

Décembre 2017

Votre observatoire régional de la

QUALITÉ de l'**AIR**

**Evaluation de la
qualité de l'air dans
l'environnement de
la rocade sud section
Rangueil Lespinet
Etat initial**



CONDITIONS DE DIFFUSION

Atmo Occitanie, 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 la région Occitanie. **Atmo Occitanie** 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.

Atmo Occitanie 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://atmo-occitanie.org/>

Les données contenues dans ce document restent la propriété intellectuelle **d'Atmo Occitanie**.

Toute utilisation partielle ou totale de données ou d'un document (extrait de texte, graphiques, tableaux, ...) doit obligatoirement faire référence à **Atmo Occitanie**.

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

Par ailleurs, **Atmo Occitanie** 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 **Atmo Occitanie – Agence Toulouse** :

- par mail : contact.toulouse@atmo-occitanie.org
- par téléphone : 05.61.15.42.46

SOMMAIRE

CONTEXTE ET OBJECTIFS.....	4
SYNTHÈSE DE L'ÉTUDE D'IMPACT	5
ÉVALUATION INITIALE DE LA POLLUTION EN DIOXYDE D'AZOTE.....	7
ÉVALUATION INITIALE DE LA POLLUTION EN PARTICULES	11
ÉVALUATION INITIALE DE LA POLLUTION EN BENZÈNE.....	14
ANNEXE I : DISPOSITIF DE MESURE DE L'ÉTUDE.....	17
ANNEXE II : BILAN DES MESURES DES POLLUANTS ATMOSPHERIQUES DANS LES ETABLISSEMENTS SCOLAIRES.....	22
ANNEXE III : NOTES MÉTHODOLOGIQUES.....	35
ANNEXE IV - GENERALITES SUR LES POLLUANTS ÉTUDIÉS.....	46

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.

Atmo Occitanie a été sollicité pour évaluer la qualité de l'air aux abords de la rocade sud de Toulouse sur la section Rangueil/Lespinet dans l'environnement et dans les établissements scolaires situés à proximité :

- avant travaux (état initial)
- après construction de murs anti-bruit,
- après mise à 2x3 voies de la rocade.

L'évaluation est menée sur une **bande d'étude** de 300 mètres autour du périphérique sud section Rangueil/Lespinet. Cette bande d'étude est adaptée à l'étude de l'influence du projet sur la pollution atmosphérique locale.

Dans l'environnement extérieur, 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.

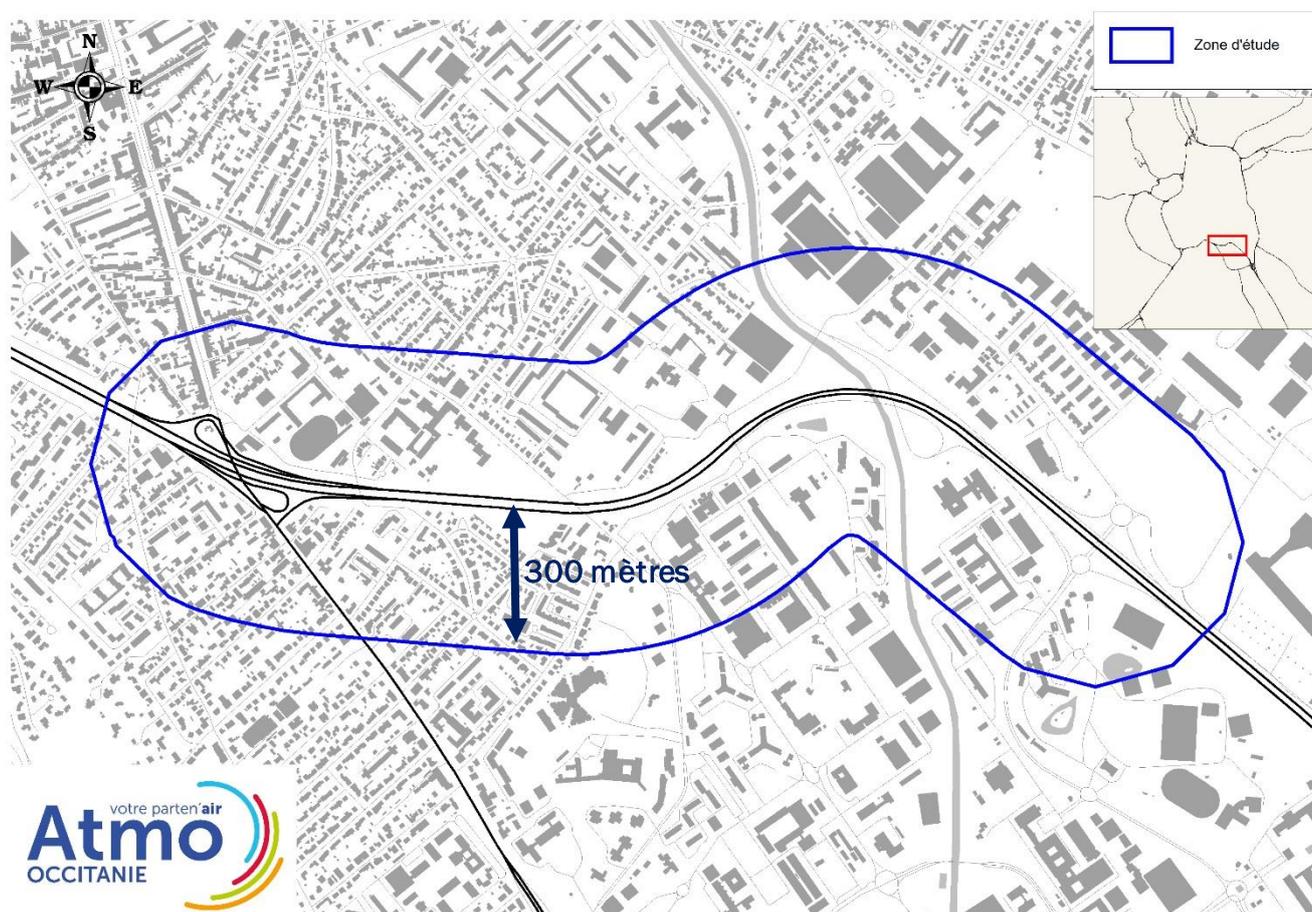
Des mesures sont également réalisées à l'intérieur de tous les établissements scolaires du premier degré (écoles maternelles et élémentaires) implantés dans la zone d'études.

Les **polluants** mesurés sont les principaux indicateurs de l'impact du trafic routier sur la qualité de l'air. 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
Benzène	C ₆ H ₆

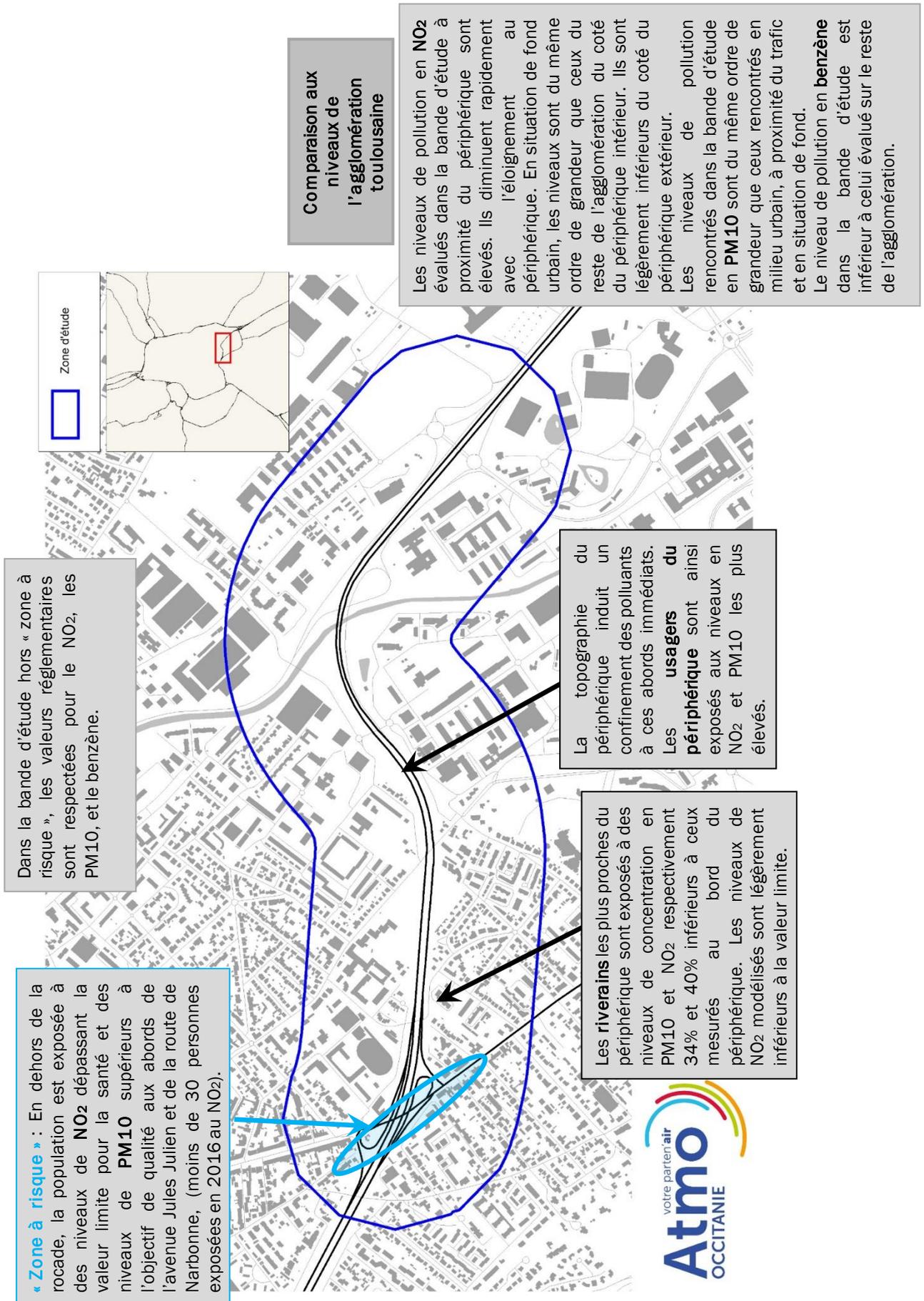
Le dispositif de mesure mis en place dans l'environnement extérieur et les résultats obtenus sont détaillés en **Annexe I**. Les méthodologies d'adaptation statistique des mesures, d'inventaire des sources de pollution, de modélisation et de validation du modèle sont décrites dans l'**Annexe III**.

Le dispositif de mesure mis en place dans l'enceinte des établissements scolaires et les résultats complets sont, quant à eux, décrits dans l'**Annexe II**.



Carte 1 : bande d'étude le long du périphérique sud - évaluation initiale, 2016

SYNTHÈSE DE L'ÉTUDE D'IMPACT



NO₂	DIOXYDE D'AZOTE				
	Respect de la réglementation	Seuils réglementaires	Environnement trafic – Riverains du périphérique¹ – Lespinet	Environnement de fond urbain Lespinet	Comparaison des niveaux
Concentration moyenne annuelle 2016	NON	Valeur limite 40 µg/m³	26 µg/m³ (entre 19 et 78)	21 µg/m³	Lespinet ≈ Agglomération toulousaine
Dépassement de 200 µg/m³ en concentration horaire	OUI	Valeur limite 18 dépassements par an	Site rue de l'Entraide : 0 dépassements	-	

PM10	PARTICULES DE DIAMETRE INFÉRIEUR A 10 µm				
	Respect de la réglementation	Seuils réglementaires	Environnement trafic – Riverains du périphérique¹ – Lespinet	Environnement de fond urbain Lespinet	Comparaison des niveaux
Concentration moyenne annuelle 2016	OUI	Objectif qualité 30 µg/m³	19 µg/m³ (entre 16 et 38)	17 µg/m³	Lespinet ≈ Agglomération toulousaine
	OUI	Valeur limite 40 µg/m³			
Dépassement de 50 µg/m³ en concentration journalière	OUI	Valeur limite 35 dépassements par an	Site Rue de l'Entraide : 3 dépassements	-	Lespinet ≈ Agglomération toulousaine

C₆H₆	BENZENE			
	Situation par rapport à la réglementation	Seuils réglementaires	Environnement trafic et fond Lespinet	Comparaison des niveaux
Concentration moyenne sur la période de mesures	INFÉRIEUR	Objectif qualité 2 µg/m³	0.9 µg/m³ (entre 0,8 et 1,3)	Lespinet < Agglomération toulousaine
	INFÉRIEUR	Valeur limite 5 µg/m³		

µg/m³ : microgramme par mètre cube

¹ Lors de la campagne de mesures, un transect a été réalisé, des échantillonneurs passifs ont été implantés en différents sites afin d'étudier la décroissance des concentrations en NO₂ en fonction de l'éloignement au périphérique. Il est apparu qu'au-delà de 50 mètres, les concentrations en NO₂ mesurées sont du même ordre de grandeur que celles rencontrées en fond urbain toulousain. L'environnement trafic correspond donc à une bande d'études de 50 mètres de chaque côté du périphérique.

