	Trafic	72	60	66	63
14	Hypermarché Carrefour le Merlan	Trafic	52	33	42	41
17	Chemin du Merlan à la Rose (transect dalle des tilleuls)	Trafic	63	51	57	55
18	Sortie nord-ouest dalle des tilleuls	Trafic	115	109	112	105
19	Entrée nord-ouest dalle des tilleuls	Trafic	69	62	66	63
32	Avenue des Caillols (au-dessus de la tête du tunnel de la Fourragère)	Trafic	44	29	37	36
37	Rue Kaddouz (transect Saint Barnabé SEM)	Trafic	50	30	40	39
38	Chemin de l'armée d'Afrique (transect A50)	Trafic	60	45	52	51
43	Sortie sud-est dalle des tilleuls	Trafic	70	65	68	65
47	U400 (au-dessus de la tête du tunnel de la Parette)	Trafic	44	24	34	33
50	Bordure A50, proximité poste de police des autoroutes	Trafic	64	54	59	59
52	Rue Jean Queillau, rond-point Pierre Paraf	Trafic	67	50	58	56
53	Rue Raimu, face au centre commercial du Merlan	Trafic	65	52	59	57
54	Avenue de St Julien	Trafic	56	45	50	49
55	Sortie sud-est dalle des tilleuls	Trafic	59	48	54	52
56	Sortie sud-est dalle des tilleuls	Trafic	57	42	49	48
57	Sortie nord-ouest dalle des tilleuls	Trafic	104	77	91	86
1	Rue Pierre-Joseph Proudhon (surplomb centre commercial le Merlan)	Urbain	47	32	39	38
2	Boulevard de la station (quartier des Arnavaux)	Urbain	48	29	38	38
3	Avenue des Arnavaux (quartier des Arnavaux)	Urbain	40	24	32	31
5	Rue Aramis (quartier des Arnavaux)	Urbain	41	27	34	34
6	Boulevard Lavéran, enceinte de l'AFPA (proche boulevard Allende)	Urbain	43	26	34	34
7	Boulevard Mattei (transect Busserine)	Urbain	40	24	32	32
8	Rue de la Busserine (transect Busserine)	Urbain	41	26	33	33
13	Impasse Florida (transect Busserine)	Urbain	37	23	30	30
15	Allée Montvert (transect dalle des tilleuls)	Urbain	38	23	31	31
16	Rue Nuvolone (transect dalle des tilleuls)	Urbain	35	20	27	27
20	Boulevard Lavéran, enceinte de l'AFPA (proche boulevard Allende)	Urbain	40	22	31	31
21	Rue Marathon (transect dalle des tilleuls)	Urbain	38	21	30	30
22	Jardins familiaux, piquet plus proche de la L2 Est	Urbain	32	19	25	25
23	Face aux jardins familiaux, surplomb L2 Est	Urbain	31	17	24	25
24	Face aux jardins familiaux, surplomb L2 Est	Urbain	31	17	24	24
25	Jardins familiaux	Urbain	30	17	24	24
26	Boulevard Marcel, transect jardins familiaux	Urbain	40	26	33	33
27	Avenue des Bleuets, proche A50	Urbain	49	33	41	40
28	Parc de la Moline, résidence à proximité	Urbain	32	17	25	25
30	Traverse Capron, proche parc de la Moline	Urbain	34	17	25	26
31	Avenue des cigales (transect St Barnabé SEM)	Urbain	36	19	27	28
33	Allée des fleurs (transect St Barnabé SEM)	Urbain	35	18	26	27
34	Allée des fleurs (transect St Barnabé SEM)	Urbain	35	18	26	27
35	Rue Kaddouz, enceinte de la SEM (proche du lit de séchage)	Urbain	34	19	32	31
36	Avenue de Provence (transect St Barnabé SEM)	Urbain	34	19	27	27
39	Avenue des Caillols (transect collège Tillion), propriété d'un particulier	Urbain	36	19	27	27
40	Avenue des Caillols (transect collège Tillion), entrée du collège	Urbain	36	18	27	27
41	Avenue des Caillols (transect collège Tillion), jardinière du collège	Urbain	25	18	28	28
42	Avenue des Caillols (transect collège Tillion), stade du collège	Urbain	35	20	28	31
44	Avenue des Caillols (transect collège Tillion), résidence Marie Christine	Urbain	36	18	27	27
45	Avenue de la Fourragère (transect collège Tillion), entrée de l'école élémentaire	Urbain	35	17	26	26
46	Chemin de la Parette	Urbain	41	21	31	31
48	Rue Joseph Clérissy (proche tunnel de la Parette)	Urbain	50	30	40	39
49	Boulevard Bézombes (transect A50)	Urbain	50	27	39	38
51	Boulevard Mireille Lauze, résidence la Mazonode (transect A50)	Urbain	46	28	37	36
58	Avenue de Valdonne, résidence la Brunette (transect dalle des tilleuls)	Urbain	38	21	30	30
59	Boulevard de la Louisiane, enceinte fourrière des Arnavaux	Urbain	39	26	29	32
9	Rue de la Busserine, enceinte école maternelle de la Busserine	Observation	44	30	39	41
12	Avenue Allende, enceinte de la maison des familles	Observation	44	29	37	36
29	Parc de la Moline, au-dessus de la bouche d'extraction	Observation	23	17	25	25

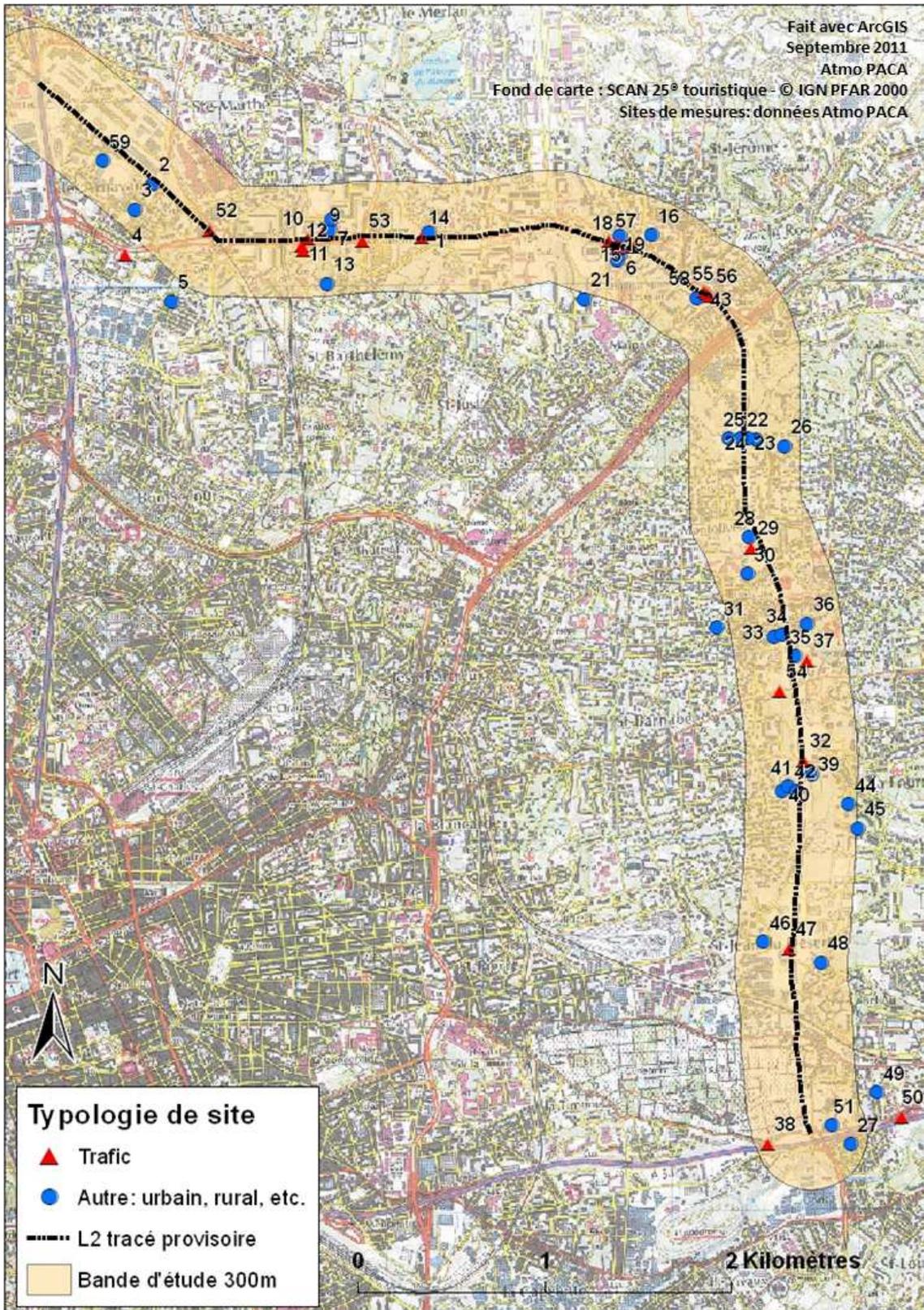


Figure 40 : Emplacement des tubes passifs NO₂ dans la bande d'étude L2 avec leur numéro de site

6.8. ANNEXE 8 : RESULTATS COMPLETS BTEX - TUBES PASSIFS L2

BTX en µg/m ³		Moyenne sur la période hiver du 8/02 au 8/03/11						Moyenne sur la période été du 25/05 au 23/06/11						Moyenne des périodes	Moyenne annuelle estimée
Numéro de site	Type de site	Benzène	Toluène	Ethyl-benzène	m+p-xylène	o-xylène	Rapport T/B	Benzène	Toluène	Ethyl-benzène	m+p-xylène	o-xylène	Rapport T/B	Benzène	
4	Trafic	2,0	3,8	0,8	2,7	1,1	1,9	1,0	4,1	0,9	2,9	1,1	4,1	1,5	1,6
10	Trafic	2,3	5,1	1,1	3,7	1,5	2,2	1,3	9,7	2,2	7,5	2,9	7,3	1,8	1,9
11	Trafic	2,2	4,5	1,0	3,1	1,2	2,0	1,2	4,1	0,8	2,5	1,0	3,3	1,7	1,8
14	Trafic	2,3	4,7	1,0	3,4	1,3	2,1	0,6	5,2	1,2	3,9	1,5	8,7	1,5	1,5
17	Trafic	2,8	6,7	1,5	4,9	1,9	2,4	1,2	5,5	1,2	3,9	1,5	4,8	2,0	2,0
18	Trafic	3,5	9,9	2,1	7,3	2,8	2,9	1,7	9,9	2,0	7,1	2,7	6,0	2,6	2,6
19	Trafic	2,4	4,6	1,0	3,1	1,2	1,9	1,3	4,9	1,0	3,3	1,3	3,9	1,8	1,9
32	Trafic	2,7	4,2	1,2	3,6	1,3	1,6	1,2	4,0	1,1	3,5	1,2	3,4	2,0	2,0
37	Trafic	2,6	4,5	1,1	3,7	1,3	1,8	1,2	4,9	1,2	3,8	1,4	4,0	1,9	1,9
38	Trafic	4,0	5,6	2,3	7,3	2,4	1,4	1,9	4,4	1,5	4,9	1,5	2,4	2,9	3,0
43	Trafic	3,1	7,8	1,7	5,6	2,2	2,5	1,7	7,6	1,5	5,4	2,1	4,4	2,4	2,5
47	Trafic	3,2	4,4	1,6	4,9	1,5	1,4	1,2	3,1	1,1	3,7	1,2	2,5	2,2	2,3
50	Trafic	4,2	5,3	2,1	6,3	1,8	1,3	1,8	4,6	1,5	5,1	1,6	2,6	3,0	3,1
52	Trafic	2,6	6,0	1,2	3,8	1,5	2,3	1,2	6,1	1,3	4,4	1,7	5,0	1,9	2,0
53	Trafic	2,6	5,8	1,3	4,2	1,6	2,3	1,2	5,8	1,2	4,1	1,6	4,7	1,9	2,0
54	Trafic	3,4	7,7	1,8	6,1	2,2	2,3	1,6	7,5	1,7	5,6	2,1	4,8	2,5	2,6
55	Trafic	2,5	5,6	1,2	3,6	1,4	2,3	1,2	6,1	1,3	4,3	1,7	5,1	1,8	1,9
56	Trafic	2,4	5,2	1,1	3,6	1,4	2,2	1,1	4,6	1,0	3,3	1,3	4,3	1,7	1,8
57	Trafic	3,4	8,9	1,9	6,3	2,4	2,6	1,4	7,1	1,4	4,9	1,9	5,1	2,4	2,5
3	Urbain	1,9	3,6	0,8	2,4	0,9	1,9	1,0	4,5	0,9	2,9	1,1	4,7	1,4	1,5
28	Urbain	2,0	2,5	0,6	1,9	0,7	1,3	0,8	2,5	0,6	1,9	0,7	3,1	1,4	1,5
30	Urbain	2,2	2,9	0,8	2,2	0,8	1,4	0,9	3,1	0,7	2,3	0,9	3,6	1,5	1,6
46	Urbain	3,3	4,9	1,6	5,1	1,5	1,5	1,3	3,2	1,1	3,8	1,3	2,5	2,3	2,3
51	Urbain	3,9	4,7	1,9	6,0	1,6	1,2	1,7	4,7	1,5	5,0	1,5	2,7	2,8	2,9
9	Observation	2,1	4,6	1,0	3,4	1,3	2,2	1,1	4,3	0,9	2,9	1,1	3,9	1,6	1,7
12	Observation	1,9	3,3	0,7	2,1	0,9	1,8	0,9	2,7	0,6	1,8	0,7	3,3	1,4	1,4
29	Observation	2,2	2,1	0,6	1,7	0,6	1,0	-	-	-	-	-	-	-	1,6

6.9. ANNEXE 9 : RESULTATS COMPLETS ALDEHYDES PAR SAISON - TUBES PASSIFS L2

Aldéhydes - µg/m ³		Moyenne sur la période hiver du 8/02 au 8/03/11			Moyenne sur la période été du 25/05 au 23/06/11			Moyenne des deux périodes		
Numéro de site	Type de site	Formaldéhyde	Acétaldéhyde	Acroléine	Formaldéhyde	Acétaldéhyde	Acroléine	Formaldéhyde	Acétaldéhyde	Acroléine (teneur maximisée)
4	Trafic	2,3	1,8	0,3	2,4	1,8	<0,2	2,4	1,8	0,2
10	Trafic	2,4	2,0	0,3	2,3	2,1	<0,2	2,4	2,0	0,2
11	Trafic	2,2	1,8	0,3	2,2	1,8	<0,2	2,2	1,8	0,2
14	Trafic	2,2	1,7	0,3	2,2	1,9	<0,2	2,2	1,8	0,2
17	Trafic	2,7	1,9	0,3	2,3	1,9	<0,2	2,5	1,9	0,3
18	Trafic	3,2	2,4	0,4	2,6	2,2	<0,2	2,9	2,3	0,3
19	Trafic	2,3	1,6	0,3	2,2	2,0	<0,2	2,3	1,8	0,2
32	Trafic	2,4	1,9	0,3	2,1	1,9	<0,2	2,3	1,9	0,2
37	Trafic	2,4	1,8	0,3	2,2	1,8	<0,2	2,3	1,8	0,2
38	Trafic	2,5	1,9	0,3	2,1	1,8	<0,2	2,3	1,9	0,2
43	Trafic	2,9	2,0	0,4	2,8	2,0	<0,2	2,8	2,0	0,3
47	Trafic	2,2	1,8	0,3	2,0	1,8	<0,2	2,1	1,8	0,2
50	Trafic	2,5	2,2	0,3	2,0	2,0	<0,2	2,3	2,1	0,3
52	Trafic	3,1	2,2	0,3	2,6	2,2	<0,2	2,9	2,2	0,3
53	Trafic	2,4	2,0	0,4	2,2	2,0	<0,2	2,3	2,0	0,3
54	Trafic	2,7	1,9	0,3	1,9	1,3	<0,2	2,3	1,6	0,2
55	Trafic	2,7	2,0	0,3	2,4	1,9	<0,2	2,6	1,9	0,3
56	Trafic	2,5	1,9	0,3	2,4	1,8	<0,2	2,5	1,9	0,3
57	Trafic	2,6	2,5	0,3	2,4	2,0	<0,2	2,5	2,2	0,2
3	Urbain	1,9	1,6	0,2	2,1	1,9	<0,2	2,0	1,7	0,2
28	Urbain	2,1	1,4	<0,3	2,0	1,6	<0,2	2,1	1,5	0,2
30	Urbain	2,0	1,6	0,2	2,4	2,1	<0,2	2,2	1,9	0,2
46	Urbain	2,1	1,8	<0,3	2,0	1,7	<0,2	2,1	1,8	0,2
51	Urbain	2,2	1,8	0,3	2,0	1,9	<0,2	2,1	1,8	0,3
9	Observation	2,3	1,7	0,3	2,2	1,9	<0,2	2,2	1,8	0,2
12	Observation	1,9	1,4	<0,2	2,1	1,8	<0,2	2,0	1,6	0,2
29	Observation	2,0	1,6	0,2	2,0	2,2	<0,2	2,0	1,9	0,2

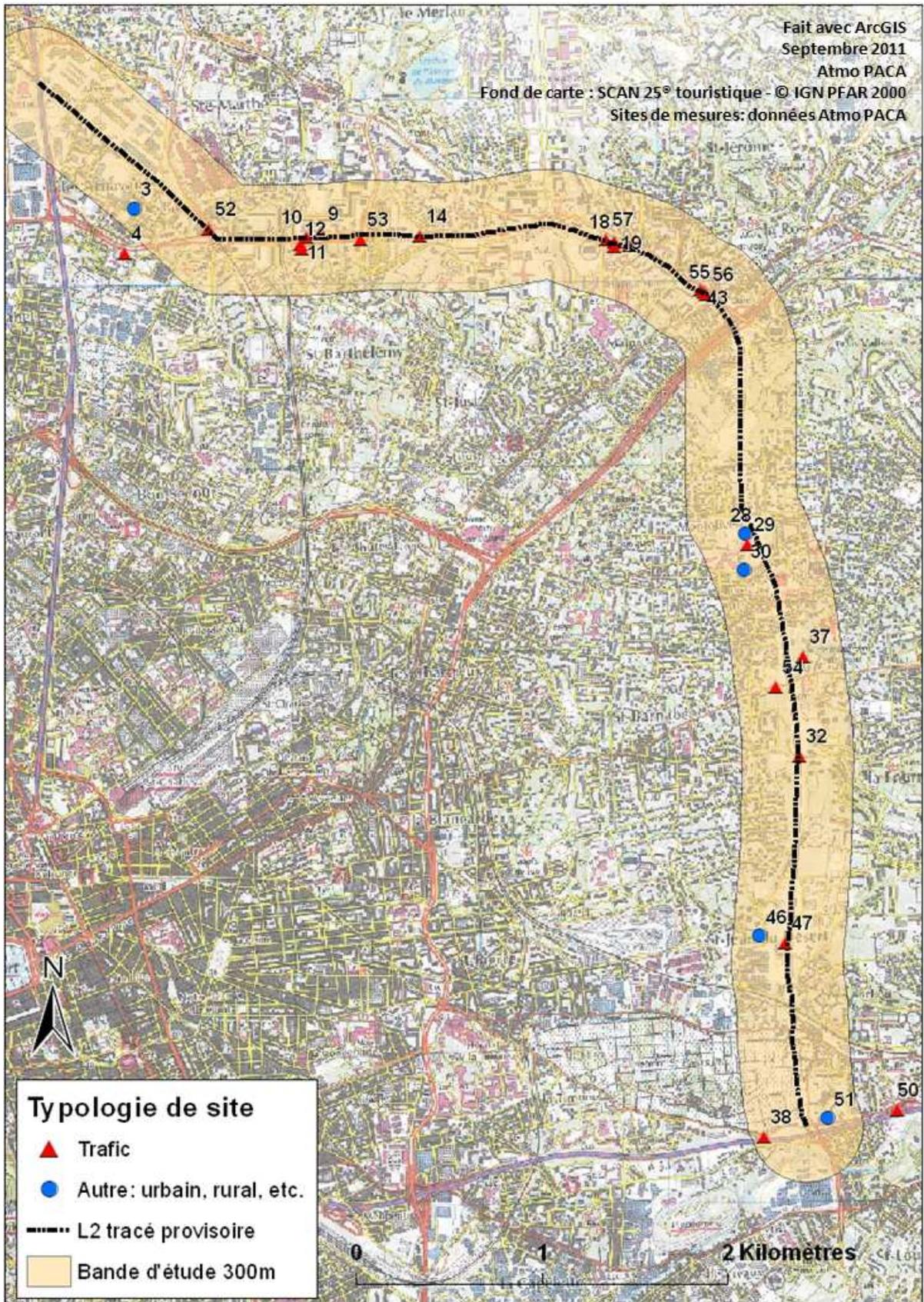


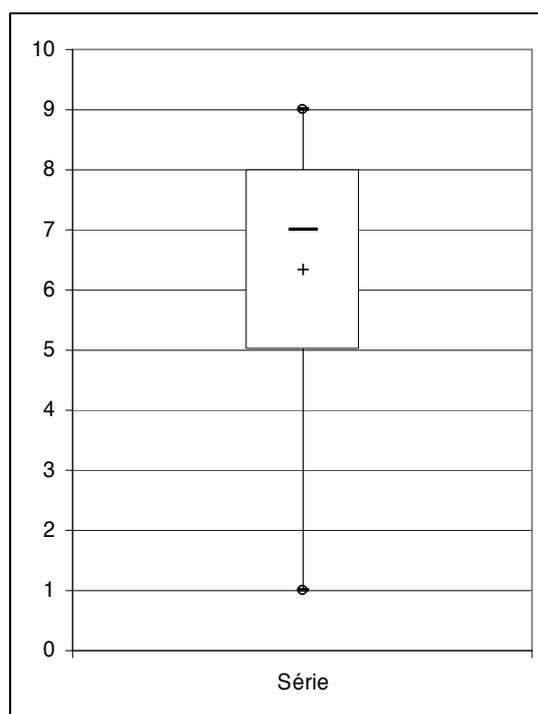
Figure 41 : Emplacement des tubes passifs BTEX et aldéhydes dans la bande d'étude L2 avec leur numéro de site

6.10. ANNEXE 10 : DIAGRAMME EN BOITE

La boîte à « moustache » ou « diagramme de Tuckey » est une représentation statistique d'un échantillon de données pour un même critère. Cette représentation comprend la médiane, la moyenne, le premier et troisième quartile, le premier et le neuvième décile et les valeurs aberrantes.

