

Evaluation de l'impact sur la qualité de l'air du passage de la Vitesse Maximale Autorisée de la rocade de Bordeaux de 110 km/h à 90 km/h

N°41

Janvier 2008



Le 21 juin 2007, la Vitesse Maximale Autorisée (VMA) sur la rocade bordelaise est passée de 110 km/h à 90 km/h.

Dans ce contexte, la Direction Interdépartementale des Routes Atlantique a mandaté AIRAQ, organisme de surveillance de la qualité de l'air en Aquitaine, pour mettre en place une campagne de surveillance de la qualité de l'air.

Cette étude avait pour objectif de déterminer l'impact de cet abaissement de la VMA sur la qualité de l'air à proximité immédiate de la rocade.

Pour ce faire, AIRAQ a mis en place un laboratoire mobile de surveillance sur deux périodes, l'une au mois de juin, juste avant la modification de la VMA, et l'autre en septembre. Ce document reprend les principales conclusions de l'étude, dont le rapport complet est disponible sur le site Internet d'AIRAQ.



Laboratoire mobile sur la rocade

Introduction

Cette étude a été réalisée en partenariat avec la Direction Interdépartementale des Routes Atlantique (DIRA).

L'intervention d'AIRAQ visait à répondre à **deux objectifs** :

- Obtenir de premiers éléments quant à la **qualité de l'air** à proximité immédiate de la rocade, et ce particulièrement pour des **polluants traceurs du trafic routier**
- **Comparer** les résultats obtenus pendant les deux campagnes, à savoir **avant et après abaissement de la vitesse maximale autorisée (VMA)**

Moyens mis en oeuvre

Les campagnes de mesures de la qualité de l'air ont eu lieu :

- Du **09 au 20 juin** 2007 pour la période **110 km/h**
- Du **06 au 25 septembre** 2007 pour la période **90 km/h**

Ces périodes ayant été choisies pour avoir des conditions environnementales (trafic et météorologie) les plus proches possibles.

Le laboratoire mobile, équipé d'analyseurs automatiques, a permis de mesurer en continu les teneurs de 4 polluants réglementés, utilisés couramment en traceurs du trafic routier, à savoir :

- Le **dioxyde d'azote** (NO₂)
- Les **oxydes d'azote** (NO_x)
- Le **monoxyde de carbone** (CO)
- Les **particules fines** (PM10)



● Laboratoire mobile

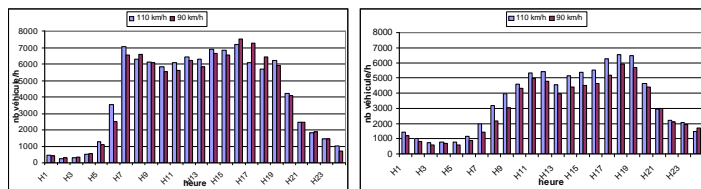
Implantation du laboratoire mobile

Principaux résultats

Les mesures en polluants réglementaires ont été **comparées aux normes en vigueur** ainsi qu'aux valeurs enregistrées par **certaines stations fixes déployées sur l'agglomération bordelaise** : la station de proximité automobile de Bordeaux-Gambetta ainsi que les stations urbaines de fond de Talence et Bordeaux-Grand Parc.

Conditions environnementales

Données trafic

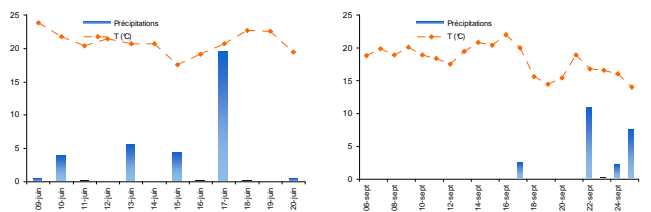


Trafic moyen journalier—Semaine

Trafic moyen journalier—Week-end

Les données de trafic sont issues du Centre Ingénierie de Gestion du Trafic (CIGT). Pendant les deux périodes d'essais, les flux de trafic sont **équivalents la semaine** et un peu **plus faibles le week-end** pendant l'étude de septembre. Au global, une **diminution du trafic de 3 %** est observée entre les deux campagnes.