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

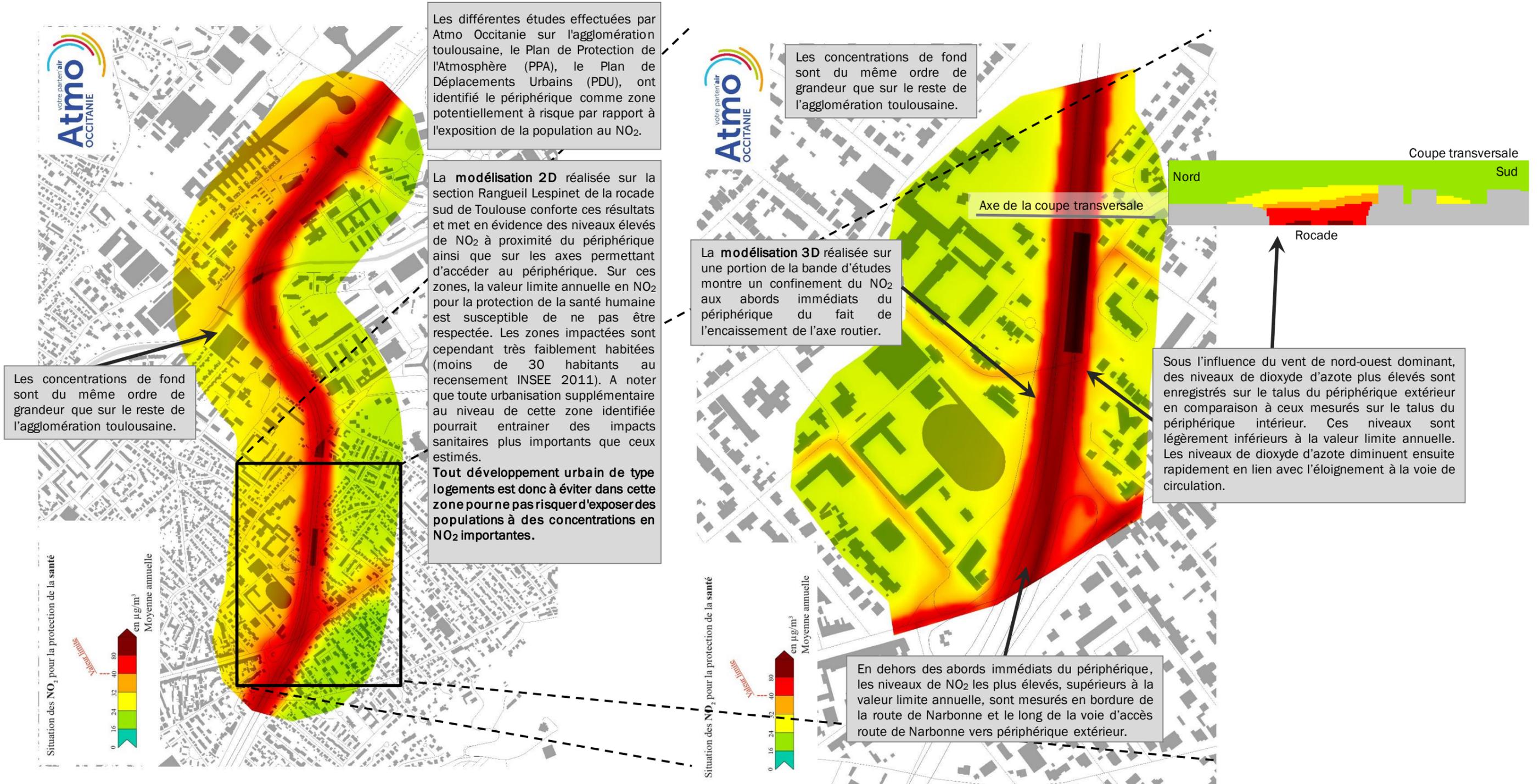
Niveau fixé sur la base des connaissances scientifiques afin d'éviter, de prévenir ou de réduire les effets nocifs sur la santé humaine et/ou sur l'environnement, à atteindre dans un délai donné et à ne pas dépasser une fois atteint.

ÉVALUATION INITIALE DE LA POLLUTION AU DIOXYDE D'AZOTE

Dans l'environnement extérieur

DISPERSION DU DIOXYDE D'AZOTE (NO₂)

NO₂



Carte 2 : Cartographie des concentrations moyennes annuelles modélisées en NO₂ le long de Lespinet, 2016

COMPARAISON A LA REGLEMENTATION

Sur la zone du PDU 2015, 80% des émissions de oxydes d'azote (NO_x) sont liées au secteur du transport routier (source Act'Air_V3.2 - année 2015) : ainsi les concentrations les plus élevées sont attendues proches des routes.

Évaluation à proximité du trafic

Le non respect de la valeur limite pour la protection de la santé en moyenne annuelle est observé tout le long du périphérique. Le dioxyde d'azote est cependant confiné aux abords immédiats du périphérique grâce aux talus situés de part et d'autre de l'axe routier. Du fait du confinement et de la très forte densité du trafic, les concentrations en polluants (NO_x et particules) peuvent atteindre des valeurs très élevées aux heures de pointe, posant la question du risque sanitaire pour les usagers.

Les riverains les plus proches du périphérique sont, quant à eux, exposés à des niveaux de concentration en NO₂ nettement inférieurs à ceux mesurés en bordure du périphérique. Sur l'année 2016, les niveaux de NO₂ modélisés sur le talus à l'aplomb du périphérique sont

en moyenne 40% inférieurs à ceux mesurés au bord du périphérique. Ces niveaux sont légèrement inférieurs à la valeur limite. **Un éloignement de quelques mètres du bord du talus induit, en outre, une diminution rapide des niveaux de NO₂.**

Enfin, sur la bande d'études, en dehors des abords immédiats du périphérique, des niveaux en NO₂ élevés et supérieurs à la valeur limite sont mesurés le long des grands axes desservants le périphérique tels que l'avenue Jules Julien ou la route de Narbonne.

Sur le reste du domaine d'études, les valeurs limites sont respectées.

Évaluation du fond urbain

En fond urbain dans la bande d'étude de Lespinet, les concentrations en NO₂ respectent les valeurs limites pour la protection de la santé, sur l'ensemble de l'année 2016.

NO ₂	Respect de la réglementation	Seuil réglementaire	Environnement trafic - Riverains du périphérique ¹ - Lespinet	Environnement de fond urbain Lespinet	Environnement trafic - Usagers du périphérique - Lespinet
	Concentration moyenne annuelle 2016	NON	Valeur limite 40 µg/m ³	26 µg/m ³ (entre 19 et 78)	21 µg/m ³

µg/m³ : microgramme par mètre cube

SITUATION PAR RAPPORT A L'AGGLOMERATION TOULOUSAINE

Évaluation du fond urbain

En fond urbain dans la bande d'étude de Lespinet, les niveaux en NO₂ sont du même ordre de grandeur que ceux rencontrés sur le reste de l'agglomération toulousaine en 2016.

Évaluation à proximité du trafic

Le long des échangeurs et sur les talus à l'aplomb du périphérique, les niveaux en NO₂ sont du même ordre de grandeur que ceux rencontrés à proximité des principaux axes de circulation de l'agglomération toulousaine et supérieurs au fond urbain du reste de l'agglomération.

NO ₂	Fond urbain (Icône bâtiment)		Proximité du trafic (Icône voitures)		
	Lespinet Environnement de fond urbain	Agglo. toulousaine Environnement de fond urbain	Lespinet Environnement Trafic - Riverains du périphérique ¹	Agglo. toulousaine Environnement trafic [Route d'Albi]	Agglo. toulousaine Environnement trafic [périphérique]
Concentration moyenne annuelle 2016	21 µg/m ³	19 µg/m ³	Entre 19 et 78 µg/m ³	44 µg/m ³	76 µg/m ³

µg/m³ : microgramme par mètre cube

¹ Lors de la campagne de mesures, un transect a été réalisé, des échantillonneurs passifs ont été implantés en différents sites afin d'étudier la décroissance des concentrations en NO₂ en fonction de l'éloignement au périphérique. Il est apparu qu'au-delà de 50 mètres, les concentrations en NO₂ mesurées sont du même ordre de grandeur que celles rencontrées en fond urbain toulousain. L'environnement trafic correspond donc à une bande d'études de 50 mètres de chaque côté du périphérique.

Dans tous les établissements scolaires investigués, des niveaux en NO₂ inférieurs à la valeur guide fixée sur un an

En mars 2013, l'agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail (ANSES) a publié ses propositions de valeurs guides pour le dioxyde d'azote. Ces propositions correspondent aux expositions sur le court (1 heure) et le long terme (pour une durée d'exposition supérieure à un an). Les concentrations mesurées dans les établissements scolaires sont comparées à la valeur guide fixée pour protéger des effets à long terme.

Pour toutes les salles de classe instrumentées, les concentrations en NO₂ mesurées sont inférieures à la valeur guide fixée pour une exposition de longue durée. Les concentrations mesurées dans chaque établissement sont détaillées en **Annexe II**.

		DIOXYDE D'AZOTE - NO ₂		
		Comparaison à la valeur guide fixée pour l'air intérieur	Valeur guide	Période de mesures : Du 1 ^{er} avril au 15 avril 2016
Exposition de longue durée	Valeur guide de la qualité de l'air intérieur	INFÉRIEUR	20 µg/m ³ en moyenne annuelle	Moyenne sur 29 salles de classe investiguées : 13 µg/m ³ Minimum : 8 µg/m ³ – collège La Prairie Maximum : 19 µg/m ³ – école élémentaire Jules Julien

µg/m³ : microgramme par mètre cube

Influence du périphérique sur les niveaux de dioxyde d'azote limitée dans les établissements scolaires

Malgré la proximité du périphérique, on constate une dispersion rapide du dioxyde d'azote permettant aux niveaux de concentration dans l'environnement extérieur des trois établissements scolaires instrumentés de se rapprocher, pour l'école élémentaire Jules Julien et pour l'établissement scolaire La Prairie, ou d'être comparables, pour l'école maternelle Jules Julien et pour le groupe scolaire Rangueil, aux niveaux relevés en sites de fond.

Dans tous les établissements scolaires, il n'existe pas de sources internes du dioxyde d'azote. Celui-ci provient de l'environnement extérieur et est introduit dans les bâtiments par l'aération, la ventilation... **Cependant, les niveaux mesurés dans les salles de classe ne sont pas similaires à ceux relevés dans l'environnement extérieur. Le transfert du dioxyde d'azote de l'extérieur vers l'intérieur s'accompagne d'un abattement des niveaux d'au moins 20%.**

Conclusions

NO₂

Zone à risque aux abords du périphérique

Dans la bande d'étude, moins de 2% de la surface est exposée à des dépassements de la valeur limite réglementaire en moyenne annuelle en lien avec la proximité du périphérique ou de ses accès. Les zones impactées sont cependant très faiblement habitées (moins de 30 habitants au recensement INSEE 2011).

Respect des valeurs limites réglementaires en fond urbain.

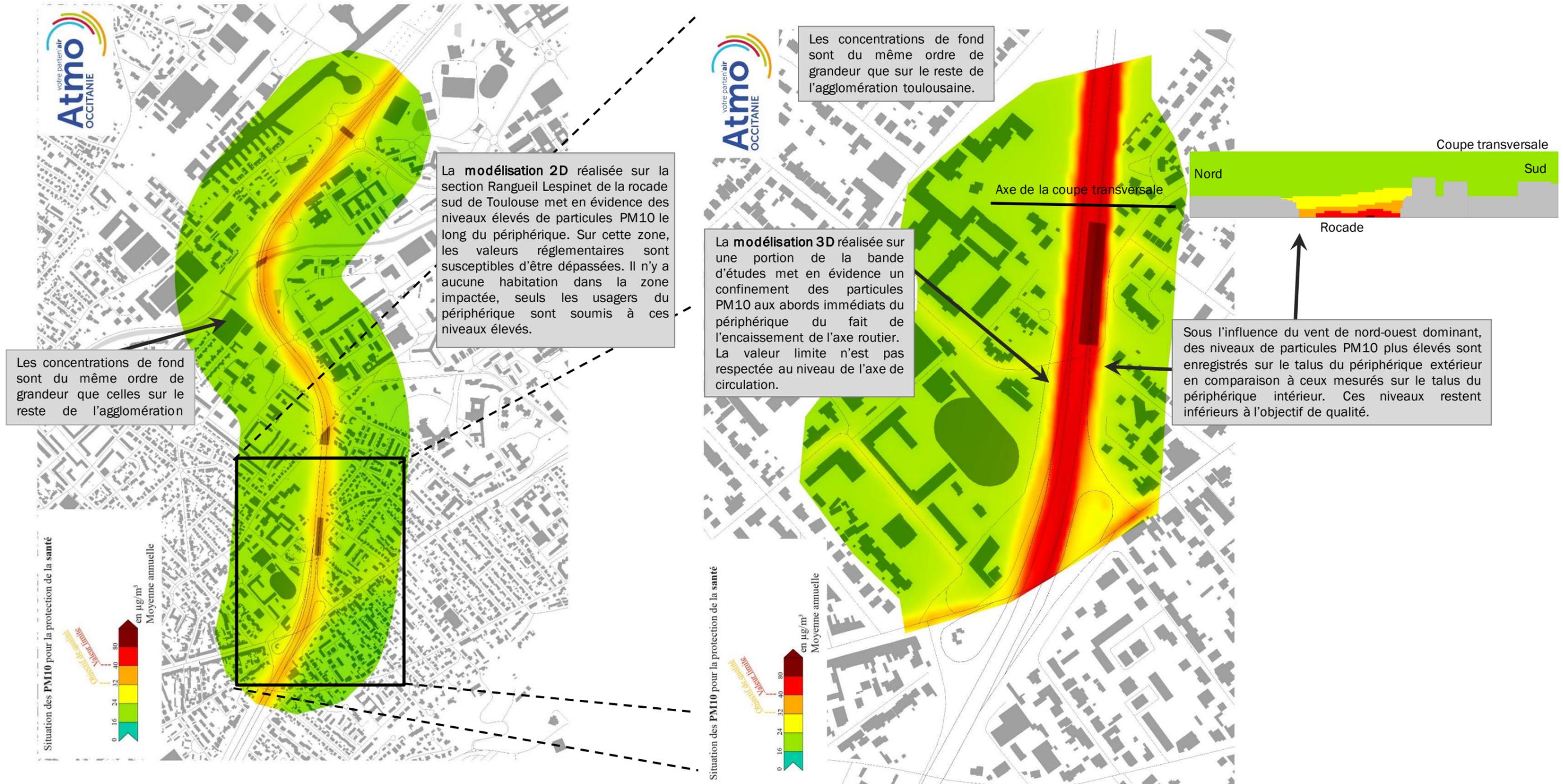
Niveaux de pollution à proximité du trafic et en fond urbain similaires à ceux rencontrés sur le reste de l'agglomération toulousaine.

