



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

Atmo Midi-Pyrénées - ORAMIP

19 avenue Clément Ader

31770 COLOMIERS

Tél : 05 61 15 42 46

contact@oramip.org - <http://oramip.atmo-midipyrenees.org>

Qualité de l'air Rapport d'étude 2015

ETUDE D'ÉVALUATION N+5 LIGNE TRAMWAY T1 - PHASE 3



SMTC
tussé

CONDITIONS DE DIFFUSION

ORAMIP Atmo - Midi-Pyrénées, est une association de type loi 1901 agréée par le Ministère de l'Écologie, 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'État 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 Atmo-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 <http://oramip.atmo-midipyrenees.org>.

Les données contenues dans ce document restent la propriété intellectuelle de ORAMIP Atmo-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 Atmo-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

CONTEXTE ET OBJECTIFS	4
SYNTHÈSE DE L'ÉTUDE D'ÉVALUATION	5
I) ÉVALUATION DE LA POLLUTION EN DIOXYDE D'AZOTE (NO ₂).....	7
Cartographie de la pollution entre 2009 et 2015.....	7
Comparaison à la réglementation.....	9
Situation par rapport à l'agglomération toulousaine	9
Conclusions	10
II) ÉVALUATION DE LA POLLUTION EN PARTICULES (PM ₁₀ , PM _{2,5}).....	11
Comparaison à la réglementation.....	11
Situation par rapport à l'agglomération toulousaine	12
Conclusions	13
III) ÉVALUATION DE LA POLLUTION EN BENZÈNE	14
Comparaison à la réglementation.....	14
Situation par rapport à l'agglomération toulousaine	14
Conclusions	15
ANNEXE I) DISPOSITIF DE MESURE DE LA PHASE 3.....	16
ANNEXE II) CARTES DE POLLUTION EN NO ₂ PHASE 1, PHASE 2 ET PHASE 3.....	22
ANNEXE III) NOTES MÉTHODOLOGIQUES	25
Méthodologie de l'adaptation statistique des mesures	25
Méthodologie de l'inventaire, de la modélisation et de la cartographie	27
Méthodologie de la validation du modèle.....	31
ANNEXE IV) GENERALITES SUR LES POLLUANTS ETUDIÉS.....	35

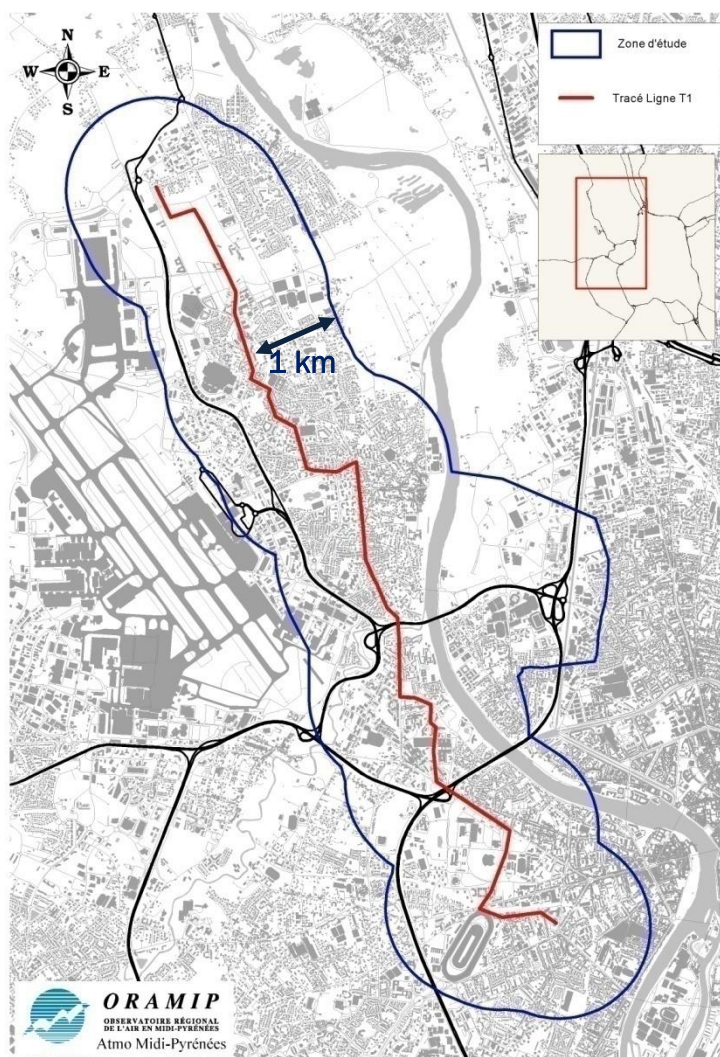
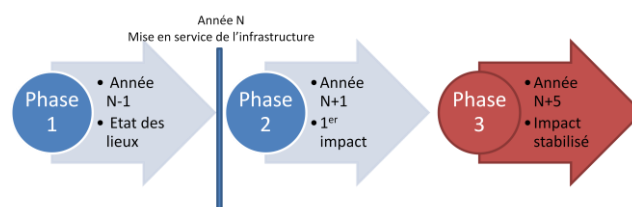
CONTEXTE ET OBJECTIFS

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

L'ORAMIP a été sollicité pour évaluer la qualité de l'air autour de la ligne de tramway T1 avant et après les travaux, pour pouvoir mesurer l'impact positif ou négatif à posteriori de cette opération. Ce projet mené par Toulouse Métropole et SMTC, consiste en la création d'une ligne de tramway reliant la commune de Beauzelle à la station de métro Les Arènes. Elle vise à améliorer les conditions de desserte et de circulation sur cette zone.

La ligne de tramway T1 a été mise en service en décembre 2010.

L'évaluation de l'état des lieux initial de la qualité de l'air, la Phase 1, a été présentée en 2009 et l'évaluation un an après la mise en service, phase 2, a été réalisée en 2011. Ce rapport présente donc la **Phase 3**, soit l'évaluation cinq ans après la mise en service, du suivi de la qualité de l'air autour de la ligne de tramway T1.



Carte 1 : Tracé de la ligne de tramway T1 et bande d'étude

L'évaluation est menée sur une **bande d'étude** de 1 km autour de la ligne de tramway T1. Cette bande d'étude est adaptée à l'étude de l'influence du projet sur la pollution atmosphérique locale.

Deux types de sites sont étudiés :

- les sites en **proximité trafic**, afin d'estimer les niveaux maximaux auxquels sont soumises les personnes dans la rue,
- les sites de **fond urbain**, représentatifs de la pollution respirée par la majorité de la population.

Le dispositif de mesure est détaillé en **Annexe I**. Les méthodologies d'adaptation statistique des mesures, d'inventaire des sources de pollution, de modélisation et de validation du modèle sont décrites dans l'**Annexe III**.

Les **polluants** mesurés sont les principaux indicateurs du trafic routier. Leurs sources d'émissions, leurs effets sur la santé et sur l'environnement sont décrits en **Annexe IV**.

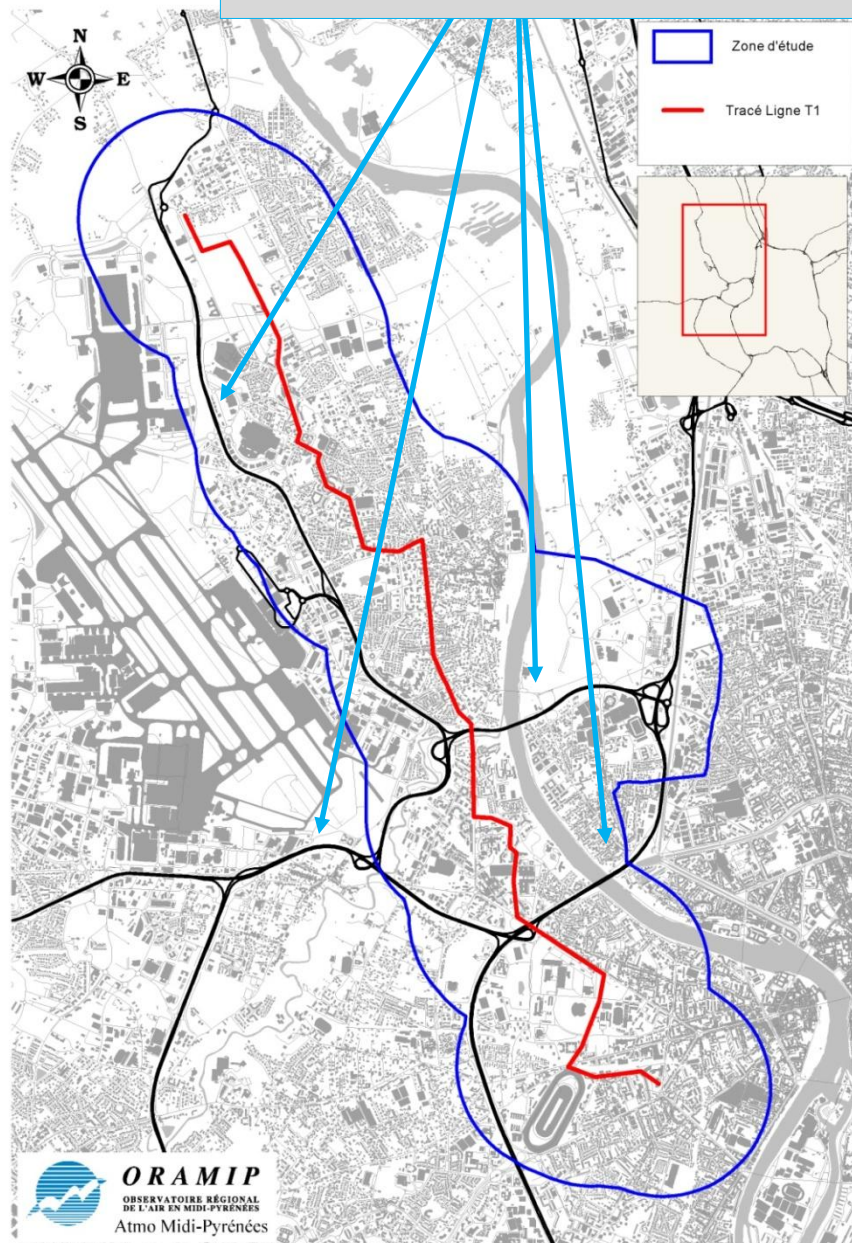
Polluants atmosphériques	Symbole
Dioxyde d'azote	NO ₂
Particules de diamètre inférieur à 10 µm	PM10
Particules de diamètre inférieur à 2,5 µm	PM2,5
Benzène	C ₆ H ₆

SYNTHÈSE DE L'ÉTUDE D'ÉVALUATION

Comparaison
à la réglementation
en 2015

« Zone à risque » : En 2015, en bordure des grandes voies de circulation les plus fréquentées de la bande d'études, les niveaux en **NO₂** dépassent la valeur limite pour la santé.
Hors « zone à risque », les valeurs réglementaires sont respectées pour le **NO₂** et les **PM₁₀**.

Dans l'ensemble de la bande d'étude, les niveaux en **PM_{2,5}** ne respectent pas l'objectif de qualité.



Évolution des niveaux
entre 2009 et 2015

Le long du tracé de la ligne de tramway T1, les niveaux de pollution en **NO₂** en fond urbain et à proximité des axes routiers situés dans les zones densément peuplées ont globalement diminué. Ils sont inférieurs aux valeurs limites.

Cette diminution des concentrations en **NO₂** permet une réduction du nombre de personnes susceptibles d'être impactées par des concentrations élevées en **NO₂**.

Les niveaux de pollution rencontrés dans la bande d'étude en **PM₁₀** et en **PM_{2,5}** et **benzène** diminuent entre 2009 et 2015.

