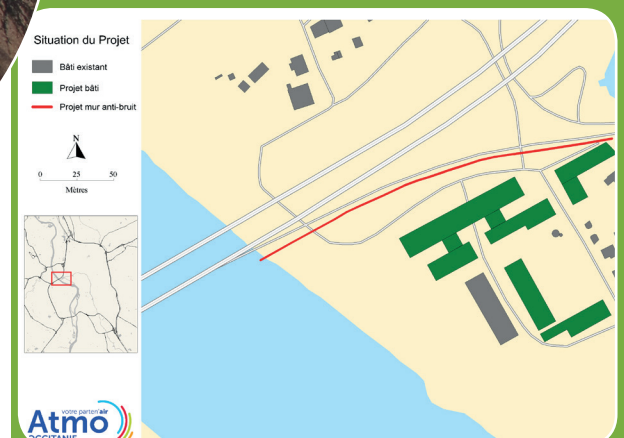
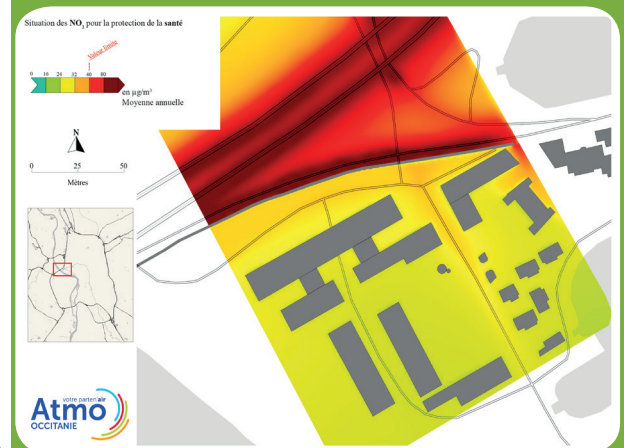


SCÉNARISATION DE LA DISPERSION DE LA POLLUTION DE L'AIR DANS L'ENVIRONNEMENT DU PROJET D'AMÉNAGEMENT URBAIN LES AMIDONNIERS



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 l'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://oramip.atmo-midipyrenees.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 :

- depuis le formulaire de contact sur le site : <http://oramip.atmo-midipyrenees.org>
- par mail : contact@oramip.org
- par téléphone : 05.61.15.42.464321

SOMMAIRE

CONTEXTE ET OBJECTIFS.....	4
SYNTHÈSE DE L'ÉTUDE D'ÉVALUATION	5
ÉVALUATION DE LA POLLUTION EN DIOXYDE D'AZOTE (NO ₂).....	7
Cartographie de la pollution au dioxyde d'azote – intégration des nouveaux bâtiments.....	7
Cartographie de la pollution au dioxyde d'azote – intégration des nouveaux bâtiments et du mur antibruit	8
Comparaison à la réglementation.....	9
Situation par rapport à l'agglomération toulousaine	9
Conclusions	10
ANNEXE I : DISPOSITIF DE MESURE.....	11
ANNEXE II - CARTOGRAPHIE DE LA POLLUTION AU DIOXYDE D'AZOTE – ETAT INITIAL	14
Cartographie de la pollution au dioxyde d'azote – état initial	14
ANNEXE III - NOTES MÉTHODOLOGIQUES.....	15
Méthodologie de l'inventaire, de la modélisation et de la cartographie.....	15
Méthodologie de la validation du modèle.....	17
ANNEXE IV - GENERALITES SUR LE DIOXYDE D'AZOTE – NO ₂	21

CONTEXTE ET OBJECTIFS

Le secteur des Amidonniers situé au nord-ouest de Toulouse est pressenti pour faire l'objet d'un aménagement urbain avec la construction de logements collectifs sur les terrains de Voies Navigables de France. Toulouse Métropole souhaite la réalisation d'une étude de l'impact de l'aménagement du futur quartier sur la qualité de l'air afin d'établir si l'urbanisation projetée sur un terrain proche du périphérique respecte les niveaux d'exposition et n'augmente pas la part de la population soumise à des dépassements de la valeur limite pour la protection de la santé.

La cartographie de la dispersion du dioxyde d'azote à l'échelle de l'agglomération toulousaine réalisée par Atmo Occitanie met en évidence des zones dépassant la valeur limite sur ce secteur. Pour la commune de Toulouse, les principales zones impactées par la pollution de l'air sont l'axe périphérique, les grands boulevards, le fil d'Ariane, la

voie lactée et la rocade arc-en-ciel. La pollution de l'air sur ces secteurs ne s'étend généralement pas au-delà de quelques centaines de mètres des principaux axes routiers.

Les outils de modélisation utilisées à l'échelle de Toulouse Métropole ne permettent pas d'établir finement la dispersion des polluants à l'échelle d'un projet d'aménagement. Une étude d'évaluation de l'impact sur la qualité de l'air des scénarii d'aménagements urbains sur le quartier des Amidonniers a donc été menée par Atmo Occitanie en s'appuyant sur une modélisation 3D.

Atmo Occitanie a simulé l'exposition actuelle au dioxyde d'azote dans le quartier, puis l'exposition à proximité de nouveaux bâtiments d'habitation sans et avec la mise en place d'un mur antibruit d'une hauteur de 4 mètres le long du Port de l'Embouchure.