Dans les trois établissements scolaires instrumentés, les concentrations en NO₂ mesurées sont inférieures à la valeur guide fixée pour une exposition de longue durée.

ÉVALUATION INITIALE DE LA POLLUTION AUX PARTICULES

Dans l'environnement extérieur

PM10



Comparaison à la réglementation

Sur la zone du PDU 2015, les émissions de PM10 proviennent à 49% du transport routier et à 23% du secteur résidentiel (source Act'Air_V3.2 - année 2016) : ainsi les concentrations les plus élevées sont attendues à proximité des routes en milieu urbain.

Comme le dioxyde d'azote, les niveaux de particules ne respectent pas les valeurs réglementaires tout le long du périphérique. Les particules sont en grande partie confinées aux abords immédiats du périphérique grâce aux talus situés de part et d'autre de l'axe routier. Du fait du confinement et de la très forte densité du trafic, les concentrations en polluants (NOx et particules) peuvent atteindre des valeurs très élevées aux heures de pointe, posant la question du risque sanitaire pour les usagers.

Les riverains les plus proches du périphérique sont, quant à eux, exposés à des niveaux de concentration en particules nettement inférieurs à ceux mesurés en bordure du périphérique. Sur l'année 2016, les niveaux de PM10 modélisés sur le talus à l'aplomb du

périphérique sont en moyenne 34% plus faibles que ceux mesurés au niveau du périphérique. Ces niveaux sont inférieurs à l'objectif de qualité.

Enfin, sur la bande d'études, en dehors des abords immédiats du périphérique, des niveaux en PM10 élevés et supérieurs à l'objectif de qualité sont susceptibles d'être mesurés le long des grands axes desservants le périphérique tels que l'avenue Jules Julien ou la route de Narbonne.

Sur le reste du domaine d'études, les valeurs réglementaires sont respectées.

Évaluation du fond urbain

En fond urbain dans la bande d'étude de Lespinet, les concentrations en PM10 respectent les valeurs réglementaires, sur l'ensemble de l'année 2016.

PM10	Respect de la réglementation	Seuils réglementaires	Environnement trafic - Riverains du périphérique ¹ - Lespinet	Environnement de fond urbain Lespinet	Environnement trafic - Usagers du périphérique - Lespinet
	Concentration moyenne annuelle 2016	NON	Objectif qualité 30 µg/m ³	19 µg/m ³ (entre 16 et 38)	17 µg/m ³
	OUI	Valeur limite 40 µg/m ³			

µg/m³ : microgramme par mètre cube

Situation par rapport à l'agglomération toulousaine

La concentration moyenne annuelle en PM10 et le nombre de dépassements de 50 µg/m³ (en moyenne sur une journée) sont du même ordre de grandeur que ceux rencontrés dans l'agglomération toulousaine, en

proximité de trafic et en fond urbain. Ces niveaux sont très inférieurs à ceux rencontrés à proximité du périphérique toulousain.

PM10	L'agglomération toulousaine		L'agglomération toulousaine		
	Lespinet Environnement de fond urbain	Agglo. toulousaine Environnement de fond urbain	Lespinet Environnement Trafic - Riverains du périphérique ¹	Agglo. toulousaine Environnement trafic	Agglo. toulousaine Environnement trafic [périphérique]
Concentration moyenne annuelle 2016	17 µg/m ³	16 µg/m ³	Entre 16 et 38 µg/m ³	21 µg/m ³	29 µg/m ³
Dépassement de 50 µg/m ³ en concentration journalière	-	2 dépassements	Site Rue de l'Entraide : 3 dépassements	8 dépassements	12 dépassements

µg/m³ : microgramme par mètre cube

¹ Lors de la campagne de mesures, un transect a été réalisé, des échantillonneurs passifs ont été implantés en différents sites afin d'étudier la décroissance des concentrations en NO₂ en fonction de l'éloignement au périphérique. Il est apparu qu'au-delà de 50 mètres, les concentrations en NO₂ mesurées sont du même ordre de grandeur que celles rencontrées en fond urbain toulousain. L'environnement trafic correspond donc à une bande d'études de 50 mètres de chaque côté du périphérique.

Conclusions

PM10

Zone à risque autour du périphérique

Dans la bande d'étude, une très faible surface est exposée à des dépassements de l'objectif de qualité en moyenne annuelle en lien avec la proximité du périphérique ou de ses accès. Les zones impactées ne sont pas urbanisées.

Respect des valeurs réglementaires pour les particules en suspension (PM10) en fond urbain

Niveaux de pollution de fond et en proximité trafic en particules en suspension (PM10) similaires à ceux rencontrés sur le reste de l'agglomération toulousaine.

ÉVALUATION INITIALE DE LA POLLUTION EN BENZÈNE

Comparaison à la réglementation

Sur la zone du PDU, en 2016, les sources d'émission principales sont liées aux secteurs résidentiel, tertiaire et transport : ainsi les concentrations les plus élevées sont attendues en milieu urbain à proximité du trafic routier.

La concentration moyenne en benzène sur 2016 est relativement faible. **La valeur limite pour la santé ainsi que l'objectif de qualité sont respectés dans la bande d'étude.**

C₆H₆	Situation par rapport à la réglementation	Seuils réglementaires	Environnement <u>trafic et fond</u> Lespinet
Concentration moyenne annuelle 2016	INFÉRIEUR	Objectif qualité 2 µg/m ³	0.9 µg/m ³ (entre 0,8 et 1,3 µg/m ³)
	INFÉRIEUR	Valeur limite 5 µg/m ³	

Situation par rapport à l'agglomération toulousaine

Les niveaux de benzène sur la zone d'étude en 2016 s'échelonnent entre 0,8 et 1,3 µg/m³ avec une moyenne de 0.9 µg/m³. Ils sont donc similaires aux niveaux mesurés dans l'agglomération toulousaine en fond urbain.

C₆H₆	Lespinet Environnement <u>trafic et fond</u>	Agglo. toulousaine Environnement de <u>fond urbain</u>	Agglo. toulousaine Environnement <u>trafic [périphérique]</u>	Agglo. toulousaine Environnement <u>trafic [rue de Metz]</u>
Concentration moyenne annuelle 2016	0.9 µg/m ³	0.9 µg/m ³	1,6 µg/m ³	1.9 µg/m ³

Dans tous les établissements scolaires investigués, des niveaux en benzène inférieurs à la valeur guide fixée sur un an

Le décret n° 2011-1727 du 2 décembre 2011 relatif aux valeurs-guides pour l'air intérieur pour le formaldéhyde et le benzène fixe la valeur de 2 µg/m³ pour une exposition de longue durée au benzène.

Dans tous établissements scolaires investigués, les niveaux de benzène sont inférieurs à la valeur guide fixée.

Les concentrations mesurées dans chaque établissement sont détaillées en **Annexe II**.

BENZÈNE			
Exposition de longue durée	Valeur guide de la qualité de l'air intérieur	Comparaison à la valeur guide fixée pour l'air intérieur	Valeur guide
			Période de mesures : Du 1 ^{er} avril au 15 avril 2016
		INFÉRIEUR	2 µg/m ³ en moyenne annuelle
			Moyenne sur 15 salles de classe investiguées : 1.0 µg/m ³ Minimum : 0.8 µg/m ³ - école élémentaire Jules Julien, Groupes scolaires la Prairie et Rangueil Maximum : 1.4 µg/m ³ - Groupe scolaire la Prairie

µg/m³ : microgramme par mètre cube

Pas d'influence du périphérique sur les niveaux de benzène dans les établissements scolaires

Sur le domaine d'études, le benzène est très rapidement dispersé, les niveaux de concentration dans l'environnement extérieur des trois établissements scolaires instrumentés sont similaires aux niveaux relevés en sites de fond.

Le benzène extérieur est totalement introduit dans l'air intérieur des bâtiments. Les niveaux en benzène mesurés dans les groupes scolaires sont du même ordre de grandeur à ceux relevés dans l'environnement extérieur. On note, dans quelques salles de classe, des niveaux de benzène supérieures aux niveaux mesurés dans l'air extérieur mettant en évidence l'apport de sources intérieures. Les produits d'entretien, les fournitures scolaires peuvent être sources de benzène.

Conclusions



Respect des valeurs réglementaires sur l'ensemble de la zone d'étude.

Niveau de pollution similaire à celui rencontré en milieu urbain sur l'agglomération toulousaine.

Dans les trois établissements scolaires instrumentés, les concentrations en benzène mesurées sont inférieures à la valeur guide fixée pour une exposition de longue durée.

ANNEXE I : DISPOSITIF DE MESURE DE L'ÉTUDE

Présentation du dispositif mis en place

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

Pour ce faire, plusieurs dispositifs de mesures sont temporairement installés sur la zone d'étude :

- Une **station mobile** mesure les indicateurs les plus pertinents de la qualité de l'air et pour les comparer aux stations fixes d'Atmo Occitanie implantées sur l'agglomération toulousaine. Cette station mobile fournit en temps réel une concentration moyenne sur tous les quarts d'heure.
- Des **échantillonneurs passifs** évaluent la dispersion de certains polluants. Ils fournissent une concentration moyenne sur l'ensemble du temps d'exposition.

A partir des concentrations mesurées, les **concentrations annuelles sont évaluées** 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 III**.

La station mobile

La station mobile a été installée à proximité des riverains du périphérique sud coté extérieur, rue de l'Entraide du 12 février au 08 août 2016. **Cette station est représentative de la qualité de l'air respiré par les riverains du périphérique, dans la bande d'étude.**

La station mobile était équipée d'analyseurs permettant la mesure des polluants suivants :

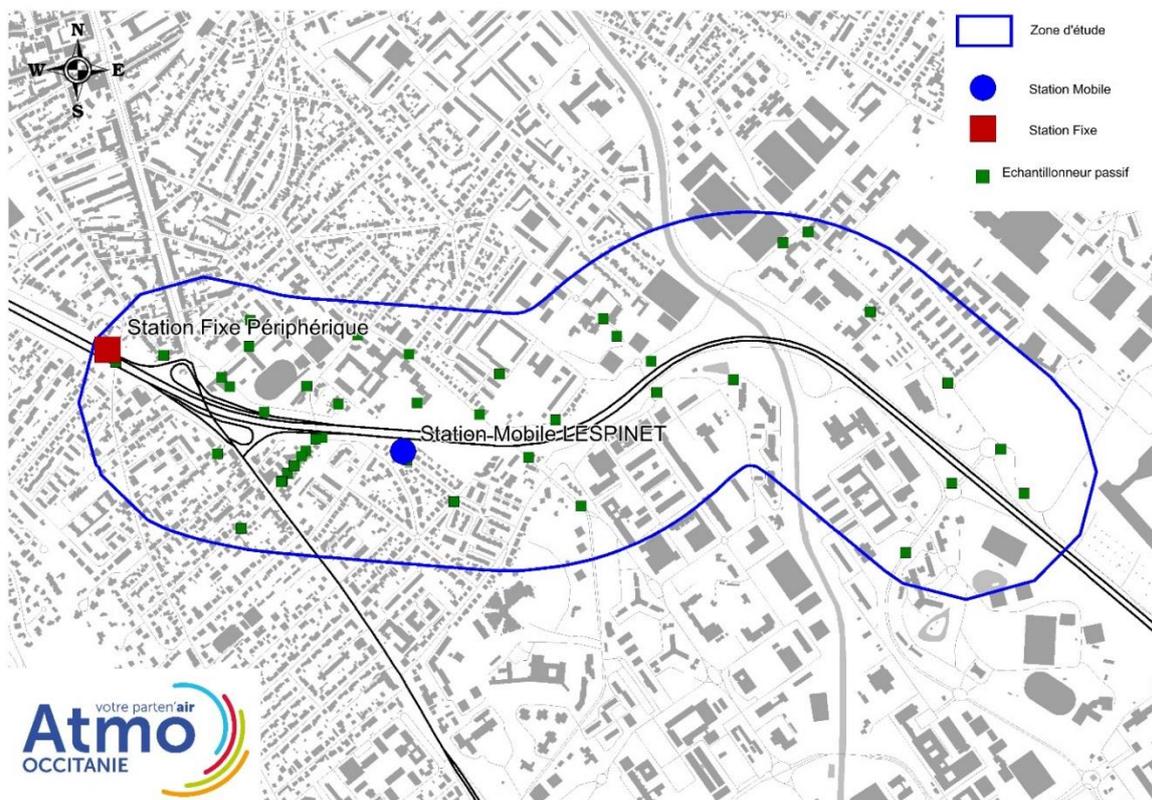
- - Dioxyde d'azote (NO₂),
- - Particules de diamètre inférieur à 10 µm (PM10).

Les échantillonneurs passifs

Les échantillonneurs passifs ont été installés :

- du 05 au 19 avril dans l'environnement du périphérique,
- du 1^{er} au 15 avril dans l'enceinte des écoles du domaine d'études

Ces échantillonneurs passifs permettent d'évaluer la dispersion du dioxyde d'azote NO₂ et du benzène, par rapport à la distance à la voie. Pour cette étude, le niveau de pollution en NO₂ est évalué sur 48 sites (36 en proximité trafic et 12 de fond). La pollution en benzène est évaluée sur 8 sites (5 en proximité trafic et 3 de fond). La campagne de mesures par échantillonneurs passifs est réalisée simultanément à celle de la station mobile afin de comparer et ajuster les concentrations mesurées.