Carte 2 : Synthèse de l'évaluation de la qualité de l'air aux abords de la ligne de tramway T1, 2015

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


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.


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.

	DIOXYDE D'AZOTE					
	Respect de la réglementation	Seuils réglementaires	Ligne tramway T1 Environnement <u>trafic</u>	Ligne tramway T1 Environnement <u>urbain</u>	Evolution des niveaux	
					Environnement <u>trafic</u>	Environnement <u>urbain</u>
Année 2015 concentration moyenne	NON Aux abords des grands axes de circulation	Valeur limite 40 µg/m³	26 µg/m³ (entre 10 et 68)	18 µg/m³ (entre 10 et 25)	2015 < 2009	2015 < 2009
Dépassement de 200 µg/m³ en concentration horaire	OUI	Valeur limite 18 dépassements par an	0 dépassement	0 dépassement		

	PARTICULES DE DIAMETRE INFERIEUR A 10 µm			
	Respect de la réglementation	Seuils réglementaires	Ligne tramway T1 Environnement <u>trafic</u>	Evolution des niveaux
Année 2015 concentration moyenne	OUI	Objectif de qualité 30 µg/m³	22 µg/m³	2015 <
	OUI	Valeur limite 40 µg/m³		2009
Dépassement de 50 µg/m³ en concentration journalière	OUI	Valeur limite 35 dépassements par an	7 dépassements	

	PARTICULES DE DIAMETRE INFERIEUR A 2,5 µm			
	Respect de la réglementation	Seuils réglementaires	Ligne tramway T1 Environnement <u>trafic</u>	Evolution des niveaux
Année 2015 concentration moyenne	NON	Objectif de qualité 10 µg/m³	15 µg/m³	2015
	OUI	Valeur cible 20 µg/m³		<
	OUI	Valeur limite 25 µg/m³		2009

	BENZENE			
	Comparaison à la réglementation	Seuils réglementaires	Ligne tramway T1 Environnement <u>Trafic et urbain</u>	Evolution des niveaux
Moyenne sur la période de mesures	SUPERIEURE	Objectif de qualité 2 µg/m³	1,4 µg/m³	2015 <
	INFERIEURE	Valeur limite 5 µg/m³		2009

µg/m³ : microgramme par mètre cube

I) ÉVALUATION DE LA POLLUTION EN DIOXYDE D'AZOTE (NO₂)

Cartographie de la pollution entre 2009 et 2015

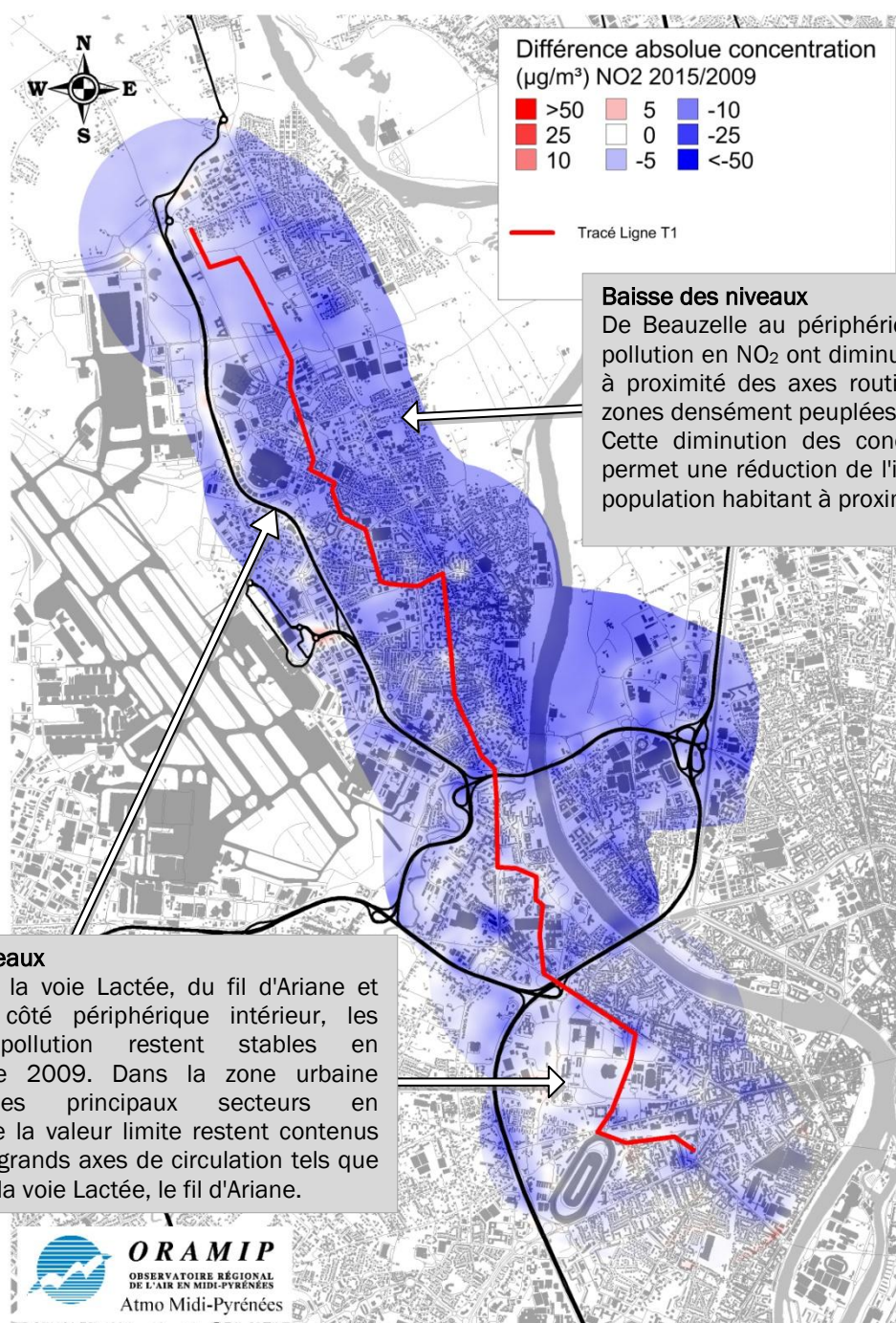
Évolution entre 2009 (phase 1) et 2015 (phase 3)

Sur l'ensemble de l'agglomération toulousaine, les niveaux de fond urbain et les niveaux à proximité des axes routiers ont diminué entre 2009 et 2015. Cette baisse apparaît plus importante sur la bande d'études :

- -13% sur le reste de l'agglomération toulousaine en fond urbain comme en proximité trafic
- -18% en fond urbain et -24% en proximité trafic - sur la bande d'étude.

Les niveaux de fond sont ainsi nettement inférieurs aux valeurs limites.

Un impact positif de la ligne de tramway T1 sur la qualité de l'air est donc mis en évidence sur l'ensemble de la bande d'étude et notamment sur les zones habitées.



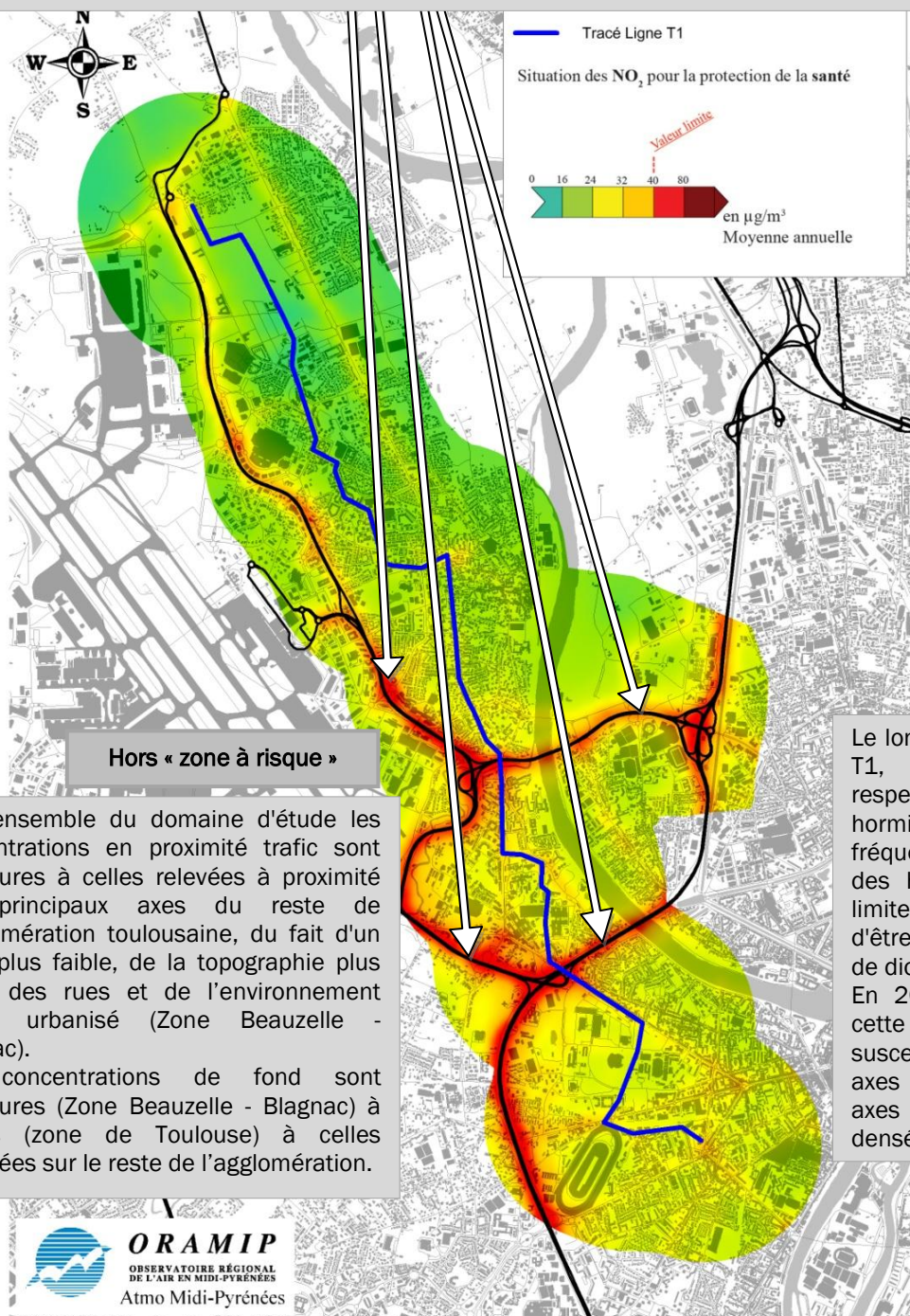
Carte 3 : Évolution des concentrations moyennes annuelles en NO₂ dans la bande d'étude, entre 2009 et 2015

Pollution en NO₂ en phase 3 (année 2015)

La carte de modélisation des concentrations en dioxyde d'azote (NO₂) pour la phase 1 (année 2009), la phase 2 (année 2011) et la phase 3 (année 2015) sont en Annexe II.

« Zone à risque »

Les différentes études effectuées par l'ORAMIP sur l'agglomération toulousaine, le Plan de Protection de l'Atmosphère (PPA), le Plan de Déplacements Urbains (PDU), ont identifié les grands axes de circulation comme zone potentiellement à risque par rapport à l'exposition de la population au NO₂. Ainsi, au bord du périphérique toulousain, de la Voie du Fil d'Ariane, de la nationale 124 et dans une moindre mesure de la Voie Lactée, la valeur limite annuelle en NO₂ pour la protection de la santé humaine est susceptible d'être dépassée. Les zones impactées sont cependant faiblement habitées.



