

**Bilan de 3 ans de
surveillance de la qualité
de l'air autour de la
rocade L2 à Marseille**

Juin 2016 – Décembre 2018

RESUME :

RETROSPECTIVE SUR 3 ANS DE SURVEILLANCE DE LA L2

Juin 2016 – Décembre 2018

Le contournement de Marseille par le biais d'une rocade autoroutière (L2) devrait permettre le délestage du trafic dans le centre-ville. Une réduction des niveaux de pollution en dioxyde d'azote et particules fines dans certains quartiers est attendue. La L2 étant en majorité recouverte, l'impact sur la qualité de l'air le long du tracé devrait être modéré mais l'exposition des populations sur les parties ouvertes (têtes de tunnels et trémie) est à étudier.

► Le dioxyde d'azote en ligne de mire

De 2016 à 2018, trois sites aux abords de la L2 ont été investigués par AtmoSud, au moyen de stations de mesures mobiles. A des distances relativement proches de la route (entre 15 et 60 m environ), le dioxyde d'azote a montré des concentrations plus élevées que des niveaux de fonds Marseillais. Les concentrations restent inférieures aux valeurs limites mais des dépassements potentiels ne sont pas à écarter.

► Des particules fines émises par le trafic, mais aussi par d'autres sources

La valeur limite de 40 µg/m³ en moyenne annuelle pour les particules fines n'est pas dépassée sur les sites étudiés. Les moyennes mesurées sont similaires à celles du site de référence de Marseille Longchamp. L'impact de la L2 est visible mais reste généralement plus faible que celui du chauffage au bois observé en hiver. Des dépassements du seuil journalier de 50 µg/m³ pour les PM₁₀ sont constatés mais la contribution du trafic y est rarement majoritaire.

► Un impact visible

L'ouverture de la partie Est se voit sur les concentrations mesurées, que ce soit pour le dioxyde d'azote ou les particules fines issues d'une combustion de matière fossile. Sur le site de la Fourragère, les concentrations dans l'air de ces deux polluants étaient en moyenne inférieures à celles mesurées à Marseille Longchamp. Ce n'est plus le cas après la mise en service de cette partie Est de la L2.

Au Nord, l'impact est plus difficile à discerner sur le moyen terme puisque la L2 n'est pas le seul émetteur dans les environs du site (travaux du boulevard Allende, Avenue Raimu). La phase d'ouverture de la partie nord aura tout de même causée des hausses significatives de concentrations en polluants durant quelques jours. Sur le boulevard Jean-Moulin, l'amélioration de la qualité de l'air n'est pas évidente. AtmoSud poursuit les mesures en 2019, lorsque la L2 sera en pleine charge et que les travaux autour de l'hôpital de la Timone seront terminés.

De plus, une vaste campagne d'échantillonnage par tubes passifs mesurant le NO₂ et le benzène sera menée sur la rocade, mais aussi sur toute la ville afin d'évaluer l'impact de cette autoroute à grande échelle.

Rédaction	Vérification	Validation
Alexandre Gatineau alexandre.gatineau@atmosud.org	BouAlem Mesbah boualem.mesbah@atmosud.org	Edwige Révélat edwige.revelat@atmosud.org
Contact	Date de parution	Références
Patricia Lozano Patricia.lozano@atmosud.org	20/12/2019	23PT0213_Rocade_L2_transition

SOMMAIRE

1. Contexte	4
1.1 Historique de la construction de la rocade L2 à Marseille	4
1.2 Rappel sur l'état initial de 2011	5
2. Descriptif de la zone d'étude	6
2.1 Topographie	6
2.2 Climatologie	7
2.3 Population	8
3. Emissions et qualité de l'air sur la zone	8
3.1 Inventaire des émissions	8
3.2 Cartographie du NO ₂ et des PM ₁₀	9
4. Réalisation des campagnes de mesure	10
5. Résultats	12
5.1 Niveaux de concentrations et dépassements	12
5.1.1 Evolution des moyennes annuelles	12
5.1.2 Répartition des moyennes horaires	13
5.1.3 Evolutions saisonnières	18
5.1.4 Dépassements de seuils et valeurs limites	21
5.2 Sources des dépassements journaliers des PM ₁₀	21
5.2.1 Le Black Carbon	21
5.2.2 Caractérisation des dépassements de seuil en PM ₁₀	26
6. Evaluation de l'impact des ouvertures des tronçons Est et Nord de la L2 sur la qualité de l'air	29
6.1 Impact du tronçon Est sur la qualité de l'air	29
6.1.1 Paramètres météorologiques	29
6.1.2 Augmentation des concentrations en dioxyde d'azote	30
6.1.3 Une augmentation moins visible sur les particules fines	36
6.2 Impact de l'ouverture du tronçon Nord sur la qualité de l'air	38
6.2.1 Paramètres météorologiques	39
6.2.2 Hausse des concentrations en dioxyde d'azote durant quelques jours après l'ouverture de la L2 Nord	39
6.2.3 Augmentation des concentrations en particules fines	45
7. Conclusion	49
BIBLIOGRAPHIE	50
GLOSSAIRE	51
ANNEXES	53

1. Contexte

1.1 Historique de la construction de la rocade L2 à Marseille

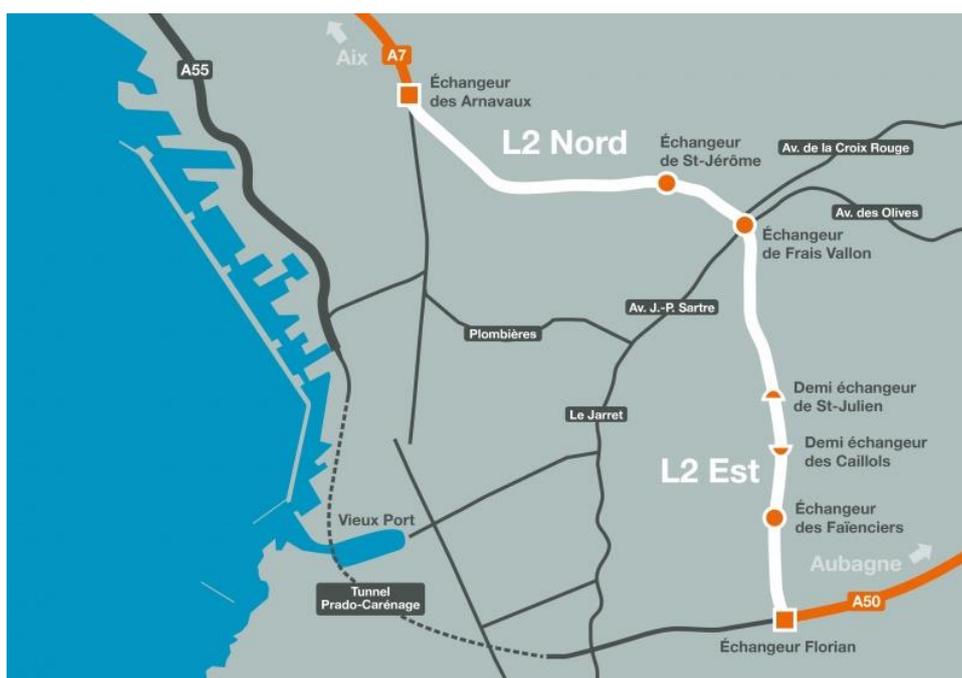
L'extrait ci-dessous est tiré du site <https://www.l2-marseille.com/>.

« Depuis les années 30, la L2 (A 507), est un sujet récurrent dans la problématique des transports marseillais. La rocade a même fait l'objet de travaux universitaires et d'une thèse de doctorat par Stéphanie Leheis « La ville et sa rocade, projet d'infrastructure au temps long, le cas de Marseille ». Dès l'origine, il s'agit de créer une rocade périphérique pour désengorger le trafic et notamment celle du Jarret constituée par les boulevards de ceinture qui relient les autoroutes Nord et Ouest. C'est d'ailleurs l'origine de son nom, L2 comme deuxième liaison. A cette époque, cette partie de Marseille était encore peu construite et le lieu privilégié de quelques grandes bastides. L'urbanisation nécessaire et intense des années 60 va changer la donne. La voie alors prévue pour la création de l'infrastructure va être dédiée au logement social. C'est cette Zup N 1 qui s'étend de Malpassé passe par les Lauriers, Picon Busserine la Grande Busserine. Du Rond-Point de Sainte-Marthe à celui du Père Wresinski, l'ancienne R3 remplit alors les fonctions dévolues à la L2.

L'autoroute Nord arrive à Plombières en 1952, l'autoroute Est vers Aubagne est mise en service en 1962. Pour connecter ces voies, la construction du Bd Allende est lancée simultanément aux grands chantiers de construction de logements et s'achèvera en 1974.

Consulter le plan-masse du secteur confirme bien son statut de véritable épine dorsale de la ZUP n°1 : tous les grands ensembles construits sont parfaitement parallèles ou perpendiculaires à cette ancienne R3 qui aura servi aussi bien à l'approvisionnement du chantier de la ZUP qu'à la circulation des gens qui viendront y vivre. C'est finalement en 1979 que l'Etat accepte la maîtrise d'ouvrage et inscrit le projet aux différents Contrats de Plans Etat-Régions (CPER). Un consensus avec les collectivités en matière de répartition des financements est également obtenu. Il faudra attendre la Déclaration d'Utilité publique (DUP) de 1992 pour que s'amorce le tronçon Est entre les échangeurs de Frais Vallon et Florian. Depuis, le projet a évolué dans la concertation et le dialogue mais aussi sous la contrainte de nouvelles normes telles que la loi sur l'eau, sur l'air, sur le bruit. Depuis les années 2000, la section Nord est l'objet d'un nouveau projet. En 2009, le principe d'un Partenariat Public-Privé (PPP) est retenu pour finir la rocade. Elle est déclarée d'utilité publique en novembre 2010 ce qui clôt la phase de concertation et entérine le tracé final entre Frais Vallon et l'A 7. En 2017 date de la livraison prévue par la Société de la Rocade L2 (SRL2), le titulaire du Partenariat Public Privé, la rocade assurera une fonction attendue depuis 80 ans : permettre la desserte inter-quartier et inter-agglomérations et le contournement de la ville. »

Figure 1 : Tracé de la L2 © l2-marseille.com



1.2 Rappel sur l'état initial de 2011

En 2011, AtmoSud est intervenu sur le volet Air de l'étude d'impact (comprenant une étude air et santé de niveau 1) relative à la rocade L2 de Marseille.

Cette étude a permis l'évaluation des concentrations dans une bande de 300 mètres autour du futur axe routier et ses zones urbanisées limitrophes. Les mesures se sont déroulées de janvier à juillet 2011, période qui couvre les deux saisons hiver et été. Seize polluants ont été mesurés, dont trois principalement liés au trafic routier, à savoir le dioxyde d'azote NO₂ et les particules PM₁₀ et PM_{2,5}.

Les concentrations en NO₂ ont été 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 a été 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, les concentrations diminuent pour devenir inférieures à la valeur limite puis atteindre progressivement la valeur de fond.

Les particules PM₁₀ (inférieures à 10 µm de diamètre) 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 ont été plus homogènes que pour le NO₂. Elles sont restées inférieures à la valeur limite annuelle de 40 µg/m³. Cependant, la valeur limite journalière de 50 µg/m³, qui peut être dépassée 35 jours par an, présentait un fort risque de dépassement sur l'A50 à proximité de la jonction avec la L2.

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

Les autres polluants étudiés (aldéhydes, hydrocarbures aromatiques polycycliques, dioxyde de soufre, monoxyde de carbone, métaux lourds, ozone) ont tous respecté leur valeur réglementaire 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.). 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.

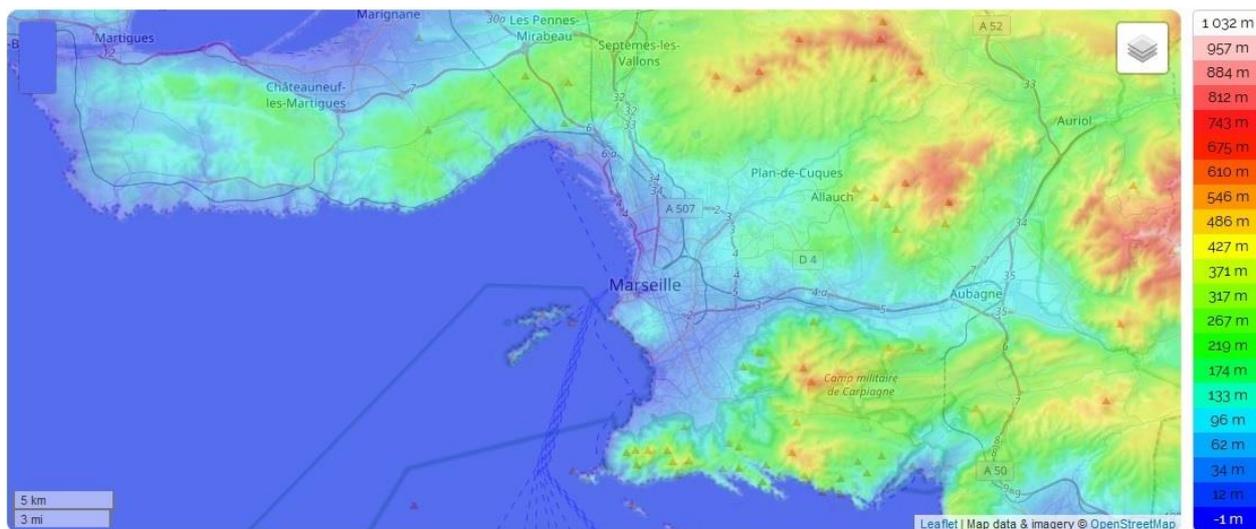
Le rapport complet de cette étude est disponible sur <https://www.atmosud.org/publications/marseille-etat-initial-autour-de-la-rocade-l2-hiver-et-ete-2011>.

2. Descriptif de la zone d'étude

2.1 Topographie

Marseille occupe une superficie de 240 km² mais sa surface constructible est d'environ 150 km². Deuxième ville de France par sa population, elle est bordée par la mer Méditerranée sur son côté Ouest. Du Nord au Sud, la façade Est de la ville est entourée de massifs rocheux formant une demi-cuvette.

Figure 2 : Carte topographique de Marseille © topographic-map.com



Le principal lieu d'étude est la L2 (ou A507) : une autoroute urbaine 2x3 voies d'environ 10 km de long, couverte sur la moitié de son tracé. Sur ses parties « non couvertes », l'édifice reste encaissé ou entouré de murs anti-bruit. Cette architecture pourrait réduire la gêne occasionnée par la pollution pour les riverains. A l'inverse, la qualité de l'air sur l'axe devrait en être dégradée. L'autoroute est relativement plane, formant une tranchée ignorant plus ou moins le relief, sauf au niveau de l'échangeur de Frais Vallon où elle surplombe l'avenue Jean Paul Sartre.

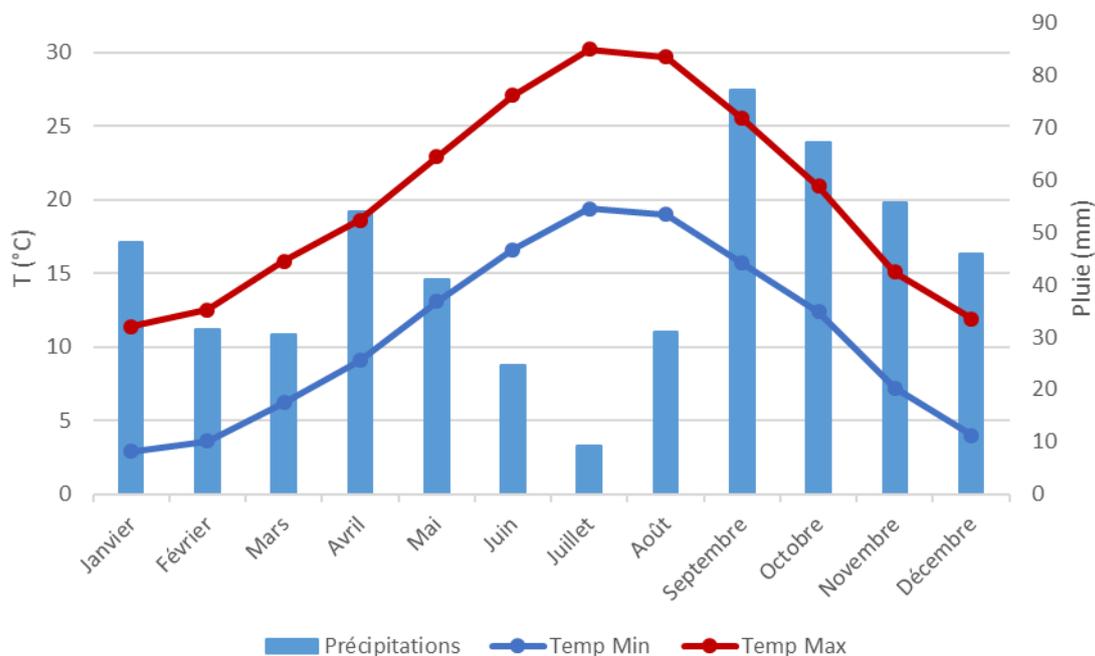
Figure 3 : La L2, vue depuis le parking du supermarché du Merlan



2.2 Climatologie

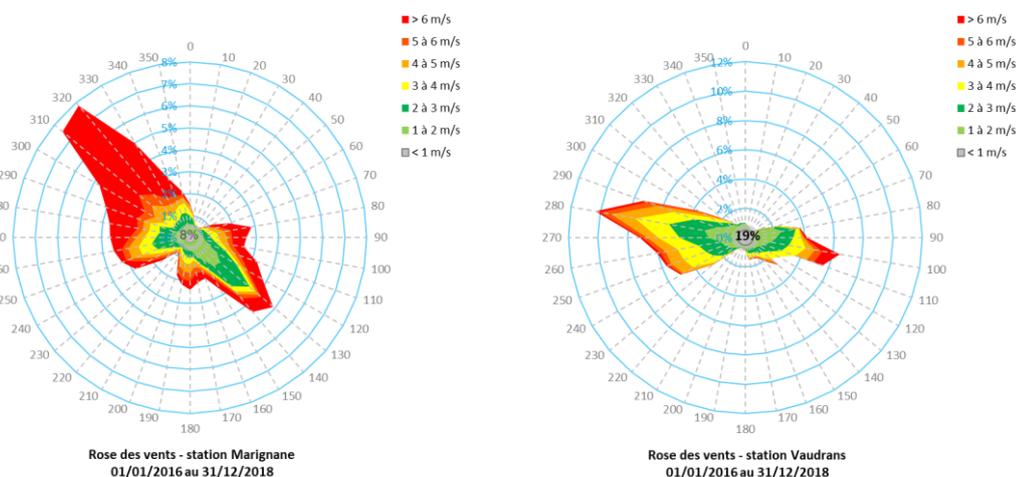
Par sa localisation, la ville est sujette à un climat méditerranéen : tempéré et chaud. La température moyenne annuelle avoisine les 15°C et les précipitations, peu fréquentes, sont plus abondantes en hiver.

Figure 4 : Précipitations et températures normales mensuelles à Marignane sur la période 1981-2010 (Météo France)



Ces conditions de températures et de précipitations sont en partie dues aux régimes de vents qui concernent la ville. Au nord, la station météo de Marignane révèle une forte influence du mistral, vent froid et sec d'origine Nord à Nord-Ouest. En direction d'Aubagne, la ville est soumise à des vents allant d'Ouest en Est et vice versa à cause de la vallée de l'Huveaune. Ci-dessous les roses des vents des stations météorologiques de Marignane et des Vaudrans de 2016 à 2018. La rose des vents décennale de Marignane est en annexe, figure 64.

Figure 5 : Roses des vents à Marignane et aux Vaudrans de 2016 à 2018



2.3 Population

La population totale est composée d'environ 862 000 habitants. La densité est estimée à environ 3 600 habitants/km² mais si on ne considère que la superficie constructible de la ville, elle s'élève à 5 700 habitants/km².

La L2 est bordée de bâtiments résidentiels de haute densité (barres d'immeubles, tours, ...) sur sa partie Nord. Elle traverse également des quartiers pavillonnaires à l'Est. De plus, divers ERP¹ accueillant des personnes sensibles et vulnérables sont à proximité de l'axe : crèches, écoles, hôpital... On notera la présence d'une trémie aéraulique sur la partie Nord, face au centre commercial du Merlan. Le groupe résidentiel « La Benausse » surplombe cette trémie et pourrait être affectée par les émissions du trafic sur la L2. Ce site a fait l'objet de mesures.

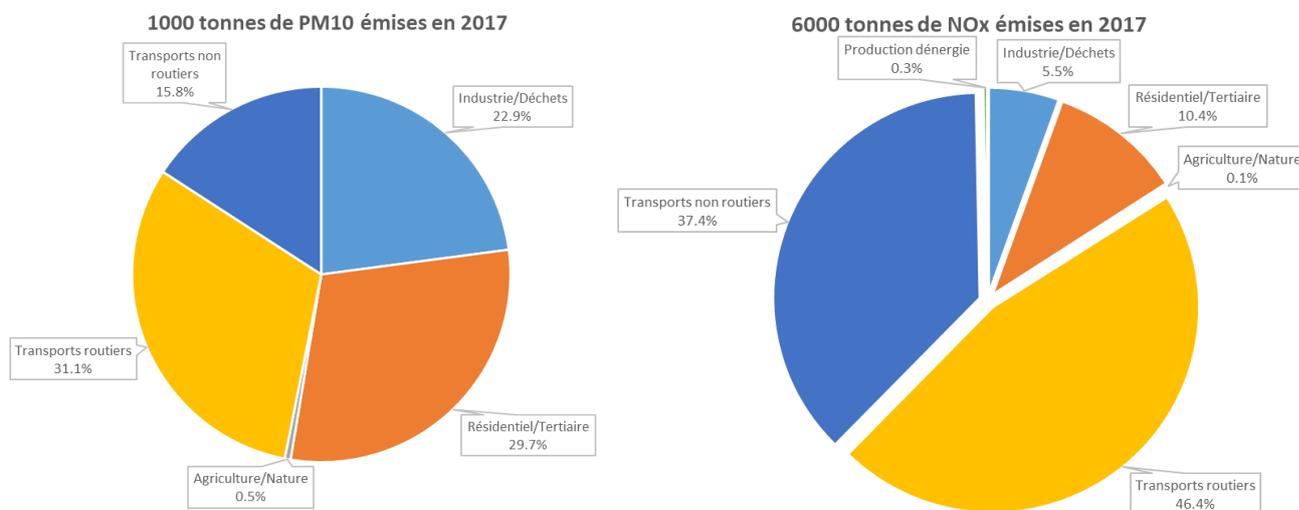
3. Emissions et qualité de l'air sur la zone

3.1 Inventaire des émissions

Depuis 2003, AtmoSud développe et réalise des inventaires territoriaux d'émissions de polluants atmosphériques et de gaz à effet de serre (GES). Ces données sont indispensables à la compréhension des phénomènes de pollution, à la prévision quotidienne de la qualité de l'air et au suivi des territoires de la région Provence-Alpes-Côte d'Azur.

Les émissions de particules fines et d'oxydes d'azote sur la ville de Marseille en 2017 sont présentées ci-dessous.

Figure 6 : Emissions de PM₁₀ et de NOx à Marseille en 2017 (Source : AtmoSud)



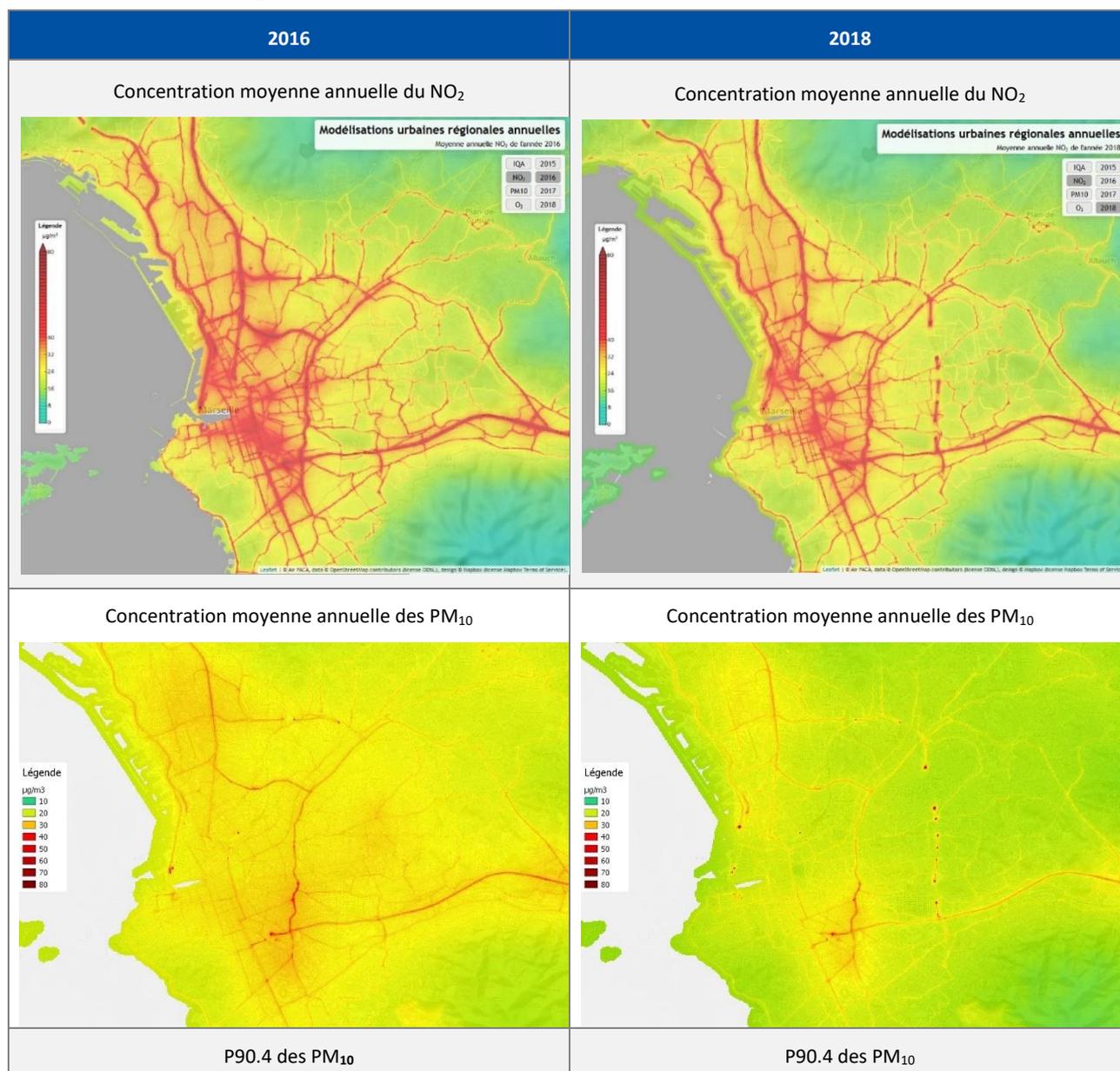
Tant pour les particules fines que pour les oxydes d'azote, les transports routiers sont l'émetteur principal à Marseille (avec respectivement 31 % et 46 % des émissions totales).

¹ Etablissements Recevant du Public

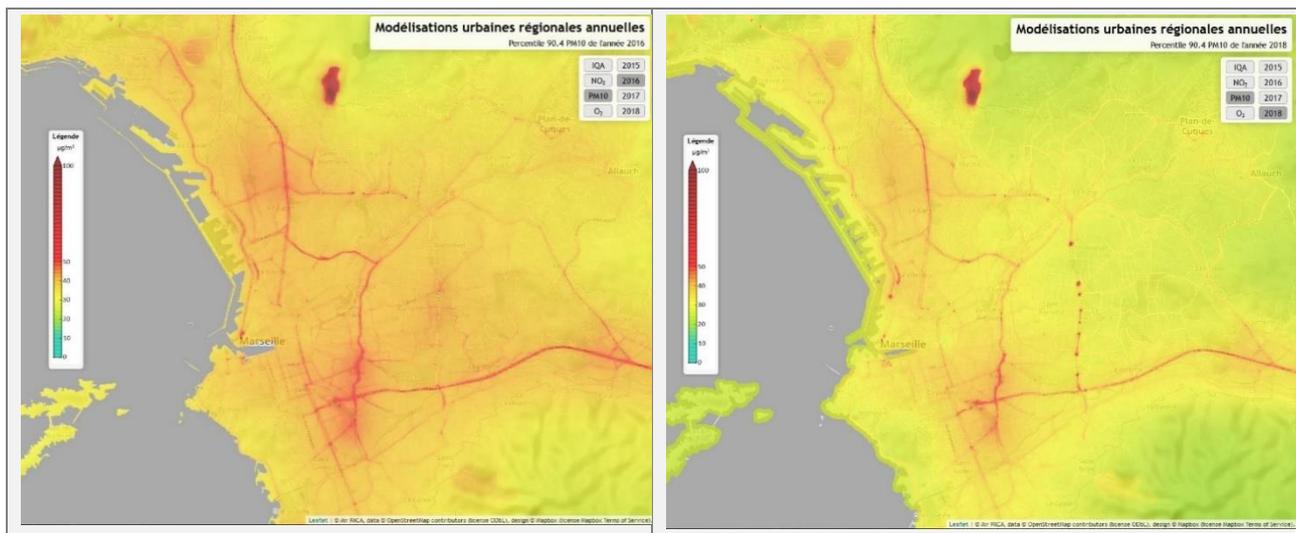
3.2 Cartographie du NO₂ et des PM₁₀

AtmoSud établit chaque année une carte des niveaux moyens de pollution pour les PM₁₀ et le NO₂. Pour ces polluants, cette modélisation permet d'évaluer la qualité de l'air à l'échelle de la rue. La modélisation de la concentration moyenne annuelle du NO₂ et des PM₁₀ (ainsi que leur P90.4²) sur la ville de Marseille en 2016 et 2018 est présentée ci-dessous. La résolution de la maille est de 25 mètres de côté.

