ORAMIP
OBSERVATOIRE RÉGIONAL DE L'AIR EN MIDI-PYRÉNÉES
Atmo Midi-Pyrénées

Qualité de l'air
Rapport d'étude
2015

TISSÉO
ÉTUDE DE SUIVI AIR - PHASE 3 - MÉTRO LIGNE B

ÉVALUATION DE LA QUALITÉ DE L'AIR DANS LA ZONE D'ÉTUDES DÉSSERVIE PAR LA LIGNE B

Atmo Midi-Pyrénées - ORAMIP
19 avenue Clément Ader
31770 COLOMIERS
Tél : 05 61 15 42 46
contact@oramip.org - **http://oramip.atmo-midipyrenees.org**

CONDITIONS DE DIFFUSION

ORAMIP ATMO- Midi-Pyrénées, est une association de type loi 1901 agréée par le Ministère de l'Ecologie, du Développement Durable des Transports et du Logement (décret 98-361 du 6 mai 1998) pour assurer la surveillance de la qualité de l'air sur le territoire de Midi-Pyrénées. ORAMIP ATMO-Midi-Pyrénées fait partie de la fédération ATMO France.

Ses missions s'exercent dans le cadre de la loi sur l'air du 30 décembre 1996. La structure agit dans l'esprit de la charte de l'environnement de 2004 adossée à la constitution de l'Etat français et de l'article L.220-1 du Code de l'environnement. Elle gère un observatoire environnemental relatif à l'air et à la pollution atmosphérique au sens de l'article L.220-2 du Code de l'Environnement.

ORAMIP ATM-Midi-Pyrénées met à disposition les informations issues de ses différentes études et garantit la transparence de l'information sur le résultat de ses travaux. A ce titre, les rapports d'études sont librement accessibles sur le site www.oramip.org.

Les données contenues dans ce document restent la propriété intellectuelle d'ORAMIP ATM-Midi-Pyrénées. Toute utilisation partielle ou totale de données ou d'un document (extrait de texte, graphiques, tableaux, …) doit obligatoirement faire référence à ORAMIP ATMO-Midi-Pyrénées.

Les données ne sont pas rediffusées en cas de modification ultérieure.

Par ailleurs, ORAMIP ATM-Midi-Pyrénées n'est en aucune façon responsable des interprétations et travaux intellectuels, publications diverses résultant de ses travaux et pour lesquels aucun accord préalable n'aurait été donné.

En cas de remarques sur les informations ou leurs conditions d'utilisation, prenez contact avec l'ORAMIP : depuis le formulaire de contact sur le site :

- http://oramip.atmo-midipyrenees.org
- par mail : contact@oramip.org
- par téléphone : 05.61.15.42.46

SOMMAIRE

CONDITIONS DE DIFFUSION 2

SOMMAIRE 3

SYNTHÈSE DE L'ETUDE DE SUIVI 4

Objectif du suivi 4

Principes Méthodologiques 4

Description des moyens mis en oeuvre 5

EVOLUTION DE LA POLLUTION DE FOND EN NO_2 SUR LA ZONE D'ETUDES 7

Avant la mise en service de la ligne B - année 2006 7

Un an après la mise en service de la ligne B - année 2008 8

6 ans après la mise en service de la ligne B - année 2013 9

Entre 2006 et 2013, des niveaux moyens de NO_2 en baisse en proximité routière et stable en fond urbain sur la zone d'études 10

EVOLUTION DES EMISSIONS ROUTIERES SUR LA ZONE D'ETUDES ENTRE 2008 ET 2013 14

ÉVOLUTION INTEGRANT LA POLLUTION DE PROXIMITE ROUTIERE 15

Des zones en dépassement de valeurs limites proches des grands axes 15

Un recul de la population touchée par les dépassements de valeurs limites entre 2008 et 2013 15

Une disparité dans l'évolution des concentrations en NO_2 entre 2008 et 2013 15

CONCLUSIONS 17

ANNEXE I : RÉSULTATS DE LA CAMPAGNE DE MESURES PAR STATIONS MOBILES EN 2013 18

ANNEXE II : RÉSULTATS DE LA CAMPAGNE DE MESURES DE DIOXYDE D'AZOTE EN 2013 22

ANNEXE III : RÉSULTATS DE LA CAMPAGNE DE MESURES DE BENZENE EN 2013 28

ANNEXE IV : MÉTHODOLOGIE DE MODÉLISATION ET DE CARTOGRAPHIE 31

Principe de la méthode 31

Prétraitement de la modélisation 32

Post traitement de la modélisation 34

Cartographie et Impact sur les populations 34

ANNEXE V: INDICATEURS STATISTIQUES DE COMPARAISON MESURES/MODÈLE 35

Méthodologie 35

Présentation des indicateurs statistiques utilisés 35

Un modèle performant 37

SYNTHÈSE DE L'ETUDE DE SUIVI

Objectif du suivi

Les études de suivi des grandes infrastructures de déplacements ont pour objectif l'**observation** des **modifications** apportées par la nouvelle infrastructure au système de déplacements et à son environnement physique, économique et social, de façon à évaluer l'efficacité de l'investissement public.

La ligne B du métro toulousain a été mise en service en juin 2007. La phase 1 de l'étude d'impact (état des lieux) a été effectuée en automne 2006 et la phase 2 en automne 2008. Le but de l'étude présentée dans ce rapport est :

- de réaliser un suivi de l'évolution de la qualité de l'air autour du tracé de la ligne B entre 2006, 2008 et 2013.

Cette étude de suivi est une étude d'impact sur la qualité de l'air dite de Phase 3: c'est à dire une étude sur l'impact de la qualité de l'air dans la zone d'études desservie par la ligne B du métro toulousain 6 ans après sa mise en service.

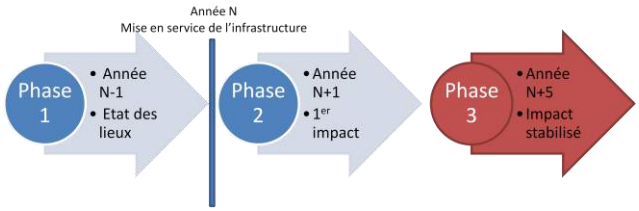


Schéma 1 : Etude de suivi air Phase 3

Elle s'articule sur une comparaison de l'évolution de la qualité de l'air entre 2006, 2008 et 2013 autour de trois axes principaux:

- Une comparaison au droit de l'emplacement de 2 stations mobiles
- Une comparaison sur les concentrations de fond en NO_2 entre 2006 et 2013 afin de mettre en évidence de grandes tendances.
- une comparaison entre 2008 et 2013 via une modélisation fine échelle afin de mettre en évidence des impacts plus locaux au niveau de la proximité trafic.

Principes Méthodologiques

La méthodologie d'évaluation de la qualité de l'air s'articule autour des **trois axes** suivants :

- L'utilisation de deux **moyens mobiles** pour la réalisation d'une **campagne ponctuelle** d'au moins **quinze jours**. Les moyens mobiles permettent de mesurer **les indicateurs les plus pertinents** de la qualité de l'air et de les comparer aux stations fixes de l'ORAMIP en place sur l'agglomération toulousaine. **Ils ont été installés sur le bord de la route de Narbonne (Station Université) et à l'intersection du Boulevard de Strasbourg et de la rue Alsace Lorraine (Station Jeanne d'Arc).**

- La mise en place de **tubes échantillonneurs passifs** permettant la mesure du dioxyde d'azote et du benzène sur une période de 15 jours. Ces tubes permettent d'évaluer la dispersion du polluant étudié par rapport à la distance à la voie. Ils ont été disposés dans la totalité de la zone d'études autour du tracé de la ligne B.

- la modélisation fine échelle de la pollution de l'air sur l'ensemble du domaine d'études

Les mesures réalisées doivent permette d'évaluer l'évolution de la qualité de l'air entre 2006, 2008 et 2013 mais aussi de valider la cartographie haute définition effectuée sur la zone d'études.

RAPPEL

Lorsque des mesures sont effectuées sur une période inférieure à l'année, nous estimons la qualité de l'air observée pendant cette période vis-à-vis de la réglementation, même si les valeurs de référence sont annuelles et si les conditions particulières de la campagne de mesures peuvent être différentes de celles d'une année entière. Pour cela, différentes méthodes sont utilisées (comparaison avec les données des sites de mesures les plus proches, sur le même temps et en année complète, analyse des conditions météorologiques, reconstitution des données, ...). Cependant, il pourra toujours exister une différence entre des mesures de quelques jours et des mesures sur une année entière.

L'ensemble des mesures conduisant à cette synthèse sont consultables en annexe. Afin de situer les mesures de cette campagne, les concentrations mesurées sur le domaine d'études sont comparées aux situations suivantes :

- situation urbaine toulousaine
- situation trafic toulousaine

Description des moyens mis en oeuvre

DEUX STATIONS DE MESURES IMPLANTEES LE LONG DE L'AXE DE LA LIGNE B

Une station est implantée prés de l'Université Paul Sabatier, Route de Narbonne (site Université), afin d'apprécier l'impact à proximité du terminus de la ligne B
L'autre station mobile est positionnée proche de la place Jeanne d'Arc sur le Boulevard de Strasbourg afin d'estimer l'impact en centre ville

UNE SURVEILLANCE AXEE SUR LES PARTICULES ET LE DIOXYDE D'AZOTE

Polluants atmosphériques	Symbole
Monoxyde et dioxyde d'azote	NO/NO_2
Particules de diamètre inférieur à 2,5 µm	PM2,5
Particules de diamètre inférieur à 10 µm	PM10

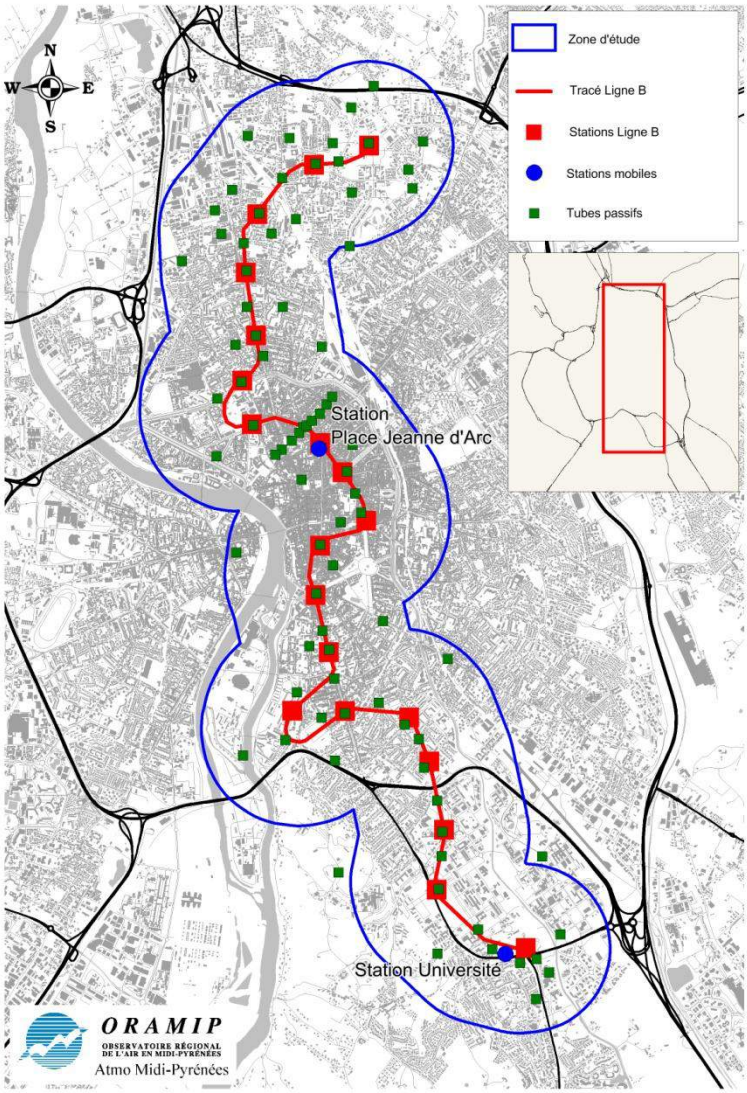
UNE CAMPAGNE DE MESURES PAR TUBES PASSIFS

La campagne de mesures du dioxyde d'azote et des BTX par tubes échantillonneurs passifs a été menée sur une bande d'études de 1 km autour du tracé de la ligne B du métro toulousain.

Deux types de sites ont été recherchés pour la mise en place des échantillonneurs passifs.

- Certains sites devaient être représentatifs de la pollution de proximité trafic (afin d'estimer les niveaux maximaux de dioxyde d'azote et de benzène auxquels sont soumises les personnes dans la rue)
- tandis que d'autres sites devaient être représentatifs de la pollution urbaine de fond (pollution respirée par la majorité de la population).

L'ensemble du dispositif de mesure est représenté dans la carte ci-après.



Campagne Tubes passifs
Installation : le 4 novembre 2013
Retrait : le 15 novembre 2013

Carte 1 : Dispositif de mesure le long de la ligne B du métro toulousain

UN INVENTAIRE COMPLET DES EMISSIONS SUR LE DOMAINE D'ETUDE

Le calcul des émissions des principaux polluants modélisés a été réalisé sur le domaine d'étude en utilisant l'outil Act'Air développé par l'ORAMIP.
Les émissions des transports routiers, des secteurs résidentiel/tertiaire, industriel et agricole ont été ainsi calculées et utilisées dans la plateforme de modélisation

UNE PLATEFORME DE MODELISATION URBAINE

Une plateforme de modélisation fine échelle de la qualité de l'air, développée à l'ORAMIP, a été utilisée afin de modéliser les concentrations sur le domaine d'études du principal polluant d'intérêt: le dioxyde d'azote (NO_2).
Des cartographies ont ensuite été réalisées grâce aux résultats de cette plateforme afin de pouvoir évaluer l'évolution de la qualité de l'air sur le domaine d''études.

ÉVOLUTION DE LA POLLUTION DE FOND EN NO_2 SUR LA ZONE D'ÉTUDES

L'évolution de la **pollution de fond** sur un domaine d'études permet de mettre en évidence les **grandes tendances** qui s'en dégagent.

Les cartographies de pollution de fond n'utilisent pas de sorties de la plateforme de modélisation mais sont le résultat d'une **interpolation des concentrations** en NO_2 issues des **campagnes de mesures** effectuées en 2006, 2008 et 2013.

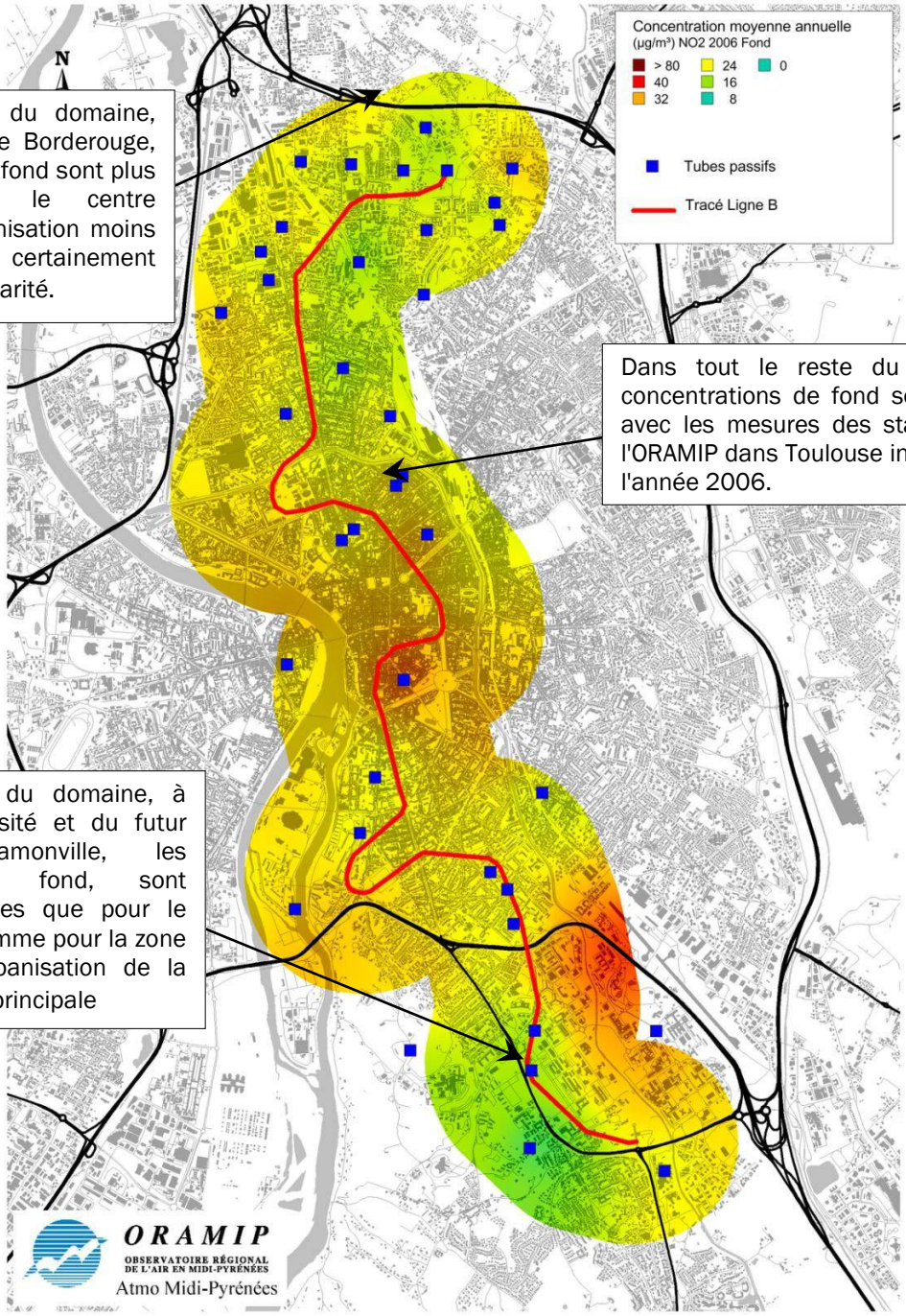
Pour cela, seuls les sites de mesure qualifiés de "fond urbain" (en opposition à ceux qui se trouvent en "proximité routière") sont utilisés.