Carte 4 : Cartographie des concentrations moyennes annuelles modélisées en NO₂ dans la bande d'étude, 2015

Comparaison à la réglementation

Sur le territoire du PDU, 79% des émissions en oxydes d'azote (NO_x) sont liées au secteur du transport routier (source Act'Air_V3.1) : ainsi les concentrations les plus élevées sont attendues proches des routes.

En phase 1 (2012), la valeur limite pour la protection de la santé est dépassée à proximité des grands axes routiers de la zone d'études.

En phase 2 (2015), la zone à risque susceptible de dépasser la valeur limite s'est réduite et concerne le périphérique toulousain, la Voie du Fil d'Ariane, la nationale 124 et dans une moindre mesure la Voie Lactée. Sur le reste de la bande d'étude, la réglementation est respectée.


	Respect de la réglementation	Seuils réglementaires	Ligne tramway T1 Environnement trafic	Ligne tramway T1 Environnement urbain
Année 2015 concentration moyenne	NON Aux abords des grands axes de circulation	Valeur limite 40 µg/m³	26 µg/m³ (entre 10 et 68)	18 µg/m³ (entre 10 et 25)
Dépassement de 200 µg/m³ en concentration horaire	OUI	Valeur limite 18 dépassements par an	0 dépassement	0 dépassement

Tableau 1 : Situation par rapport à la réglementation en NO₂ sur la bande d'étude, 2015

Situation par rapport à l'agglomération toulousaine

Entre 2009 (phase 1) et 2015 (phase 3), les niveaux mesurés en NO₂ diminuent en fond urbain et à proximité des axes routiers sur l'ensemble de l'agglomération toulousaine et donc sur la bande d'études.

Cette baisse apparaît plus importante sur la bande d'études :

- 13% sur le reste de l'agglomération toulousaine en fond urbain comme en proximité trafic
- 18% en fond urbain et -24% en proximité trafic - sur la bande d'étude.

En phase 3 (2015), les concentrations en NO₂ en fond urbain dans la bande d'études sont du même ordre de grandeur que celles mesurées sur le reste de l'agglomération toulousaine tandis que les niveaux à proximité du trafic sur la bande d'études sont très inférieurs à ceux mesurés sur le reste de l'agglomération toulousaine.






				
	Ligne tramway T1 Environnement urbain	Ligne tramway T1 Environnement trafic	Agglo. toulousaine Environnement urbain	Agglo. toulousaine Environnement trafic
Année 2015 concentration moyenne	18 µg/m³	26 µg/m³	20 µg/m³	59 µg/m³
	2015 < 2011	2015 ≈ 2011	2015 < 2011	2015 < 2011
Année 2011 concentration moyenne	21 µg/m³	28 µg/m³	22 µg/m³	67 µg/m³
	2015 < 2009	2015 < 2009	2015 < 2009	2015 < 2009
Année 2009 concentration moyenne	22 µg/m³	34 µg/m³	23 µg/m³	68 µg/m³

Tableau 2 : Niveaux en NO₂ sur la bande d'étude et l'agglomération toulousaine, entre 2012 et 2015

Conclusions



Impact positif de la ligne T1 de tramway sur la qualité de l'air entre la phase 1 et la phase 3.

Valeurs réglementaires respectées le long du tracé de la ligne T1 de tramway hormis en bordure des grands axes fréquentés de circulation. Peu d'habitations impactées.

Diminution des niveaux à proximité des axes routiers situés dans les zones densément peuplées engendrant une réduction de l'impact du NO₂ sur la population habitant ces zones.

Phase 1 – Phase 3

Valeurs limites réglementaires respectées en fond urbain.

Diminution des niveaux sur l'ensemble du fond urbain et en proximité trafic de l'agglomération toulousaine et donc de la bande d'études.

Phase 3

Niveaux inférieurs à ceux rencontrés sur l'agglomération toulousaine pour le fond urbain et à proximité du trafic.

II) ÉVALUATION DE LA POLLUTION EN PARTICULES (PM10, PM2,5)

Comparaison à la réglementation

Sur le territoire du PDU, les émissions de PM10 proviennent à 42% du transport routier et à 38% du secteur résidentiel. Les émissions de PM2,5 proviennent à 37% du transport routier et à 51% du secteur résidentiel (source Act'Air_V3.1) : ainsi les taux les plus élevés sont attendus proches des routes en milieu urbain.

Dans la bande d'études, en 2015 (phase 3) comme en 2009 (phase 1) :

- Les réglementations sont respectées pour les particules en suspension (**PM10**).
- La concentration moyenne en particules fines (**PM2,5**) à proximité du trafic dépasse l'objectif de qualité et respecte les autres valeurs réglementaires.


	Respect de la réglementation	Seuils réglementaires	Ligne tramway T1 Environnement trafic
Année 2015 concentration moyenne	OUI	Objectif de qualité 30 µg/m ³	22 µg/m ³
	OUI	Valeur limite 40 µg/m ³	
Dépassement de 50 µg/m ³ en concentration journalière	OUI	Valeur limite 35 dépassements par an	7 dépassements

Tableau 3 : Situation par rapport à la réglementation en PM10 sur la bande d'étude, 2015






	Respect de la réglementation	Seuils réglementaires	Ligne tramway T1 Environnement trafic
Année 2015 concentration moyenne	NON	Objectif de qualité 10 µg/m ³	15 µg/m ³
	OUI	Valeur cible 20 µg/m ³	
	OUI	Valeur limite (*) 25 µg/m ³	

Tableau 4 : Situation par rapport à la réglementation en PM2,5 sur la bande d'étude, 2015




Situation par rapport à l'agglomération toulousaine

 PM10	 Ligne tramway T1 Environnement <u>trafic</u>	 Agglo. toulousaine Environnement <u>urbain</u>	 Agglo. toulousaine Environnement <u>trafic</u>
	Année 2015 concentration moyenne	22 µg/m ³	19 µg/m ³
	2015 < 2012	2015 < 2012	2015 < 2012
Année 2011 concentration moyenne	32 µg/m ³	25 µg/m ³	41 µg/m ³
	2015 < 2009	2015 < 2009	2015 ≈ 2009
Année 2009 concentration moyenne	28 µg/m ³	23 µg/m ³	33 µg/m ³

En 2015 par comparaison à 2011 et 2009, les niveaux des particules en suspension (PM10) en fond urbain dans l'agglomération toulousaine sont les plus faibles mesurés. Cette tendance est également observée pour les niveaux en proximité trafic sur la bande d'étude dans des proportions similaires. En revanche, les niveaux en proximité trafic sur le reste de l'agglomération toulousaine sont similaires à ceux de 2009. Ils étaient plus élevés en 2011.

En phase 3 (2015), les niveaux des particules en suspension (PM10) en proximité trafic dans la bande d'étude sont inférieurs à ceux mesurés à proximité des principaux axes routiers de l'agglomération. Ils sont du même ordre de grandeur que les niveaux observés en fond urbain dans l'agglomération toulousaine

Tableau 5 : Niveaux en PM10 sur la bande d'étude et l'agglomération toulousaine, entre 2012 et 2015

 PM2,5	 Ligne tramway T1 Environnement <u>trafic</u>	 Agglo. toulousaine Environnement <u>urbain</u>
	Année 2015 concentration moyenne	15 µg/m ³
	2015 < 2012	2015 < 2012
Année 2011 concentration moyenne	21 µg/m ³	19 µg/m ³
		2015 < 2009
Année 2009 concentration moyenne	Non mesuré	17 µg/m ³

Entre la phase 2 et la phase 3, les niveaux des particules fines (PM2,5) diminuent sur la bande d'étude en fond urbain dans l'agglomération toulousaine et en proximité trafic sur la bande d'études.

En 2015 par comparaison à 2011 et 2009, les niveaux des PM2,5 en fond urbain dans l'agglomération toulousaine sont les plus faibles mesurés. Les PM2,5 correspondant à une fraction stable des PM10, la tendance à la baisse constatée sur les PM10 entre 2009 et 2015 si les concentrations en PM2,5 avaient été mesurées en 2009.

En phase 3 (2015), les niveaux des PM2,5 sur la bande d'étude à proximité du trafic sont légèrement supérieurs à ceux mesurés en fond urbain dans l'agglomération toulousaine.

Tableau 6 : Niveaux en PM2,5 sur la bande d'étude et l'agglomération toulousaine, entre 2011 et 2015

Conclusions



Objectif de qualité pour les particules fines (PM2,5) non respecté sur les deux phases, sur la bande d'étude ainsi que sur l'ensemble de l'agglomération toulousaine.

Phase 1 – Phase 3

Valeur limite et valeur cible respectées pour les particules fines (PM2,5).

Valeurs réglementaires respectées pour les particules en suspension (PM10).

Diminution des niveaux des particules en suspension (PM10) et des particules fines (PM2,5) entre les trois phases sur la bande d'étude comme en fond sur le reste de l'agglomération.

Niveaux des particules en suspension (PM10) stables à proximité des principaux axes de circulation sur le reste de l'agglomération toulousain.

Phase 3

Niveaux des particules en suspension (PM10) inférieurs à ceux rencontrés à proximité des principaux axes routiers sur le reste de l'agglomération toulousaine.

Niveaux des particules fines (PM2,5) légèrement supérieurs à ceux rencontrés en fond urbain sur l'agglomération toulousaine.

III) ÉVALUATION DE LA POLLUTION EN BENZÈNE

L'estimation des concentrations en benzène sur l'ensemble de l'année n'a pu être mise en œuvre compte tenu du dispositif actuel de mesure de ce polluant.

Comparaison à la réglementation

Sur le territoire du PDU, les sources d'émission principales sont liées aux secteurs résidentiel, tertiaire et transport : ainsi les taux les plus élevés sont attendus en milieu urbain à proximité du trafic routier.

A titre d'information, les niveaux sur la période de mesures sont comparés à la réglementation établie sur une année entière de mesures.

Dans la bande d'études, en 2015 (phase 3) comme en 2009 (phase 1), le niveau de pollution en benzène est inférieur à la valeur limite pour la santé. Des concentrations supérieures à l'objectif de qualité sont ponctuellement observées.





 Période 2015 concentration moyenne	Comparaison à la réglementation	Seuils Réglementaires	Ligne tramway T1 Environnement trafic et urbain
		SUPERIEURE	Objectif de qualité 2 µg/m³
	INFERIEURE	Valeur limite 5 µg/m³	

Tableau 7 : Situation par rapport à la réglementation en benzène sur la bande d'étude, 2015

Situation par rapport à l'agglomération toulousaine

Les observations relevées durant les campagnes de mesure concernent une courte période de mesures avec des conditions météorologiques particulières qui ne peuvent être considérées comme représentatives de tous les types de temps rencontrés dans une année.

	 Ligne tramway T1 Environnement trafic et urbain	 Agglo. toulousaine Environnement trafic et urbain
	Période 2015 concentration moyenne	1,4 µg/m³
	2015 <	2015 >
	2012	2012
Période 2011 concentration moyenne	1.6 µg/m³	1.7 µg/m³
	2015 <	2015 >
	2009	2009
Année 2009 concentration moyenne	1.9 µg/m³	1.3 µg/m³

On observe une baisse des concentrations en benzène sur la bande d'études sur les périodes de mesure entre 2009 et 2015 tandis que les moyennes des concentrations en benzène augmentent sur l'agglomération toulousaine.

En phase 2 (2015), les niveaux de benzène sur la bande d'étude sont inférieurs à ceux mesurés sur le reste de l'agglomération toulousaine.

Tableau 8 : Niveaux en benzène sur la bande d'étude et l'agglomération toulousaine, entre 2009 et 2015

Conclusions



Niveau de pollution en benzène inférieur à la valeur limite pour la santé dans la bande d'étude en phase 3.

Niveaux inférieurs à l'objectif de qualité sur la quasi-totalité des sites de mesures.