Température et précipitations



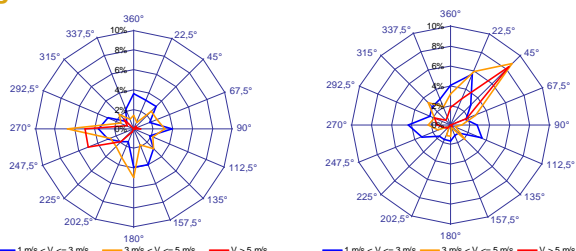
Précipitations : données Météo France, station de Mérignac

Données météorologiques—Juin

Données météorologiques—Septembre

Les températures moyennes sont de **20,9°C en juin** et de **18,1°C en septembre**. Les **précipitations** sont **plus élevées** sur la période de **juin** (35 mm sur 12 jours en juin contre 23 mm sur 20 jours en septembre). Aussi, un **lessivage moins important** de l'atmosphère en **septembre** a pu influencer à la **hausse les teneurs en polluants**.

Régime des vents



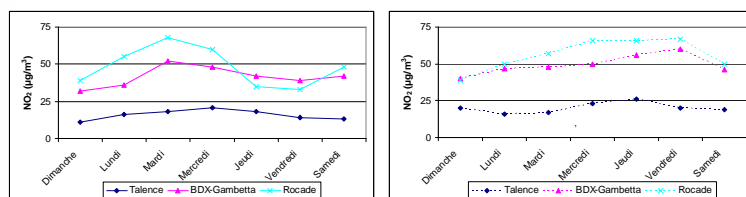
Force et direction des vents : données Météo France, station de Mérignac

Rose des vents—Juin

Rose des vents—Septembre

Même si les vitesses moyennes des vents sont équivalentes entre les deux périodes (3,10 m/s et 2,95 m/s), les **régimes des vents** sont **très différents**. En effet, sur la période de **juin**, les **vents dominants** sont d'**Ouest**, alors que sur **septembre**, ils sont **Nord-Est**. Ceci a une incidence directe sur les résultats de la campagne, car **durant** la période de **septembre**, le **laboratoire mobile** est directement **sous l'influence de la rocade**, situé au Nord-Nord-Est du laboratoire mobile.

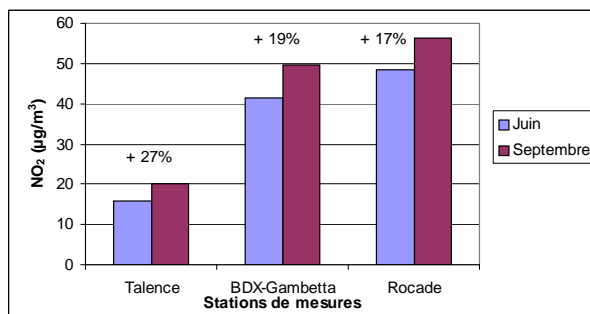
Le dioxyde d'azote (NO₂)



Profil moyen hebdomadaire juin

Profil moyen hebdomadaire septembre

A l'échelle de l'**agglomération bordelaise**, les teneurs en **dioxyde d'azote** ont globalement **augmenté** entre les deux périodes. Ceci se traduit par des teneurs plus élevées, à la fois sur les **stations de fond**, et sur les teneurs en **proximité automobile** (place Gambetta, comme sur la rocade). Aussi, une évolution globale entre les deux périodes a été établie pour ce polluant et est présentée ci-après.



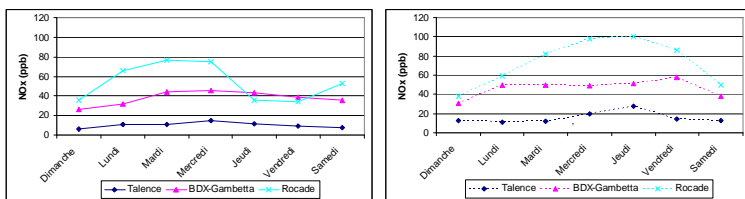
Ce graphique met donc en lumière les éléments suivants :

- **Des teneurs en dioxyde d'azote les plus élevées sur la rocade**, quelque soit la configuration
- **Une augmentation globale des teneurs en dioxyde d'azote** sur l'agglomération, liée à des conditions météorologiques moins favorables
- **Une augmentation** relative un peu **plus contenue sur le site de la rocade** par rapport aux autres sites pris en référence

Respect des normes pour le dioxyde d'azote

Aucune valeur horaire n'atteint les 200 µg/m³, valeur équivalente au niveau d'**information et de recommandation à la population**. **Sur la rocade**, la **moyenne** des deux campagnes **dépasse la valeur limite annuelle** fixée à 46 µg/m³ pour 2007. Ceci ne permet toutefois pas de déterminer le respect de cette valeur réglementaire calculée sur la base d'une moyenne annuelle, fortement influencée par la saisonnalité des polluants.