Avant la mise en service de la ligne B - année 2006

Dans la zone Nord du domaine, autour du quartier de Borderouge, les concentrations de fond sont plus faibles que pour le centre toulousain. Une urbanisation moins intense en 2006 est certainement la raison de cette disparité.

Dans tout le reste du domaine, les concentrations de fond sont cohérentes avec les mesures des stations fixes de l'ORAMIP dans Toulouse intra muros pour l'année 2006.

Dans la zone Sud du domaine, à proximité de l'université et du futur terminus de Ramonville, les concentrations de fond, sont nettement plus faibles que pour le centre toulousain. Comme pour la zone Nord, une faible urbanisation de la zone en est la raison principale



Carte 2 : Situation du niveau de fond du dioxyde d'azote sur le domaine d'études pour l'année 2006

En 2006, les concentrations en NO_2 mesurées pour les sites de fond sur la zone d'études varient entre 9 et 34 µg/m³. Une grande majorité des mesures (principalement dans le centre du domaine) sont du même ordre de grandeur que celles relevées par les stations fixes urbaines toulousaines (en moyenne 23 µg/m³ sur l'année).
En 2006, les concentrations les plus faibles se trouvent autour des 2 terminus de la future ligne B: quartier de Borderouge et à proximité de la zone universitaire et de Ramonville. Tandis que les concentrations les plus importantes se trouvent principalement dans les zones traversées par le périphérique et en hyper centre.

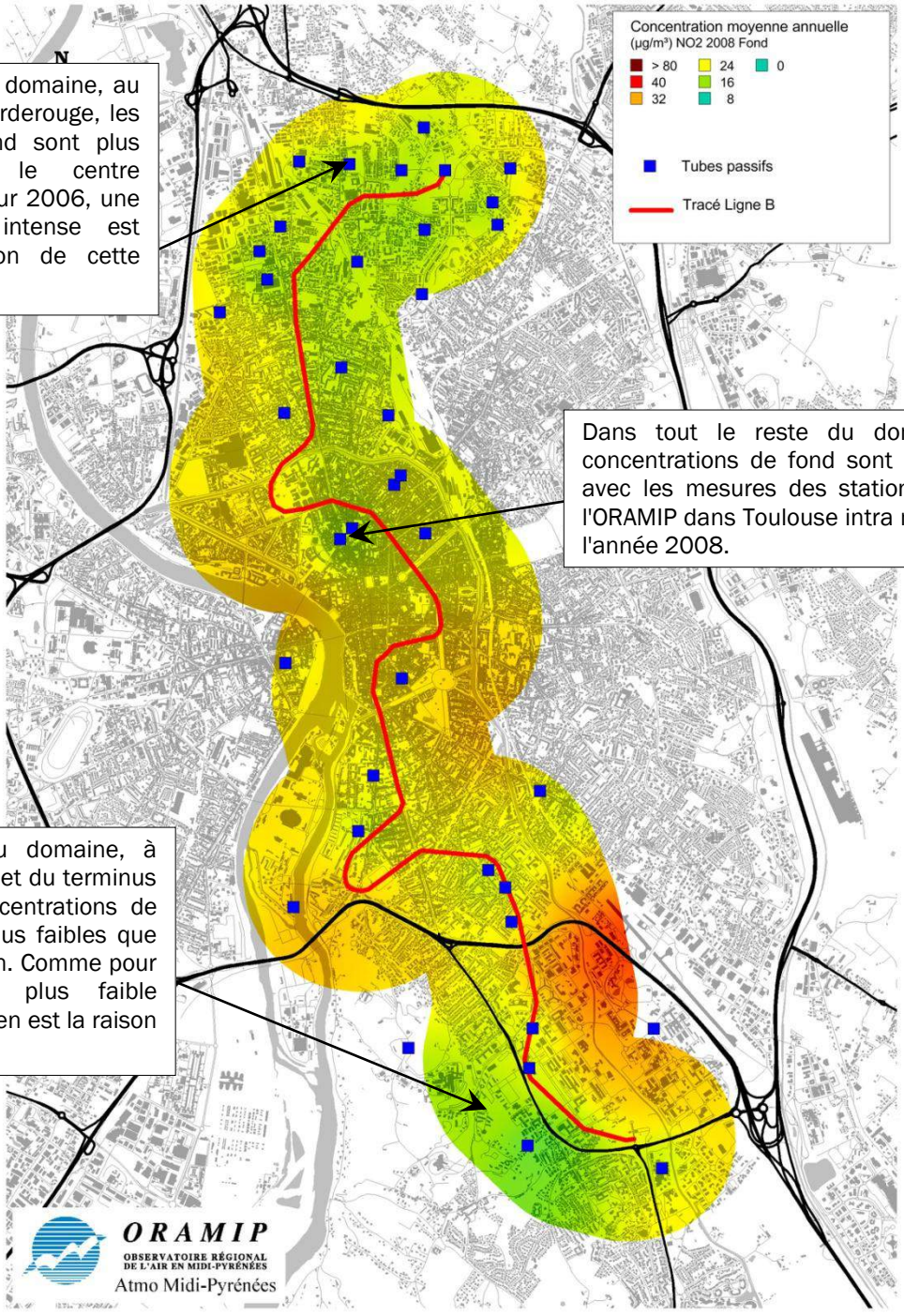
L'ensemble des sites de fond respecte la valeur limite pour la protection de la santé humaine de 40 µg/m³ fixée pour une année de mesures.

Un an après la mise en service de la ligne B - année 2008

Dans la zone Nord du domaine, au sein du quartier de Borderouge, les concentrations de fond sont plus faibles que pour le centre toulousain. Comme pour 2006, une urbanisation moins intense est certainement la raison de cette disparité.

Dans tout le reste du domaine, les concentrations de fond sont cohérentes avec les mesures des stations fixes de l'ORAMIP dans Toulouse intra muros pour l'année 2008.

Dans la zone Sud du domaine, à proximité de l'université et du terminus de Ramonville, les concentrations de fond, sont nettement plus faibles que pour le centre toulousain. Comme pour la zone Nord, une plus faible urbanisation de la zone en est la raison principale



Carte 3 : Situation du niveau de fond du dioxyde d'azote sur le domaine d'études pour l'année 2008

En 2008, les concentrations en NO_2 mesurées pour les sites de fond sur la zone d'études varient entre 12 et 31 µg/m³. Une grande majorité des mesures (principalement dans le centre du domaine) sont du même ordre de grandeur que celles relevées par les stations fixes urbaines toulousaines (en moyenne 22 µg/m³ sur l'année).
En 2008 comme en 2006, les concentrations les plus faibles se trouvent autour des 2 terminus de la ligne B: quartier de Borderouge et à proximité de la zone universitaire et de Ramonville. Tandis que les concentrations les plus importantes se trouvent principalement dans les zones traversées par le périphérique.

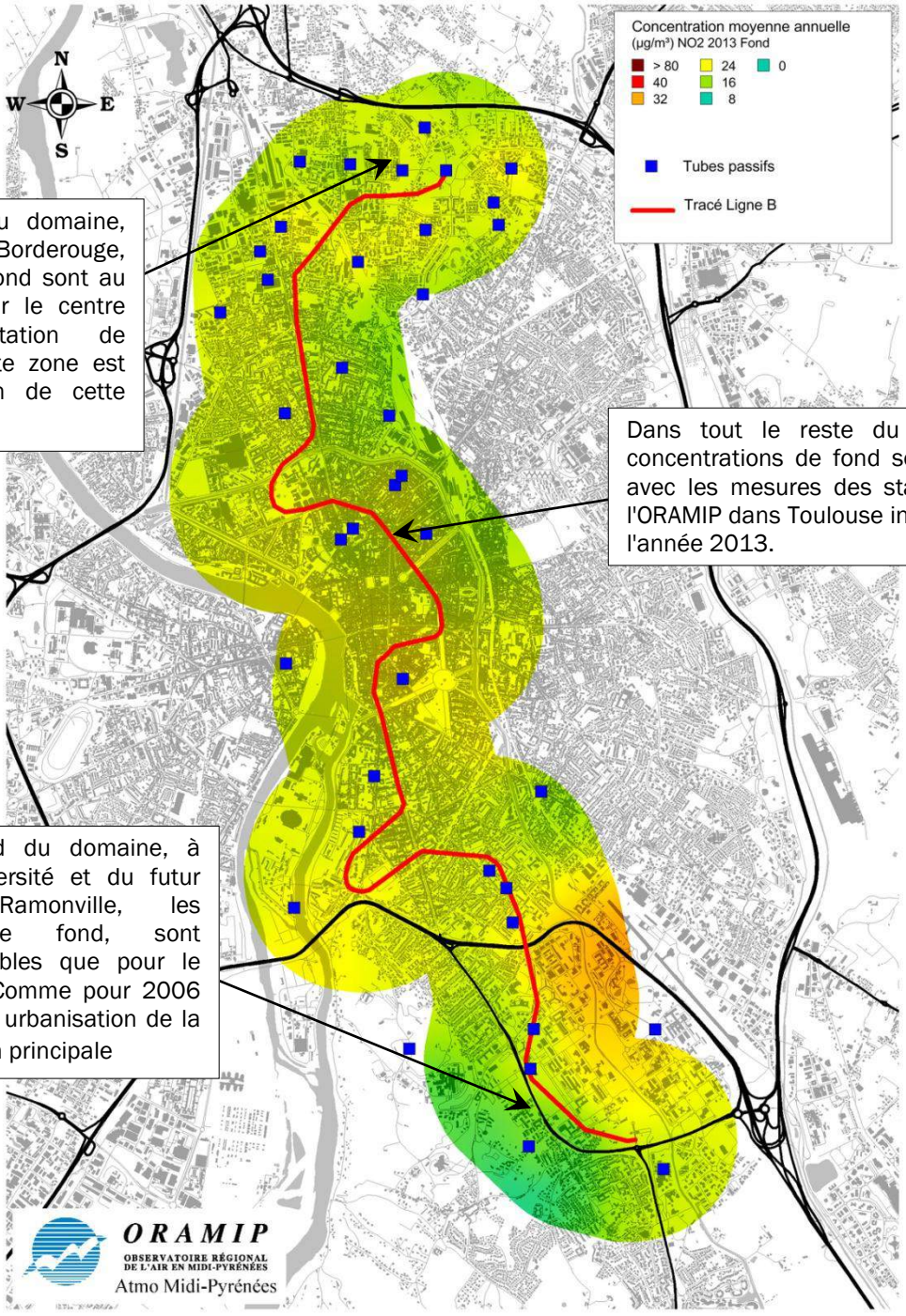
L'ensemble des sites de fond respecte la valeur limite pour la protection de la santé humaine de 40 µg/m³ fixée pour une année de mesures.

6 ans après la mise en service de la ligne B - année 2013

Dans la zone Nord du domaine, autour du quartier de Borderouge, les concentrations de fond sont au même niveau que pour le centre toulousain. L'augmentation de l'urbanisation dans cette zone est certainement la raison de cette évolution.

Dans tout le reste du domaine, les concentrations de fond sont cohérentes avec les mesures des stations fixes de l'ORAMIP dans Toulouse intra muros pour l'année 2013.

Dans la zone Sud du domaine, à proximité de l'université et du futur terminus de Ramonville, les concentrations de fond, sont nettement plus faibles que pour le centre toulousain. Comme pour 2006 et 2008, une faible urbanisation de la zone en est la raison principale



Carte 4 : Situation du niveau de fond du dioxyde d'azote sur le domaine d'études pour l'année 2013

En 2013, les concentrations en NO_2 mesurées pour les sites de fond sur la zone d'études varient entre 16 et 31 µg/m³. Une grande majorité des mesures (principalement dans le centre du domaine) sont du même ordre de grandeur que celles relevées par les stations fixes urbaines toulousaines (en moyenne 22 µg/m³ sur l'année).
En 2013, les concentrations les plus faibles se trouvent principalement autour du terminus sud de la ligne B: à proximité de la zone universitaire et de Ramonville. Les concentrations autour du terminus Nord et du quartier de Borderouge sont, quant à elles, au même niveau que pour les stations de fond toulousaines.
Tandis que les concentrations les plus importantes se trouvent principalement dans les zones traversées par le périphérique.

L'ensemble des sites respectent la valeur limite pour la protection de la santé humaine de 40 µg/m³ fixée pour une année de mesures.

Entre 2006 et 2013, des niveaux moyens de NO_2 en baisse en proximité routière et stable en fond urbain sur la zone d'études

Les cartes suivantes présentent l'évolution des concentrations moyennes de dioxyde d'azote entre 2006 et 2013.

Entre 2006 et 2008, la carte d'évolution montre une stabilité générale des niveaux de NO_2 sur l'ensemble du domaine d'études. Cette tendance est en corrélation avec les mesures des stations fixes urbaines.
Cependant cette stabilité générale est émaillée par:

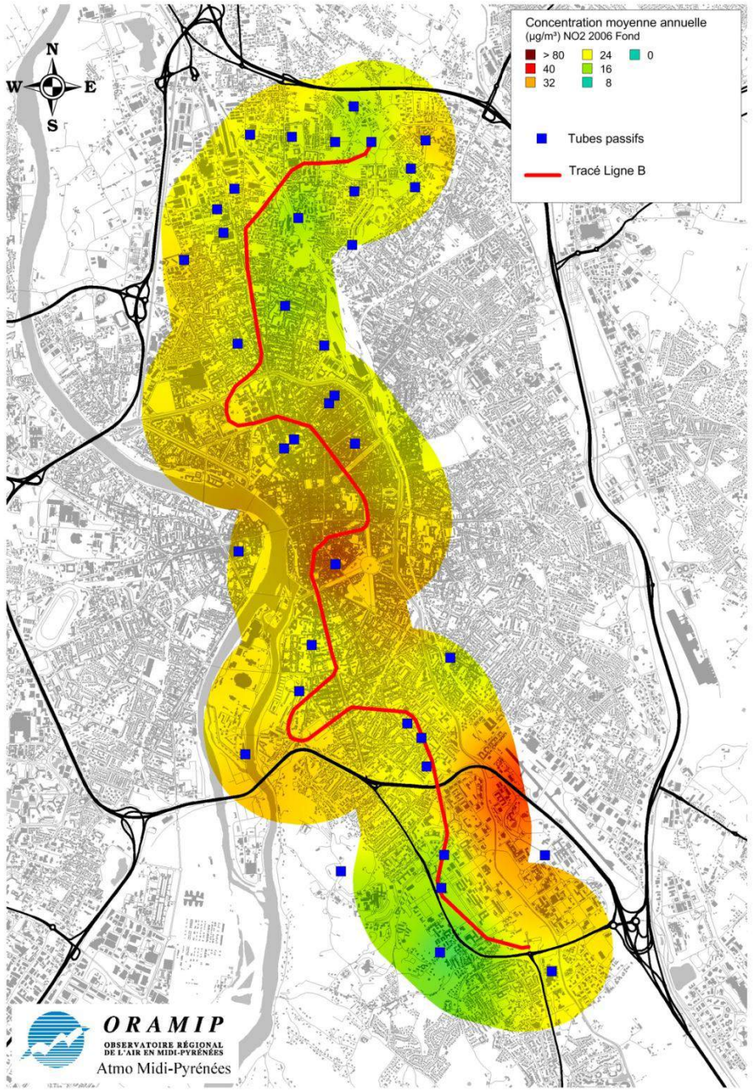
- Une légère diminution des concentrations au nord de la zone d'études (quartier Borderouge)
- Une légère augmentation au sud de la zone d'études

Entre 2006 et 2013, la carte d'évolution montre une baisse généralisée des concentrations de fond sur le domaine d'études. Cette baisse est similaire avec celle mesurée par les stations de fond toulousain de l'ORAMIP, cependant elle est nettement plus marquée sur le centre-ville de Toulouse. Il faut aussi noter une légère augmentation des concentrations en NO_2 au Nord et au Sud du domaine à proximité des terminus de la ligne B.