Phase 1 – Phase 3

Diminution des niveaux de benzène sur la bande d'étude entre les trois phases.

Phase 3

Niveaux de pollution inférieurs à ceux rencontrés sur le reste de l'agglomération toulousaine.

ANNEXE I) DISPOSITIF DE MESURE DE LA PHASE 3

Généralités

Les mesures réalisées doivent permettre à terme de quantifier l'impact réel des aménagements sur la qualité de l'air, en comparaison avec la tendance initialement attendue.

Pour ce faire, des **stations mobiles** sont temporairement installées sur la zone d'étude, pour mesurer les indicateurs les plus pertinents de la qualité de l'air et pour les comparer aux stations fixes de l'ORAMIP implantées sur l'agglomération toulousaine. Les stations mobiles fournissent en temps réel une concentration moyenne sur tous les quarts d'heure.

En outre, des **échantillonneurs passifs** sont temporairement disposés dans la zone d'étude, pour évaluer la dispersion de certains polluants. Les échantillonneurs passifs, après analyse en laboratoire, fournissent une concentration moyenne sur l'ensemble du temps d'exposition.

La campagne de mesure des stations mobiles et des échantillonneurs passifs dure une quinzaine de jours, puis les **concentrations sont estimées** sur l'ensemble de l'année, selon la méthode d'adaptation statistique des mesures. Les méthodologies d'exploitation des mesures pour la modélisation des émissions et la cartographie des niveaux de pollution, sont décrites en **Annexe IV**.

Cas de l'étude d'évaluation de la ligne de tramway T1

ECHANTILLONNEURS PASSIFS

Polluants mesurés

Polluants atmosphériques	Symbole
Dioxyde d'azote	NO ₂
Benzène	C ₆ H ₆

Zone de mesure par échantillonneurs passifs

Les échantillonneurs passifs permettent d'évaluer la dispersion du NO₂ et du benzène, par rapport à la distance à la voie. Pour cette étude le niveau de pollution en NO₂ est évaluée sur 91 sites (78 en proximité trafic et 13 de fond) et la pollution en benzène sur 25 sites (1 en proximité trafic et 24 de fond).

Mesures du 16 au 30 septembre 2015

Les échantillonneurs passifs sont implantés sur sites durant deux semaines. La campagne de mesures par échantillonneurs passifs est réalisée en même temps que celle des stations mobiles, afin de comparer et ajuster les valeurs mesurées.

STATIONS MOBILES

Polluants mesurés

Polluants atmosphériques	Symbole
Dioxyde d'azote	NO ₂
Particules de diamètre inférieur à 2,5 µm *	PM2,5
Particules de diamètre inférieur à 10 µm	PM10

* PM2,5 mesurés uniquement sur la station Toulouse

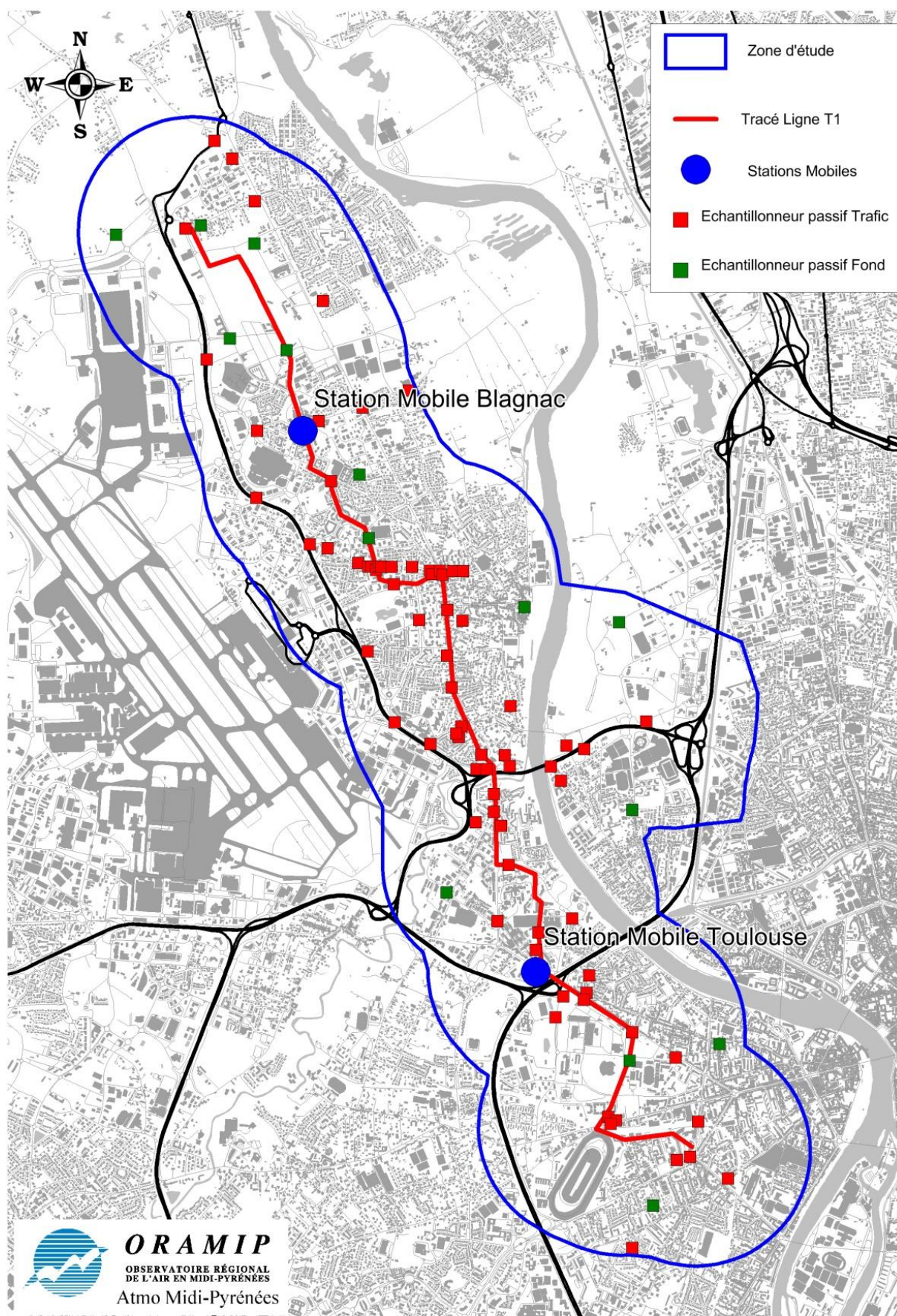
Emplacement des deux stations mobiles

Compte tenu du tracé de la ligne T1, les stations mobiles ont été implantées rue Montaigne (station Blagnac) et à la sortie du périphérique donnant sur l'avenue Grande Bretagne (station Toulouse).

Les deux stations sont représentatives des conditions à proximité du trafic, dans la bande d'étude.

Mesures du 11 septembre au 1^{er} octobre 2015

Les deux stations sont installées sur la même période de trois semaines.



Carte 5 : Position des stations mobiles et des échantillonneurs passifs dans la bande d'étude, 2015

Mesure du dioxyde d'azote

Les niveaux en NO₂ sont évalués par les deux stations mobiles Toulouse et Blagnac, ainsi que par échantillonneurs passifs sur 91 sites, dont 78 en proximité trafic et 13 en fond urbain.

La modélisation révèle une concentration maximale de 68 µg/m³ sur le Fil d'Ariane (voir méthodologie de la modélisation en Annexe II).

	Station Toulouse	Station Blagnac	Echantillonneurs passifs
Concentration moyenne annuelle	41 µg/m ³	20 µg/m ³	Moyenne des 91 mesures 24 µg/m ³ 13 de fond urbain 18 µg/m ³ 78 en proximité trafic 26 µg/m ³
Dépassement de 200 µg/m³ en concentration horaire	0 dépassement	0 dépassement	

Tableau 9 : Valeurs estimées sur l'année sur le dispositif de mesures du NO₂, 2015

DISPERSION DES MESURES SUR L'EFFECTIF DES 91 ECHANTILLONNEURS PASSIFS

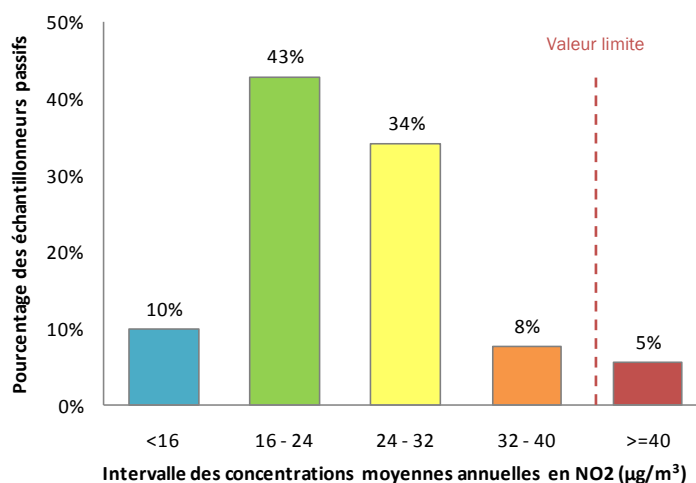
Le tableau ci-dessous décrit les statistiques issues des concentrations moyennes en NO₂ estimées sur l'année. Il met en évidence des variations de concentrations importantes entre les sites de fond et les sites de proximité trafic.

En proximité trafic, la turbulence atmosphérique est importante, donc les concentrations sont plus hétérogènes qu'en situation de fond urbain ; d'où l'écart-type plus élevé.

	Echantillonneurs passifs				
	Minimum	Maximum	Moyenne	Médiane	Ecart Type
Sites de fond	10 µg/m ³	25 µg/m ³	18 µg/m ³	18 µg/m ³	± 4 µg/m ³
Sites en proximité trafic	10 µg/m ³	48 µg/m ³	26 µg/m ³	25 µg/m ³	± 7 µg/m ³

Tableau 10 : Valeurs statistiques de l'échantillon des mesures par échantillonneurs passifs NO₂, 2015

Le diagramme à barres ci-contre met en évidence la dispersion des concentrations des échantillonneurs passifs sur les sites de mesure choisis. De répartition hétérogène sur l'ensemble de la bande d'étude, les concentrations sont majoritairement inférieures à 40 µg/m³.