Figure 7 : Cartes de modélisation annuelle AtmoSud en 2016 et 2018



² Le centile ou percentile 90.4 correspond à la valeur respectée par 90,4% des données journalières de l'année considérée.



Que ce soit pour le NO₂ ou les PM₁₀, les cartes de modélisation semblent illustrer une légère amélioration de la qualité de l'air généralisée à la ville. Cela concorde avec la tendance régionale. On remarque cependant l'apparition de la L2 Est entre 2016 et 2018 qui vient dégrader la qualité de l'air sur ses parties non couvertes. Pour ces deux polluants, les cartes montrent que les axes routiers contribuent significativement aux niveaux de pollution.

4. Réalisation des campagnes de mesure

Afin de surveiller l'impact éventuel, sur la qualité de l'air, de la mise en service progressive de la L2, AtmoSud a déployé depuis 2016 plusieurs stations de mesure le long de cet axe routier. De plus, une station a été placée boulevard Jean Moulin à Marseille pour mettre en évidence une éventuelle amélioration de la qualité de l'air. En effet, un délestage de cet axe est attendu grâce à la rocade de contournement. Les moyens mobiles sont listés dans le tableau ci-dessous, avec leurs dates de mise en service et d'arrêt, ainsi que les polluants mesurés.

Tableau 1 : Liste des stations déployées pour la surveillance de la L2

Nom site	Typologie	Mise en service	Fermeture	Polluants mesurés
Fourragère	Observation spécifique	01/06/2016	01/06/2017	NOx, PM ₁₀ , PM _{2.5} , BC
Jean Moulin	Trafic	30/06/2016	-	NOx, PM ₁₀
Kaddouz	Observation spécifique	09/06/2017	-	NOx, PM ₁₀ , PM _{2.5} , BC
Benausse	Observation spécifique	14/09/2018	05/03/2019	PM ₁₀ , NOx, BC

NOx : oxydes d'azote

PM₁₀ : particules de diamètre aéroulique inférieur à 10 µm

PM_{2.5} : particules de diamètre aéroulique inférieur à 2,5 µm

BC : Black Carbon

La station mobile Marseille / Jean Moulin est de typologie « trafic » (positionnée à moins de 10 mètres de la route). Les trois autres stations sont classées en situation « d'observation spécifique » ; elles ne répondent pas aux critères d'implantations d'une station trafic à proprement parler, mais sont trop proches d'un axe routier majeur pour être qualifiées de stations de fond³.

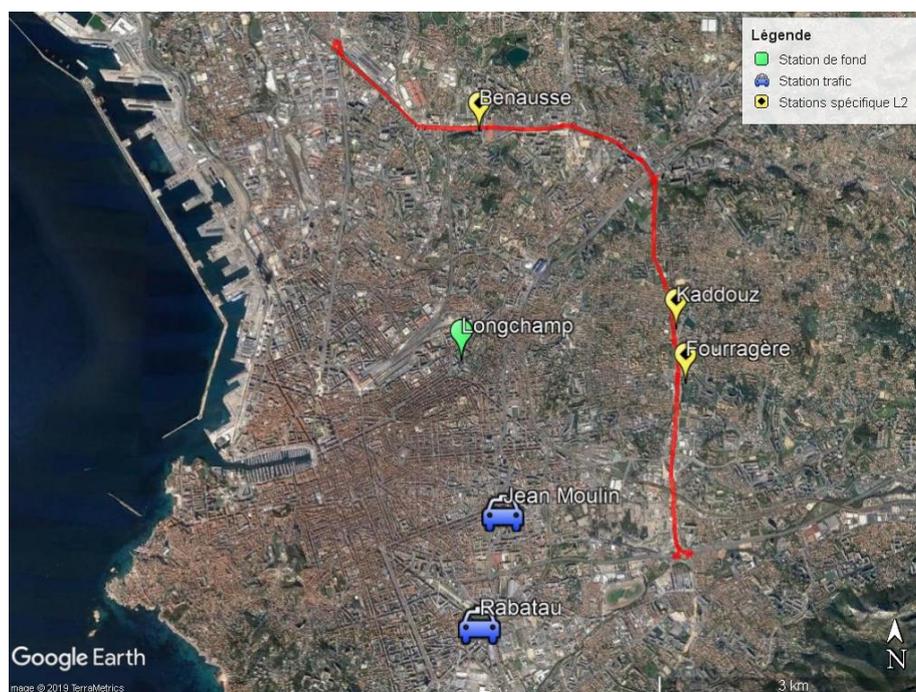
³ LCSQA : Conception, implantation et suivi des stations françaises de surveillance de la qualité de l'air, février 2017.

Deux stations de références d'AtmoSud ont été considérées pour comparer les résultats des stations en bordure de L2 :

- Marseille / Longchamp, station urbaine de « fond ».
- Marseille / Rabatau, station urbaine « trafic ».

Dans les différents sites, les concentrations dans l'air ambiant de dioxyde d'azote, de particules fines et de Black Carbon ont été mesurées par analyseurs automatiques. Ces instruments produisent des moyennes horaires sur lesquelles sont basés les calculs contenus dans ce rapport. A noter que toutes les heures indiquées dans ce rapport sont en temps universel TU (heure locale -1h en hiver / -2h en été).

Figure 8 : Position et typologie des sites étudiés



Les périodes et taux annuels de fonctionnement des appareils sont répertoriés dans le tableau 2. Ces taux sont exprimés en pourcentage d'heures mesurées et validées sur l'année civile. Ils sont donc faibles lorsque les stations ont été installées ou retirées en cours d'année. En revanche, les stations n'ayant pas été déplacées sur une année entière affichent des taux de fonctionnement supérieurs aux 85% de référence⁴.

Tableau 2 : Périodes et taux de fonctionnement annuels des mesures des stations du réseau L2

	Polluant	Marseille / Fourragère	Marseille / Jean Moulin	Marseille / Kaddouz	Marseille / Benausse
2016	NO ₂	15/06 au 31/12 (54 % sur l'année)	30/06 au 31/12 (50 % sur l'année)	-	-
	PM ₁₀	01/06 au 31/12 (41 % sur l'année)	05/07 au 31/12 (49 % sur l'année)	-	-
	PM _{2.5}	18/06 au 16/10 (21 % sur l'année)	-	-	-
2017	NO ₂	01/01 au 31/05 (38 % sur l'année)	01/01 au 31/12 (97 % sur l'année)	10/06 au 31/12 (52 % sur l'année)	-
	PM ₁₀	01/01 au 25/04 (19 % sur l'année)	01/01 au 31/12 (99 % sur l'année)	09/06 au 31/12 (32% sur l'année)	-

⁴ LCSQA : Guide méthodologique pour le calcul des statistiques relatives à la qualité de l'air, juin 2016

	PM _{2.5}	02/02 au 01/06 (21 % sur l'année)	-	20/07 au 23/11 (24% sur l'année)	-
2018	NO ₂	-	01/01 au 31/12 (98 % sur l'année)	01/01 au 31/12 (97 % sur l'année)	14/09 au 22/12 (25 % sur l'année)
	PM ₁₀	-	01/01 au 31/12 (99 % sur l'année)	01/01 au 31/12 (98 % sur l'année)	18/09 au 22/12 (26 % sur l'année)

5. Résultats

5.1 Niveaux de concentrations et dépassements

5.1.1 Evolution des moyennes annuelles

Etant émis lors de procédés de combustion, le dioxyde d'azote est un bon traceur du trafic automobile. On le retrouve en fortes concentrations aux abords des axes routiers. De manière générale, plus le trafic est intense et plus le point de mesure est proche de la route, plus les concentrations de dioxyde d'azote seront élevées. Néanmoins, c'est aussi un polluant très sensible à la photochimie atmosphérique et les paramètres météorologiques jouent un rôle important sur ses niveaux.

Les particules fines sont, entre autres, elles aussi émises lors de processus de combustion. Leurs concentrations sont moins influencées par le trafic que celles du dioxyde d'azote. On pourra tout de même observer les mêmes tendances entre sites que pour les valeurs de NO₂.

Les concentrations moyennes annuelles sur les stations du réseau L2 ainsi que les deux stations de références sont présentées dans le tableau ci-dessous. Les moyennes en **gras** répondent à la couverture temporelle minimale de 85% de données horaires valides requises pour les mesures fixes. Celles en *italiques* correspondent à des mesures réalisées sur une partie de l'année et sont donc données au titre de mesures indicatives. A cela s'ajoutent des moyennes reconstituées partiellement (alternance de mesure et de modélisation) par un modèle à partir de la mesure des PM₁₀ ou des PM_{2.5} et des NO_x, elles sont affichées en *rouge italique*.

Tableau 3 : Concentrations moyennes en NO₂, PM₁₀ et PM_{2.5} par station et par an en µg/m³

Polluant	Année	Marseille / Fourragère	Marseille / Jean Moulin	Marseille / Kaddouz	Marseille / Benausse	Marseille / Rabatau	Marseille / Longchamp	Valeur limite
NO ₂	2016	24	53	-	-	49	27	40 µg/m ³
	2017	32	48	39	-	49	29	
	2018	-	47	36	33	47	26	
PM ₁₀	2016	23	39	-	-	33	26	40 µg/m ³
	2017	25	37	26	-	34	28	
	2018	-	35	24	27	32	20	
PM _{2.5}	2016	12	-	-	-	18	15	25 µg/m ³
	2017	14	-	14	-	17	13	
	2018	-	-	13	-	13	12	

Les deux stations dites « trafic », que sont Marseille / Jean Moulin et Marseille / Rabatau, dépassent la valeur limite de $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en moyenne annuelle pour le dioxyde d'azote. Les concentrations mesurées sur les sites en bordure de L2 restent inférieures à ce seuil mais sont néanmoins plus élevées que les mesures de Marseille / Longchamp, et donc supérieures à des niveaux de fond Marseillais.

Marseille / Fourragère, Marseille / Kaddouz et Marseille / Benausse affichent des concentrations moyennes en PM_{10} comparable à celles de Marseille / Longchamp, et donc inférieures aux stations trafics (d'environ 28%). La valeur limite de $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de moyenne annuelle n'est dépassée sur aucun site. Le site du boulevard Jean Moulin montre des valeurs légèrement supérieures à celui de Marseille / Rabatau mais l'écart reste faible. Marseille / Longchamp semble voir sa concentration annuelle en PM_{10} diminuer en 2018 mais cette légère baisse pourrait également être expliquée par le changement du type d'appareillage en juillet⁵.

Les concentrations des $\text{PM}_{2.5}$ ont la même dynamique que les PM_{10} . Marseille / Fourragère et Marseille / Kaddouz ont des niveaux proches de ceux de Marseille / Longchamp, Marseille / Rabatau affiche des concentrations supérieures.

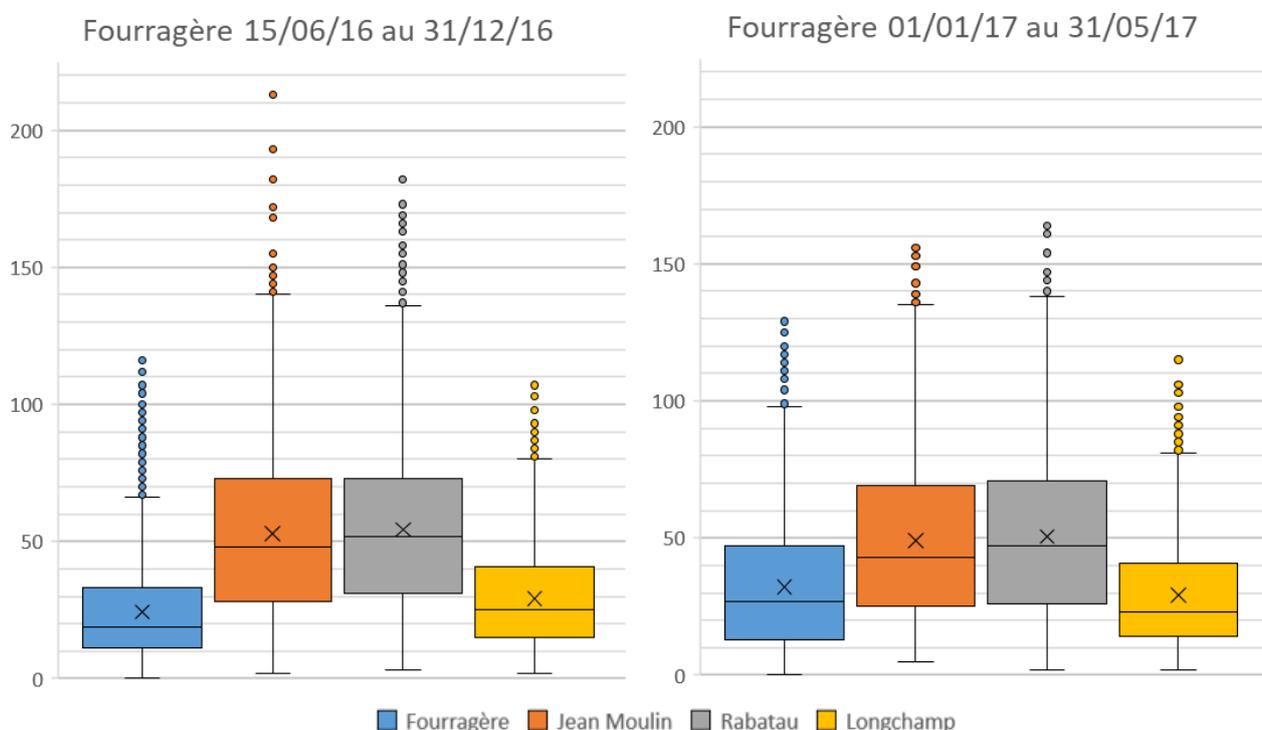
5.1.2 Répartition des moyennes horaires

Les concentrations moyennes horaires du NO_2 sur chaque station du réseau L2, ainsi que celle du boulevard Jean Moulin, sont récapitulées sur les « boxplots » suivants⁶. Ils ont été tracés par année sur la période de mesure de chaque station considérée. Pour les particules fines, ce sont les concentrations journalières qui sont représentées sur ces diagrammes.

Les boxplots de Marseille / Jean Moulin, Marseille / Rabatau et Marseille / Longchamp ont été tracés en guise de référence sur chacun des graphes. La concentration moyenne de la période est représentée par la croix, la médiane par le trait central.

► Marseille / Fourragère

Figure 9 : Boxplot des concentrations moyennes horaires en NO_2 par période et par an à Marseille / Fourragère

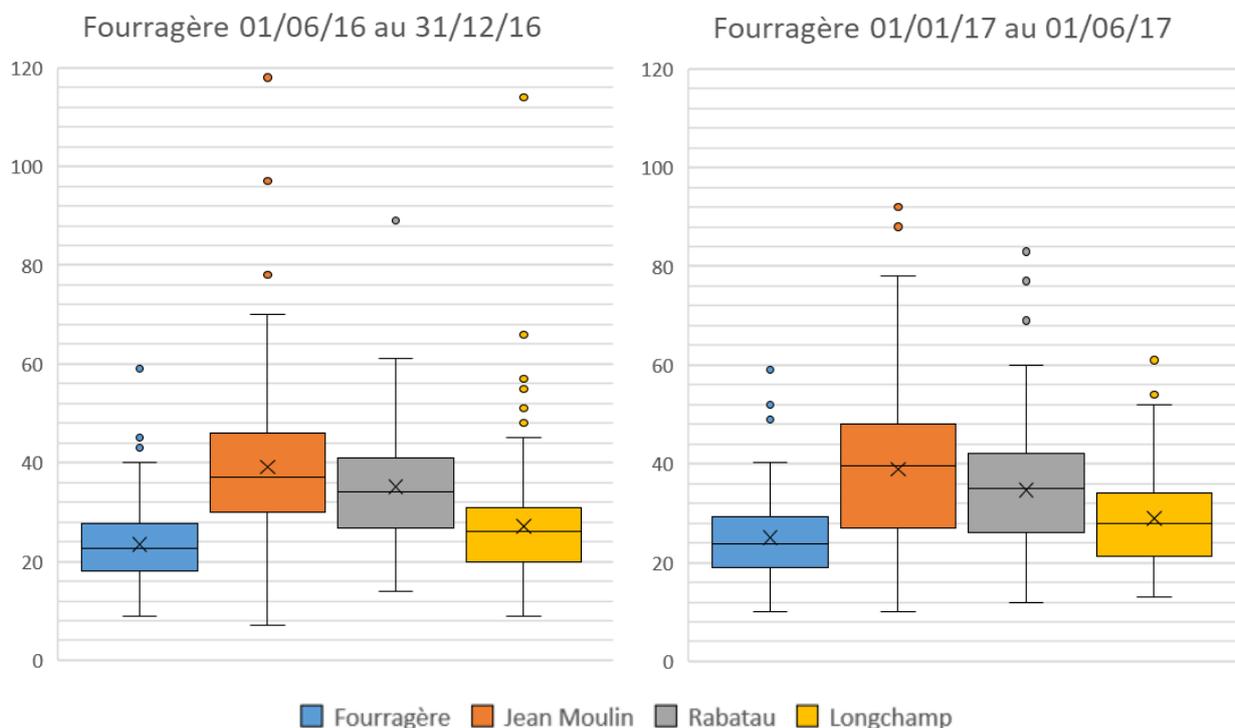


⁵ Une inter comparaison effectuée entre l'ancien et le nouvel instrument, ce dernier affichait des valeurs environ 10% inférieures, ce qui reste dans la marge d'incertitude de ce type d'équipement. Les deux appareils répondent à la norme en vigueur pour la mesure des PM_{10} dans l'air ambiant.

⁶ La lecture d'un « boxplot » est détaillée en annexe

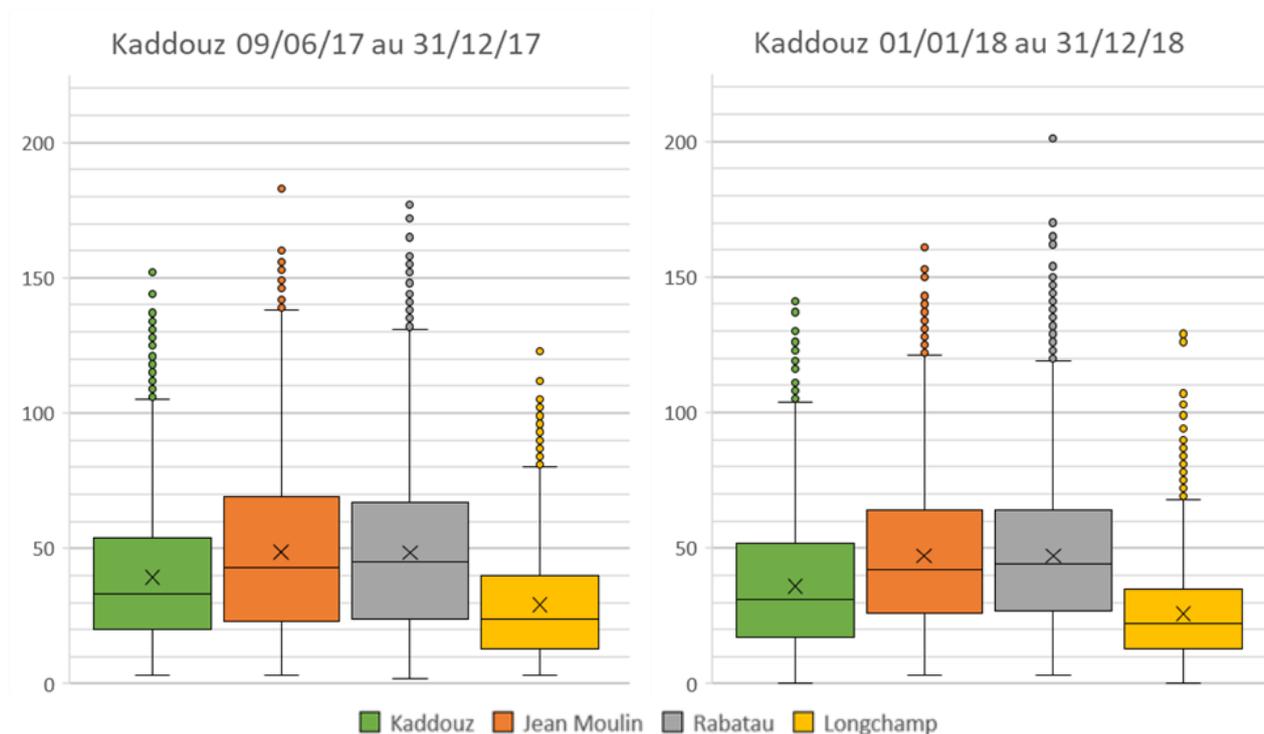
Sur le site Marseille / Fourragère, les concentrations de NO₂ sont à la hausse entre 2016 et 2017. Il faut cela dit garder à l'esprit que la station n'a échantillonné 2016 et 2017 que partiellement (respectivement 54% et 38%). Il est donc difficile de caractériser cette augmentation, même si la L2 a pu y jouer un rôle. On remarque néanmoins que sur les périodes considérées, le site de la Fourragère est le seul des quatre sites à voir ses concentrations moyennes et maximales augmenter significativement.

Figure 10 : Boxplot des concentrations moyennes journalières en PM₁₀ par période et par an à Marseille / Fourragère



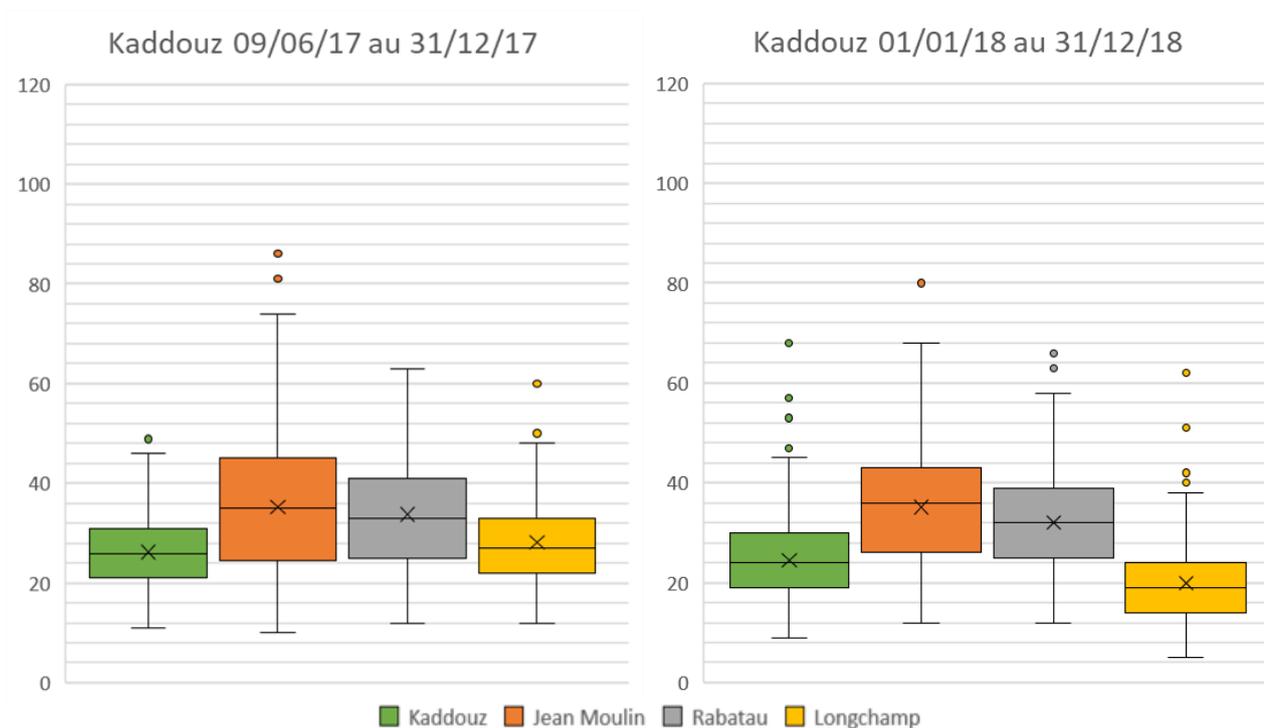
Durant les deux périodes, la concentration moyenne des PM₁₀ sur le site de Marseille / Fourragère est inférieure à celle de Marseille / Longchamp et des autres stations. En termes de concentrations journalières maximales, les niveaux de ces deux sites sont similaires (outre le 114 µg/m³ mesuré à Marseille / Longchamp en 2016, causé par un incendie).

Figure 11 : Boxplot des concentrations moyennes horaires en NO₂ par période et par an à Marseille / Kaddouz



La station Marseille / Kaddouz a échantillonné 52 % de l'année 2017. Elle voit ses concentrations maximales et sa moyenne légèrement diminuer de 2017 à 2018, malgré l'ouverture de la L2 Nord en Octobre 2018. La moyenne annuelle reste cela dit proche de la valeur limite de 40 µg/m³ et il faudra attendre 2019 pour apprécier ses niveaux en pleine charge de la L2.

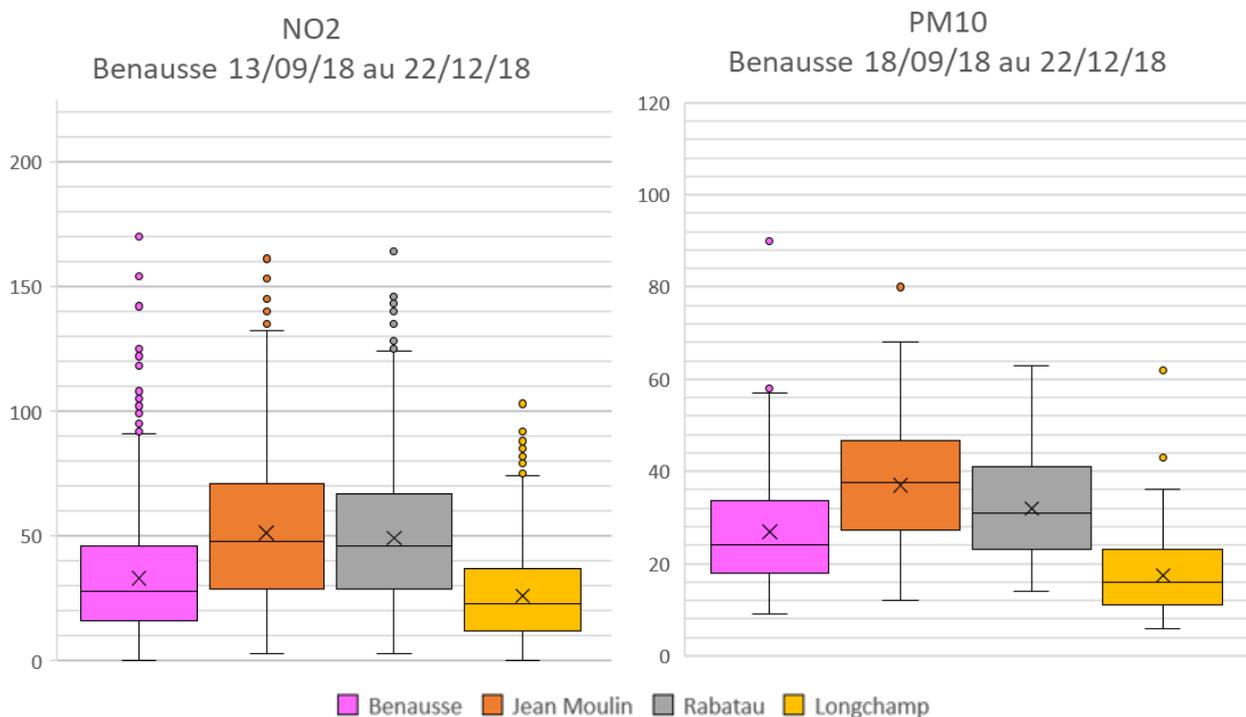
Figure 12 : Boxplot des concentrations moyennes journalières en PM₁₀ par période et par an à Marseille / Kaddouz



Ce site montre des concentrations moyennes en PM₁₀ nettement inférieures aux deux sites trafics. En 2017, les niveaux entre Marseille / Longchamp et Marseille / Kaddouz sont similaires sur la période considérée. L'année suivante, l'écart entre les deux stations se crée mais semblent plutôt être causé par une baisse des valeurs à Marseille / Longchamp qu'une hausse à Marseille / Kaddouz.