Carte 3 : Position de la station mobile et des échantillonneurs passifs sur le domaine d'études, 2016

Mesure du dioxyde d'azote

Les niveaux en NO₂ sont évalués par la station mobile implantée rue de l'Entraide, ainsi que par échantillonneurs passifs sur 48 sites, dont 36 en proximité trafic et 12 en fond urbain.

NO ₂	Station rue de l'Entraide	Echantillonneurs passifs
	Concentration moyenne annuelle 2016	38 µg/m ³
Dépassement de 200 µg/m ³ en concentration horaire	0 dépassement	

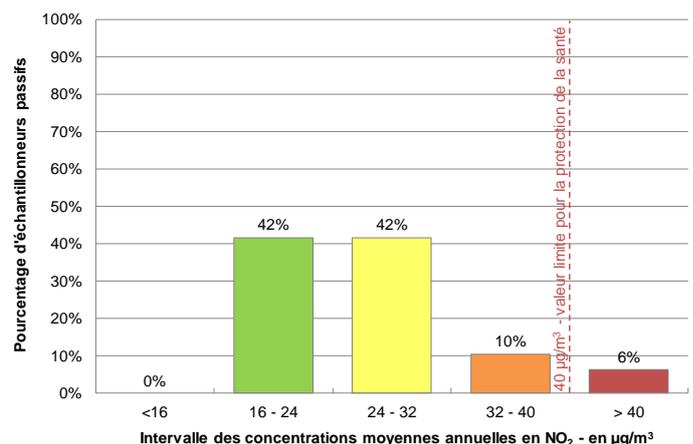
Le tableau ci-dessous décrit les statistiques issues des concentrations moyennes en NO₂ estimées sur l'année. Il met en évidence des variations de concentrations entre les sites de fond et les sites de proximité trafic.

En proximité trafic, les variations de concentration sont importantes selon le trafic routier, les concentrations sont plus hétérogènes qu'en situation de fond urbain ; l'écart-type est donc plus élevé.

NO ₂	Echantillonneurs passifs				
	Minimum	Maximum	Moyenne	Médiane	Ecart Type
Sites de fond	16 µg/m ³	24 µg/m ³	21 µg/m ³	21 µg/m ³	± 2 µg/m ³
Sites en proximité trafic	21 µg/m ³	58 µg/m ³	30 µg/m ³	29 µg/m ³	± 7 µg/m ³

Tableau : Valeurs statistiques de l'échantillon des mesures par échantillonneurs passifs NO₂, 2016

Le graphique ci-contre met en évidence la dispersion des concentrations des échantillonneurs passifs sur les sites de mesure choisis ; la grande majorité respecte la valeur limite réglementaire pour la santé, 6% sont en dépassement.

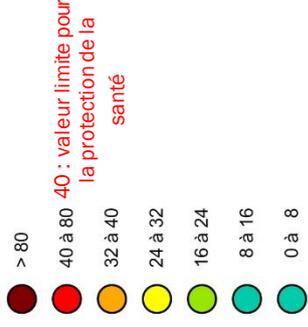


Graph 1: Répartition des échantillonneurs passifs en fonction des intervalles de concentration en NO₂, 2016

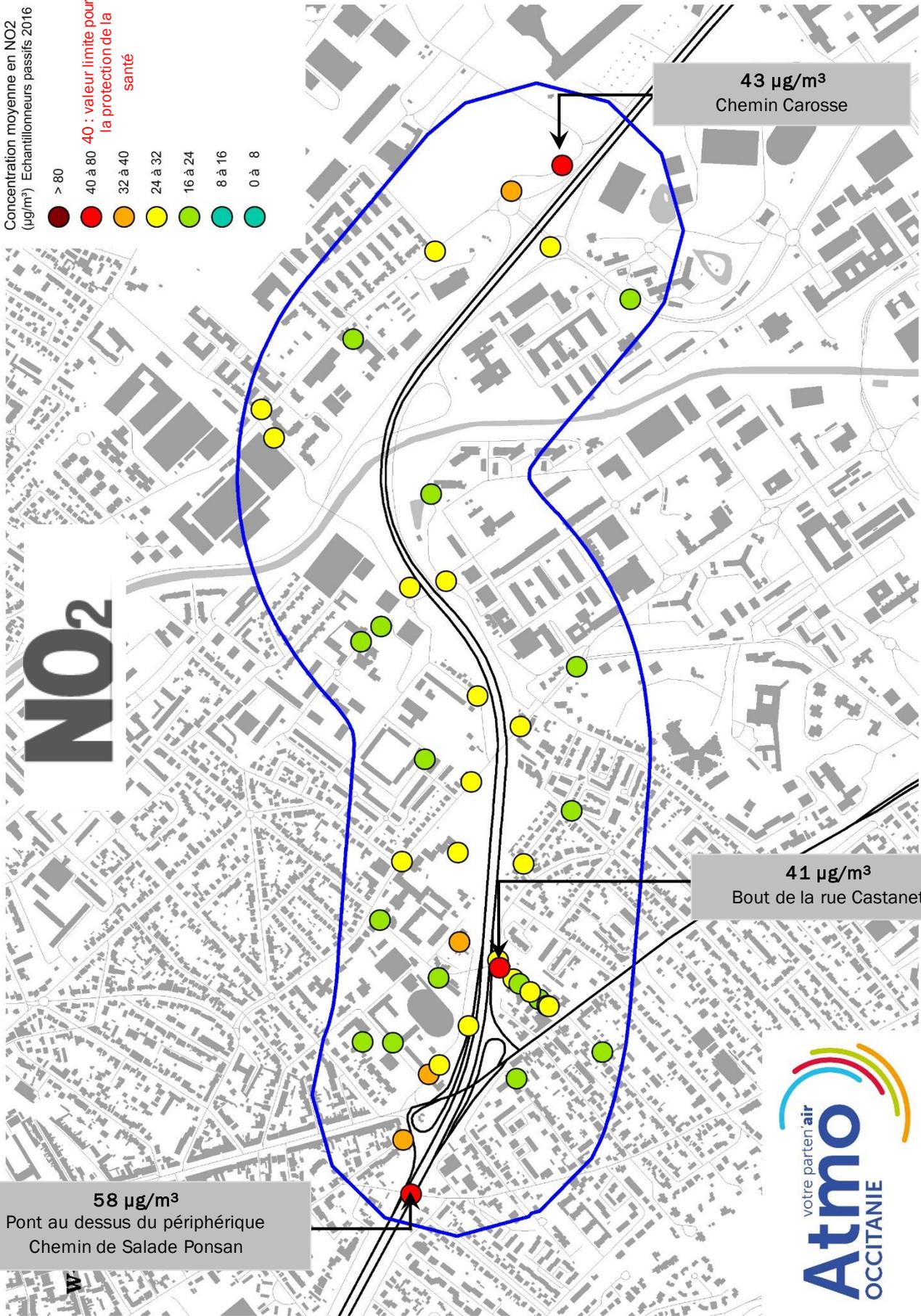
Les concentrations moyennes sur 2016 obtenues pour les sites de fond urbains varient de 16 à 24 µg/m³. Les sites de fond respectent donc la valeur limite réglementaire, sur le domaine d'étude.

Cependant, les sites proches du trafic, varient de 21 à 58 µg/m³ avec trois sites en dépassement de la valeur limite réglementaire.

Concentration moyenne en NO₂
(µg/m³) Echantillonneurs passifs 2016



NO₂



58 µg/m³
Pont au dessus du périphérique
Chemin de Salade Ponsan

43 µg/m³
Chemin Carosse

41 µg/m³
Bout de la rue Castanet



Mesure des particules

Les niveaux en PM10 sont évalués sur la bande d'étude.

PM10	Station rue de l'Entraide	
	Concentration moyenne annuelle 2016	20 µg/m ³
	Dépassement de 50 µg/m³ en concentration journalière	3 dépassements

Tableau : Valeurs estimées sur l'année sur le dispositif de mesures des particules, 2016

Mesure du benzène

Les niveaux en benzène sont mesurés par échantillonneurs passifs sur 8 sites, (5 en proximité trafic et 3 en fond urbain) dont 6 dans la bande d'études.

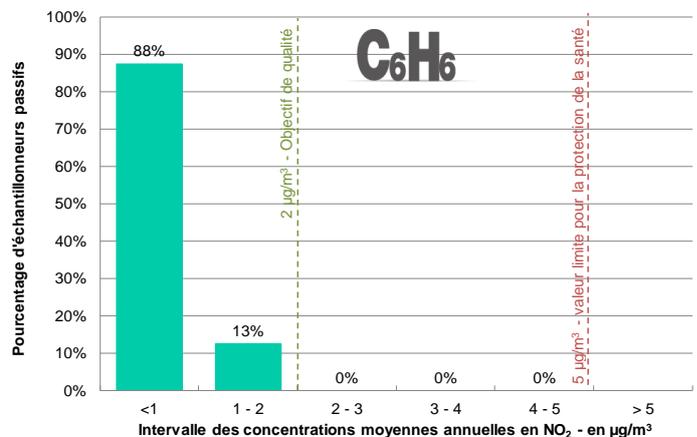
Le tableau ci-dessous met en évidence l'homogénéité des concentrations sur la zone, la moyenne étant égale à la médiane des valeurs et l'écart type très faible.

C₆H₆	Moyenne sur la période	Médiane	Minimum	Maximum	Ecart Type
	Zone d'étude	0.9 µg/m ³	0.9 µg/m ³	0,8 µg/m ³	1,3 µg/m ³

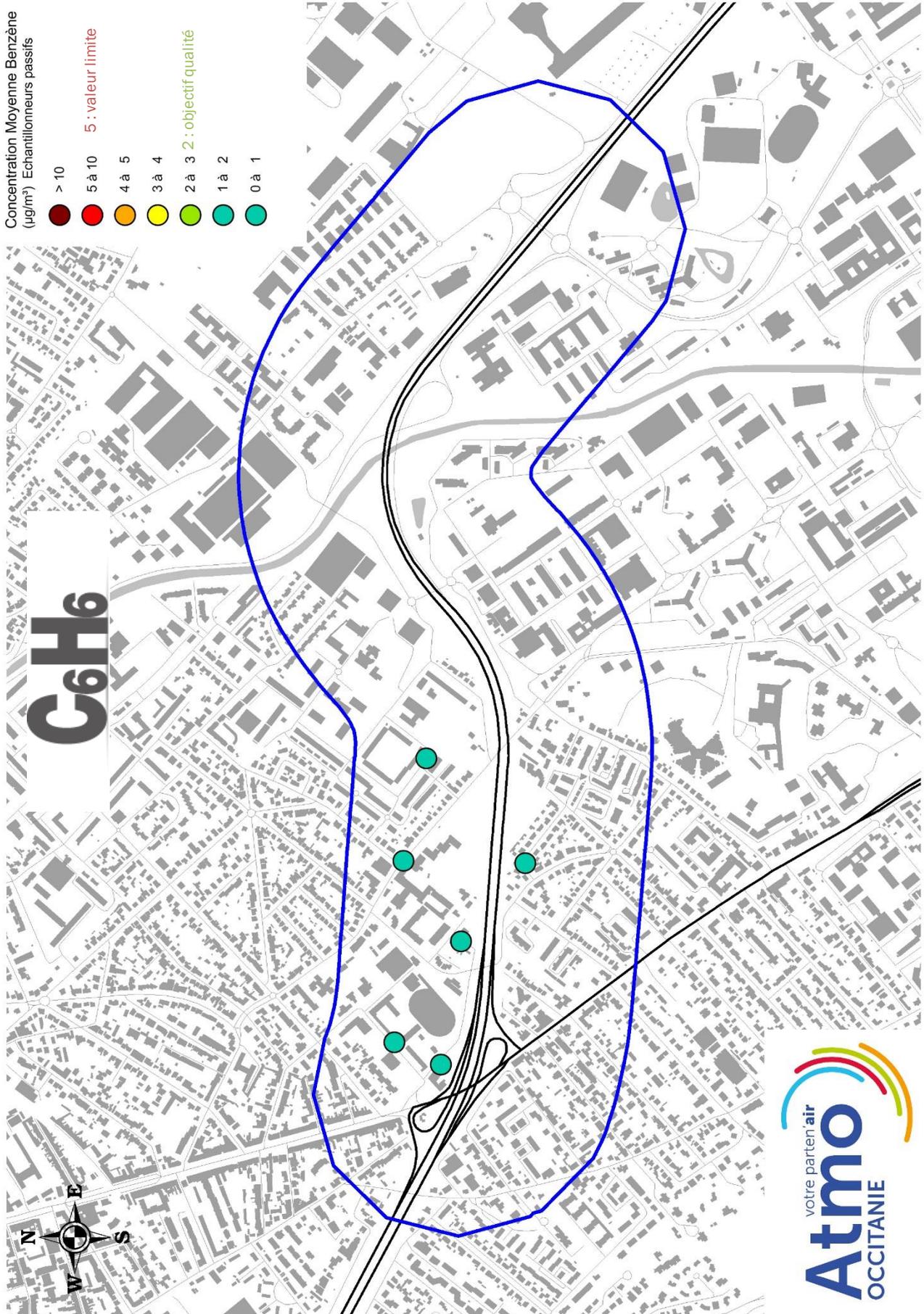
Tableau : Valeurs statistiques de l'échantillon des mesures par échantillonneurs passifs benzène, période de mesures

Le graphique ci-contre montre la dispersion des concentrations des échantillonneurs passifs sur les sites de mesure choisis dans la bande d'étude : elles sont toutes inférieures à l'objectif de qualité de 2 µg/m³

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



Graphe 2 : Répartition des échantillonneurs passifs en fonction des intervalles de concentration en NO₂ - période de mesures



Carte 5 : Concentrations moyennes des échantillonneurs passifs en benzène, période de mesures

ANNEXE II : BILAN DES MESURES DES POLLUANTS ATMOSPHERIQUES DANS LES ETABLISSEMENTS SCOLAIRES

L'air extérieur influence la qualité de l'air intérieur

Les polluants extérieurs pénètrent dans les bâtiments via les systèmes de renouvellement d'air, les fenêtres, les portes... Leur taux de pénétration est régi par différents paramètres : les conditions de ventilation, la saison, le niveau de pollution extérieure et la présence de matériaux adsorbants et réactifs à l'intérieur du bâtiment. Ces taux de pénétration varient ainsi selon le polluant. Par exemple, le taux de transfert du benzène à l'intérieur des bâtiments est proche de 100%. Tandis que celui du dioxyde d'azote varie entre 40% et 80%. Source : étude expérimentale des conditions de transfert de la

pollution atmosphérique d'origine locale à l'intérieur des bâtiments d'habitation – CSTB 2001.