Lecture et interprétation d'une boîte à moustaches :

Soit une série de données : 1, 5, 9, 8, 6, 7, 5, 8, 8, 9, 6, 8, 4, 7, 2, 6, 9, et la boîte à moustache associée :



Caractéristiques

La croix au milieu de la boîte représente la moyenne, le tiret dans la boîte la médiane, le côté du bas de la boîte le 1^{er} quartile et le côté du haut le 3^{ème} quartile, l'extrémité en bas du segment le 1^{er} décile et l'extrémité en haut le 9^{ème} décile. L'utilisation des 1^{er} et 9^{ème} déciles permet souvent de s'affranchir des valeurs aberrantes (extrêmement faibles ou élevées) souvent représentées par des points dans la continuité de l'axe vertical.

Interprétation

Le diagramme nous permet d'affirmer que 80% des données sont comprises entre 1 et 9 (grâce aux 1^{er} et 9^{ème} déciles).

Un bon nombre de données se concentre davantage vers des valeurs élevées.

- 50% des données sont comprises entre 5 et 8 (grâce aux 1^{er} et 3^{ème} quartiles),
- 50% des données sont égales et/ou supérieures à 7 (médiane).

De plus, le diagramme nous indique la position de la moyenne par rapport à la médiane : dans notre cas, la moyenne est inférieure à la médiane, ce qui signifie que les valeurs faibles sont rares en termes d'effectif, mais aussi qu'elles sont très faibles en termes de chiffre.

6.11. ANNEXE 11 : CAMPAGNE DE MESURES AU PARC DE LA MOLINE – L2 EST

6.11.1. CONTEXTE

Le parc de la Moline est situé au-dessus de la tranchée couverte de Montolivet-Bois Luzy de la L2 est. De par sa longueur importante, ce tunnel est équipé, en plus des entrées et sorties, d'une usine d'extraction des fumées placée à mi-distance du tunnel. Cette installation n'est censée fonctionner uniquement lorsqu'un incendie se déclare dans le tunnel, elle n'a pas pour vocation de ventiler et de renouveler régulièrement l'air vicié du tunnel. Ceci étant, des scénarios de modélisations ont été calculés pour estimer l'impact des rejets issus de l'extraction dans le parc si celle-ci fonctionnait une heure par jour, sur une heure de pointe (Numtech dans le cadre du COTECH L2).

Du point de vue mesure, le parc de la Moline a été échantillonné par tubes passifs en NO₂, BTEX et aldéhydes. Il s'agit donc de mesures à système passif, avec deux valeurs par mois de mesure. Les particules, quant à elles, n'ont pas été mesurées dans le parc, les concentrations de la station urbaine de fond à Marseille étant jugées représentatives des teneurs urbaines et périurbaines dans les quartiers de Marseille, et par extension sur le parc de la Moline. En effet, la surveillance combine émissions, mesures et modélisations. Sur les sites où les mesures ne sont pas nécessaires et/ou ne peuvent être réalisées (matériels mobilisés ailleurs), les outils de modélisation prennent en charge l'évaluation des concentrations.

Une fois les résultats des campagnes hiver-été de la L2 communiqués aux partenaires du projet, le collectif anti- nuisance L2 (représentant les riverains du parc de la Moline) a fait part de son souhait de disposer d'une mesure physique spécifique à la Moline.

Afin de répondre au collectif anti- nuisance, et en concertation avec la DREAL, Atmo PACA a délocalisé pour un mois et demi la cabine de l'A50 sur la Moline. Cette cabine est équipée d'appareils de mesure actifs (donnée au quart horaire) prélevant les particules PM10 et PM2,5, le NO₂ et le CO.

6.11.2. EMPLACEMENT

La campagne au sein du parc de la Moline s'est déroulée du 22 novembre 2011 au 9 janvier 2012. La station de mesure était placée sur un terrain mitoyen du parc, à une centaine de mètres au sud de l'extracteur (Figure 42). Une installation plus proche n'était pas envisageable pour des conditions techniques et de sécurité. De plus, dans le cas où l'usine fonctionnerait à terme, un emplacement trop proche de l'extracteur ne serait pas idéal pour capter les polluants contenus dans le panache éjecté. Il est préférable d'être plus éloigné pour se situer dans le cône de dispersion du panache.

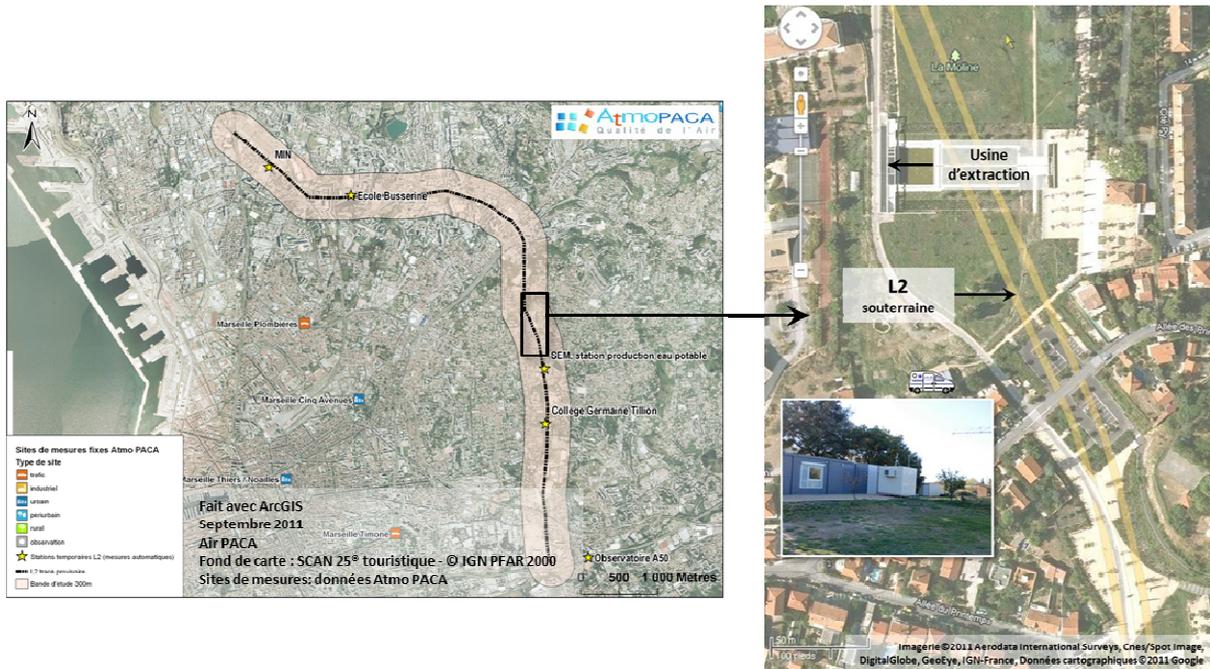


Figure 42 : Emplacement de la station de mesures au parc de la Moline

6.11.3. RESULTATS

PARTICULES PM10

Plusieurs corrélations ont été testées pour déterminer la station de Marseille la plus comparable à celle de la Moline. La station Cinq Avenues obtient le meilleur coefficient de corrélation de 0,87 avec la Moline (Figure 43).

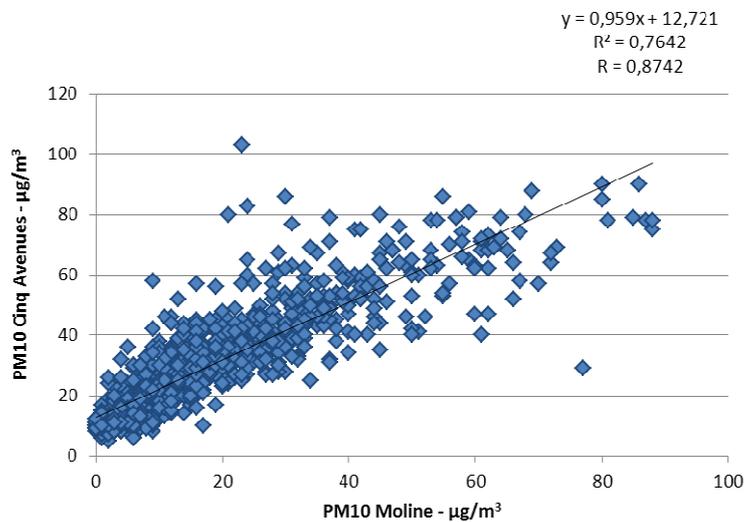


Figure 43 : Corrélation PM10 entre la station Moline et la station Cinq Avenues

Tableau 16 : Evaluation des niveaux de PM10

PM10 en $\mu\text{g}/\text{m}^3$.	Station parc de la Moline (urbain)	Station permanente Cinq Avenues (urbain)	Station permanente Rabatau (trafic)	Station permanente Timone (trafic)	Station permanente Saint Louis (urbain)
Moyenne sur la période 22/11/2011 - 09/01/2012	17	29	41	38	42
Moyenne annuelle Valeur limite pour la protection de la santé humaine : 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	19 ⁴	29	52	40	41
Maximum journalier	45 26/11/2011	57 26/11/2011	78 30/11/2011	67 30/11/2011	109 28/11/2011
Nombre de jours de dépassement Valeur limite journalière pour la protection de la santé humaine : 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, tolérance 35 j/an	0	4	20	11	18

La station du parc de la Moline enregistre la moyenne sur la période la plus faible, à savoir 17 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, contre 29 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ à Cinq Avenues, qui correspond à la station représentative du fond urbain exempt de source importante à proximité : historiquement, la station de Cinq Avenues est la station permanente de Marseille ayant les plus faibles valeurs en particules. Les stations trafic montrent des concentrations au moins deux fois plus importantes que celle relevées à la Moline. La station urbaine Saint Louis est influencée par les particules issues des travaux de terrassement à proximité (Tableau 16).

Au cours de l'année, les polluants ont tendance à être plus concentrés en hiver qu'en été (conditions météorologiques). Les teneurs mesurées durant cette campagne de mesure devraient donc correspondre aux teneurs les plus importantes de l'année. Hors, les moyennes annuelles des stations fixes sont égales, voire légèrement supérieures aux concentrations relevées sur la période (Tableau 16). Cette période de mesure a été soumise à trois reprises au mistral (direction nord-ouest) (Figure 44), avec une durée de 3 à 7 jours par épisode, soit environ 15% du temps sur un mois et demi de mesure. Le reste du temps, le vent était toujours présent : permanent mais faible, ou bien fort mais ponctuel.

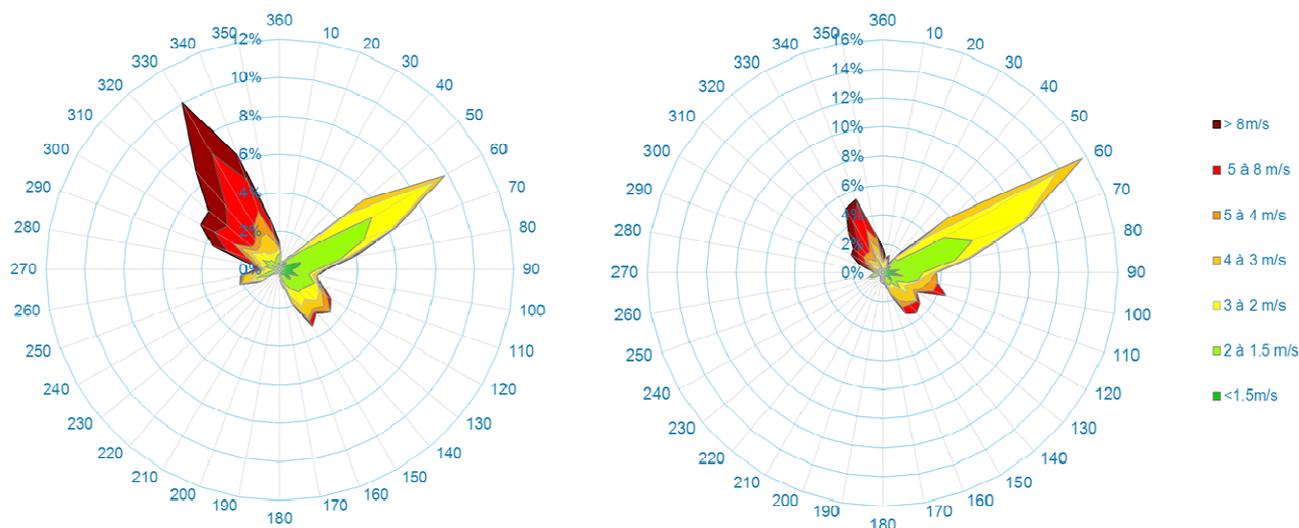


Figure 44 : A gauche : rose des vents durant la campagne Moline (22/11/2011 - 09/01/2012), à droite : rose des vents cumulant les hivers de 2006 à 2011 (station Météo France hippodrome de Marseille)

⁴ La moyenne annuelle est estimée pour la Moline à partir des moyennes annuelles réelles des stations permanentes réparties sur le territoire de surveillance d'Atmo PACA.

Ceci étant, la concentration moyenne annuelle en PM10 à la Moline est estimée à 19 µg/m³. Cette valeur est deux fois plus faible que la valeur limite de 40 µg/m³, et également inférieure à celle de Cinq Avenues (29 µg/m³).

Le maximum journalier sur la période s'est produit le 26 novembre avec 45 µg/m³, c'est-à-dire le même jour qu'à Cinq Avenues qui a enregistré 57 µg/m³. Les maximums journaliers sur les autres stations sont plus importants et se produisent sur des journées différentes.

La station de la Moline ne relève aucun dépassement de 50 µg/m³ sur la période de mesure, celle de Cinq Avenues en recense 4. Les autres stations en obtiennent davantage (jusqu'à 20 dépassements pour un mois de mesure sur Rabatau).

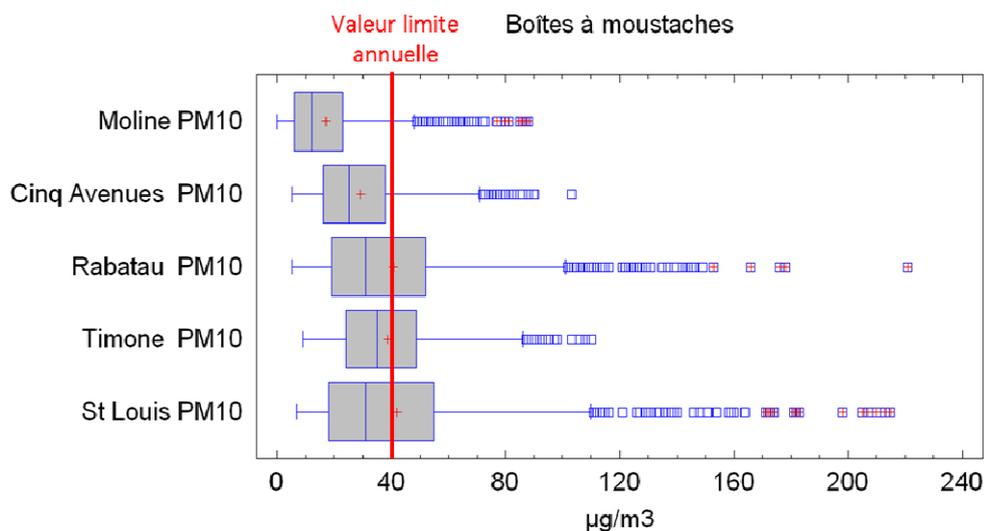


Figure 45 : Diagrammes en boîtes des données horaires PM10 durant la campagne Moline

La Figure 45 rend compte de la dispersion des données en PM10 durant le mois de campagne pour cinq stations de Marseille. La station du parc de la Moline obtient la plage de données la moins étendue, les variations sont plus atténuées. 50% des concentrations horaires relevées sont inférieures à 12 µg/m³ et 75% inférieures à 24 µg/m³. A titre comparatif, le seuil des 50% pour Cinq Avenues est de 24 µg/m³, et celui des 75% est égal à 38 µg/m³. Les valeurs de ces seuils sont toutes plus élevées pour les trois autres stations.

PARTICULES PM2,5

Plusieurs corrélations ont été testées pour déterminer la station de Marseille la plus comparable à celle de la Moline. La station Cinq Avenues obtient le meilleur coefficient de corrélation de 0,90 avec la Moline (Figure 46).

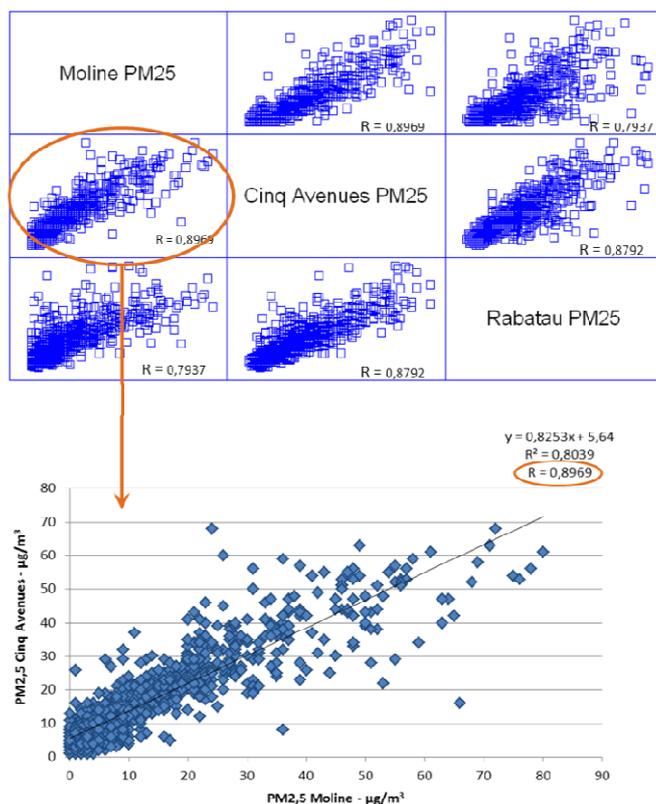


Figure 46 : Corrélations PM2,5 entre la station Moline et les stations fixes sur Marseille

Tableau 17 : Evaluation des niveaux de PM2,5

PM2,5 en $\mu\text{g}/\text{m}^3$.	Station parc de la Moline (urbain)	Station permanente Cinq Avenues (urbain)	Station permanente Rabatau (trafic)	Station L2 A50 (trafic)
Moyenne sur la période 22/11/2011 - 09/01/2012	12	16	25	
Moyenne annuelle Valeur limite pour la protection de la santé humaine (applicable en 2015) : 25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	12 ⁵	17	25	22
Maximum journalier	40 26/11/2011	40 26/11/2011	56 27/11/2011	55 9 et 10/02/2011

La station Cinq Avenues enregistre $16 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en PM2,5 sur la période de mesure, présentant une légère différence de $4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ avec la Moline. Ces deux stations montrent donc un niveau de fond en particules fines quasi-équivalent. La concentration moyenne à Rabatau est deux fois plus importante avec $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

La moyenne annuelle reste proche de la moyenne constatée sur la période, aussi bien pour les deux stations permanentes d'Atmo PACA qu'à la Moline. La valeur limite annuelle de $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (applicable en 2015) est aisément respectée à la Moline.