► **Marseille / La Benausse**

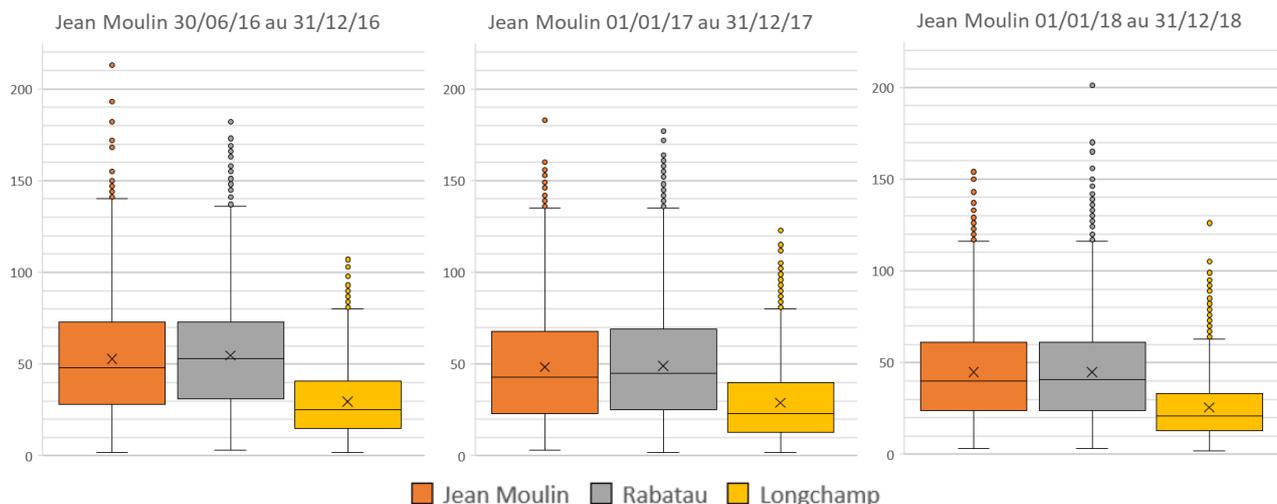
Figure 13 : Boxplot des concentrations moyennes horaires en NO₂ et journalières en PM₁₀ à la Benausse



Sur le parking du groupe résidentiel « la Benausse », la concentration moyenne de dioxyde d'azote est restée inférieure à ce que l'on mesure sur les boulevards Jean Moulin et Rabatau. Cependant, la station aura enregistré un maximum horaire à 170 µg/m³, ce qui est supérieur aux autres stations considérées.

Sur sa période de mesure, le site affiche des niveaux de concentrations en PM₁₀ inférieurs aux stations trafics. Ils sont cependant plus proches de ces dernières que ne l'étaient Marseille / Fourragère et Marseille / Kaddouz.

Figure 14 : Boxplot des concentrations moyennes horaires en NO₂ par période et par an à Jean Moulin



Sur la station Marseille / Jean Moulin, on observe une tendance à la baisse des concentrations : les valeurs des pointes horaires ainsi que les moyennes diminuent de 2016 à 2018. Cette baisse semble plus prononcée à Marseille / Jean Moulin (-6 µg/m³) qu'à Marseille / Rabatau (-2 µg/m³).

A Marseille / Rabatau et Marseille / Longchamp, les moyennes représentées par la croix sont légèrement à la baisse, excepté une heure en situation de dépassement des 200 µg/m³ en 2018 à Marseille / Rabatau.

Cette tendance générale à la baisse des concentrations en NO₂ est cohérente avec ce que l'on observe à Marseille et sur toute la région depuis les années 2000 (voir Annexe 3, figure 53).

Le tableau 4 récapitule les valeurs et dates des maximums horaires constatés sur chaque station par année. Sur ces 3 ans de mesure, Marseille / Jean Moulin détient le record horaire de NO₂ avec une concentration de 213 µg/m³ le 12/09/2016 à 11h00.

Après ouverture de la L2 Est, Marseille / Fourragère aura enregistré un 129 µg/m³ de moyenne horaire, c'est similaire à ce que mesure Marseille / Longchamp, notre station de fond. De manière générale, Marseille / Kaddouz et Marseille / Benausse affichent des concentrations maximales supérieures à ce que mesure Marseille / Longchamp mais inférieures aux stations trafic la même année.

Tableau 4 : Maximums et dates des concentrations horaires en NO₂ par an en µg/m³

Année	Marseille / Fourragère	Marseille / Jean Moulin	Marseille / Kaddouz	Marseille / Benausse	Marseille / Rabatau	Marseille / Longchamp
2016	118 le 22/12 à 19h00	213 le 12/09 à 11h00	-	-	182 le 26/08 à 22h00 ⁷	107 le 22/12 à 18h00
2017	129 le 29/03 à 18h00	183 le 05/12 à 18h00	154 le 28/11 à 17h00	-	177 le 28/09 à 18h00	123 le 31/10 à 19h00
2018	-	161 le 28/09 à 18h00	141 le 28/09 à 19h00	170 le 18/12 à 06h00	201 le 21/06 à 10h00	129 le 10/09 à 18h00

Les concentrations moyennes journalières maximales des PM₁₀ sont listées dans le tableau 5 par année et par station. A l'instar des valeurs de NO₂, Marseille / Jean Moulin détient ici encore le record des stations considérées avec un 118 µg/m³. Ce maximum est cependant à relativiser car il est observable le même jour à Marseille / Longchamp et a été

⁷ Soir de match au Vélodrome

causé par des incendies au nord de Marseille. Les maximums de Marseille / Fourragère et Marseille / Kaddouz sont similaires à ce que l'on mesure à Marseille / Longchamp en 2017 et 2018.

Tableau 5 : Valeurs et dates des concentrations journalières maximales en PM₁₀ par an en µg/m³

Année	Marseille / Fourragère	Marseille / Jean Moulin	Marseille / Kaddouz	Marseille / Benausse	Marseille / Rabatau	Marseille / Longchamp
2016	59 le 25/10	118 le 10/08			89 le 25/10	114 le 10/08
2017	60 le 18/01	92 le 19/01	46 le 16/06		83 le 18/01	62 le 18/01
2018		80 le 21/12	68 le 01/10	90 le 01/10	66 le 23/02	62 le 01/10

Le dioxyde d'azote est un polluant dont les concentrations sont très influencées par le trafic routier et par la proximité avec la source. Les moyennes annuelles et les concentrations maximales horaires mesurées en bordure de L2 (moins de 30 mètres de l'axe) affichent des niveaux plus élevés que sur une station de fond au cœur de Marseille, sans pour autant dépasser de valeur limite. Ces valeurs sont significativement plus faibles que les mesures réalisées en proximité immédiate (moins de 10 mètres) sur d'autres axes majeurs de la ville.

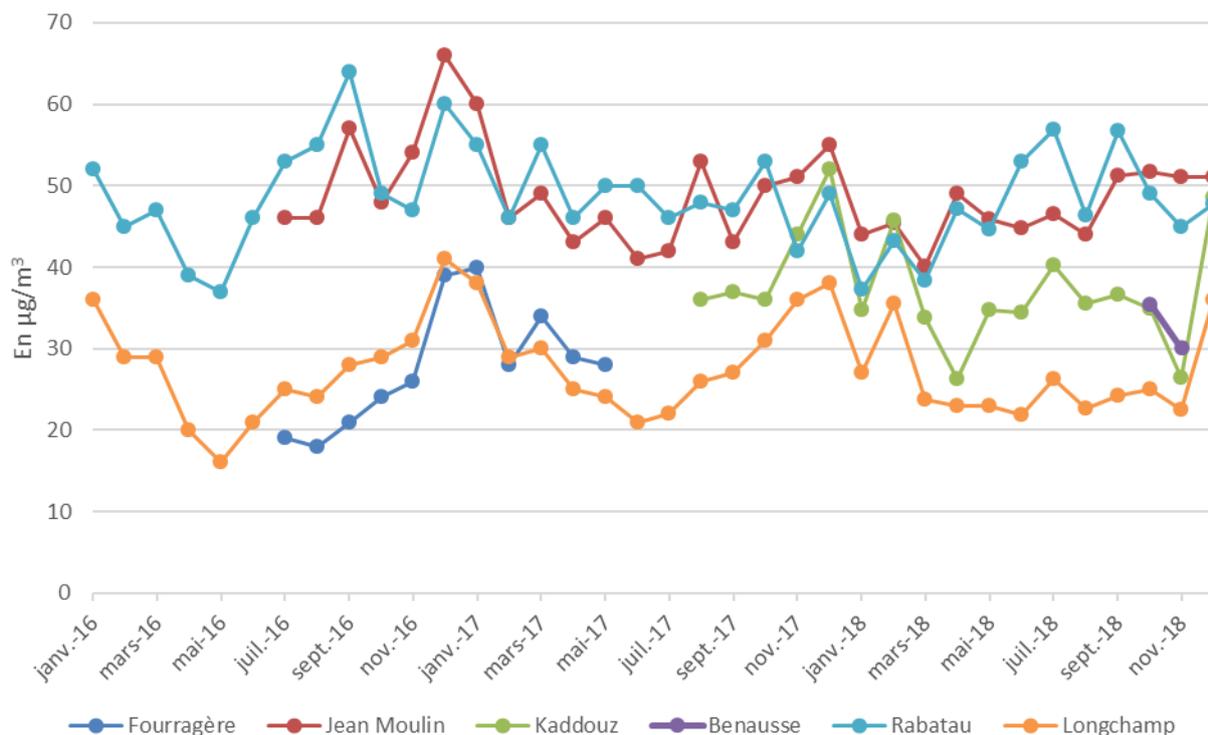
Pour les PM₁₀, les concentrations entre les stations sont plus homogènes que pour le NO₂. Les 3 stations spécifiques en bordure de L2 montrent des niveaux très similaires à ceux observés en situation de fond. Marseille / Rabatau et Jean Moulin, stations en proximité immédiate de la route, affichent des valeurs plus élevées que les autres. Aucune ne dépasse la valeur limite de 40 µg/m³ en moyenne annuelle.

5.1.3 Evolutions saisonnières

La figure 15 montre l'évolution des moyennes mensuelles de NO₂ durant les 3 années de mesures. On remarque l'oscillation saisonnière des mesures, avec des diminutions en été et des augmentations en hiver. En effet, les conditions météorologiques plus stables ainsi que le chauffage entraînent des concentrations plus élevées en période hivernale⁸. Cette tendance est généralement plus visible sur les stations de fond : elle est donc plus nette sur le site de Marseille / Longchamp en courbe orange dans le graphique ci-dessous.

⁸ En qualité de l'air, l'hiver est considéré du 1^{er} octobre au 31 mars, l'été du 1^{er} avril au 30 septembre

Figure 15 : Evolution des concentrations moyennes mensuelles en NO₂ par station⁹



Le site Marseille / Fourragère montre des moyennes mensuelles inférieures à celles de Marseille / Longchamp d'environ 4 µg/m³ de juillet à décembre. Les niveaux dépassent ensuite Marseille / Longchamp de Janvier à Mai (février exclu) d'en moyenne 2 µg/m³. Cette hausse à Marseille / Fourragère pourrait être en partie due à l'ouverture de la L2 Est le 29 novembre 2016.

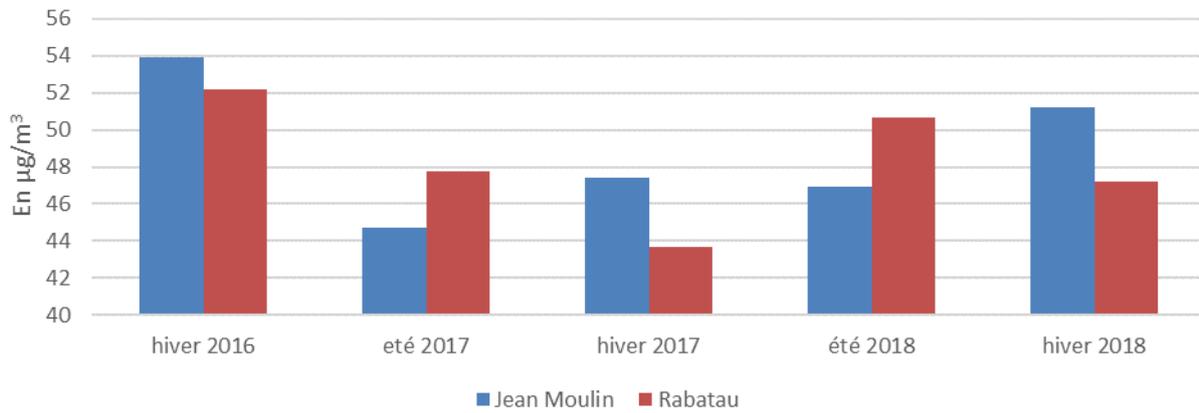
A Marseille / Kaddouz, station proche de la route mais moins qu'une station trafic, les niveaux sont supérieurs à Marseille / Longchamp mais inférieures aux deux stations trafics. Au cours de quatre des mois d'hiver 2017/2018, la station Marseille / Kaddouz affiche des concentrations mensuelles supérieures à Marseille / Rabatau.

La station de Marseille / Benausse, ouverte en septembre 2018, mesure des concentrations similaires à Marseille / Kaddouz sur les deux mois de mesure d'octobre et novembre 2018.

Enfin le site Marseille / Jean Moulin, situé sur le boulevard éponyme, enregistre des valeurs moyennes similaires à celle de Marseille / Rabatau sur le long terme. Néanmoins, les concentrations de Marseille / Jean Moulin sont plus élevées en hiver et celles de Marseille / Rabatau en été. Il est possible que le site Marseille / Rabatau soit plus encombré en été : ce boulevard offre un accès direct aux plages du Prado et aux quartiers Sud, possiblement plus fréquentés lors de cette saison.

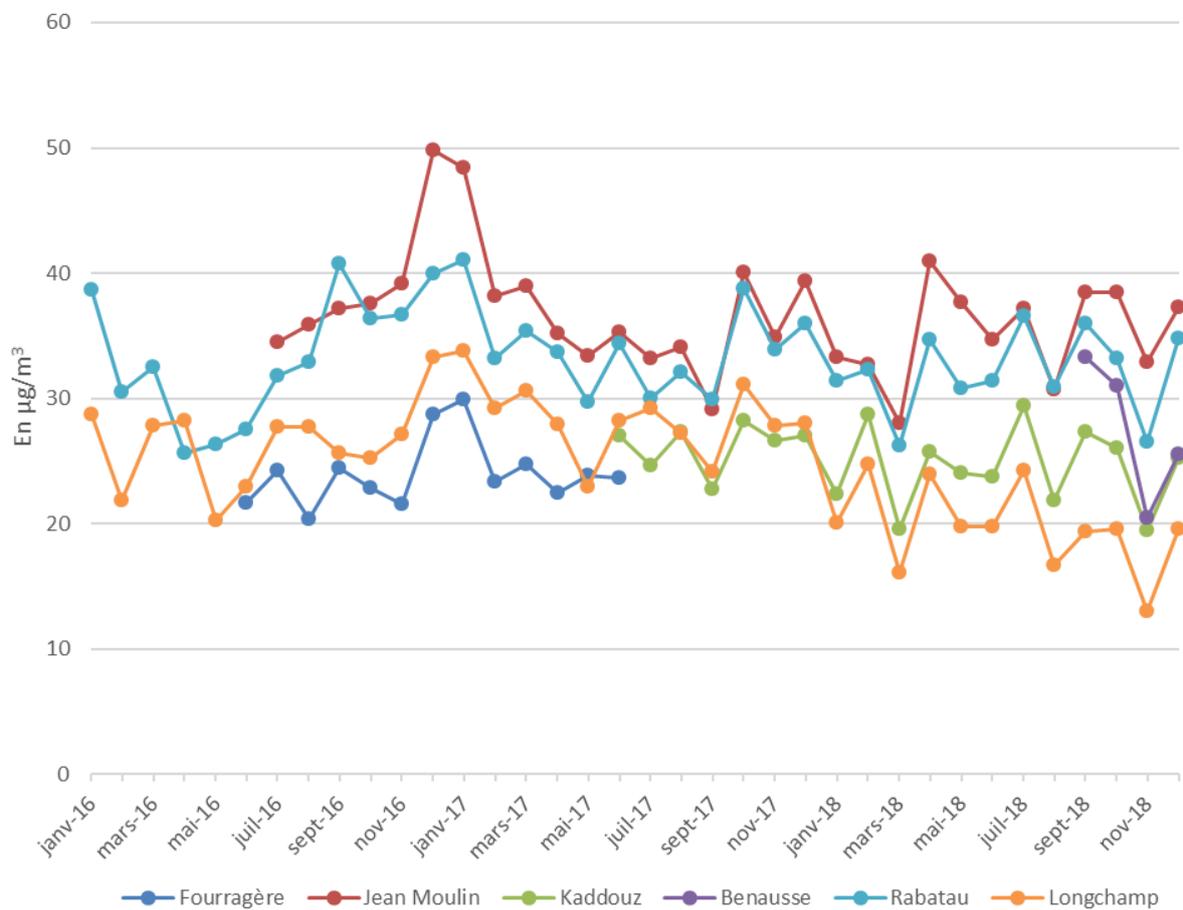
⁹ Les moyennes mensuelles sont affichées si au moins 85% de données horaires de ce mois sont valides

Figure 16 : Concentrations moyennes saisonnières du NO₂ à Marseille / Jean Moulin et Marseille / Rabatau



La figure 17 expose l'évolution des concentrations moyennes mensuelles en PM₁₀ sur chaque station. A noter que les valeurs reconstituées issues du modèle ont été intégrés dans ces données.

Figure 17 : Evolution des concentrations moyennes mensuelles en PM₁₀ par station



Marseille / Fourragère présente des concentrations mensuelles en PM₁₀ inférieures à Marseille / Longchamp, sauf en Mai 2017. Marseille / Kaddouz qui était constamment au-dessus de Marseille / Longchamp pour le NO₂ est ici inférieure à Marseille / Longchamp durant ses 7 premiers mois, puis la tendance s'inverse en janvier 2018. Comme pour le NO₂, Marseille / Benausse affiche des concentrations mensuelles similaires à Marseille / Kaddouz, entre Marseille / Longchamp et Marseille / Rabatau.

Marseille / Jean Moulin et Marseille / Rabatau étaient similaires sur le NO₂ mais pour les PM₁₀, Marseille / Jean Moulin est supérieure de quelques µg/m³ sur toute la période, excepté en septembre 2017 et aout 2018.

5.1.4 Dépassements de seuils et valeurs limites

Le seuil réglementaire horaire de $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ pour le NO_2 est dépassé sur les deux stations « trafics » de Marseille :

- Marseille / Jean Moulin le 12/09/2016 à 11h00 : $213 \mu\text{g}/\text{m}^3$
- Marseille / Rabatau le 21/06/2018 à 10h00 : à $201 \mu\text{g}/\text{m}^3$

La valeur limite correspond à **18** dépassements de ce seuil de $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ par station sur une année civile. Cette valeur n'est donc pas dépassée. En revanche, ces stations dépassent la valeur limite annuelle de $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en moyenne sur les trois années de mesure (voir tableau 5).

Les stations de Marseille / Fourragère, Marseille / Kaddouz et Marseille / Benausse ne dépassent aucune valeur limite pour le NO_2 . Cependant, les concentrations moyennes relevées à Marseille / Kaddouz et Marseille / Benausse laissent à penser qu'un dépassement de la valeur limite de $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de moyenne annuelle est envisageable.

Les nombres de dépassements du seuil journalier de $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en PM_{10} sur les stations aux abords de la L2 sont dans le tableau ci-dessous. La valeur limite tolère **35** dépassements journaliers par année civile sur une même station.

Tableau 6 : Nombre de dépassements journaliers en PM_{10} aux abords de la L2 en $\mu\text{g}/\text{m}^3$

	Marseille / Fourragère	Marseille / Kaddouz	Marseille / Benausse	Valeur limite
2016	1	-	-	35
2017	3	0	-	
2018	-	3	7	

La valeur limite journalière n'est donc pas dépassée sur les sites en bordure de L2. La valeur limite annuelle de $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ est elle aussi respectée. Cependant, il faut rappeler que les stations n'ont pas mesuré sur des années civiles entières. Pour rappel, les périodes de mesures des PM_{10} par station par an sont dans le tableau 2.

Les dépassements de seuil listés dans le tableau ci-dessus et leurs sources potentielles seront étudiés dans la partie 5.3

5.2 Sources des dépassements journaliers des PM_{10}

5.2.1 Le Black Carbon

► Généralités appliquées à Marseille

Le Black Carbon « BC » ou carbone suie est un composé primaire issu d'une combustion incomplète des combustibles carbonés. Il a été mesuré dans la fraction $\text{PM}_{2,5}$ par des Aethalomètres (AE33) sur plusieurs sites de la L2. On distingue deux sources prédominantes de BC dans les zones urbaines : le trafic, émetteur de Black Carbon par la combustion de fossile fuel dit « BC_{ff} », et la combustion de biomasse émettrice de Black Carbon wood burning dit « BC_{wb} ».

L'aethalomètre permet de distinguer et de quantifier deux fractions de Black Carbon que l'on peut relier à la combustion d'hydrocarbures (BC_{ff}) et à la combustion de biomasse (BC_{wb}). Ces fractions peuvent ensuite être utilisées pour estimer (à l'aide d'un facteur multiplicatif et avec une précision de l'ordre de 50 %) les concentrations de PM_{10} attribuables à ces deux familles de sources, à partir de l'expression suivante :

- $\text{PM}_{\text{ff}} = a \times \text{BC}_{\text{ff}}$
- $\text{PM}_{\text{wb}} = b \times \text{BC}_{\text{wb}}$

Où PM_{ff} et PM_{wb} représentent la concentration massique des particules issues respectivement de la combustion d'hydrocarbures et de la combustion de biomasse au sein de la fraction PM_{10} .

PM_{ff} et PM_{wb} sont constituées, en plus du BC, principalement d'aérosols organiques primaires. Les coefficients a et b sont issus (i) de la littérature scientifique pour la contribution fossile, et (ii) d'études basées sur la méthodologie du LCSQA pour la contribution biomasse.

Il est à noter que les émissions primaires à l'échappement automobile sont comprises au sein de la fraction liée à la combustion d'hydrocarbures (PM_{ff}), mais que ces estimations n'intègrent pas les particules issues de l'abrasion de la chaussée, des pneus, des freins Elles ne tiennent pas compte non plus de l'influence de l'échappement automobile sur la formation d'aérosols secondaires à partir des émissions de précurseurs gazeux (dont les NO_x , issus à 60% du transport au niveau national).

Des études ont montré qu'il était possible d'estimer un ratio permettant de passer d'une concentration en BC à une concentration en PM_{10} issues des deux principales sources de combustion identifiées par l'aethalomètre (Chevrier 2016; LCSQA 2018).

Pour la combustion de fuel fossile, l'expression suivante est utilisée quel que soit le site de mesure (El Haddad et al. 2009; Laschober et al. 2004) :

$$PM_{ff}=2,5 \times BC_{ff}$$

Pour la combustion de la biomasse, il a été montré qu'un ratio unique ne pouvait être utilisé pour l'ensemble des sites de mesure. En effet, il varie selon les caractéristiques des sites.

En utilisant la méthodologie donnée par le LCSQA en 2015 (Favez 2015), basée sur l'utilisation des concentrations en lévoglucosan, traceur organique univoque de la combustion de la biomasse, deux ratios spécifiques ont été déterminés pour chaque site permanent :

$$\text{Marseille-Longchamp : } PM_{wb}=14,7 \times BC_{wb}$$

Les mesures de lévoglucosan n'ayant pas été effectuées sur le site Marseille-Kaddouz, le ratio utilisé est celui de Marseille-Longchamp.

Pour la combustion de la biomasse, les expressions suivantes sont retenues :

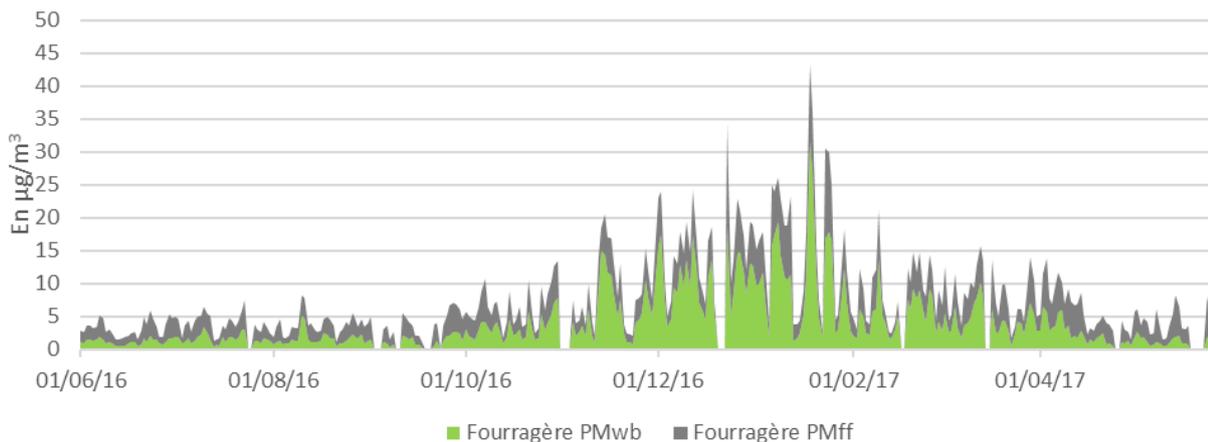
$$\text{Marseille-Longchamp : } PM_{WB}=14,7 \times BC_{WB}$$

$$\text{Marseille-Kaddouz : } PM_{WB}=14,7 \times BC_{WB}$$

► Moyennes journalières BC et saisonnalité

La figure 18 montre, sous forme « d'aires empilées », les concentrations journalières de PM_{wb} et PM_{ff} mesurées du 1^{er} juin 2016 au 28 février 2017 à Marseille / Fourragère. On observe une augmentation des concentrations en PM_{wb} dès le mois d'octobre, principalement due à la combustion de biomasse. A cela s'ajoute une hausse des PM_{ff} , traceur de la combustion d'énergie fossile. Les concentrations diminuent ensuite et retrouvent leur valeur estivale début mai.

Figure 18 : Evolution des concentrations moyennes journalières en Black Carbon à Marseille / Fourragère



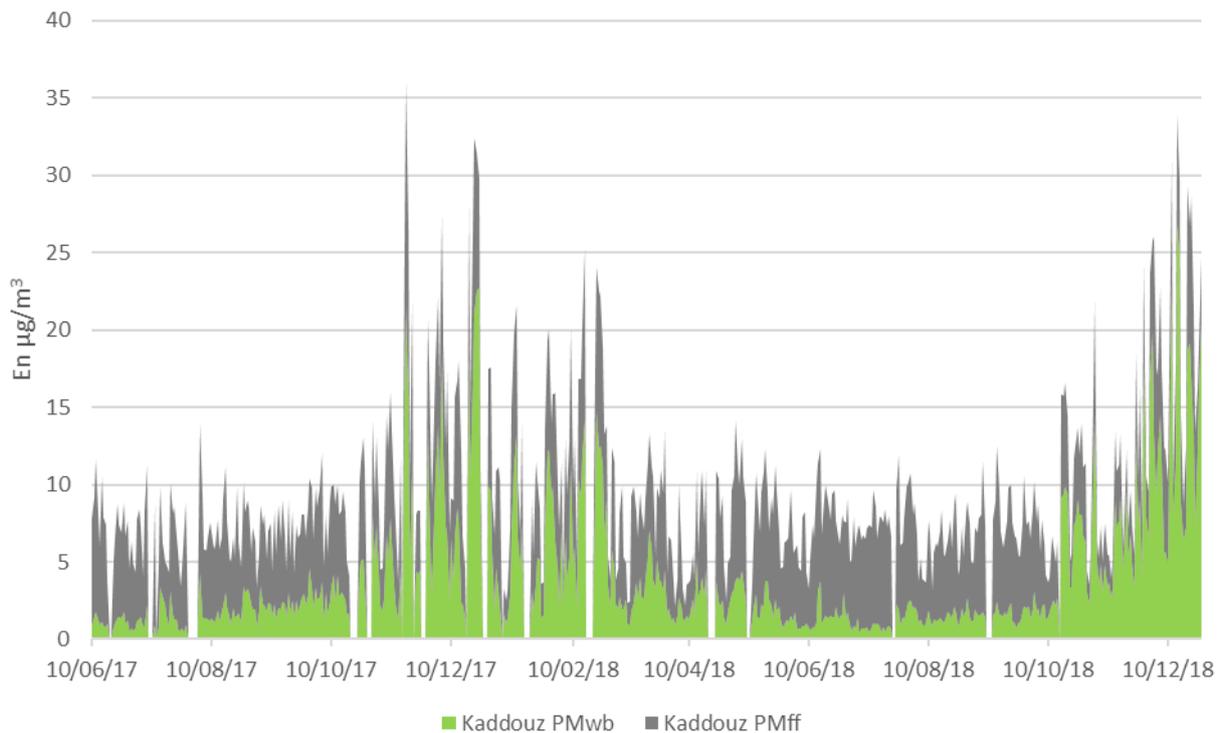
En été, le BC estimé sur les PM₁₀ est constitué à 61 % de PMff et 39 % de PMwb. Cette tendance s'inverse en hiver.

Figure 19 : Contribution des PMwb et PMff en été et en hiver à Marseille / Fourragère



Les mêmes observations peuvent être faites sur la station Marseille / Kaddouz du 10 juin 2017 au 31 décembre 2018. On peut cependant noter que la part des PMff est plus importante que sur le site de la Marseille / Fourragère. Cela est probablement dû au fait que le site Marseille / Kaddouz soit plus proche de la route.