Les oxydes d'azote (NOx)



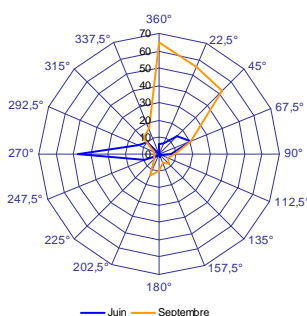
Profil moyen hebdomadaire juin

Profil moyen hebdomadaire septembre

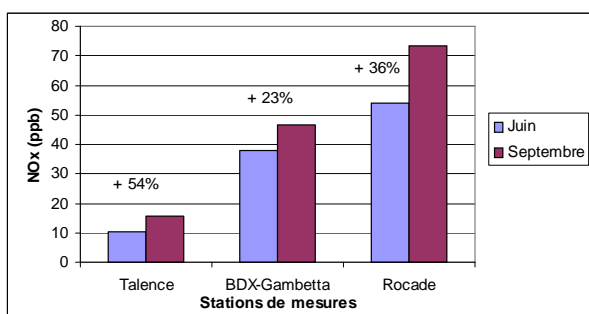
Les oxydes d'azote représentent la somme du dioxyde d'azote, et du monoxyde d'azote. Ce polluant est en général rencontré à des teneurs plus élevée à proximité immédiate des sources, étant par la suite rapidement oxydé en dioxyde d'azote dans l'atmosphère.

Autant pour le dioxyde d'azote, les teneurs étaient pratiquement équivalentes **entre Gambetta et la rocade**, autant pour les oxydes d'azote, **les teneurs sont 45 % plus élevées sur la rocade**. Ceci est accentué en septembre, avec l'apparition de pics en NOx élevés.

Lorsqu'on étudie de manière plus précise **ces pics**, ils **s'expliquent** par la modification du **régime des vents**. La rose de pollution présentée ci-contre en est une illustration. Elle permet de voir qu'en septembre, **la présence de vents de Nord-Est a été une source majeure de pics de NOx**.



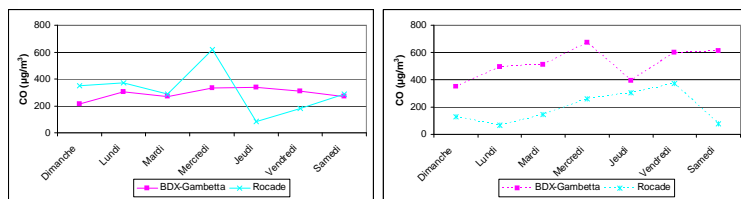
Comme pour le NO₂, les teneurs en NOx ont globalement augmenté sur l'agglomération bordelaise entre les deux périodes. Toutefois, **l'augmentation relative sur la rocade est plus élevée que** celle observée **sur Gambetta**, ceci s'expliquant en partie par le régime des vents favorable à de fortes teneurs au niveau du laboratoire mobile.



Respect des normes pour les oxydes d'azote

Les valeurs en **NOx** sur la rocade et sur Gambetta sont **supérieures à la valeur** annuelle établie pour **la protection de la végétation**. Toutefois, **le respect de cette norme** devant être **établi en milieu rural**, en absence de toute source, il n'est pas surprenant que cette valeur soit dépassée sur ces sites.

Le monoxyde de carbone (CO)

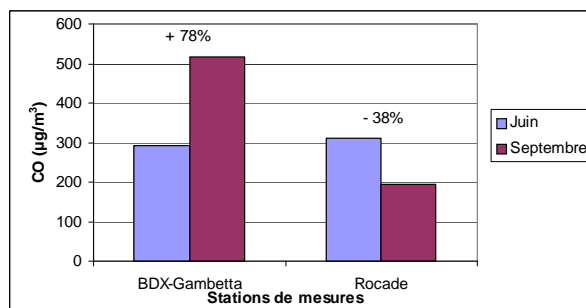


Profil moyen hebdomadaire juin

Profil moyen hebdomadaire septembre

Le CO n'étant mesuré qu'en proximité automobile, les valeurs observées sur la rocade ne seront comparées qu'à celles de la place Gambetta.