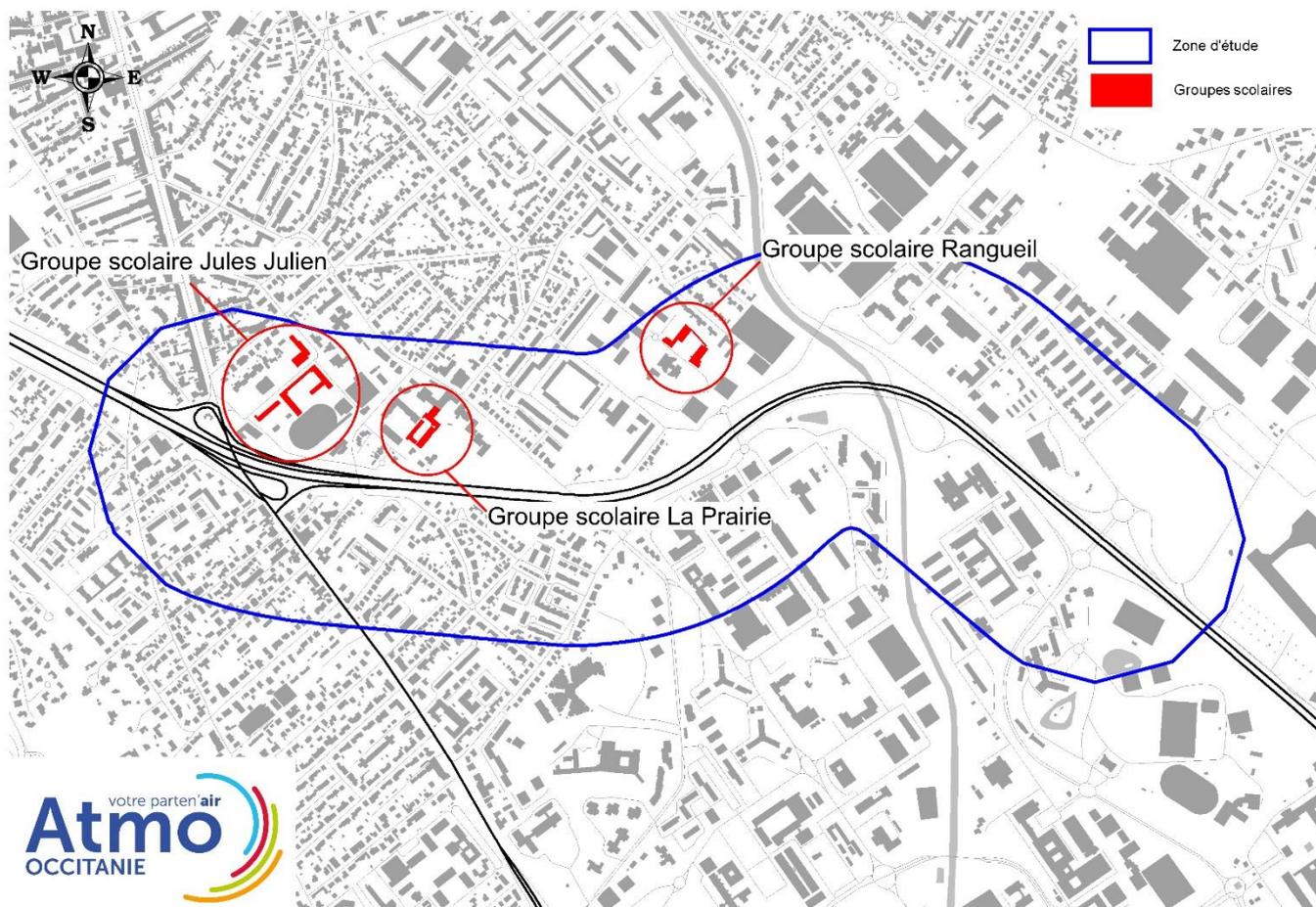
Aux polluants en provenance de l'air extérieur viennent s'ajouter les sources liées au bâtiment et à son usage.

Dans les établissements scolaires, il n'y a pas de source établie de dioxyde d'azote, nous considérons donc qu'il provient intégralement de l'air extérieur. En revanche, l'utilisation de fournitures scolaires et/ou de produits d'entretien peuvent être sources de benzène. Les niveaux de benzène dans l'air intérieur peuvent ainsi être plus élevés que dans l'air extérieur.

Trois établissements scolaires dans la zone d'études

Les niveaux de concentration des deux principaux indicateurs du trafic routier, le dioxyde d'azote et le benzène, ont été mesurés dans tous les établissements

scolaires du premier degré (écoles maternelles et élémentaires) implantés dans la zone d'études.



Plusieurs échantillonneurs passifs ont ainsi été installés dans des salles de classe des différents bâtiments.

ÉTABLISSEMENT SCOLAIRE JULES JULIEN

Des niveaux en NO₂ inférieurs à la valeur guide fixée sur un an dans les 12 salles de classe instrumentées

Des échantillonneurs passifs ont été installés dans les salles de classe de l'école élémentaire et de l'école maternelle.

En mars 2013, l'agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail (ANSES) a publié ses propositions de valeurs guides pour le dioxyde d'azote. Ces propositions correspondent aux expositions sur le court (1 heure) et le long terme (pour

une durée d'exposition supérieure à un an). Les concentrations mesurées dans les établissements scolaires sont comparées à la valeur guide fixée pour protéger des effets à long terme.

Dans toutes les salles de classe instrumentées, les niveaux de NO₂ sont inférieurs à la valeur guide fixée.

		DIOXYDE D'AZOTE - NO ₂		
		Comparaison à la valeur guide fixée pour l'air intérieur	Valeur guide	Période de mesures : Du 1 ^{er} avril au 15 avril 2016
Exposition de longue durée	Valeur guide de la qualité de l'air intérieur	INFÉRIEUR	20 µg/m ³ en moyenne annuelle	École maternelle Jules Julien Moyenne sur les 4 salles de classe investiguées : 12 µg/m ³ Minimum : 11 µg/m ³ Maximum : 13 µg/m ³
				École élémentaire Jules Julien Moyenne sur les 8 salles de classe investiguées : 16 µg/m ³ Minimum : 12 µg/m ³ Maximum : 19 µg/m ³

µg/m³ : microgramme par mètre cube

Des niveaux plus faibles dans les bâtiments que dans l'environnement extérieur

Dans l'environnement extérieur, au coin de l'école au plus proche du périphérique, 27 µg/m³ de dioxyde d'azote sont mesurés. Ce niveau est légèrement supérieur à ceux mesurés par les stations de typologie urbaine (16 µg/m³ en moyenne sur la même période de mesures). Ils sont en revanche très inférieurs aux 74 µg/m³ observés en bordure du périphérique.

Le long de l'avenue Jules Julien, on observe un gradient de concentration, avec une diminution des niveaux en NO₂ corrélée à l'éloignement au périphérique. A 130 mètres du 1^{er} site de mesures, les niveaux de NO₂ ont chuté à 15 µg/m³ et sont similaires à ceux mesurés par les stations de typologie urbaine.

A l'intérieur des bâtiments scolaires, on observe :

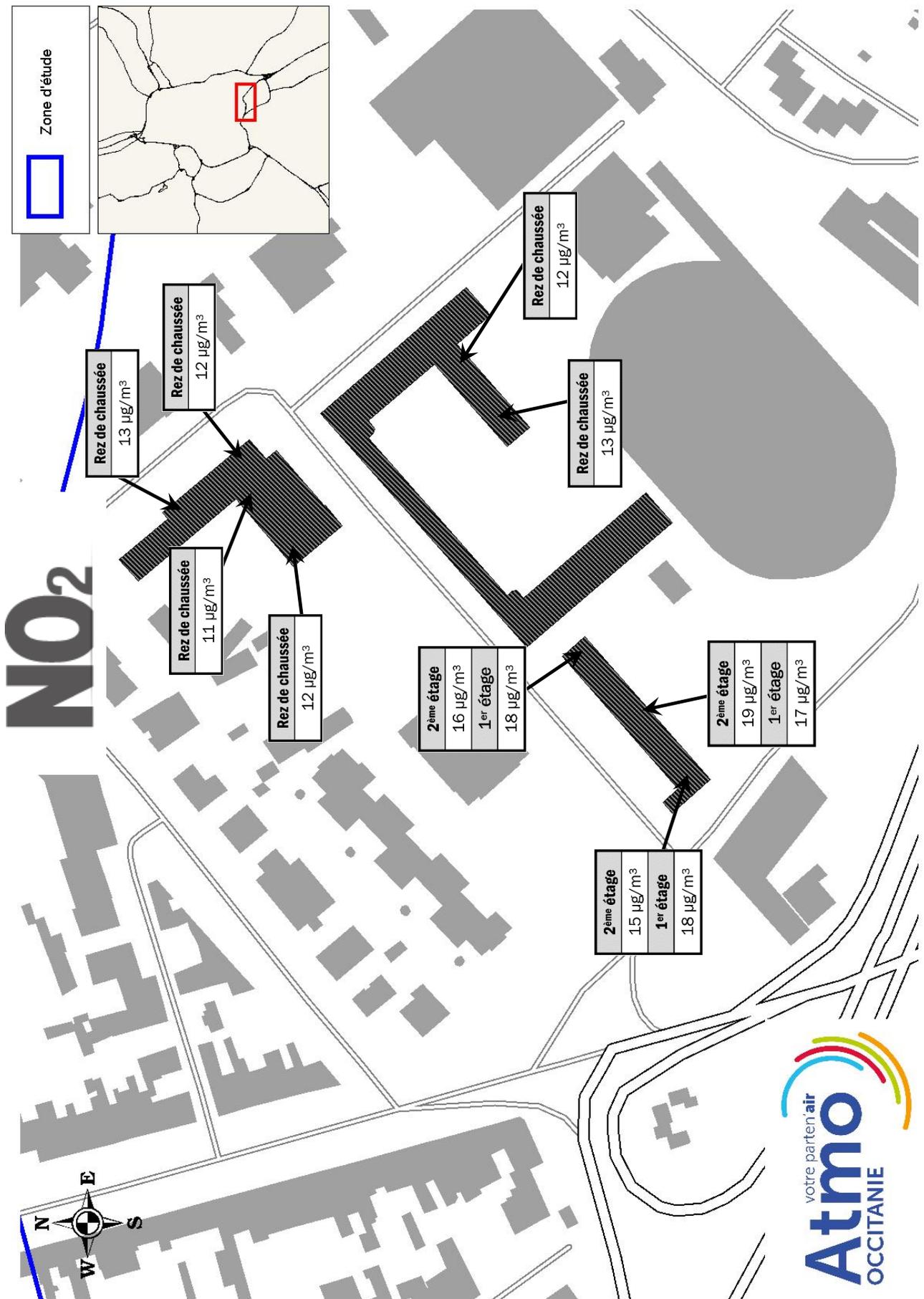
- un abattement des niveaux de dioxyde d'azote d'environ 25 à 30% entre l'extérieur et l'intérieur,
- une homogénéité des niveaux de concentration par bâtiment,
- un gradient de concentration, avec une diminution des niveaux en NO₂ corrélée à l'éloignement au périphérique.

Pour le bâtiment de l'école élémentaire Jules Julien le plus proche du périphérique, les niveaux moyens

observés sont de 18 µg/m³ au 1^{er} étage et de 17 µg/m³ au 2^{ème} étage. Ils sont légèrement supérieurs aux niveaux moyens relevés en sites urbains de fond.

Dans le second bâtiment, ainsi que dans l'école maternelle, les niveaux moyens diminuent et sont de 12 µg/m³ en moyenne. Ils sont ainsi inférieurs aux niveaux moyens relevés en sites urbains de fond.

Une influence du périphérique sur le dioxyde d'azote est observée dans les bâtiments les plus proches. L'abattement des niveaux de NO₂ constaté à l'intérieur des bâtiments permet le respect de la valeur guide de qualité de l'air intérieur dans toutes les classes.



Des niveaux en benzène inférieurs à la valeur guide réglementaire fixée sur un an dans les cinq classes instrumentées

Le décret n° 2011-1727 du 2 décembre 2011 relatif aux valeurs-guides pour l'air intérieur pour le formaldéhyde et le benzène fixe la valeur de $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ pour une exposition de longue durée au benzène.

Dans toutes les salles de classe instrumentées, les niveaux de benzène sont inférieurs à la valeur guide fixée.