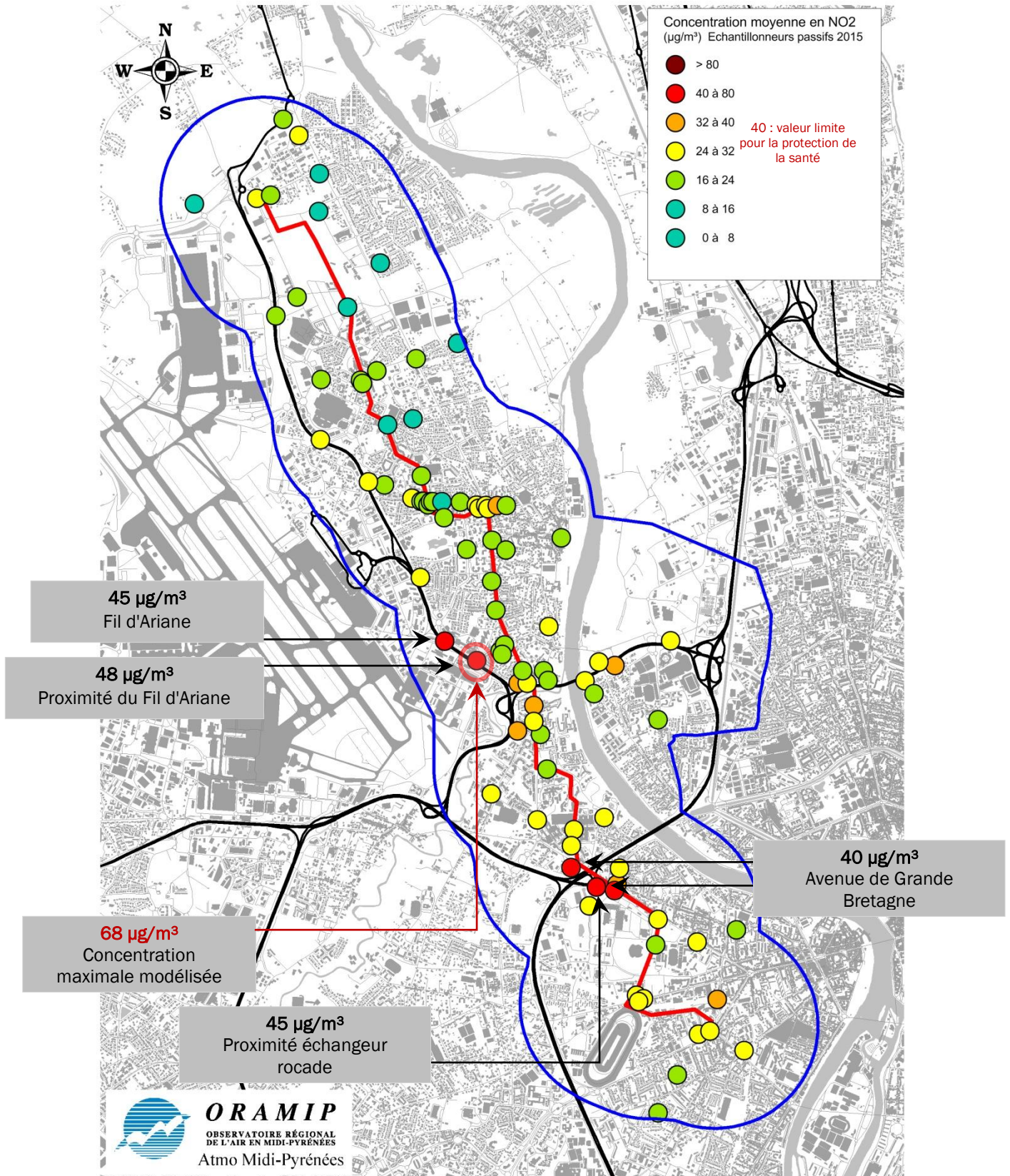


Graph 1 : Répartition des échantillonneurs passifs en fonction

des intervalles de concentration en NO₂, 2015

La carte ci-après présente les gammes de concentrations observées sur les sites de mesures du NO₂ dans le domaine d'étude.

Trois sites de mesure sont en dépassement de la valeur limite réglementaire à 45 µg/m³ (deux fois) et 48 µg/m³.



Carte 6 : Concentrations moyennes annuelles estimées des échantillonneurs passifs en NO₂, 2015

Mesure des particules

Les niveaux en PM10 et PM2,5 sont évalués sur la bande d'étude par les stations mobiles Toulouse (PM10 et PM2,5) et Blagnac (PM10 uniquement).

	PM10		PM2,5
	Station Blagnac	Station Toulouse	Station Blagnac
Concentration moyenne annuelle	20 µg/m ³	24 µg/m ³	20 µg/m ³
Dépassement de 50 µg/m³ en concentration journalière	0 dépassement	7 dépassements	

Tableau 11 : Valeurs estimées sur l'année sur le dispositif de mesures des particules, 2015

Sur l'ensemble de l'année 2015, les concentrations mesurées en PM10 sur la station Blagnac et les concentrations mesurées en PM10 et PM2,5 sur la station Toulouse sont représentatives des niveaux rencontrés en proximité du trafic dans la bande d'étude. Les PM2,5 n'étant mesurées qu'en proximité trafic dans la bande d'étude, donc au plus près des sources

d'émissions, nous estimons qu'en situation de fond urbain les valeurs seront plus faibles. Les teneurs en PM2,5 en fond urbain doivent donc également respecter à minima la valeur limite et la valeur cible réglementaires (respectivement 25 et 20 µg/m³).

Mesure du benzène

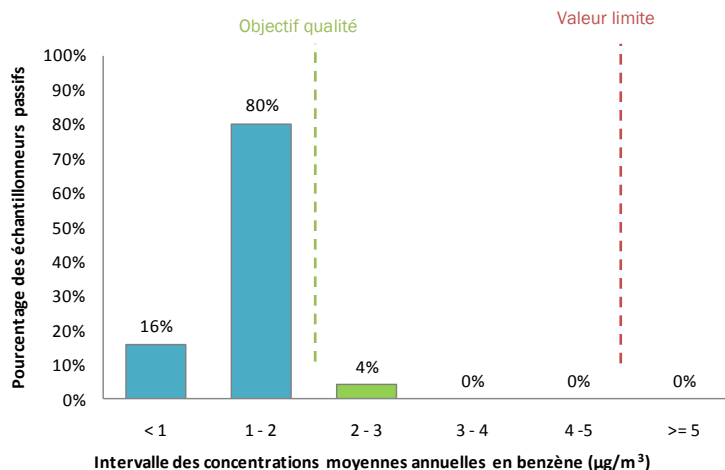
Les niveaux en benzène sont mesurés par échantillonneurs passifs sur 25 sites, tous dans la bande d'étude dont 24 en proximité trafic et un en fond urbain.

Le tableau ci-dessous met en évidence l'homogénéité des concentrations sur la zone, la moyenne annuelle étant similaire à la médiane des valeurs et l'écart type étant relativement faible.

	Moyenne sur la période de mesures	Médiane	Minimum	Maximum	Ecart Type
Bande d'étude	1,4 µg/m ³	1,4 µg/m ³	0,9 µg/m ³	2,3 µg/m ³	± 0,4 µg/m ³

Tableau 12 : Valeurs statistiques de l'échantillon des mesures par échantillonneurs passifs benzène, 2015

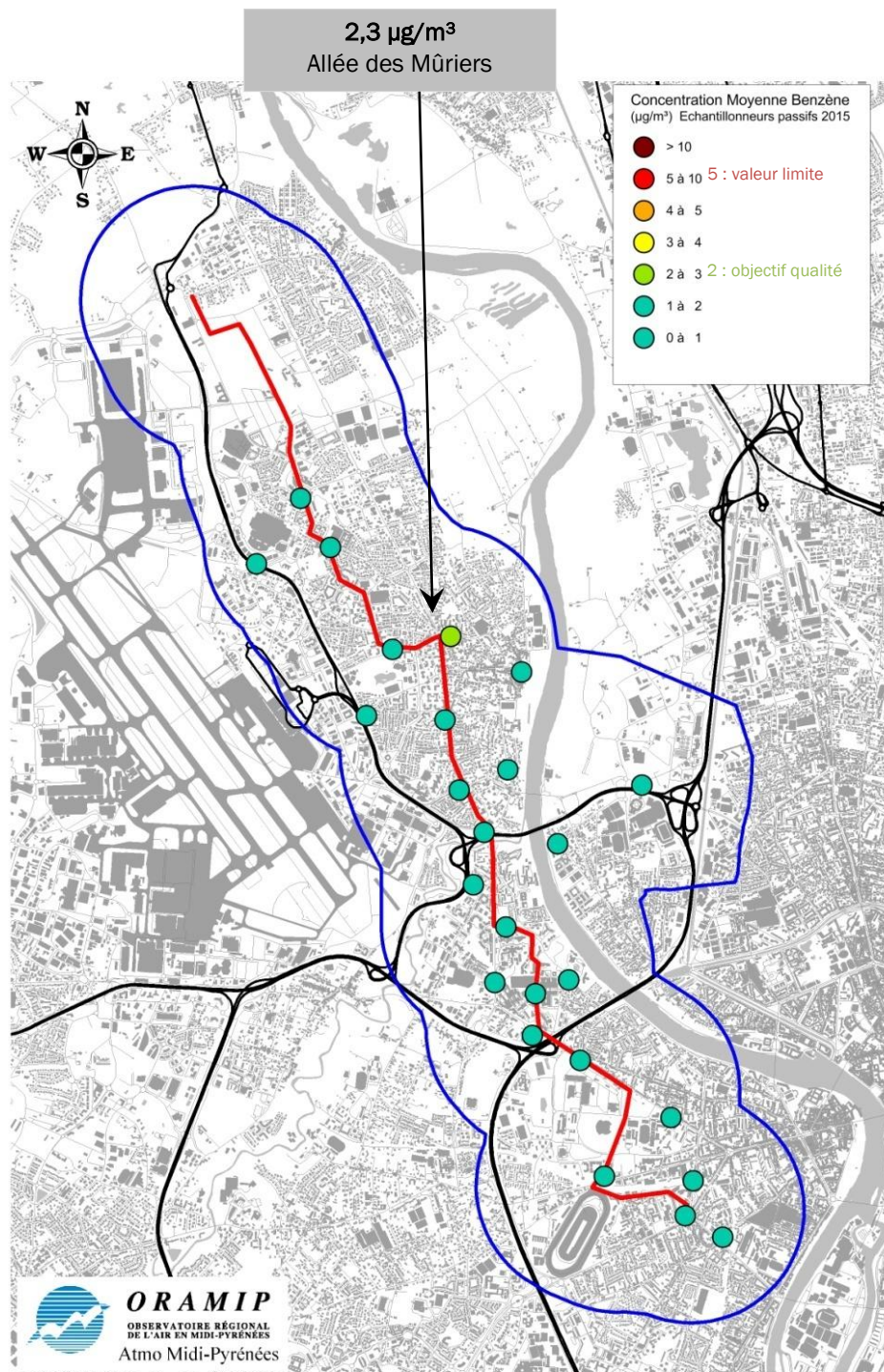
Le diagramme à barres ci-contre montre la dispersion des concentrations de benzène, sur les différents sites choisis dans la bande d'étude: elles sont toutes inférieures à 5 µg/m³ et un seul dépasse 2 µg/m³.



Graphe 2 : Répartition des échantillonneurs passifs en fonction des intervalles de concentration en NO₂, 2015

La carte ci-après présente les gammes de concentrations observées sur les sites de mesures du benzène dans le domaine d'étude.