Les **évolutions** concernant ce polluant sont relativement **disparates**. Alors qu'une forte **augmentation** est observée sur la place **Gambetta**, une **diminution** est observée sur la **rocade**. Aussi, alors que les valeurs moyennes étaient comparables entre les deux points de mesures en juin, une **différence importante est observée en septembre**. A noter que ces **valeurs** sont globalement **faibles** et **proches de la limite** de quantification **des analyseurs**, fixée pour ce polluant à 200 µg/m³.



Respect des normes pour le monoxyde de carbone

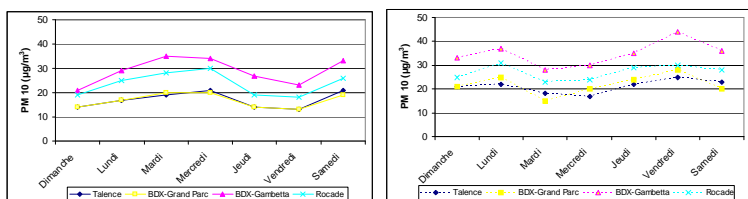
Réglementairement, le CO ne doit pas dépasser les 10 000 µg/m³ en moyenne sur 8 heures. Le tableau ci-dessous représente les valeurs maximales obtenues sur 8 heures lors des campagnes, et leur date d'occurrence.

	Rocade	Gambetta	
Juin	776	14/06/07	906
Septembre	880	22/09/07	1102
			18/06/07
			22/09/07

La valeur maximale observée sur la rocade est plus de 10 fois inférieure à ce seuil réglementaire. Ceci s'explique en partie par :

- La diminution globale des émissions de CO par les moteurs de voiture (meilleurs rendements de combustion, pots catalytiques)
- Les émissions plus faibles de CO à vitesse élevée, comparativement à ce qui est observé en centre-ville

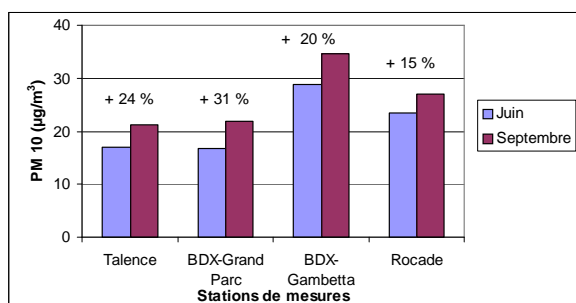
Les particules fines (PM10)



Profil moyen hebdomadaire juin

Profil moyen hebdomadaire septembre

Au niveau national, les **particules fines** sont issues à 11 % du trafic routier. De plus, ce polluant a la faculté de se déplacer sur des distances plus importantes que les autres polluants d'origine automobile. Aussi, il est **dépendant** à la fois de **phénomènes locaux et globaux**. Ceci est particulièrement visible sur les profils présentés ci-dessus. Toutes les courbes, que cela soit en site de fond ou de proximité, suivent les mêmes allures.



Aussi, **l'évolution** observée **sur la rocade** entre les deux périodes est d'abord **à rapprocher** de phénomènes à l'échelle de l'agglomération bordelaise. Il faut toutefois noter que **l'augmentation observée sur la rocade** fait partie des plus faibles en valeur absolue et est **la plus faible en pourcentage**.

Respect des normes pour les particules fines

Ni **l'objectif de qualité** (30 µg/m³ en moyenne annuelle), ni **la valeur limite annuelle** (40 µg/m³ en moyenne annuelle), n'ont été **dépassés sur la rocade** pendant l'étude. Toutefois, comme pour le dioxyde d'azote, le respect de ces valeurs devant s'établir sur une base annuelle, ces éléments sont à prendre avec précaution.

La **valeur limite journalière** (50 µg/m³), pouvant être dépassée 35 fois par an **n'a pas été dépassée sur la rocade sur la période d'études** (4 dépassements à signaler à Gambetta sur la même période).