Le maximum journalier est également similaire pour les deux stations urbaines, à savoir la Moline et Cinq Avenues avec $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Ce maximum se produit la même journée, soit le 26 novembre. Rabatau atteint $56 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en maximum journalier une journée après (Tableau 17).

⁵ La moyenne annuelle est estimée pour la Moline à partir des moyennes annuelles réelles des stations permanentes réparties sur le territoire de surveillance d'Atmo PACA.

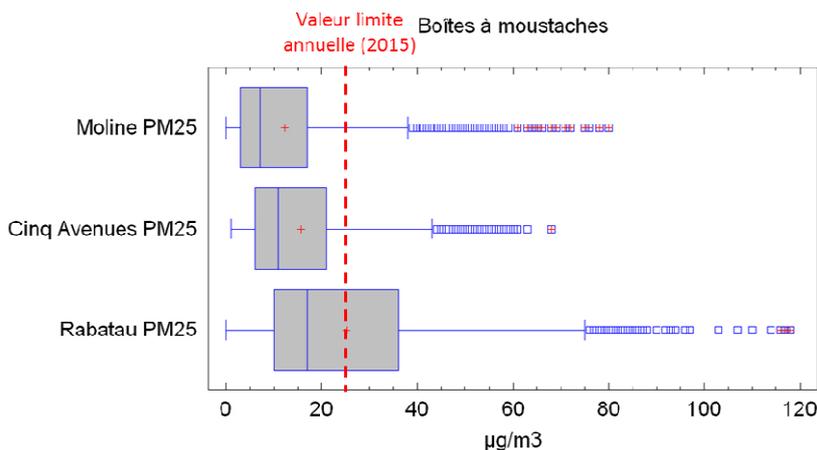


Figure 47 : Diagrammes en boîtes des données horaires PM2,5 durant la campagne Moline

50% des concentrations horaires de la Moline sont inférieures à 7 µg/m³ et 75% inférieures à 17 µg/m³. A titre comparatif, le seuil des 50% pour Cinq Avenues est de 11 µg/m³, et celui des 75% est égal à 21 µg/m³. Les étendues des concentrations à la Moline et à Cinq Avenues sont plus faibles qu'à Rabatau où les particules sont régulièrement mesurées dans des concentrations importantes : 50% des données à la Moline sont réparties sur une plage de 15 µg/m³, à Rabatau, 50% des données sont réparties sur une plage de 26 µg/m³ (Figure 47).

Actuellement, les concentrations en particules PM10 et PM2,5 à la Moline correspondent au niveau de fond urbain retrouvé également sur d'autres quartiers de Marseille. Il s'agit d'un site loin d'axe roulant important et exempt de source spécifique et permanente en particules (brûlages réguliers, fonctionnement d'une chaudière à bois ou charbon, travaux etc.). La configuration du parc est plutôt dégagée (densité du bâti faible voire nulle, et position surélevée), plus soumis aux vents, d'où une meilleure dispersion des particules.

DIOXYDE D'AZOTE (NO₂)

Tableau 18 : Evaluation des niveaux en NO₂

NO ₂ en µg/m ³ .	Station parc de la Moline (urbain)	Station permanente Cinq Avenues (urbain)	Station permanente Rabatau (trafic)	Station permanente Timone (trafic)	Station permanente Saint Louis (urbain)	Station permanente Plombières (trafic)	Station Thiers (urbain)
Moyenne sur la période 24/11/2011-09/01/2012	29	37	58	47	39	83	42
Moyenne annuelle Valeur limite pour la protection de la santé humaine : 40 µg/m ³	25 ⁶	32	58	47	40	85	31
Maximum horaire	142 20/12/2011 11h	107 27/11/2011 18h	216 15/12/2011 8h	132 26/12/2011 18h	154 28/11/2011 8h	210 09/01/2012 9h	135 26/12/2011 19h
Nombre d'heures de dépassement Valeur limite pour la protection de la santé humaine : 200 µg/m ³ , tolérance de 18 h/an	0	0	3	0	0	1	0

La station au parc de la Moline relève la concentration moyenne en NO₂ sur la période la plus faible des stations de Marseille, avec 29 µg/m³ (Tableau 18).

La moyenne annuelle est estimée à 25 µg/m³ contre 32 µg/m³ à Cinq Avenues. La valeur limite annuelle de 40 µg/m³ est donc respectée. Les stations trafic dépassent systématiquement à l'année cette valeur limite (Rabatau, Timone et Plombières), le NO₂ étant le polluant traceur du trafic. Les stations urbaines sont inférieures (Cinq Avenues et Thiers) ou restent proches (Saint Louis) en fonction de leur configuration : depuis qu'elle est installée, la station de Saint Louis est représentative d'un quartier actif type pépinière d'entreprise avec un trafic fluide mais quasi-permanent.

⁶ La moyenne annuelle est estimée pour la Moline à partir des moyennes annuelles réelles des stations permanentes réparties sur le territoire de surveillance d'Atmo PACA.

Le maximum horaire enregistré à la Moline est de $142 \mu\text{g}/\text{m}^3$, ce qui reste inférieur à la valeur limite horaire ($200 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Cet épisode s'est ressenti sur d'autres stations de Marseille avec une pointe en particules également : la force du vent était plutôt soutenue sur les trois jours précédant le pic avec une direction nord-ouest. Un changement de direction (est-sud-est) ainsi qu'un abaissement de la force du vent se sont produits durant la matinée avec son pic de trafic. Par la suite, le mistral a repris pendant deux jours.

Les seules stations dépassant la valeur limite horaire durant la période de mesure sont les stations trafic Rabatau et Plombières, avec respectivement 3 heures supérieures à $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ et 1 heure.

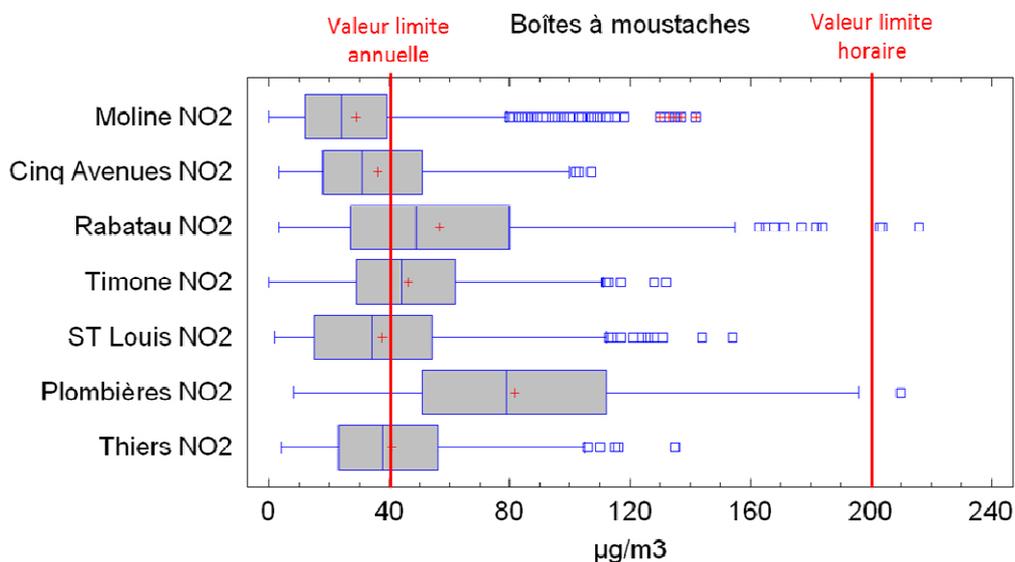


Figure 48 : Diagrammes en boîtes des données horaires NO_2 durant la campagne Moline

75% des valeurs horaires sont inférieures à la valeur limite annuelle de $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ pour la station à la Moline durant la période de mesure. Les 25% restants sont supérieurs mais n'atteignent pas la valeur limite horaire tolérée 18 jours par an ($200 \mu\text{g}/\text{m}^3$). La dispersion des données se rapprochant le plus de la station au parc de la Moline est celle de Cinq Avenues : 50% des valeurs sont réparties sur une plage de 20 à $31 \mu\text{g}/\text{m}^3$, et la moyenne sur la période est inférieure à $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Les stations trafic Plombières et Rabatau possèdent une étendue des valeurs plus importante : la nuit, les teneurs en oxydes d'azote sont faibles, en journée, celles-ci augmentent proportionnellement aux nombres véhicules circulants et à l'engorgement de la voie (Figure 48).

Notons que la période de mesure s'est déroulée en hiver, saison durant laquelle les concentrations sur l'année sont maximales.

MONOXYDE DE CARBONE (CO)

Tableau 19 : Evaluation des niveaux de CO

CO en mg/m ³ .	Station parc de la Moline (urbain)	Station permanente Plombières (trafic)
Moyenne sur la période 30/11/2011-09/01/2012	0,3	0,6
Maximum sur 8h Valeur limite pour la protection de la santé humaine : 10 mg/m³	0,9	1,3
Nombre de moyenne sur 8h > 10 mg/m³	0	0
Maximum horaire Valeur guide OMS : 35 mg/m³/h	1,1	2,1

Depuis une vingtaine d'années, le parc de mesure d'Atmo PACA enregistre une baisse de 80% des teneurs en monoxyde de carbone. L'installation des pots catalytiques en est la principale raison.

Les concentrations en CO en moyenne sur la période de mesure sont très faibles sur les deux sites : les concentrations sont inférieures à 1 mg/m³, que ce soit pour les stations de typologie urbaine ou trafic (Tableau 19).

Les maximums sur 8h restent très bas : aucune station n'enregistre une moyenne sur 8h supérieure à 10 mg/m³.

BRULAGES, CO ET PARTICULES

Autour du parc de la Moline, il arrive que les riverains effectuent des brûlages de déchets verts. Le collectif anti-nuisances se posait la question de la contribution de ces brûlages aux teneurs en particules relevées sur le parc.

Effectivement quelques feux de feuilles mortes ont été faits durant la campagne de mesures dédiée à la Moline.

Les émissions liées aux feux se traduisent par l'augmentation des polluants traceurs des combustions : monoxyde de carbone, monoxyde d'azote et particules fines (PM2,5).

Ces évènements ou pics simultanés de polluants ont été mesurés à trois ou quatre reprises par la station de mesure de la Moline. La Figure 49 montre un pic de ce type qui pourrait correspondre à un brûlage, vers 10h du matin, le 20 décembre.

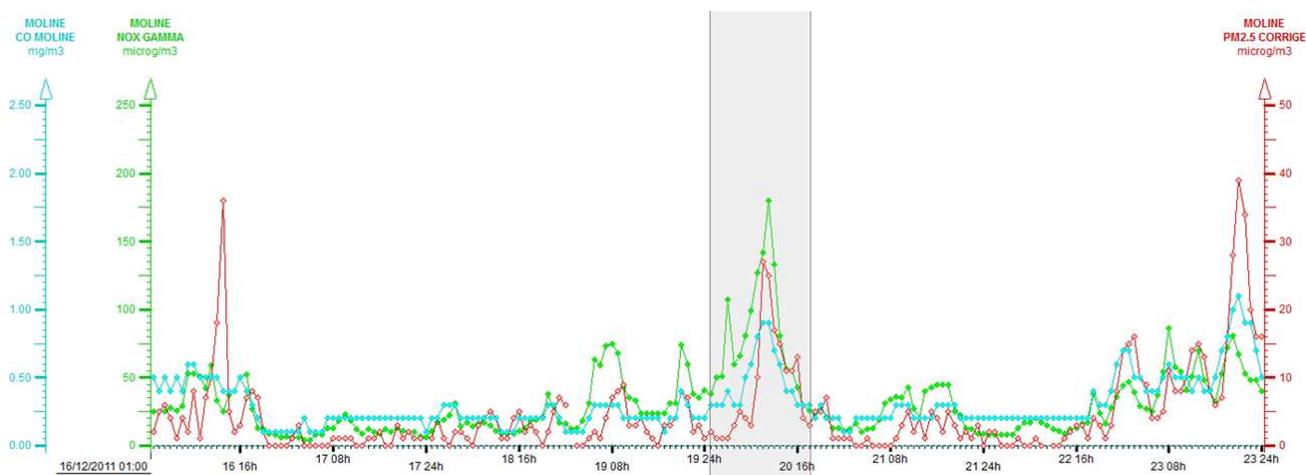


Figure 49 : Brûlage sur le site de la Moline le 20/12/11 entre 10h et 11h (CO en bleu, NOx en vert, PM2,5 en rouge)

Lors de ces pics, les teneurs de CO (environ $0,8 \text{ mg/m}^3$) doublent par rapport à la moyenne enregistrée sur la période de mesure ($0,3 \text{ mg/m}^3$). Les teneurs en PM_{2.5} doublent également passant de $12 \text{ } \mu\text{g/m}^3$ (moyenne sur la période) à $25 \text{ } \mu\text{g/m}^3$.

Cependant ces évènements sont ponctuels, sur une durée limitée à 1h, et sont très peu nombreux ; aussi, l'influence sur la moyenne générale du secteur reste marginale.

Il est à rappeler que ces brûlages se produisent également sur les autres quartiers résidentiels de Marseille. Ces émissions en particules sont prises en compte par les mesures aux stations fixes.

6.11.4. CONCLUSION

La campagne de mesures sur le site de la Moline a permis de vérifier que les niveaux de particules fines (PM_{2,5}) étaient bien corrélés à ceux de la station Cinq Avenues. **Cette teneur annuelle en PM_{2,5}, à la Moline de $12 \text{ } \mu\text{g/m}^3$ respecte la valeur limite annuelle de $25 \text{ } \mu\text{g/m}^3$.**

Durant la campagne, quelques évènements de brûlages de déchets verts se sont produits. Bien que les concentrations en CO et particules PM_{2,5} doublent sur le moment (une à deux heures), les épisodes sont trop peu fréquents pour influencer sur la moyenne générale.



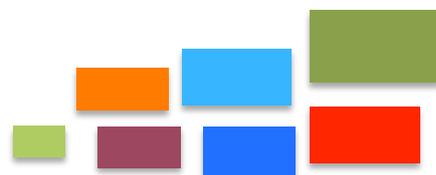
ANNEXE 2

Support de présentation des résultats de l'étude Air-Santé lors du Comité de suivi du 24 février 2012

Le présent document est le support de présentation des résultats de l'étude Air-Santé lors du Comité du 24 février 2012 à la DREAL PACA.

Il propose un rappel des objectifs et des principes de l'étude Air-Santé, des modalités et des résultats des campagnes de mesures réalisées en hiver et été 2011 ainsi que des simulations relatives aux effets de la mise en service de la L2 le long de son linéaire et au niveau de l'agglomération marseillaise. L'évaluation de différentes solutions de réduction et de dispersion de la pollution y est également présentée.

C'est sur ces bases que le volet Air-Santé du programme fonctionnel détaillé du contrat de partenariat public privé a été établi. Ce dernier comprend les exigences générales en matière de respect de la réglementation et de poursuite de la concertation.



Comité de suivi Air et mobilité durable



- ✓ Rappels
 - Objectifs
 - Campagnes de mesures hiver & été 2011
- ✓ Impact de la mise en service de la L2
 - Aire marseillaise
 - Linéaire L2
- ✓ Mesures possibles de réduction et dispersion
 - Mesures d'amélioration
 - Tests d'efficacité
- ✓ Suites

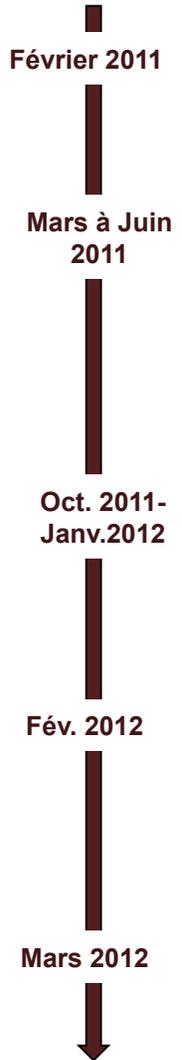
Objectifs

- ✓ Actualiser et compléter les études « air » antérieures
 - Étude de niveau 1
 - 16 polluants pris en compte
- ✓ Évaluer la qualité de l'air à la MES de la L2
 - Qualité de l'air => effets sanitaires
 - Échelles : ville de Marseille et localement
- ✓ Disposer d'un modèle permettant
 - De simuler des situations futures
 - D'évaluer l'efficacité des solutions d'amélioration possible
- ✓ Faire évoluer le projet L2 pour améliorer la qualité de l'air

Principes

- ✓ En concertation
 - Avec Comité de suivi
 - Avec collectifs et associations
- ✓ En interaction
 - Avec PPA 13
 - Autorité du préfet de Région
 - Avec la procédure PPP
 - Intégration des résultats dans PPP

- ✓ Campagne de mesures hiver « état initial » (Atmopaca)
- ✓ Calcul des émissions des polluants
- ✓ Campagne de mesures été « état initial » (Atmopaca)
- ✓ Modélisation des concentrations et de la dispersion des polluants (BET Numtech)
- ✓ Études de solutions possibles et de leur efficacité (BET Numtech et Sillages)
- ✓ Évaluation des risques sanitaires en lien avec la L2
- ✓ Intégration des résultats au PPP



RAPPELS

HYPOTHÈSES

- ✓ Horizon 2016
 - Mise en service de la L2
- ✓ Évolution du parc automobile
 - Diminution de la pollution : données IFTTAR
- ✓ Trafic actuel et trafic futur
 - Modèle CETE de l'agglomération marseillaise
- ✓ Météorologie locale
 - Données Météo-France
- ✓ Effets des mesures envisagées au PPA non modélisés
 - Diminution significative des populations exposées à des dépassements de seuils de pollution

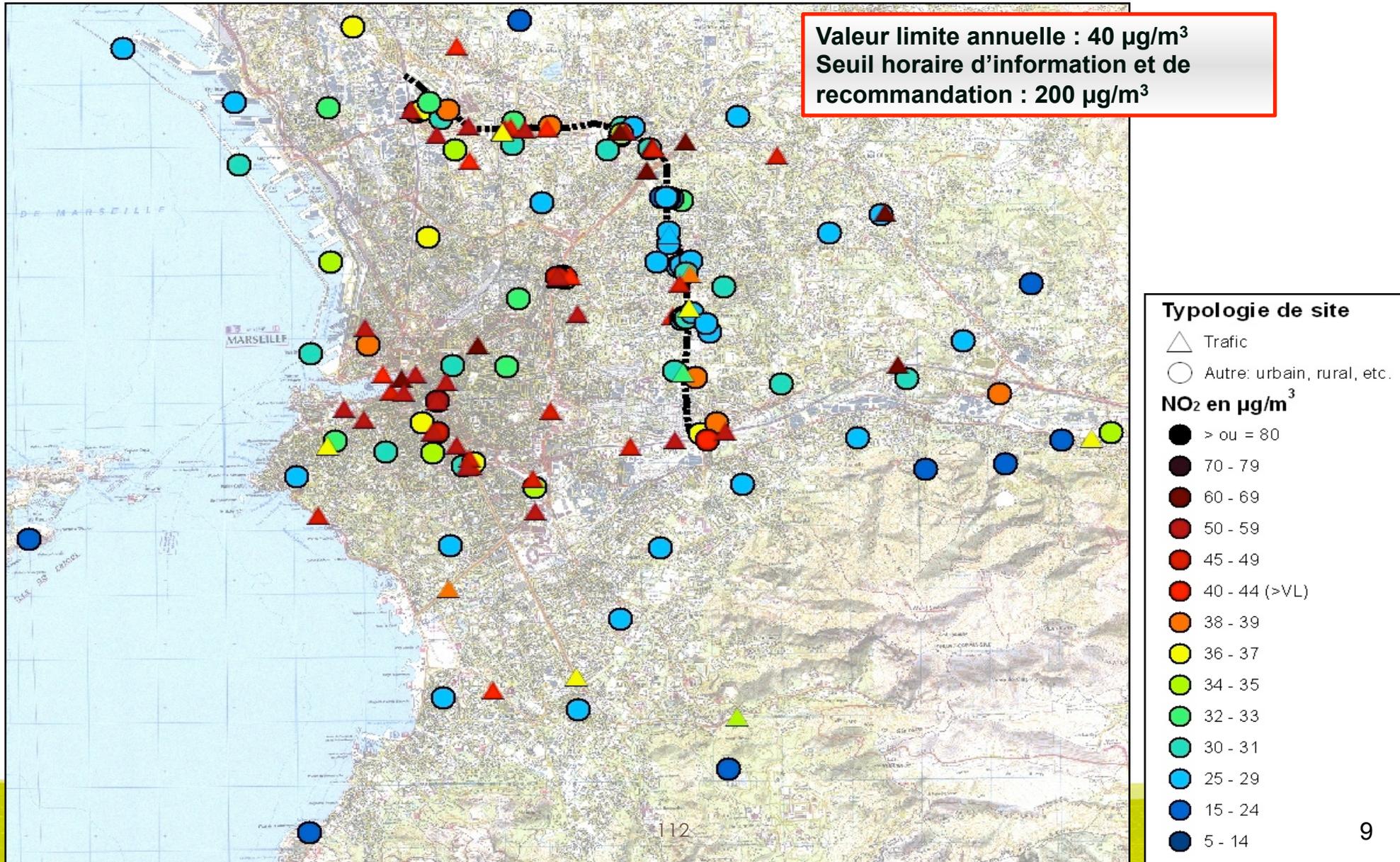
RAPPELS

CAMPAGNES DE MESURES HIVER & ETE 2011

- ✓ Stations fixes L2 : 5 sites
 - Mesures automatiques
 - Polluants
 - NO₂
 - traceur de pollution des véhicules
 - Particules PM₁₀ et PM_{2,5}
- ✓ Échantillonneurs passifs (tubes)
 - NO₂ : 200 sites
 - Autres polluants : 55 sites
- ✓ Suite aux rencontres avec CIQ et collectifs
 - Appareillage d'une station de mesure de particules à Montolivet
 - Réalisation d'un état initial