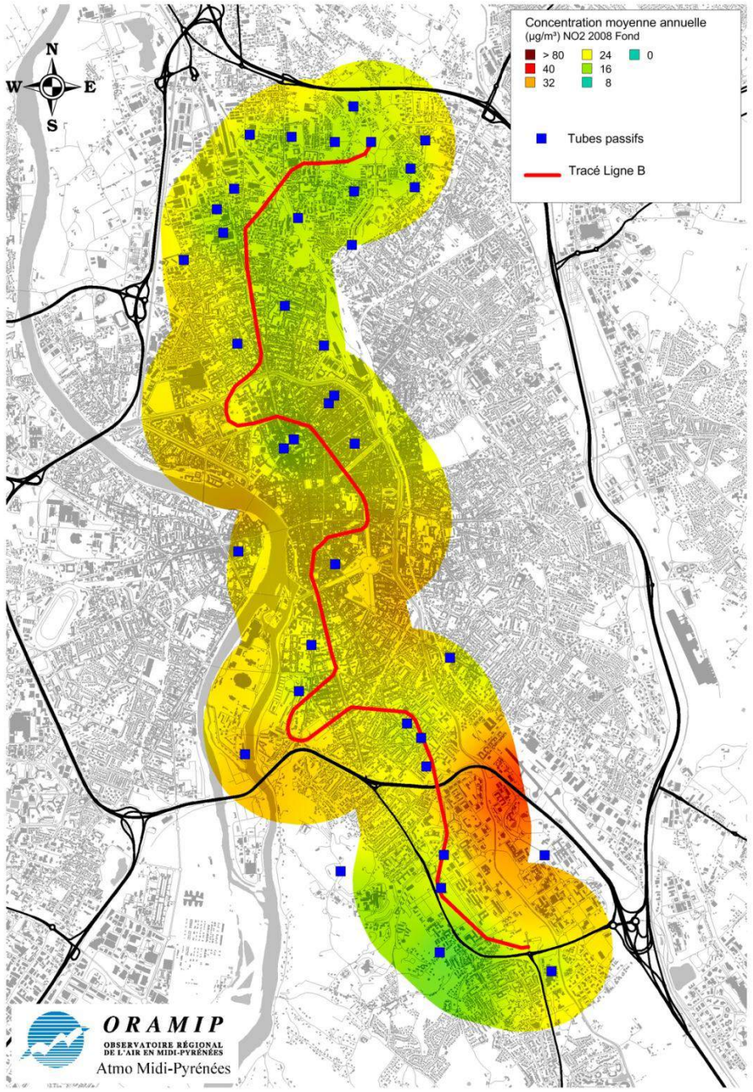
Entre 2008 et 2013, la carte d'évolution montre une diminution générale des niveaux de NO_2 sur l'ensemble du domaine d'études. Cette tendance est en corrélation avec les mesures des stations fixes urbaines.
Cependant cette stabilité générale est émaillée par:

- Une augmentation sensible des concentrations au nord de la zone d'études (quartier Borderouge)

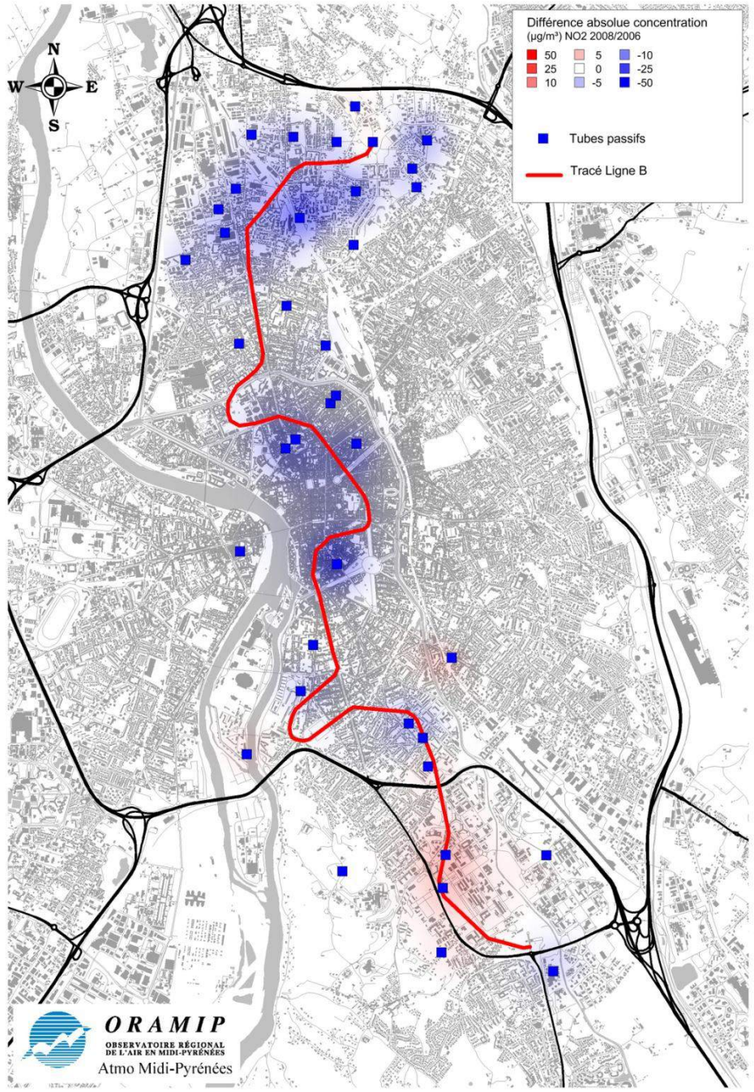
La mise en place de la ligne B du métro toulousain semble donc avoir eu un impact positif sur les niveaux de fond de NO_2 rencontrés dans les zones les plus polluées de 2006 (centre toulousain).
Cependant une augmentation des concentrations est aussi à noter au niveau des terminus de la ligne B et plus particulièrement au niveau du quartier de Borderouge. Les concentrations initiales y étant cependant faibles, cette augmentation n'entraine pas des concentrations en NO_2 en fond urbain qui dépassent les valeurs limites et restent même inférieures à celles du centre toulousain.



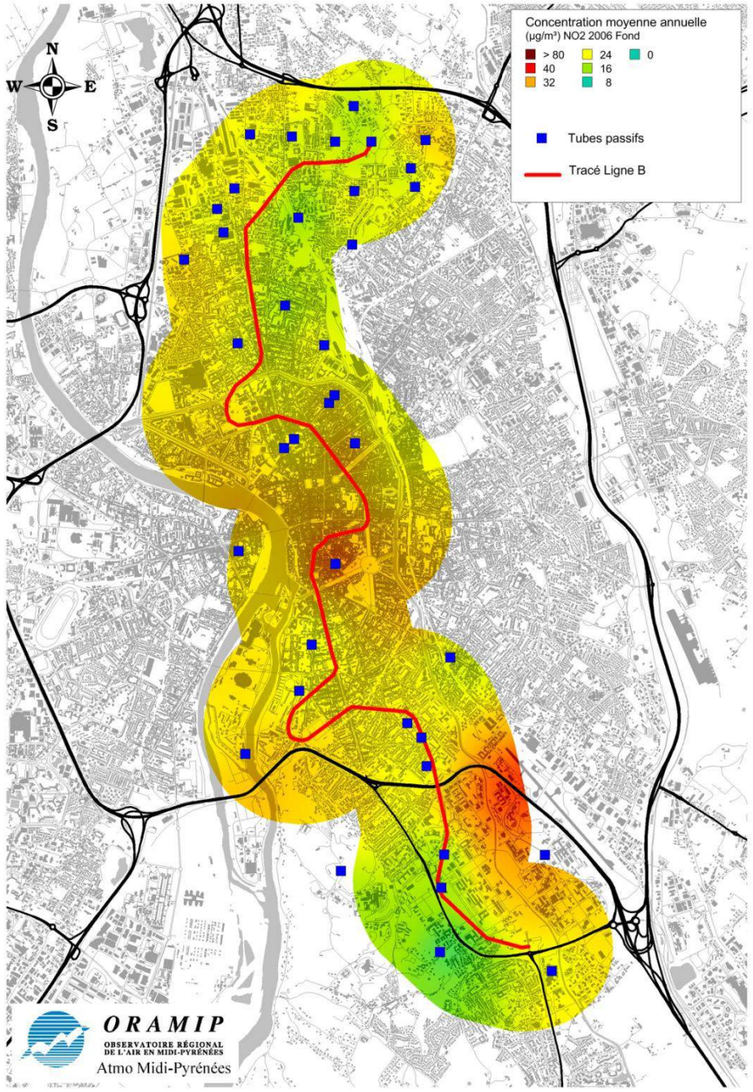
Carte 5 : Situation du niveau de fond du dioxyde d'azote sur le domaine d'études pour l'année 2006



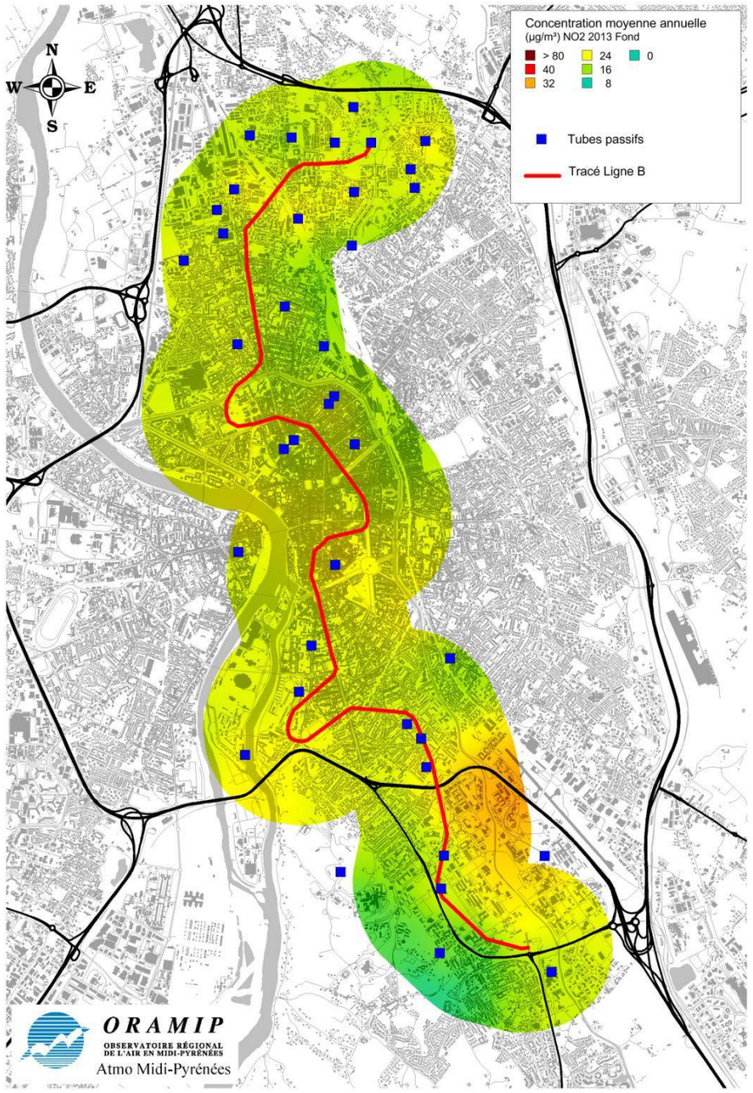
Carte 6 : Situation du niveau de fond du dioxyde d'azote sur le domaine d'études pour l'année 2008



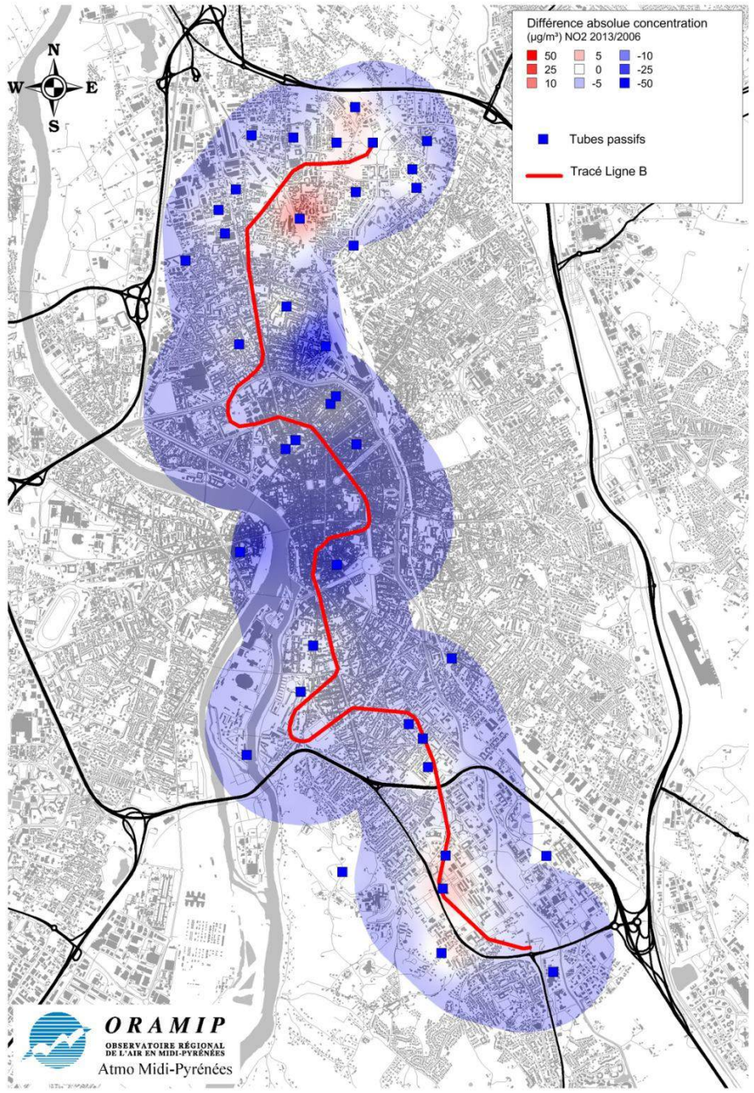
Carte 7 : Evolution du niveau de fond en dioxyde d'azote entre 2006 et 2008 (en µg/m³) sur le domaine d'études