Conclusion sur l'analyse préliminaire

Etant donné la **variabilité des conditions météorologiques**, et en particulier des régimes de vents, l'analyse préliminaire **ne permet pas d'établir l'impact** de la modification de la VMA sur la qualité de l'air à proximité de la rocade. Les **tendances** observées sont **globalement celles** observées sur **l'agglomération**, à des degrés divers. Aussi, **l'utilisation d'outils statistiques** permettant de mieux appréhender cet impact s'est avérée nécessaire.

Approche statistique

Cette **approche statistique** a été réalisée en deux temps:

- Une analyse de type « ANOVA » permettant de **déterminer si** oui ou non **le changement de vitesse a eu un impact** sur les différents polluants mesurés
- Une modélisation par régression linéaire multiple afin de **quantifier cet impact** dans les cas où un impact a été avéré par l'ANOVA

ANOVA (ANalysis Of VAriance)

L'ANOVA est une méthode statistique qui permet de déterminer si l'influence d'un facteur (ici, la vitesse maximale autorisée) sur une variable (ici, la concentration en polluant) est significative, indépendamment des autres paramètres influents (météorologie, pollution de fond, ...).

Elle repose sur la **comparaison entre deux modèles statistiques**, l'un ne prenant pas en compte le facteur en question, l'autre le prenant en compte.

La comparaison de ces deux modèles va permettre de tester, pour chacun des polluants, l'hypothèse suivante :

- H_0 : la prise en compte du facteur n'a pas d'effet significatif
- Contre l'hypothèse H_1 : la prise en compte du facteur a un effet significatif

Les estimations des deux modèles sont comparées aux mesures réelles, et permettent de déterminer une probabilité que H_0 soit vraie, ou « p-value ». En général, on considère que l'hypothèse H_0 est rejetée si cette « p-value » est inférieure à 5%. Autrement dit, **l'effet du facteur est reconnu si la « p-value » est inférieure à 0,05**.

Polluant	« p-value » associée à l'ANOVA (limite = 0,05)	Conclusion sur l'effet du facteur VMA*
NO ₂	0,0000001182	Effet significatif
NOx	0,004275	Effet significatif
CO	0,0000002136	Effet significatif
PM10	0,00001147	Effet significatif

(* : VMA = Vitesse Maximale Autorisée)

Dans le cas de cette étude, **toutes les « p-value » sont largement inférieures à 0,05**, ce qui permet de déterminer que **le passage à 90 km/h** de la vitesse maximale autorisée sur la rocade **a eu une influence sur les polluants mesurés**. Reste donc à quantifier cet impact, ce qui est l'objet de l'utilisation de la régression linéaire multiple, présentée ci-après.

Régression linéaire multiple

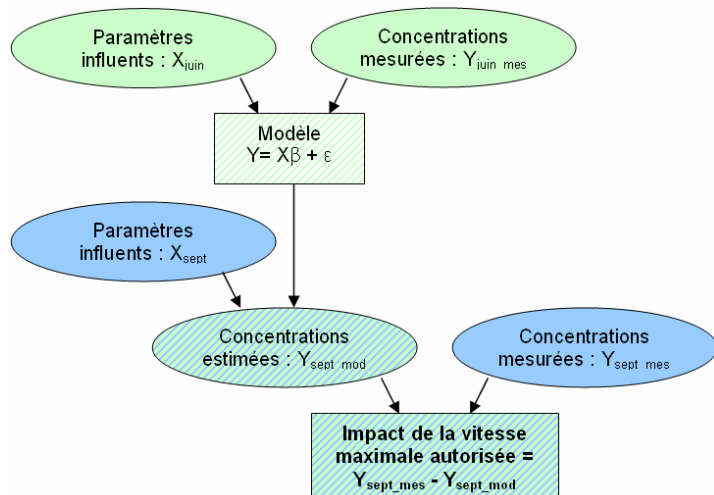
Principe et application à l'étude

Les modèles de régression permettent **d'établir une relation entre un ensemble de paramètres d'influence (variables explicatives X) et les mesures réalisées lors de campagnes (Y)**. Les paramètres d'influence peuvent être le même polluant mesuré ailleurs, des informations météorologiques, etc...

La technique consiste à **estimer les concentrations** en dehors des campagnes de mesures **à partir des données expérimentales** enregistrées pendant ces campagnes.

Parmi les modèles possibles, le plus simple est le **modèle linéaire** : $Y = a_0 + a_1.X_1 + a_2.X_2 + \dots + a_n.X_n + \text{résidu}$.