Moyenne annuelle NO₂ : situation actuelle

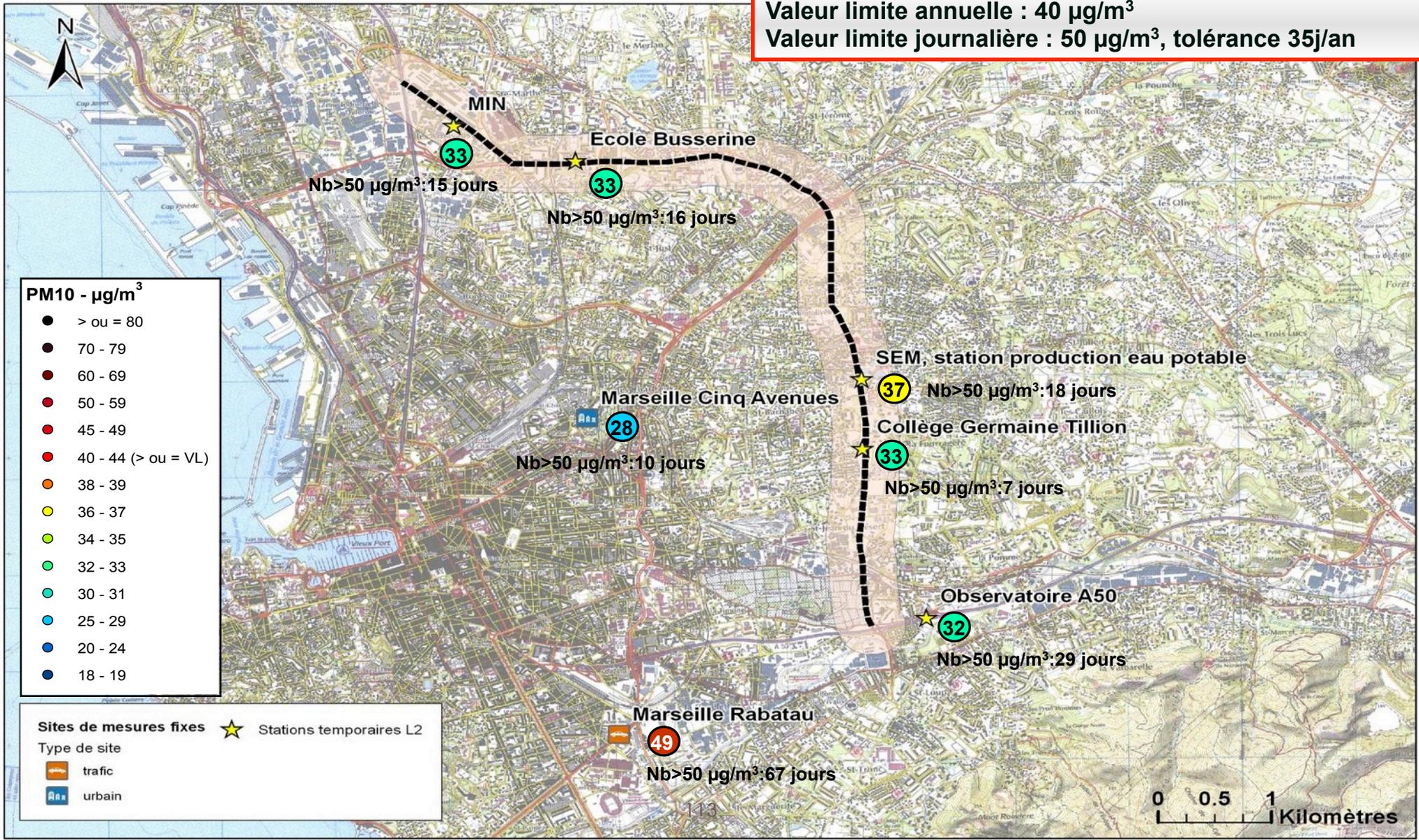
Aire marseillaise – Etat initial



Moyenne annuelle : situation actuelle

Particules : PM₁₀

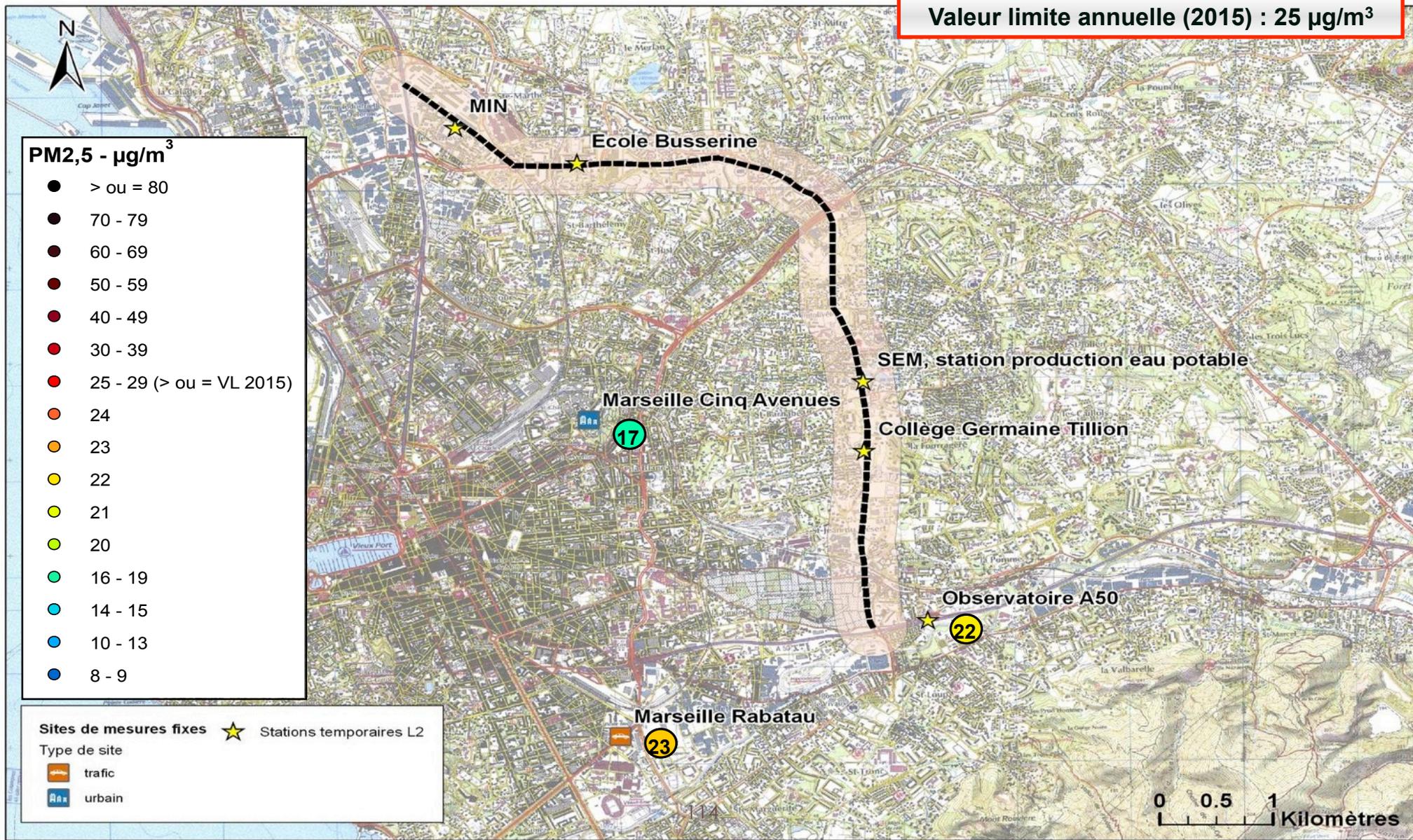
Valeur limite annuelle : 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Valeur limite journalière : 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, tolérance 35j/an



Moyenne annuelle : situation actuelle

Particules : PM_{2,5}

Valeur limite annuelle (2015) : 25 µg/m³



- ✓ **Benzène**
 - < valeur limite ($5 \mu\text{g}/\text{m}^3$) l'hiver
 - < objectif de qualité ($2 \mu\text{g}/\text{m}^3$) l'été
 - (excepté vallée de l'Huveaune ↔ Arkéma St Menet)
- ✓ **Aldéhydes**
 - entre 1 et $3 \mu\text{g}/\text{m}^3$
 - < valeur Cible : $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$
- ✓ **SO₂**
 - << valeurs limites
 - (composé traceur pollution industrielle)
- ✓ **O₃**
 - ≈ seuils : dépassements ponctuels
 - (Villes : puits d'ozone)
- ✓ **HAP**
 - < Valeur Cible ($1 \text{ ng}/\text{m}^3$)
- ✓ **Métaux lourds**
 - < valeurs limites pour polluants réglementés **Ni, Cd, As et Pb**
 - Non détecté pour **Hg et Cr**
 - Ba** détecté en situation trafic, mais pas de réglementation existante
- ✓ **COV**
 - 1,3-butadiène = entre 0,1 et $0,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$
 - < objectif de qualité UK : $2,25 \mu\text{g}/\text{m}^3$
- Le NO₂ et les PM₁₀ et PM_{2,5} caractérisent et représentent significativement la pollution liée au trafic**
- Les autres polluants ne présentent pas d'enjeux significatifs d'un point de vue réglementaire pour l'étude air-santé L2**

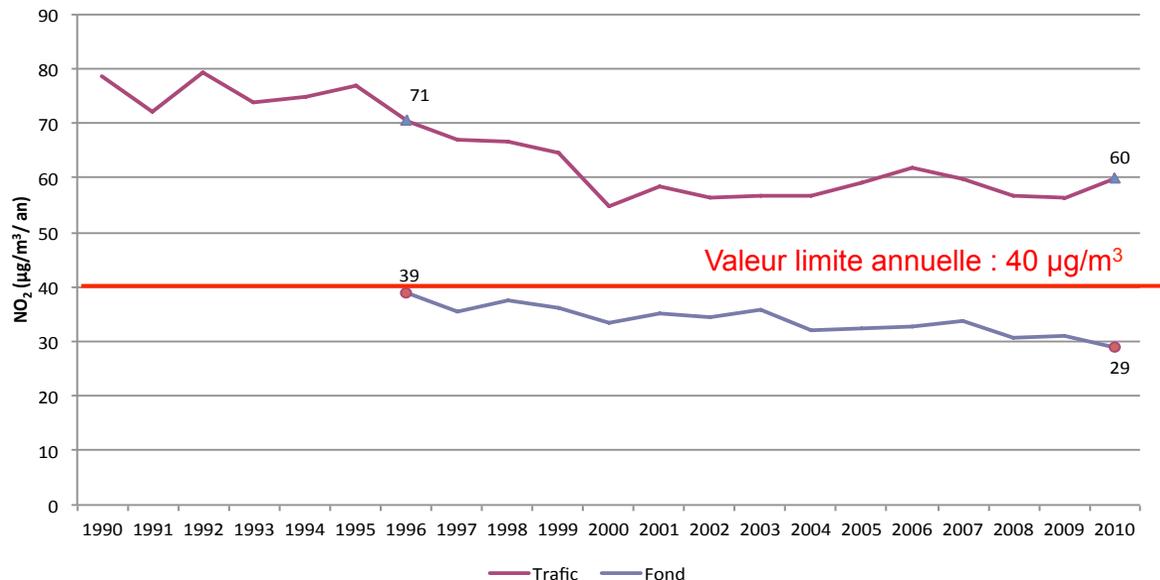
Le NO₂ à Marseille : tendance depuis les années 90 et situation en 2010



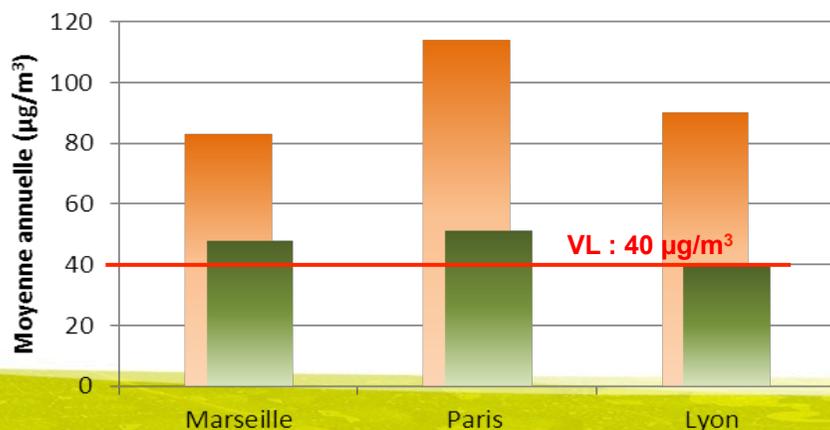
Site trafic : niveau d'exposition maximum



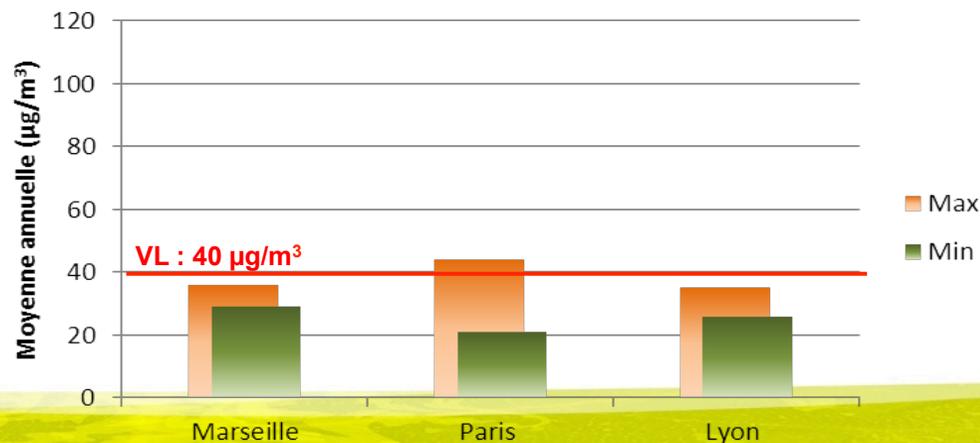
Site urbain : niveau d'exposition moyen « de fond »



NO₂ - 2010 - site trafic



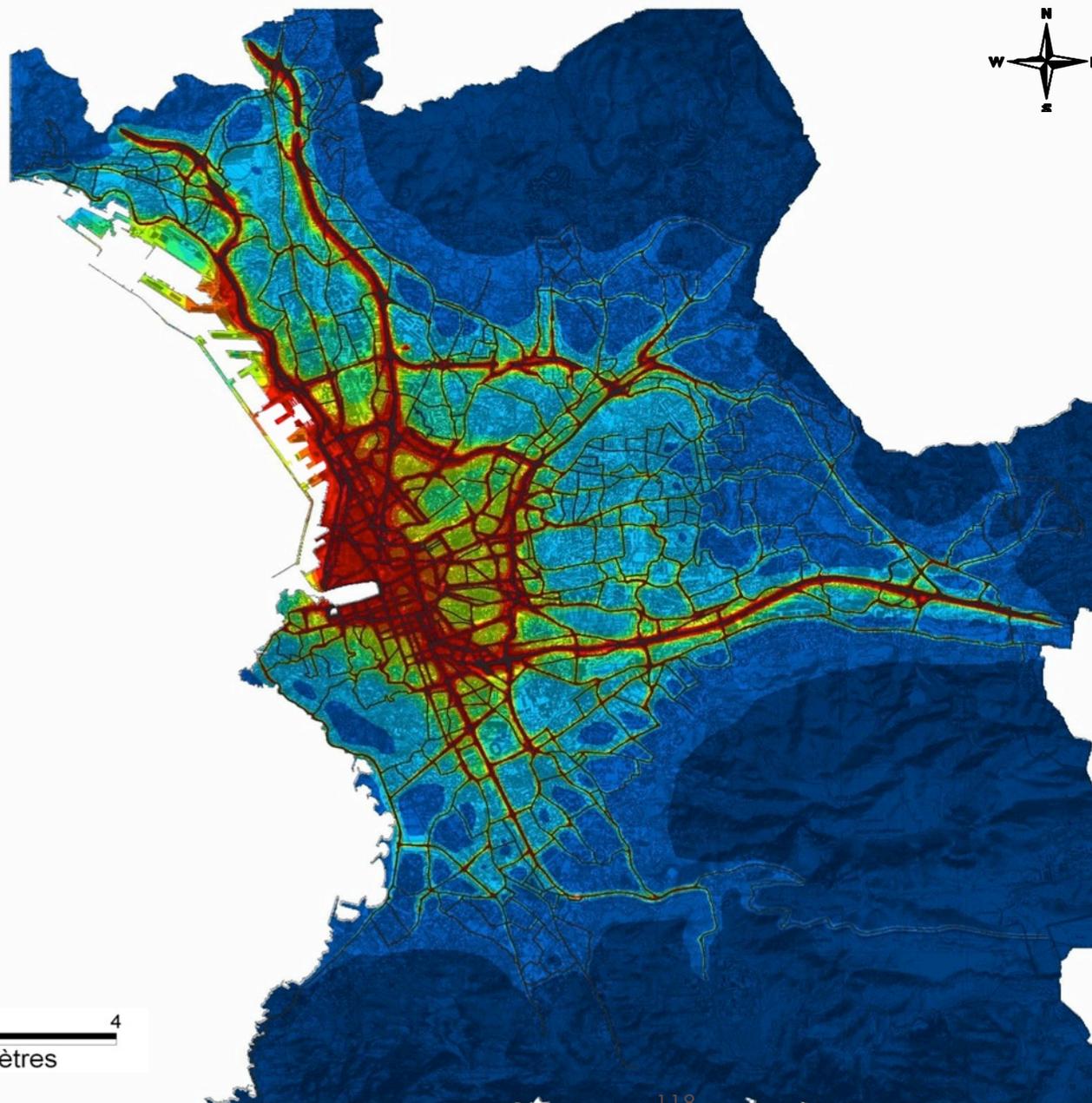
NO₂ - 2010 - site urbain



IMPACT DE LA MISE EN SERVICE DE LA L2

AIRE MARSEILLAISE

Concentrations moyennes annuelles en NO₂ : état initial



Site : **Marseille**

Hauteur de calcul : **1.5 mètres au-dessus du sol**

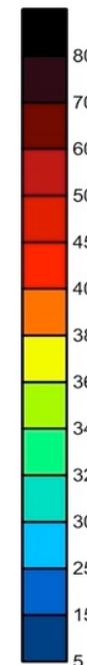
Période météorologique : **du 1^{er} septembre 2010 au 31 août 2011**

Émissions :