Figure 20 : Evolution des concentrations moyennes journalières en Black Carbon à Marseille / Kaddouz



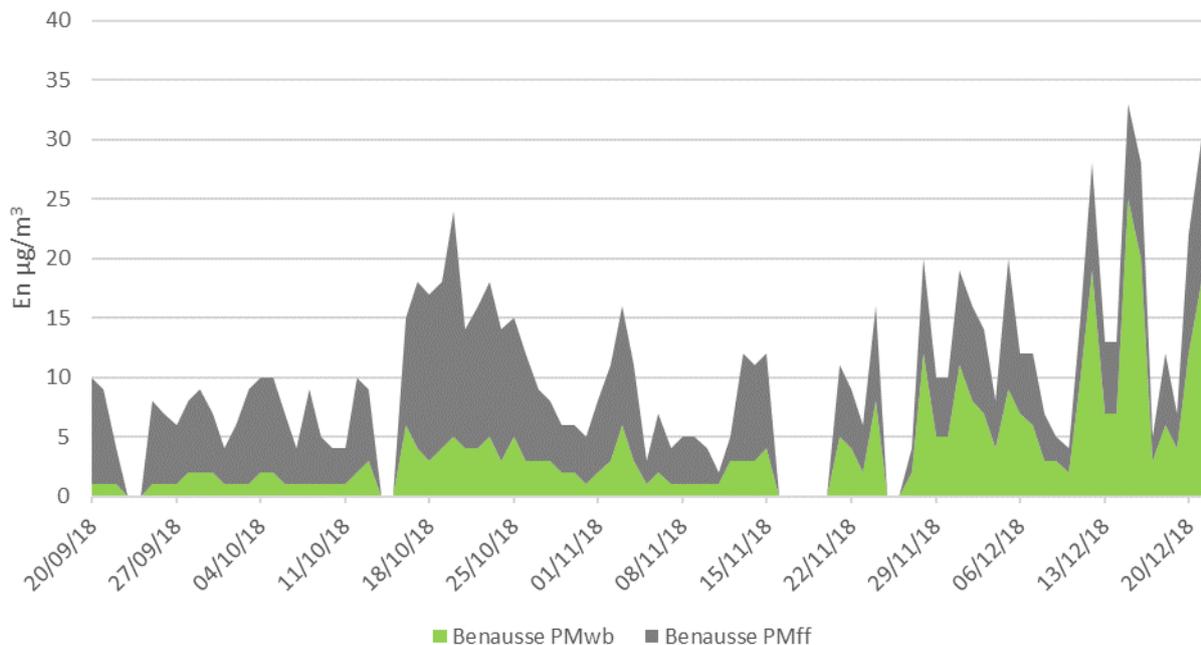
En hiver, la part des PMwb devient majoritaire mais de manière moins évidente qu'à Marseille / Fourragère.

Figure 21 : Contribution des PMwb et PMff en été et en hiver à Marseille / Kaddouz



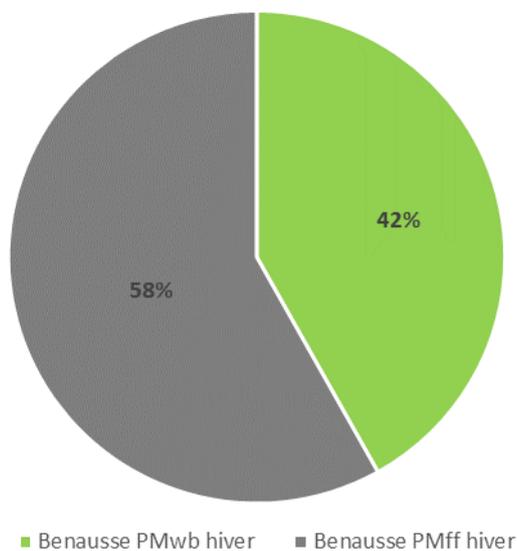
La station de Marseille / Benausse a mesuré le BC du 20 septembre au 22 décembre 2018. On observe aussi la hausse des PMwb due à l'arrivée de l'hiver. Cependant, on peut noter une augmentation des PMff à partir du 17 octobre pendant une dizaine de jours. Cette hausse temporaire semble correspondre à l'ouverture de la L2 Nord et sera investiguée plus tard dans le document.

Figure 22 : Evolution des concentrations moyennes journalières en Black Carbon à la Marseille / Benausse



Sur sa période de mesure en grande partie hivernale, le site de la Marseille / Benausse montre une prédominance de la part des PMff, contrairement aux sites situés sur la L2 Est. Cela peut s’expliquer par sa proximité par rapport à la L2 Nord, émettrice de PMff, mais aussi par le type d’habitat environnant, moins pavillonnaire que sur la L2 Est et donc moins utilisateur de chauffage au bois.

Figure 23 : Contribution des PMwb et PMff en sur la période de mesure à la Marseille / Benausse



Le Black Carbon donne une bonne indication sur les sources prédominantes de particules fines dans l’atmosphère. Malgré la proximité des sites à la route, en hiver, la combustion de biomasse liée au chauffage au bois a un impact plus important sur les PM₁₀ que le trafic routier. Le reste du temps, c’est l’influence du trafic qui est plus marquée.

5.2.2 Caractérisation des dépassements de seuil en PM₁₀

Les dépassements journaliers en PM₁₀ sur les stations aux abords de la L2 sont répertoriés dans le tableau ci-dessous. Afin d'étudier les sources majoritaires de ces dépassements, les concentrations moyennes journalières des autres stations ont été ajoutées au tableau.

Tableau 7 : Liste des dépassements journaliers et concentrations en PM₁₀ aux abords de la L2 en µg/m³

Date	Marseille / Fourragère	Marseille / Kaddouz	Marseille / Benausse	Marseille / Jean Moulin	Marseille / Rabatau	Marseille / Longchamp
25/10/2016	59	-	-	97	89	66
18/01/2017	60	-	-	88	83	62
24/01/2017	59	-	-	75	69	61
25/01/2017	52	-	-	72	59	54
22/02/2018	-	53	-	55	55	51
23/02/2018	-	57	-	68	66	51
24/09/2018	-	44	51	49	44	36
01/10/2018	-	68	90	68	49	62
19/10/2018	-	32	58	50	47	24
20/10/2018	-	35	54	49	46	27
22/10/2018	-	37	57	48	47	29
23/10/2018	-	36	57	46	45	27
12/12/2018	-	36	57	50	48	31

► Marseille / Fourragère : La station a relevé 4 dépassements du seuil journalier de 50 µg/m³.

Une analyse des données de l'AE33 révèle que le 25 octobre (avant ouverture de la L2 Est), les particules fines issues de la combustion ne sont pas responsables du dépassement de seuil (faible contribution des PMwb et PMff). Il s'agit possiblement d'un épisode de poussières terrigènes local ou transfrontalier.

Les dépassements des 18, 24 et 25 janvier 2017 sont eux causés en grande partie par l'apport de PMwb comme le montre le tableau 8. La part des PMff est non négligeable (estimée entre 15 et 19%) mais n'est pas majoritaire.

Tableau 8 : Concentrations des PM₁₀, PMwb et PMff lors des dépassements à Marseille / Fourragère

Date	Marseille / Fourragère PM ₁₀	Marseille / Fourragère PMwb	Marseille / Fourragère PMff	%PMff dans PM ₁₀
25/10/2016	59	5	4	7%
18/01/2017	60	27	10	17%
24/01/2017	59	17	11	19%
25/01/2017	52	15	8	15%

Ces 4 journées de dépassement à Marseille / Fourragère sont aussi observables à Marseille / Longchamp et, au vu des données de l'AE33, sont plus imputables à des particules du chauffage au bois et d'autres origines qu'à la circulation automobile de la L2.

► **Marseille / Kaddouz : Depuis le début des mesures, 3 dépassements y ont été observés.**

Ceux des 22 et 23 février 2018 sont en plus grande partie dus aux PMwb qu'aux PMff mais les concentrations de ces dernières ne sont pas négligeables en comparaison.

Le 1^{er} octobre 2018, le mistral a causé une remise en suspension de particules terrigènes sur toute la ville de Marseille.

Tableau 9 : Concentrations des PM₁₀, PMwb et PMff lors des dépassements à Marseille / Kaddouz

Date	Marseille / Kaddouz PM ₁₀	Marseille / Kaddouz PMwb	Marseille / Kaddouz PMff	%PMff dans PM ₁₀
22/02/2018	53	15	9	18%
23/02/2018	57	12	10	18%
01/10/2018	68	1	5	8%

Les 3 dépassements de Marseille / Kaddouz ont été observés à Marseille / Longchamp et ont été causés, en majorité, par d'autres particules que celles issues du trafic.

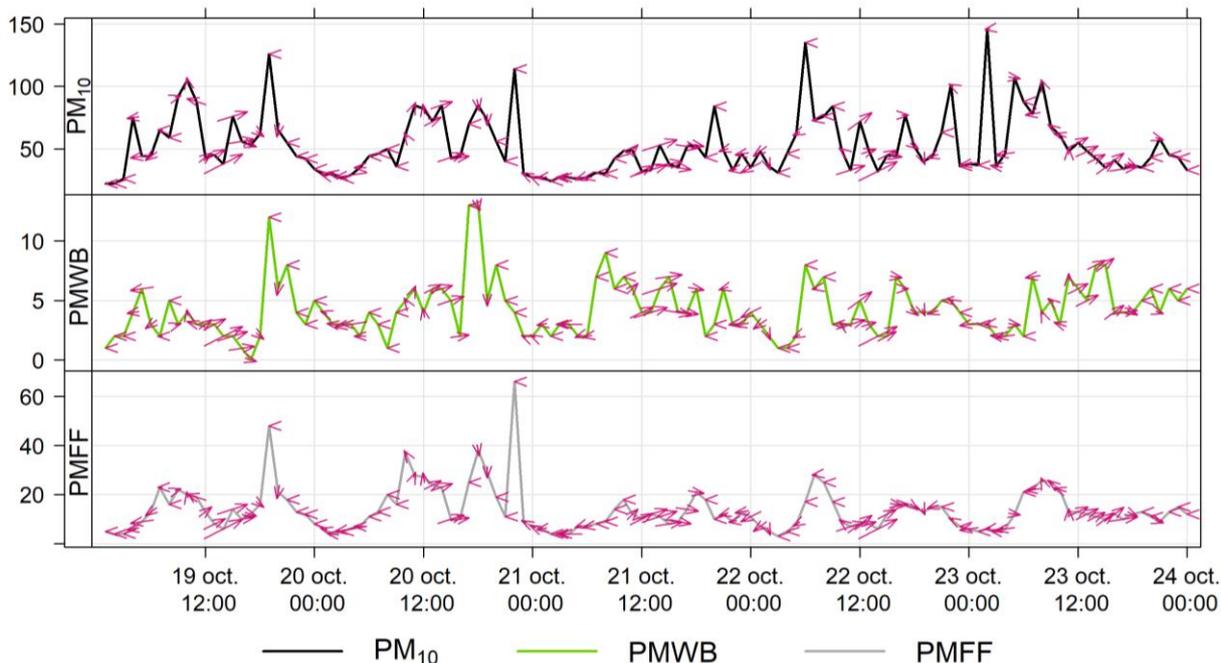
► **Marseille / Benausse : Dernière station mise en service, elle ne dénombre pas moins de 7 dépassements sur ses 3 mois de mesures.**

Le dépassement observé le 24 septembre est particulier car Marseille / Benausse est la seule station à l'avoir constaté et cela avant l'ouverture de la L2 Nord. L'AE33 a rencontré un problème technique ce jour-là et n'a pas mesuré de BC. Une hypothèse pour qualifier ce dépassement pourrait être les travaux à 3 semaines de l'ouverture de ce tronçon, émetteurs de PMff via les engins de chantiers, mais aussi émetteurs de poussières terrigènes par l'action mécanique des travaux. Cette dernière hypothèse semble plus réaliste, d'autant que ce 24 septembre, Marseille était sous l'influence de forts vents d'Ouest-Nord-Ouest (voir annexe 3, figure 60).

Le 1^{er} octobre, la concentration journalière de 90 µg/m³ a été causée par un épisode de poussières terrigènes généralisé sur la ville.

Les 4 dépassements des 19, 20, 22 et 23 octobre n'ont été observés sur aucune des autres stations considérées, pas même les « trafics ». Il s'agirait donc d'un phénomène localisé. La L2 Nord étant en pleine phase d'ouverture, des ralentissements et bouchons dus à ces premières journées de circulation ont possiblement contribué à ces dépassements. Les concentrations de PMff estimées valident les émissions liées au trafic routier comme source prédominante dans les particules issues de la combustion (tableau 10). Néanmoins, cela ne suffit pas à expliquer ces dépassements. Sur le graphe ci-dessous ont été tracés les concentrations horaires de PM₁₀, PMff et PMwb ainsi que les vitesses et directions de vents associés. On remarque que certains pics horaires ont une forte contribution de PMff, notamment les soirs des 19 et 20 octobre. Mais sur l'ensemble de la période, en particulier les 22 et 23, de nombreuses pointes horaires ne s'expliquent pas les particules issues de la combustion. Le fait que ces pointes soient associées à des régimes de vents très faibles suggèrent une source locale, possiblement des travaux sur le sens encore non ouvert de la L2, ou bien la remise en suspension des poussières des travaux par les véhicules. Certains pics se produisent pendant des épisodes de vents de Sud-Ouest soutenus avec une faible contribution des PMff et PMwb, la présence d'un terrain vague dans cette direction a pu être source de particules terrigènes.

Figure 24 : PM₁₀, PMwb, PMff et vents durant les dépassements du 19 au 23 octobre à Marseille / Benausse



Enfin le 12 décembre, bien que l'on estime à 9 µg/m³ la concentration des PMff, la part de combustion de biomasse est nettement majoritaire avec ses 19 µg/m³.

Tableau 10 : Concentrations des PM₁₀, PMwb et PMff lors des dépassements à Marseille / Benausse

Date	Marseille / Benausse PM ₁₀	Marseille / Benausse PMwb	Marseille / Benausse PMff	PMff dans PM ₁₀
24/09/2018	51	HS	HS	HS
01/10/2018	90	1	3	3%
19/10/2018	58	4	14	24%
20/10/2018	54	5	19	35%
22/10/2018	57	4	12	21%
23/10/2018	57	5	13	23%
12/12/2018	57	19	9	16%

Marseille / Benausse est donc la seule station en bordure de L2 qui aura enregistré des dépassements non constatés simultanément à Marseille / Longchamp. Grâce à l'AE33, force est de constater que 4 de ces dépassements sont plus à attribuer au trafic automobile qu'au chauffage au bois. Néanmoins, une grande partie de la masse des particules fines mesurées ces jours-là reste attribuable à d'autres sources que la combustion (outre les particules d'origines secondaires).

6. Evaluation de l'impact des ouvertures des tronçons Est et Nord de la L2 sur la qualité de l'air

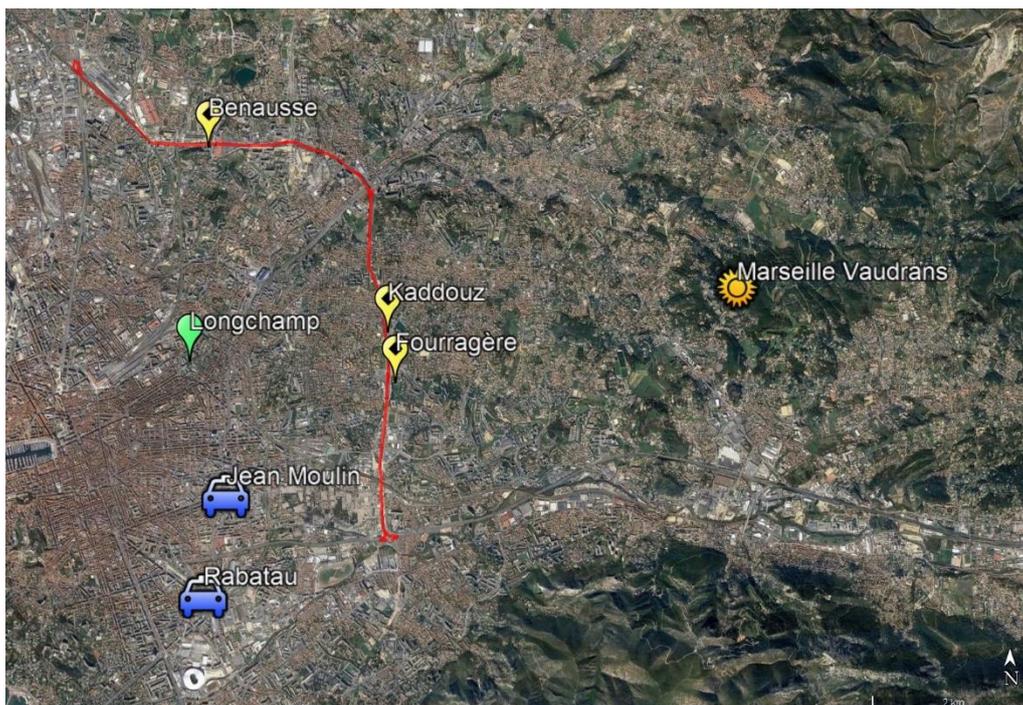
6.1 Impact du tronçon Est sur la qualité de l'air

Le tronçon Est a été mis en service le 29 novembre 2016. La station de mesure de la qualité de l'air Marseille / La Fourragère est située à environ 70 mètres de la route, dans le jardin d'un particulier, à l'Est de cet axe. Ses données seront donc utilisées afin d'investiguer l'influence de ce tronçon sur la qualité de l'air. Pour rappel, la partie Est de la L2 doit agir comme voie de contournement de Marseille et devrait entraîner un délestage des Boulevards Jean Moulin et Sakakini. La station Marseille / Jean Moulin servira donc à mettre en évidence un éventuel impact sur cet axe.

6.1.1 Paramètres météorologiques

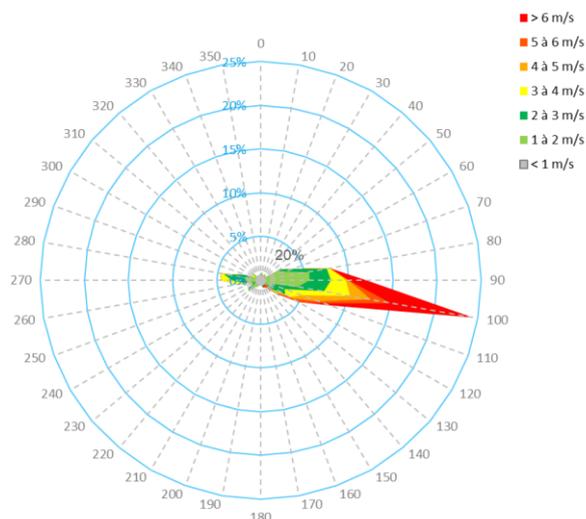
Les paramètres météo jouent un rôle important sur la qualité de l'air : des pluies et des vents forts auront tendance à nettoyer l'atmosphère (en plaquant les polluants au sol ou en les dissipant). Des vents faibles et l'absence de précipitations vont au contraire laisser la pollution s'installer. La station météorologique considérée pour cette étude est un site de Météo France nommé « Vaudrans », dans le secteur de la Valentine, visible ci-dessous.

Figure 25 : Position du site météo France par rapport aux sites de mesures d'AtmoSud



Sur une période de 7 jours avant et après l'ouverture de la L2 Est (du 22/11 au 06/12), les vents prédominants étaient d'origine Est-Sud-Est comme le montre la rose en figure 26. La station étant à l'Est de la rocade, elle n'était donc pas sous ces vents majoritaires. Quelques vents venant d'entre 240 et 290° ont néanmoins pu rabattre la pollution vers la station. De plus, 20 % des vents étaient inférieurs à 1 m/s, rendant propice la stagnation des polluants autour de l'axe. Les vitesses moyennes journalières des vents de la période sont listées en annexe 3, figure 57. Les précipitations étaient absentes sur la période, sauf le 24 novembre où il est tombé 2 mm de pluie.

Figure 26 : Rose des vents – station Vaudrans – 22/11/16 au 06/12/16



Sur la période de mesure de Marseille / Fourragère après ouverture de la L2, la rose des vents ci-dessous montre une grande proportion de vents d'Ouest qui auront eu tendance à orienter la pollution de la L2 vers le point de mesure.

Figure 27 : Rose des vents – station Vaudrans – 29/11/16 au 30/05/17

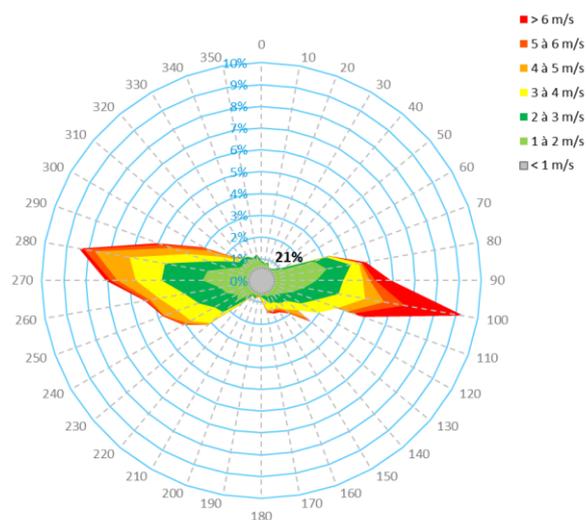
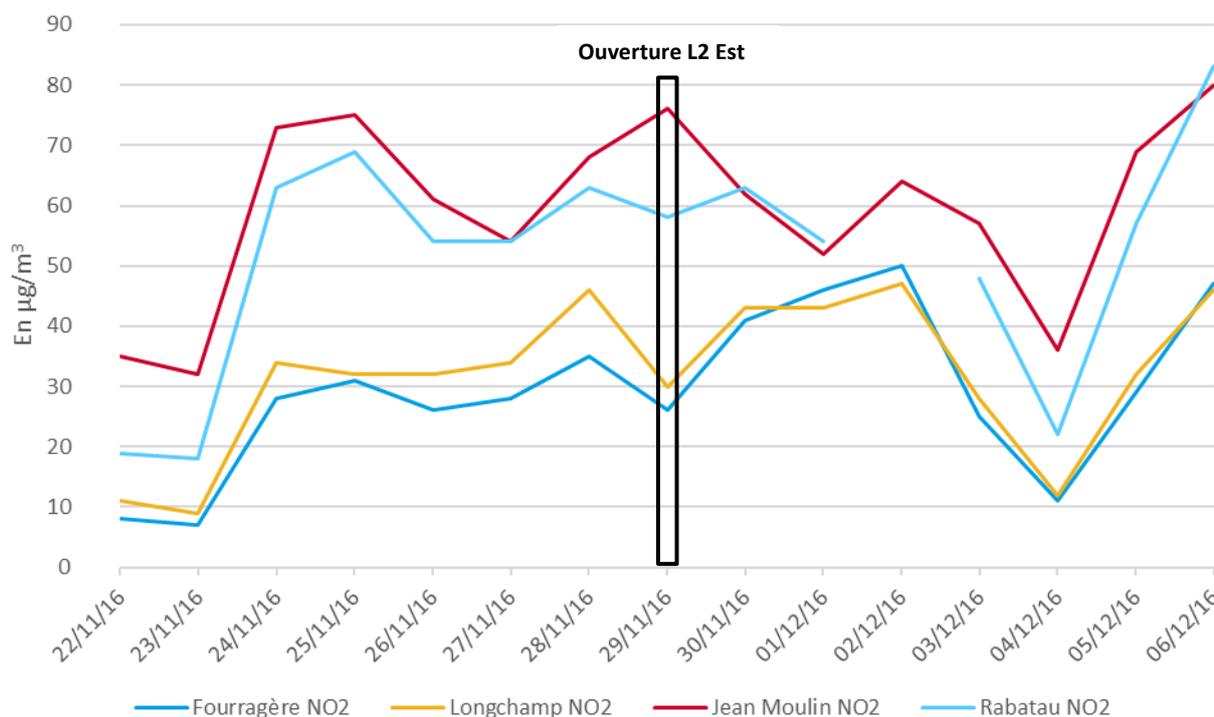


Figure 28 : Evolution des concentrations moyennes journalières en NO₂ à Marseille / Fourragère 7 jours avant et après l'ouverture de la L2 Est



Le 29 novembre est le jour d'ouverture de la L2 Est. Les vents sont plus forts que les jours précédents (annexe 3, figure 57) et exclusivement d'origine Est. La station n'a pas mesuré de niveaux plus élevés que les jours précédents. Sur les 7 jours suivants, la station Marseille / Fourragère enregistre une hausse des concentrations moyenne en NO₂ de 12 µg/m³ soit une augmentation moyenne de 53 % par rapport aux 7 jours précédents. C'est plus que les autres stations du réseau de surveillance de Marseille (tableau 11).

Tableau 11 : Concentrations moyennes du NO₂ en µg/m³, mesurées 7 jours avant et après l'ouverture du tronçon Est

	Marseille / Fourragère NO ₂	Marseille / Longchamp NO ₂	Marseille / Jean Moulin NO ₂	Marseille / Rabatau NO ₂
Moyenne 7J avant	23	28	57	49
Moyenne 7J après	36	36	60	55
Ecart	+ 12 µg/m³ ; 53%	+8 µg/m ³ ; 27%	+3 µg/m ³ ; 6%	+6 µg/m ³ ; 12%

Le même constat peut être fait sur la totalité de la période de mesure du NO₂ à Marseille / Fourragère comme le montre la figure 29 et le tableau 12. Entre les 6 mois avant l'ouverture et les 6 mois après l'ouverture, Marseille / Fourragère mesure en moyenne 12 µg/m³ de plus alors que Marseille / Longchamp croît de 4 µg/m³. En comparaison, les écarts mesurés sur les stations trafic sont négligeables.

Les pics journaliers de NO₂ sont principalement observés les jours de vents faibles, comme les 18 et 19 janvier où 50% des vents mesurés avaient une vitesse inférieure à 1 m/s. A l'inverse, les journées de basses concentrations en NO₂ sont associées à des vents forts (du 23 au 26 mars) venant de l'Est (voir annexe 3, figure 58 et 59). D'autres « creux » peuvent correspondre à des dimanches.