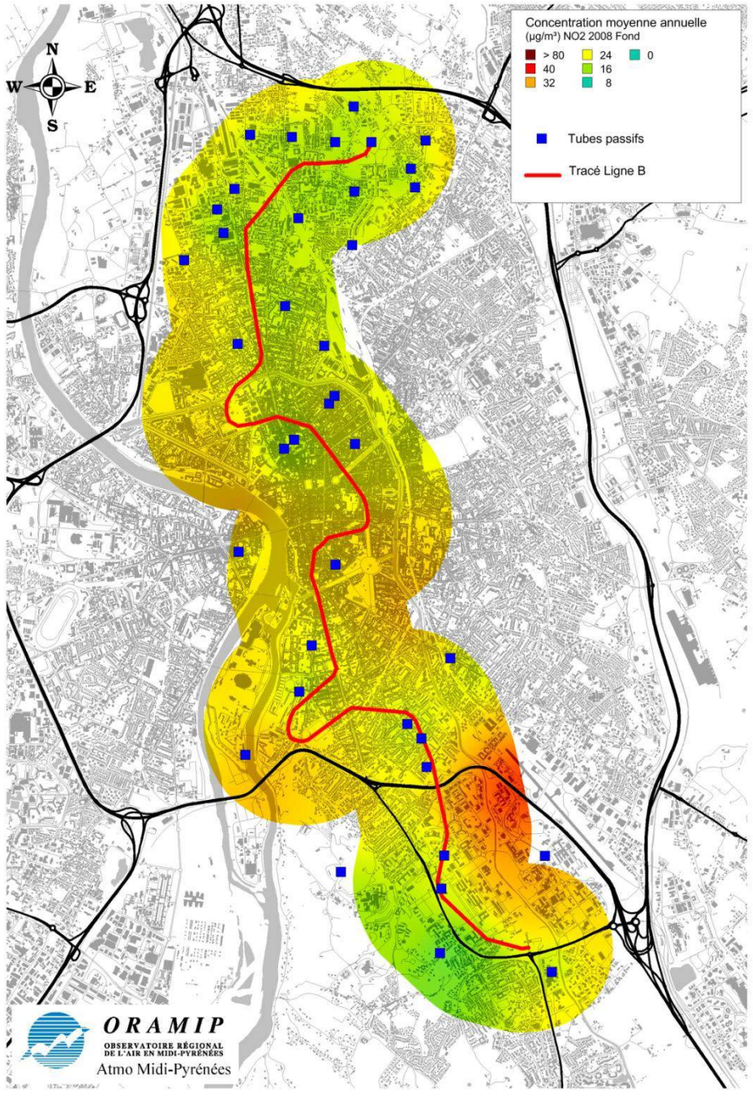
Carte 8 : Situation du niveau de fond du dioxyde d'azote sur le domaine d'études pour l'année 2006



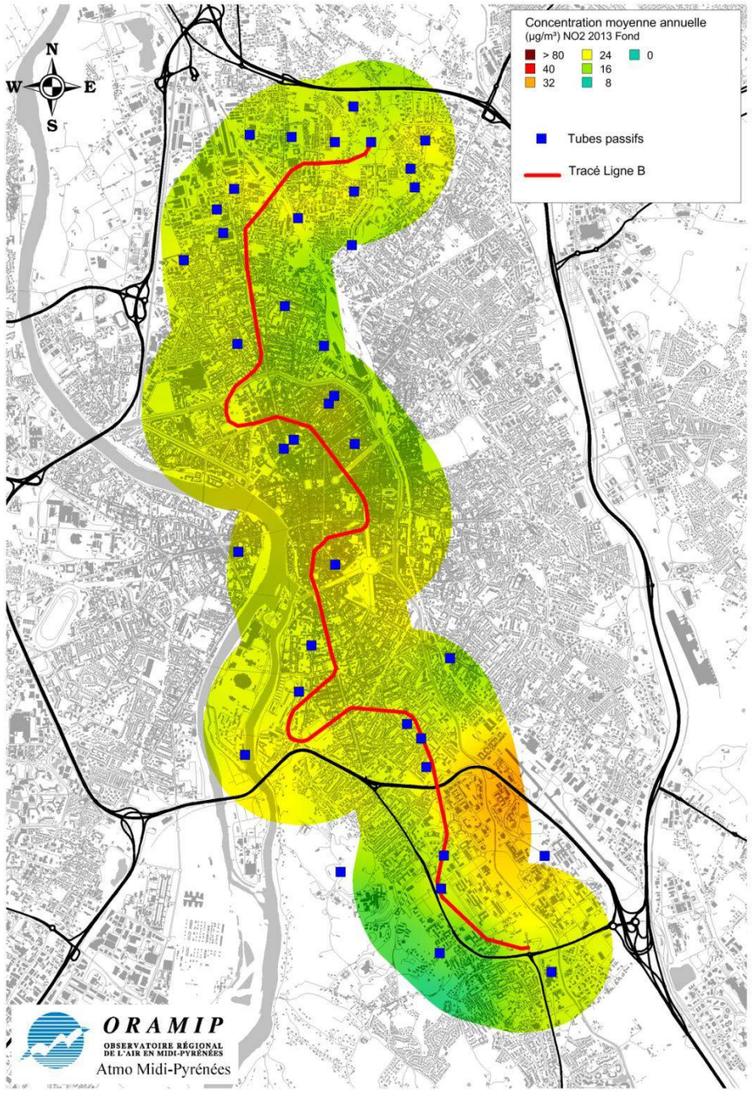
Carte 9 : Situation du niveau de fond du dioxyde d'azote sur le domaine d'études pour l'année 2013



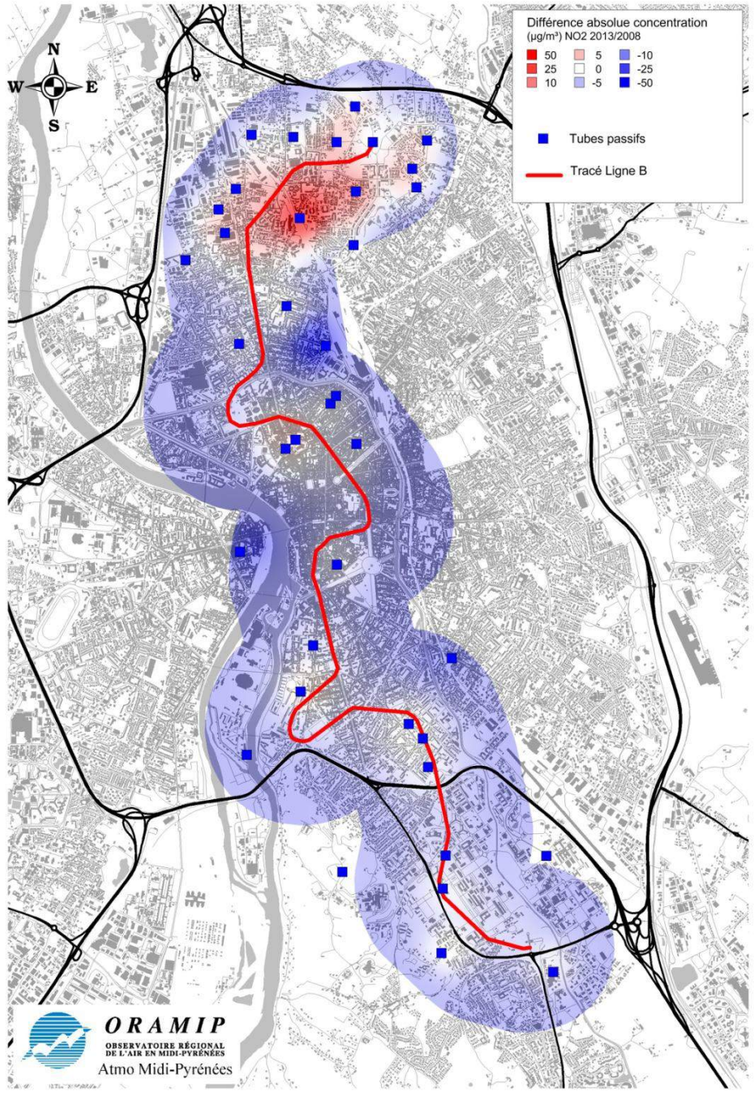
Carte 10 : Evolution du niveau de fond en dioxyde d'azote entre 2006 et 2013 (en µg/m³) sur le domaine d'études



Carte 11 : Situation du niveau de fond du dioxyde d'azote sur le domaine d'études pour l'année 2008



Carte 12 : Situation du niveau de fond du dioxyde d'azote sur le domaine d'études pour l'année 2013



Carte 13 : Evolution du niveau de fond en dioxyde d'azote entre 2008 et 2013 (en µg/m³) sur le domaine d'études

ÉVOLUTION DES ÉMISSIONS ROUTIÈRES SUR LA ZONE D'ÉTUDES ENTRE 2008 ET 2013

Le tableau suivant récapitule l'évolution des émissions routières entre 2008 et 2013 sur la zone d'études de la ligne B du métro toulousain à partir de l'outil ACTAIR développé à l'ORAMIP. Ne sont pas prises en compte dans ce tableau, les émissions du secteur industriel, du secteur résidentiel/tertiaire et du secteur agricole.

Année	Consommation Carburant (kt/an)	CO_2 (kt/an)	CO (t/an)	NO_x (t/an)	COV (t/an)	PM10 (t/an)	PM2.5 (t/an)
2008	66	207	1 375	969	191	114	79
2013	63	199	617	771	81	96	62
Evolution	**-4.2%**	**-4.1%**	**-55.2%**	**-20.4%**	**-57.5%**	**-15.7%**	**-21.1%**

Ce tableau permet de constater que :

- les **émissions de CO_2** sont en diminution de près de 4% entre 2008 et 2013. Les émissions de CO_2 sont directement proportionnelles à la consommation de carburant. La consommation unitaire des véhicules étant restée globalement stable sur la période 2008-2013, la baisse des émissions de CO_2 peut directement être associée à une baisse du trafic routier sur cette même période sur le domaine d'études.

- les **émissions des principaux polluants atmosphériques** sont aussi en diminution entre 2008 et 2013. Cette diminution est de l'ordre de 20% pour les oxydes d'azote (NO_x) et de 16% pour les particules en suspension PM10. La modernisation des véhicules a permis une amélioration des émissions de NOx et PM10. Cette baisse des émissions des principaux polluants atmosphériques est ainsi le fait d'une combinaison entre la diminution du trafic routier et de la modernisation des véhicules entre 2008 et 2013.

A noter que ces résultats d'émissions de polluant sont des résultats globaux sur l'aire d'études, uniquement associés au trafic routier. Cette évolution des données d'émissions de polluants dans l'atmosphère est à mettre en perspective de l'évolution des niveaux de concentration de fond mis en évidence précédemment.

Cependant cette évolution à la baisse des émissions de polluants est une tendance globale sur le domaine d'études et peut cacher de grandes variabilités locales. C'est pourquoi, ces données d'émissions vont être intégrées dans la plateforme de modélisation urbaine de l'ORAMIP afin de pouvoir obtenir une carte complète des concentrations en NO2 sur la zone d'études pour les années 2008 et 2013.

ÉVOLUTION INTÉGRANT LA POLLUTION DE PROXIMITÉ ROUTIÈRE

Les différentes études effectuées par l'ORAMIP sur l'agglomération toulousaine, notamment dans le cadre du Plan de Protection de l'Atmosphère (PPA) et du Plan de Déplacement Urbain (PDU), ont permis d'identifier les principaux axes de trafic routier (centre ville, périphérique) comme des zones potentiellement à risque par rapport à l'exposition de la population au niveau du domaine d'études.

Dans le cadre de cette étude de suivi de la ligne B, ces zones apparaissent également comme des zones à enjeux pour la protection de la santé.

L'évaluation complète des concentrations en NO_2 sur la zone d'études a été effectuée en couplant les sorties de la plateforme de modélisation urbaine avec les mesures sur site (de fond et de proximité routière).

Cette méthodologie d'évaluation a été améliorée depuis l'étude de suivi de 2008. Ainsi une nouvelle modélisation a été effectuée pour l'année 2008 en plus de 2013. L'ORAMIP ne disposant d'un cadastre exhaustif des émissions de polluants que depuis 2008, cette méthodologie n'a pas été appliquée pour l'année 2006.

Des zones en dépassement de valeurs limites proches des grands axes

Les cartes présentées ci-après montrent que cela soit pour 2008 ou 2013, les zones en dépassement de valeurs limites se trouvent toutes le long des principaux axes routiers de la zone d'études:

- le périphérique
- les principaux boulevards de Toulouse

Un recul de la population touchée par les dépassements de valeurs limites entre 2008 et 2013

Le tableau ci après récapitule les principaux indicateurs concernant les zones touchées par les dépassements de valeur limite du NO_2. La base de bâti et de population utilisée pour calculer ces indicateurs est la base INSEE relative à l'année. Seule change la méthodologie de la répartition spatiale de cette population sur le bâti:

- En 2008, La population est répartie en fonction des tailles de bâtiments (tout bâtiment confondu)
- En 2013, la méthodologie MAJIC LCSQA est utilisée: la population est répartie en fonction de la taille des bâtiments et de leur nature (foyers fiscaux).

Indicateurs dépassement valeur limite NO_2	2008	2013
Superficie touchée	1.5 km²	1.0 km²
Superficie habitée touchée	0.5 km²	0.5 km²
Population touchée	7 000 hab	3 700 hab

Ce tableau permet de voir une diminution des zones impactées par les fortes concentrations en NO2 entre 2008 et 2013 et notamment une diminution quasiment de moitié de la population touchée

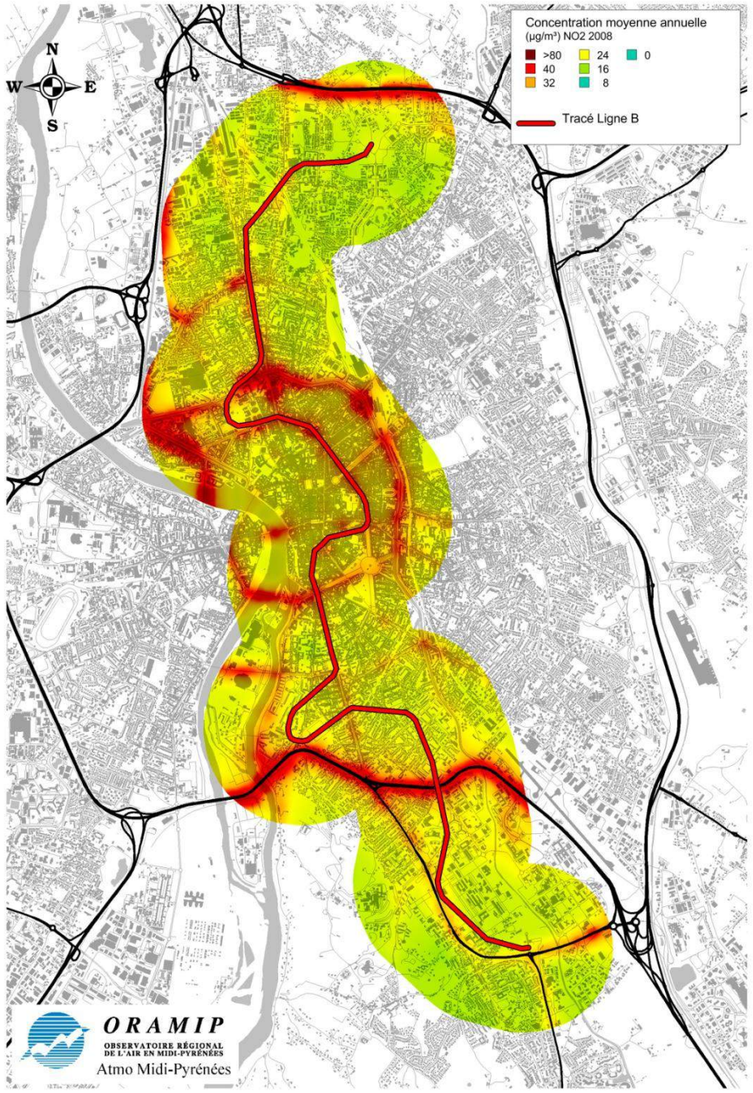
Une disparité dans l'évolution des concentrations en NO_2 entre 2008 et 2013

Les cartes présentées dans la page suivante permettent de représenter l'évolution spatiale des concentrations en NO_2 entre 2008 et 2013 en intégrant la pollution à proximité des axes routiers.