Trafic routier : **Données CETE (2008)**

Autres sources : **inventaire Atmo PACA (2007)**

µg/m³



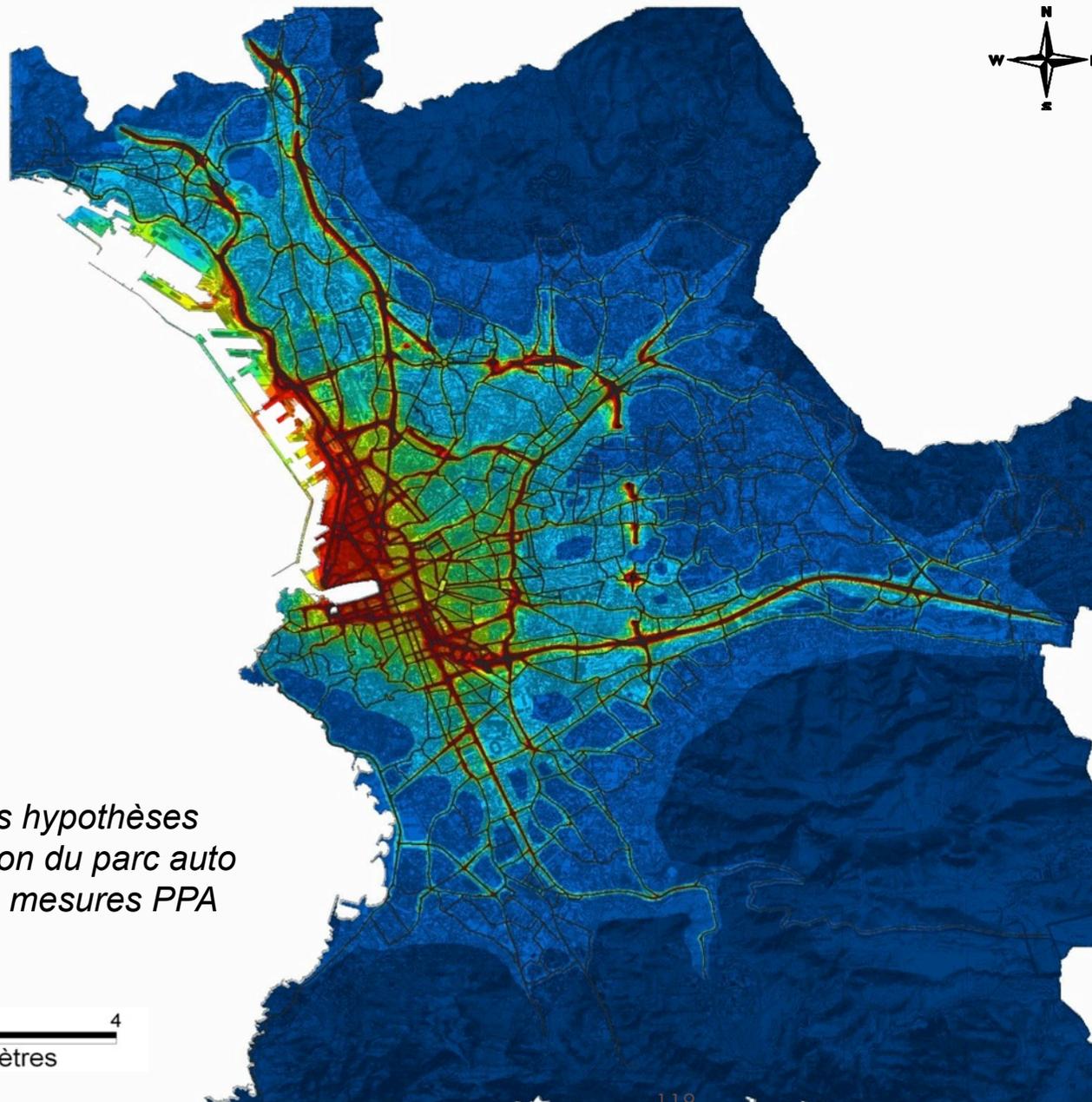
Valeur limite (2010) : **40 µg/m³**

Article R221-1 du Code de l'Environnement

0 2 4
Kilomètres

118

Concentrations moyennes annuelles en NO₂ : après mise en service de la L2



Site : **Marseille**

Hauteur de calcul : **1.5 mètres au-dessus du sol**

Période météorologique : **du 1^{er} septembre 2010 au 31 août 2011**

Émissions :

Trafic routier : **Données CETE (2016)**

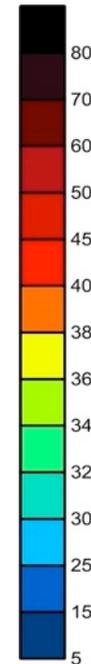
Autres sources : **inventaire Atmo PACA (2007)**

Principales hypothèses

- *Évolution du parc auto*
- *Pas de mesures PPA*



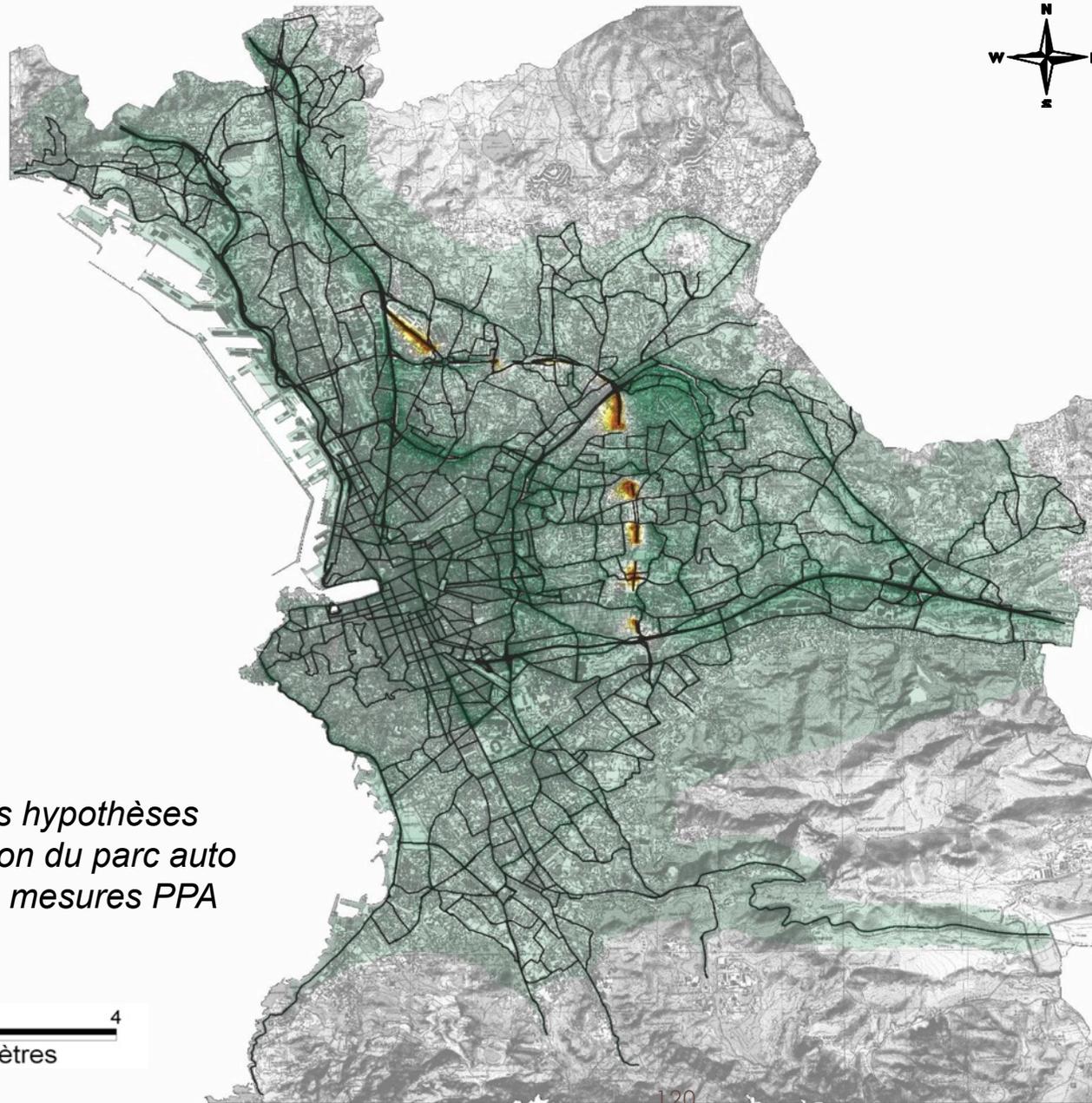
µg/m³



Valeur limite (2010) : **40 µg/m³**

Article R221-1 du Code de l'Environnement

Évolution des concentrations moyennes annuelles en NO₂ entre l'état initial et la situation avec L2



Site : **Marseille**

Hauteur de calcul : **1.5 mètres au-dessus du sol**

Période météorologique : **du 1^{er} septembre 2010 au 31 août 2011**

Émissions :

Trafic routier : **Données CETE**

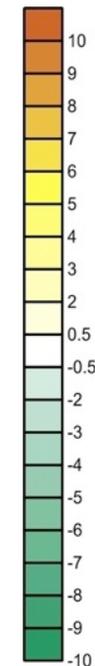
Autres sources : **inventaire Atmo PACA (2007)**

Principales hypothèses

- *Évolution du parc auto*
- *Pas de mesures PPA*

0 2 4
Kilomètres

µg/m³

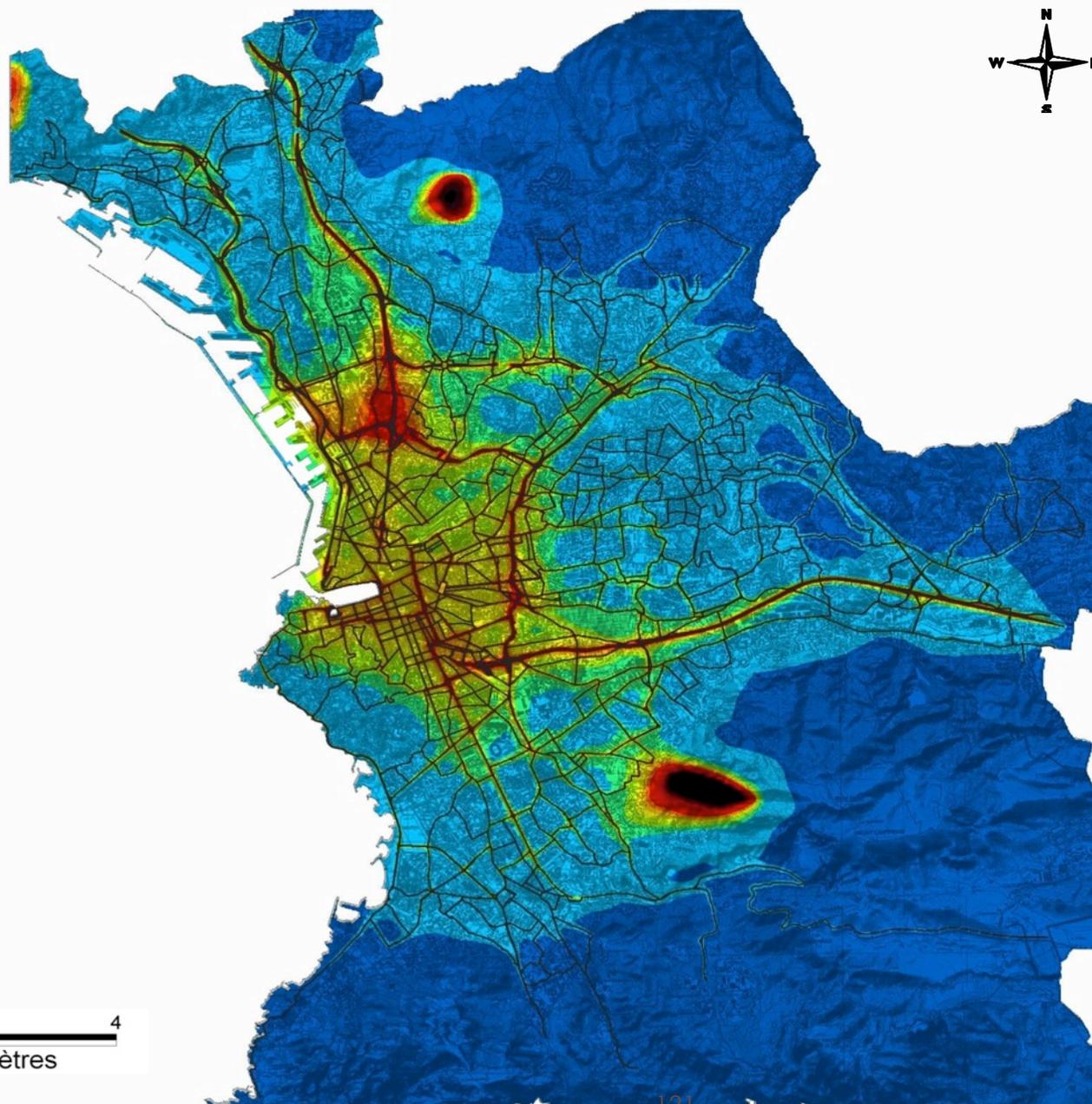


Augmentation des concentrations

Diminution des concentrations

© IGN - 3145ET

Concentrations moyennes annuelles en PM₁₀ : état initial



Site : **Marseille**

Hauteur de calcul : **1.5 mètres au-dessus du sol**

Période météorologique : **du 1^{er} septembre 2010 au 31 août 2011**

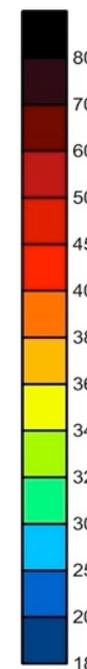
Émissions :

Trafic routier : **Données CETE (2008)**

Autres sources : **inventaire Atmo PACA (2007)**

Pollution de fond : **18.5 µg/m³ (dérivée des mesures Atmo PACA)**

µg/m³

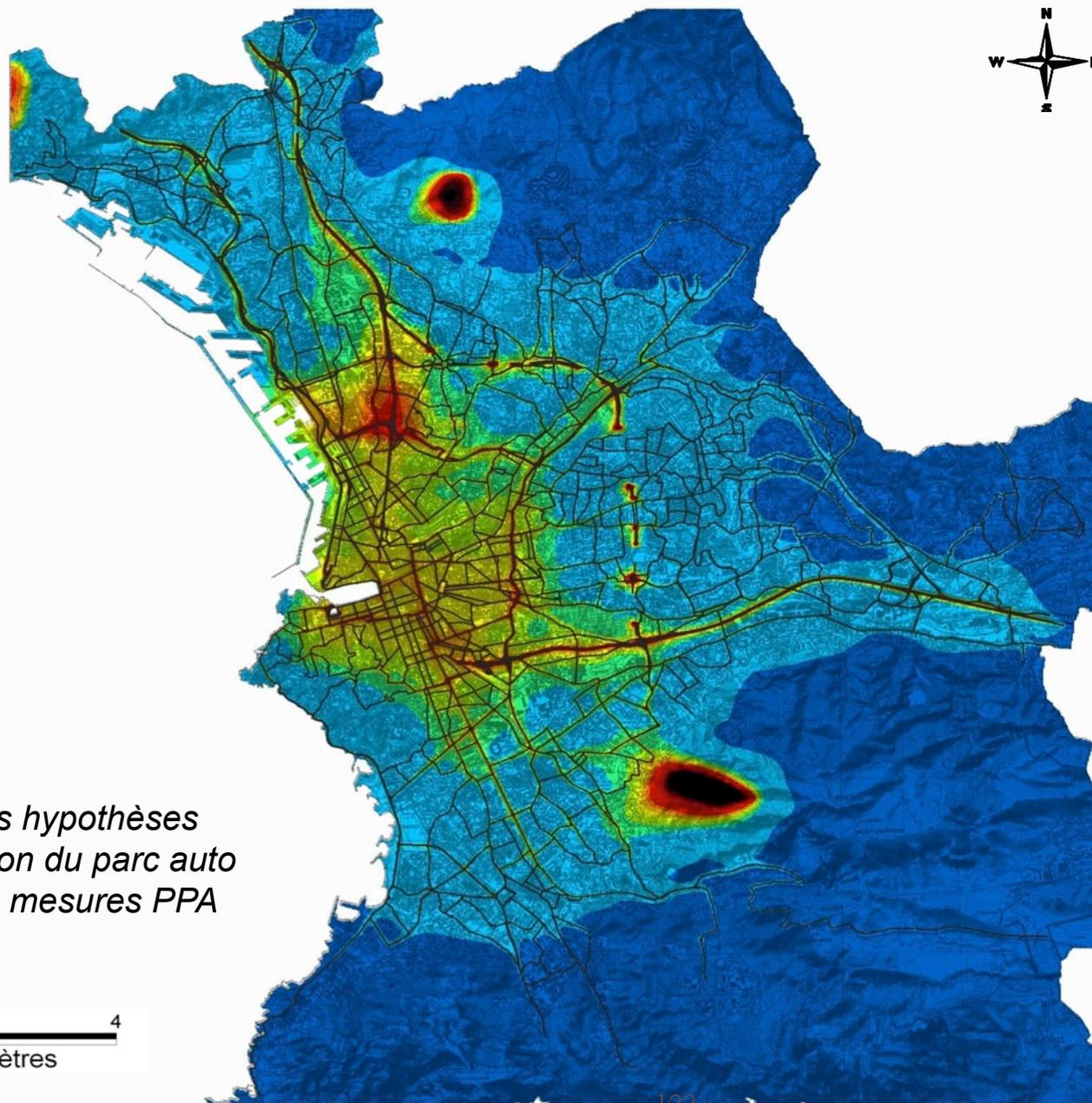


Valeur limite (2010) : **40 µg/m³**

Article R221-1 du Code de l'Environnement

0 2 4
Kilomètres

Concentrations moyennes annuelles en PM₁₀ après mise en service de la L2



Site : Marseille

Hauteur de calcul : 1.5 mètres au-dessus du sol

Période météorologique : du 1^{er} septembre 2010 au 31 août 2011

Émissions :

Trafic routier : Données CETE (2016)

Autres sources : inventaire Atmo PACA (2007)

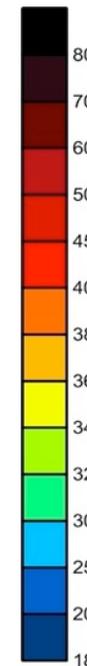
Pollution de fond : 18.5 µg/m³ (dérivée des mesures Atmo PACA)

Principales hypothèses

- Évolution du parc auto
- Pas de mesures PPA



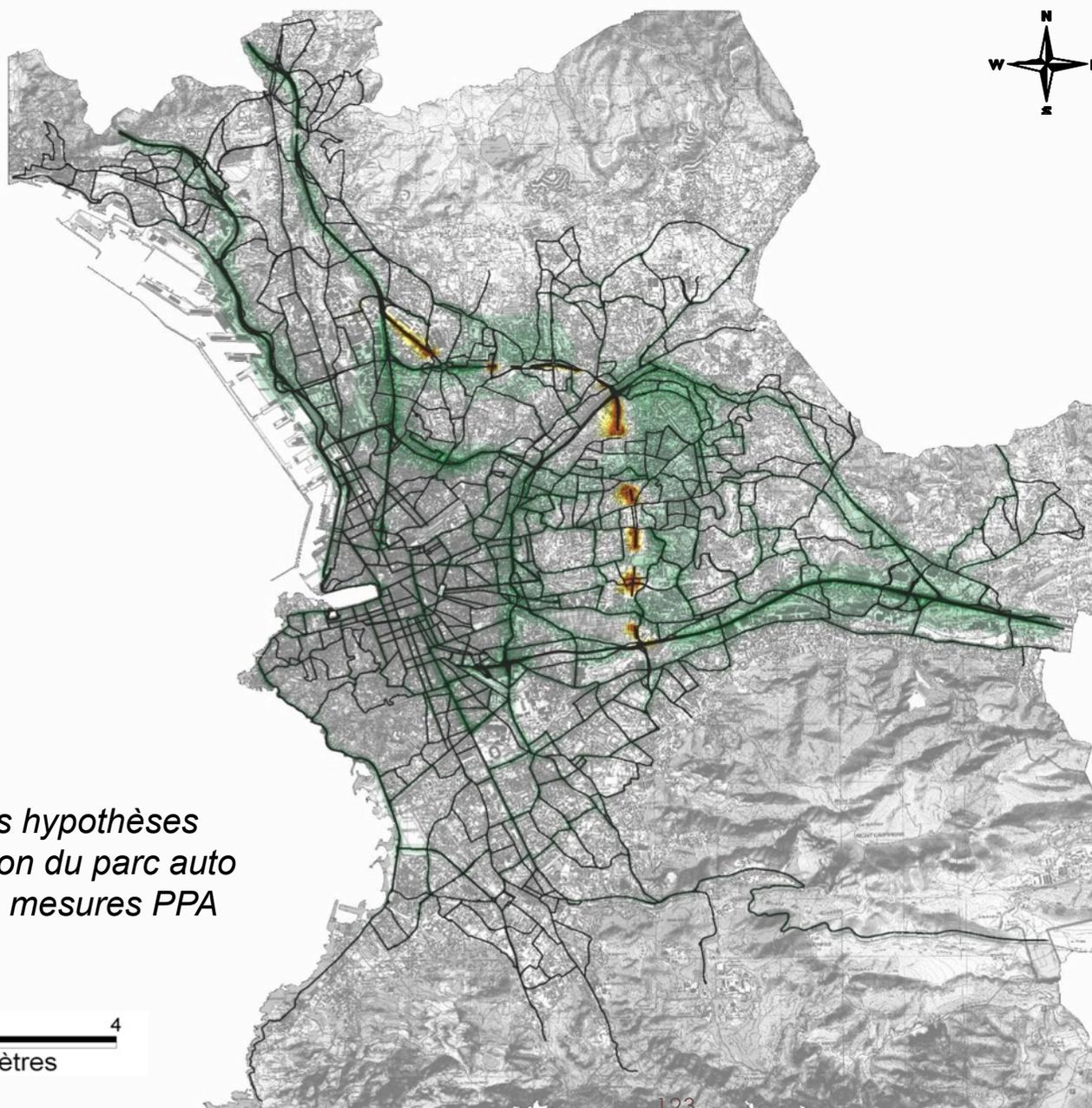
µg/m³



Valeur limite (2010) : 40 µg/m³

Article R221-1 du Code de l'Environnement

Évolution des concentrations moyennes annuelles en PM₁₀ entre l'état initial et la situation avec L2