Figure 29 : Evolution des concentrations journalières de NO₂ à Marseille / Fourragère et Marseille / Longchamp et leur interpolation linéaire

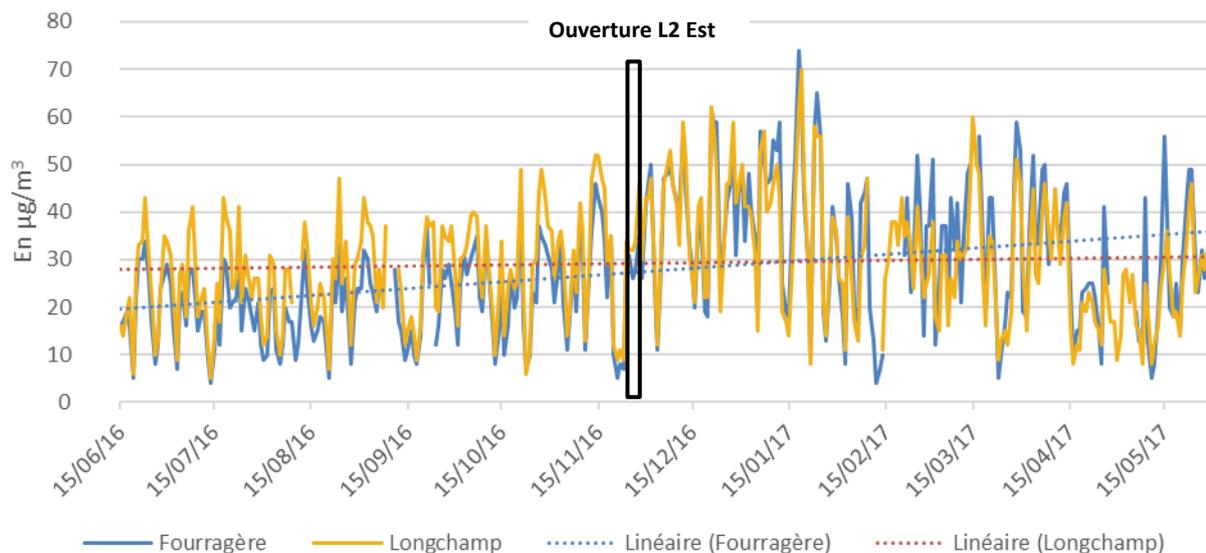
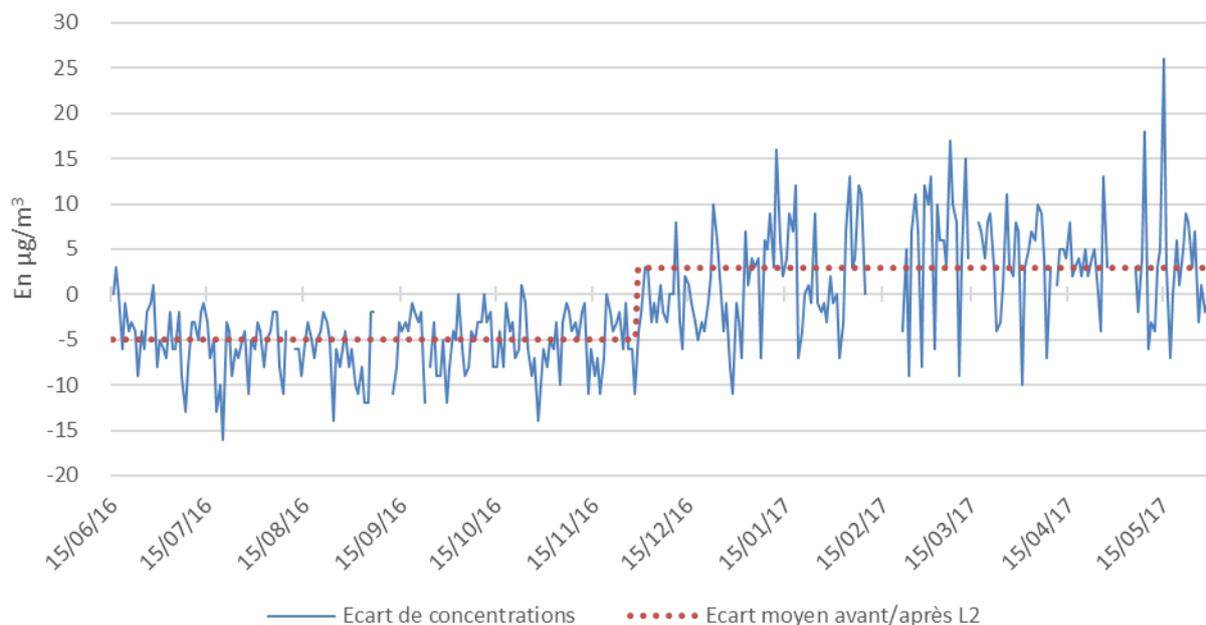


Tableau 12 : Concentrations moyennes du NO₂ en µg/m³, mesurées 6 mois avant et après l'ouverture du tronçon Est

	Marseille / Fourragère NO ₂	Marseille / Longchamp NO ₂	Marseille / Jean Moulin NO ₂	Marseille / Rabatau NO ₂
Moyenne avant L2	21	27	50	53
Moyenne après L2	34	31	52	52
Ecart	+ 12 µg/m³ ; 57%	+ 4 µg/m ³ ; 16%	+ 2 µg/m ³ ; 4%	- 1 µg/m ³ ; 2%

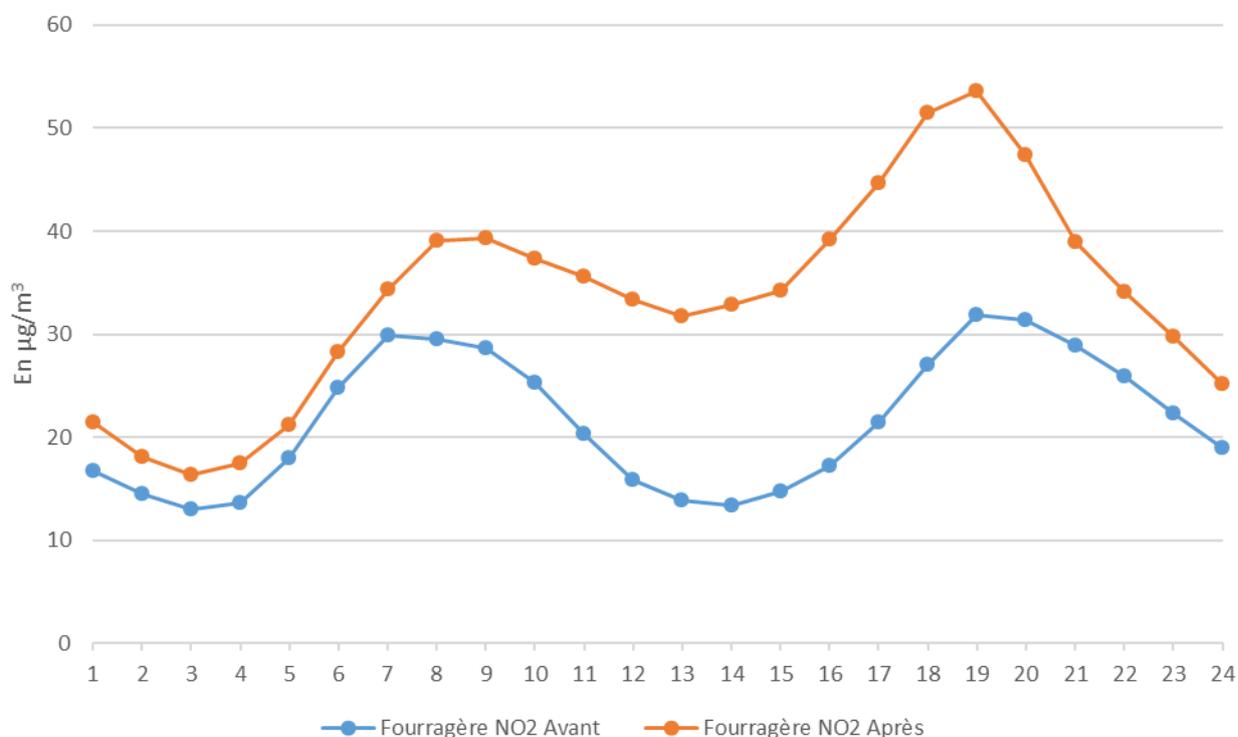
Sur la figure 30, les écarts des concentrations moyennes journalières de dioxyde d'azote entre Marseille / Fourragère et Marseille / Longchamp s'inversent après l'ouverture de la L2. Marseille / Fourragère affiche désormais des niveaux supérieurs de +3 µg/m³ à ceux de Marseille / Longchamp, alors que la moyenne de cet écart était de -5 µg/m³ avant la mise en service de la rocade.

Figure 30 : Ecart relatif des concentrations de NO₂ entre Marseille / Fourragère et Marseille / Longchamp



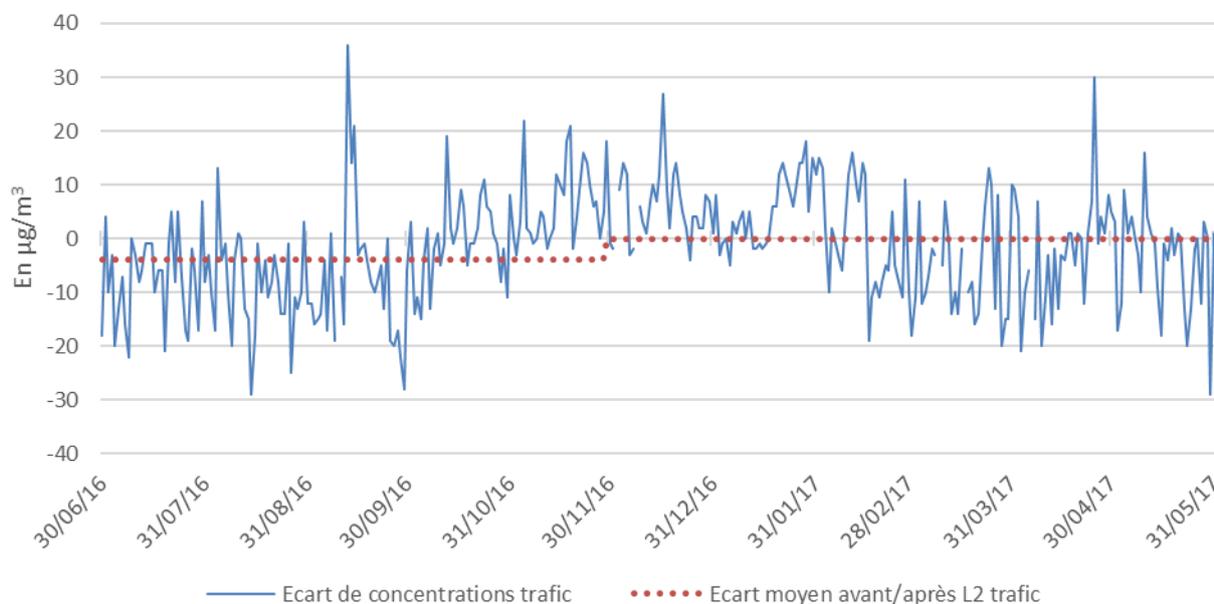
Le profil journalier moyen des concentrations en dioxyde d’azote à Marseille / Fourragère, visible en figure 31, montre un écart notable avant et après l’ouverture de la L2. A 19h00 en TU (heure la plus polluée par le NO₂ sur le graphe), la concentration était d’en moyenne 32 µg/m³ avant et monte à 54 µg/m³ après. Cet écart n’est cependant pas imputable uniquement au trafic routier mais aussi aux conditions météorologiques. En effet, la courbe « avant » correspond majoritairement à des mesures réalisées en été et la courbe « après » à celles en hiver. Cette dernière affiche donc la hausse des concentrations dues à la L2 et à la stabilité climatique de l’hiver.

Figure 31 : Profil journalier moyen par heure des concentrations en NO₂ à Marseille / Fourragère avant et après ouverture de la L2 Est



A la suite de l'ouverture de la L2, la station Marseille / Jean Moulin ne met pas en évidence une forte baisse des concentrations du NO₂. L'écart moyen des concentrations entre Marseille / Jean Moulin et Marseille / Rabatau était de - 4 µg/m³ en faveur de Marseille / Rabatau avant l'ouverture de la L2 Est et il passe à 0 µg/m³ après son ouverture.

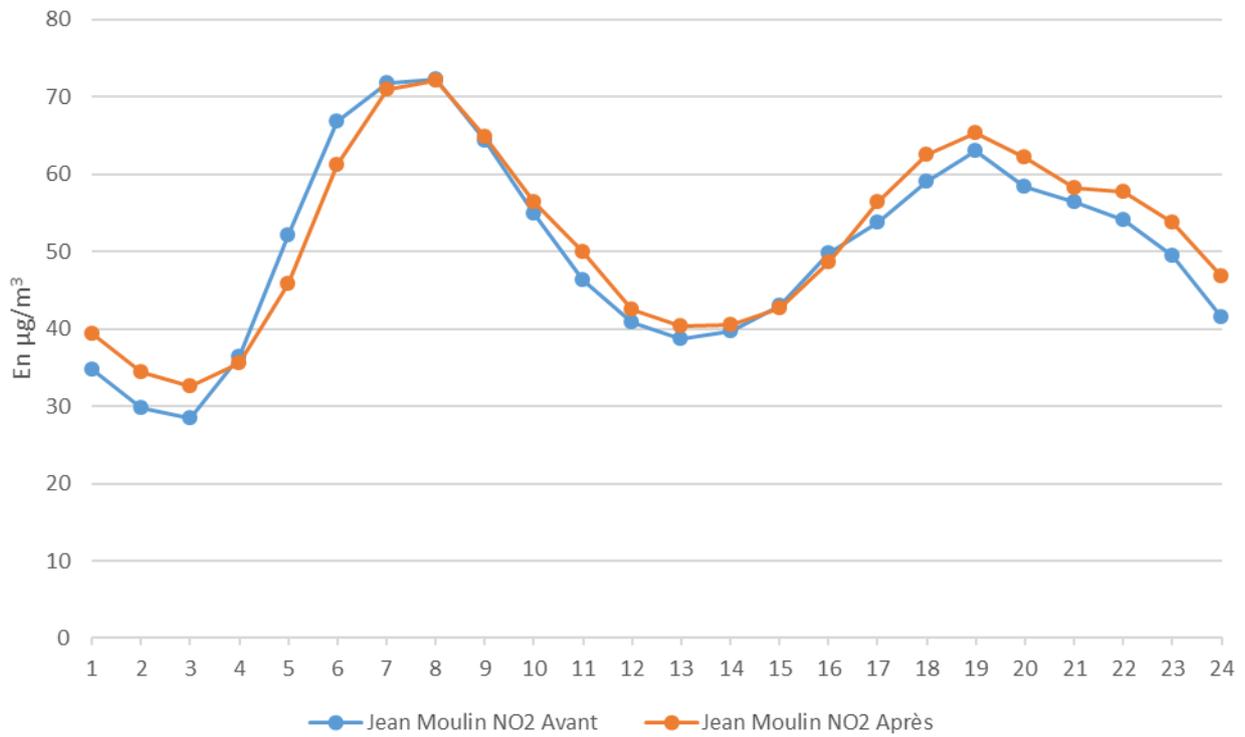
Figure 32 : Ecart relatif des concentrations de NO₂ entre Marseille / Jean Moulin et Marseille / Rabatau



Le constat est le même sur les profils journaliers moyens avant et après de Marseille / Jean Moulin, visible ci-dessous¹⁰, qui sont quasi identiques.

¹⁰ Profil réalisé sur la période de mesure de la Fourragère

Figure 33 : Profil journalier moyen par heure des concentrations en NO₂ à Jean Moulin avant et après ouverture de la L2 Est



L'ouverture de la L2 Est est donc visible sur les concentrations de dioxyde d'azote à Marseille / Fourragère, que ce soit sur les moyennes journalières ou les profils journaliers. A 1^{ère} vue, il n'apparaît pas d'amélioration notable sur le boulevard Jean Moulin, mais les conditions météorologiques ont pu jouer un rôle dans ce constat.

6.1.3 Une augmentation moins visible sur les particules fines

► Comparaison 7 jours avant / 7 jours après ouverture de la L2

Après l'ouverture du tronçon Est, on observe une hausse des concentrations en PM_{10} (figure 34, courbe bleue) durant plusieurs jours (du 30 novembre au 2 décembre). Cette augmentation est aussi observable à Marseille / Longchamp et, au regard de la dynamique des PM_{10} et PM_{wb} , on remarque qu'elle est plus attribuable aux PM_{wb} qu'aux PM_{ff} . Le tableau 13 confirme ces observations : la concentration moyenne des PM_{wb} sur les 7 jours suivants double.

Figure 34 : Evolution des concentrations moyennes journalières en PM_{10} , PM_{wb} et PM_{ff} à Marseille / Fourragère 7 jours avant et après l'ouverture de la L2 Est

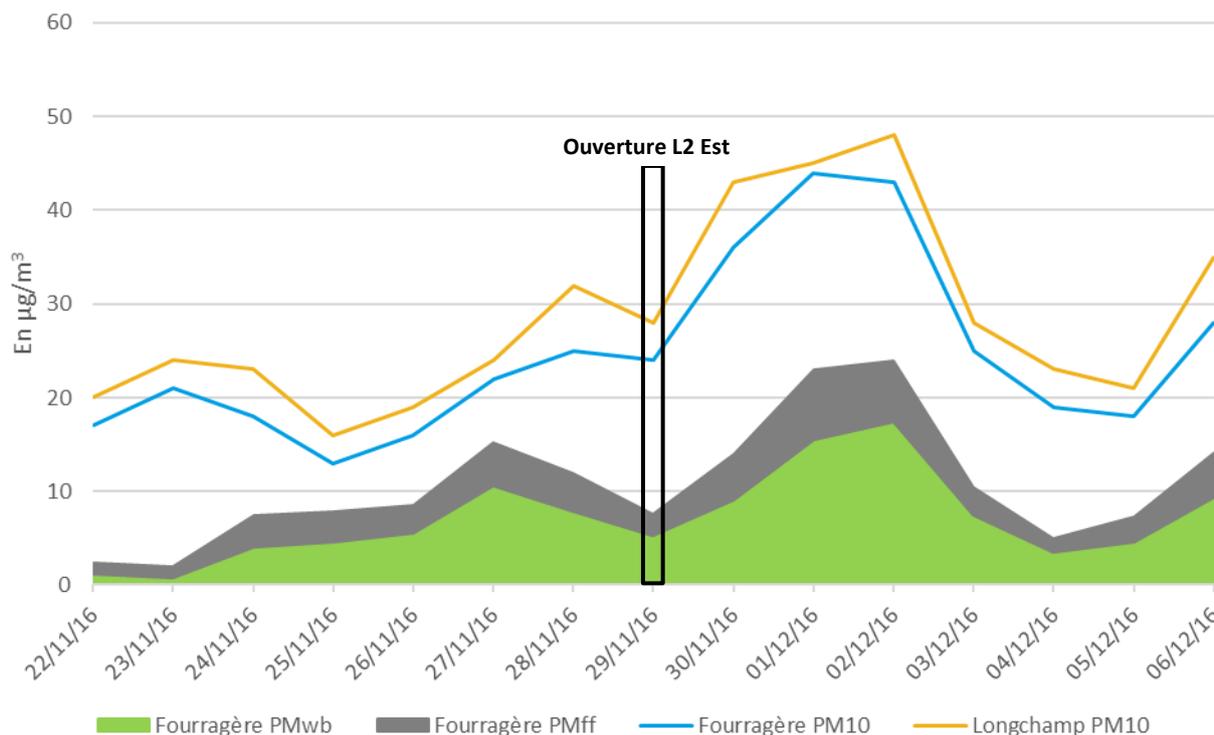


Tableau 13 : Concentrations moyennes des PM_{10} , PM_{wb} et PM_{ff} en $\mu g/m^3$ à Marseille / Fourragère 7 jours avant et après l'ouverture de la L2 Est

	Marseille / Fourragère PM_{10}	Marseille / Longchamp PM_{10}	Marseille / Fourragère PM_{wb}	Marseille / Fourragère PM_{ff}
Moyenne 7J avant	19	23	5	3
Moyenne 7J après	30	35	10	4
Ecart	+ 12 $\mu g/m^3$ / 61%	+ 12 $\mu g/m^3$ / 54%	+ 5 $\mu g/m^3$ / 94%	+ 1 $\mu g/m^3$ / 49 %

► **Comparaison 6 mois avant / 6 mois après ouverture de la L2**

Il n'est ici pas pertinent de calculer la moyenne des PM₁₀ avant et après ouverture de la L2 pour essayer de mettre son impact en évidence, cela ne ferait que montrer la saisonnalité été/hiver.

Les concentrations en PMwb montrent une augmentation plus forte à Marseille / Fourragère qu'à Marseille / Longchamp, conséquence de son environnement plus pavillonnaire, logements usant du chauffage au bois. L'ouverture de la L2 n'impacte à priori pas ce paramètre.

Figure 35 : Evolution des concentrations moyennes journalières en PM₁₀, PMwb et PMff à Marseille / Fourragère

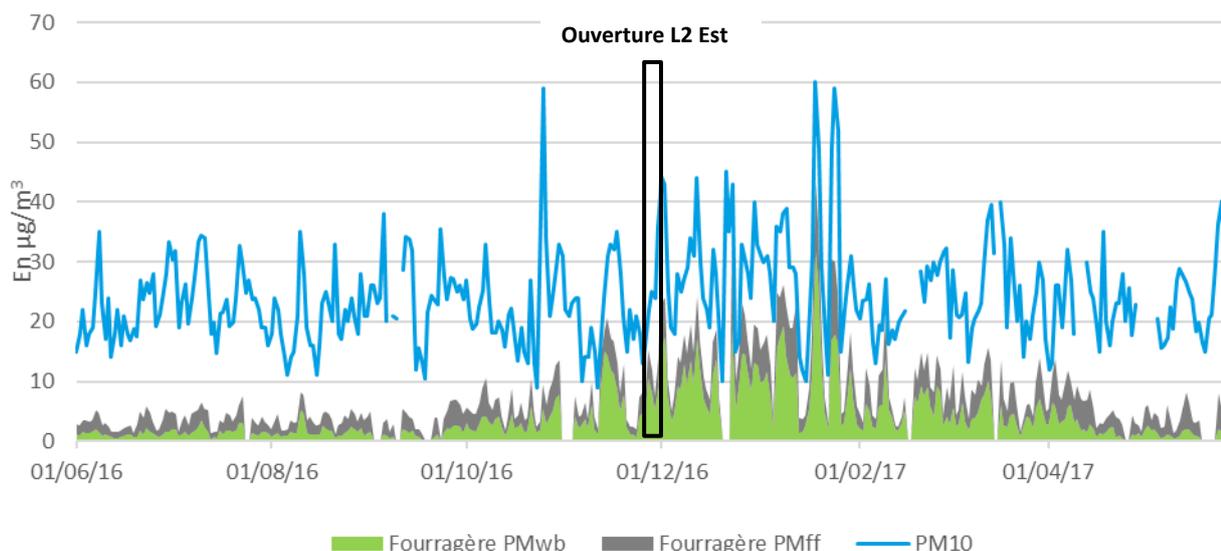


Tableau 14 : Concentrations moyennes des PMff et PMwb en µg/m³ à Marseille / Fourragère et Marseille / Longchamp avant et après l'ouverture du tronçon EST

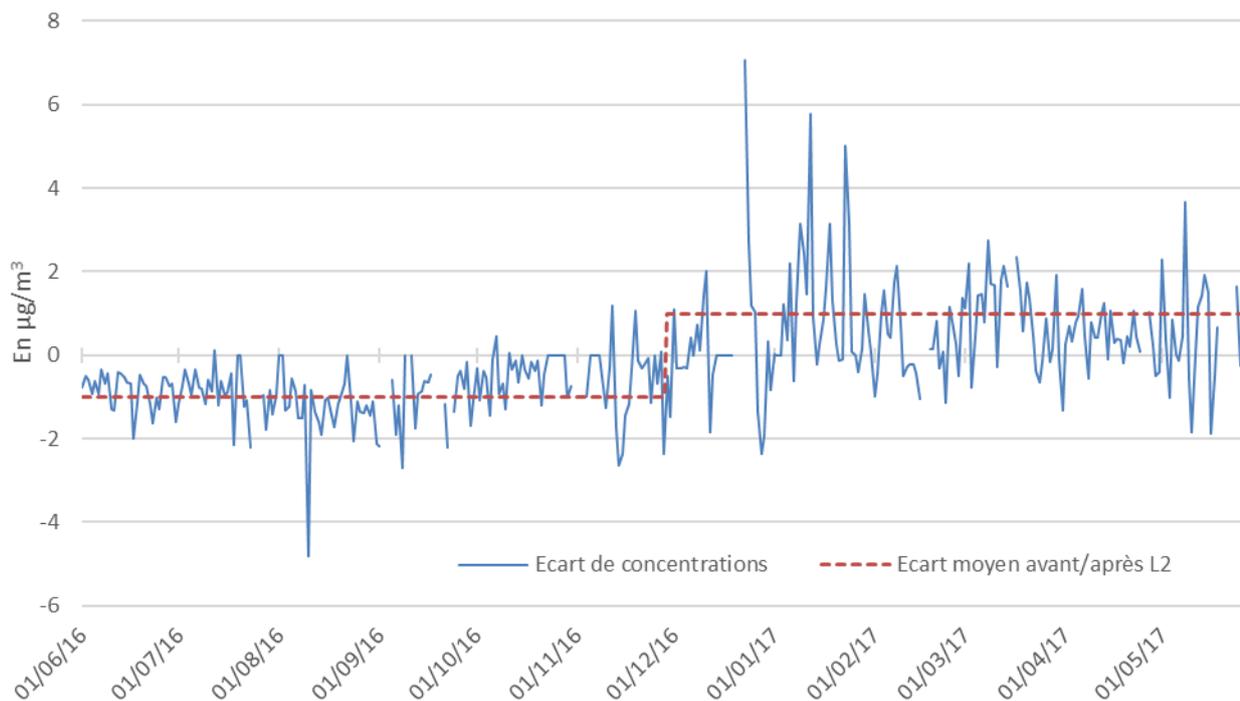
	Marseille / Fourragère PMff	Marseille / Longchamp PMff	Marseille / Fourragère PMwb	Marseille / Longchamp PMwb
Moyenne 6 mois avant L2	3	4	2	2
Moyenne 6 mois après L2	4	4	6	4
Ecart¹¹	+ 2 µg/m ³ ; 68 %	+ 0 µg/m ³ ; 5 %	+ 4 µg/m ³ ; 147 %	+ 2 µg/m ³ ; 82 %

La figure 36 montre l'évolution de l'écart des concentrations en PMff entre Marseille / Fourragère et Marseille / Longchamp. Durant les 6 mois précédents l'ouverture de la L2, les PMff à Marseille / Fourragère sont en moyenne 1 µg/m³ en dessous des PMff à Marseille / Longchamp. La tendance semble s'inverser à l'ouverture de la L2 : sur les 6 mois suivants, les concentrations sont supérieures de 1 µg/m³ en moyenne à Marseille / Fourragère. Cette tendance est aussi visible sur les moyennes mensuelles (annexe 3, figure 56).

Un écart maximal ponctuel de 7 µg/m³ entre les deux stations est observable un mois après ouverture de la rocade Est. Il correspond à la journée du 24 décembre 2016, génératrice d'un fort trafic. De plus, les vents de cette journée étaient exclusivement d'origine Ouest à Nord-Ouest, poussant les polluants de la L2 vers la station de mesure. A l'inverse, les jours où les vents sont quasi-exclusivement d'origine Est, les concentrations en PMff sont plus faibles à Marseille / Fourragère qu'à Marseille / Longchamp, comme le 31 mars ou le 10 mai 2017.

¹¹ L'écart a été estimé à partir des valeurs non arrondies de PMff et PMwb

Figure 36 : Ecart des concentrations journalières en PM_{ff} entre Marseille / Fourragère et Marseille / Longchamp



Avec les PM₁₀ comme seule information, il serait impossible d'estimer l'impact de la rocade Est sur les concentrations de ce polluant, notamment à cause de leur grande variabilité saisonnière et des nombreuses sources potentielles. Grâce à la mesure du Black Carbon, nous avons pu estimer les contributions du chauffage au bois et des véhicules séparément. L'ouverture de la L2 semble avoir un impact sur les niveaux de PM_{ff} mesurés mais il est faible comparé à la contribution des PM_{wb} du chauffage au bois durant l'hiver. Selon l'orientation et la vitesse du vent, il arrive que les concentrations en PM_{ff} soient plus élevées Marseille / Longchamp qu'à Marseille / Fourragère.

6.2 Impact de l'ouverture du tronçon Nord sur la qualité de l'air

La partie Nord de la L2 a été mise en service en deux temps :

- Le 17 octobre 2008 dans le sens A7-A50
- Du 23 au 25 octobre 2018 dans le sens A50-A7.

La station qui devrait être la plus impactée par cette partie de la L2 est Marseille / Benausse.

Néanmoins, l'ouverture de la L2 Nord devrait aussi entraîner une hausse du trafic sur la partie Est, qui ne pouvait être pleinement exploitée avant cela. Les mesures de la station de Marseille / Kaddouz seront donc aussi examinées. Celles de Marseille / Jean Moulin serviront de nouveau à étudier une baisse éventuelle du trafic sur le boulevard du même nom.

Pour rappel, les données horaires sont calculées en temps universel (TU). Le changement d'heure s'étant opéré le 28 octobre 2018, un décalage pourra être mis en évidence sur les figures avant/après présentant des moyennes horaires.

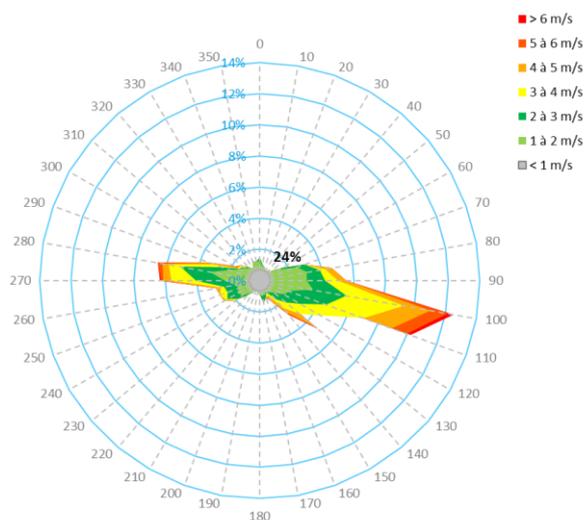
6.2.1 Paramètres météorologiques

Les conditions météo après ouverture de la L2 sont visibles ci-dessous. Les vents majoritaires venaient de l'Est-Sud-Est ou bien de l'Ouest.

La L2 étant couverte en cet endroit, avec une trémie aéraulique au Nord immédiat de la station, ces vents n'ont pas nécessairement rabattu la pollution sur le point de mesure.

Néanmoins, 23 % de vents de vitesse inférieure à 1 m/s ont été mesurés, laissant possiblement les polluants stagner autour de leur source.