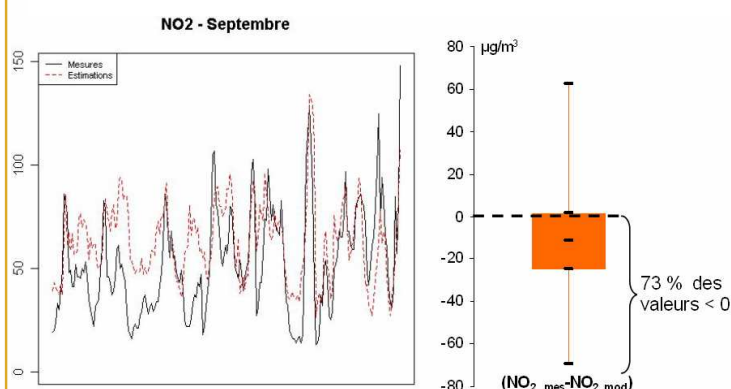
Dans le cadre de cette étude, un **modèle de régression linéaire a été établi** pour chacun des polluants, **sur la base des mesures obtenues au mois de juin**, ainsi que sur la base des paramètres influents (ou variables explicatives) mesurées au mois de juin.



A partir de ce modèle et des variables explicatives mesurées en septembre, **des concentrations ont été estimées**. **L'écart observé** entre les concentrations estimées et les concentrations mesurées **peut** dans ce cas **être imputé aux variables non prises en compte** dans la modélisation, **dont fait partie la vitesse maximale autorisée**.

Exemple d'application : le dioxyde d'azote (NO₂)

La figure ci-après présente graphiquement la **comparaison entre le modèle** issu des mesures de juin **et les mesures** de septembre pour le NO₂, ainsi que la représentation en box-plot (*voir glossaire*) de la variable ($Y_{\text{sept_mes}} - Y_{\text{sept_mod}}$), **représentant l'impact de la vitesse maximale autorisée**. Il apparaît que 73 % du temps, le modèle est au dessus de la mesure, signifiant qu'**un autre paramètre, non pris en compte dans la modélisation, influence les mesures à la baisse**. Si on considère que **ce paramètre est la modification de la vitesse**, qui n'est pas modélisée, cela permet **d'estimer l'impact de la diminution de la vitesse en moyenne à 11 µg/m³**. La **qualité du modèle** peut être considérée comme **moyenne** ($R^2 = 0,635$).



Synthèse de la régression linéaire multiple

La **démarche** présentée pour le dioxyde d'azote a été **appliquée à l'ensemble des polluants**. La synthèse des résultats est présentée dans le tableau ci-après.

Polluants en µg/m ³	Impact moyen estimé de la réduction de la vitesse		Qualité du modèle
NO ₂	- 11 µg/m ³	- 23 %	★★
NOx	- 14 ppb	- 26 %	★★
CO	- 115 µg/m ³	- 37 %	★
PM10	- 4 µg/m ³	- 17 %	★★★

Il ressort de cette analyse statistique une **diminution** significative **pour les différents polluants, allant de -17% pour les PM10 à -37% pour le CO**. Ces résultats sont toutefois **à prendre avec précaution**, en particulier vis-à-vis de **la qualité des modèles**. Pour ce qui est des **PM10, la bonne qualité des modèles** s'explique par un comportement global et une **bonne corrélation des niveaux de fond en PM10** sur l'agglomération. A l'inverse, pour le **CO**, le fait que ce polluant ne soit **pas mesuré en site de fond** et que les **niveaux** mesurés soient **très faibles**, et proches des limites de détection des appareils engendrent une **qualité médiocre du modèle**.

Principales conclusions

Cette étude de l'impact sur la qualité de l'air du passage de la vitesse maximale autorisée (VMA) de la rocade à 90 km/h menée entre juin et septembre a permis de disposer de **premiers éléments** quant à la **qualité de l'air autour de cette infrastructure**.

Malgré les précautions prises pour se retrouver dans des conditions environnementales équivalentes, le **régime des vents** était **très différent** entre les deux campagnes, complexifiant l'analyse des données. Ainsi, les **teneurs en polluants sur la rocade**, mais **aussi sur les stations de référence** ont **augmenté** sur les deux périodes, **exception faite du CO** qui a diminué sur la rocade entre les deux campagnes. Les **augmentations observées** en PM10, en NOx et en NO₂ étant du **même ordre de grandeur** que sur les stations de référence, il n'était **pas possible**, par une **analyse classique** de **déterminer l'impact** de la modification de la VMA sur la qualité de l'air.