Domaine d'études

Situé au nord-ouest, le long du périphérique et de l'une des pénétrantes de Toulouse,



Carte 1 : localisation du quartier



Carte 2 : localisation du futur aménagement urbain et du mur antibruit

Polluant étudié

Le **polluant** mesuré est le dioxyde d'azote, principal indicateur de l'impact du trafic routier. Ses sources d'émissions, ses effets sur la santé et sur l'environnement sont décrits en **Annexe IV**.

Deux types de sites sont étudiés :

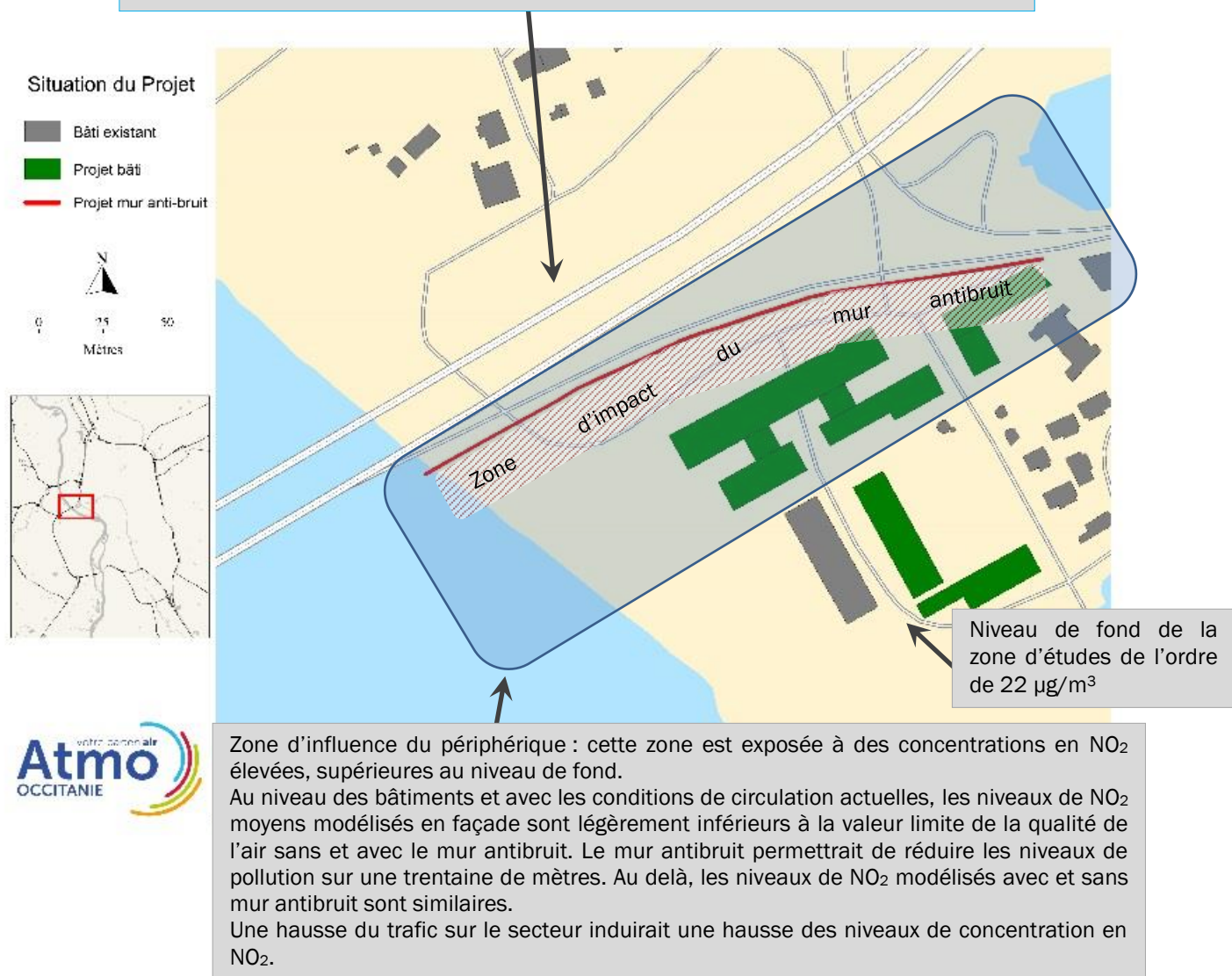
- Les sites en **proximité trafic**, afin d'estimer les niveaux maximaux auxquels sont soumises les personnes à l'échelle de la rue,

- 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**.


SYNTHÈSE DE L'ÉTUDE D'ÉVALUATION

« Zone à risque » : Les différentes études effectuées par Atmo Occitanie sur l'agglomération toulousaine ; le Plan de Protection de l'Atmosphère (PPA), le Plan de Déplacements Urbains (PDU), ainsi que la station implantée Port de l'Embouchure ont mis en évidence des dépassements systématiques de la valeur limite aux abords des principaux axes de circulation. La modélisation fine échelle, réalisée sur l'année 2017, confirme ces dépassements de la valeur limite le long du périphérique et du boulevard du Port de l'Embouchure.