		BENZÈNE		
		Respect de la valeur fixée pour l'air intérieur	Valeur guide	Période de mesures : Du 1 ^{er} avril au 15 avril 2016
Exposition de longue durée	Valeur guide de la qualité de l'air intérieur	INFÉRIEUR	$2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en moyenne annuelle	École maternelle Jules Julien Moyenne sur les 2 salles de classe investiguées : $1.0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ Minimum : $0.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ Maximum : $1.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$
				École élémentaire Jules Julien Moyenne sur les 3 salles de classe investiguées : $0.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ Minimum : $0.8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ Maximum : $1.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$

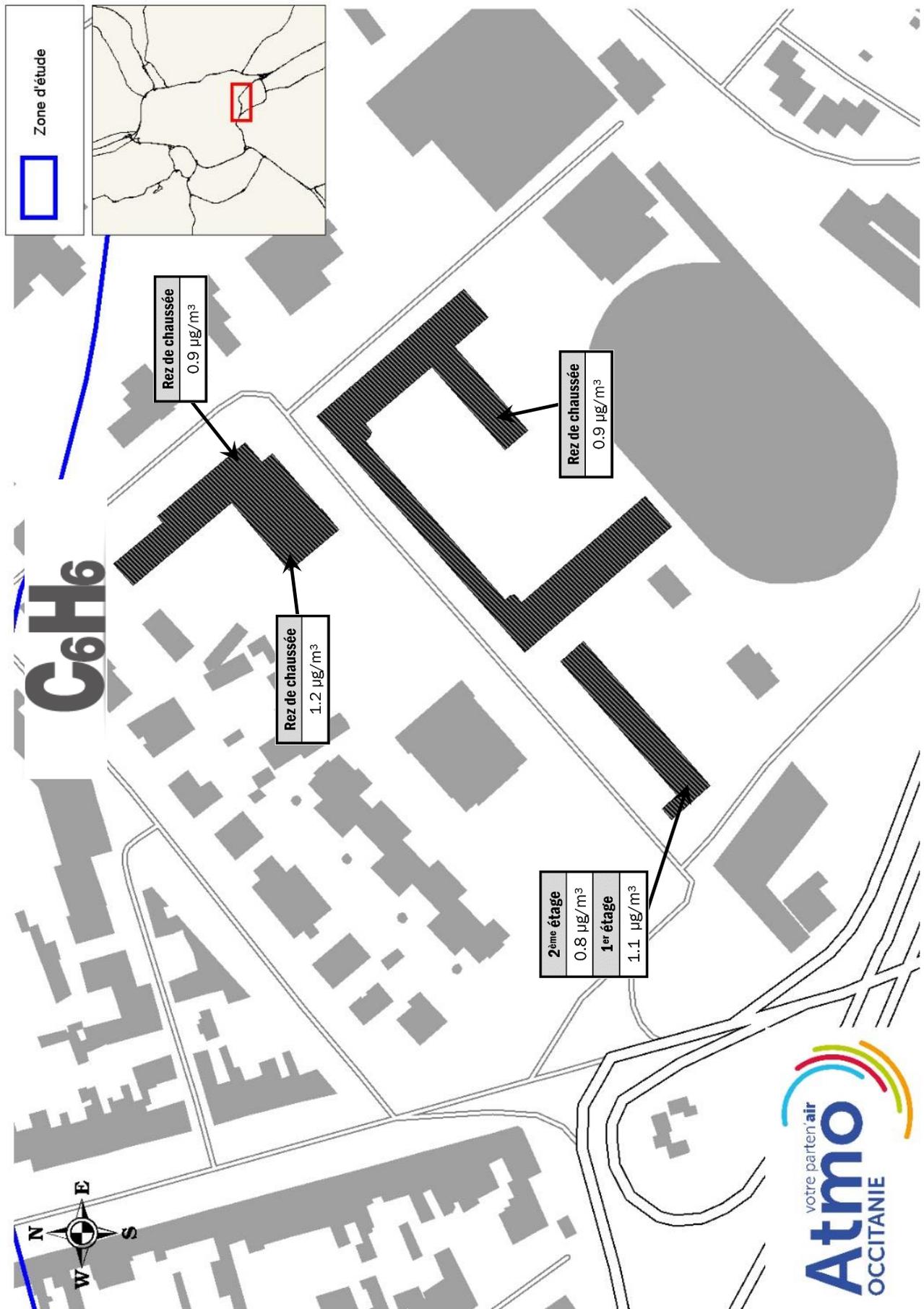
Des niveaux du même ordre de grandeur dans les bâtiments et dans l'environnement extérieur

Dans l'environnement extérieur, au coin de l'école au plus proche du périphérique, comme 130 mètres plus loin le long de l'avenue Jules Julien, $1.0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de benzène sont mesurés. Ce niveau est du même ordre de grandeur que ceux mesurés pour les sites de typologie urbaine (entre 0.8 et $0.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$) et inférieur aux $1.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ observés en bordure du périphérique.

A l'intérieur des bâtiments scolaires, on observe :

- des niveaux de benzène très homogènes dans les différents bâtiments,
- des concentrations du même ordre de grandeur ou légèrement supérieures à celles mesurées dans l'environnement extérieur de fond.

La proximité du périphérique ne semble pas avoir d'influence sur les niveaux de benzène dans les bâtiments scolaires. Les niveaux de benzène respectent la valeur guide de qualité de l'air intérieur dans toutes les classes.



ÉTABLISSEMENT SCOLAIRE LA PRAIRIE

Des niveaux en NO₂ inférieurs à la valeur guide fixée sur un an dans les dix salles de classe instrumentées

Des échantillonneurs passifs ont été installés dans les salles de classe de l'école élémentaire et de l'école maternelle.

En mars 2013, l'agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail (ANSES) a publié ses propositions de valeurs guides pour le dioxyde d'azote. Ces propositions correspondent aux expositions sur le court (1 heure) et le long terme (pour

une durée d'exposition supérieure à un an). Les concentrations mesurées dans les établissements scolaires sont comparées à la valeur guide fixée pour protéger des effets à long terme.

Dans toutes les salles de classe instrumentées, les niveaux de NO₂ sont inférieurs à la valeur guide fixée.

		DIOXYDE D'AZOTE - NO ₂		
		Comparaison à la valeur guide fixée pour l'air intérieur	Valeur guide	Période de mesures : Du 1 ^{er} avril au 15 avril 2016
Exposition de longue durée	Valeur guide de la qualité de l'air intérieur	INFÉRIEUR	20 µg/m ³ en moyenne annuelle	Groupe scolaire la Prairie Moyenne sur les 10 salles de classe investiguées : 12 µg/m ³ Minimum : 8 µg/m ³ Maximum : 15 µg/m ³

µg/m³ : microgramme par mètre cube

Des niveaux plus faibles dans les bâtiments que dans l'environnement extérieur

Dans l'environnement extérieur, les niveaux de dioxyde d'azote mesurés autour du groupe scolaire La Prairie varient entre 28 µg/m³ pour un site situé entre l'école et le périphérique (à 50 mètres du périphérique) et 21 µg/m³. Ces niveaux sont légèrement supérieurs à ceux mesurés par les stations de typologie urbaine (16 µg/m³ en moyenne sur la même période de mesures). Ils mettent en évidence une influence du périphérique sur les concentrations en dioxyde d'azote dans l'environnement extérieur du groupe scolaire La Prairie.

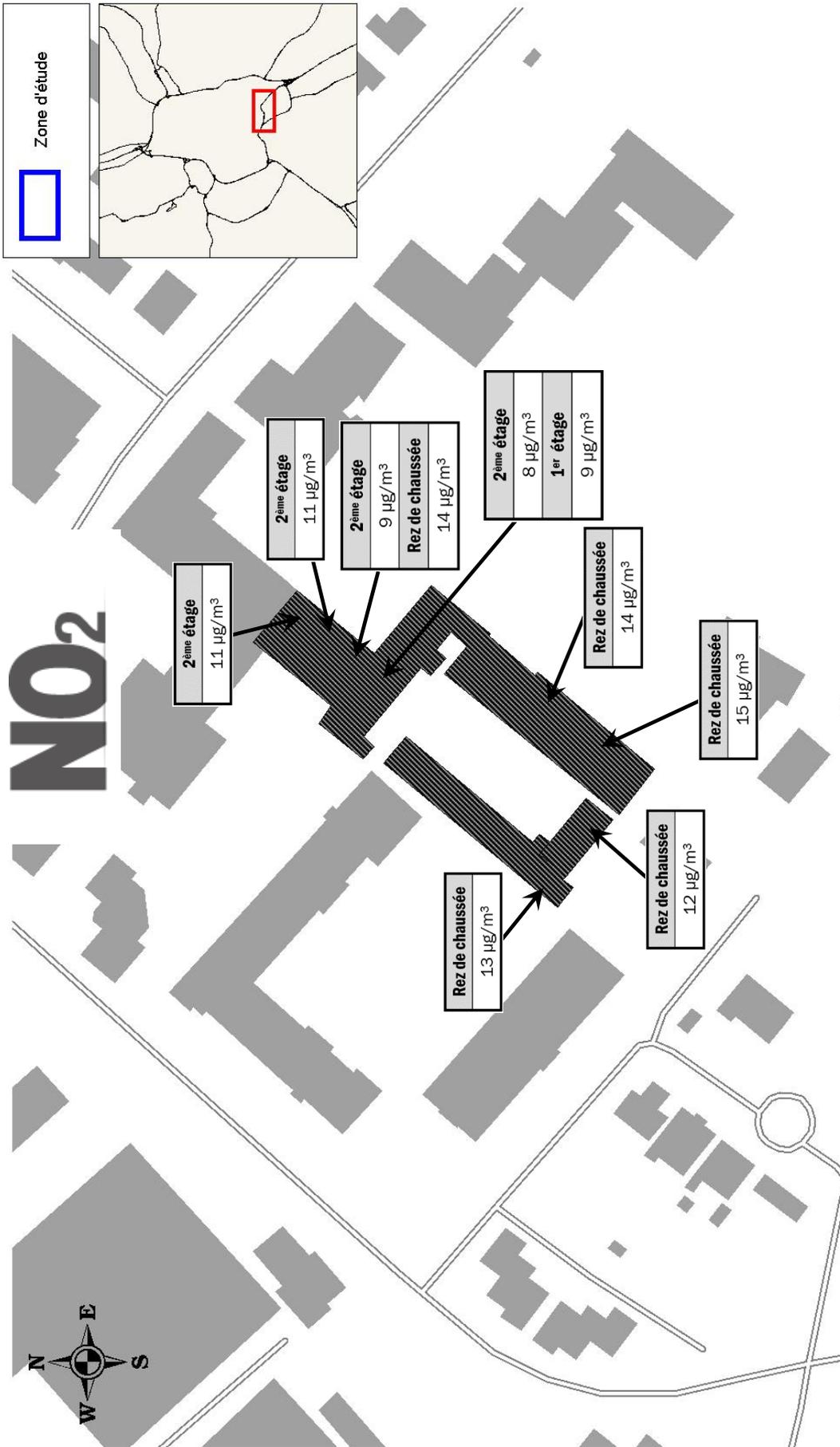
A l'intérieur du bâtiment, on observe :

- un abattement des niveaux de dioxyde d'azote d'au moins 30% entre l'extérieur et l'intérieur,
- des niveaux de NO₂ légèrement plus élevés dans les salles de classe situés sous l'influence du périphérique par vent de sud-est (vent d'Autan)
- une légère diminution des niveaux de NO₂ lorsque les salles de classe sont situées à l'étage.

Les niveaux moyens observés dans l'établissement scolaire La Prairie sont de 12 µg/m³. Ils sont inférieurs aux niveaux moyens relevés en sites urbains de fond.

L'environnement extérieur de l'établissement scolaire la Prairie présente des niveaux intermédiaires entre ceux mesurés à proximité du périphérique et ceux observés en site de fond.

Une influence du périphérique sur le dioxyde d'azote est observée dans les salles de classe situées dans l'axe des émissions du trafic routier par vent d'Autan. L'abattement des niveaux de NO₂ constaté à l'intérieur des bâtiments permet le respect de la valeur guide de qualité de l'air intérieur dans toutes les classes.



Des niveaux en benzène inférieurs à la valeur guide réglementaire fixée sur un an dans les quatre classes instrumentées

Le décret n°2011-1727 du 2 décembre 2011 relatif aux valeurs-guides pour l'air intérieur pour le formaldéhyde et le benzène fixe la valeur de $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ pour une exposition de longue durée au benzène.

Dans toutes les salles de classe instrumentées, les niveaux de benzène sont inférieurs à la valeur guide fixée.

		BENZÈNE		
		Respect de la valeur fixée pour l'air intérieur	Valeur guide	Période de mesures : Du 1 ^{er} avril au 15 avril 2016
Exposition de longue durée	Valeur guide de la qualité de l'air intérieur	INFÉRIEUR	$2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en moyenne annuelle	Groupe scolaire la Prairie Moyenne sur les 6 salles de classe investiguées : $1.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ Minimum : $0.8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ Maximum : $1.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$
	C₆H₆			

