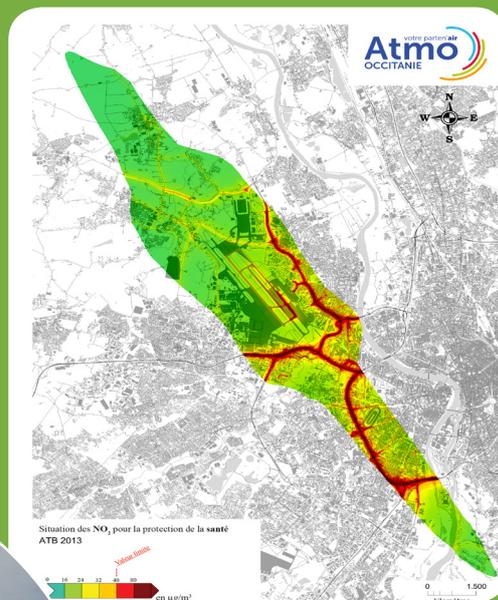


Suivi de qualité de l'air à l'Aéroport Toulouse-Blagnac



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

UN PROGRAMME AXÉ SUR L'ÉTUDE DE LA FAISABILITÉ DE MODÉLISER LES NIVEAUX DE POLLUTION SUR LA ZONE AÉROPORTUAIRE	3
DÉVELOPPEMENT ET VALIDATION DE L'OUTIL DE MODÉLISATION	8
ANNEXE I : RÉSULTATS DES MESURES DE PARTICULES DE DIAMÈTRE INFÉRIEUR À 10 µM DANS L'ENVIRONNEMENT DE L'AÉROPORT TOULOUSE - BLAGNAC.....	17
ANNEXE II : RÉSULTATS DES MESURES DE DIOXYDE D'AZOTE DANS L'ENVIRONNEMENT DE L'AÉROPORT TOULOUSE - BLAGNAC	25
ANNEXE III : RÉSULTATS DES MESURES DU BENZÈNE DANS L'ENVIRONNEMENT DE L'AÉROPORT TOULOUSE - BLAGNAC	33
ANNEXE IV : CONDITIONS MÉTÉOROLOGIQUES.....	37
ANNEXE V : PRINCIPAUX RÉSULTATS DE L'INVENTAIRE DES ÉMISSIONS DE L'ACTIVITÉ AÉROPORTUAIRE	38
ANNEXE VI : TAUX DE FONCTIONNEMENT DU RÉSEAU DE SUIVI DE LA QUALITÉ DE L'AIR	40
ANNEXE VII : DISPOSITIF DE MESURE POUR LA VALIDATION DU MODÈLE.....	41
ANNEXE VIII : NOTE MÉTHODOLOGIQUE DE L'ADAPTATION STATISTIQUE DES MESURES	45
ANNEXE IX : NOTE MÉTHODOLOGIQUE DE L'INVENTAIRE, DE LA MODÉLISATION ET DE LA CARTOGRAPHIE	47
ANNEXE X : ANALYSE DE LA PERFORMANCE DU MODÈLE À L'AIDE DE CRITÈRES STATISTIQUES.....	54
ANNEXE XI : BIAIS MESURES / MODÈLE MENSUELS CALCULÉS À PARTIR DES MOYENNES JOURNALIÈRES.....	59

UN PROGRAMME AXÉ SUR L'ÉTUDE DE LA FAISABILITÉ DE MODELISER LES NIVEAUX DE POLLUTION SUR LA ZONE AÉROPORTUAIRE

Objectif du suivi

Depuis plusieurs années, des démarches ont été entreprises par le gestionnaire de l'aéroport Toulouse-Blagnac afin de répondre à un objectif permanent : « Satisfaire au mieux l'ensemble des clients, des partenaires, des collectivités locales, des riverains et des collaborateurs » et à un enjeu global « Maîtriser les risques qualité, sécurité, sûreté et environnementaux ».

La qualité de l'air est, ainsi, au même titre que la maîtrise du bruit ou la gestion de l'énergie, l'un des enjeux environnementaux de l'aéroport Toulouse-Blagnac. En effet, l'aéroport Toulouse-Blagnac, comme toutes les zones aéroportuaires, concentrent de nombreuses activités émettrices de polluants atmosphériques : non seulement le trafic aérien, mais aussi le trafic routier, les divers engins, les véhicules de piste et de transport en commun, les installations de chauffage, de climatisation et de production d'énergie, les ateliers de maintenance...

Depuis 2005, la surveillance de la qualité de l'air dans l'environnement de l'aéroport Toulouse Blagnac est basée sur une approche météorologique. Deux stations pérennes équipées d'analyseurs sont implantées, l'une à proximité des pistes, la seconde a coté des parcs de stationnement. Elles permettent la surveillance en continu des polluants suivants :

- les particules de diamètre inférieur à 10 µm,
- le dioxyde d'azote
- le benzène.