Carte 3 : Synthèse de l'évaluation de la qualité de l'air sur la quartier des Amidonniers

La sous estimation du modèle pour les concentrations influencées par le trafic routier est de l'ordre de 10%.

DIOXYDE D'AZOTE				
Respect de la réglementation	Seuils réglementaires	Quartier Amidonniers Scénario 1 : quartier aménagé	Quartier Amidonniers Scénario 2 : quartier aménagé et mur antibruit de 4 mètres	Impact mur antibruit
 Proxi grands axes de circulation Zones d'habitation Fond urbain	Valeur limite 40 µg/m³	Le long du périphérique : 61 µg/m³ Boulevard du Port de l'Embouchure : 51 µg/m³	Batiment ouest : Façade nord : 26 à 28 µg/m³ Batiment Est : Façade nord: 29 à 35 µg/m³ Façade est : 27 et 33 µg/m³	↗ Jusqu'à +25%
		Concentration moyenne le long des axes : 64 µg/m³ Le long du périphérique : 61 µg/m³ Boulevard du Port de l'Embouchure : 64 µg/m³	Batiment ouest : Façade nord : 25 à 26 µg/m³ Batiment Est : Façade nord: 27 à 31 µg/m³ Façade est : 30 à 33 µg/m³	↗ Jusqu'à -13%
		22 µg/m³	↗	
Année 2017 concentration moyenne		NON	OUI	OUI

µg/m³ : microgramme par mètre cube

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.

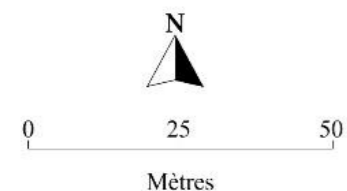
ÉVALUATION DE LA POLLUTION EN DIOXYDE D'AZOTE (NO₂)

Cartographie de la pollution au dioxyde d'azote - intégration des nouveaux bâtiments

Une simulation a été faite pour modéliser la dispersion du dioxyde d'azote avec les nouveaux bâtiments. Ces nouveaux bâtiments présentent une façade plus haute que les bâtiments actuels du côté du boulevard du Port de l'Embouchure.

Les différentes études effectuées par Atmo Occitanie sur l'agglomération toulousaine ; le Plan de Protection de l'Atmosphère (PPA), le Plan de Déplacements Urbains (PDU), ainsi que la station implantée Port de l'Embouchure ont mis en évidence des dépassements systématiques de la valeur limite aux abords du périphérique. La modélisation fine échelle, réalisée sur l'année 2017, confirme ces dépassements de la valeur limite le long du périphérique et du boulevard du Port de l'Embouchure.

Situation des NO₂ pour la protection de la santé



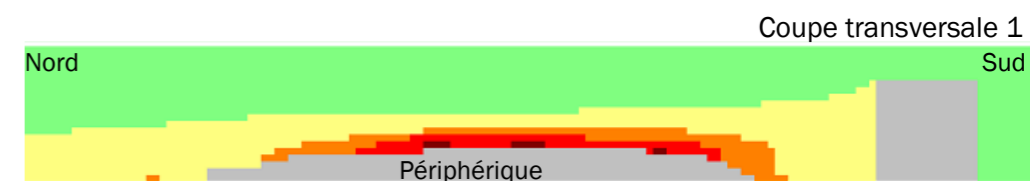
Au niveau des bâtiments les plus proches du périphérique, les concentrations annuelles en NO₂ modélisées pour les façades donnant sur le boulevard du port de l'Embouchure sont élevées, supérieures au niveau de fond de la zone d'études qui est de l'ordre de 22 µg/m³. Compte tenu de l'incertitude du modèle, elles restent proches de la valeur limite.

Avec des niveaux de NO₂ moyens en façade compris entre 29 et 35 µg/m³, Le bâtiment à l'est est le bâtiment le plus impacté par des niveaux élevés de NO₂. Compte tenu de l'incertitude du modèle, ces niveaux sont du même ordre de grandeur que la valeur limite de la qualité de l'air.

Pour le bâtiment Ouest, les concentrations en façade sont comprises entre 26 et 28 µg/m³.

La grande hauteur des bâtiments les plus proches du périphérique permet de faire écran à la pollution pour les bâtiments situés à l'arrière. Il y a donc une diminution de 3 à 4 µg/m³ des niveaux moyens de NO₂ au niveau de la seconde rangée de bâtiments en comparaison de la situation actuelle.

La dispersion des polluants est fortement liée à la direction du vent. Sur l'agglomération toulousaine, le vent dominant est de secteur Nord-Ouest. Sur la zone des Amidonniers, les vents de Nord Ouest sont perpendiculaires aux nouveaux bâtiments. Cette configuration, associée à la hauteur des bâtiments prévus, induit la formation d'un système complexe de tourbillons à l'avant et à l'arrière des bâtiments qui ont pour conséquence une diminution des niveaux de NO₂ de 3 à 5 µg/m³ dans la zone exposée au trafic routier au niveau du bâtiment Ouest en comparaison de la situation actuelle. Pour le bâtiment Est, les niveaux de NO₂ restent globalement inchangés.