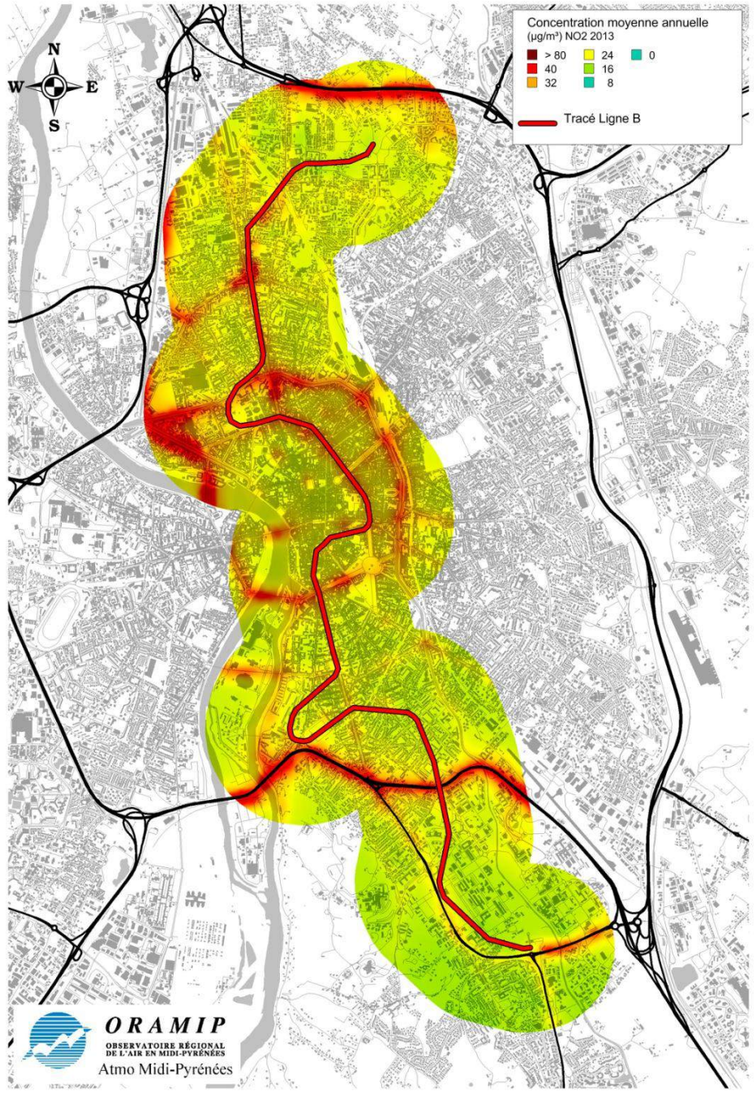
Globalement les concentrations en NO_2 diminuent sur la quasi-totalité du domaine d'études, excepté pour la zone terminus nord dans le quartier de Borderouge.
Cette augmentation peut s'expliquer par deux raisons principales:

- une forte urbanisation du quartier suite à la création de la ligne B
- la création de parking relais dans le quartier qui font que le trafic s'y concentre pour accéder au métro.

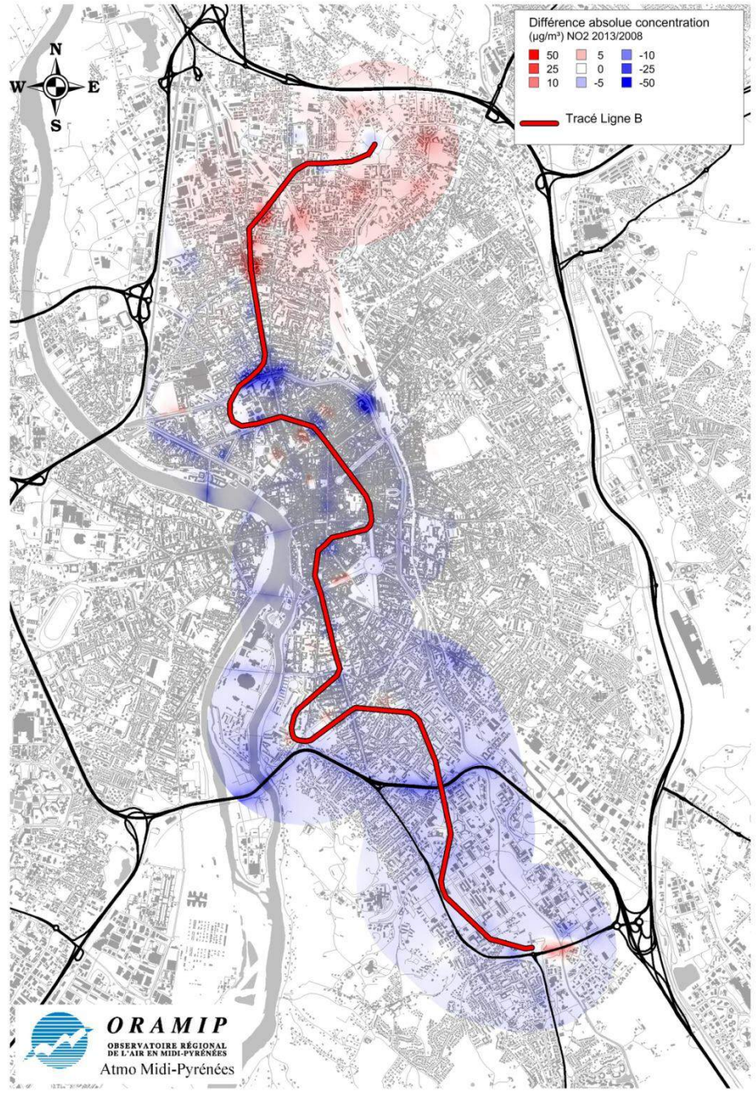
L'augmentation de la pollution de fond sur le secteur nord intervient sans entrainer de dépassement des valeurs réglementaires pour la protection de la santé, y compris en proximité routière.
La mise en place du métro à capter une partie des déplacements réalisés jusqu'alors en voiture sur le centre-ville. Ainsi la baisse des niveaux de concentration est plus marquée en centre-ville, le long des principaux boulevards. Ces secteurs fortement exposés à la pollution ont mis en évidence une amélioration de la situation.
En 2013 certains axes routiers du domaine d'études restent en situation de non respect des valeurs réglementaires pour le dioxyde d'azote.



Carte 14 : concentrations moyennes annuelles modélisées en NO_2 le long de la ligne B du métro (dans la zone d'étude) pour l'année 2008



Carte 15 : concentrations moyennes annuelles modélisées en NO_2 le long de la ligne B du métro (dans la zone d'étude) pour l'année 2013



Carte 16 : Evolution des concentrations modélisées en dioxyde d'azote entre 2008 et 2013 (en µg/m³) sur le domaine d'études

CONCLUSIONS

La ligne B du métro toulousain a été mise en service en juin 2007. La phase 1 de l'étude d'impact (état des lieux) a été effectuée en automne 2006 et la phase 2 en automne 2008. Le but de l'étude présentée dans ce rapport est :

- de réaliser un suivi de l'évolution de la qualité de l'air autour du tracé de la ligne B entre 2006, 2008 et 2013.

Cette étude de suivi est une étude d'impact sur la qualité de l'air dite de Phase 3: c'est à dire une étude sur l'impact de la qualité de l'air dans la zone d'études desservie par la ligne B du métro toulousain 6 ans après sa mise en service.

Le polluant étudié dans cette étude est le polluant d'intérêt principal sur l'agglomération toulousaine: le dioxyde d'azote (NO_2)

Que cela soit pour les années 2006, 2008 ou 2013:

- Les concentrations de fond en dioxyde d'azote ne dépassent pas les valeurs limites
- Les zones où les valeurs limites sont dépassées se situent à proximité des grands axes de Toulouse (périphérique, principaux boulevards urbains, etc.)

L'étude des cartes de concentration de fond de NO_2 entre 2006, 2008 et 2013 montre qu'après la mise en service de la ligne B en 2008, les concentrations en NO_2 diminuent en moyenne nettement par rapport à 2006 sur la zone d'étude, sauf pour les zones de terminus nord et sud qui connaissent une légère augmentation liée à l'urbanisation et à la présence de parcs relais.

En 2013 on note aussi la poursuite des cette diminution "globale" avec toujours un maintien d'une augmentation autour du terminus nord (quartier de Borderouge).

Cette augmentation peut s'expliquer par deux raisons principales:

- une forte urbanisation du quartier suite à la création de la ligne B
- la création de parking relais dans le quartier qui font que le trafic s'y concentre pour prendre le métro plutôt que d'aller vers le centre ville.

Cependant, l'augmentation de la pollution de fond sur le secteur nord intervient sans entrainer de dépassement des valeurs réglementaires pour la protection de la santé, y compris en proximité routière.

Pour finir, on peut émettre l'hypothèse qu'une partie du trafic du centre ville de Toulouse a été captée par la ligne B du métro Toulousain, via un transfert de charge au niveau des parcs relais des terminus de la ligne. Ceci explique la diminution globale du trafic routier sur l'hyper centre de Toulouse, ce qui a entrainé une diminution de la consommation de carburant évaluée par notre modèle Act'Air sur la zone d'étude.
Diminution qui se traduit par une baisse des émissions de polluants atmosphériques et une baisse des concentrations en NO_2 entre 2008 et 2013 au niveau du centre ville.
Cette évolution des niveaux de concentration entraine une diminution de moitié du nombre de personnes touchées par les dépassements de la valeur limite (3 700 habitants en 2013 contre 7 000 en 2008).

ANNEXE I : RÉSULTATS DE LA CAMPAGNE DE MESURES PAR STATIONS MOBILES EN 2013

LES FAITS MARQUANTS DE LA CAMPAGNE DE MESURES

- Les concentrations pour tous les polluants mesurés sont supérieures à celles du fond urbain toulousain. Celle de la station "Université" restent cependant proche du niveau urbain
- Les niveaux relevés en dioxyde d'azote et particules PM10 sont inférieurs aux valeurs réglementaires.
- La concentration en PM2,5 estimée sur l'année 2013 est supérieure à l'objectif de qualité comme pour les stations urbaines toulousaines

Pour chacun des polluants surveillés, les teneurs enregistrées ont été comparées aux concentrations mesurées par diverses stations fixes toulousaines de l'ORAMIP mais également aux normes en vigueur. Ces différentes comparaisons nous ont permis de tirer les conclusions suivantes :

- Le site "Université" a un comportement et des concentrations relativement proches des stations urbaines Toulousaine pour les particules (PM10) et le dioxyde d'azote.

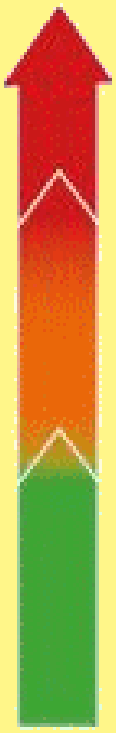
- Le site "Jeanne d'Arc", quant à lui, est un site plus orienté proximité trafic. Les concentrations de particules (PM10 et PM2.5) et de dioxyde d'azote sont plus importantes que pour les stations urbaines toulousaines

Toutefois, les niveaux relevés en dioxyde d'azote et particules PM10 sont inférieurs aux valeurs réglementaires.
En revanche, la concentration en PM2,5 estimée sur le site "Jeanne d'Arc" sur l'année 2013 est supérieure à l'objectif de qualité comme pour les stations urbaines toulousaines.

Au niveau des stations mobiles, les concentrations pour tous les polluants mesurés sont supérieures à celles du fond urbain Toulousain. Cependant celles de la station "Université" restent proche du fond urbain.

- **Les niveaux relevés en dioxyde d'azote et particules PM10 sont inférieurs aux valeurs réglementaires.**
- **En revanche, la concentration en PM2,5 estimée sur l'année 2013 est supérieure à l'objectif de qualité comme pour les stations urbaines toulousaines**

Au niveau des stations mobiles, il faut noter une nette diminution des concentrations sur le site "Jeanne d'Arc" entre 2008 et 2013. Cette diminution peut en partie s'expliquer par la situation de la station à l'angle du boulevard de Strasbourg et de la rue Alsace Lorraine; et par la piétonisation de celle-ci.



Valeurs réglementaires

Valeur limite

Niveau fixé sur la base des connaissances scientifiques afin d'éviter, de prévenir ou de réduire les effets nocifs sur la santé humaine et/ou sur l'environnement, à atteindre dans un délai donné et à ne pas dépasser une fois atteint.

Valeur cible

Niveau fixé afin d'éviter, de prévenir ou de réduire les effets nocifs sur la santé humaine et/ou sur l'environnement, à atteindre dans la mesure du possible sur une période donnée.

Objectif de qualité

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 dans son ensemble

Statistiques par polluants

		PARTICULES DE DIAMETRE INFERIEUR A 10 µm			
	PM 10	Conformité à la réglementation	Valeurs réglementaires	Extrapolation sur l'année	Comparaison avec le fond urbain toulousain
Exposition de longue durée	Valeurs limites	OUI	40 µg/m³ en moyenne annuelle	En moyenne annuelle Station "Jeanne d'Arc" : 23 µg/m³ Station "Université": 20 µg/m³	>
		OUI	Ne pas dépasser 35 jours par an la concentration journalière de 50 µg/m³.	Nombre de jours de dépassement de 50 µg/m³ Station "Jeanne d'Arc" : 15 jours Station "Université": 7 jours	>
	Objectif de qualité	OUI	30 µg/m³ en moyenne annuelle	En moyenne annuelle Station "Jeanne d'Arc" : 23 µg/m³ Station "Université": 20 µg/m³	>

µg/m³ : microgramme par mètre cube

		PARTICULES DE DIAMETRE INFERIEUR A 2,5 µm			
	PM2,5	Conformité de la réglementation	Valeurs réglementaires	Extrapolation sur l'année	Comparaison avec le fond urbain toulousain
Exposition de longue durée	Valeur limite	OUI	27 µg/m³ en moyenne annuelle	En moyenne annuelle Station "Jeanne d'Arc" : 17 µg/m³	>
	Valeur cible	OUI	20 µg/m³ en moyenne annuelle (à atteindre en 2015)	En moyenne annuelle Station "Jeanne d'Arc" : 17 µg/m³	>
	Objectif de qualité	NON	10 µg/m³ en moyenne annuelle	En moyenne annuelle Station "Jeanne d'Arc" : 17 µg/m³	>

µg/m³ : microgramme par mètre cube

		DIOXYDE D'AZOTE			
	NO_2	Conformité à la réglementation	Valeurs réglementaires	Extrapolation sur l'année	Comparaison avec le fond urbain toulousain
Exposition de longue durée	Valeurs limites pour la protection de la santé	OUI	40 µg/m³ en moyenne annuelle	En moyenne annuelle Station "Jeanne d'Arc" : 26 µg/m³ Station "Université": 19 µg/m³	>
		OUI	200 µg/m³ en centile 99.8 des moyennes horaires (soit 18 heures de dépassement autorisées par année civile)	Nombre d'heures de dépassement de 200 µg/m³ Station "Jeanne d'Arc" : 0 Station "Université": 0	=

µg/m³ : microgramme par mètre cube
ng/m³ : nanogramme par mètre cube
ng/m³ : nanogramme par mètre cube

ANNEXE II : RÉSULTATS DE LA CAMPAGNE DE MESURES DE DIOXYDE D'AZOTE EN 2013

LES FAITS MARQUANTS DE LA CAMPAGNE DE MESURES

- Respect de la valeur limite fixée sur la moyenne annuelle pour la protection de la santé humaine pour l'ensemble des sites de fond du domaine d'études.
- Six sites de proximités trafic dépassent les valeurs limites fixée sur la moyenne annuelle.
- Une répartition des concentrations contrastée entre les 2 zones de terminus et le centre du domaine d''études

LE DIOXYDE D'AZOTE: SOURCES ET EFFETS SUR LA SANTE ET L'ENVIRONNEMENT

SOURCES

Le monoxyde d'azote (NO) et le dioxyde d'azote (NO_2) sont émis lors des phénomènes de combustion. Le dioxyde d'azote est un polluant secondaire issu de l'oxydation du NO. Les sources principales sont les véhicules (près de 60%) et les installations de combustion (centrales thermiques, chauffages…).

Le pot catalytique a permis, depuis 1993, une diminution des émissions des véhicules à essence. Néanmoins, l'effet reste encore peu perceptible compte tenu de l'âge moyen des véhicules et de l'augmentation forte du trafic automobile. Des études montrent qu'une fois sur 2 les européens prennent leur voiture pour faire moins de 3 km, une fois sur 4 pour faire moins de 1 km et une fois sur 8 pour faire moins de 500m ; or le pot catalytique n'a une action sur les émissions qu'à partir de 10 km.

EFFETS SUR LA SANTE

Le dioxyde d'azote est un gaz irritant qui pénètre dans les plus fines ramifications des voies respiratoires. Dès que sa concentration atteint 200 µg/m^3, il peut entraîner une altération de la fonction respiratoire, une hyper réactivité bronchique chez l'asthmatique et un accroissement de la sensibilité des bronches aux infections chez l'enfant.

EFFETS SUR L'ENVIRONNEMENT

Les oxydes d'azote participent aux phénomènes des pluies acides, à la formation de l'ozone troposphérique, dont ils sont l'un des précurseurs, à l'atteinte de la couche d'ozone stratosphérique et à l'effet de serre.

La campagne de mesures 2013 couvre 3% de l'année.
Les concentrations mesurées par les stations fixes toulousaines sur la période et sur l'année 2013, ont été comparées afin d'étudier la nécessité de réaliser une adaptation statistique des concentrations en NO_2 mesurées sur les sites autour du tracé de la ligne B du métro
Les concentrations annuelles en NO_2 estimées pour la zone d'études ont été comparées à la réglementation en vigueur.