Les concentrations mesurées depuis 2005 montrent que la qualité de l'air dans l'environnement de l'aéroport Toulouse Blagnac est caractéristique d'un environnement périurbain. En outre, du fait de l'insertion de l'aéroport dans le tissu urbain toulousain, la qualité de l'air de la zone subit de nombreuses influences dans des proportions variables.

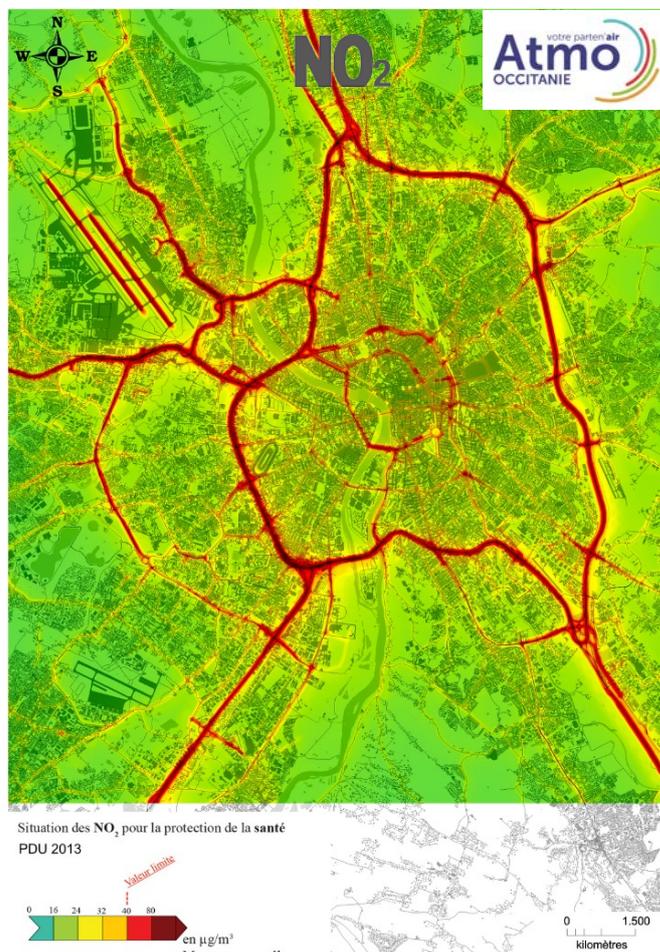
Les activités aéroportuaires, le trafic routier (véhicules accédant à l'aéroport mais également grands axes de circulation), le secteur résidentiel et tertiaire de l'agglomération toulousaine sont autant de secteurs impactant la qualité de l'air de la zone. **Les mesures faites dans l'environnement, en deux sites, montrent que les activités aéroportuaires ont une influence limitée sur la qualité de l'air mais elles ne permettent pas de les quantifier spatialement avec précision.** Le bilan 2016 des stations de mesures implantées dans l'environnement de l'aéroport Toulouse Blagnac est présenté en annexe I pour les particules PM10, en annexe II pour le dioxyde d'azote et en annexe III pour le benzène.

Pour cartographier finement l'impact des activités aéroportuaires, les deux stations de surveillance ne suffisent pas. Il est nécessaire d'étoffer la stratégie de surveillance de la qualité de l'air de l'environnement de

l'aéroport en réalisant une modélisation fine échelle sur la zone.

Depuis 2010, Atmo Occitanie réalise des cartographies des principaux polluants atmosphériques sur l'agglomération toulousaine. Pour la zone aéroportuaire, seules les émissions des avions étaient prises en compte. Elles étaient calculées en fonction des données de vols fournies par l'aéroport Toulouse Blagnac. 20% des émissions totales des avions en mouvement étaient affectées à la zone d'emprise au sol de l'aéroport. En outre, les émissions étaient considérées constantes pour chaque heure de l'année.

Pour la modélisation du Plan de Déplacement Urbain 2013, les émissions des avions (soient 20% des émissions totales des avions en mouvement) ont été affectées aux 2 pistes de l'aéroport. Une variation temporelle horaire selon le type de jour (semaine, vendredi, samedi ou dimanche) a en outre été prise en compte. Les méthodologies d'inventaire des sources de pollution, et les données d'entrée du modèle sont décrites dans l'Annexe IX.



Carte 1 : Distribution du dioxyde d'azote sur l'agglomération toulousaine en 2013

Les hypothèses prises dans le cadre de ces modélisations ne permettent pas une description fine la qualité de l'air de la zone aéroportuaire.