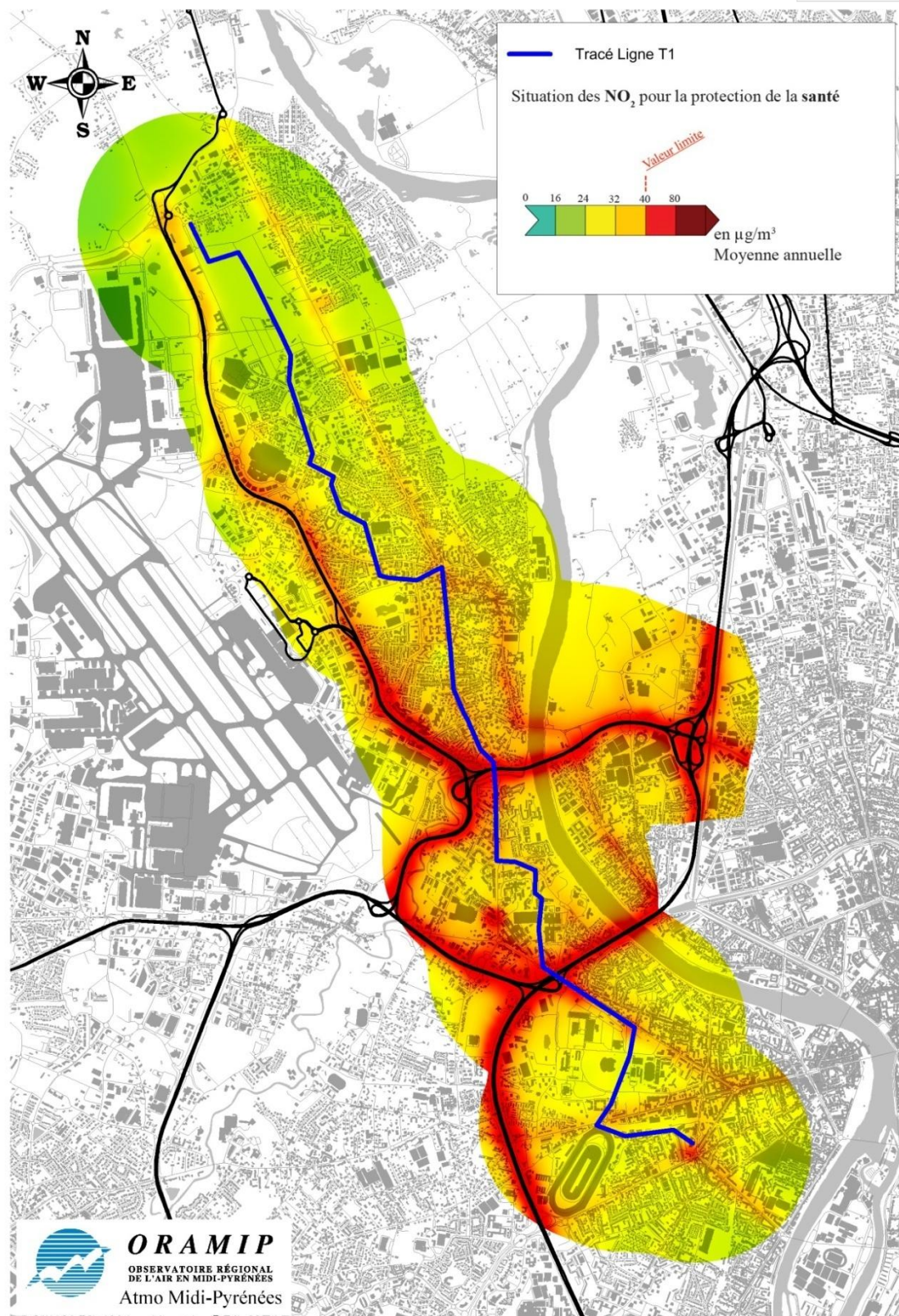
Un seul site de mesure est en dépassement de l'objectif de qualité à $2.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$.



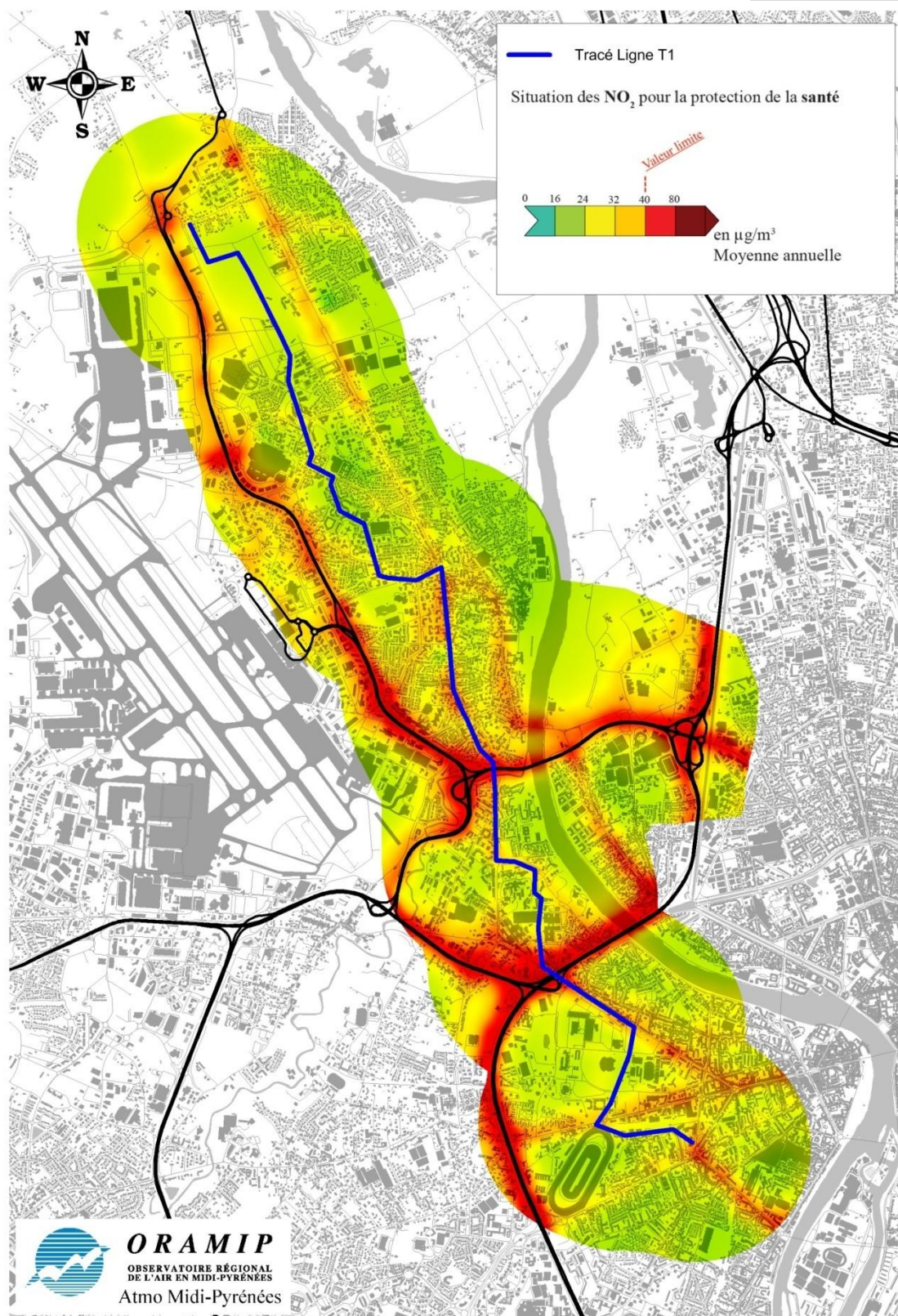
Carte 7 : Concentrations moyennes annuelles estimées des échantillonneurs passifs en benzène, 2015

ANNEXE II) CARTES DE POLLUTION EN NO₂ PHASE 1, PHASE 2 ET PHASE 3

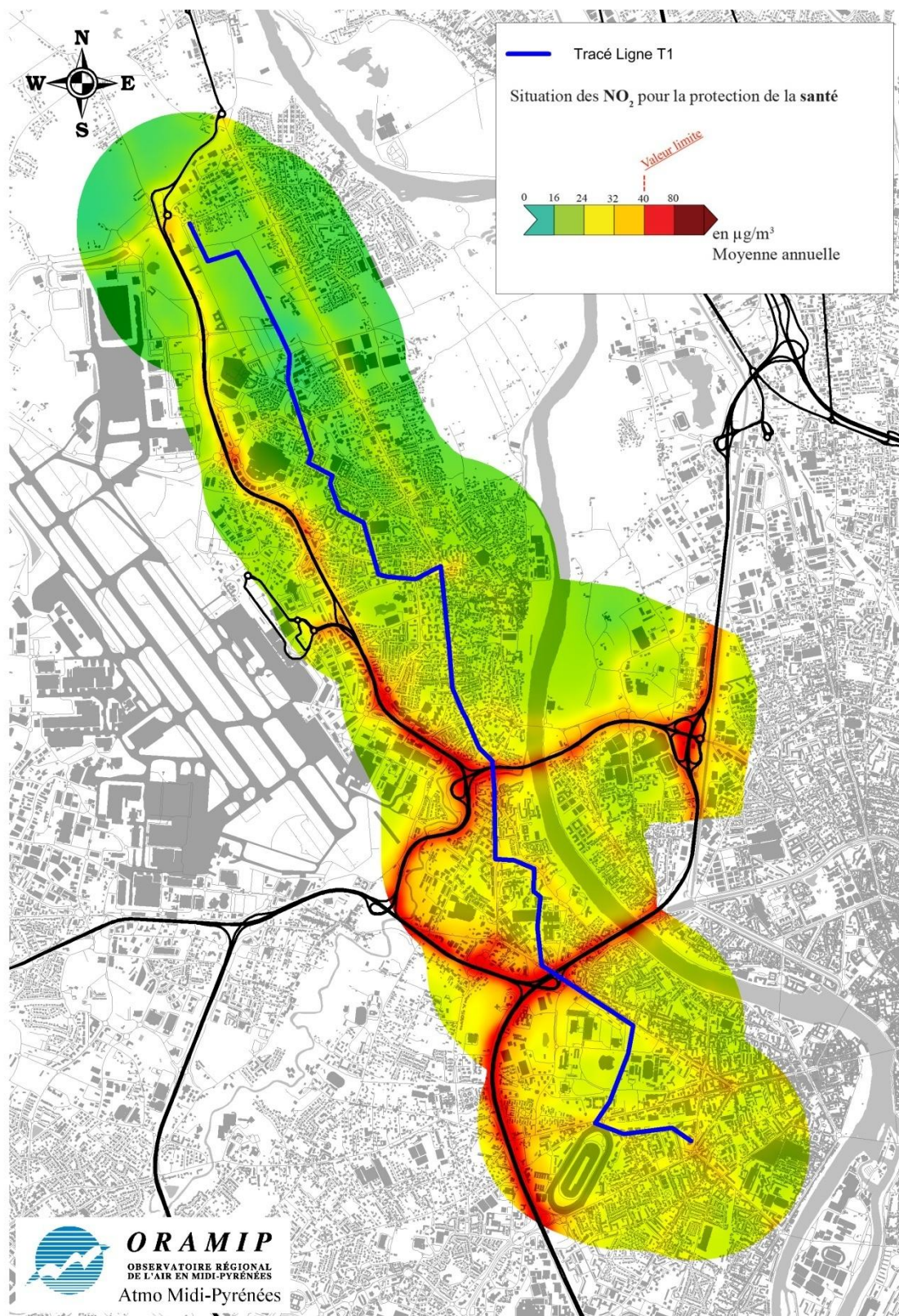
PHASE 1 (2009)



Carte 8 : Cartographie des concentrations moyennes annuelles modélisées en NO₂ dans la bande d'étude, 2009



Carte 9 : Cartographie des concentrations moyennes annuelles modélisées en NO₂ dans la bande d'étude, 2011



Carte 10 : Cartographie des concentrations moyennes annuelles modélisées en NO₂ dans la bande d'étude, 2015

ANNEXE III) NOTES MÉTHODOLOGIQUES

Méthodologie de l'adaptation statistique des mesures

ADAPTATION STATISTIQUE DES ECHANTILLONNEURS PASSIFS

Les mesures des échantillonneurs passifs sont statistiquement corrigées par une équation de type linéaire. Cette équation correspond à la droite de

tendance des « moyennes pendant la période de campagne » sur les « moyennes annuelles » du réseau des stations fixes de l'ORAMIP.

ADAPTATION STATISTIQUE DES STATIONS MOBILES

Hypothèses

Nous avons cherché à mettre en avant une relation de dépendance entre les variables Y et X_1, X_2, X_3 . Y appelée variable endogène, est la variable que l'on cherche à expliquer (à prédire). Le modèle de régression linéaire simple s'écrit :

$$y_i = a \times x_i + b + \varepsilon_i$$

a et b sont les paramètres (les coefficients) du modèle. Dans le cas spécifique de la régression simple, a est la pente, b est la constante.

Avec le modèle de régression, on cherche à déterminer une droite qui représenterait au mieux la relation existant entre X et Y . La droite retenue est celle pour laquelle la somme des carrés des distances verticales de chaque point à la droite est minimale.