Les concentrations de sites de fond extrapolées à l'année 2013 en NO_2 montrent des valeurs globalement au même niveau que les stations de fond toulousaines, sauf pour la partie sud du domaine (Ramonville) où les concentrations sont légèrement inférieures.

Parmi les sites de proximité trafic, six ont des moyennes annuelles supérieures ou égales à la valeur limite pour la protection de la santé:

- 2 autour de l'avenue des Minimes
- 2 autour du boulevard de Strasbourg
- Un sur le boulevard de l'embouchure
- Un sur la rue de Metz

Six sites de proximité trafic ne respectent pas la réglementations sur l'année 2013

Sites urbains de fond

		DIOXYDE D'AZOTE		
		Conformité à la réglementation	Valeurs réglementaires	Estimation sur l'année
Exposition de longue durée	Valeurs limites pour la protection de la santé	OUI	40 µg/m³ en moyenne annuelle	En moyenne annuelle : Sur la zone étudiée, les concentrations moyennes en NO_2 obtenues pour les sites urbains de fond varient de 13.6 µg/m³ à 30.8 µg/m³. Tous les sites respectent donc la valeur limite fixée.

µg/m³ : microgramme par mètre cube

Sites de proximité trafic

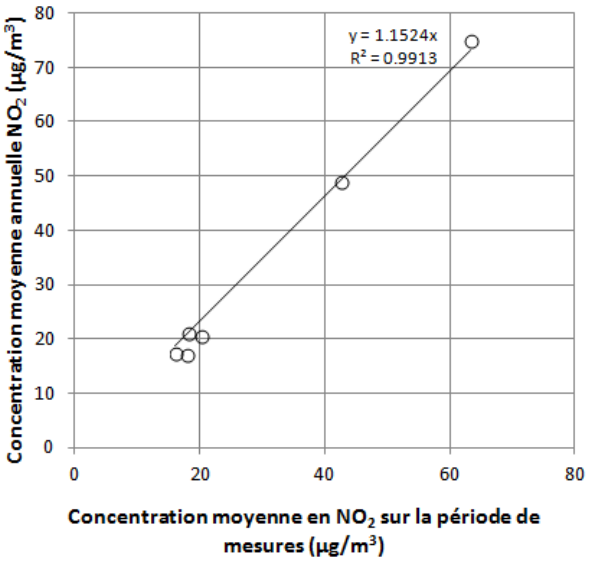
		DIOXYDE D'AZOTE		
		Conformité à la réglementation	Valeurs réglementaires	Estimation sur l'année
Exposition de longue durée	Valeurs limites pour la protection de la santé	NON	40 µg/m³ en moyenne annuelle	En moyenne annuelle : Sur la zone étudiée, les concentrations moyennes en NO_2 obtenues pour les sites urbains de fond varient de 16.2 µg/m³ à 51.4 µg/m³. 6 stes respectent donc la valeur limite fixée.

µg/m³ : microgramme par mètre cube

Méthodologie d'extrapolation sur l'année 2013

La campagne de mesures 2013 couvre 3% de l'année.

La comparaison des résultats obtenus pendant la campagne de mesures à ceux obtenus sur l'ensemble de l'année sur le dispositif fixe toulousain, constitué de 7 stations urbaines ou trafic de mesures, a permis d'étudier la nécessité de réaliser une adaptation statistique des concentrations en NO_2 mesurées sur les sites autour du tracé de la ligne B du métro toulousain.
Les concentrations moyennes relevées pendant la période de mesures choisie ont été extrapolées pour l'année 2013 en utilisant une correction de +15,3%.



Graphe 1: Droite de régression linéaire entre les concentrations NO_2 mesurées sur la période et sur l'année pour l'ensemble des stations toulousaines

Sur le domaine d'études, des concentrations généralement plus faibles que celles mesurées par les stations fixes toulousaines

Les tableaux ci-après décrivent les statistiques issues des concentrations moyennes en NO_2 estimées sur l'ensemble de l'année 2013 :

- pour les sites de fond,
- pour les sites de proximité trafic.

Un niveau de fond légèrement supérieur au fond urbain toulousain

Les concentrations de fond mettent en évidence une certaine homogénéité des niveaux sur la zone. L'écart-type obtenu est relativement faible. Ceci est du au nombre important de sites se trouvant dans le centre de la zone d'études (correspondant au centre ville de Toulouse)

Le niveau moyen mesuré sur le domaine d'études (21.9 µg/m³ en moyenne annuelle, apparait légèrement supérieur à la concentration moyenne de fond relevée par les stations urbaines toulousaines du dispositif fixe (18.4 µg/m³ en moyenne annuelle).

	Valeur de NO_2 en µg/m³ - Année 2013				
	Minimum	Maximum	Moyenne	Médiane	Ecart Type
Sites de fond	13.6	30.8	21.9	22.0	± 3.9

Des concentrations de proximité trafic généralement plus faibles que celles relevées dans Toulouse

Les concentrations en proximité du trafic sont supérieures à celles relevées en site urbain de fond. De plus, avec un écart type de ±9.0 µg/m³, les concentrations relevées en proximité du trafic présentent une hétérogénéité plus importante.

En effet, ces sites vont de la route peu fréquentée en zone périurbaine qui présente une concentration en NO_2 inférieure au fond urbain toulousain, au boulevard structurant du centre ville dont la concentration moyenne annuelle dépasse la valeur limite.

	Valeur de NO_2 en µg/m3 - Année 2013				
	Minimum	Maximum	Moyenne	Médiane	Ecart Type
Sites de proximité du trafic	16.2	51.4	30.6	31.3	± 9.0

µg/m³ : microgramme par mètre cube

Le niveau moyen reste cependant assez faible en comparaison de ceux relevés par les stations trafic toulousaines.

Par contre les sites dépassant les valeurs limites sont cohérents avec la moyenne annuelle de la station de proximité du centre de Toulouse (Rue de Metz): 49.0 µg/m³ sur l'année 2013.

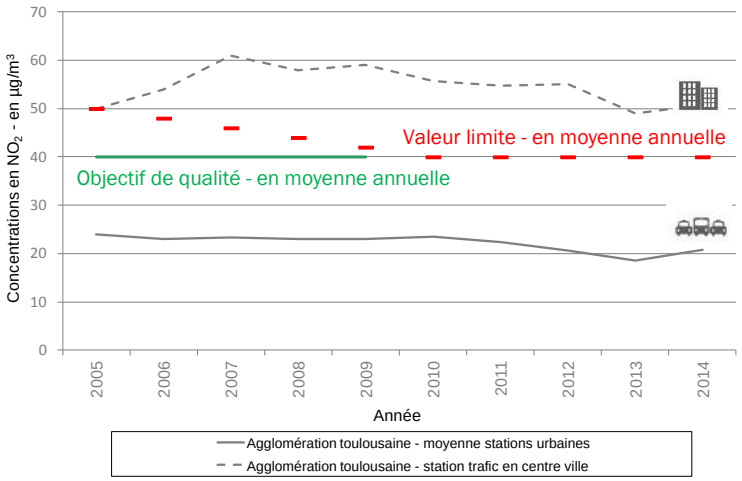
Entre 2005 et 2013, diminution des concentrations en fond sur l'agglomération toulousaine

Le dioxyde d'azote (NO_2) est essentiellement issu de l'oxydation du monoxyde d'azote (NO), lui-même principalement produit par la circulation routière. Les maxima en NO_2 sont donc observés sur les stations trafic.

Les concentrations de fond en NO_2 en milieu urbain diminuent depuis le début des années 2000. Elles ont ainsi diminué de 14% entre 2005 et 2014. Elles respectent l'objectif de qualité (40 µg/m³ en moyenne annuelle) et de la valeur limite pour la protection de la santé humaine dégressive depuis 2001 jusqu'à atteindre 40 µg/m³ en 2010.

En proximité de trafic routier dans le centre de l'agglomération toulousaine, depuis 2000, aucune tendance stable d'évolution des niveaux de NO_2 ne se dessine. Ainsi, en 2013, les concentrations annuelles en NO_2 en proximité trafic dans le centre de Toulouse sont similaires à celles relevées en 2005.
Ces niveaux sont supérieurs à la valeur de l'objectif annuel. En outre depuis 2006, ils dépassent en moyenne le seuil de la valeur limite annuelle pour la protection de la santé.

L'écart entre les mesures urbaines "de fond" et les mesures en proximité de trafic automobile en centre ville de Toulouse se creuse donc, et ce malgré les efforts des constructeurs automobiles et des directives européennes. L'une des dernières évolutions technologiques, le filtre à particules, permet la réduction drastique des particules émises mais semble compenser ce progrès par une oxydation accrue du monoxyde d'azote mis (NO) en NO_2 freinant ainsi la diminution des émissions de ce dernier dans l'air ambiant.



Graphe 2: Evolution des concentrations en dioxyde d'azote sur l'agglomération toulousaine entre 2005 et 2014

ANNEXE III : RÉSULTATS DE LA CAMPAGNE DE MESURES DE BENZENE EN 2013

LES FAITS MARQUANTS DE LA CAMPAGNE DE MESURES

→ Respect de la réglementation fixée sur la moyenne annuelle pour l'ensemble des sites du domaine d'études.

La campagne de mesures 2013 couvre 3% de l'année. Aucune extrapolation n'a été faite sur l'année 2013, aussi les teneurs mesurées sont-elles principalement représentatives de la période de mesures.

Les concentrations annuelles en NO_2 estimées pour la zone d'études ont été comparées à la réglementation en vigueur.

Les concentrations de sites de mesures respectent toutes la valeur limite pour la période de mesures.

Parmi les sites de mesures, dix ont des moyennes annuelles supérieures à l'objectif de qualité tout en étant légèrement supérieur à celui ci:

Tous les sites respectent la valeur limite sur la période de mesures 2013

Sites urbains de fond

		BENZENE		
		Conformité à la réglementation	Valeurs réglementaires	Teneur période de mesures
Exposition de longue durée	Valeurs limites pour la protection de la santé	OUI	5 µg/m³ en moyenne annuelle	En moyenne annuelle : Sur la zone étudiée, les concentrations moyennes en benzène obtenues varient de 0.7 µg/m³ à 3.5 µg/m³. Tous les sites respectent donc la valeur limite fixée.

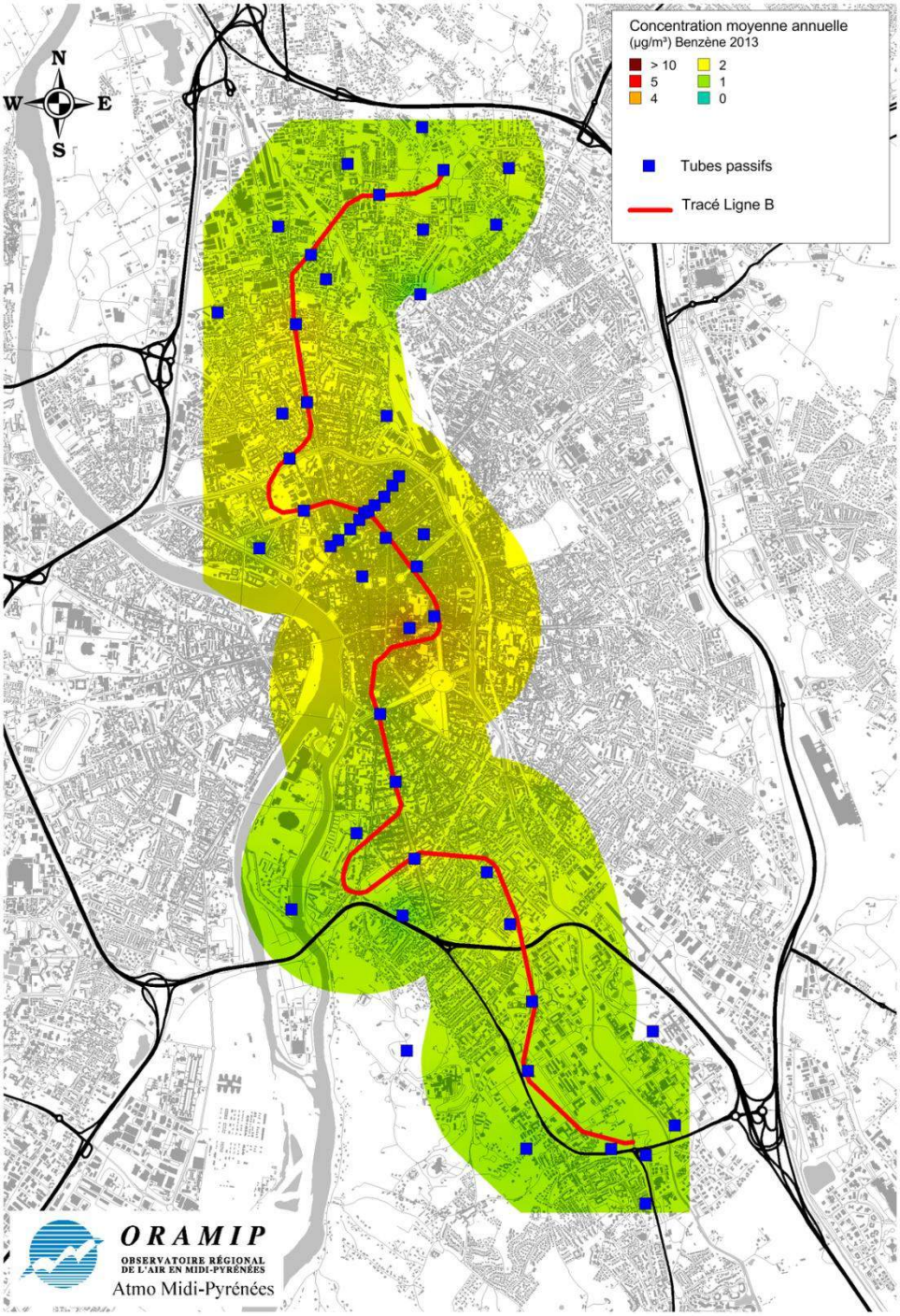
µg/m³ : microgramme par mètre cube

Un niveau de fond homogène

Les concentrations de fond mettent en évidence une certaine homogénéité des niveaux sur la zone. L'écart-type obtenu est relativement faible. Ceci est du au nombre important de sites se trouvant dans le centre de la zone d'études (correspondant au centre ville de Toulouse)

Les concentrations les plus importantes (autour de l'objectif de qualité) se trouvent toutes au niveau de l'hyper centre toulousain

	Valeur de benzène en µg/m³ - Période de mesures 2013				
	Minimum	Maximum	Moyenne	Médiane	Ecart Type
Sites de mesures	0.7	3.5	1.6	1.5	± 0.5



Carte 17 : Situation du niveau de fond du benzène sur le domaine d'études pour la période de mesures 2013

ANNEXE IV : MÉTHODOLOGIE DE MODÉLISATION ET DE CARTOGRAPHIE

Principe de la méthode

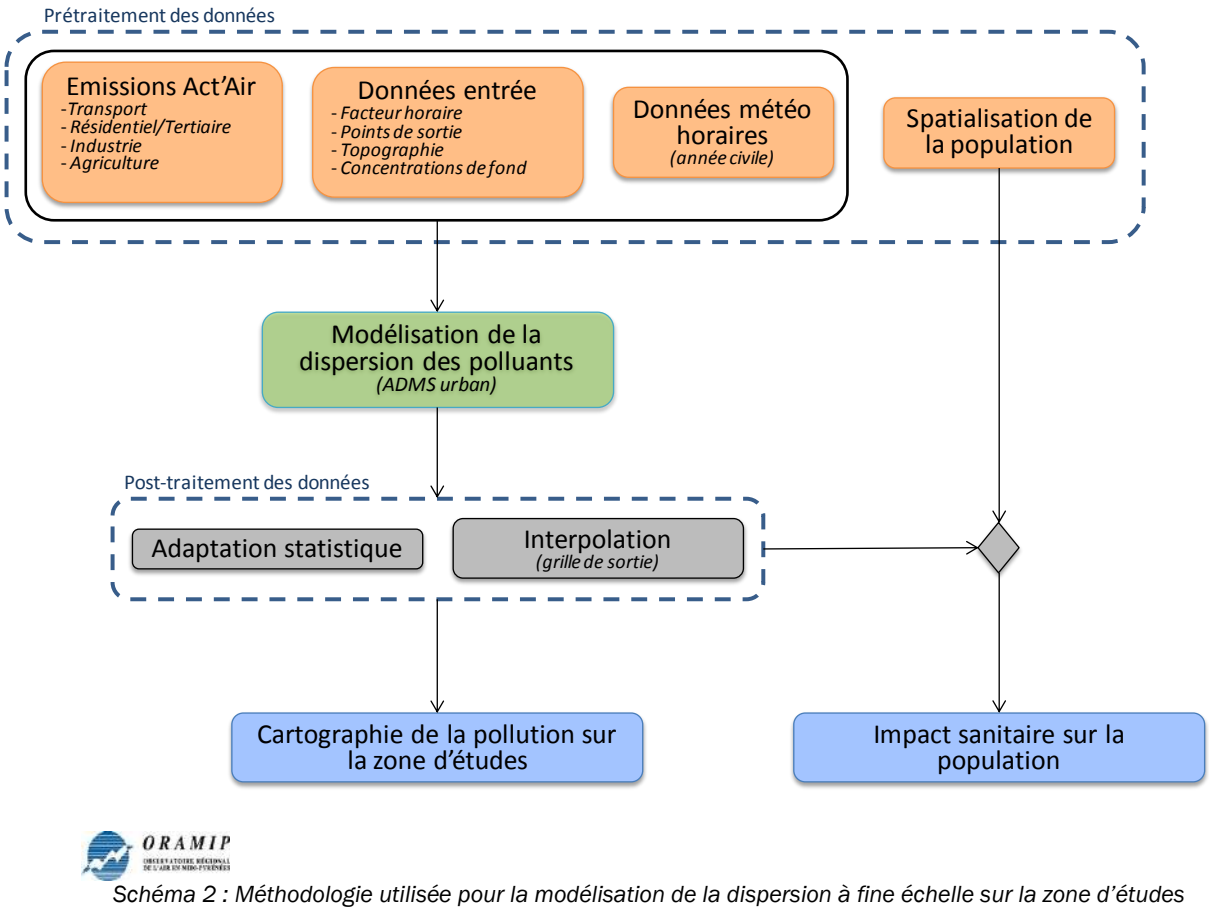


Schéma 2 : Méthodologie utilisée pour la modélisation de la dispersion à fine échelle sur la zone d'études

La méthodologie utilisée pour finaliser cette étude a quelque peu évolué par rapport à celle utilisée en 2008. C'est pourquoi une nouvelle modélisation a été effectuée pour l'année 2008 en plus de 2013.