L'objectif de l'étude est donc d'examiner la **faisabilité de modéliser la dispersion des polluants émis par les aéronefs** avec le modèle de dispersion utilisé par Atmo Occitanie à fine échelle spatiale.

Ce projet de modélisation de la zone aéroportuaire a nécessité :

- le développement d'une méthodologie permettant de prendre en compte les émissions des aéronefs en phase de décollage et d'atterrissage,
- la validation des cartes de dispersion obtenues à l'aide de mesures faites dans l'environnement. Dans ce but, une campagne de mesures a été réalisée en 2016. Le dispositif de mesure est détaillé en Annexe VII.

Les polluants modélisés sont les principaux polluants à enjeux sur l'agglomération toulousaine.

Une influence limitée des activités aéroportuaires sur les niveaux de pollution relevés par les stations fixes de mesures

Dans le but de valider les résultats du modèle de dispersion, une station de mesures ponctuelle a été installée sur la zone aéroportuaire pendant 15 jours en 2016. **Les niveaux en dioxyde d'azote et particules PM10 relevés sur cette station ont été utilisés pour réaliser une estimation des moyennes annuelles 2016 en NO₂ et PM10 pour ce site.** La méthodologie utilisée est présentée en annexe VIII.

Pour les trois stations de surveillance implantées dans l'environnement de l'aéroport Toulouse-Blagnac :

- les niveaux relevés en 2016 pour tous les polluants étudiés respectent les réglementations fixées sur une année de mesures.
- Les axes de circulation les plus proches influencent légèrement les niveaux de particules mesurés. Ces mêmes axes de circulation ont une influence plus importante sur les niveaux de dioxyde d'azote.
- Sur la station parcs de stationnement, le trafic routier sur les axes d'accès à la zone aéroportuaire influence également les niveaux des polluants étudiés.

Les mesures faites dans l'environnement, en trois sites de mesures, montrent que les activités aéroportuaires ont une influence limitée sur la qualité de l'air.

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

Cette évaluation de la zone aéroportuaire permet d'accompagner les travaux réalisés au niveau national par l'Autorité de Contrôle des Nuisances Aéroportuaires (ACNUSA). En effet, depuis le 1^{er} novembre 2010, l'ACNUSA, dont la mission principale est le contrôle des nuisances sonores, a vu ses compétences élargies par la loi « Grenelle 2 » du 12 juillet 2010. Elle est notamment chargée de « contribuer au débat en matière d'environnement aéroportuaire ».

A travers son partenariat avec l'ORAMIP, l'aéroport Toulouse-Blagnac participe à l'amélioration des connaissances de la qualité de l'air en région Midi-Pyrénées.



Situation au niveau du dispositif de mesures

PM10		PARTICULES DE DIAMÈTRE INFÉRIEUR À 10 MICRONS			
		Respect de la réglementation	Valeurs réglementaires	Commentaire	Comparaison avec le fond urbain toulousain
Exposition de longue durée	Valeurs limites	OUI	40 µg/m ³ en moyenne annuelle	Moyenne annuelle Pistes : 15 µg/m ³ Parcs de stationnement : 16 µg/m ³ Station provisoire : 15 µg/m ^{3*}	=
		OUI	Ne pas dépasser 35 jours par an la concentration journalière de 50 µg/m ³ .	moyenne journalière Pistes : 0 Parcs de stationnement : 0 Station provisoire : 0*	=
	Objectif de qualité	OUI	30 µg/m ³ en moyenne annuelle	Moyenne annuelle Pistes : 15 µg/m ³ Parcs de stationnement : 16 µg/m ³ Station provisoire : 15 µg/m ^{3*}	=

µg/m³ : microgramme par mètre cube

NO ₂		DIOXYDE D'AZOTE			
		Respect de la réglementation	Valeurs réglementaires	Commentaire	Comparaison avec le fond urbain toulousain
Exposition de longue durée	Valeurs limites pour la protection de la santé	OUI	40 µg/m ³ en moyenne annuelle	Moyenne annuelle Pistes : 18 µg/m ³ Parcs de stationnement : 22 µg/m ³ Station provisoire : 16 µg/m ^{3*}	=
		OUI	200 µg/m ³ en centile 99.8 des moyennes horaires (soit 18 heures de dépassement autorisées par année civile)	Maximum horaire Pistes : 126 µg/m ³ Parcs de stationnement : 160 µg/m ³ Station provisoire : 106 µg/m ^{3*}	=

µg/m³ : microgramme par mètre cube

C ₆ H ₆		BENZÈNE			
		Respect de la réglementation	Valeurs réglementaires	Commentaire	Comparaison avec le fond urbain toulousain
Exposition de longue durée	Valeurs limites	OUI	5 µg/m ³ en moyenne annuelle	Moyenne annuelle Parcs de stationnement : 1.1 µg/m ³	<
	Objectif de qualité	OUI	2 µg/m ³ en moyenne annuelle	Moyenne annuelle Parcs de stationnement : 1.1 µg/m ³	<