Figure 37 : Rose des vents – station Vaudrans – 17/10/18 au 31/12/18

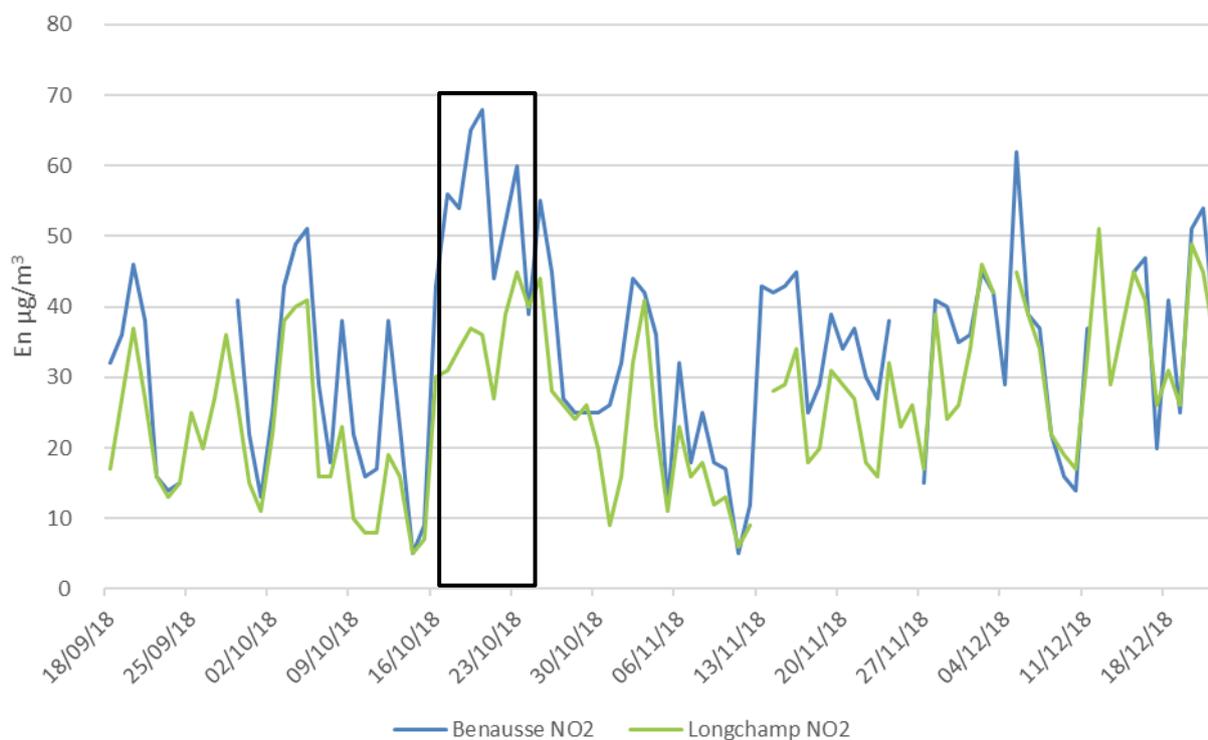


6.2.2 Hausse des concentrations en dioxyde d'azote durant quelques jours après l'ouverture de la L2 Nord

Mesuré à Marseille / Benausse, le dioxyde d'azote montre une bonne corrélation journalière avec la station de Marseille / Longchamp avant l'ouverture de l'autoroute. Puis les concentrations augmentent fortement à partir du 17 octobre 2018. Cette hausse, visible sur la figure 38, s'estompe peu après l'ouverture du 2^e sens de la L2. La période du 17 au 25 octobre 2018 est marquée par le cadre noir.

Pour mémoire, la station de Marseille / Benausse a été mise en place le 14 septembre 2018.

Figure 38 : Evolution des concentrations moyennes journalières en NO₂ à Marseille / Benausse et Marseille / Longchamp sur la période de mesure de Marseille / Benausse



Sur les 3 mois de mesure, la station Marseille / Benausse voit les concentrations moyennes de dioxyde d'azote augmenter, mais cette hausse se produit aussi à Marseille / Longchamp, où elle est même plus prononcée comme le montre le tableau 15.

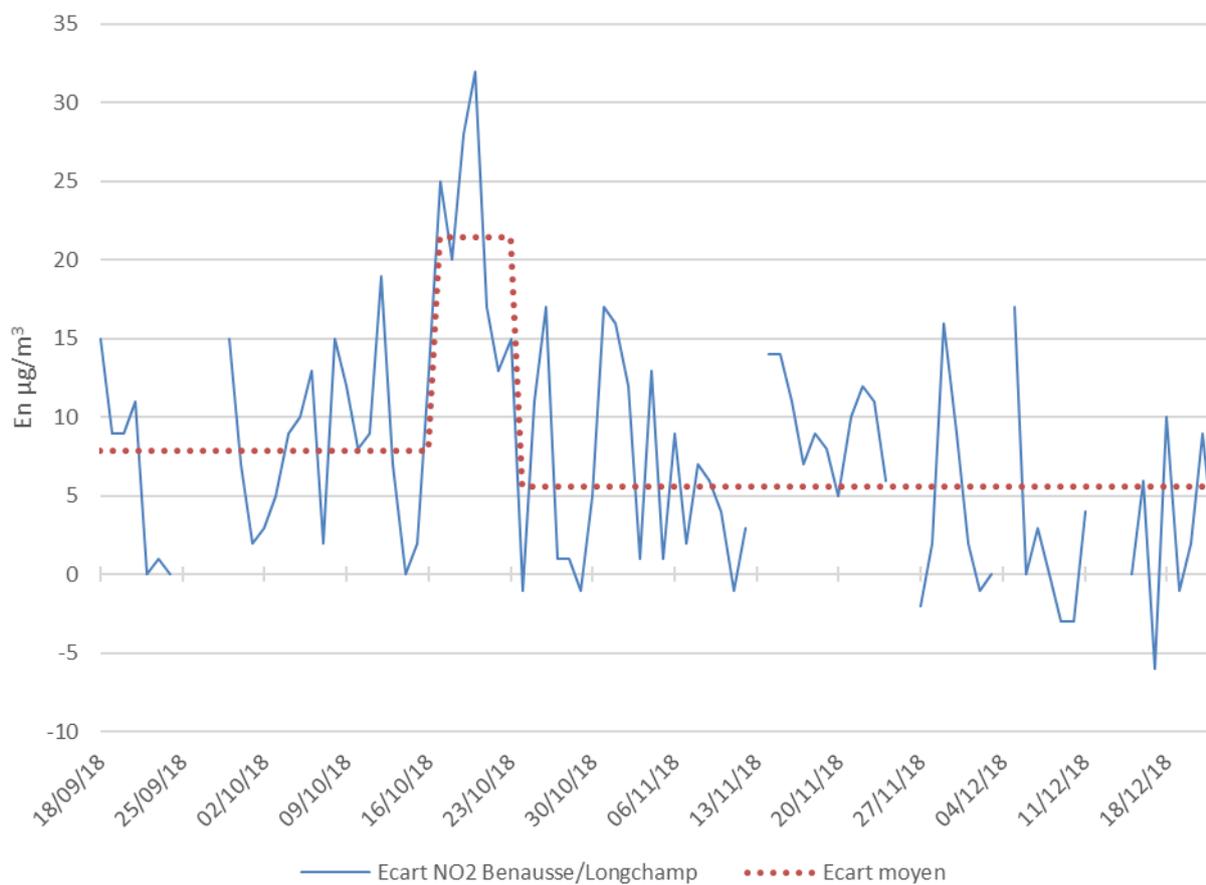
Tableau 15 : Moyennes du NO₂ en µg/m³, sur les stations avant et après l'ouverture du tronçon Nord, sur la période de mesure de Marseille / Benausse

	Marseille / Benausse NO ₂	Marseille / Longchamp NO ₂	Marseille / Kaddouz NO ₂	Marseille / Jean Moulin NO ₂	Marseille / Rabatau NO ₂
Moyenne avant	28	21	32	52	53
Moyenne du 17 au 23 octobre	57	36	45	59	63
Moyenne après	33	28	36	50	46
Ecart (après – avant)	+ 5 / 18%	+ 7 / 33%	+ 4 / 13%	- 2 / 4%	- 7 / 13%

L'écart relatif du NO₂ entre Marseille / Benausse et Marseille / Longchamp, visible sur la figure ci-dessous, met en évidence la hausse des concentrations à la station Marseille / Benausse à l'ouverture de la L2.

Néanmoins, après ce pic de plusieurs jours, l'écart se réduit et ressemble à ce que l'on pouvait voir avant : l'écart moyen est même plus faible.

Figure 39 : Ecart des concentrations moyennes journalières de NO₂ entre Marseille / Benausse et Marseille / Longchamp



Le profil journalier moyen de ces concentrations avant, pendant, et après l'ouverture de la L2 Nord est visible sur la figure 40.

Durant la phase du 17 au 23 octobre, les concentrations moyennes sont élevées et dépassent ce que l'on observe à Marseille / Jean Moulin aux alentours de 18h00, visible en figure 41. Après cela, le profil journalier moyen est comparable à celui observé avant ouverture de la L2.

Figure 40 : Profil journalier moyen des concentrations en NO₂ à Marseille / Benausse avant, pendant, et après ouverture de la L2 Nord

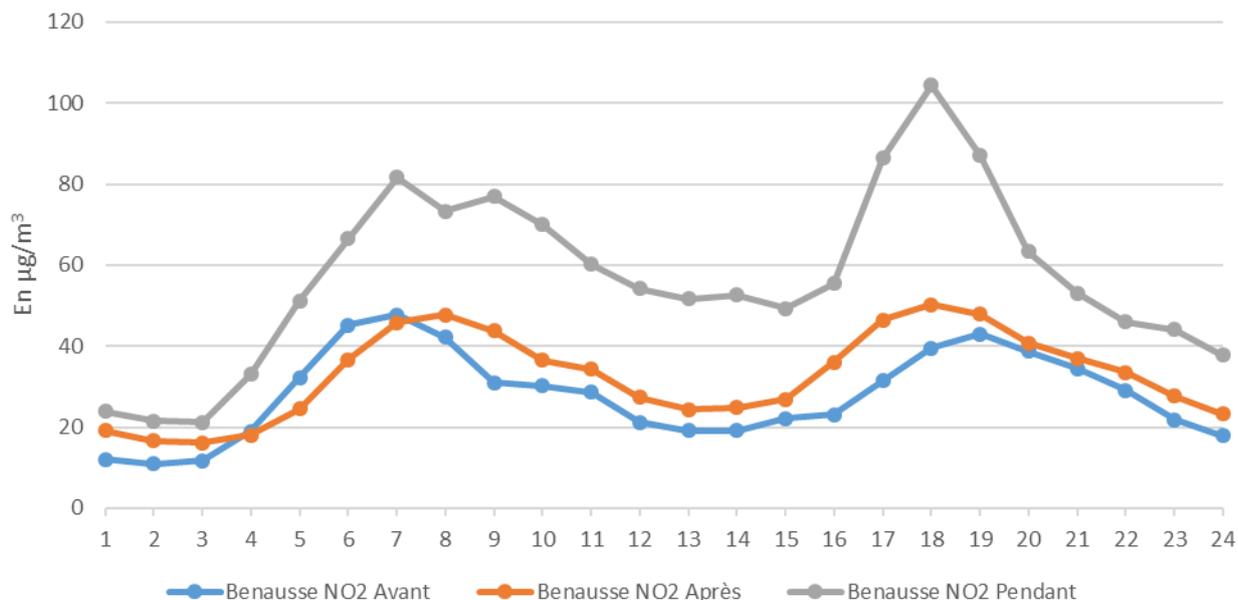
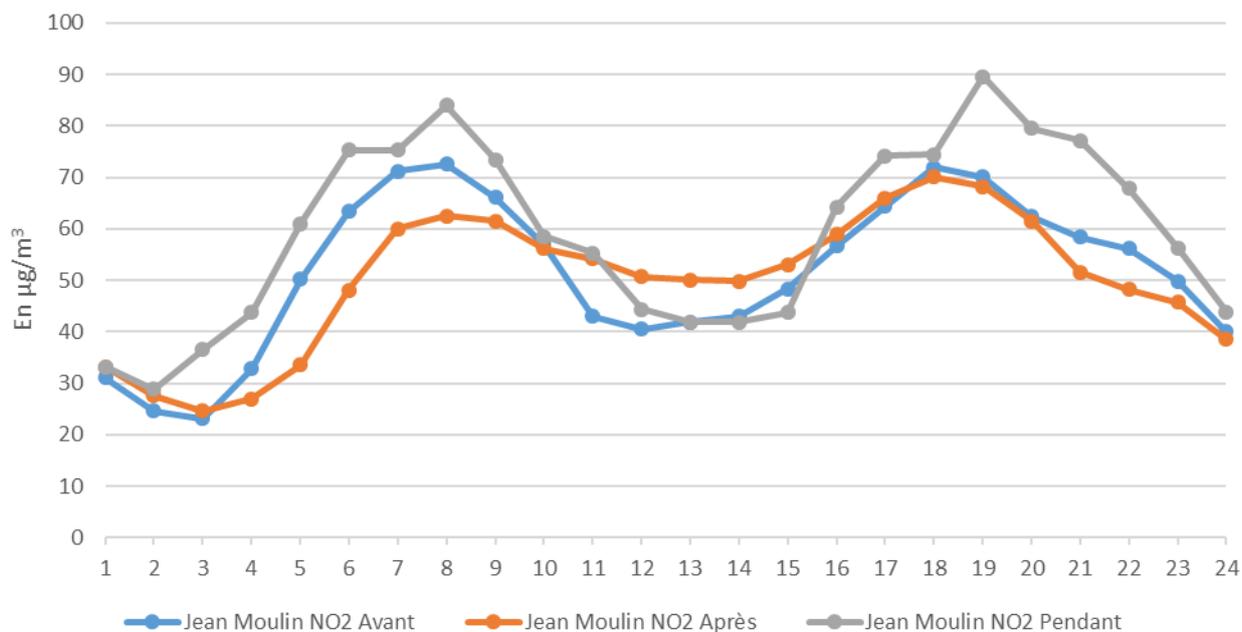
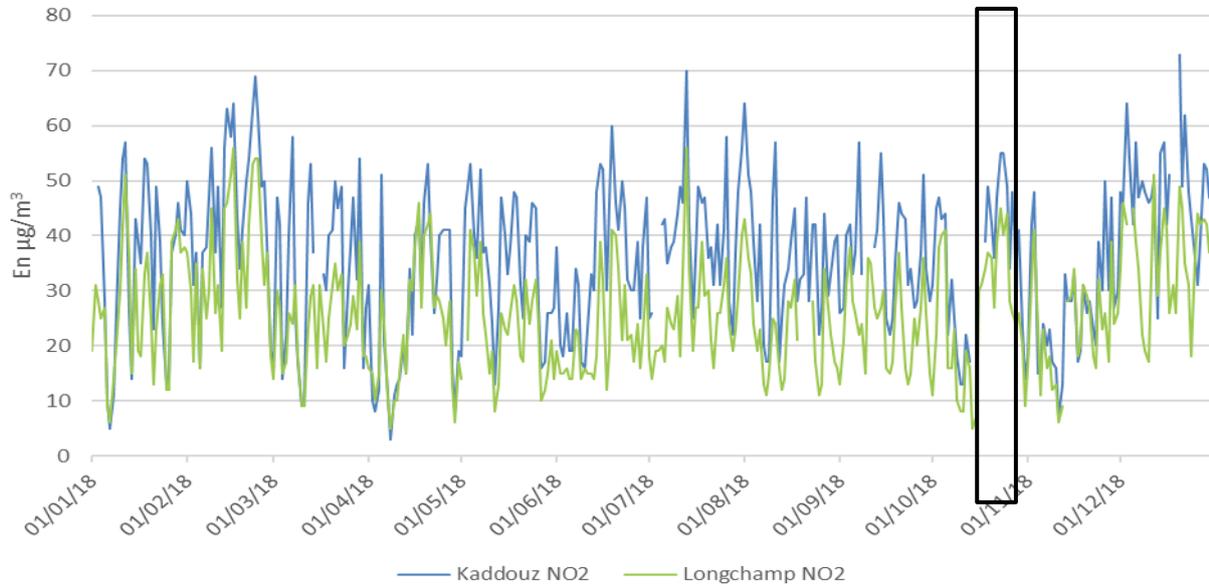


Figure 41 : Profil journalier moyen des concentrations en NO₂ à Marseille / Jean Moulin avant, pendant et après ouverture de la L2 Nord



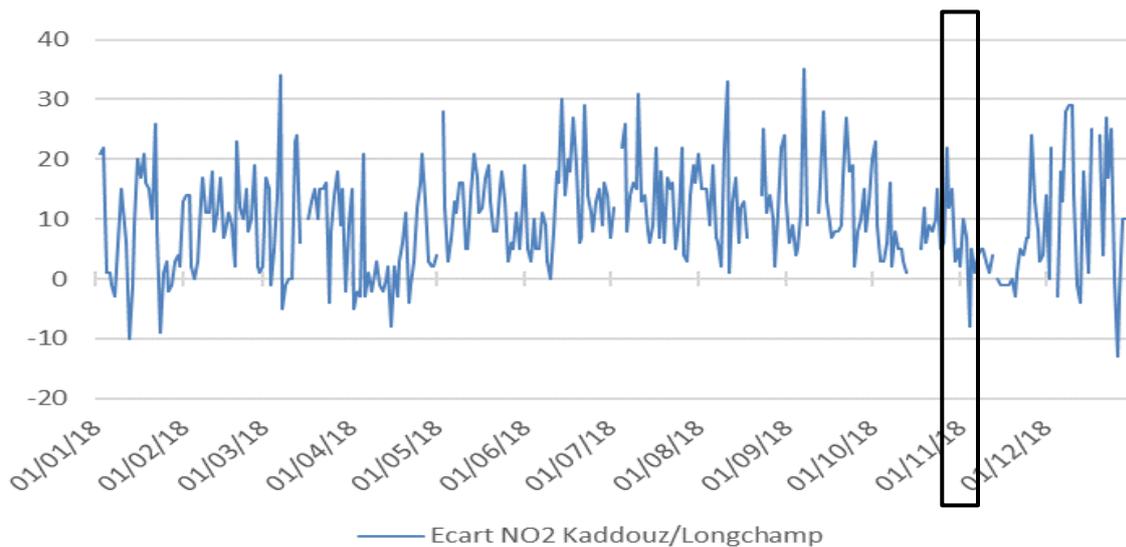
Afin d'avoir une vision plus étendue du potentiel impact de la L2 sur les concentrations de NO₂, la figure 42 montre ces valeurs sur une année entière à Marseille / Kaddouz ainsi qu'à Marseille / Longchamp. A première vue, l'ouverture de la L2 Nord n'a pas eu d'impact immédiat sur les concentrations journalières de NO₂ mesurées au niveau de la station Marseille / Kaddouz. On observe même une forte baisse des concentrations durant le mois de novembre due à de forts vents de Sud-Est, qui seront détaillés dans la partie suivante (6.2.3 Les particules fines, figure 51).

Figure 42 : Evolution des concentrations moyennes journalières en NO₂ à Marseille / Kaddouz et Marseille / Longchamp en 2018



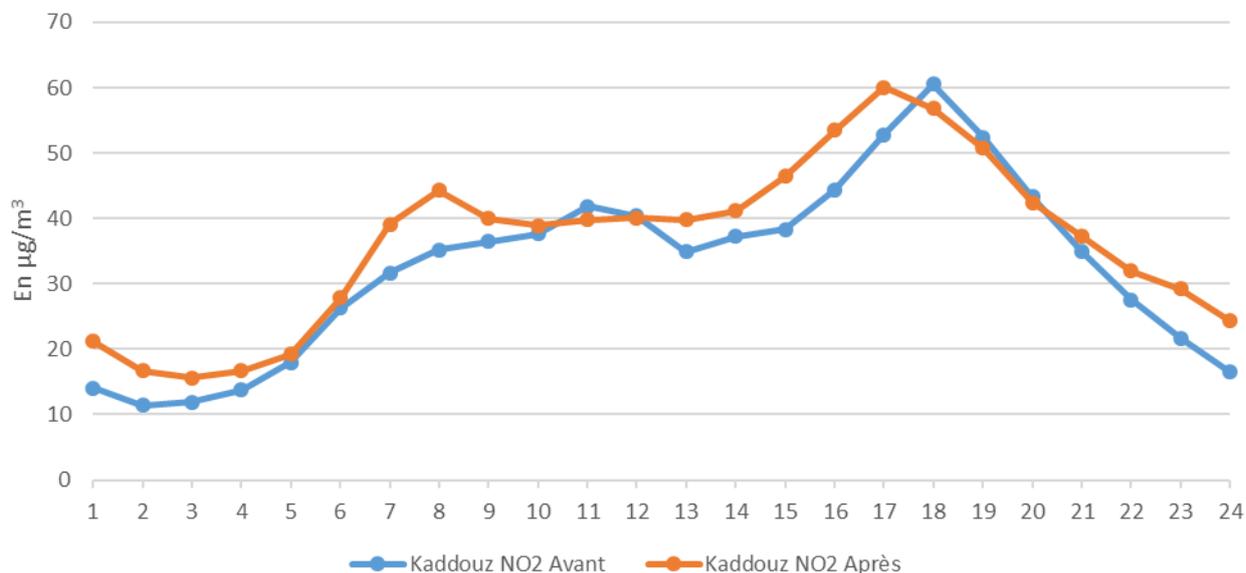
Les écarts relatifs de concentrations moyennes journalières de NO₂ entre Marseille / Kaddouz et Marseille / Longchamp, visibles sur la figure ci-dessous, mettent bien en évidence que les concentrations sont supérieures à Marseille / Kaddouz (+10 µg/m³ en moyenne sur toute la période). Ils ne montrent pas d'augmentation particulière lors de l'ouverture de la L2 Nord. Deux épisodes de forts vents d'Est à Sud-Est dispersent le NO₂ de Marseille / Longchamp et Marseille / Kaddouz, faisant tendre leur écart vers zéro en avril et novembre 2018.

Figure 43 : Ecart des concentrations moyennes journalières de NO₂ entre Marseille / Kaddouz et Marseille / Longchamp



Le profil journalier moyen en NO₂ de Marseille / Kaddouz, visible ci-dessous, montre une augmentation des concentrations le matin.

Figure 44 : Profil journalier moyen des concentrations en NO₂ à Marseille / Kaddouz avant et après ouverture de la L2 Nord



La mise en service de la L2 Nord semble avoir fortement impacté les concentrations de NO₂ durant les quelques jours suivant l'ouverture du 1^{er} sens (A7 – A50) à Marseille / Benausse. Après l'ouverture du 2^e sens, les moyennes journalières redescendent et ressemblent à ce que l'on observait avant.

A Marseille / Jean Moulin, une faible baisse des concentrations est constatée mais elle est bien plus prononcée à Marseille / Rabatau, boulevard théoriquement moins influencé par l'ouverture de la L2 Nord. D'autres phénomènes ont donc pu rentrer en jeu.

6.2.3 Augmentation des concentrations en particules fines

► Impact le long de la L2 Nord

Sur la figure 46, on remarque que sur le mois précédent l'ouverture du sens A7-A50 Nord, les concentrations en PM₁₀ mesurées à Marseille / Benausse étaient corrélées à celles de Marseille / Longchamp, mais avec un écart non négligeable (environ 10 µg/m³). Cet écart augmente pendant la phase d'ouverture des voies Nord de la L2 et on constate même des dépassements du seuil réglementaire de 50 µg/m³. Le 27 octobre, les concentrations baissent et semblent revenir à leur niveau précédent.

Une partie de cette augmentation peut être attribuée aux PMwb mais la plus forte contribution est celle des PMff. Une hypothèse est que lors de l'ouverture du tronçon Nord, des ralentissements et bouchons se sont produits causant une hausse des concentrations en particules fines sur cet axe. De plus, si l'axe était poussiéreux après les travaux, les véhicules ont pu remettre en suspension les particules, ce qui expliquerait que la hausse des PM₁₀ soit momentanée et nettement plus élevée que celle des PMff issues de combustions.

Figure 45 : Evolution des concentrations moyennes journalières en PM₁₀, PMwb et PMff à Marseille / Benausse avant et après l'ouverture de la L2 Nord

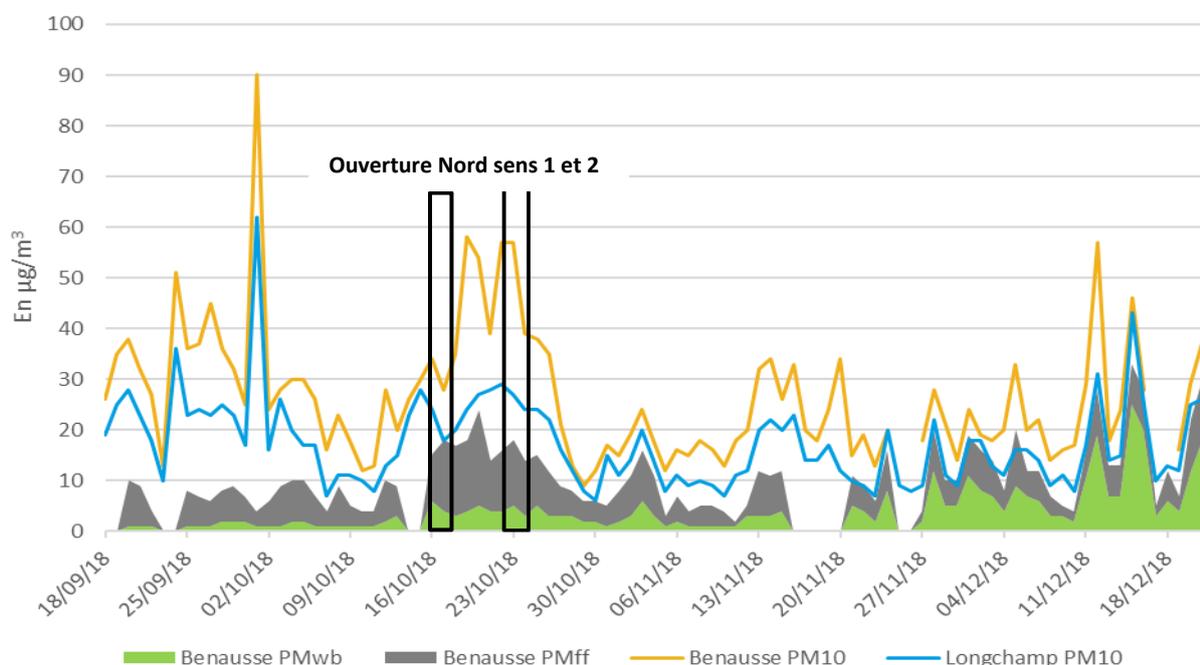


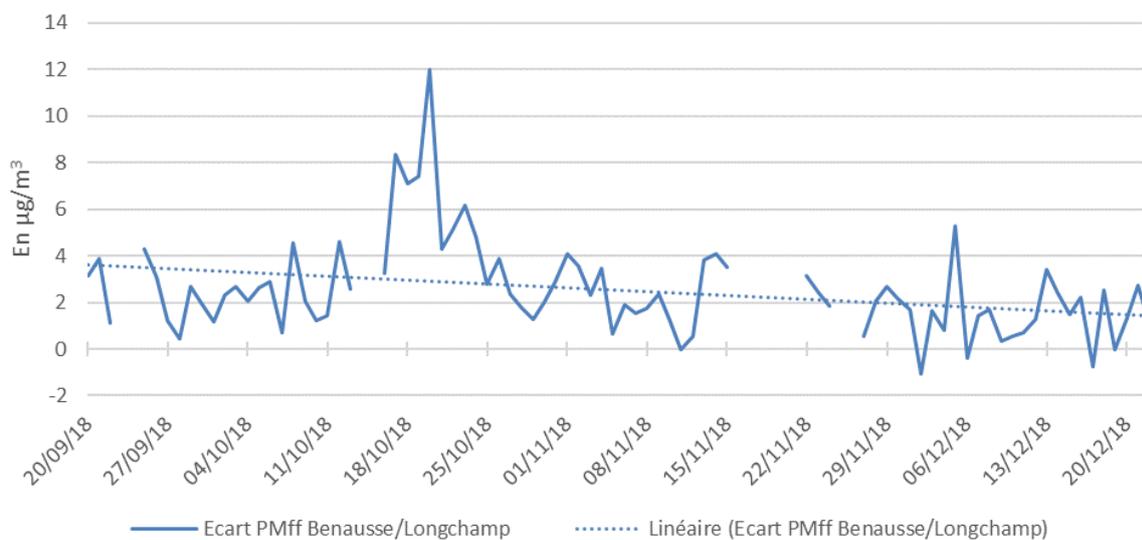
Tableau 16 : Concentrations des PM₁₀, PMwb et PMff en µg/m³ à Marseille / Benausse et Marseille / Longchamp avant et après l'ouverture du tronçon Nord

	Marseille / Benausse PM ₁₀	Marseille / Benausse PMwb	Marseille / Benausse PMff	Marseille / Longchamp PM ₁₀
Moyenne avant	30	2	6	21
Moyenne du 17 au 23 octobre	47	4	14	25
Moyenne après	23	6	6	15
Ecart (après – avant)	- 8 / -26%	+ 4,2 / 265%	-0,0 / 0%	-6 / -28 %

En traçant l'écart relatif des PMff entre Marseille / Benausse et Marseille / Longchamp sur la figure 48, on discerne un pic du 17 au 23 octobre. L'écart revient ensuite à ce que l'on pouvait observer précédemment. La part des PMff dans les

PM₁₀ est plus importante à Marseille / Benausse après ouverture de la L2 mais ce phénomène est aussi observable à Marseille / Longchamp station hors influence directe du trafic et représentant le niveau de fond sur Marseille.