Site : **Marseille**

Hauteur de calcul : **1.5 mètres au-dessus du sol**

Période météorologique : **du 1^{er} septembre 2010 au 31 août 2011**

Émissions :

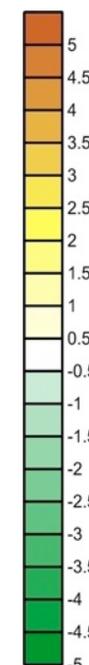
Trafic routier : **Données CETE**

Autres sources : **inventaire Atmo PACA (2007)**

- Principales hypothèses*
- *Évolution du parc auto*
 - *Pas de mesures PPA*



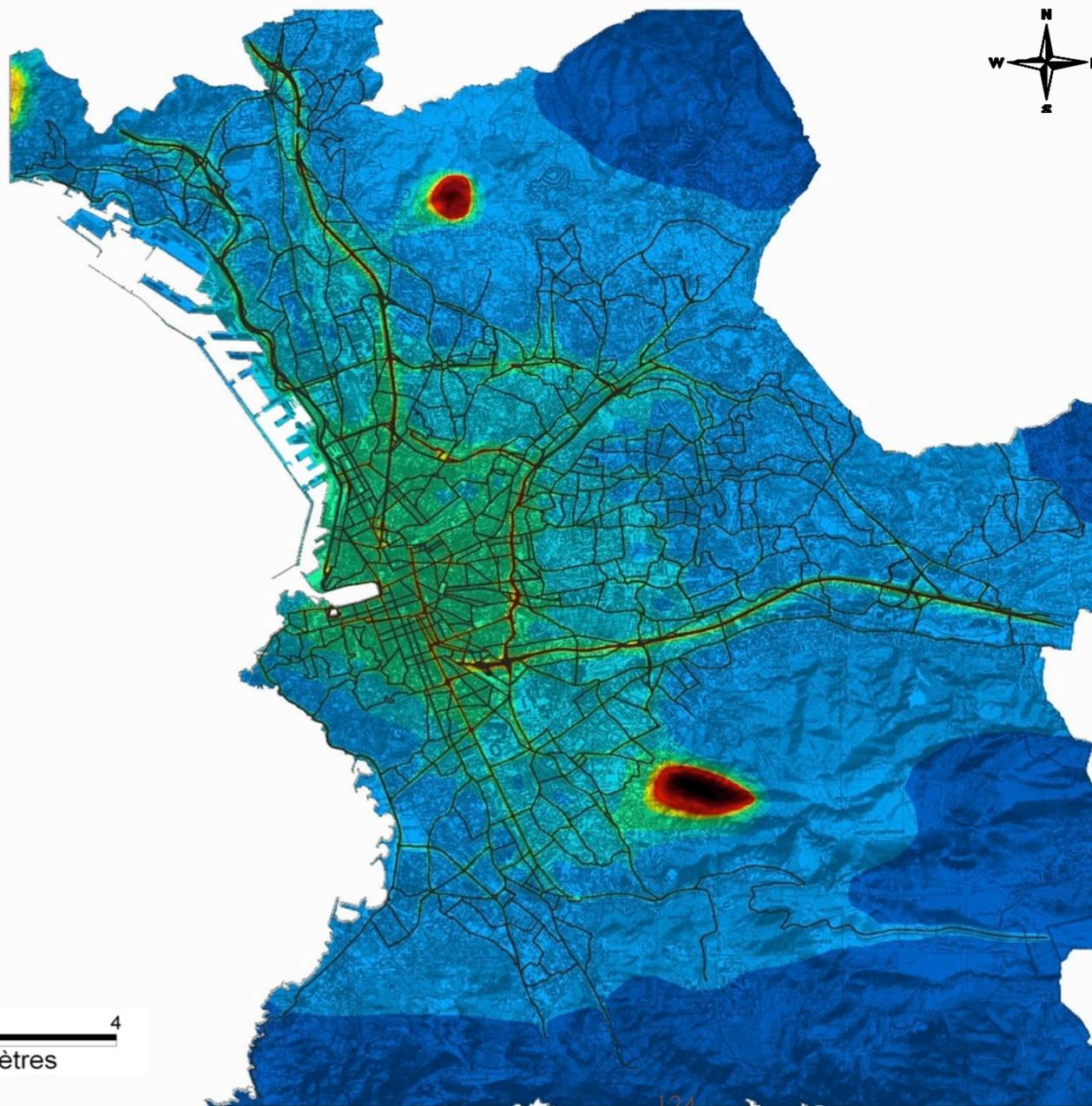
$\mu\text{g}/\text{m}^3$



↑
Augmentation des concentrations

↓
Diminution des concentrations

Concentrations moyennes annuelles en PM_{2.5} : état initial



Site : **Marseille**

Hauteur de calcul : **1.5 mètres au-dessus du sol**

Période météorologique : **du 1^{er} septembre 2010 au 31 août 2011**

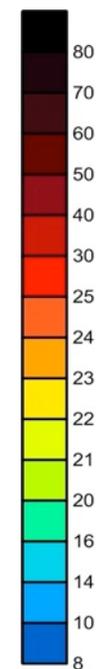
Émissions :

Trafic routier : **Données CETE (2008)**

Autres sources : **inventaire Atmo PACA (2007)**

Pollution de fond : **7.5 µg/m³ (dérivée des mesures Atmo PACA)**

µg/m³

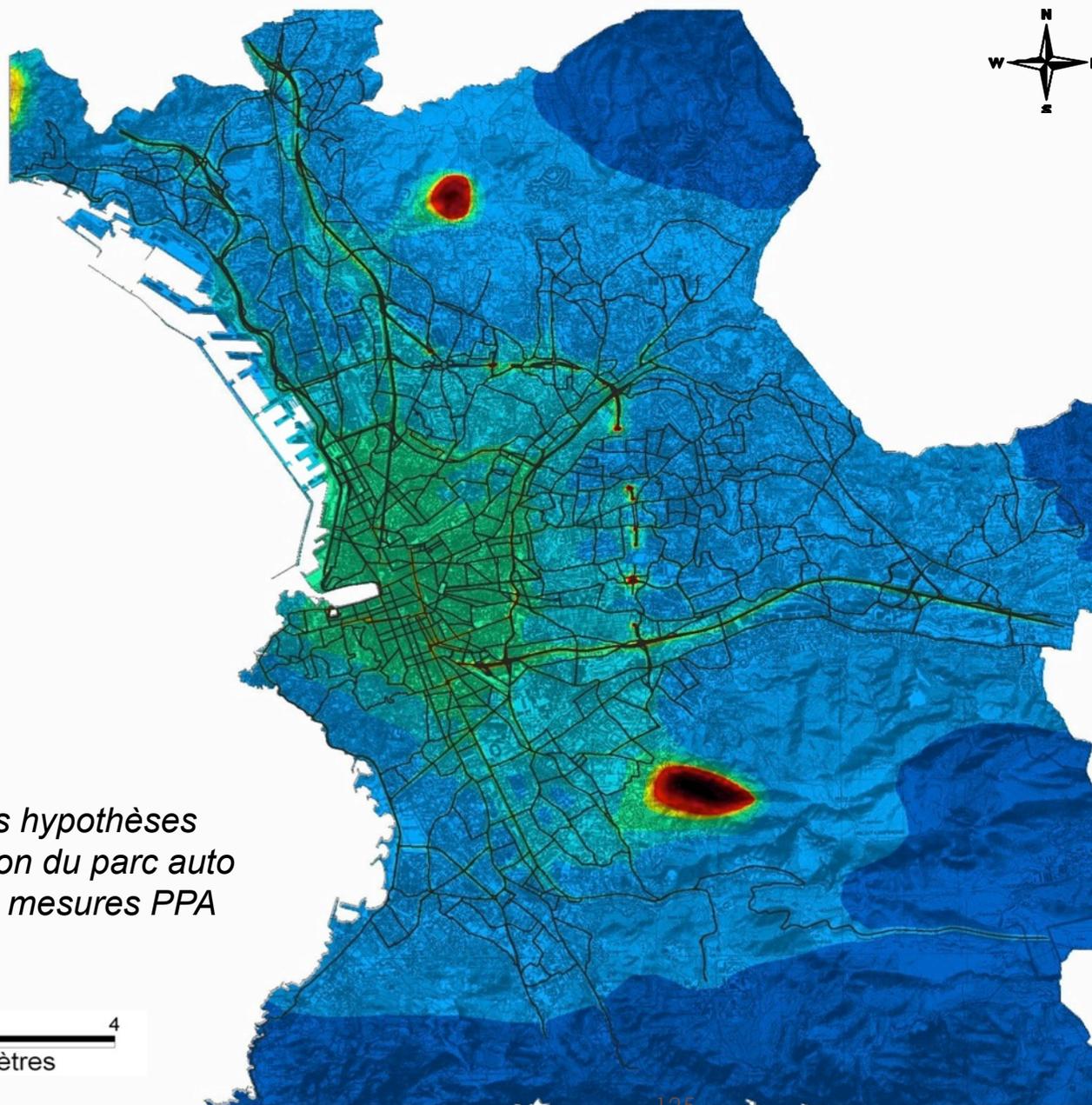


Valeur limite (2015) : **25 µg/m³**

Article R221-1 du Code de l'Environnement

0 2 4
Kilomètres

Concentrations moyennes annuelles en $PM_{2.5}$ après mise en service de la L2



Principales hypothèses

- Évolution du parc auto
- Pas de mesures PPA

Site : Marseille

Hauteur de calcul : 1.5 mètres au-dessus du sol

Période météorologique : du 1^{er} septembre 2010 au 31 août 2011

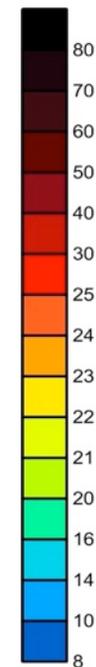
Émissions :

Trafic routier : Données CETE (2016)

Autres sources : inventaire Atmo PACA (2007)

Pollution de fond : $7.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (dérivée des mesures Atmo PACA)

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



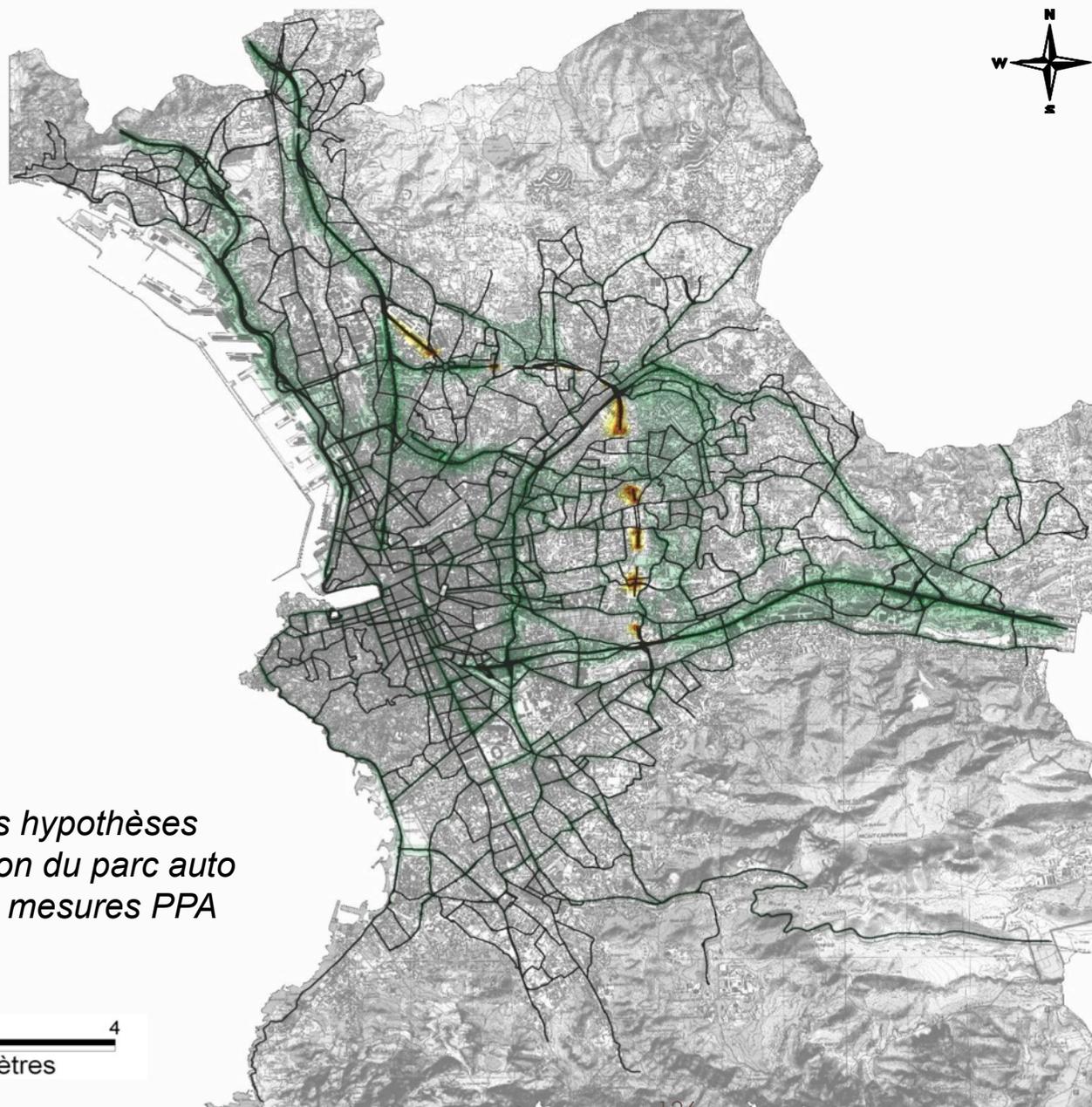
Valeur limite (2015) : $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$

Article R221-1 du Code de l'Environnement

0 2 4
Kilomètres

125

Évolution des concentrations moyennes annuelles en $PM_{2,5}$ entre l'état initial et la situation avec L2



Site : **Marseille**

Hauteur de calcul : **1.5 mètres au-dessus du sol**

Période météorologique : **du 1^{er} septembre 2010 au 31 août 2011**

Émissions :

Trafic routier : **Données CETE**

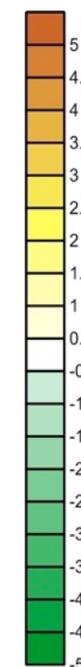
Autres sources : **inventaire Atmo PACA (2007)**

Principales hypothèses

- *Évolution du parc auto*
- *Pas de mesures PPA*

0 2 4
Kilomètres

$\mu g/m^3$



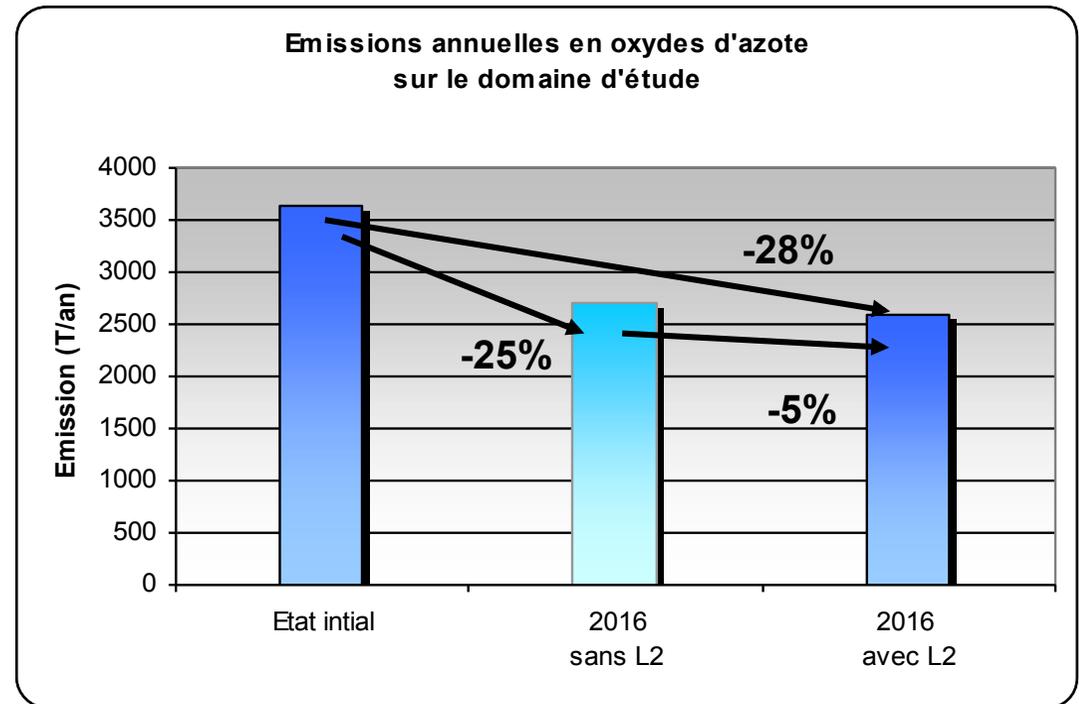
Augmentation des concentrations

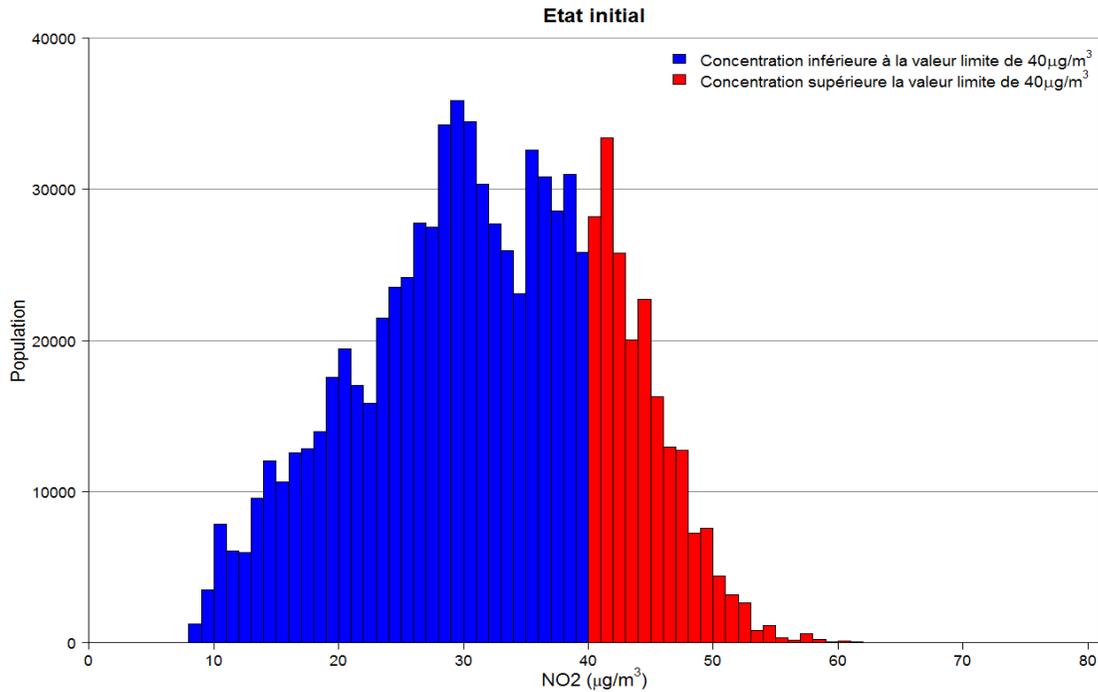
Diminution des concentrations

Etat initial ⇔ 2016 sans L2 ⇔ 2016 avec L2

Constat entre l'état initial et 2016 avec L2 :