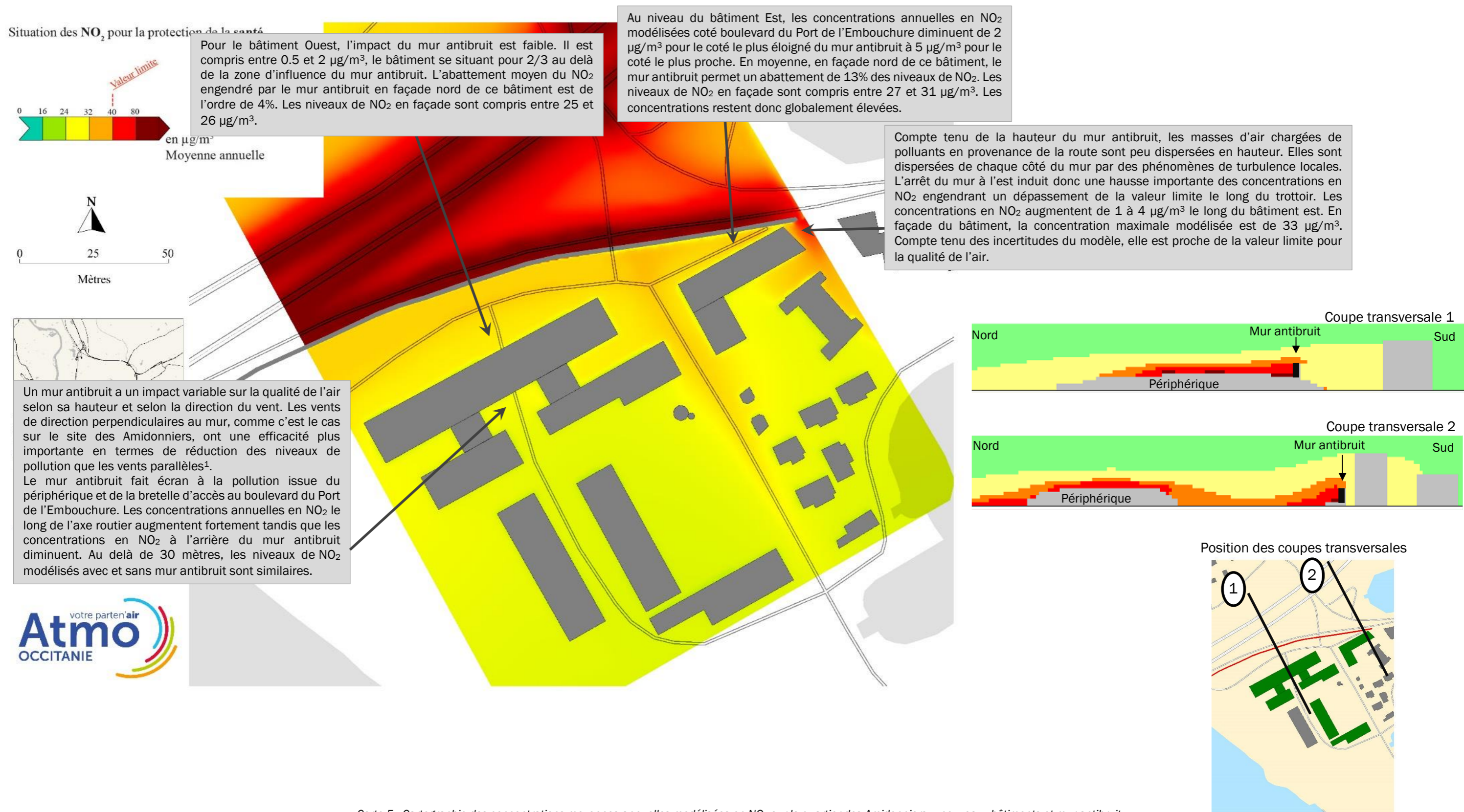
Position des coupes transversales



Carte 4 : Cartographie des concentrations moyennes annuelles modélisées en NO₂ sur la quartier des Amidonniers - Nouveaux bâtiments

Cartographie de la pollution au dioxyde d'azote - intégration des nouveaux bâtiments et du mur antibruit

Une simulation a été faite pour modéliser la dispersion du dioxyde d'azote avec les nouveaux bâtiments et un mur antibruit longeant le boulevard du Port de l'Embouchure d'une hauteur de 4 mètres.



Carte 5 : Cartographie des concentrations moyennes annuelles modélisées en NO_2 sur la quartier des Amidonniers - nouveaux bâtiments et mur antibruit

¹ Source : Rapport ADEME. Impact des aménagements routiers sur la pollution atmosphérique : État de l'art des études traitant de l'impact des aménagements routiers (solutions antibruit, solutions spécifiques) sur la pollution atmosphérique. Marché ADEME n°1062c0037. Synthèse réalisée par Cap Environnement, 68 pages, Juillet 2011.

Comparaison à la réglementation

Dans les deux scénarios, la valeur limite pour la protection de la santé est dépassée à proximité des grands axes routiers de la zone d'études, le périphérique et le boulevard du Port de l'Embouchure.

Sur le reste de la bande d'étude, la réglementation est respectée. Il n'y a pas d'habitation exposée à des concentrations supérieures à la valeur limite pour la protection de la santé.