µg/m³ : microgramme par mètre cube

Un outil de modélisation performant

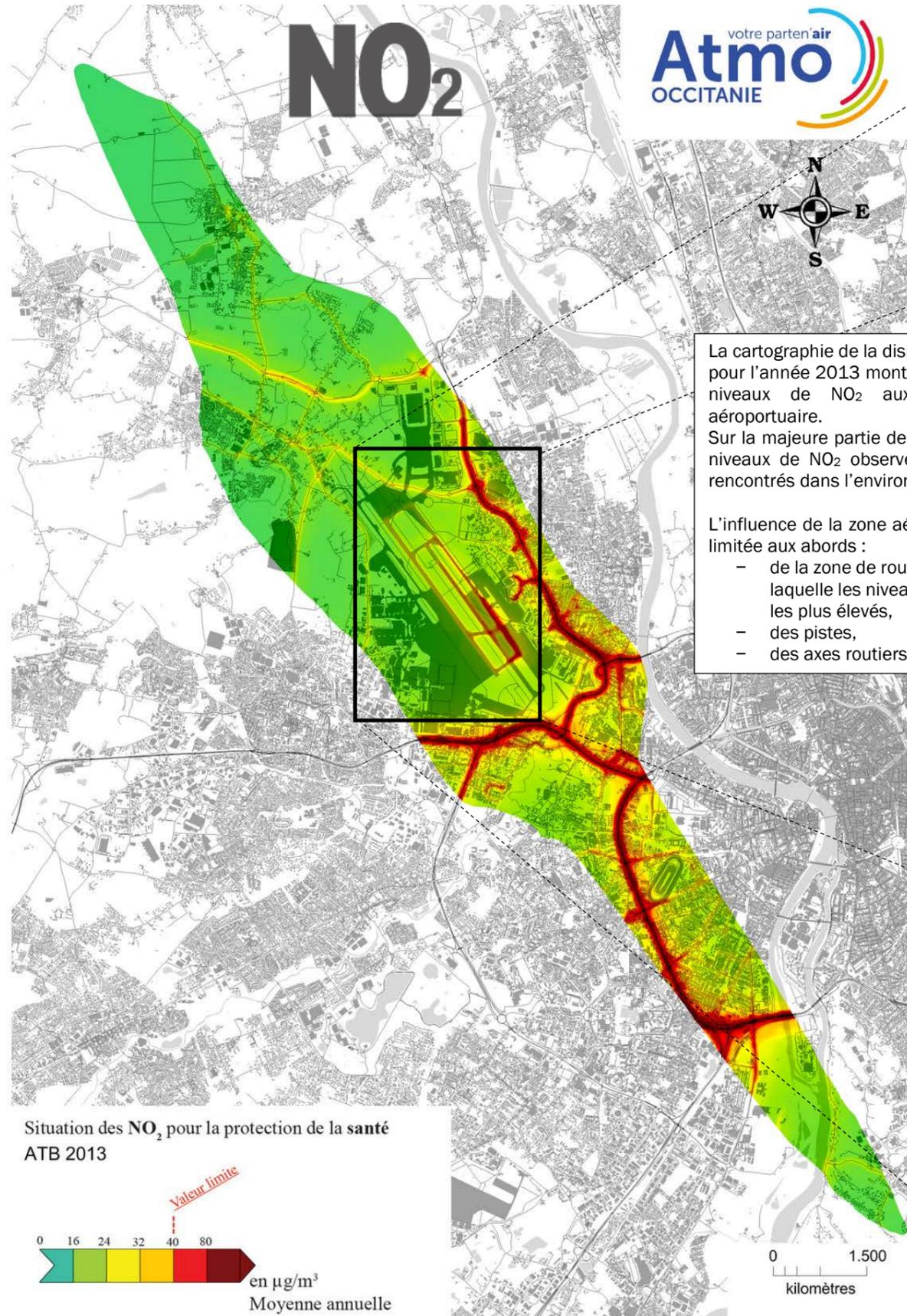
L'étude des performances de l'outil de modélisation développé par Atmo Occitanie a permis de conclure à une reproduction satisfaisante des niveaux de NO₂ et PM10 dans l'environnement de l'aéroport Toulouse-Blagnac. Le modèle peut donc être utilisée de manière opérationnelle.