Polluants en µg/m ³	Rocade	Gambetta	Talence	Grand Parc
NO ₂ Juin	48	42	16	-
NO ₂ Septembre	56	50	20	-
Evolution NO ₂ (NOx en ppb)	+ 17 %	+ 19 %	+ 27 %	-
NOx Juin	54	38	10	-
NOx Septembre	73	47	16	-
Evolution NOx	+ 36 %	+ 23 %	+ 54 %	-
CO Juin	312	292	-	-
CO Septembre	193	518	-	-
Evolution CO	- 38%	+ 78 %	-	-
PM10 Juin	24	29	17	17
PM10 Septembre	27	35	21	22
Evolution PM10	+ 15 %	+ 20 %	+ 24 %	+ 31 %

Aussi, une **analyse statistique** des données a été réalisée. Pour les polluants considérés, une ANOVA (ANALYSIS Of VARIance) a été réalisée et a déterminé que **l'abaissement de la VMA avait un impact sur les teneurs mesurées**. Une loi de régression linéaire multiple a donc été réalisée afin de **quantifier cet impact**. Au final, **l'impact moyen a été estimé entre -17% (PM10) et -37% (CO)**. Ces résultats sont toutefois à **prendre avec précaution**, en particulier vis-à-vis de la **qualité des modèles** établis. Cette **qualité variable** des modèles est dépendante de plusieurs paramètres et s'explique soit par des aspects liés intrinsèquement au polluant considéré (CO mesuré uniquement sur les stations de proximité automobile, valeurs proches des limites de quantification des analyseurs...) mais aussi par des aspects liés à la campagne de mesure (saisonnalité des polluants, absence de données de vitesse à intégrer au modèle). Aussi, **pour affiner et confirmer ces résultats**, eux mêmes **corroborés par les données calculées à l'émission par l'ADEME**, un suivi sur du **plus long terme** de la **qualité de l'air à proximité de la rocade** serait souhaitable.

Polluants en µg/m ³	Impact moyen estimé de la réduction de la vitesse	Qualité du modèle	Impact annoncé par l'ADEME ^(*)	
NO ₂	- 11 µg/m ³	- 23 %	★★	- 9 %
NOx	- 14 ppb	- 26 %	★★	- 9 %
CO	- 115 µg/m ³	- 37 %	★	- 39 %
PM10	- 4 µg/m ³	- 17 %	★★★	- 25 %

(*) données issues du logiciel IMPACT – ADEME 2007

Glossaire

Oxydes d'azote (NOx)

Le terme « oxydes d'azote » regroupe le dioxyde d'azote (NO₂) et le monoxyde d'azote (NO). Ces polluants sont issus à 46 % du trafic routier. Ils sont responsables d'affections pulmonaires et favorise les infections.

Monoxyde de carbone (CO)

Le monoxyde de carbone provient du trafic automobile et du mauvais fonctionnement des chauffages. Il provoque maux de tête, vertiges. Il est mortel à forte concentration, en cas d'exposition prolongée en milieu confiné.

Particules fines (PM10)

Les particules fines proviennent du trafic automobile, des chauffages fonctionnant au fioul ou au bois et des activités industrielles. Plus elles sont fines, plus ces poussières pénètrent profondément dans les voies respiratoires.

Analyse de la variance (ANOVA)

Méthode statistique permettant de déterminer si l'influence d'un facteur sur une variable est significatif. Elle est basée sur la comparaison de modèles statistiques.

Box-plot (ou boîte à moustaches)

Méthode de représentation graphique d'une série de données, en résumant quelques unes de ces caractéristiques à savoir :

- Le maximum
- Le 3^{ème} quartile (délimitant les 25% des données les plus élevées)
- La médiane (séparant les données en deux groupes de même taille)
- Le 1^{er} quartile (délimitant les 25% des données les plus basses)
- Le minimum

Surveillance de la Qualité de l'Air en Aquitaine



13, allée James Watt
Parc d'activités Chemin Long
33692 Mérignac Cedex
Tel : 05 56 24 35 30
Fax : 05 56 24 24 06
www.airaq.asso.fr



Le rapport complet est disponible sur le site www.airaq.asso.fr