Figure 46 : Ecart des concentrations journalières en PMff entre Marseille / Benausse et Marseille / Longchamp



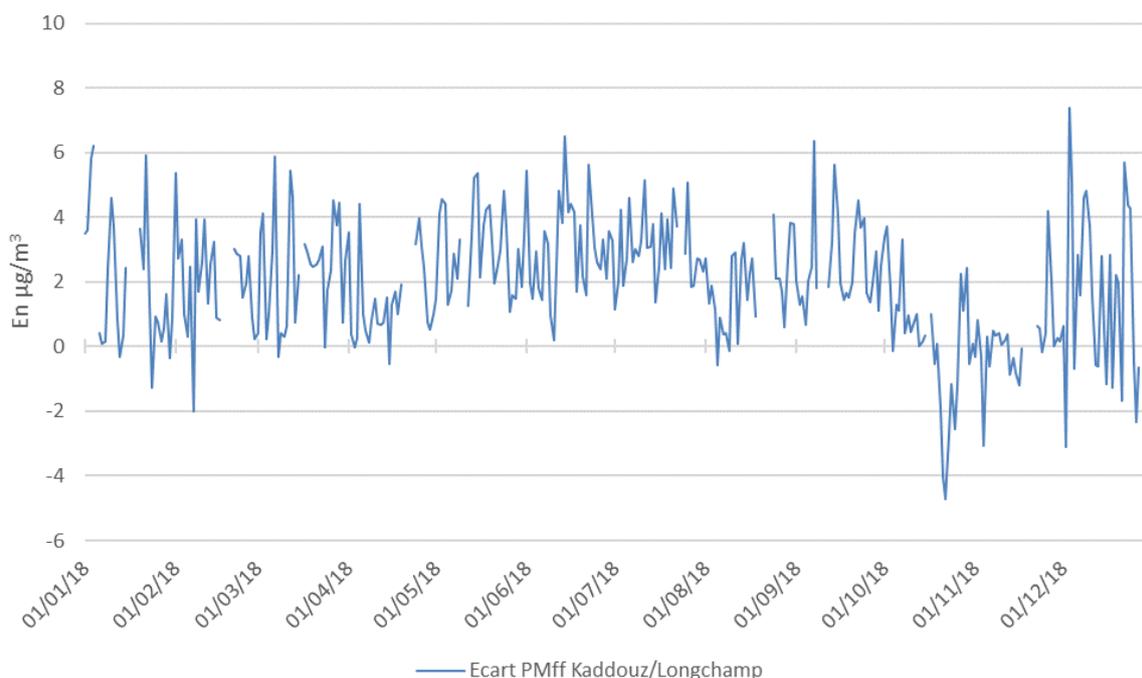
L'ouverture de la L2 Nord ne montre pas d'influence significative sur les teneurs en PMff sur les sites situés à proximité, en particulier le site de Marseille / Benausse.

► **Quelle influence sur la partie Est de la L2 ?**

La station Marseille / Kaddouz est représentative de la qualité de l'air sur la partie Est de la L2.

Les concentrations des PMff de Marseille / Kaddouz ont été tracés sur la figure ci-dessous aux côtés des PMff de Marseille / Longchamp en 2018. Sur la majorité de l'année, les niveaux en PMff de Marseille / Kaddouz sont supérieurs à ceux de Marseille / Longchamp.

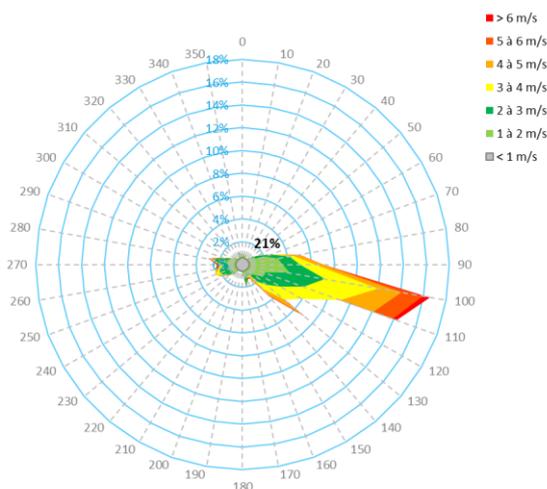
Figure 47 : Ecart des concentrations journalières en PMff entre Marseille / Kaddouz et Marseille / Longchamp



- Lors de l'ouverture de la L2 Nord, très ponctuellement, on remarque que les PMff de Marseille / Longchamp augmentent alors que celles de Marseille / Kaddouz diminuent du 17 octobre au 25 novembre 2018. Cette inversion est mise en évidence sur la figure 50 où l'écart entre les PMff de Marseille / Kaddouz et les PMff de Marseille / Longchamp devient négatif et descend jusqu'à -5.

En examinant les vents du 17 octobre (ouverture de la L2 Nord) au 25 novembre (dernier jour avant que les PMff de Marseille / Kaddouz ne redeviennent nettement supérieurs), on remarque qu'ils sont forts et orientés Est-Sud-Est. Il apparaît donc possible que les PMff émises au niveau de la L2, du Boulevard François Duparc et de la ville aient été rabattus vers la station de Marseille / Longchamp plutôt que sur celle de Marseille / Kaddouz.

Figure 48 : Rose des vents du 17/10/18 au 25/11/18

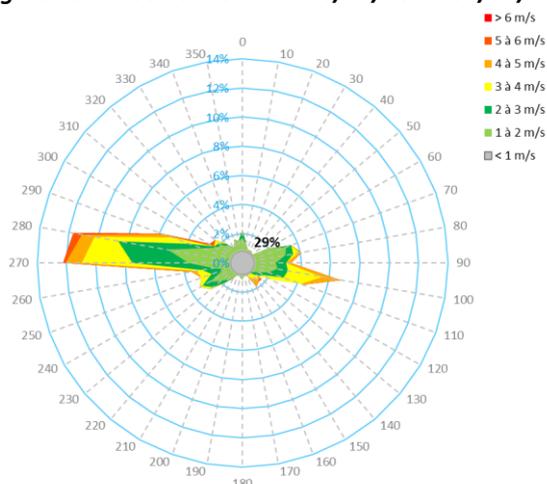


- L'écart reprend ensuite très vite des valeurs comparables aux périodes antérieures (avant ouverture de la L2 Nord).

Du 25 novembre jusqu'à la fin de l'année 2018, les vents viennent de l'Ouest. Ces conditions météorologiques sont probablement à l'origine d'un rabatement des PMff issues du trafic de la L2 sur Marseille / Kaddouz.

Les concentrations de PMff à Marseille / Longchamp gardent des niveaux relativement élevés malgré les vents opposés. Cela pourrait venir des deux autoroutes à l'Ouest de Marseille / Longchamp, soit l'A50 et l'A7.

Figure 49 : Rose des vents du 26/11/18 au 31/12/18



Ces éléments semblent indiquer que, lors de l'ouverture de la L2 Nord, avec l'apport d'un trafic supplémentaire et de forts vents d'Est, une partie des émissions de la L2 se rabat sur le centre-ville de Marseille et donc l'influence est visible sur la station Marseille / Longchamp.

L'ouverture de la L2 Nord ne montre pas d'influence significative à moyen terme sur les teneurs en PM_{ff} sur les sites placés le long de la L2 est, en particulier le site de Marseille / Kaddouz.

Influence de l'ouverture de la L2 Nord :

A Marseille / Benausse, les concentrations en PM₁₀ augmentent fortement durant quelques jours suivant l'ouverture de la L2 Nord. Plusieurs dépassements de seuil y sont constatés. La contribution des PM_{ff} est majoritaire devant les PM_{wb}, mais des particules fines d'autres origines ont également contribué à ces dépassements.

A l'issue de ces journées de dépassements, les concentrations en PM₁₀ semblent retrouver leur niveau d'origine.

Sur Marseille / Kaddouz, l'ouverture du tronçon Nord ne fait à première vue pas monter les concentrations à cause de forts vents d'Est durant plusieurs jours. Lorsque les vents rebasculent en provenance de l'Ouest, on observe quelques pics journaliers de PM_{ff} à des valeurs que l'on observait difficilement avant ouverture du tronçon Nord.

7. Conclusion

► Un déploiement de nouveaux moyens de mesure de la qualité de l'air sur le tracé de la L2

Le projet de contournement autoroutier de Marseille (L2) a abouti et devrait, à terme, être emprunté par 100 000 véhicules par jour. AtmoSud a déployé des moyens pour évaluer l'impact sur la qualité de l'air de la mise en service progressive de cette rocade.

Sur les 4 sites investigués, les stations ont mesuré en continu des polluants influencés par le trafic : le dioxyde d'azote, les particules fines PM_{10} ainsi que le « Black Carbon » (sauf à Marseille / Jean Moulin). Ces mesures ont été comparées à deux des stations de référence du réseau d'AtmoSud, situées au palais Longchamp et boulevard Rabatau.

► Un impact contrasté des ouvertures des tronçons Est et Nord de la L2

Le point de mesure à la Fourragère était situé à plus de 50m de la L2 Est, son ouverture a eu un impact visible sur les concentrations en dioxyde d'azote. Les niveaux sont devenus supérieurs à ce que l'on mesure à Marseille / Longchamp. Le constat est identique pour les particules fines liées au trafic. La mise en service de l'autoroute est accompagnée d'une hausse des concentrations, mais elle est moins prononcée que pour le dioxyde d'azote.

L'ouverture du tronçon Nord aura causé une forte hausse des concentrations en NO_2 et en particules fines sur le site de Marseille / Benausse, mais ce phénomène n'a duré que quelques jours. Après quoi les concentrations sont redescendues à des niveaux similaires à ce que l'on mesurait avant. Cette section était déjà circulante. Ceci rend la mise en service de la L2 Nord moins facile à mettre en évidence que celle de la L2 Est.

► Un respect des valeurs limites en 2018 pour le NO_2

Aucun dépassement de valeurs limites n'a été constaté pour le NO_2 sur les 3 sites jusqu'au 31 décembre 2018. Marseille / Kaddouz a mesuré $36 \mu g/m^3$ de moyenne en 2018 alors que la L2 Nord est entrée en service tard dans l'année. Si le trafic croit, les $40 \mu g/m^3$, valeur limite, pourraient être dépassés en 2019. Marseille / Benausse n'a mesuré que tardivement en 2018 mais un $170 \mu g/m^3$ horaire a été relevé. Pour rappel, la valeur limite horaire est de $200 \mu g/m^3$ à ne pas dépasser plus de 18 fois par an.

► Des dépassements de seuils pour les PM_{10}

Le seuil de $50 \mu g/m^3$ de moyenne journalière en PM_{10} a lui été dépassé mais ces épisodes sont, pour la plupart, aussi constatés sur les autres stations de la ville, voire du département. Ils sont donc difficilement attribuables à la L2. 4 dépassements n'ont cependant été relevés que sur la station de Marseille / Benausse pendant la phase d'ouverture de la L2 Nord. Durant ces 4 jours, les concentrations de particules liées au trafic (PM_{10}) étaient majoritaires devant celles liées à la combustion de bois mais ce genre de dépassement ne s'est pas reproduit.

La surveillance d'AtmoSud continue en 2019. Les stations de Marseille / Kaddouz et Marseille / Jean Moulin seront maintenues et l'installation de nouveaux appareils est envisagée. Le site de Marseille / Benausse a été fermé en mars 2019 et sera remplacé par un site au niveau de la jonction entre la L2 et l'A7. De plus, une vaste campagne d'échantillonnage par tubes passifs mesurant le NO_2 et le benzène sera menée sur la rocade, mais aussi sur toute la ville afin d'évaluer l'impact de cette autoroute à grande échelle.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] ADEME. Guide de lecture des directives européennes 2008/50/CE et 2004/107/CE ; 2010.
- [2] AtmoSud. Black Carbon, bilan des mesures de l'année 2017 ; 2018.
- [3] AtmoSud. Etat initial de la qualité de l'air, Marseille – Rocade L2 ; 2012.
- [4] LCSQA. Guide méthodologique pour le calcul des statistiques relatives à la qualité de l'air ; 2016.
- [5] LCSQA. Conception, implantation et suivi des stations françaises de surveillance de la qualité de l'air ; 2017.
- [6] Ministère de l'environnement, de l'énergie et de la mer. Arrêté du 19 avril 2017 relatif au dispositif national de surveillance de la qualité de l'air ambiant ; 2017.
- [7] SRL2. www.l2-marseille.com

GLOSSAIRE

Définitions

Lignes directrices OMS : Seuils de concentration définis par l'OMS et basés sur un examen des données scientifiques accumulées. Elles visent à offrir des indications sur la façon de réduire les effets de la pollution de l'air sur la santé. Elles constituent des cibles à atteindre qui confère une protection suffisante en termes de santé publique.

Pollution de fond et niveaux moyens : La pollution de fond correspond à des niveaux de polluants dans l'air durant des périodes de temps relativement longues. Elle s'exprime généralement par des concentrations moyennées sur une année (pour l'ozone, on parle de niveaux moyens exprimés généralement par des moyennes calculées sur huit heures). Il s'agit de niveaux de pollution auxquels la population est exposée le plus longtemps et auxquels il est attribué l'impact sanitaire le plus important.

Pollution de pointe : La pollution de pointe correspond à des niveaux de polluants dans l'air durant des périodes de temps courtes. Elle s'exprime généralement par des concentrations moyennées sur la journée ou l'heure.

Procédures préfectorales : Mesures et actions de recommandations et de réduction des émissions par niveau réglementaire et par grand secteur d'activité.

Seuil d'alerte à la population : Niveau de concentration de substances polluantes dans l'atmosphère, au-delà duquel une exposition de courte durée présente un risque pour la santé humaine ou la dégradation de l'environnement, justifiant l'intervention de mesures d'urgence.

Seuil d'information-recommandations à la population : Niveau de concentration de substances polluantes dans l'atmosphère, au-delà duquel une exposition de courte durée présente un risque pour la santé humaine des groupes particulièrement sensibles de la population, rendant nécessaires des informations immédiates et adéquates.

Objectif de qualité : Un niveau de concentration à atteindre à long terme, sauf lorsque cela n'est pas réalisable par des mesures proportionnées, afin d'assurer une protection efficace de la santé humaine et de l'environnement.

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

Valeur limite : Un niveau de concentration fixé sur la base des connaissances scientifiques, dans le but d'éviter, de prévenir ou de réduire les effets nocifs sur la santé humaine et/ou l'environnement dans son ensemble, à atteindre dans un délai donné et à ne pas dépasser une fois atteint.

Particules d'origine secondaires : Les particules secondaires résultent de la conversion en particules, des gaz présents dans l'atmosphère. Cette conversion, soit directement gaz-solide, soit par l'intermédiaire des gouttes d'eau, est appelée nucléation. La nucléation est le mécanisme de base de la formation des nouvelles particules dans l'atmosphère. Les principaux précurseurs impliqués dans la formation des particules secondaires sont le dioxyde de soufre (SO₂), les oxydes d'azote (NO_x et nitrates), les composés organiques volatils (COV) et l'ammoniac (NH₃). Les particules secondaires sont essentiellement des particules fines (<2.5 µm).

Sigles

AASQA : Association Agréées de Surveillance de la Qualité de l'Air

ADEME : Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie

ARS : Agence Régionale de Santé

DREAL : Direction Régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement

LCSQA : Laboratoire Central de Surveillance de la Qualité de l'Air

OMS : Organisation Mondiale de la Santé

PDU : Plan de Déplacements Urbains

PLU : Plan local d'Urbanisme

Unité de mesures

µg/m³ : microgramme par mètre cube d'air
(1 µg = 10⁻⁶ g = 0,000001 g)

TU : Temps Universel

Polluants

NO / NO₂ : Monoxyde d'azote / Dioxyde d'azote

NO_x : Oxydes d'azote

PM non volatil : Fraction des particules en suspension présente dans l'air ambiant qui ne s'évapore pas à 50°C.

PM volatil : Fraction des particules en suspension qui s'évaporent entre 30°C et 50°C. Cette fraction des particules est mesurée depuis 2007.

PM 10 : Particules d'un diamètre < 10 µm

PM 2.5 : Particules d'un diamètre < 2,5 µm

Classification des sites de mesure

Cette classification a fait l'objet d'une mise à jour au niveau national en 2015. Les stations de mesures sont désormais classées selon 2 paramètres leur environnement d'implantation et l'influence des sources d'émission.

Environnement d'implantation

- **Implantation urbaine** : Elle correspond à un emplacement dans une zone urbaine bâtie en continu, c'est-à-dire une zone urbaine dans laquelle les fronts de rue sont complètement (ou très majoritairement) constitués de constructions d'au minimum deux étages
- **Implantation périurbaine** : Elle correspond à un emplacement dans une zone urbaine majoritairement bâtie, constituée d'un tissu continu de constructions isolées de toutes tailles, avec une densité de construction moindre
- **Implantation rurale** : Elle est principalement destinée aux stations participant à la surveillance de l'exposition de la population et des écosystèmes à la pollution atmosphérique de fond, notamment photochimique.

Influence des sources

- **Influence Industrielle** : Le point de prélèvement est situé à proximité d'une source (ou d'une zone) industrielle. Les émissions de cette source ont une influence significative sur les concentrations.
- **Influence Trafic** : Le point de prélèvement est situé à proximité d'un axe routier majeur. Les émissions du trafic ont une influence significative sur les concentrations.
- **Influence de Fond** : Le point de prélèvement n'est soumis à aucun des deux types d'influence décrits ci-après. L'implantation est telle que les niveaux de pollution sont représentatifs de l'exposition moyenne de la population (ou de la végétation et des écosystèmes) en général au sein de la zone surveillée. Généralement, la station est représentative d'une vaste zone d'au moins plusieurs km².

ANNEXES

ANNEXE 1 Sources de pollution, effets sur la santé, réglementation et recommandations OMS

Sources de pollution

Les polluants atmosphériques ont diverses origines.

Polluants	Sources principales
Particules en suspension (PM)	Les particules proviennent en majorité de la combustion à des fins énergétiques de différents matériaux (bois, charbon, pétrole), du transport routier (imbrûlés à l'échappement, usure des pièces mécaniques par frottement, des pneumatiques...), d'activités industrielles très diverses (sidérurgie, incinération, chaufferie) et du brûlage de la biomasse (incendie, déchets verts).
NO_x Oxydes d'azote	Les sources principales sont les véhicules et les installations de combustion.

Effets sur la santé

Les polluants atmosphériques ont un impact sur la santé variable en fonction de leur concentration dans l'air, de la dose inhalée et de la sensibilité des individus. Ils peuvent aussi avoir des incidences sur l'environnement.

Polluants	Effets sur la santé	Effets sur l'environnement
Particules en suspension	- irritation des voies respiratoires - dans certains cas, altération des fonctions pulmonaires	- effets de salissures sur les bâtiments - altération de la photosynthèse
NO_x Oxydes d'azote		- pluies acides - précurseur de la formation d'ozone - effet de serre - déséquilibre les sols sur le plan nutritif

Réglementation

En matière de surveillance de la qualité de l'air, la réglementation se base essentiellement sur :

- La directive 2008/50/CE concernant la qualité de l'air ambiant et un air pur pour l'Europe,
- La directive 2004/107/CE concernant l'arsenic, le cadmium, le mercure, le nickel et les hydrocarbures aromatiques polycycliques dans l'air ambiant,
- L'article R221-1 du Code de l'Environnement.

Les valeurs réglementaires sont exprimées en $\mu\text{g}/\text{m}^3$. L'expression du volume doit être ramenée aux conditions de température et de pression suivantes : 293 K et 1013 hPa. La période annuelle de référence est l'année civile. Un seuil est considéré dépassé lorsque la concentration observée est strictement supérieure à la valeur du seuil.

Polluants	Type de réglementation	Valeurs réglementaires ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Durée d'exposition
PM₁₀ Particules	Seuil d'information- recommandations	50	Jour
	Seuil d'alerte	80	Jour
	Valeurs limites	50	Jour (maximum 35 j / an)
		40	Année
Objectif de qualité	30	Année	
PM_{2.5} Particules	Valeur limite	25	Année
	Valeurs cibles	20	Année
	Objectif de qualité	10	Année
NO₂ Dioxyde d'azote	Seuil d'information- recommandations	200	Heure
	Seuil d'alerte	400	Heure
	Valeurs limites	200	Heure (maximum 18h / an)
		40	Année

Recommandations de l'Organisation Mondiale pour la Santé (OMS)

Les valeurs recommandées par l'OMS (2005) sont fondées sur des études épidémiologiques et toxicologiques publiées en Europe et en Amérique du Nord. Elles ont pour principal objectif d'être des références pour l'élaboration des réglementations internationales.

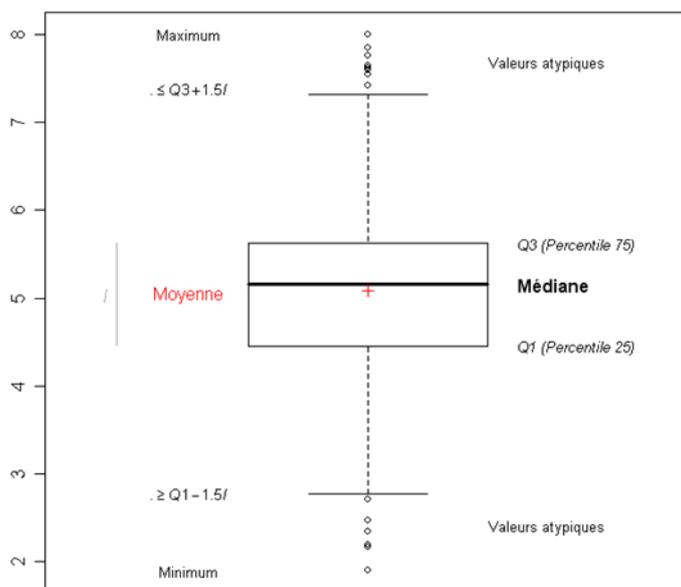
Il s'agit de niveaux d'exposition (concentration d'un polluant dans l'air ambiant pendant une durée déterminée) auxquels ou en dessous desquels il n'y a pas d'effet sur la santé. Ceci ne signifie pas qu'il y ait un effet dès que les niveaux sont dépassés mais que la probabilité qu'un effet apparaisse est augmentée.

Polluants	Effets considérés sur la santé	Valeur ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) recommandée par l'OMS	Durée moyenne d'exposition
PM 10 Particules	- affection des systèmes respiratoire et cardiovasculaire	50	24 heures
		20	1 an
PM 2.5 Particules		25	24 heures
		10	1 an
NO₂ Dioxyde d'azote	- faible altération de la fonction pulmonaire (asthmatiques)	200	1 heure
		40	1 an

ANNEXE 2 Lecture de « boxplot – boîte à moustache »

Une boîte à moustache (ou box plot) est un graphique représentant la répartition d'une série statistique.

Pour ce faire, l'échantillon est séparé en 4 parties de même effectif, appelées quartiles. Un quartile est donc constitué de 25 % des données de l'ensemble de l'échantillon. Le deuxième quartile (percentile 50) est appelé plus couramment la médiane (50% des valeurs y sont inférieures, 50% y sont supérieures).



La partie centrale correspondant à une « boîte » représente 50 % des données. Ces données se situent dans les 2^e et 3^e quartiles. La différence entre les deux est appelée l'écart inter quartiles.

Les moustaches réparties de chaque côté de la boîte représentent généralement près de 25 % des données, mais n'excèdent pas en termes de longueur, $1,5 * I$ (I étant l'écart interquartile, c'est-à-dire la longueur de la boîte), ce qui peut amener la présence de points atypiques en dehors des moustaches.

La fin de la moustache supérieure correspond donc soit à la valeur $3Q + 1,5I$ (3^{ème} quartile + une fois et demi l'intervalle inter quartile), soit au maximum de l'échantillon s'il est plus faible que cette valeur.

ANNEXE 3 Figures complémentaires

Figure 50 : Evolution des concentrations annuelles en NO₂ sur la région

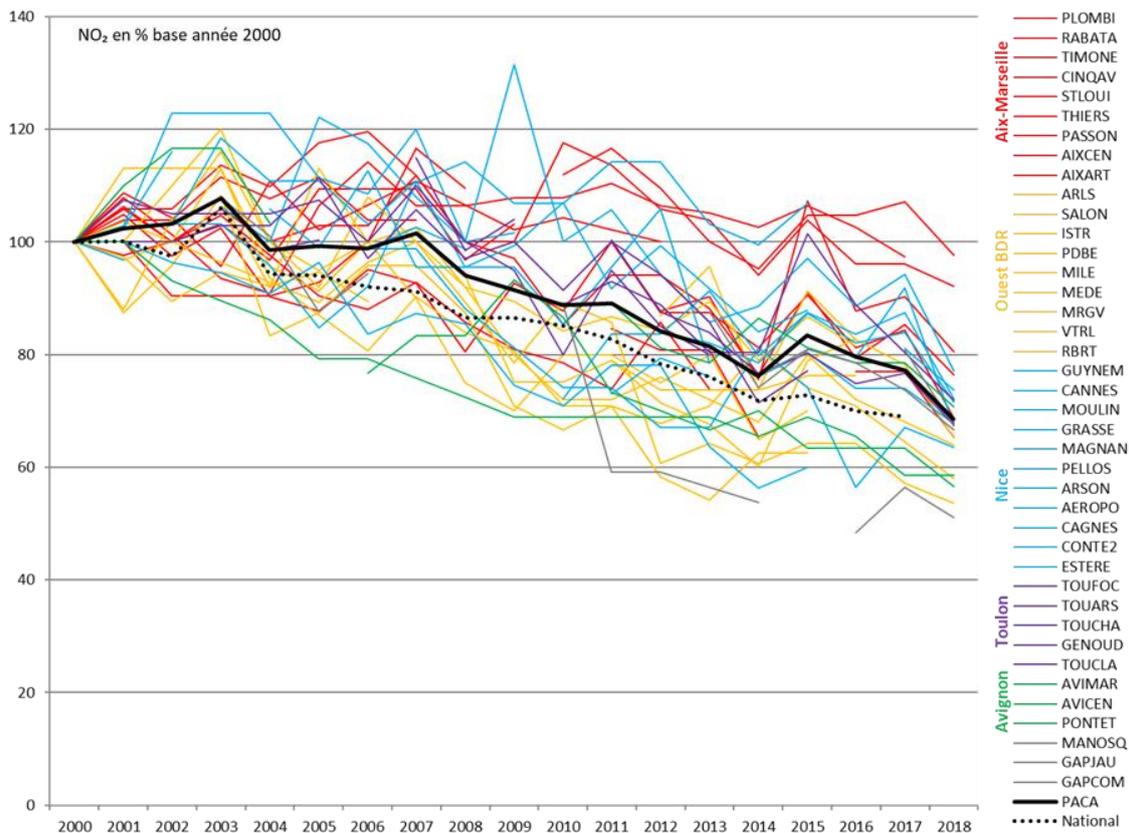


Figure 51 : Evolution des concentrations moyennes en PM₁₀ à Marseille / Fourragère et Marseille / Longchamp

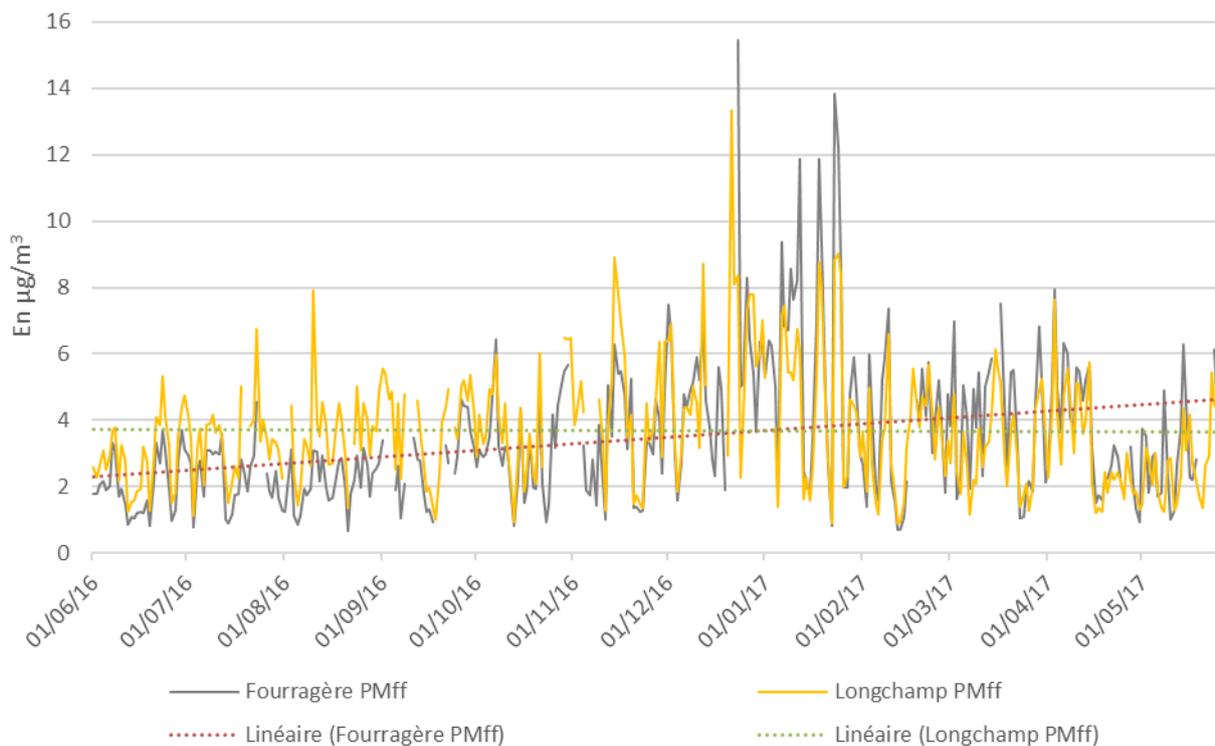


Figure 52 : Corrélation entre la baisse des température et la hausse des PMwb à Marseille / Fourragère du 22 novembre au 06 décembre 2016