Situation par rapport à l'agglomération toulousaine

Pour les deux scénarii, les concentrations en NO₂ en fond urbain dans la bande d'études sont légèrement supérieures à celles mesurées sur le reste de l'agglomération toulousaine tandis que les niveaux à

proximité du trafic sur la bande d'études sont similaires à ceux mesurés sur le reste de l'agglomération toulousaine.






 Année 2017 concentration moyenne SCENARIO 1	 Quartier Amidonniers Environnement <u>urbain</u>	 Quartier Amidonniers Environnement <u>trafic</u>	 Agglo. toulousaine Environnement <u>urbain</u>	 Agglo. toulousaine Environnement <u>trafic</u>
	Année 2017 concentration moyenne SCENARIO 2	22 µg/m ³	61 µg/m ³	19 µg/m ³
	22 µg/m ³	64 µg/m ³		

Tableau 1 : Niveaux en NO₂ sur la bande d'étude pour les deux scénarii et l'agglomération toulousaine, 2017

Rappel des données d'entrée

- L'ensemble de ces simulations a été fait à trafic constant : Émissions du trafic routier calculées à partir des données de trafic les plus récentes à disposition d'Atmo Occitanie
- Données météorologiques Toulouse Blagnac 2017,
- Concentration de fond de référence : moyenne des concentrations annuelles 2017 en NO₂ des stations de fond de l'agglomération toulousaine
- Caractéristiques des bâtiments et du mur antibruit fournis par Toulouse Métropole

La sous estimation du modèle pour les concentrations influencées par le trafic routier est de l'ordre de 10%.

Conclusions



Les bâtiments les plus proches du périphérique sont influencés par la proximité du périphérique. Ils sont soumis à des niveaux de NO₂ supérieurs au niveau de fond urbain. Compte tenu de l'incertitude du modèle, les concentrations moyennes en NO₂ modélisées au niveau des façades des bâtiments les plus proches du périphérique sont du même ordre de grandeur que la valeur limite de la qualité de l'air pour les deux scénarii étudiés.

Le mur Antibruit permettrait une réduction de l'impact du périphérique et du boulevard du Port de l'Embouchure sur les niveaux de NO₂ sur une trentaine de mètres. Au delà, les niveaux de NO₂ modélisés avec et sans mur antibruit sont similaires et restent élevées.

La modélisation a été réalisée avec les données trafic les plus récentes à disposition d'Atmo Occitanie. Une hausse du trafic sur le secteur induira une hausse des niveaux de concentration en NO₂.

Confirmation par la modélisation fine échelle de dépassements de la valeur limite le long du périphérique et du boulevard du Port de l'Embouchure.

Niveaux de pollution à proximité des axes routiers similaires à ceux rencontrés sur le reste de l'agglomération toulousaine.

Valeurs limites réglementaires dépassées en bordure du périphérique et du boulevard Port de l'Embouchure.

Niveaux de pollution en fond urbain légèrement supérieurs à ceux rencontrés sur le reste de l'agglomération toulousaine.

ANNEXE I : DISPOSITIF DE MESURE

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 **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 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 l'impact de l'aménagement du quartier

Les échantillonneurs passifs permettent d'évaluer la dispersion du NO₂ par rapport à la distance à la voie. Pour cette étude, le niveau de pollution en dioxyde d'azote a été évalué sur 19 sites (18 en proximité trafic et 1 de fond).

Les échantillonneurs passifs ont été implantés sur sites durant deux semaines entre le 28 septembre et le 12 octobre 2017.



Carte 6 : Position des échantillonneurs passifs dans la bande d'étude, 2017

Mesure du dioxyde d'azote

Les niveaux en NO₂ sont évalués à l'aide de la station de mesures située Port de l'Embouchure ainsi que par des échantillonneurs passifs implantés sur 19 sites (18 sites

sont sous influence trafic, un site est représentatif du fond urbain.

	Station Port de l'Embouchure	Echantillonneurs passifs
Concentration moyenne annuelle	52 µg/m ³	Médiane des 19 mesures 35 µg/m ³ 1 site en fond urbain 21 µg/m ³ 18 sites sous influence trafic 42 µg/m ³
Dépassement de 200 µg/m³ en concentration horaire	2 dépassements Maximum enregistré : 214 µg/m ³	

Tableau 2 : Valeurs estimées sur l'année sur le dispositif de mesures du NO₂, 2017

DISPERSION DES MESURES SUR LES 19 SITES

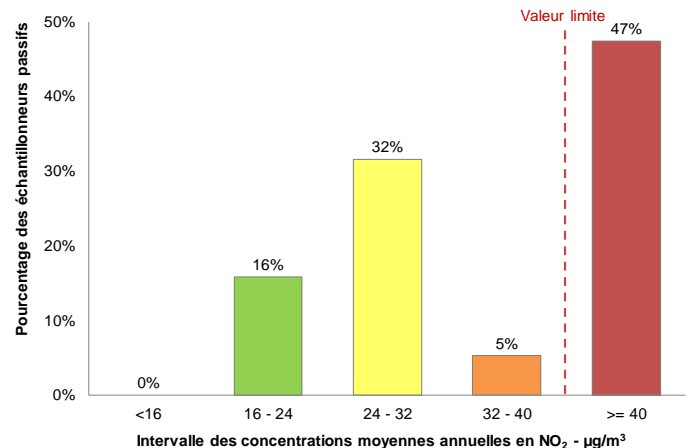
Le tableau ci-dessous décrit les statistiques issues des concentrations moyennes en NO₂ estimées sur l'année. Il met en évidence des variations de concentrations importantes entre les sites.