En 2017, cet outil de modélisation sera utilisé afin d'établir l'impact des émissions de la zone aéroportuaire sur les concentrations mesurées dans l'environnement

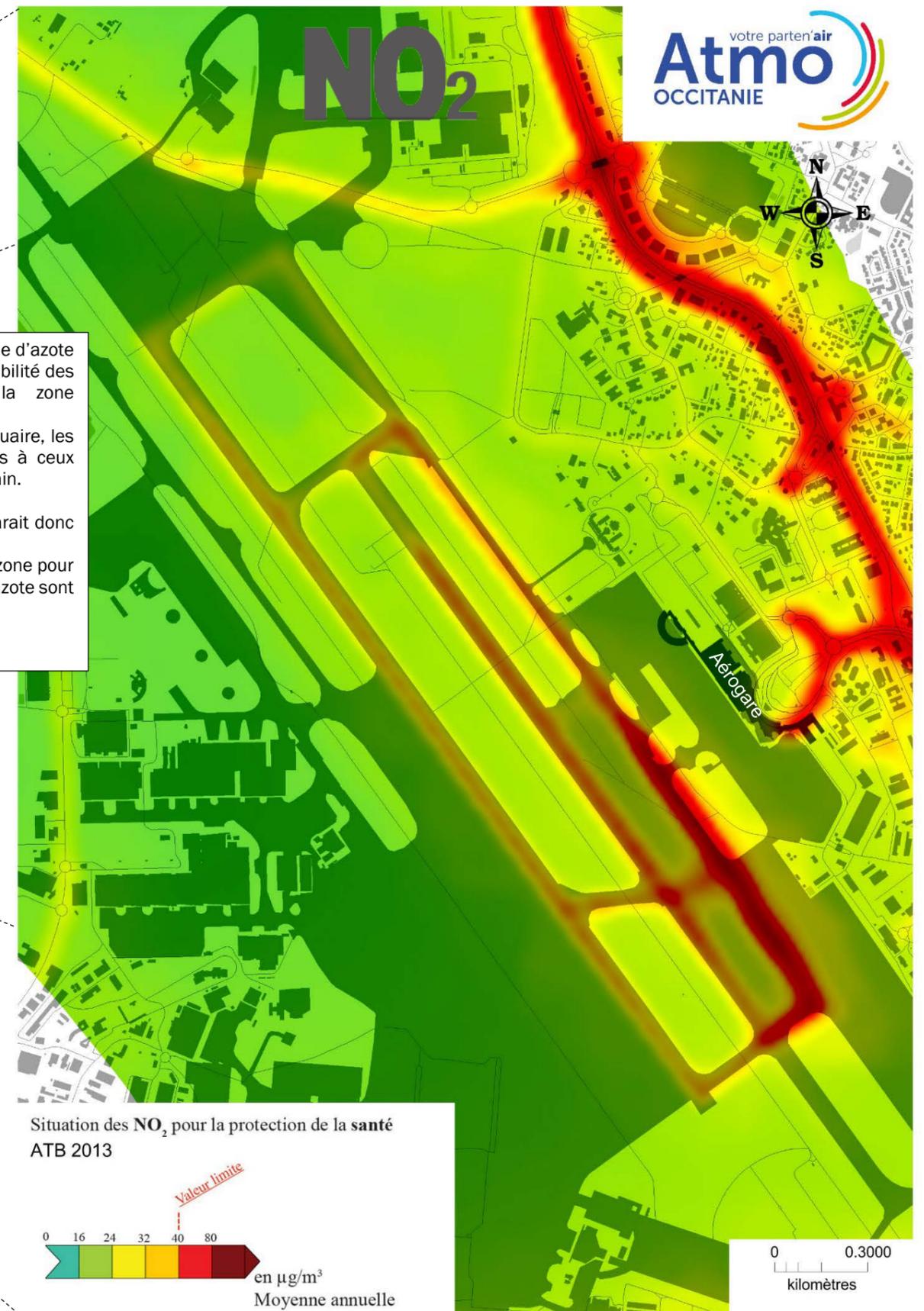
- sur une année,
- lors d'un épisode de pollution.

A terme, plusieurs applications sont envisagées :