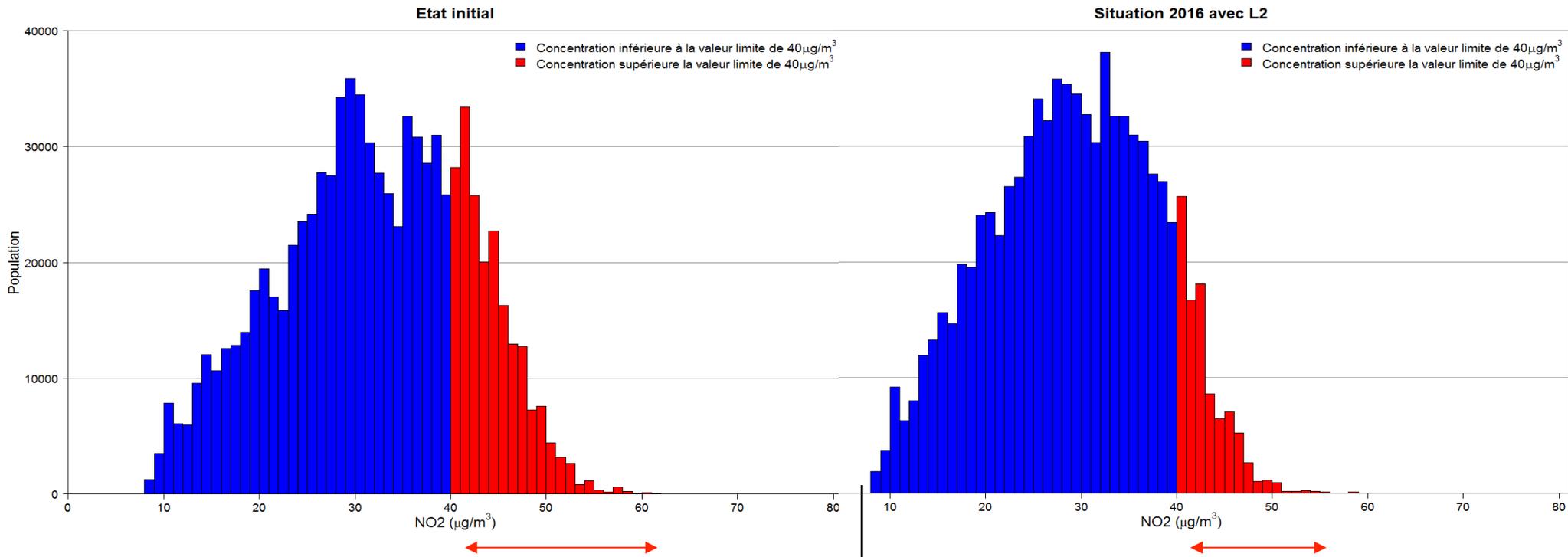
- ↗ globale du trafic
 - Aire marseillaise
 - Voies de liaison avec L2
- ↘ globale des émissions de 28%
 - Evolution du parc automobile routier
 - Aménagement de la L2 : fluidification du trafic





Environ ¼ de la population Marseillaise serait exposé à des niveaux de NO₂ supérieurs à la valeur limite de 40 µg/m³ en moyenne annuelle

Population exposée / concentrations moyennes NO₂



Environ ¼ de la population Marseillaise serait exposé à des niveaux de NO₂ supérieurs à la valeur limite de 40 µg/m³ en moyenne annuelle



Diminution **d'environ 50%** du nombre de personnes exposées à l'horizon de mise en service de la L2

IMPACT DE LA MISE EN SERVICE DE LA L2

LINÉAIRE L2

Etat initial ⇔ 2016 sans L2 ⇔ 2016 avec L2 *bande de 300 m de part et d'autre de la L2*

↗ du trafic

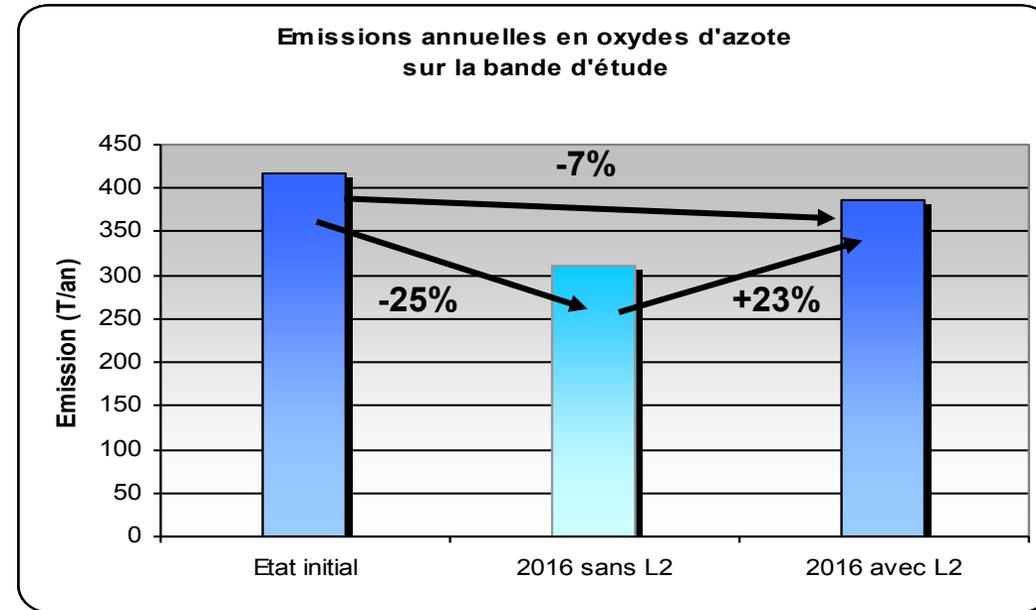
- Sur la L2
- Sur la voirie locale interceptée par la L2

↘ des émissions de l'ordre de 7%

- L'augmentation du trafic généré localement est compensée par l'amélioration du parc automobile

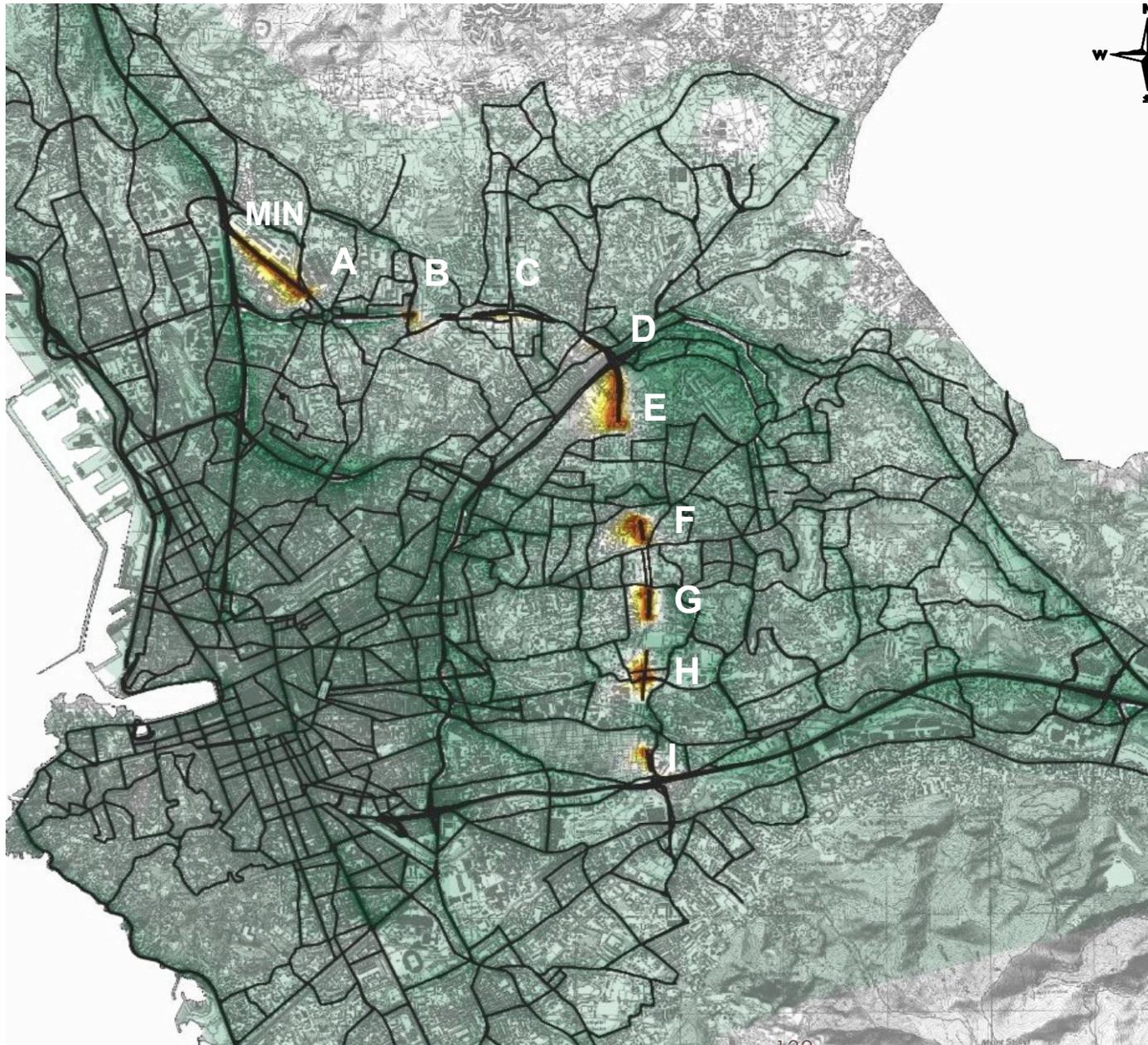
↗ des émissions à attendre au niveau de points spécifiques

- Sorties de tunnels de la L2
- Échangeurs de la L2



bande de 300 m / L2

Identification des points sensibles : NO₂ avec L2



Site : **Marseille**

Hauteur de calcul : **1.5 mètres au-dessus du sol**

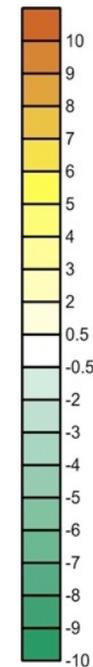
Période météorologique : **du 1^{er} septembre 2010 au 31 août 2011**

Émissions :

Trafic routier : **Données CETE**

Autres sources : **inventaire Atmo PACA (2007)**

µg/m³

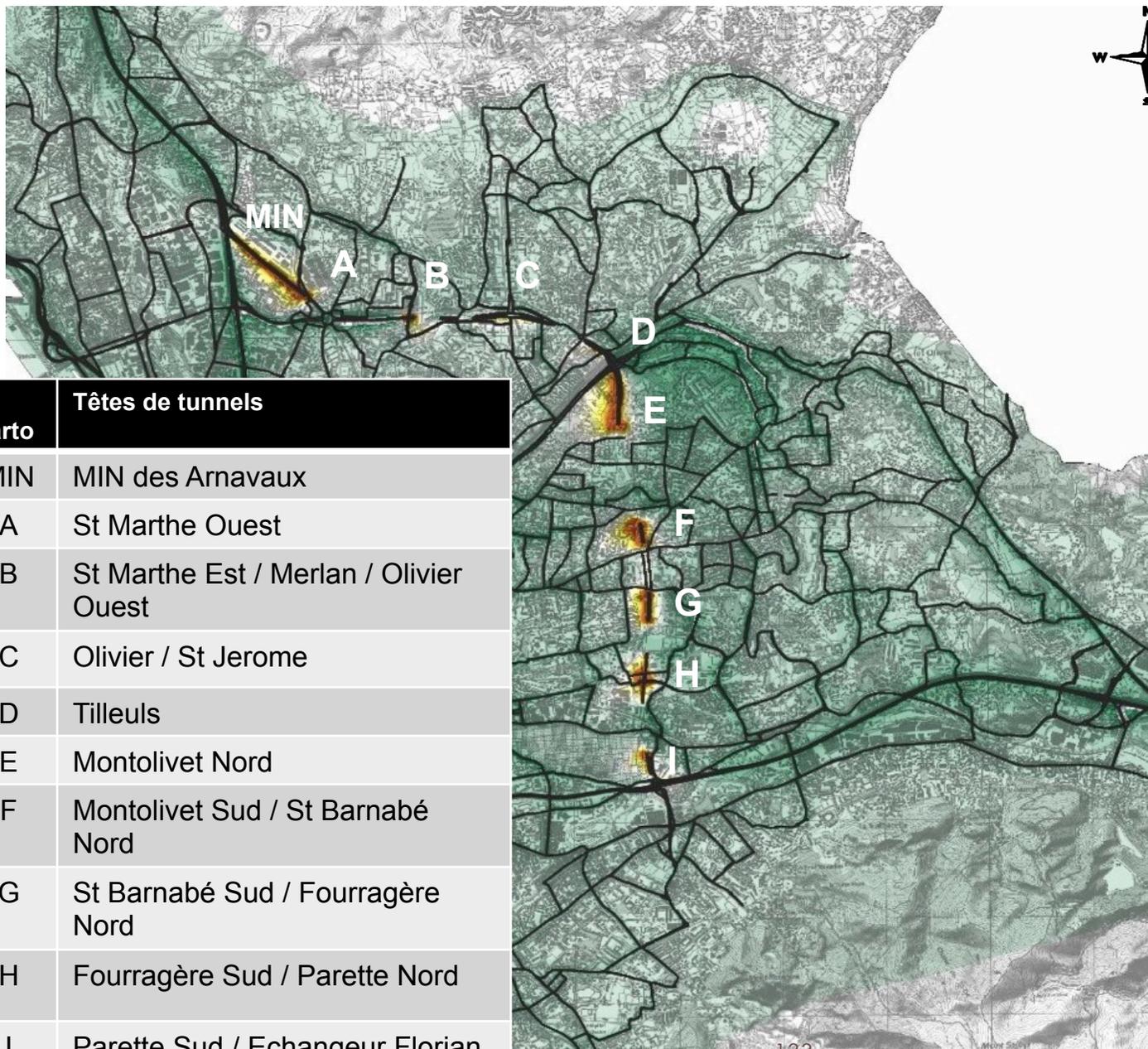


Augmentation des concentrations

Diminution des concentrations

© IGN - 3145ET

Identification des points sensibles : NO₂ avec L2



Site : **Marseille**

Hauteur de calcul : **1.5 mètres au-dessus du sol**

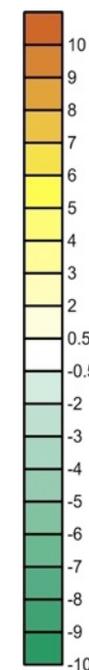
Période météorologique : **du 1^{er} septembre 2010 au 31 août 2011**

Émissions :

Trafic routier : **Données CETE**

Autres sources : **inventaire Atmo PACA (2007)**

µg/m³



↑
Augmentation des concentrations

↓
Diminution des concentrations

© IGN - 3145ET

Id carto	Têtes de tunnels
MIN	MIN des Arnavaux
A	St Marthe Ouest
B	St Marthe Est / Merlan / Olivier Ouest
C	Olivier / St Jerome
D	Tilleuls
E	Montolivet Nord
F	Montolivet Sud / St Barnabé Nord
G	St Barnabé Sud / Fourragère Nord
H	Fourragère Sud / Parette Nord
I	Parette Sud / Echangeur Florian

MESURES POSSIBLES DE REDUCTION ET DE DISPERSION

TESTS D'AMÉLIORATION

✓ Aménagements

- Mur
- Casquette
- Couverture
- Écran végétal
- Revêtement absorbant (peinture, chaussée)
- Extracteur d'air
- Filtration
- ...

✓ Gestion du trafic

- Réduction du trafic
- Réservation de voie TC
- Stockage des PL HP
- ...

✓ Réduction de la pollution des véhicules

- Amélioration du parc
- Véhicules électriques
- ...

✓ **Mur**

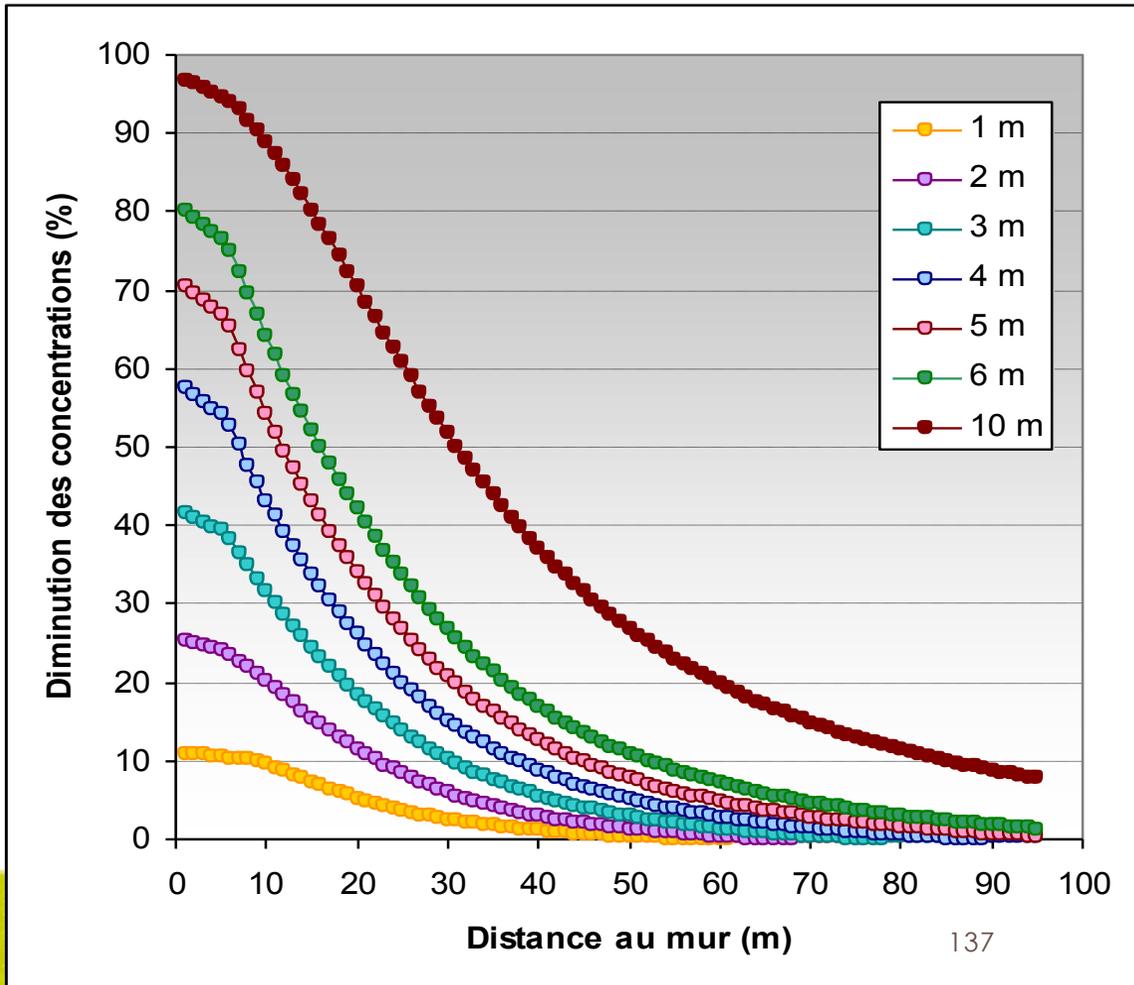
- Objectifs :
 - Confiner le maximum de pollution
 - Favoriser la dispersion pour la pollution non confinée
- Variables : hauteurs différentes

✓ **Extracteur d'air**

- Objectifs
 - Réduire la pollution concentrée en tête de tunnel
 - Favoriser la dispersion de la pollution « captée »
- Variables : durée de fonctionnement de l'extracteur

Décroissance des concentrations derrière un mur

Différentes hauteurs de mur : 1, 2, 3, 4, 5, 6 et 10 m



Décroissance des concentrations derrière un mur bordant la voie

Différentes hauteurs de mur : 1, 2, 3, 4, 5, 6 et 10 m

Conditions météo :