En proximité trafic, la turbulence atmosphérique est importante, donc les concentrations sont plus hétérogènes. Cela induit un écart-type élevé.

	Echantillonneurs passifs				
	Minimum	Maximum	Moyenne	Médiane	Ecart Type
Sites de mesures – quartier des Amidonniers	21 µg/m ³	94 µg/m ³	40 µg/m ³	35 µg/m ³	± 19 µg/m ³

Tableau 3 : Valeurs statistiques de l'échantillon des mesures par échantillonneurs passifs NO₂, 2017

Le graphe ci-contre met en évidence la dispersion des concentrations des échantillonneurs passifs sur les sites de mesure. Près de la moitié des sites de mesures sont supérieurs à la valeur limite de 40µg/m³, mettant ainsi en évidence une influence importante du périphérique, de la voie de sortie et du boulevard Port de l'Embouchure vers Toulouse.

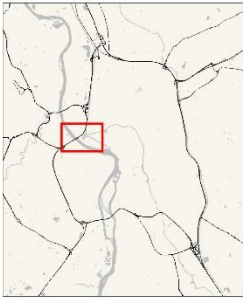
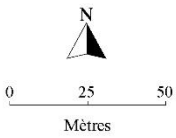
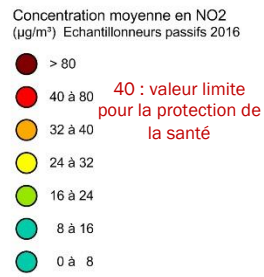


Graph 1 : Répartition des échantillonneurs passifs en fonction des intervalles de concentration en NO₂, 2017

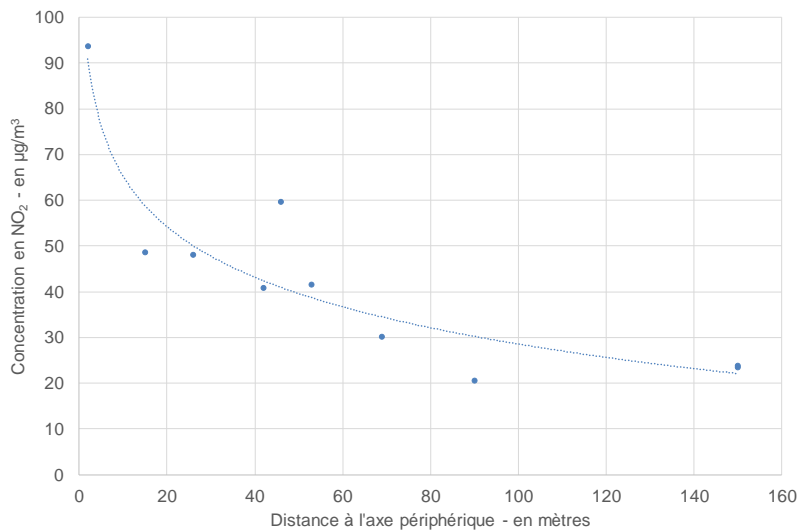
SCENARISATION DE LA DISPERSION DE LA POLLUTION DE L'AIR DANS L'ENVIRONNEMENT DU PROJET D'AMENAGEMENT URBAIN LES AMIDONNIERS – ANNÉE 2017

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

Sept sites de mesure sont en dépassement de la valeur limite réglementaire. La concentration maximale est de 60 µg/m³.



Carte 7 : Concentrations moyennes annuelles estimées des échantillonneurs passifs en NO₂, 2017



Graph 2 : Concentration en dioxyde d'azote en fonction de la distance à l'axe périphérique, 2017