La régression linéaire simple permet de résumer la relation entre deux variables, et donc de prédire une variable Y en fonction d'une variable X . Mais la prédiction d'une variable donnée peut être plus fine si l'on prend en compte plus de variables prédictives X_j , ($j = 1, \dots, p$). La régression multiple permet de calculer une équation additive de forme :

L'équation de régression s'écrit :

$$y_i = a_0 + a_1x_{i,1} + \dots + a_px_{i,p} + \varepsilon_i$$

Nous devons estimer les valeurs des $(p + 1)$ paramètres (a_0, a_1, \dots, a_p) à partir d'un échantillon de n observations. Nous remarquons dans le modèle :

- $i = 1, \dots, n$ correspond au numéro des observations ;
- y_i est la i -ème observation de la variable Y ;
- $x_{i,j}$ est la i -ème observation de la j -ème variable ;
- ε_i est l'erreur du modèle, il résume les informations manquantes qui permettrait d'expliquer linéairement les valeurs de Y à l'aide des p variables X_j (ex. valeurs prédictives manquantes, etc.).

Variables explicatives

Afin d'obtenir les modèles les plus pertinents, nous avons pris en compte un maximum de variables pouvant jouer un rôle explicatif :

- Les niveaux mesurés par le réseau des stations fixes toulousaines
- les conditions météorologiques relevées dans l'air ambiant toulousain (direction du vent, vitesse du vent, température, pression).

Une attention particulière a été portée au risque de colinéarité entre les variables explicatives. On parle de colinéarité entre deux ou plusieurs variables lorsqu'il existe une liaison linéaire entre elles. La colinéarité peut entraîner une instabilité dans l'estimation des coefficients et des variances, et par conséquent peut fausser complètement les résultats des tests. Il faut donc éviter d'introduire simultanément dans le modèle initial des variables explicatives qui sont liées ou susceptibles d'être liées linéairement entre elles.

Un programme a été créé grâce au logiciel R, afin de tester les différentes combinaisons de variables explicatives et de déterminer le modèle de régression le plus pertinent.

Détection des points aberrants et des points influents

La recherche de la meilleure régression nécessite dans un premier temps d'étudier la distribution des concentrations quart-horaires mesurées afin de repérer les observations qui jouent un rôle anormal dans la modélisation.

Par définition, un point atypique (ou point aberrant), est une observation qui s'écarte résolument des autres. Cela peut être dû à une erreur de recueil des données, cela peut aussi correspondre à un individu qui n'appartient pas à la population étudié.

Les points influents sont des observations qui pèsent exagérément sur les résultats de la régression.

On peut les distinguer de plusieurs manières : ils sont "isolés" des autres points, on constate alors que la distribution des résidus est asymétrique ; ils correspondent à des valeurs extrêmes des variables, en cela ils se rapprochent des points atypiques.

Bien souvent la distinction entre les points atypiques et les points influents est difficile. Un point peut être influent sans être atypique, il peut être atypique sans être influent.

La meilleure manière de le circonscrire est de recalculer les coefficients de la régression en écartant le point : si les résultats diffèrent significativement, en termes de prédiction ou terme de différence entre les coefficients estimés, le point est influent.

Les points atypiques peuvent être détectés par la construction d'une boîte à moustaches.

Tests de significativité

La pertinence du modèle a été analysée à l'aide de plusieurs tests de significativité :

Le coefficient de détermination :

La part de la variance expliquée par le modèle est traduite par le coefficient de détermination R^2 .

Le coefficient de détermination R^2 est compris entre 0 et 1. Lorsqu'il est proche de 0, cela signifie que les variables explicatives choisies n'expliquent en rien les valeurs prises par Y tandis que plus il tend vers 1, meilleur est le modèle. Il permet ainsi de tester la significativité globale du modèle. Le R^2 est donc un

indicateur de qualité mais il présente un défaut : plus le nombre de variables explicatives augmentent (même non pertinentes) plus grande sera la valeur du R^2 , mécaniquement. Le R^2 n'est donc pas un bon outil pour évaluer le rôle de variables supplémentaires lors de la comparaison de modèles imbriqués. En augmentant le nombre de variables explicatives, la valeur du R^2 augmente de manière mécanique tandis que dans le même temps, le degré de liberté diminue. L'intégration du nombre de degrés de liberté permet de contrecarrer l'évolution du R^2 donne le R^2 ajusté. Le R^2 ajusté permet de comparer les modèles imbriqués.

Le test de significativité globale de la régression

Le test de significativité globale consiste à vérifier si le modèle, pris dans sa globalité, est pertinent.

L'hypothèse nulle correspond à la situation où aucune des variables explicatives n'emmène de l'information utile dans l'explication de Y c'est-à-dire que le modèle ne sert à rien. Sous l'hypothèse nulle, F suit une loi de Fisher. On considère que le modèle est globalement significatif lorsque F est supérieur au quantile d'ordre 1-risque choisi.

Le test de significativité d'un coefficient

Après avoir établi la significativité globale de la régression, nous devons évaluer la pertinence des variables prises individuellement. Si l'hypothèse nulle est avérée, Le retrait de la variable X_j de la régression est possible. Par rapport aux autres variables, la contribution de X_j dans l'explication de Y n'est pas significative.

Méthodologie de l'inventaire, de la modélisation et de la cartographie

Principe de la méthode

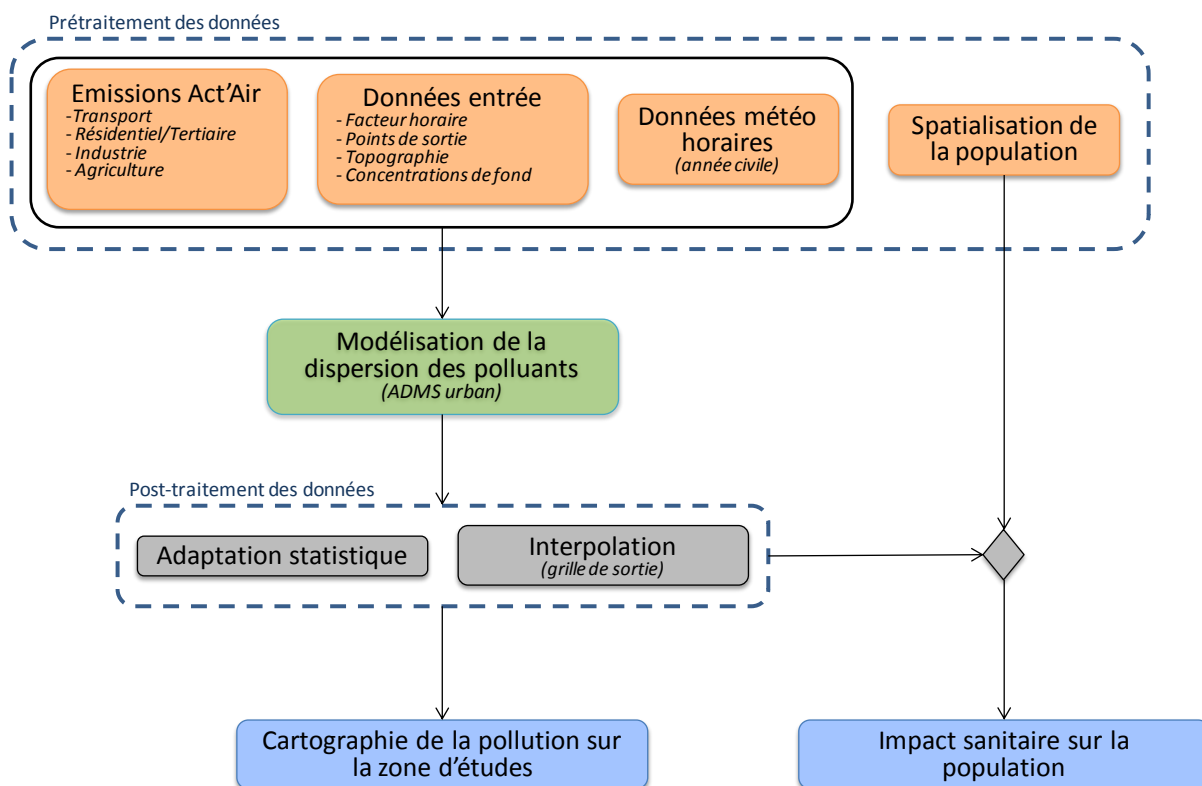


Schéma 1 : Méthodologie utilisée pour la modélisation de la dispersion à fine échelle sur la zone d'études

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.

Organisation de l'outil d'évaluation des émissions de polluants atmosphériques et de gaz à effet de serre : Act'air

L'ORAMIP est chargé d'effectuer les inventaires d'émissions de polluants atmosphériques et de gaz à effet de serre, et de les mettre à jour suivant un guide méthodologique mis en place dans le cadre de l'arrêté du 24 août 2011 relatif au Système National d'Inventaires d'Émissions et de Bilans dans l'Atmosphère (SNIEBA), le Pôle de Coordination nationale des Inventaires Territoriaux (PCIT) associant :

- le Ministère en charge de l'Environnement,
- l'INERIS,
- le CITEPA,
- les Associations Agréées de Surveillance de Qualité de l'Air.

Ce guide constitue la référence nationale à laquelle chaque acteur local doit se rapporter pour l'élaboration des inventaires territoriaux.

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.

Le calcul d'émission consiste à croiser des données d'activité (comptage routier, cheptels, consommation énergétique, etc.) avec des facteurs d'émission relatifs à cette activité.

L'inventaire des émissions référence une trentaine de substances avec les principaux polluants réglementés (NOx, particules en suspension, NH₃, SO₂, CO, benzène, métaux lourds, HAP, COV, etc.) et les gaz à effet de serre (CO₂, N₂O, CH₄, etc.).

Les quantités d'émissions sont disponibles à l'échelle de la commune, de la communauté de communes, du département de la région, avec une définition pouvant aller de l'hectare à l'axe routier.

La mise à jour de l'inventaire est faite annuellement en fonction de la disponibilité des données.

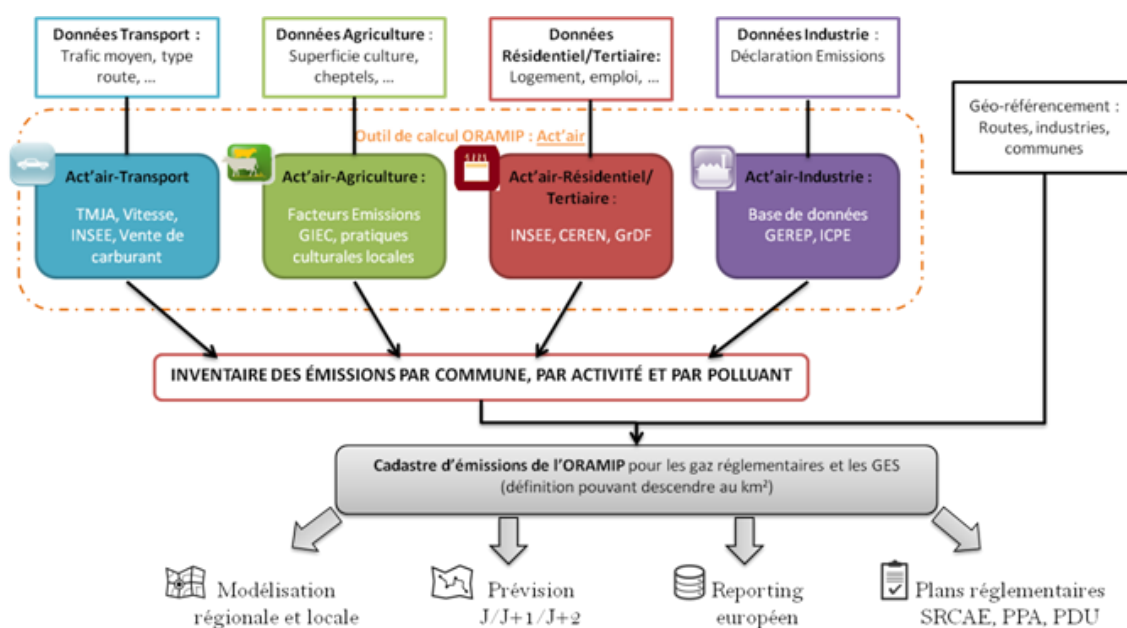


Schéma 2 : organigramme de l'outil de calcul Act'air

L'INDUSTRIE

L'ORAMIP est chargé d'effectuer les inventaires d'émissions de polluants atmosphériques et de gaz à effet de serre, et de les mettre à jour suivant un guide méthodologique mis en place dans le cadre de l'arrêté du 24 août 2011 relatif au Système National d'Inventaires d'Émissions et de Bilans dans l'Atmosphère (SNIEBA), le Pôle de Coordination nationale des Inventaires Territoriaux (PCIT) associant :

- le Ministère en charge de l'Environnement,
- l'INERIS,
- le CITEPA,

- les Associations Agréées de Surveillance de Qualité de l'Air.