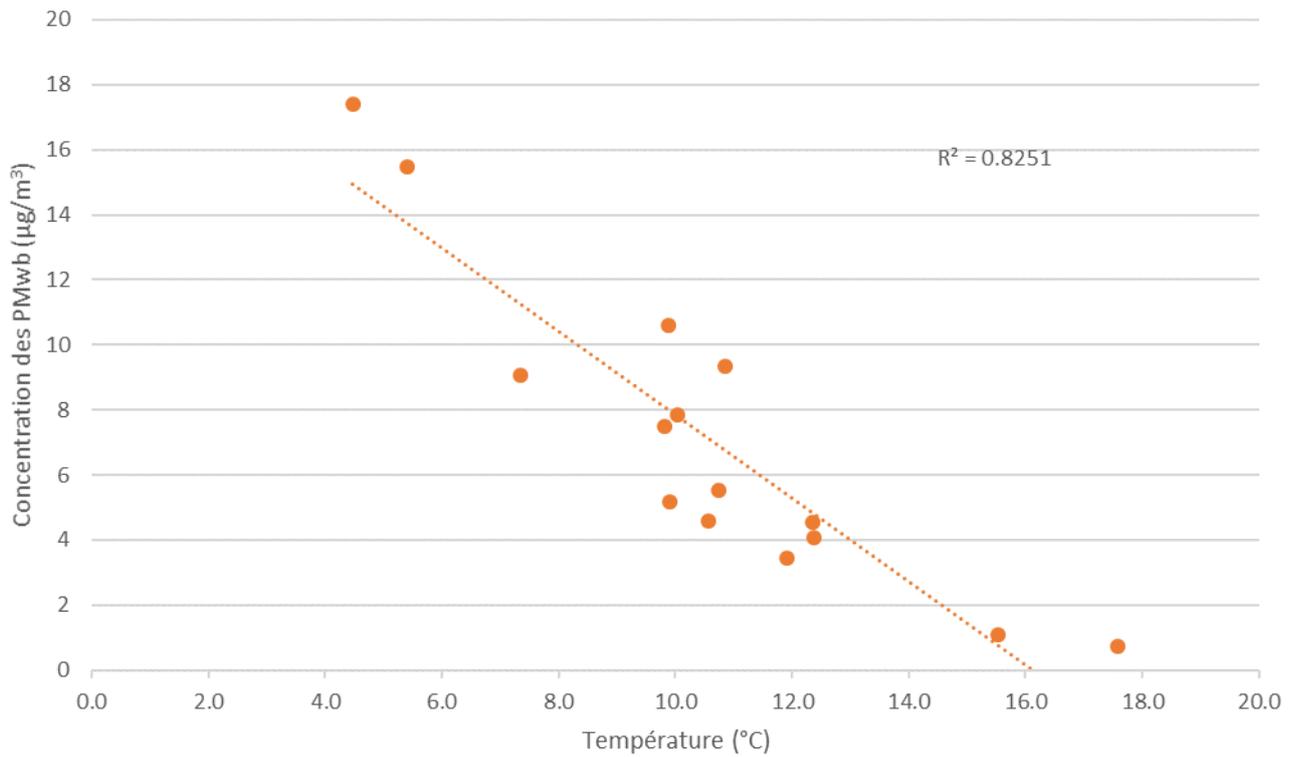


Figure 53 : Concentration mensuelle estimée des PMff dans les PM₁₀ à Marseille / Fourragère et Marseille / Longchamp en µg/m³

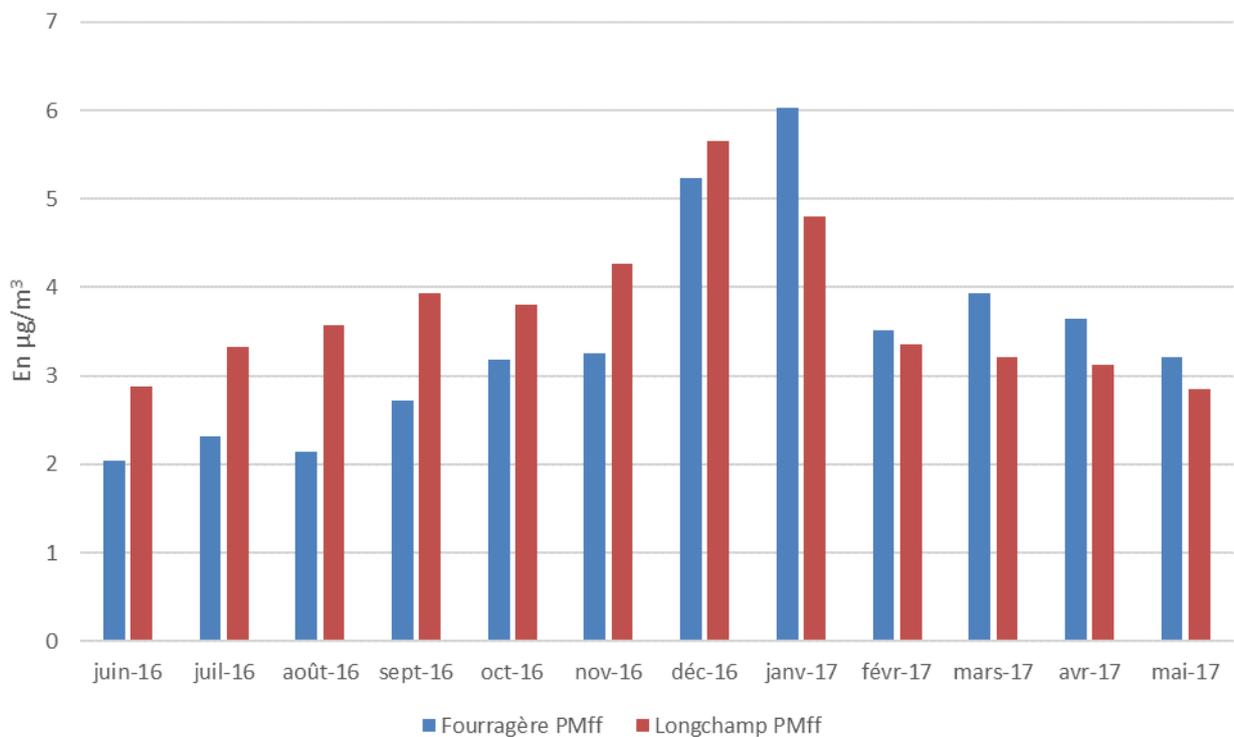


Figure 54 : Vitesses des vents journaliers moyens lors de la période d'ouverture de la L2 Est

Date	VV (m/s)	Date	VV (m/s)
22/11/2016	6.5	30/11/2016	1.2
23/11/2016	7.2	01/12/2016	1.7
24/11/2016	2.4	02/12/2016	1.4
25/11/2016	1.7	03/12/2016	2.5
26/11/2016	1.6	04/12/2016	3.9
27/11/2016	0.8	05/12/2016	1.5
28/11/2016	0.9	06/12/2016	0.7
29/11/2016	2.0		

Figure 55 : Rose des vents durant les maximums journaliers de NO₂ à Marseille / Fourragère des 18 et 19 janvier 2017

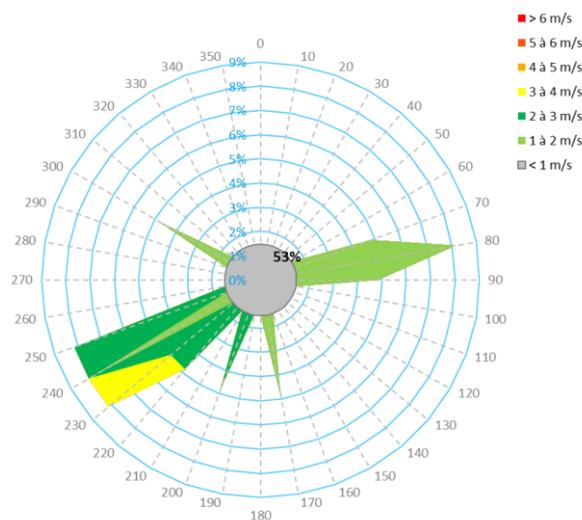


Figure 56 : Rose des vents durant des faibles concentrations journalières de NO₂ à Marseille / Fourragère du 23 au 26 mars 2017

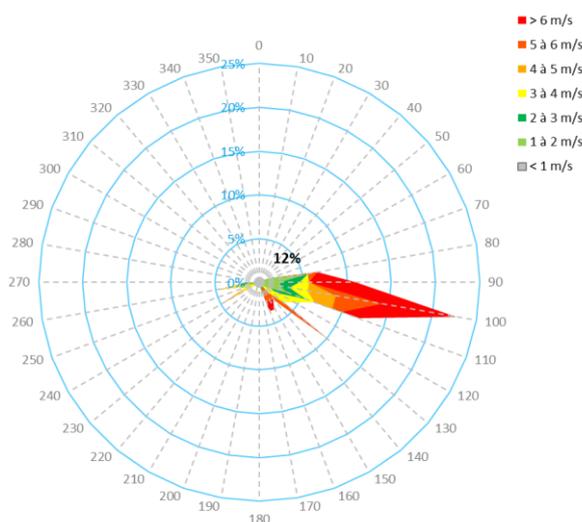


Figure 57 : Roses des vents lors du dépassement du 24/09/18 à Marseille / Benausse

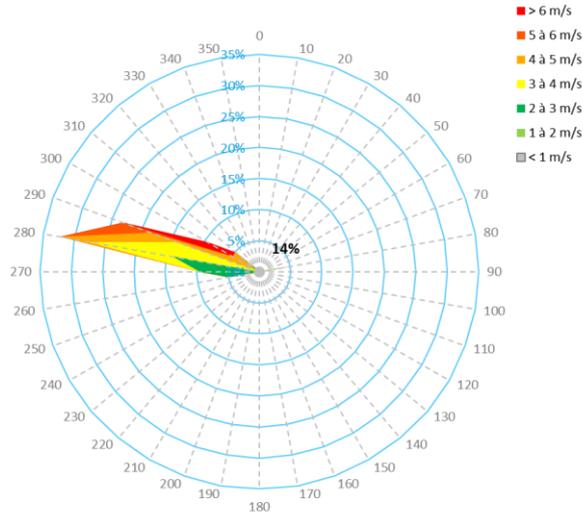


Figure 58 : Roses des vents lors du dépassement du 1^{er} octobre 2018 à Marseille / Benausse

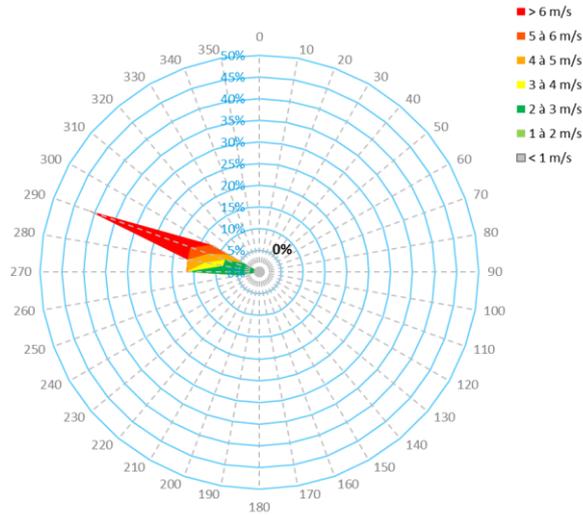


Figure 59 : Rose des vents lors des dépassements du 19 au 23 octobre 2018 à Marseille / Benausse

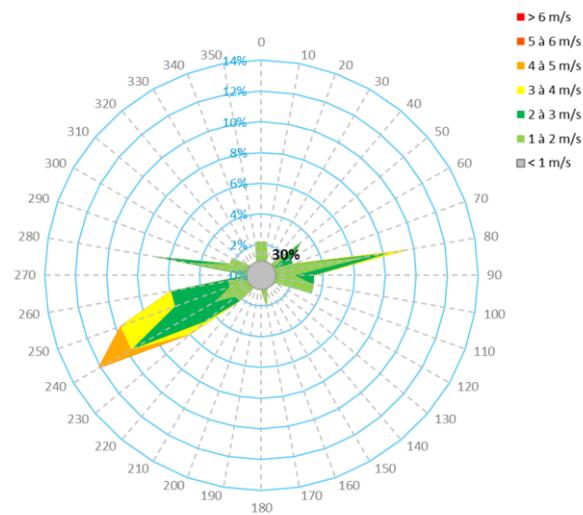


Figure 60 : Rose des vents lors du dépassement du 12/12/18 à Marseille / Benausse

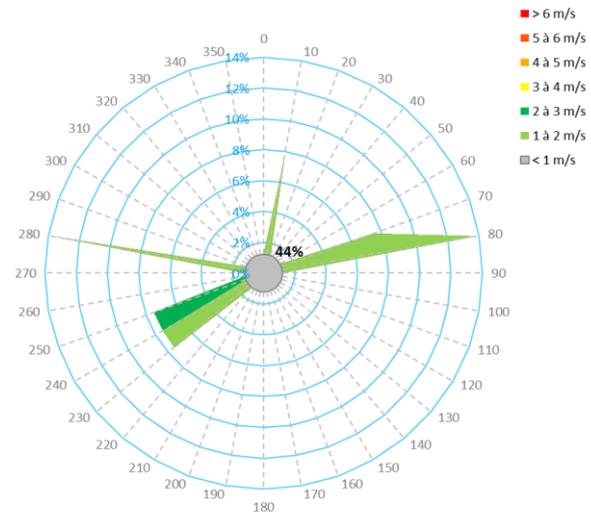
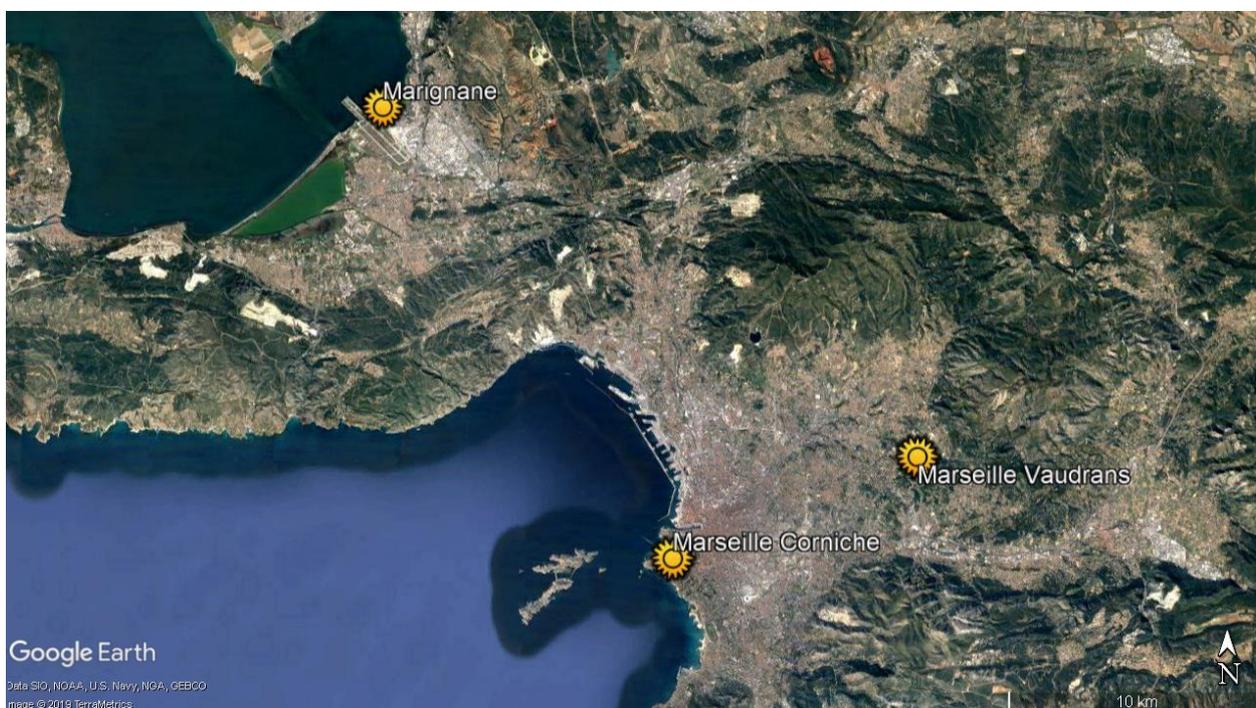
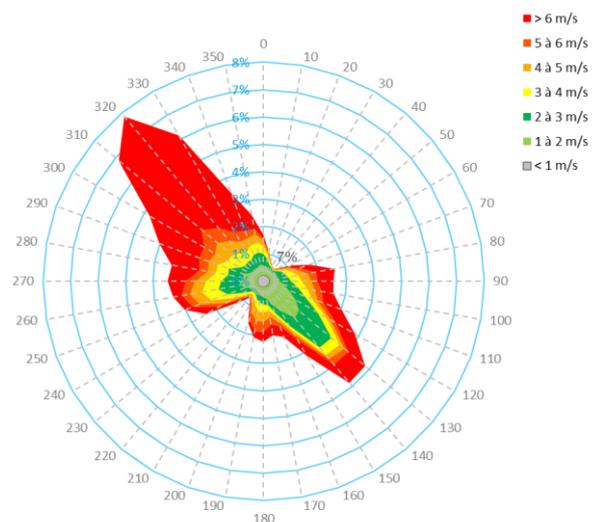


Figure 61 : Rose des vents à Marignane de 2008 à 2018 et position des stations météo



LISTE DES ANNEXES

ANNEXE 1	Sources de pollution, effets sur la santé, réglementation et recommandations OMS	54
ANNEXE 2	Lecture de « boxplot – boîte à moustache »	56
ANNEXE 3	Figures complémentaires	57

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Liste des stations déployées pour la surveillance de la L2	10
Tableau 2 : Périodes et taux de fonctionnement annuels des mesures des stations du réseau L2.....	11
Tableau 3 : Concentrations moyennes en NO ₂ , PM ₁₀ et PM _{2.5} par station et par an en µg/m ³	12
Tableau 4 : Maximums et dates des concentrations horaires en NO ₂ par an en µg/m ³	17
Tableau 5 : Valeurs et dates des concentrations journalières maximales en PM ₁₀ par an en µg/m ³	18
Tableau 6 : Nombre de dépassements journaliers en PM ₁₀ aux abords de la L2 en µg/m ³	21
Tableau 7 : Liste des dépassements journaliers et concentrations en PM ₁₀ aux abords de la L2 en µg/m ³	26
Tableau 8 : Concentrations des PM ₁₀ , PMwb et PMff lors des dépassements à Marseille / Fourragère	26
Tableau 9 : Concentrations des PM ₁₀ , PMwb et PMff lors des dépassements à Marseille / Kaddouz	27
Tableau 10 : Concentrations des PM ₁₀ , PMwb et PMff lors des dépassements à Marseille / Benausse	28
Tableau 11 : Concentrations moyennes du NO ₂ en µg/m ³ , mesurées 7 jours avant et après l'ouverture du tronçon Est.....	31
Tableau 12 : Concentrations moyennes du NO ₂ en µg/m ³ , mesurées 6 mois avant et après l'ouverture du tronçon Est	32
Tableau 13 : Concentrations moyennes des PM ₁₀ , PMwb et PMff en µg/m ³ à Marseille / Fourragère 7 jours avant et après l'ouverture de la L2 Est	36
Tableau 14 : Concentrations moyennes des PMff et PMwb en µg/m ³ à Marseille / Fourragère et Marseille / Longchamp avant et après l'ouverture du tronçon EST.....	37
Tableau 15 : Moyennes du NO ₂ en µg/m ³ , sur les stations avant et après l'ouverture du tronçon Nord, sur la période de mesure de Marseille / Benausse	40
Tableau 16 : Concentrations des PM ₁₀ , PMwb et PMff en µg/m ³ à Marseille / Benausse et Marseille / Longchamp avant et après l'ouverture du tronçon Nord	45

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Tracé de la L2 © l2-marseille.com	4
Figure 2 : Carte topographique de Marseille © topographic-map.com	6
Figure 3 : La L2, vue depuis le parking du supermarché du Merlan	6
Figure 4 : Précipitations et températures normales mensuelles à Marignane sur la période 1981-2010.....	7
Figure 5 : Roses des vents à Marignane et aux Vaudrans de 2016 à 2018	7
Figure 6 : Emissions de PM ₁₀ et de NO _x à Marseille en 2017 (Source : AtmoSud).....	8
Figure 7 : Cartes de modélisation annuelle AtmoSud en 2016 et 2018.....	9
Figure 8 : Position et typologie des sites étudiés.....	11
Figure 9 : Boxplot des concentrations moyennes horaires en NO ₂ par période et par an à Marseille / Fourragère.....	13
Figure 10 : Boxplot des concentrations moyennes journalières en PM ₁₀ par période et par an à Marseille / Fourragère	14
Figure 11 : Boxplot des concentrations moyennes horaires en NO ₂ par période et par an à Marseille / Kaddouz.....	15
Figure 12 : Boxplot des concentrations moyennes journalières en PM ₁₀ par période et par an à Marseille / Kaddouz	15
Figure 13 : Boxplot des concentrations moyennes horaires en NO ₂ et journalières en PM ₁₀ à la Benausse.....	16
Figure 14 : Boxplot des concentrations moyennes horaires en NO ₂ par période et par an à Jean Moulin	17
Figure 15 : Evolution des concentrations moyennes mensuelles en NO ₂ par station	19
Figure 16 : Concentrations moyennes saisonnières du NO ₂ à Marseille / Jean Moulin et Marseille / Rabatau.....	20
Figure 17 : Evolution des concentrations moyennes mensuelles en PM ₁₀ par station.....	20
Figure 18 : Evolution des concentrations moyennes journalières en Black Carbon à Marseille / Fourragère.....	23
Figure 19 : Contribution des PMwb et PMff en été et en hiver à Marseille / Fourragère	23
Figure 20 : Evolution des concentrations moyennes journalières en Black Carbon à Marseille / Kaddouz.....	24
Figure 21 : Contribution des PMwb et PMff en été et en hiver à Marseille / Kaddouz	24
Figure 22 : Evolution des concentrations moyennes journalières en Black Carbon à la Marseille / Benausse	25
Figure 23 : Contribution des PMwb et PMff en sur la période de mesure à la Marseille / Benausse.....	25
Figure 24 : PM ₁₀ , PMwb, PMff et vents durant les dépassements du 19 au 23 octobre à Marseille / Benausse	28
Figure 25 : Position du site météo France par rapport aux sites de mesures d'AtmoSud	29
Figure 26 : Rose des vents – station Vaudrans – 22/11/16 au 06/12/16.....	30
Figure 27 : Rose des vents – station Vaudrans – 29/11/16 au 30/05/17.....	30
Figure 28 : Evolution des concentrations moyennes journalières en NO ₂ à Marseille / Fourragère 7 jours avant et après l'ouverture de la L2 Est.....	31
Figure 29 : Evolution des concentrations journalières de NO ₂ à Marseille / Fourragère et Marseille / Longchamp et leur interpolation linéaire.....	32
Figure 30 : Ecart relatif des concentrations de NO ₂ entre Marseille / Fourragère et Marseille / Longchamp	33

Figure 31 : Profil journalier moyen par heure des concentrations en NO ₂ à Marseille / Fourragère avant et après ouverture de la L2 Est.....	33
Figure 32 : Ecart relatif des concentrations de NO ₂ entre Marseille / Jean Moulin et Marseille / Rabatau.....	34
Figure 33 : Profil journalier moyen par heure des concentrations en NO ₂ à Jean Moulin avant et après ouverture de la L2 Est.....	35
Figure 34 : Evolution des concentrations moyennes journalières en PM ₁₀ , PMwb et PMff à Marseille / Fourragère 7 jours avant et après l'ouverture de la L2 Est.....	36
Figure 35 : Evolution des concentrations moyennes journalières en PM ₁₀ , PMwb et PMff à Marseille / Fourragère.....	37
Figure 36 : Ecart des concentrations journalières en PMff entre Marseille / Fourragère et Marseille / Longchamp.....	38
Figure 37 : Rose des vents – station Vaudrans – 17/10/18 au 31/12/18.....	39
Figure 38 : Evolution des concentrations moyennes journalières en NO ₂ à Marseille / Benausse et Marseille / Longchamp sur la période de mesure de Marseille / Benausse.....	40
Figure 39 : Ecart des concentrations moyennes journalières de NO ₂ entre Marseille / Benausse et Marseille / Longchamp.....	41
Figure 40 : Profil journalier moyen des concentrations en NO ₂ à Marseille / Benausse avant, pendant, et après ouverture de la L2 Nord.....	42
Figure 41 : Profil journalier moyen des concentrations en NO ₂ à Marseille / Jean Moulin avant, pendant et après ouverture de la L2 Nord.....	42
Figure 42 : Evolution des concentrations moyennes journalières en NO ₂ à Marseille / Kaddouz et Marseille / Longchamp en 2018.....	43
Figure 43 : Ecart des concentrations moyennes journalières de NO ₂ entre Marseille / Kaddouz et Marseille / Longchamp.....	43
Figure 45 : Profil journalier moyen des concentrations en NO ₂ à Marseille / Kaddouz avant et après ouverture de la L2 Nord.....	44
Figure 46 : Evolution des concentrations moyennes journalières en PM ₁₀ , PMwb et PMff à Marseille / Benausse avant et après l'ouverture de la L2 Nord.....	45
Figure 48 : Ecart des concentrations journalières en PMff entre Marseille / Benausse et Marseille / Longchamp.....	46
Figure 50 : Ecart des concentrations journalières en PMff entre Marseille / Kaddouz et Marseille / Longchamp.....	46
Figure 51 : Rose des vents du 17/10/18 au 25/11/18.....	47
Figure 52 : Rose des vents du 26/11/18 au 31/12/18.....	47
Figure 53 : Evolution des concentrations annuelles en NO ₂ sur la région.....	57
Figure 54 : Evolution des concentrations moyennes en PMff à Marseille / Fourragère et Marseille / Longchamp.....	57
Figure 55 : Corrélation entre la baisse des température et la hausse des PMwb à Marseille / Fourragère du 22 novembre au 06 décembre 2016.....	58
Figure 56 : Concentration mensuelle estimée des PMff dans les PM ₁₀ à Marseille / Fourragère et Marseille / Longchamp en µg/m ³	58
Figure 57 : Vitesses des vents journaliers moyens lors de la période d'ouverture de la L2 Est.....	59
Figure 58 : Rose des vents durant les maximums journaliers de NO ₂ à Marseille / Fourragère des 18 et 19 janvier 2017.....	59
Figure 59 : Rose des vents durant des faibles concentrations journalières de NO ₂ à Marseille / Fourragère du 23 au 26 mars 2017.....	59
Figure 60 : Roses des vents lors du dépassement du 24/09/18 à Marseille / Benausse.....	60
Figure 61 : Roses des vents lors du dépassement du 1 ^{er} octobre 2018 à Marseille / Benausse.....	60
Figure 62 : Rose des vents lors des dépassements du 19 au 23 octobre 2018 à Marseille / Benausse.....	60
Figure 63 : Rose des vents lors du dépassement du 12/12/18 à Marseille / Benausse.....	61
Figure 64 : Rose des vents à Marignane de 2008 à 2018 et position des stations météo.....	62

RESUME :

BILAN DE 3 ANS DE SURVEILLANCE DE LA QUALITE DE L'AIR AUTOUR DE LA ROCADE L2 A MARSEILLE

Juin 2016 – Décembre 2018

Le contournement de Marseille par le biais d'une rocade autoroutière (L2) devrait permettre le délestage du trafic dans le centre-ville. Une réduction des niveaux de pollution en dioxyde d'azote et particules fines dans certains quartiers est attendue. La L2 étant en majorité recouverte, l'impact sur la qualité de l'air le long du tracé devrait être modéré mais l'exposition des populations sur les parties ouvertes (têtes de tunnels et trémie) est à étudier.

► Le dioxyde d'azote en ligne de mire

De 2016 à 2018, trois sites aux abords de la L2 ont été investigués par AtmoSud, au moyen de stations de mesures mobiles. A des distances relativement proches de la route (entre 15 et 60 m environ), le dioxyde d'azote a montré des concentrations plus élevées que des niveaux de fonds Marseillais. Les concentrations restent inférieures aux valeurs limites mais des dépassements potentiels ne sont pas à écarter.

► Des particules fines émises pas le trafic, mais pas seulement

La valeur limite de $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en moyenne annuelle pour les particules fines n'est pas dépassée sur les sites étudiés. Les moyennes mesurées sont similaires à celles du site de référence de Marseille Longchamp. L'impact de la L2 est visible mais reste généralement plus faible que celui du chauffage au bois observé en hiver. Des dépassements du seuil journalier de $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ pour les PM10 sont constatés mais la contribution du trafic y est rarement majoritaire.

► Un impact visible

L'ouverture de la partie Est se voit sur les concentrations mesurées, que ce soit pour le dioxyde d'azote ou les particules fines issues d'une combustion de matière fossile. Sur le site de la Fourragère, les concentrations dans l'air de ces deux polluants étaient en moyenne inférieures à celles mesurées à Marseille Longchamp. Ce n'est plus le cas après la mise en service de cette partie Est de la L2.

Au Nord, l'impact est plus difficile à discerner sur le moyen terme puisque la L2 n'est pas le seul émetteur dans les environs du site (travaux du boulevard Allende, Avenue Raimu). La phase d'ouverture de la partie nord aura tout de même causée des hausses significatives de concentrations en polluants durant quelques jours. Sur le boulevard Jean-Moulin, l'amélioration de la qualité de l'air n'est pas évidente. AtmoSud poursuit les mesures en 2019, lorsque la L2 sera en pleine charge et que les travaux autour de l'hôpital de la Timone seront terminés. De plus, une vaste campagne d'échantillonnage par tubes passifs mesurant le NO_2 et le benzène sera menée sur la rocade, mais aussi sur toute la ville afin d'évaluer l'impact de cette autoroute à grande échelle.

Alexandre GATINEAU / BouAlem MESBAH / Edwige REVELAT

En partenariat avec :



Responsable de publication : Patricia Lozano - 19/12/2019

Photos : Archives AtmoSud