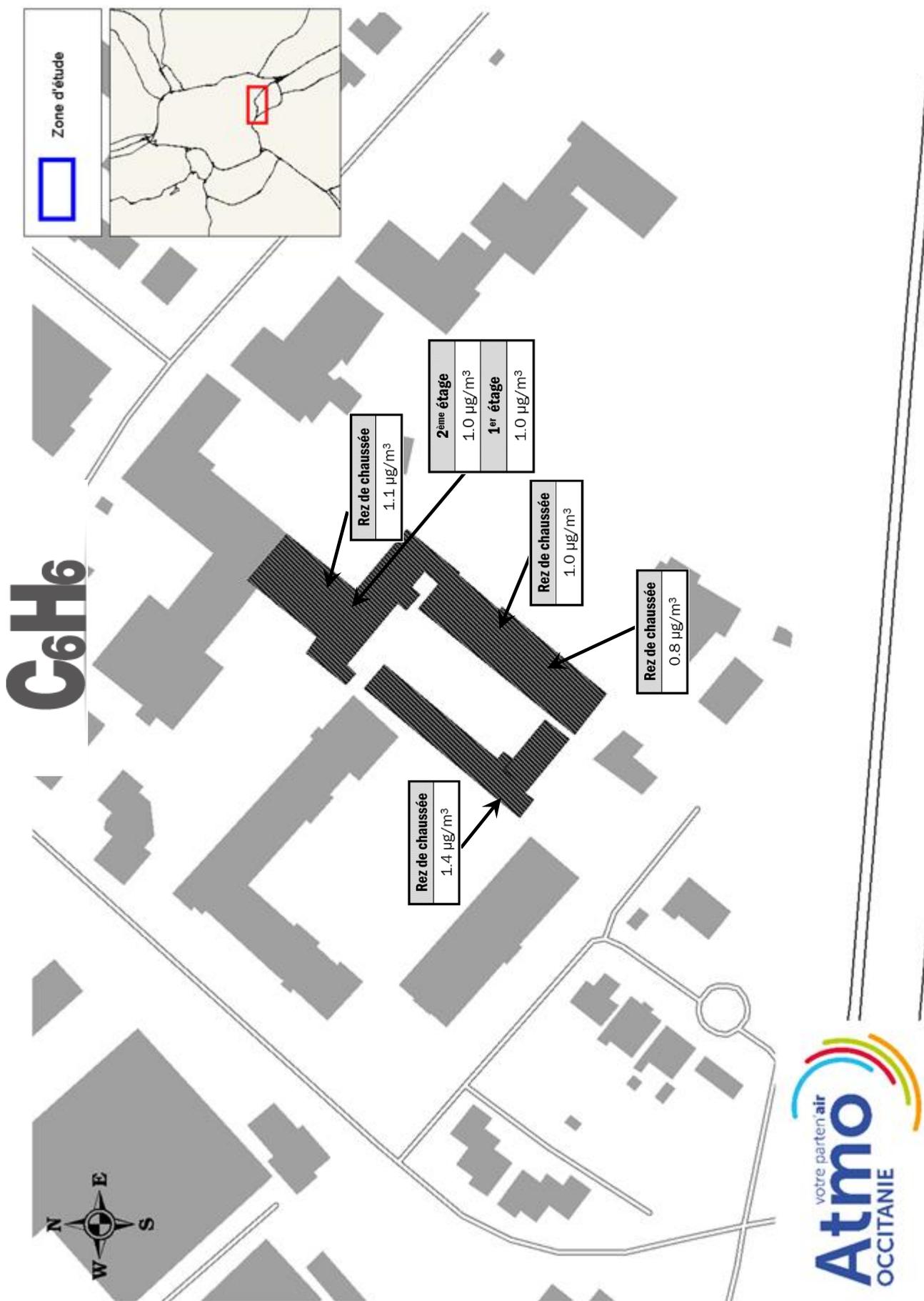
Des niveaux du même ordre de grandeur dans les bâtiments et dans l'environnement extérieur

Dans l'environnement extérieur, $0.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de benzène sont mesurés sur un site situé entre le groupe scolaire et le périphérique (50 mètres du périphérique). Ce niveau est similaire à ceux mesurés pour les sites de typologie urbaine (entre 0.8 et $0.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$) et inférieur aux $1.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ observés en bordure du périphérique.

A l'intérieur des bâtiments scolaires, on observe :

- des niveaux de benzène assez homogènes dans les différentes classes,
- des concentrations du même ordre de grandeur ou légèrement supérieures à celles mesurées dans l'environnement extérieur de fond.

La proximité du périphérique ne semble pas avoir d'influence les niveaux de benzène dans les bâtiments scolaires. Les niveaux de benzène respectent la valeur guide de qualité de l'air intérieur dans toutes les classes.



ÉTABLISSEMENT SCOLAIRE RANGUEIL

Des niveaux en NO₂ inférieurs à la valeur guide fixée sur un an dans les sept salles de classe instrumentées

Des échantillonneurs passifs ont été installés dans les salles de classe de l'école élémentaire et de l'école maternelle.

En mars 2013, l'agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail (ANSES) a publié ses propositions de valeurs guides pour le dioxyde d'azote. Ces propositions correspondent aux expositions sur le court (1 heure) et le long terme (pour

une durée d'exposition supérieure à un an). Les concentrations mesurées dans les établissements scolaires sont comparées à la valeur guide fixée pour protéger des effets à long terme.

Dans toutes les salles de classe instrumentées, les niveaux de NO₂ sont inférieurs à la valeur guide fixée.

		DIOXYDE D'AZOTE - NO ₂		
		Comparaison à la valeur guide fixée pour l'air intérieur	Valeur guide	Période de mesures : Du 1 ^{er} avril au 15 avril 2016
Exposition de longue durée	Valeur guide de la qualité de l'air intérieur	INFÉRIEUR	20 µg/m ³ en moyenne annuelle	École maternelle Rangueil Moyenne sur les 3 salles de classe investiguées : 11 µg/m ³ Minimum : 10 µg/m ³ Maximum : 12 µg/m ³
				École élémentaire Rangueil Moyenne sur les 4 salles de classe investiguées : 11 µg/m ³ Minimum : 10 µg/m ³ Maximum : 12 µg/m ³

µg/m³ : microgramme par mètre cube

Des niveaux plus faibles dans les bâtiments que dans l'environnement extérieur

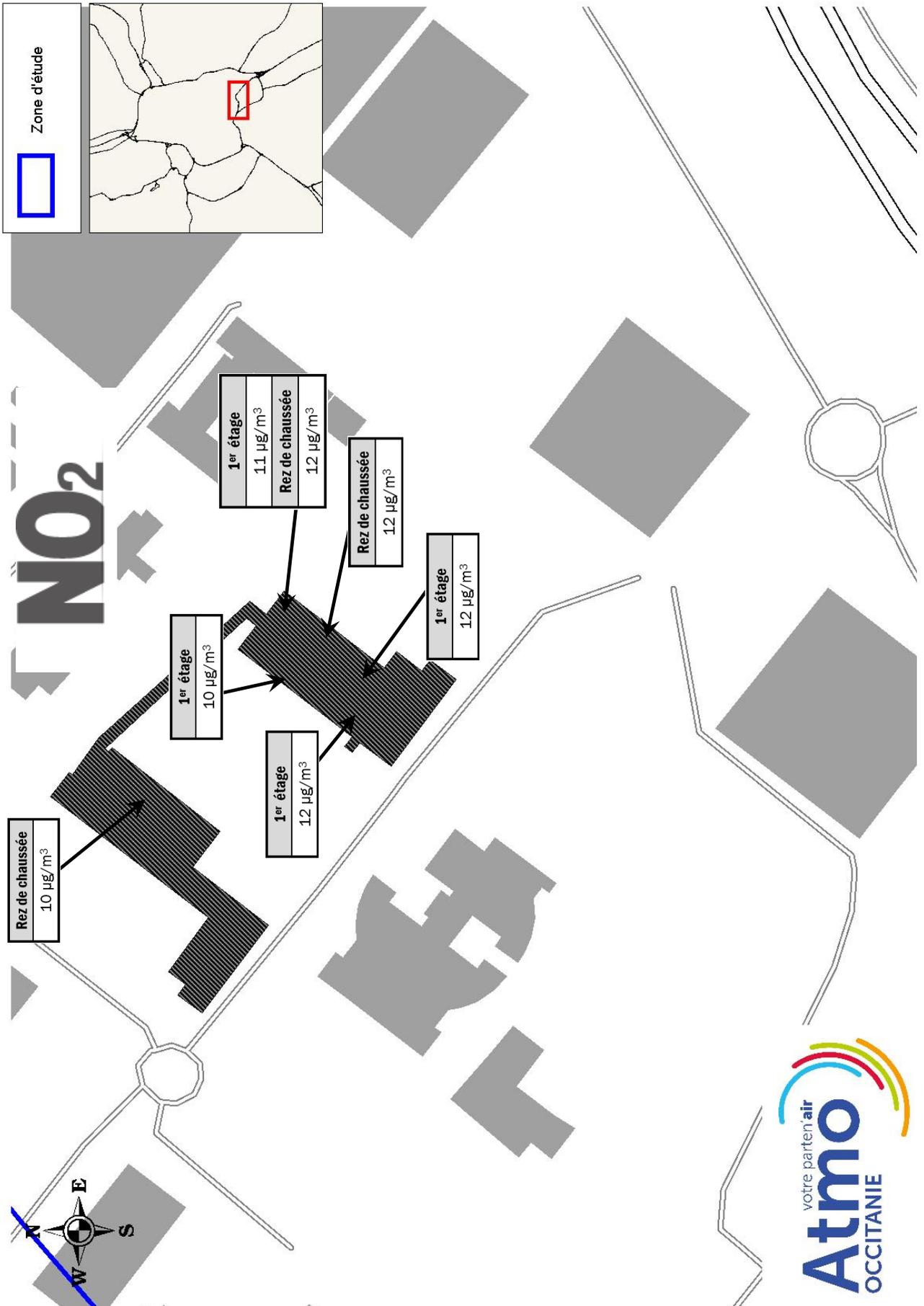
Dans l'environnement extérieur, à proximité de l'école Rangueil, les niveaux de dioxyde d'azote mesurés décroissent très rapidement avec l'éloignement du périphérique. Ainsi, 15 µg/m³ de dioxyde d'azote sont mesurés sur un site situé entre l'école et le périphérique (120 mètres du périphérique). Ces niveaux sont similaires à ceux mesurés par les stations de typologie urbaine (16 µg/m³ en moyenne sur la même période de mesures). Ces niveaux ne mettent donc pas en évidence une influence du périphérique sur les concentrations en dioxyde d'azote extérieur dans l'environnement de l'école Rangueil.

À l'intérieur des bâtiments scolaires, on observe :

- un abattement des niveaux de dioxyde d'azote de l'ordre de 20% entre l'extérieur et l'intérieur,
- une homogénéité des niveaux de concentration dans les classes.

Les niveaux moyens observés dans l'établissement scolaire Rangueil sont de 11 µg/m³. Ils sont inférieurs aux niveaux moyens relevés en sites urbains de fond.

Les niveaux en dioxyde d'azote relevés dans l'environnement extérieur de l'établissement scolaire Rangueil, similaires à ceux observés en site urbain de fond, ne mettent pas en évidence d'influence du périphérique. En outre, l'abattement des niveaux de NO₂ constaté à l'intérieur des bâtiments permet le respect de la valeur guide de qualité de l'air intérieur dans toutes les classes.



Des niveaux en benzène inférieurs à la valeur guide réglementaire fixée sur un an dans les quatre classes instrumentées

Le décret n° 2011-1727 du 2 décembre 2011 relatif aux valeurs-guides pour l'air intérieur pour le formaldéhyde et le benzène fixe la valeur de $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ pour une exposition de longue durée au benzène.

Dans toutes les salles de classe instrumentées, les niveaux de benzène sont inférieurs à la valeur guide fixée.

		BENZÈNE	
		Respect de la valeur fixée pour l'air intérieur	Valeur guide
Exposition de longue durée	Valeur guide de la qualité de l'air intérieur	INFÉRIEUR	<p>École maternelle Rangueil Moyenne sur les 2 salles de classe investiguées : $1.0 \mu\text{g}/\text{m}^3$</p> <p>Minimum : $1.0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ Maximum : $1.0 \mu\text{g}/\text{m}^3$</p> <p>École élémentaire Rangueil Moyenne sur les 2 salles de classe investiguées : $1.0 \mu\text{g}/\text{m}^3$</p> <p>Minimum : $0.8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ Maximum : $1.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$</p>
			<p>$2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en moyenne annuelle</p>

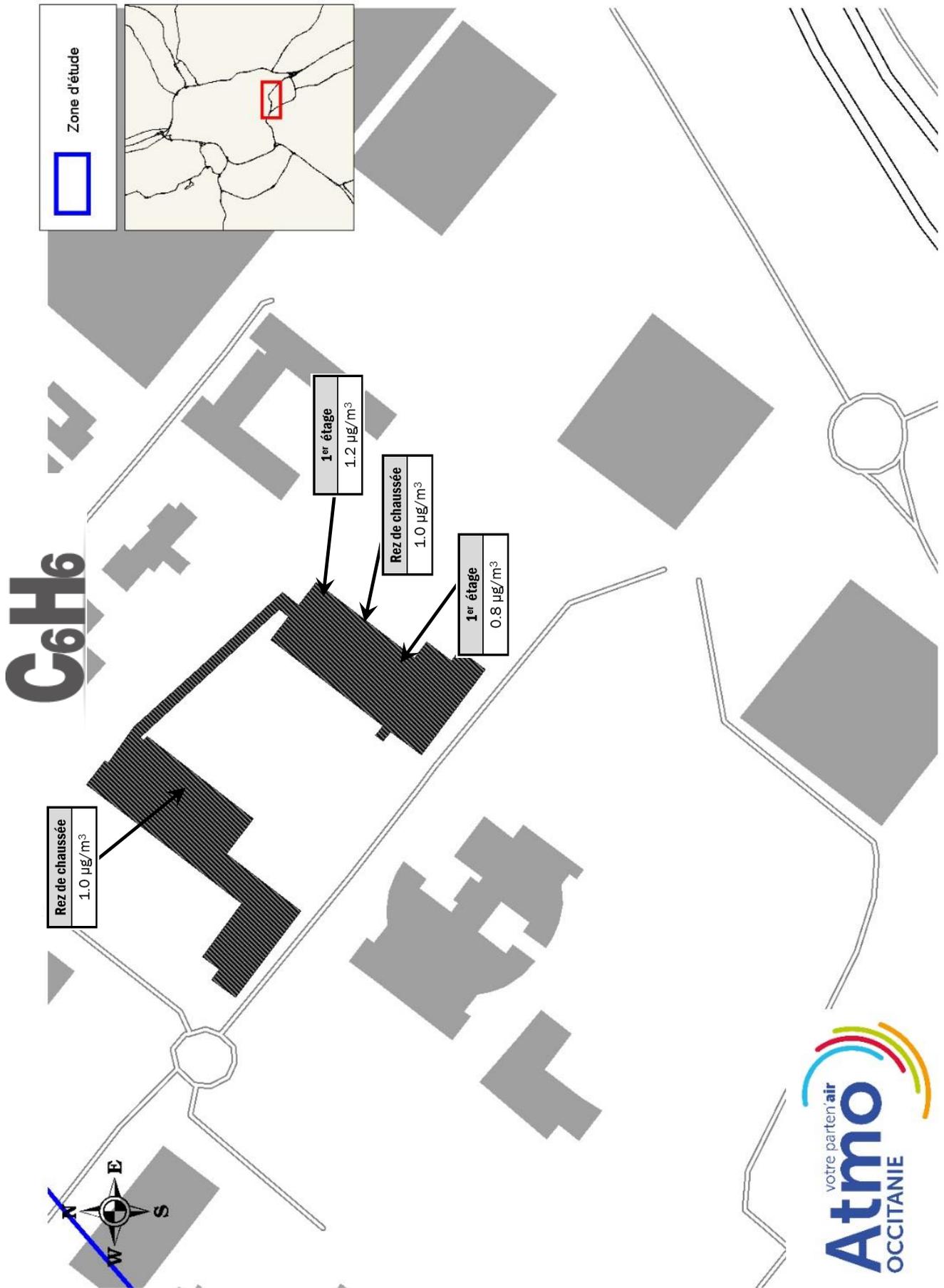
Des niveaux du même ordre de grandeur dans les bâtiments et dans l'environnement extérieur

Dans l'environnement extérieur, $0.8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de benzène sont mesurés à proximité du groupe scolaire. Ce niveau est similaire à ceux mesurés pour les sites de typologie urbaine (entre 0.8 et $0.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$) et inférieur aux $1.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ observés en bordure du périphérique.