Le modèle ADMS-Urban permet de simuler la dispersion des polluants atmosphériques issus d'une ou plusieurs sources ponctuelles, linéiques, surfaciques ou volumiques selon des formulations gaussiennes.

Ce logiciel permet de décrire de façon simplifiée les phénomènes complexes de dispersion des polluants atmosphériques. Il est basé sur l'utilisation d'un modèle Gaussien et prend en compte la topographie du terrain de manière assez simplifiée, ainsi que la spécificité des mesures météorologiques (notamment pour décrire l'évolution de la couche limite).

Le principe du logiciel est de simuler heure par heure la dispersion des polluants dans un domaine d'étude sur une année entière, en utilisant des chroniques météorologiques réelles représentatives du site. A partir de cette simulation, les concentrations des polluants au sol sont calculées et des statistiques conformes aux réglementations en vigueur (notamment annuelles) sont élaborées. L'utilisation de données météorologiques horaires sur une année permet en outre au modèle de pouvoir calculer les percentiles relatifs à la réglementation

Le logiciel ADMS-Urban est un modèle gaussien statistique cartésien. Le programme effectue les calculs de dispersion individuellement pour chacune des sources (ponctuelles, linéiques et surfaciques) et somme pour chaque espèce les contributions de toutes les sources de même type.

Prétraitement de la modélisation

L'objet de cette section est de présenter la méthodologie utilisée pour agréger les données nécessaires à la modélisation fine échelle sur la zone d'études.

Emissions

L'outil de calcul des émissions Act'Air est utilisé pour estimer les émissions de 4 grands secteurs principaux: trafic routier, industriel, résidentiel/tertiaire et agricole.

Emissions du secteur transport

Act'Air Transport utilise 3 types de données d'entrée :

- les données de trafic routier
- Une estimation de la composition du parc roulant de 2008 à 2020,
- Les facteurs d'émissions COPERT IV

Les données de trafic

Le trafic routier sur l'aire urbaine de Toulouse a été modélisé par Tisséo (pour les scénarios « 2008 », « 2020 Fil de l'eau » et « 2020 PDU »).
Les données fournies sont des données linéiques (associées à un tronçon de route) :

- les Trafics Heure de Pointe du Soir (HPS) pour l'ensemble des véhicules (véhicules légers (VL) et transport en commun (TC)),
- la capacité de chaque tronçon,
- la vitesse à vide
- et la vitesse en charge HPS.

Le trafic horaire est ensuite calculé et la vitesse est estimée en fonction de la charge du trafic et de la capacité du tronçon étudié : ceci permet de prendre en compte heure par heure, la présence d'embouteillages sur chaque tronçon et d'estimer les surémissions de polluants qui y sont dues.

L'évaluation de la composition du parc automobile français

(Méthodologie issue de la note Certu 2010/13 « Le calcul des émissions des pollutions routières et la consommation énergétique »)
Le parc roulant relatif à une année donnée est composé de différentes classes technologiques de véhicules qui conditionnent largement les émissions de polluants. La méthode de calcul permet de connaitre pour chaque année, les effectifs, la nature et les caractéristiques détaillées des véhicules en circulation. Ces données servent de base aux calculs d'inventaire des émissions du trafic routier en France.
En 2010, 40% des voitures respecteront les normes de 2005 contre 90% en 2020.

Les facteurs d'émission : la méthodologie COPERT

La réalisation de la modélisation des émissions à l'échappement et par évaporation a été menée à partir de la méthodologie européenne COPERT IV adaptée à la situation française.

Les facteurs d'émission utilisés sont donc issus de la méthodologie européenne du programme COPERT IV (COmputer Programme to calculate Emissions from Road Transport) développée pour le compte de l'Agence Européenne de l'Environnement dans le cadre des activités du Centre thématique européen sur les émissions atmosphériques. La méthodologie COPERT IV repose sur une banque de données européennes réunissant les résultats de mesures réalisées sur cycles réels, segmentées en classes technologiques.

Calcul des émissions

L'outil Act'Air Transport combine alors ses 3 types de données d'entrée afin de calculer les émissions directes de tous les polluants réglementés sur chaque axe routier pris en compte et pour chaque heure de la journée.

Emissions du secteur résidentiel/tertiaire

Principe général

Les émissions de ce secteur sont principalement liées aux chauffages, à la production d'eau chaude sanitaire et aux divers équipements ménagers (cuisson, agrément, ...) et dépendent du combustible utilisé.
Pour le secteur résidentiel il s'agit de croiser les données relatives au parc régional de résidences principales issues du recensement général de la population (RGP INSEE 2006 – Fichier Détail Logements) avec des consommations énergétiques unitaires (par type de logement) fournies par le CEREN.
Le parc de résidences principales de chaque commune est spécifié selon 96 catégories. Ainsi à chaque ensemble homogène de résidences principales est associée une consommation unitaire type de chauffage principal, chauffage d'appoint, d'eau chaude sanitaire, de cuisson, d'usage spécifique de l'électricité.
Pour le secteur tertiaire il s'agit de croiser les données relative aux emplois (voir des surfaces – on suppose que les surfaces par emploi sont stables au sein d'un même secteur d'activité) issues du RGP (INSEE 2006) avec des consommations unitaires (consommation thermique et électrique par emploi). Les branches d'activité du tertiaire retenues dans l'étude sont au nombre de 7 (bureaux et administrations / santé / enseignement / sport loisir culture / établissement du transport / hôtels cafés restaurants / commerces).
Ces données retravaillées sont fournies par l'OREMIP (Observatoire Régionale de l'Energie en région Midi-Pyrénées). Elles sont ensuite multipliées par les facteurs d'émissions associées issues du guide OMINEA (Organisation et Méthodes des Inventaires Nationaux des Emissions Atmosphériques)

Temporalisation des données de chauffage du secteur résidentiel/Tertiaire

Les émissions de chauffage du secteur résidentiel/tertiaire sont calculées annuellement mais dépendent fortement des conditions météorologique de l'année retenue. C'est pour cela qu'une temporalisation

des émissions est estimée pour chaque zone de modélisation et pour chaque année civile retenue.
La variable de départ de cette méthode est la différence entre la température extérieure "ressentie" et la température intérieure souhaitée. La température "ressentie" permet de prendre en compte l'impact du refroidissement éolien dans les consommations (i.e. la déperdition supplémentaire de chaleur due à la présence du vent)
Finalement le pourcentage d'émission annuelle pour chaque heure est estimé en comparant cette variable avec la différence de températures totale sur l'année retenue.

Emissions du secteur industriel

Les « grandes industries » regroupent les industries qui déclarent leurs émissions annuelles à la DREAL. Ces données sont publiques et disponibles sur internet via la base IREP (Registre Français des Emissions Polluantes) ou par demande à la DREAL. Ces industries sont localisées avec précision et forment des sources ponctuelles d'émissions.
Une base de données sur les ICPE est disponible sur le site du Ministère de l'Ecologie, du Développement Durable, des Transports et du Logement. Il est ainsi possible de connaitre les différentes activités des ICPE et d'avoir accès aux arrêtés préfectoraux correspondants.
Les émissions pour les polluants non déclarées sont recalculées en fonction de la nature des activités, avec les facteurs d'émissions disponibles par le CITEPA (Centre Interprofessionnel Technique d'Etudes de la Pollution Atmosphérique).
Sur Midi-Pyrénées, les données d'environ 170 industries sont intégrées dans l'inventaire.

Emissions du secteur agricole

La culture des sols engendre, au-delà des émissions liées à l'utilisation de machines munies de moteurs thermiques, des émissions dues aux labours des sols et aux réactions consécutives à l'utilisation de fertilisants.
L'élevage se traduit par des émissions liées, d'une part, à la fermentation entérique et, d'autre part, aux réactions chimiques engendrées par les déjections animales.
Les quantités engendrées pour certaines substances telles que le méthane, le protoxyde d'azote et l'ammoniac notamment sont très importantes et font de ce secteur l'émetteur parfois le plus important.
Les données utilisées dans l'inventaire proviennent du recensement agricole AGRESTE de l'année 2000. Il fourni les surfaces cultivées en fonction du type de culture et les cheptels par type d'animaux au niveau de la commune. Les facteurs d'émissions associées aux activités proviennent du CITEPA (Centre Interprofessionnel Technique d'Etudes de la Pollution Atmosphérique).

Données d'entrée (hors émissions)

Sectorisation du domaine d'études

Le modèle ADMS est limité quant à la taille des données d'émission qu'il peut utiliser. Aussi quand le domaine d'études est trop vaste, il est nécessaire de le découper en secteurs relativement homogènes.

Topographie

La topographie n'a pas été intégrée dans cette modélisation.

Pollution de fond

Les choix de caractérisation de la pollution de fond et des sources d'émissions complémentaires au trafic routier à intégrer au modèle sont des étapes déterminantes dans une étude de modélisation en milieu urbain. Pour réaliser ces choix, il est tout d'abord essentiel de comprendre les différentes contributions régionales et locales dans la structure de la pollution urbaine. Celles-ci peuvent ainsi être décrites par le schéma suivant :

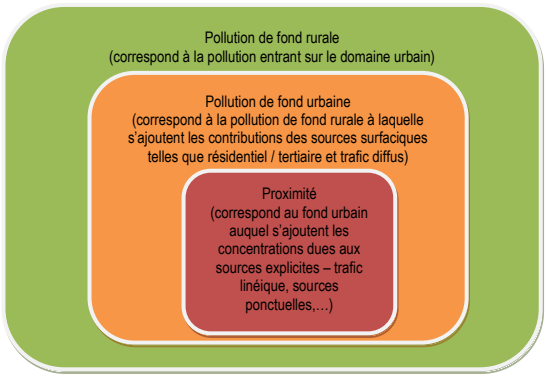


Schéma 3 : Les principales échelles de pollution en milieu urbain

Lorsque l'on s'intéresse à la pollution de fond urbaine au sens d'un modèle, celle-ci diffère sensiblement du fond urbain mesuré par les capteurs. En effet, au sens du modèle, la pollution de fond correspond à la pollution entrant sur le domaine modélisé. Les capteurs pour leur part, lorsqu'ils sont installés sur ce domaine, ne permettent pas de soustraire l'ensemble des sources locales. Ainsi la pollution de fond issue de la station rurale Peyrusse-Vieille dans le Gers est utilisée. Les biais potentiels quant à cette pollution de fond sont ensuite corrigés grâce à l'adaptation statistique.

Facteurs horaires

Les données de sortie d'émissions d'Act'Air sont des données annuelles et/ou horaires sur une année civile complète. Cependant vue les limitations d'ADMS en terme de prise en compte des facteurs horaires et vue le fait que l'année est modélisée par périodes de 2 semaines en moyenne:

- Un facteur horaire moyen par type de voieries et par jour de la semaine est attribué à chaque axe routier pris en compte dans la modélisation. Ce facteur horaire est calculé

avec les émissions horaires du trafic linéique issue d'Act'Air
- un facteur horaire constant est utilisé pour le secteur industriel
- un facteur horaire moyen sur la zone pour l'ensemble des émissions surfaciques (trafic surfacique, résidentiel/tertiaire, agriculture) est calculé. Ce calcul provient d'une moyenne pondéré entre les émissions horaires du trafic routier et celles du secteur résidentiel tertiaire sur l'ensemble du domaine d'études

Données météorologiques

La modélisation est réalisée pour obtenir des concentrations horaires. Les calculs de dispersion ont donc été menés à partir des mesures horaires de plusieurs paramètres météorologiques (vitesse et direction du vent, couverture nuageuse, température, etc.) fournies par les stations météorologiques les plus proches de la zone d'études et pour l'année de référence.

Spatialisation de la population

La méthodologie retenue pour spatialiser la population utilise un croisement entre la base de données topographique de l'IGN (BD TOPO) et les Ilots Regroupés pour des Indicateurs Statistiques de l'INSEE (IRIS) :
- La BD TOPO est une base de données vecteur de référence développé par l'IGN et fournissant une information sur les éléments du paysage à l'échelle métrique. Pour cette méthodologie seuls les champs "Bâti", "Administratif" et "Zone d'activité" sont retenus pour évaluer les zones d'habitat.
- Les IRIS d'habitat sont des découpages du territoire français en maille contenant entre 1800 et 5000 habitants. Les communes d'au moins 10 000 habitants et une forte proportion des communes de 5 000 à 10 000 habitants sont découpées en IRIS.

Le principe de cette méthode est d'affecter un nombre d'habitants pour chaque bâtiment d'habitation se trouvant dans la zone d'études.

Post traitement de la modélisation

Adaptation statistique de données

Les sorties brutes de modèles de dispersion tels qu'ADMS correspondent rarement à la réalité des concentrations mesurées. En effet, différents effets sont difficilement pris en compte par la modélisation:
Les surémissions de certains polluants dues à des bouchons suite à un accident
La pollution de fond sur laquelle vient s'ajouter la dispersion des sources prises en compte (trafic routier, industrie, chauffage, etc.). En effet l'évolution de la pollution de fond entre deux heures consécutives est difficilement prise en compte par les modèles de dispersion.
L'apport de pollution provenant de l'extérieur de la zone de modélisation
Ces différents points sont les sources principales de différence entre les sorties brutes de la modélisation et les mesures. L'hypothèse retenue dans cette méthodologie est que cette différence est homogène sur la zone d'étude et peut être représentée par un biais moyen horaire. Le but de l'adaptation statistique est donc d'estimer ce biais moyen sur la zone pour chaque heure de l'année et pour chaque polluant.
Sur l'agglomération toulousaine, les stations de fond de l'ORAMIP sont utilisées pour estimer ce biais horaire.

Interpolation des données

Les données de sortie de modélisation ne sont pas spatialement homogènes dans le domaine d'études. Aussi avant de créer une cartographie des concentrations, une interpolation par pondération inverse à la distance est effectuée sur une grille régulière.

Cartographie et Impact sur les populations

Cartographie

Les cartes de dispersion de la pollution sont obtenues en géo référençant l'interpolation des données décrites précédemment avec un Système d'Information Géographique (SIG).

Les cartes issues du SIG permettent de suivre l'évolution de la pollution sur une zone donnée en comparant les cartes sur plusieurs années.