ANNEXE II - CARTOGRAPHIE DE LA POLLUTION AU DIOXYDE D'AZOTE – ETAT INITIAL

Cartographie de la pollution au dioxyde d'azote – état initial

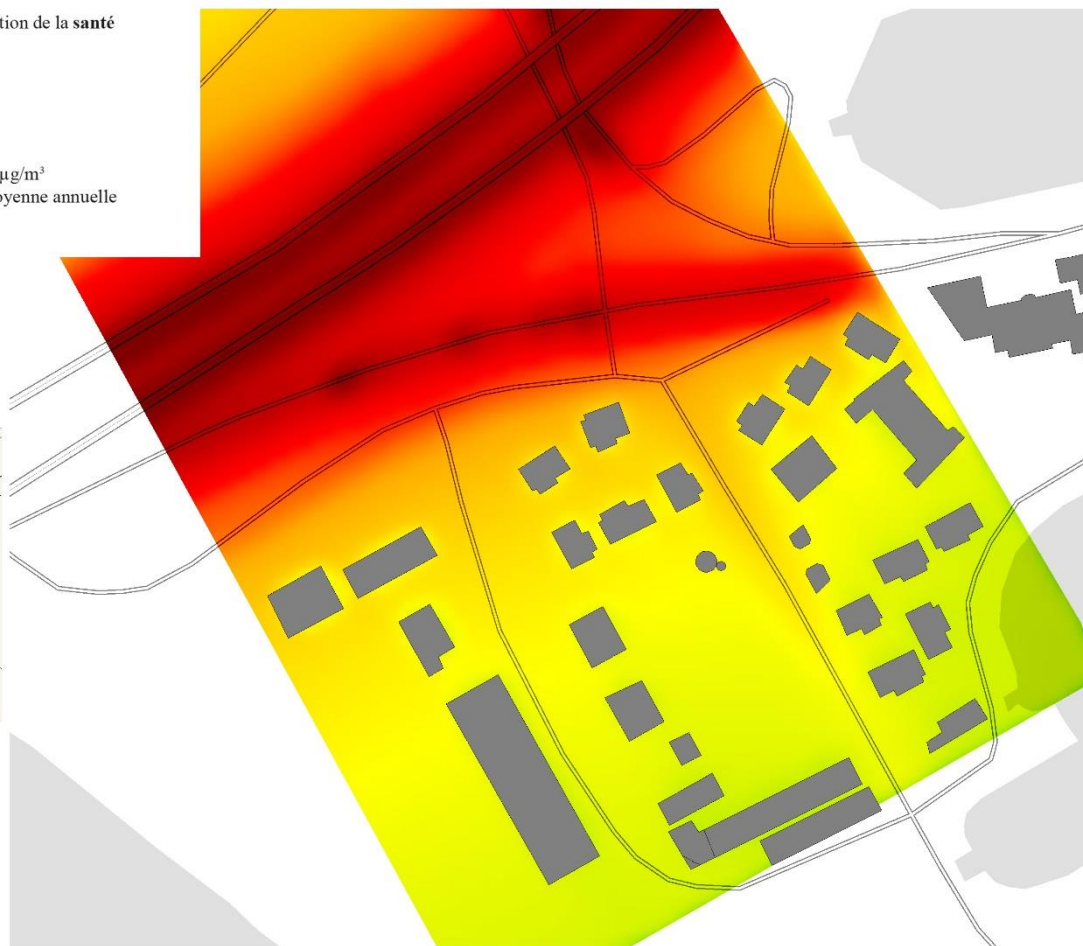
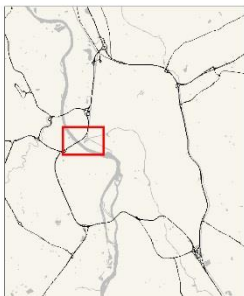
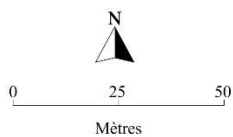
Les différentes études effectuées par Atmo Occitanie sur l'agglomération toulousaine ; le Plan de Protection de l'Atmosphère (PPA), le Plan de Déplacements Urbains (PDU), ainsi que la station implantée Port de l'Embouchure ont mis en évidence des dépassements systématiques de la valeur limite aux abords du périphérique. La modélisation fine échelle, réalisée sur l'année 2017, confirme ces dépassements de la valeur limite le long du périphérique et du boulevard du Port de l'Embouchure.

Au niveau des bâtiments actuels les plus proches du périphérique, l'influence de cet axe routier sur les niveaux de NO₂, est visible. Les concentrations annuelles en NO₂ modélisées pour les façades donnant sur le boulevard du

port de l'Embouchure sont supérieures au niveau de fond la zone d'études qui est de l'ordre de 22 µg/m³. En bordure des habitations, les concentrations en NO₂ modélisées sont inférieures à la valeur limite de la qualité de l'air.

A l'arrière de la première ligne de bâtiments, les concentrations en NO₂ diminuent progressivement jusqu'à atteindre le niveau de fond au-delà de 100 mètres du périphérique.

Situation des NO₂ pour la protection de la santé



Carte 8 : Cartographie des concentrations moyennes annuelles modélisées en NO₂ sur la quartier des Amidonniers – situation initiale

ANNEXE III - NOTES MÉTHODOLOGIQUES

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

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.

Le modèle MISKAM

PRESENTATION

La modélisation de la pollution de l'air a été réalisée à l'aide du logiciel de modélisation 3D MISKAM, un modèle pronostique tridimensionnel d'écoulement de micro-échelle à travers des équations de la mécanique des fluides 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.

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.

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.

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, données de pollution de fond....

LES DONNEES

Différentes données d'entrée sont nécessaires au fonctionnement du modèle.

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 la station météorologique la plus proche de la zone d'études, la station météorologique de Toulouse Blagnac. La modélisation a été réalisée avec les données météorologiques de l'année 2017.

Les émissions de trafic

Le calcul des émissions pour le trafic routier a été réalisé en utilisant la méthodologie COPERT IV (Computer Programme to Calculate Emissions from Road Transport) et en se basant sur les données trafic les plus récentes du réseau structurant à la disposition d'Atmo Occitanie. 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 départementaux, ASF, DIRSO, DIRMC, Collectivités, modèles trafic (SGGD), etc.). Sur ces axes, la méthodologie COPERT IV permet le calcul des émissions 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.