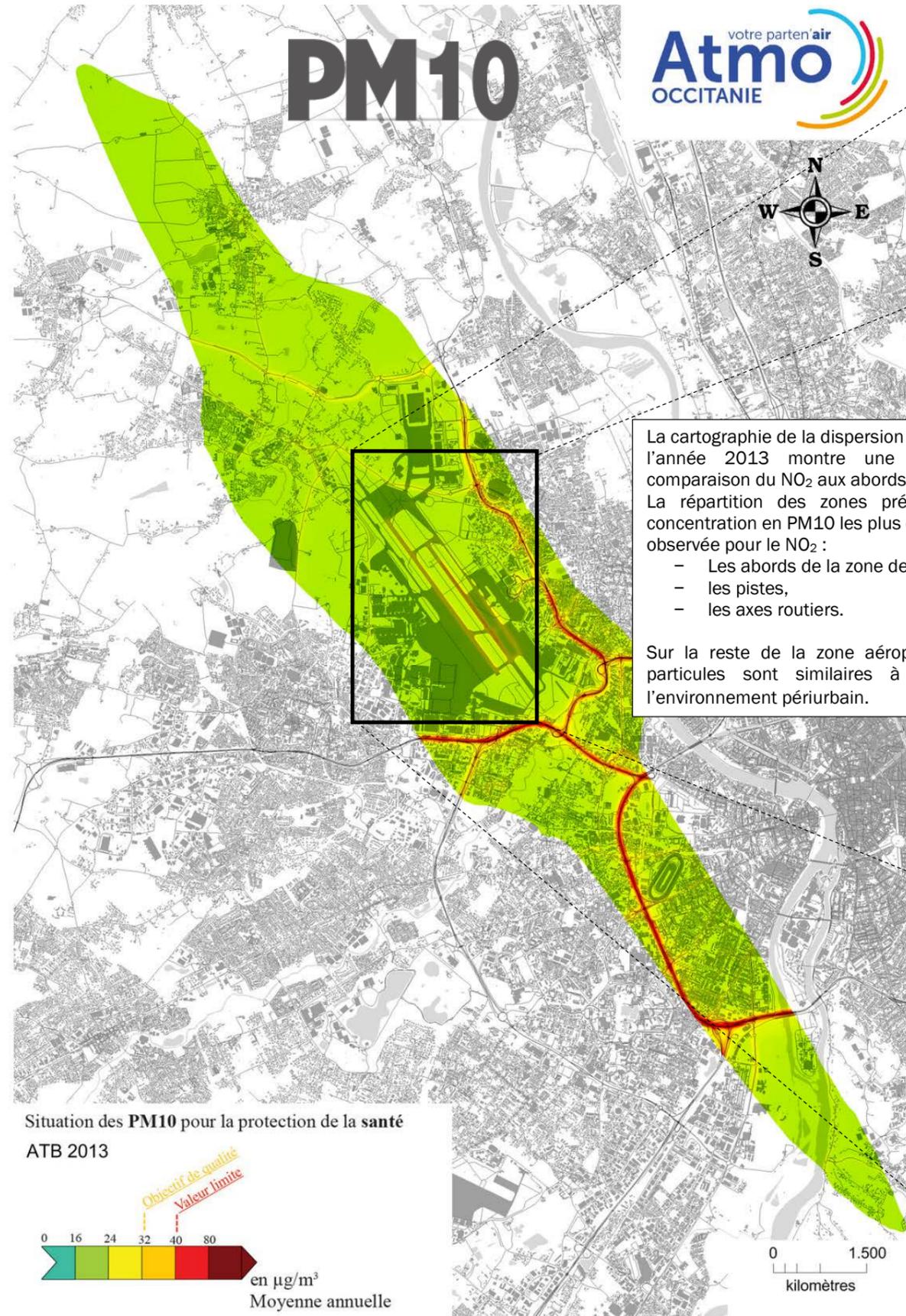
- Production de cartographies annuelles de la zone afin d'évaluer l'exposition des populations,
- Évaluation de l'impact lors d'épisodes de pollution
- Évaluation de l'impact de scénarii prospectifs (hausse du trafic aérien...)