Impact sur les populations

Les concentrations interpolées de polluants dépassant les valeurs réglementaires sont croisées avec les données de population sur chaque point de grille.
Ce qui permet à la fois de cartographier les zones de populations les plus touchées par la pollution mais aussi d'estimer le nombre d'habitants soumis à des taux de pollution dépassant les valeurs réglementaires.

ANNEXE V: INDICATEURS STATISTIQUES DE COMPARAISON MESURES/MODÈLE

Méthodologie

Afin de vérifier la validité des résultats obtenus par la modélisation, nous avons utilisé des paramètres statistiques permettant de comparer les résultats de la modélisation aux résultats fournis par les tubes échantillonneurs passifs.

Il existe dans la littérature de nombreux indicateurs ou outils de performance statistiques afin d'évaluer quantitativement la qualité d'un modèle de dispersion atmosphérique.

Le guide "evaluating the performance of Air Quality Models -3 juin 2010" du department for environment, food & Rural Affairs of United Kingdom recommande une certaine simplification et rationalisation en adoptant un nombre limité d'indicateurs statistiques.

Les indicateurs statistiques ont été choisis en suivant les recommandations faites par Chang et Hanna dans leurs mesures de la performance de modèles de qualité de l'air.

Les équations suivantes incluant le biais fractionnaire (FB), l'erreur quadratique moyenne normalisée (NMSE), la variance géométrique (VG), le coefficient de corrélation et la fraction de prédiction comprise dans un facteur 2 (FAC2) ont ainsi été utilisées :

Les performances des deux modèles sont évalués par les indicateurs statistiques suivants (formule indiquée ci-après) :

- le biais fractionnel (fractional bias) FB,
- le biais moyen géométrique (MG),
- L'erreur quadratique normalisée ("normalized mean square error") NMSE,
- la variance géométrique (VG),
- Le coefficient de corrélation Corr,
- la fraction de prédiction comprise dans un facteur 2 FAC2.

Un modèle parfait aurait MG, VG, R et FAC2 =1; et FB et NMSE = 0.

Notons que, d'après les conventions utilisées (annexe A), les valeurs de FB sont négatives en cas de sur-estimation, et positives en cas de sous-estimation des valeurs.

Des critères de performances acceptables ont été développés dans Chang et Hanna [2004] et Hanna et al [2004] à partir de l'évaluation de nombreux modèles sur un grand nombre d'expériences.
Un modèle est considéré comme acceptable si :

- -0.3 < FB < 0.3;
- 0.7 < MG < 1.3
- NMSE < 0.5,
- VG<0.6
- 0.5 <FAC2

Présentation des indicateurs statistiques utilisés

On utilise les notations suivantes :

- Co: observation au temps i
- Cp: valeur modélisée au temps i
- N : nombre de couple de valeurs
- Les termes surmontes d'un trait désignent la moyenne temporelle de la grandeur indiquée.

Les différents paramètres présentés ici permettent de quantifier trois types d'erreur :

- l'erreur systématique, qui détermine si le modèle a tendance a sous-estimer ou surestimer globalement la réalité
- l'erreur locale, qui caractérise la "précision" des données du modèle (c'est a dire leur étalement autour de leur moyenne),
- l'erreur totale, qui caractérise la "justesse" globale des données du modèle par rapport a la réalité.

Il est intéressant lorsque l'on compare deux jeux de données de pouvoir estimer ces différents types d'erreur. Dans la suite, le type d'erreur que permet de quantifier chaque paramètre est indiqué.

FB : Biais fractionnel

$$FB = \frac{\left(\overline{C_o} - \overline{C_p}\right)}{0.5\left(\overline{C_o} + \overline{C_p}\right)}$$

Signification : Le biais fractionnel est une normalisation de la valeur du biais. Ceci présente l'avantage de permettre la comparaison des valeurs de ce paramètre obtenues sur des échantillons différents. Ceci permet aussi de pouvoir interpréter la valeur du biais sans avoir à se référer aux données considérées : une même valeur de FB correspond à peu prés au même type d'erreur quel que soit le cas étudié ou l'unité utilisée pour exprimer les grandeurs considérées.

Valeur recherchée : 0
Interprétation des valeurs : FB peut être positif ou négatif. Il est sans dimension. Si les valeurs observées et mesurées sont positives ou nulles (comme dans le cas de concentrations), FB est compris entre -2 et 2. Une valeur nulle indique que les données d'observations et les données modélisées ont la même moyenne. Le modèle est donc en mesure de bien restituer la valeur moyenne du paramètre considéré. Toutefois les écarts peuvent être ponctuellement ou systématiquement très importants : il suffit que les écarts positifs compensent les écarts négatifs.

Une valeur positive implique, qu'en moyenne, le modèle sous estime la mesure : la moyenne des données issues du modèle est plus faible que celle des données mesurées. Toutefois ponctuellement, le modèle peut donner une valeur supérieure à la mesure.
Une valeur négative implique qu'en moyenne, le modèle surestime globalement la mesure : la moyenne des données issues du modèle est plus forte que celle des données mesurées. Toutefois ponctuellement, le modèle peut donner une valeur inferieure à la mesure.
Type d'erreur : systématique

NMSE : Normalised mean square error

$$NMSE = \frac{\overline{\left(C_o - C_p\right)^2}}{\overline{C_o}\ \overline{C_p}}$$

Signification : ce terme qualifie l'erreur totale existant entre observation et mesure. Il est normalisé ce qui présente l'avantage de permettre la comparaison des valeurs de ce paramètre obtenu sur des échantillons différents. Ceci permet aussi de pouvoir interpréter la valeur du NMSE sans avoir à se référer aux données considérées : une même valeur de NMSE correspond a peu près au même type d'erreur quel que soit le cas étudié ou l'unité utilisée pour exprimer les grandeurs considérées.

Valeur recherchée : 0

Interprétation des valeurs : La NMSE est une grandeur positive ou nulle. Elle est sans dimension. Si elle est nulle, les valeurs du modèle sont toutes égales aux valeurs observées. Plus la NMSE est grande, plus l'écart entre mesure et observation est grand. La NMSE ne donne toutefois pas d'indication sur la distribution de cette erreur. Une grande valeur de NMSE peut correspondre soit à un biais fort, soit à un écart type des erreurs fort, soit aux deux a la fois.

Type d'erreur : totale

MG : Geometric Mean Bias

$$MG = \exp\left(\overline{\ln C_o} - \overline{\ln C_p}\right)$$

Signification : MG est l'exponentielle du biais calculé à partir des logarithmes népériens des valeurs d'observations et des valeurs modélisées. Il donne le même type d'information que la valeur du biais. Toutefois les propriétés du logarithme font que ce paramètre est influencé par l'écart relatif entre les valeurs et non pas par l'écart brut.
Concrètement, pour une même erreur relative, le biais est plus sensible à un écart sur des valeurs fortes que sur des valeurs faibles car la même erreur relative conduira alors à un écart plus grand. MG sera aussi sensible à l'un qu'a l'autre.
Valeur recherchée : 1
Interprétation des valeurs : MG est une grandeur strictement positive. C'est un nombre sans dimension. Une valeur égale à 1 indique que les données d'observations et les données modélisées ont la même moyenne. Le modèle est donc en mesure de bien restituer la valeur moyenne du paramètre considéré. Toutefois les écarts peuvent être ponctuellement ou systématiquement très importants : il suffit que les écarts positifs compensent les écarts négatifs.
Une valeur supérieure 1 implique qu'en moyenne, le modèle sous estime la mesure : la moyenne des données issues du modèle est plus faible que celle des données mesurées. Toutefois ponctuellement, le modèle peut donner une valeur supérieure à la mesure.
Une valeur inferieure à 1 implique, qu'en moyenne, le modèle surestime globalement la mesure : la moyenne des données issues du modèle est plus forte que celle des données mesurées. Toutefois ponctuellement, le modèle peut donner une valeur inferieure à la mesure.
Type d'erreur : systématique

VG : Geometric Mean Variance

$$VG = \exp\left[\overline{\left(\ln C_o - \ln C_p\right)^2}\right]$$

Signification : VG est l'exponentielle du carré du RMSE calculé à partir des logarithmes népériens des valeurs d'observations et des valeurs modélisées. Il donne le même type d'information que la valeur du RMSE.
Toutefois les propriétés du logarithme font que ce paramètre est influencé par l'écart relatif entre les valeurs et non pas par l'écart brut. Concrètement, pour une même erreur relative, le RMSE est beaucoup plus sensible à un écart sur des valeurs fortes que sur des valeurs faibles car la même erreur relative conduira alors à un écart plus grand. VG sera aussi sensible à l'un qu'à l'autre.

Valeur recherchée : 1

Interprétation des valeurs : VG est une grandeur supérieure ou égale à 1. C'est un nombre sans dimension. Si elle est égale à 1, les valeurs du modèle sont toutes égales aux valeurs observées. Plus VG est grand, plus l'écart entre mesure et observation est grand. La VG ne donne toutefois pas d'indication sur la distribution de cette erreur. Une grande valeur de VG peut correspondre soit à un biais fort, soit à un écart type des erreurs fort, soit aux deux a la fois.
Type d'erreur: locale

FAC2 :Factor of Two

$$FAC2 = \text{fraction of data that satisfy } 0.5 \le \frac{C_p}{C_o} \le 2.0$$

Signification : Le FAC2 représente la fraction des données simulées qui sont en accord avec les données mesurées à un facteur 2 près.

Valeur recherchée : 1

Interprétation des valeurs : FAC2 est une grandeur comprise entre 0 et 1. Il est sans dimension. Une valeur nulle indique qu'aucune des données modélisées ne se trouve dans l'intervalle cité plus haut. Une valeur égale à 1 implique que les inégalités citées plus haut sont vérifiées pour chacune des valeurs simulées. Elle ne garantie pas une adéquation parfaite entre mesure et observation.

Type d'erreur : totale

R : Coefficient de corrélation linéaire

$$R = \frac{\overline{\left(C_o - \overline{C_o}\right)\left(C_p - \overline{C_p}\right)}}{\sigma_{C_p}\sigma_{C_o}}$$

Signification : Ce paramètre permet de qualifier l'intensité de la liaison linéaire existante entre observation et valeur modélisée. Autrement dit, il évalue s'il existe une fonction affine du type xi'=a.xi+b (avec a et b, 2 constantes) permettant une bonne restitution des valeurs des observations. D'un point de vue graphique, il permet de savoir s'il est possible de tracer une droite constituant une bonne approximation du nuage de points représentant les couples "observations/valeurs modélisées".

Valeur recherchée : 1 ou -1 (une valeur proche de -1 dénote toutefois un comportement étrange du modèle mais démontre sa bonne capacité de prévision moyennant une correction simple. Ce genre de cas met souvent en évidence une erreur grossière et facilement corrigeable au sein du modèle, ou dans le traitement des données).

Interprétation des valeurs : R est toujours compris entre -1 et 1. Si la valeur absolue de R est égale a 1, l'ensemble des valeurs observées peut être calculé a partir des valeurs modélisées par l'application d'une fonction affine (facilement calculable). Autrement dit, il est possible de construire une droite passant exactement par l'ensemble des points correspondant aux couples "observations/valeurs modélisées". Le signe de R donne alors le signe de la pente de cette droite ou encore le sens de variation de la fonction linéaire reliant observation et modèle : croissante si R est positif, décroissante si R est négatif.
Une valeur égale a 0, implique une absence de liaison linéaire entre les deux séries de données (modélisées et mesurées) c'est à dire qu'il n'existe pas de fonction affine qui, appliquée aux données modélisées, permette une amélioration de l'estimation des valeurs observées.
Les valeurs intermédiaires traduisent une plus ou moins grande importance de la liaison linéaire existante entre les valeurs observées et les valeurs modélisées. Le signe de R donne alors le comportement relatif global des données modélisées et observées : si R est positif, les valeurs modélisées tendent à croitre lorsque les valeurs observées croissent. L'inverse se produit lorsque R est négatif.
Type d'erreur : locale

Un modèle performant

Dans le tableau ci-après, nous indiquons les performances statistiques du modèle relativement aux concentrations moyennes annuelles en NO_2 modélisées et observées sur le domaine d'études pour les années 2008 et 2013.

Indicateurs statistiques	Modélisation 2008	Modélisation 2013	Caractéristiques d'un modèle performant
FB	0.02	0.16	-0.3 < FB < 0.3
MG	1.00	1.16	−0.7 < MG < 1.3
NMSE	0.13	0.27	NMSE < 4
VG	1.02	1.06	VG<1.6
FAC2	1.00	1.00	FAC2>0.5
r	0.82	0.68	Le plus proche de 1

Les valeurs proches de 0 du biais fractionnel (FB) indiquent qu'en moyenne, le modèle tend à bien estimer les valeurs observées.

Cependant, le tracé mesure / modèle indique que le modèle tend à surestimer de quelques µg/m³ les plus faibles concentrations en NO2 tandis qu'il sous-estime les plus fortes concentrations.

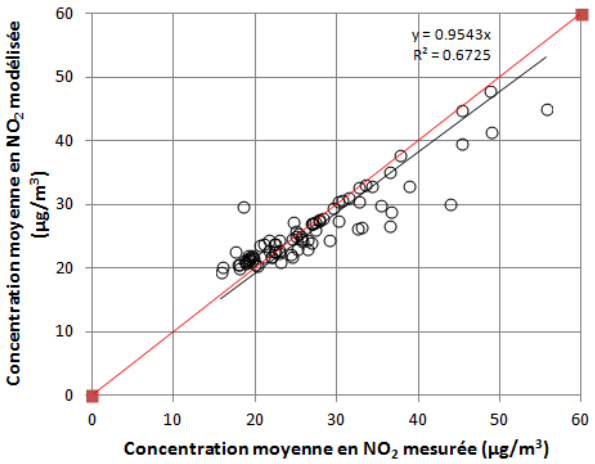
NMSE permet de juger de l'erreur relative commise par le modèle. Plus NMSE est faible, plus les concentrations simulées par le modèle sont proches des observations. Les NMSE obtenus pour le modèle est correct.

L'indicateur logarithmique VG est autant sensible aux valeurs fortes qu'aux valeurs faibles.

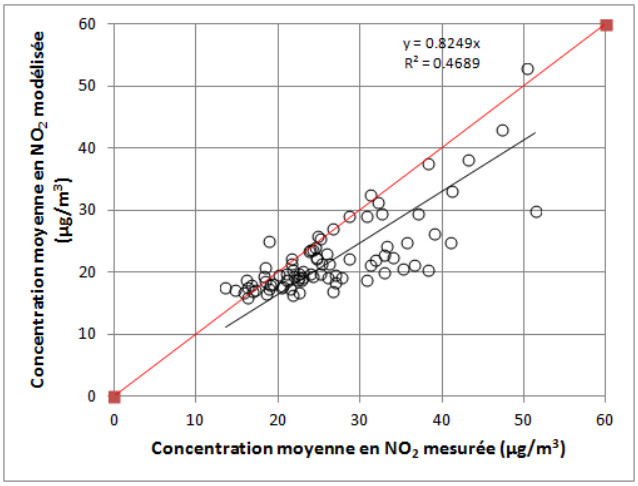
FAC2 renseigne sur la proportion des valeurs simulées à moins d'un facteur 2 des observations. 100% des valeurs simulées sont ainsi à moins d'un facteur 2 des observations.

La corrélation mesure la capacité du modèle à reproduire les variations temporelles des observations. Dans le cas du modèle calculé pour les concentrations quart-horaires, entre 68% et 82% des concentrations modélisées sont corrélées avec les mesures.

Les critères de performance trouvés dans la littérature sont atteints pour le modèle utilisé lequel peut être considéré comme performant.
Les concentrations sont donc correctement modélisées.
La modélisation obtenue répond donc à nos besoins.



Graphe 3: comparaison mesures / modèle pour le dioxyde d'azote sur le domaine d'études (année 2008)



Graphe 4: comparaison mesures / modèle pour le dioxyde d'azote sur le domaine d'études (année 2013)

ORAMIP
OBSERVATOIRE RÉGIONAL DE L'AIR EN MIDI-PYRÉNÉES
Atmo Midi-Pyrénées

Surveillance de la qualité de l'air en Midi-Pyrénées 24 heures/24 • 7 jours/7

• • prévisions • •

• • mesures • •

@

L'information sur la qualité de l'air en Midi-Pyrénées :

http://oramip.atmo-midipyrenees.org

l'Oramip est certifié ISO 9001

Crédit Photo Tisséo © Saada & Schneider Tisséo / ETU-2015-14 / Juillet 2015