Niveau de fond

Afin de connaître l'impact du trafic routier sur un quartier, il est nécessaire de connaître son niveau de pollution de fond. La pollution de fond est générée par l'ensemble des activités extérieures à la zone d'étude (chauffage, industries, apports extérieurs...). La concentration de pollution de fond en dioxyde d'azote utilisée pour cette étude correspond à la moyenne des concentrations annuelles de NO₂ des trois stations de fond implantées sur l'agglomération toulousaine

Données météorologiques

Pour cette étude, les données météorologiques introduites dans le modèle proviennent de la station météorologique de Toulouse Blagnac. La modélisation est réalisée pour obtenir des concentrations horaires. Les

Topographie des rues

Les caractéristiques des rues et notamment leur altitude ont été établies à partir de la BD-Alt.

Morphologie du bâti

Les caractéristiques des bâtiments et du mur antibruit comme leur hauteur ont été fournis par Toulouse Métropole.

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.

Incertitudes

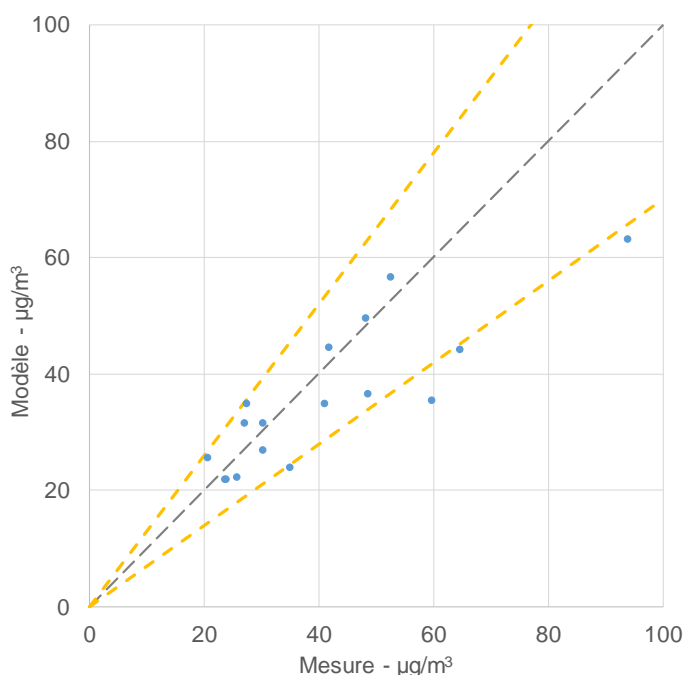
Toute démarche scientifique est entachée d'incertitude. Il est important d'estimer la part d'incertitude liée à une présentation de résultats. Nous essayons, dans la mesure du possible et basé sur notre expérience en la matière, de donner une idée de l'incertitude et de la représentativité des valeurs citées.

Le plus grand facteur d'incertitude pour le résultat de la modélisation est l'incertitude sur les émissions de NO₂ par le trafic routier. La connaissance des émissions réelles est prépondérante. Or, nous ne disposons pas de données réelles de trafic et de composition de la flotte sur l'ensemble du domaine d'études.

Les émissions du trafic

Méthodologie de la validation du modèle

Un modèle performant



Les critères statistiques utilisés pour valider le modèle ont été choisis en tenant compte des recommandations du faites par J.C. Chang et S. R. Hanna dans leurs mesures de la performance de modèles de qualité de l'air¹.

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 16 observations	Caractéristiques d'un modèle performant
FB	0.13	-0.3 < FB < 0.3
MG	1.09	-0.7 < MG < 1.3
NMSE	0.09	NMSE ≤ 2
VG	1.07	VG < 1.6
FAC2	1	FAC2 > 0.5
r	0.81	Le plus proche de 1

Les valeurs proches de 0 du biais fractionnel (FB) indiquent qu'en moyenne, le modèle tend à bien estimer les valeurs observées. Le tracé mesure / modèle indique une répartition homogène entre les concentrations surestimées et les concentrations sous estimées sur l'ensemble de la gamme de concentrations observées.

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, **81%** des concentrations modélisées sont corrélées avec les mesures.

La directive européenne 2008/50/CE du 21 mai 2008 concernant la qualité de l'air ambiant et un air pur pour l'Europe fixe des objectifs de qualité pour les concentrations modélisées.

Pour le NO₂, l'erreur sur la moyenne annuelle doit être inférieure à ±30%. (cette incertitude est représentée par les lignes oranges sur le graphe).

L'erreur sur la moyenne annuelle est calculée selon la formule suivante :

$$\text{Erreur} = \frac{(\text{modèle} - \text{mesure})}{\text{mesure}}$$

Pour les sites de fond, les erreurs sur la moyenne annuelle obtenues en NO₂ sont inférieures à 30% et respectent donc la directive européenne.

Pour les sites en proximité trafic, l'erreur maximale obtenue est de -41%. Le modèle tend à sous estimer les concentrations influencées par le trafic routier. La sous estimation est de l'ordre de 10%.

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.

¹ J.C Chang and S. R Hanna : Air quality model performance evaluation, Meteorology and Atmospheric Physics 87, 167-196 (2004)

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) :

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

- 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 :

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

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

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

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

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

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

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 corrigable 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 LE DIOXYDE D'AZOTE – NO₂

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.

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.

Surveillance de la qualité de l'air en Occitanie

24 heures/24 • 7 jours/7

• • prévisions • •

• • mesures • •



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

www.atmo-occitanie.org

<http://www.atmo-occitanie.org>