- $V = 3 \text{ m/s}$
- Conditions de stabilité neutres

Largeur des voies (L2) : 21m

Variation relative (%) des concentrations moyennes annuelles simulées en NO_2

Cas d'un fonctionnement permanent



Au niveau de l'extracteur, augmentation de la concentration en $\text{NO}_2 < 2 \mu\text{g}/\text{m}^3$

- ✓ **Fonctionnement en régime normal**
 - Limité aux périodes de congestion et en cas d'accident
 - Pas nécessaire même aux heures de pointe (cf. simulations de trafic)

- ✓ **Conditions du test**
 - Fonctionnement 2 x 4 h
 - - **15%** des émissions en tête de tunnel
 - Fonctionnement 24 h / 24
 - - **30%** des émissions en tête de tunnel

✓ Fonctionnement en régime normal

- Limité aux périodes de congestion et en cas d'accident
- Pas nécessaire même aux heures de pointe (cf. simulations de trafic)

✓ Conditions des tests

- Fonctionnement 2 x 4 h
 - - **15%** des émissions en tête de tunnel
- Fonctionnement 24 h / 24
 - - **30%** des émissions en tête de tunnel

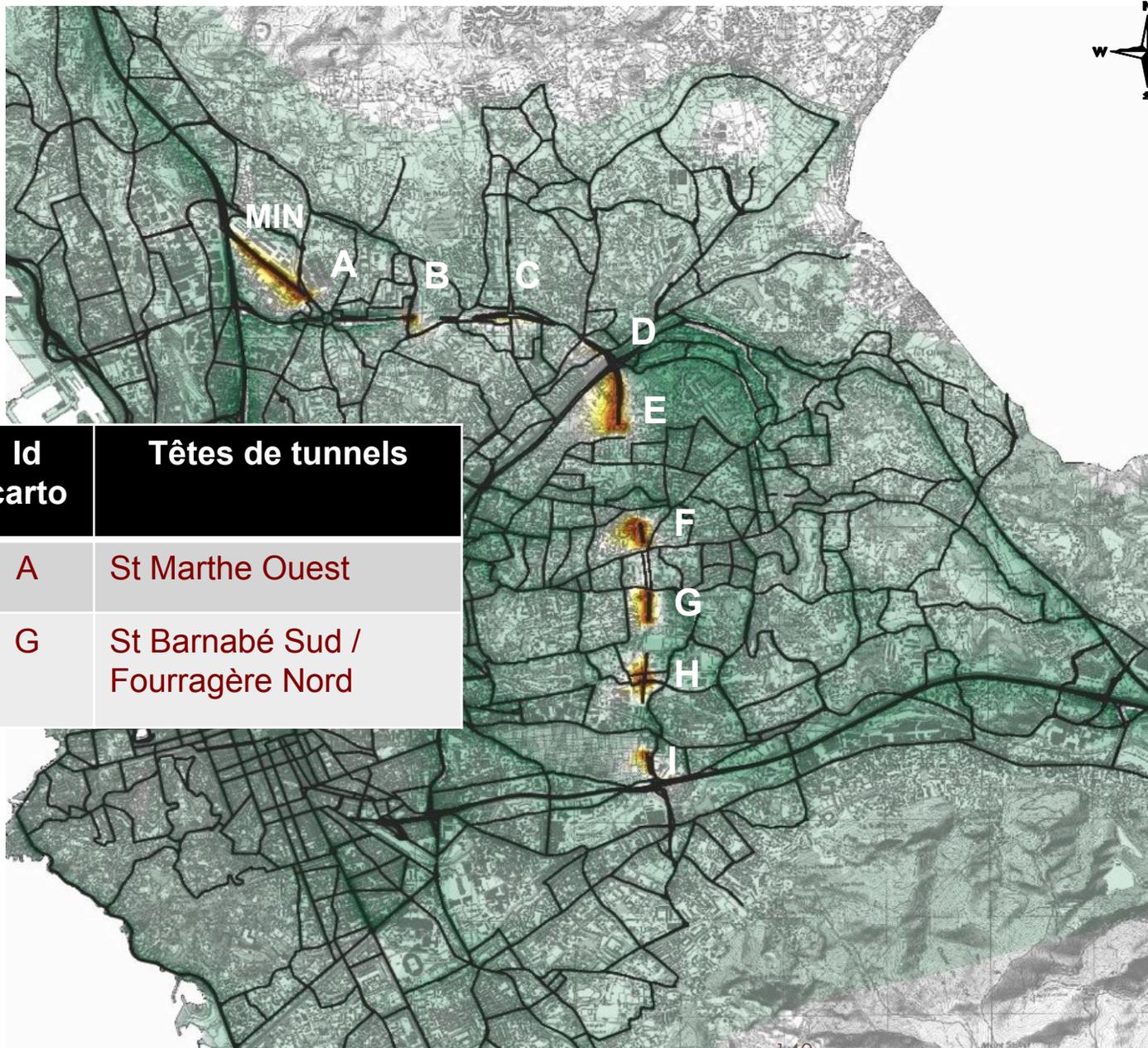
Concentrations moyennes annuelles simulées en NO_2 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

Cas d'un fonctionnement permanent



Au niveau de l'extracteur, augmentation de la concentration en $\text{NO}_2 < 2 \mu\text{g}/\text{m}^3$

Test d'efficacité des mesures sur des points sensibles



Site : **Marseille**

Hauteur de calcul : **1.5 mètres au-dessus du sol**

Période météorologique : **du 1^{er} septembre 2010 au 31 août 2011**

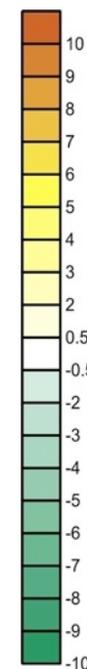
Émissions :

Trafic routier : **Données CETE**

Autres sources : **inventaire Atmo PACA (2007)**

Id carto	Têtes de tunnels
A	St Marthe Ouest
G	St Barnabé Sud / Fourragère Nord

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

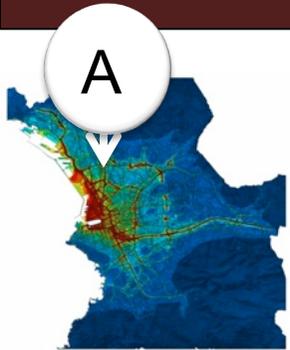


Augmentation des concentrations

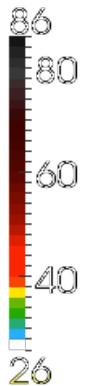
Diminution des concentrations

© IGN - 3145ET

Id Carto	Tête de tunnel étudiée	Intégration de mur	Activation des extracteurs
A	St Marthe Ouest <i>Arnavaux</i>	<input checked="" type="checkbox"/> (mur du projet)	<input checked="" type="checkbox"/>
G	St Barnabé Sud et la Fourragère Nord	<input checked="" type="checkbox"/>	/



[NO₂]

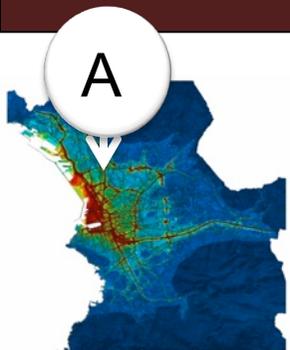


✓ Mesures de réduction appliquées

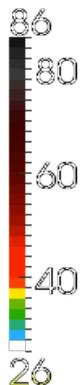
- Évaluation de l'impact d'un **mur de 7mètres** de haut prévu au projet

Le mur confine bien les émissions du tunnel et joue ainsi un rôle majeur dans la conservation de la qualité de l'air à proximité de l'ouvrage

Impact de la tête de tunnel St Marthe Ouest



[NO₂]



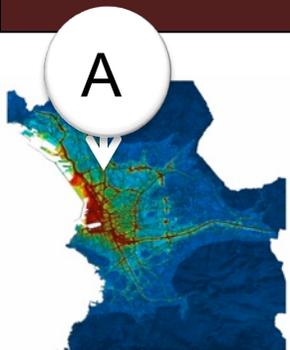
✓ Mesures de réduction appliquées

- Mise en **fonctionnement** des **extracteurs** pendant 2 x 4 h

➔ L'augmentation du fonctionnement des extracteurs permet d'assurer une meilleure qualité de l'air à proximité de l'ouvrage



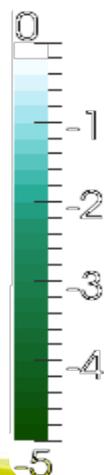
Impact de la tête de tunnel St Marthe Ouest



✓ Mesures de réduction appliquées

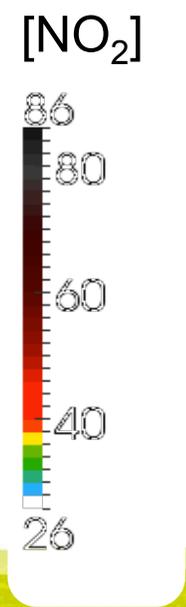
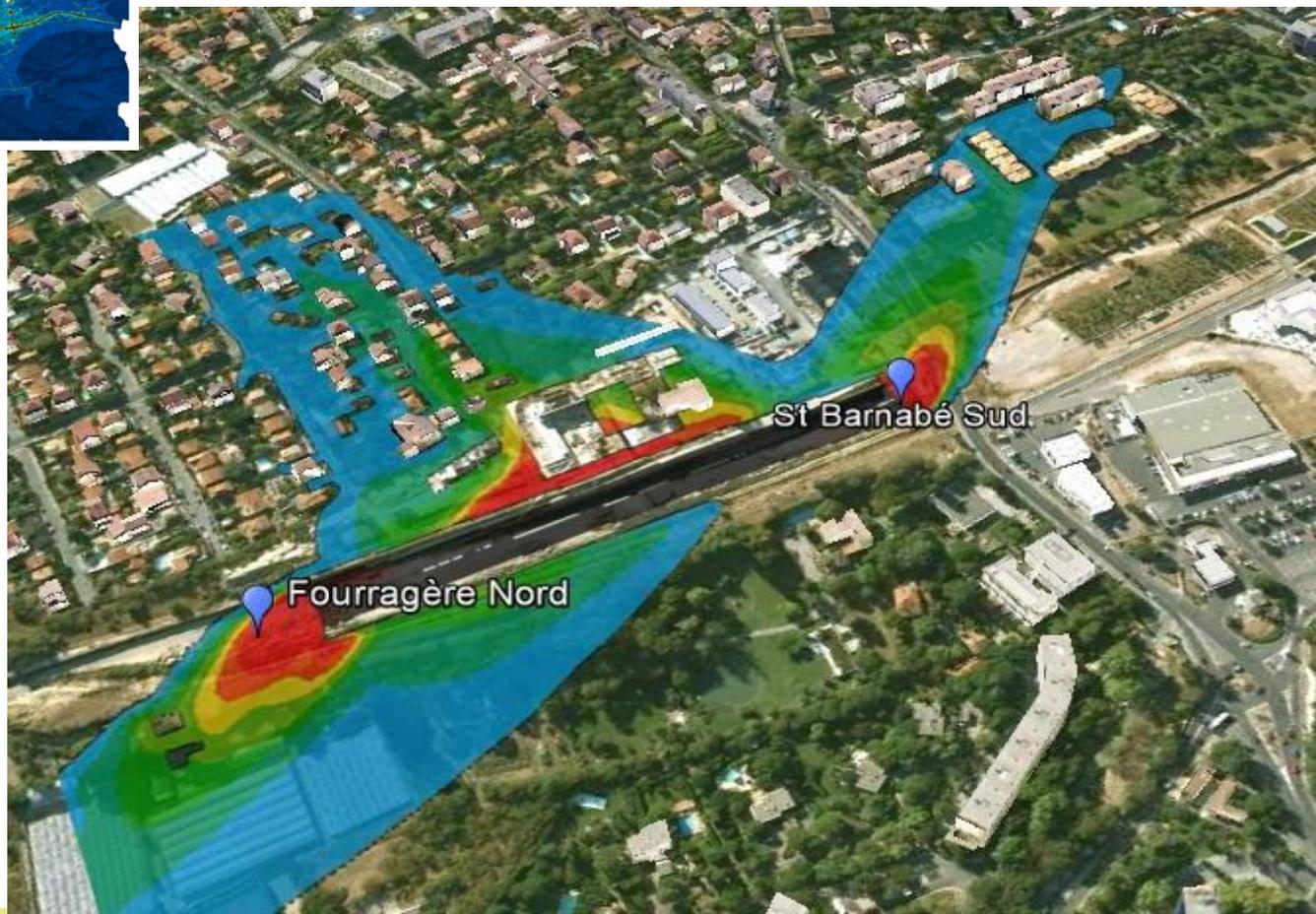
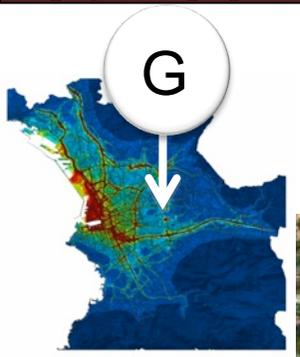
- Diminution engendrée par l'activation des extracteurs

L'augmentation du fonctionnement des extracteurs permet d'assurer une meilleure qualité de l'air à proximité de l'ouvrage



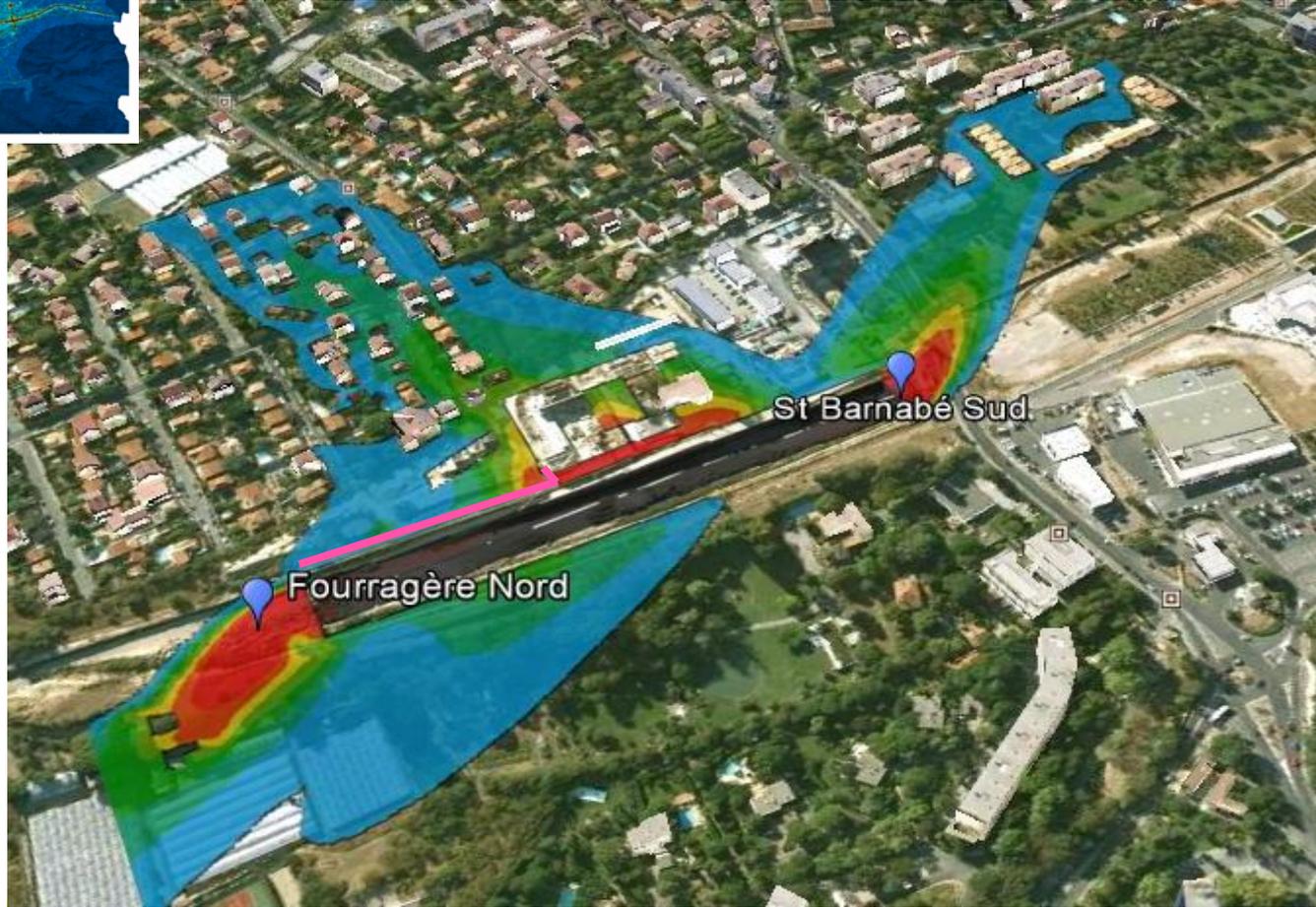
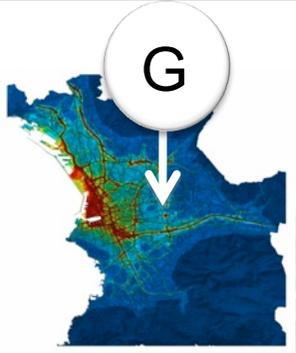
Diminution de la concentration avec la mise en fonctionnement des extracteurs pendant 2x4h en $\mu\text{g}/\text{m}^3$

Impact des têtes de tunnel St Barnabé Sud et Fourragère Nord

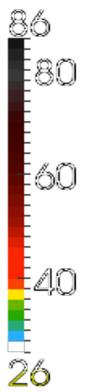


145
Concentration à 1.5m du sol de NO₂ en µg/m³

Impact des têtes de tunnel St Barnabé Sud et Fourragère Nord



[NO₂]



✓ Mesures de réduction appliquées

- Intégration d'un mur de 7 mètres de haut par rapport au terrain naturel sur la partie Ouest
 - Amélioration de la BD TOPO
- Protection du terrain de sport visible avec l'aménagement d'un mur



- ✓ Il existe des mesures permettant d'améliorer la situation à proximité des ouvrages
- ✓ Efficacité des mesures de réduction pour les ouvrages étudiés

Tunnel	Mur	Activation des extracteurs
St Marthe Ouest	+++	++
St Barnabé Sud et la Fourragère Nord	+++	Non testé

Légende :

+ / ++ / +++ : plus il y a de + plus l'impact est positif sur la QA

- ✓ Pour améliorer la qualité de l'air à proximité des ouvrages il peut être pertinent de conjuguer plusieurs types de mesures

SUITES

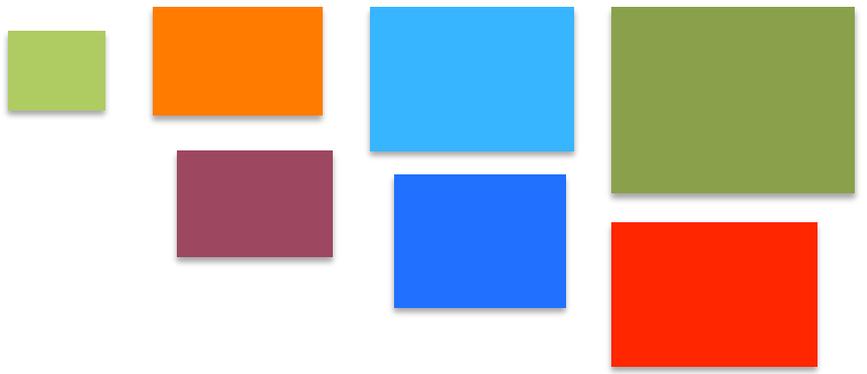
- ✓ Exigences générales : respect de la réglementation et poursuite de la concertation
- ✓ Demandes aux candidats PPP
 - Approfondissement des études air & santé
 - Sorties d'usines de ventilation
 - Têtes de tunnels
 - Sections courantes
 - Proposition de solutions et évaluations de leur efficacité
 - Coût global
 - Efficacité
 - Qualité de l'insertion urbaine et environnementale prise en compte dans l'évaluation des offres

- ✓ Comité de suivi air santé
 - 24 février 2012

- ✓ Transmission des éléments de l'étude aux candidats PPP
 - Pour intégration dans les offres finales au 2^{ème} trim. 2012

- ✓ Suite aux résultats de l'étude des risques sanitaires et à la publication du PPA
 - COTECH air et mobilité : fin 2^{ème} trimestre 2012
 - Comité de suivi : début été 2012

Merci de votre attention



Ministère de l'écologie, du développement durable, des transports et du logement

Direction Régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du logement PACA

Service Transports Infrastructure-Unité Maîtrise d'ouvrage

16 rue Zattara – 1332 Marseille Cedex 3 – Tél : 04 91 28 40 40

www.paca.developpement-durable.gouv.fr