A l'intérieur des bâtiments scolaires, on observe :

- des niveaux de benzène assez homogènes dans les différentes classes,
- des concentrations du même ordre de grandeur ou légèrement supérieures à celles mesurées dans l'environnement extérieur de fond.

La proximité du périphérique ne semble pas avoir d'influence les niveaux de benzène dans les bâtiments scolaires. Les niveaux de benzène respectent la valeur guide de qualité de l'air intérieur dans toutes les classes.



ANNEXE III : NOTES MÉTHODOLOGIQUES

Méthodologie de l'adaptation statistique des mesures

Adaptation statistique des échantillonneurs 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 d'Atmo Occitanie.

Adaptation statistique des stations mobiles

HYPOTHESES

Nous avons cherché à mettre en avant une relation de dépendance entre les variables Y et $X1$, $X2$, $X3$. 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.

DETECTION 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 étudiée.

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 SIGNIFICATIVITE

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

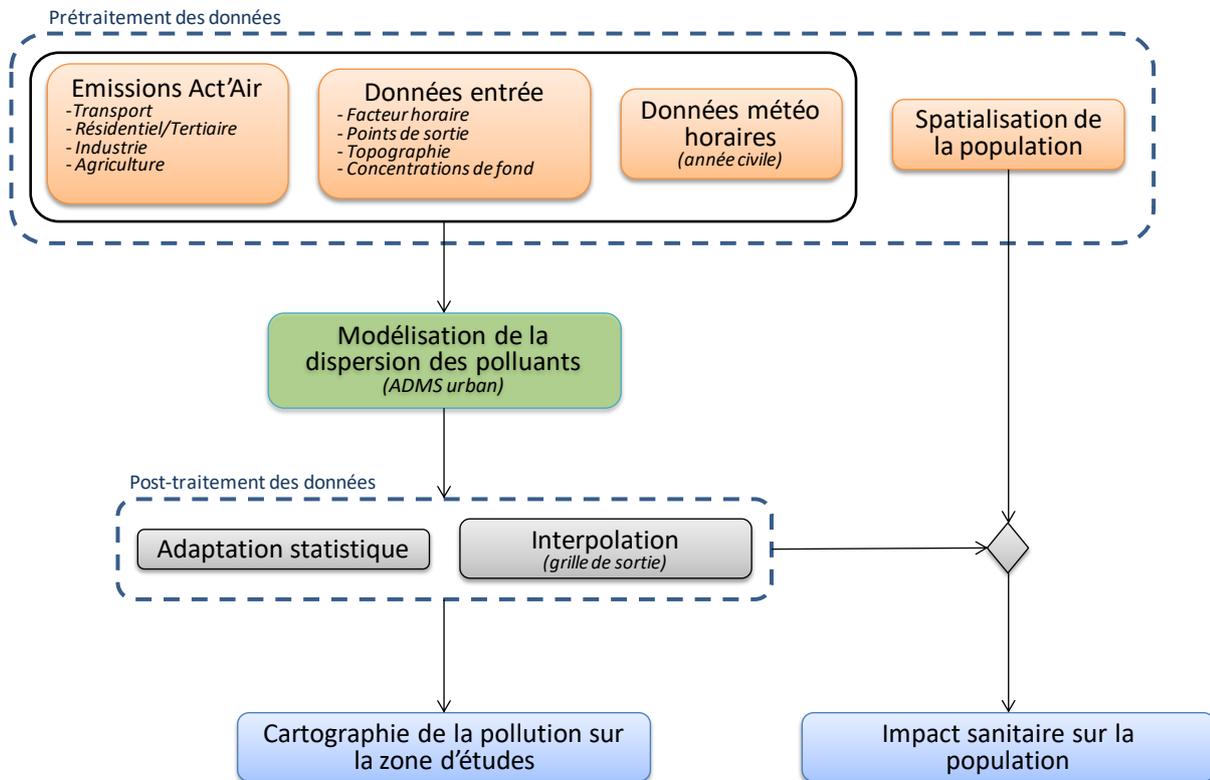


Schéma 1 : Méthodologie utilisée pour la modélisation de la dispersion à fine échelle sur la zone d'études

Présentation du modèle ADMS-Urban

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.

Présentation du modèle MISKAM

En complément de la cartographie de la pollution en 2D, couramment utilisée pour l'évaluation du respect des valeurs limites pour la protection de la santé définies dans l'air ambiant, une évaluation des niveaux de concentration a été faite à l'aide d'un logiciel de modélisation en 3D afin d'évaluer l'impact d'une meilleure prise en compte des conditions de dispersion des émissions de polluants.

En effet, en plus des facteurs locaux, comme la topographie ou l'orientation des vents, la pollution de l'air en milieu urbain et notamment à l'échelle d'un quartier, est également fonction de la morphologie urbaine, à savoir orientation, formes et hauteur du bâti, mais également orientation et dimensionnement des voiries.

Ainsi, l'influence de l'urbanisation sur la dispersion des polluants émis sur le domaine d'étude et notamment au niveau des axes routiers, nécessite le recours à des outils de modélisation en 3D intégrant un modèle tridimensionnel d'écoulement de micro-échelle à travers des équations de la mécanique des fluides.

La modélisation de la pollution de l'air a été réalisée à l'aide du logiciel de modélisation 3D MISKAM, un modèle de dispersion eulérien qui intègre les contraintes de dispersion des polluants du fait de la présence de bâtiments sur le domaine d'étude. Il permet ainsi la prise en compte plus précise de la configuration de l'urbanisation du quartier comme un facteur d'influence sur les conditions de dispersion des polluants émis sur la zone d'étude.

Le modèle MISKAM permet de modéliser la dispersion des polluants atmosphériques en moyenne annuelle. Il permet également de calculer des percentiles et des fréquences de dépassements de valeurs réglementaires.

Comme cela est le cas avec le modèle gaussien ADMS Urban, de nombreuses données sont nécessaires aux calculs de dispersion des polluants : hauteur des bâtiments et largeurs des rues, topographie de la zone, émissions des axes routiers, données météorologiques....

Prétraitement des modélisations ADMS et MISKAM

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

Atmo Occitanie 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.

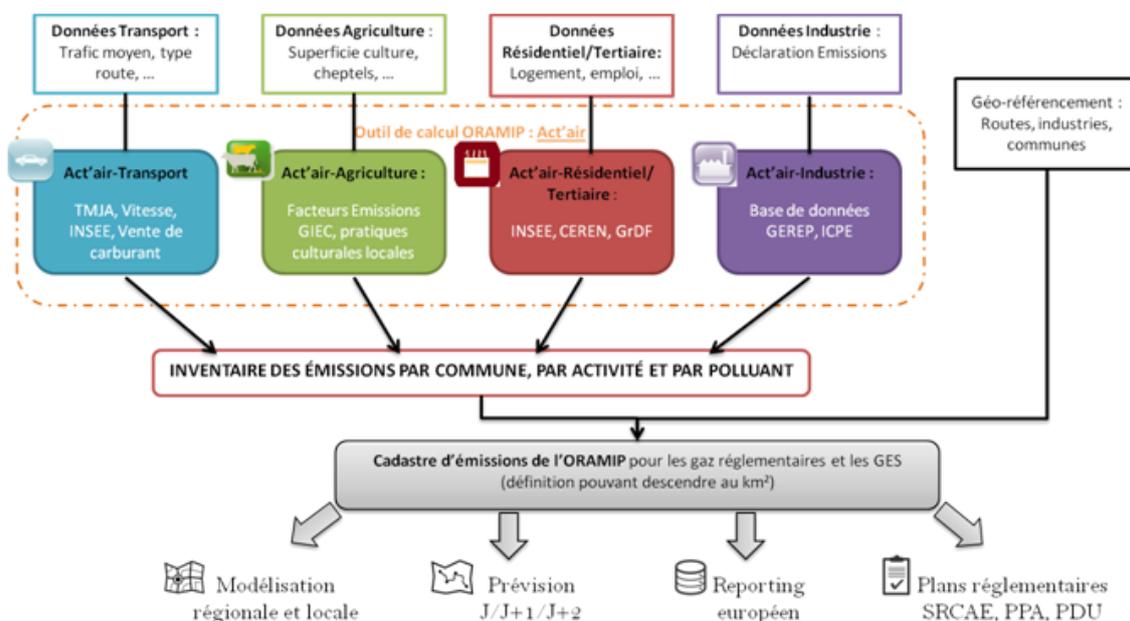


Schéma 2 : organigramme de l'outil de calcul Act'air

L'INDUSTRIE

Atmo Occitanie 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, Atmo Occitanie 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 Atmo Occitanie 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-émission 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 d'Atmo Occitanie (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

Atmo Occitanie 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 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 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 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 d'Atmo Occitanie 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

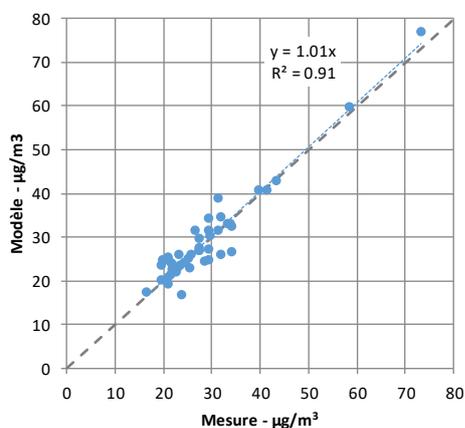
Les concentrations interpolées de polluants dépassant les valeurs réglementaires obtenues pour ADMS sont croisées avec les données de population sur chaque point de grille ce qui permet à la fois de cartographier les zones de populations les plus touchées par la pollution mais aussi d'estimer le nombre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

Méthodologie de la validation des modèles

Des modèles performants

Dans les tableaux ci après, nous indiquons les performances statistiques du modèle relativement aux concentrations moyennes annuelles en NO₂ modélisées et observées sur le domaine d'études.

ADMS



Indicateurs statistiques	Modèle 47 observations	Caractéristiques d'un modèle performant
FB	-0.02	-0.3 < FB < 0.3
MG	0.99	-0.7 < MG < 1.3
NMSE	0.01	NMSE <= 2
VG	1.01	VG < 1.6
FAC2	1.00	FAC2 > 0.5
r	0,96	Le plus proche de 1

La valeur proche de 0 du biais fractionnel (FB) indique qu'en moyenne, le modèle tend à bien estimer les valeurs observées. En outre, le tracé mesure / modèle n'indique pas de de sous ou de sur estimation des concentrations en NO₂ modélisées.

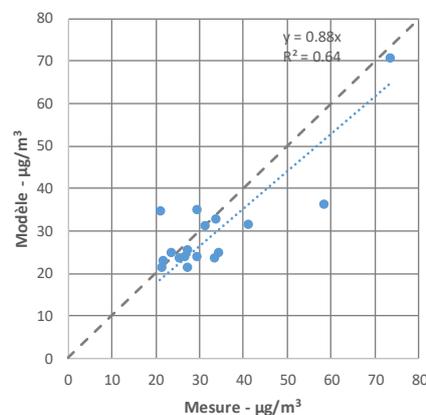
NMSE permet de juger de l'erreur relative commise par le modèle. Plus NMSE est faible, plus les concentrations simulées par le modèle sont proches des observations. Les NMSE obtenus pour le modèle est correct.

L'indicateur logarithmique VG est autant sensible aux valeurs fortes qu'aux valeurs faibles. Proche de 1, l'écart entre mesure et observation apparait faible.

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 ADMS, 96% des concentrations modélisées sont corrélées avec les mesures.

MISKAM



Indicateurs statistiques	Modèle 17 observations	Caractéristiques d'un modèle performant
FB	-0.09	-0.3 < FB < 0.3
MG	1.08	-0.7 < MG < 1.3
NMSE	0.06	NMSE <= 2
VG	1.06	VG < 1.6
FAC2	1.00	FAC2 > 0.5
r	0.83	Le plus proche de 1

La valeur négative du biais fractionnel (FB), le tracé mesure / modèle et le biais moyen géométrique (MG) supérieur à 1 indiquent que le modèle tend à sous estimer les valeurs observées. La sous estimation moyenne est de l'ordre de 12%.

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. Proche de 1, l'écart entre mesure et observation est assez faible.

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 MISKAM, 83% 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.

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 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 négative 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 positive 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

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

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 à 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

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

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

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 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 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 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 ÉTUDIÉS

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 propriétés mutagènes et cancérigènes : c'est

EFFETS SUR L'ENVIRONNEMENT

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

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).

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.

C₆H₆ le benzène

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,...).

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.

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.

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).



L'information sur la **qualité de l'air** en **Occitanie**

www.atmo-occitanie.org