Ce guide constitue la référence nationale à laquelle chaque acteur local doit se rapporter pour l'élaboration des inventaires territoriaux.

Les émissions issues du secteur industriel sont déterminées d'une part à partir des déclarations annuelles d'émissions faites auprès de la DREAL (base Installations Classées Pour l'Environnement) et d'autre

part à partir des données relatives aux emplois par secteurs d'activité (INSEE). Pour les polluants pour lesquels les informations ne sont pas disponibles, l'ORAMIP calcule une estimation de ces émissions à partir de caractéristiques de l'activité (consommation énergétique, production, etc.) du site, et de facteurs d'émissions provenant du guide OMINEA du CITEPA.

Les activités des carrières, des chantiers et travaux de BPT sont prise en compte grâce aux quantités d'extraction et surface permettant de calculer les émissions de particules fines.

Ainsi l'ORAMIP suit l'évolution des émissions de l'ensemble des installations classées de la région Midi-Pyrénées depuis 2008, et met à jour **annuellement** ces données et dispose donc actuellement d'un **historique sur six années**.

LES TRANSPORTS

Le calcul des émissions pour le trafic routier se fait en deux temps : le réseau structurant et le réseau secondaire, en prenant en compte les émissions liées à la consommation de carburant, à l'usure des équipements (pneus, freins et routes) et au ré-envoi des particules lors du passage des véhicules. Le transport routier représente une part importante dans les émissions de la région.

- Le réseau structurant représente les grands axes de circulation pour lesquels il existe des données de comptage fournies par les partenaires de l'ORAMIP (Conseils généraux, ASF, DIRSO, DIRMC, Collectivités, modèles trafic (SGGD), etc.). Sur ces axes les émissions sont calculées en fonction du trafic moyen journalier annuel (TMJA), de la vitesse autorisée et de la composition des véhicules pour chaque heure de la semaine en prenant en compte les surémissions liées aux ralentissements aux heures de pointe.
- Les émissions liées à la circulation sur le reste du réseau routier (réseau secondaire) sont calculées en prenant en compte la population, le nombre d'actifs et les données des enquêtes déplacements.

Les autres moyens de transport (aérien et ferroviaire) les émissions ont été déterminées à partir des données de la SNCF et des aéroports de la région.

L'AGRICULTURE

L'ORAMIP utilise les données issues du recensement agricole réalisé par l'AGRESTE au sein des services de la DRAAF. Elles permettent de disperser des données d'activités agricoles à l'échelle communale sur l'ensemble de la région. 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.

LE RESIDENTIEL / TERTIAIRE

Les émissions sont essentiellement dues aux dispositifs de chauffage et ont été déterminées à partir des données de consommation d'énergie (gaz naturel, fioul, bois, électricité, etc.) à l'échelle communale. Dans le cas où les données de consommation ne sont pas disponibles, des données statistiques sont alors utilisées prenant en compte la composition des logements sur le territoire et l'activité économique.

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 :

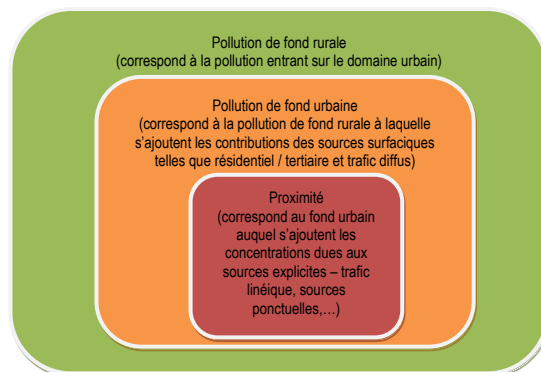


Schéma 3 : Les principales échelles de pollution en milieu urbain

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, vu les limitations d'ADMS en terme de prise en compte des facteurs horaires et vu le fait que l'année est modélisée par périodes de 2 semaines en moyenne :

- Un facteur horaire moyen par type de voiries 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 linéaire 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 pondérée 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 développée 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.

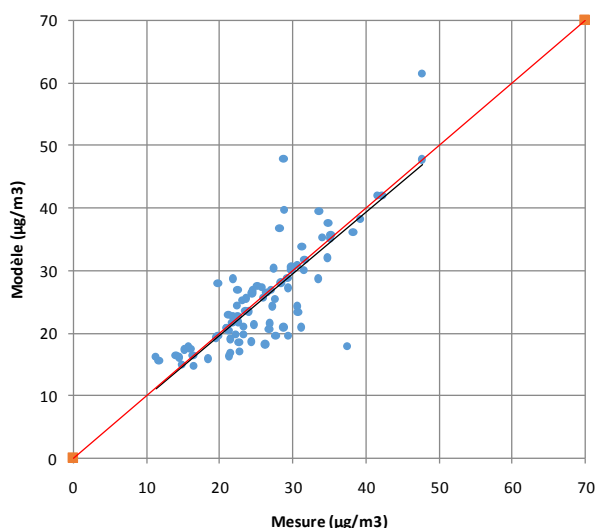
Impact sur les populations

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.

Méthodologie de la validation du modèle

Un modèle performant

Dans le tableau ci après, nous indiquons les performances statistiques du modèle relativement aux concentrations moyennes annuelles en NO₂ modélisées et observées sur le domaine d'études. Seuls les points communs aux différentes phases sont pris en compte dans cette comparaison mesure/modèle.



Indicateurs statistiques	Modèle 42 observations	Caractéristiques d'un modèle performant
FB	0.01	$-0.3 < FB < 0.3$
MG	1.02	$-0.7 < MG < 1.3$
NMSE	0.04	NMSE ≤ 2
VG	1.04	VG < 1.6
FAC2	0.99	FAC2 > 0.5
r	0.81	Le plus proche de 1

Principe de la méthode

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 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 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, **81%** 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 relativement performant. Les concentrations sont donc correctement modélisées. La modélisation obtenue répond donc à nos besoins.

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

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

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 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 : 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 inférieure à la mesure.

Type d'erreur : systématique

NMSE : Normalised mean square error

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

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 à 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 à 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'à 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 inférieure 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 inférieure à la mesure.

Type d'erreur : systématique

VG : Geometric Mean Variance

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

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 à la fois.

Type d'erreur : locale

FAC2 : Factor of Two

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

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 garantit pas une adéquation parfaite entre mesure et observation.

Type d'erreur : totale

R : Coefficient de corrélation linéaire

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

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 $x_i = a \cdot x_i + b$ (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 corrigéable 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 à 1, l'ensemble des valeurs observées peut être calculé à 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 modélisée". 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 à 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 croître lorsque les valeurs observées croissent. L'inverse se produit lorsque R est négatif.

Type d'erreur : locale

ANNEXE IV) GENERALITES SUR LES POLLUANTS ETUDIES

NO₂ le dioxyde d'azote

SOURCES

Le monoxyde d'azote (NO) et le dioxyde d'azote (NO₂) 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.

PM₁₀, PM_{2,5} les particules

PM = Particulate Matter (matière particulaire)

SOURCES

Les particules peuvent être d'origine naturelle (embruns océaniques, éruption volcaniques, feux de forêt, érosion éolienne des sols, pollens ...) ou anthropique (liées à l'activité humaine). Dans ce cas, elles sont issues majoritairement de la combustion incomplète des combustibles fossiles (circulation automobile, centrale thermique, sidérurgie, cimenteries, incinération de déchets, manutention de produits pondéraux, minerais et matériaux,...).

EFFETS SUR LA SANTE

Plus une particule est fine, plus sa toxicité potentielle est élevée.

Les plus grosses particules sont retenues par les voies aériennes supérieures. Les plus fines pénètrent profondément dans l'appareil respiratoire où elles peuvent provoquer une inflammation et altérer la fonction respiratoire dans son ensemble. Les particules ultra fines sont suspectées de provoquer également des effets cardio-vasculaires. Certaines particules ont des

EFFETS SUR L'ENVIRONNEMENT

Les effets de salissures des bâtiments et des monuments sont les atteintes à l'environnement les plus évidentes.

C₆H₆ le benzène

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/m³, 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.

Une partie d'entre elles, les particules secondaires, se forme dans l'air par réaction chimique à partir de polluants précurseurs comme les oxydes de soufre, les oxydes d'azote, l'ammoniac et les COV. On distingue les particules de diamètre inférieur à 10 microns (PM₁₀), à 2,5 microns (PM_{2.5}) et à 1 micron (PM₁).

propriétés mutagènes et cancérigènes : c'est notamment le cas de certaines particules émises par les moteurs diesel qui véhiculent certains hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP). Une corrélation a été établie entre les niveaux élevés de PM₁₀ et l'augmentation des admissions dans les hôpitaux et des décès, liés à des pathologies respiratoires et cardiovasculaires. Ces particules sont quantifiées en masse mais leur nombre peut varier fortement en fonction de leur taille.

SOURCES

La contamination de l'air extérieur résulte des émissions du secteur résidentiel et tertiaire – chauffage au bois notamment – du trafic routier et de certaines industries telles que la pétrochimie.

Dans les lieux clos, la présence de benzène résulte, quant à elle, à la fois des sources intérieures et du transfert de la pollution atmosphérique extérieure. Les principales sources intérieures identifiées sont les combustions domestiques et le tabagisme mais on ne peut exclure, dans certaines situations, une contribution des produits de construction, de décoration, d'ameublement ainsi que d'entretien ou de bricolage (diluants, solvants,...).

Procédure d'information et d'alerte

Sur la Haute Garonne, l'arrêté préfectoral du 12 octobre 2012 instaure les modalités de déclenchement des procédures d'information et d'alerte, conformément au dispositif à l'échelle nationale.

EFFETS SUR LA SANTE

Le benzène est un Hydrocarbure Aromatique Monocyclique dont les propriétés cancérigènes sont connues depuis longtemps. Le Centre International de Recherche sur le Cancer (CIRC) a classé le benzène cancérigène certain pour l'homme (groupe 1) sur la base d'excès de leucémies observés lors d'expositions professionnelles. Ce composé est également classé cancérigène de catégorie 1 par l'Union européenne et par l'Agence américaine de l'environnement (US-EPA). À ce titre, il est soumis à d'importantes restrictions d'usage.

Les déclenchements se font sur prévision de dépassement, ou sur constat pour 3 polluants :

- l'ozone (O₃),
- le dioxyde d'azote (NO₂)
- les particules en suspension (PM10).



ORAMIP

OBSERVATOIRE RÉGIONAL
DE L'AIR EN 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 :

www.oramip.org