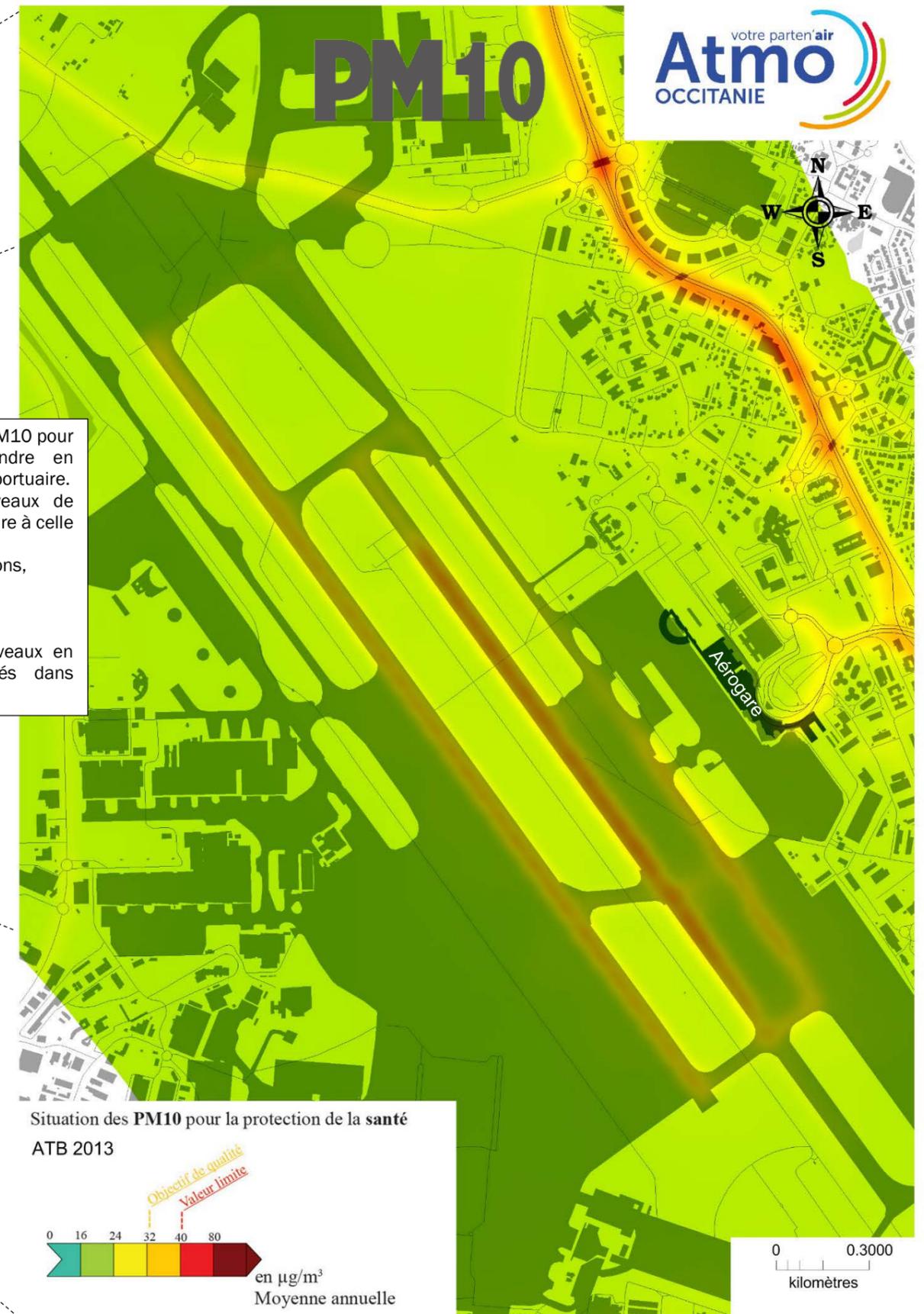
Carte 2 : Répartition du dioxyde d'azote dans l'environnement de l'aéroport Toulouse Blagnac en 2013



Carte 3 : Répartition du dioxyde d'azote aux abords de l'aéroport Toulouse Blagnac en 2013



Carte 4 : Répartition des particules PM10 dans l'environnement de l'aéroport Toulouse Blagnac en 2013



Carte 5 : Répartition des particules PM10 aux abords de l'aéroport Toulouse Blagnac en 2013

DÉVELOPPEMENT ET VALIDATION DE L'OUTIL DE MODELISATION

Un domaine d'études en cohérence avec le Plan d'Exposition au Bruit

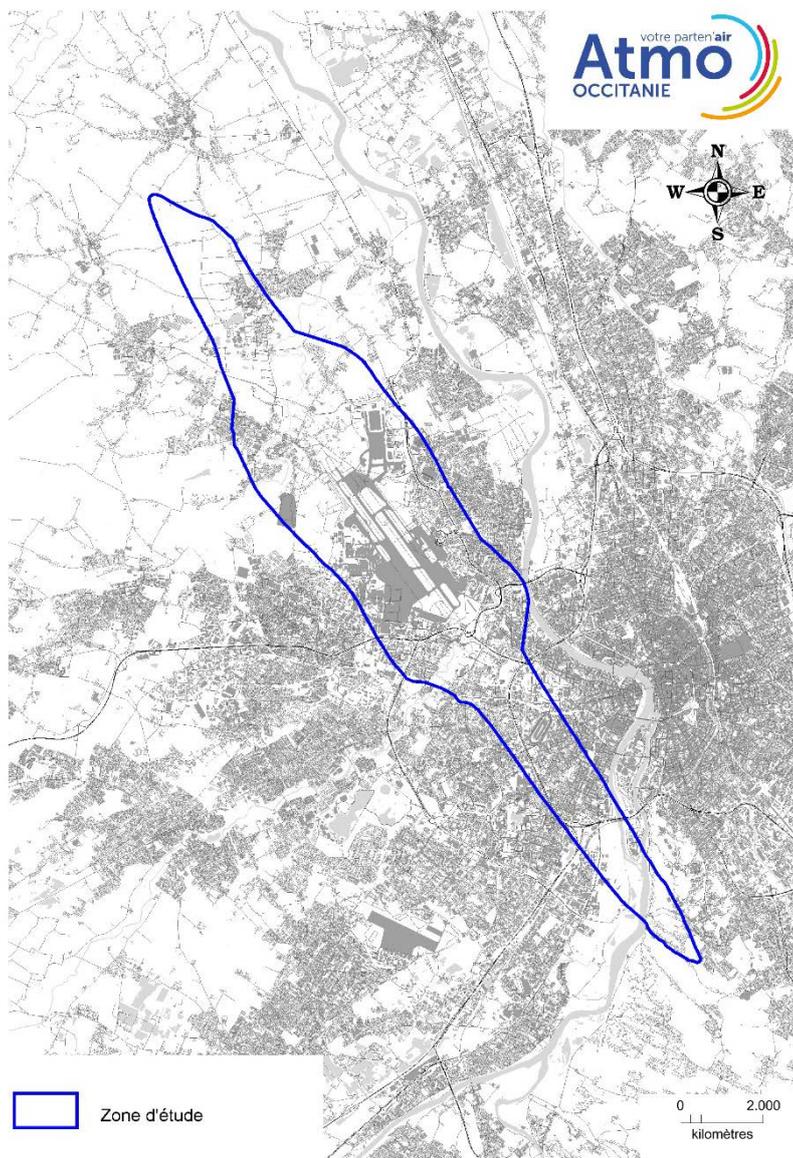
L'évaluation de la distribution des polluants a été menée sur un domaine d'étude établi à partir du Plan d'Exposition au Bruit (PEB) de l'aéroport Toulouse Blagnac.

- Pour les zones situées au nord est et au sud ouest de la zone aéroportuaire, la limite du domaine d'études correspond au bord extérieur de la zone C (zone de gêne modérée) du PEB. Le domaine d'études comprend ainsi tout le territoire impacté par une exposition au bruit allant de très forte à modérée,
- Dans l'environnement proche de la zone aéroportuaire, la limite du domaine d'études correspond au bord extérieur de la zone D (exposition au bruit faible) du PEB élargie de 200 mètres afin de prendre en compte la zone d'influence de la RD902 sur la qualité de l'air.

Ce domaine d'étude est adapté à l'étude de l'influence du projet sur la pollution atmosphérique locale.

Deux types de sites sont étudiés :

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



Carte 6 : Domaine d'études

Cadastre des émissions de la zone aéroportuaire

Prise en compte exhaustive des sources au sol

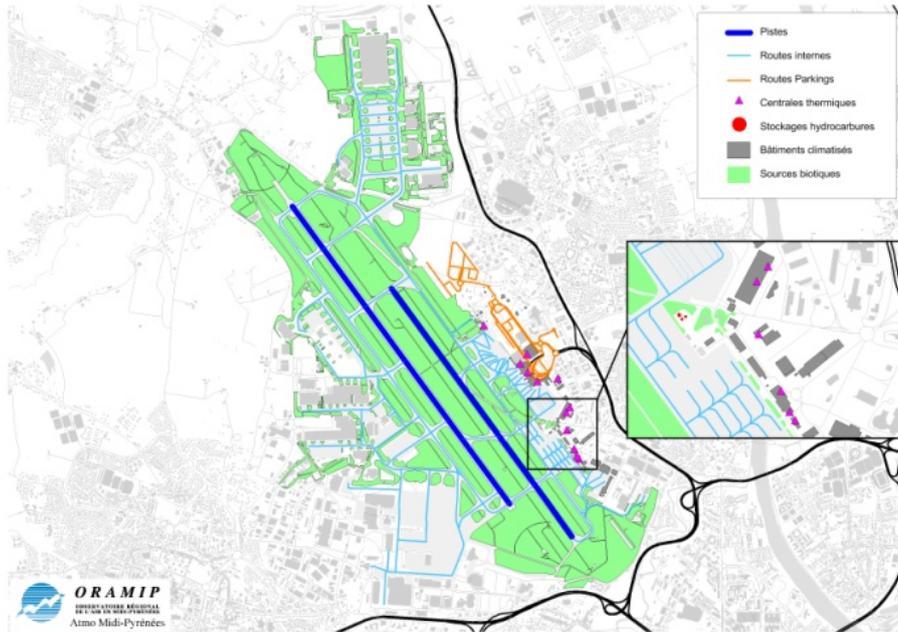
Les émissions liées aux **sources fixes** au sol prises en compte sont les suivantes :

- les APU (Auxiliary Power Unit),
- les centrales thermiques,
- les stockages d'hydrocarbures et distribution,
- les réseaux de distribution de gaz,
- les sources biotiques : végétation et espaces verts,
- les opérations de dégivrage, de déverglacement et d'antigivrage des avions.

Sont aussi intégrées les émissions de **sources mobiles** telles que :

- les engins spéciaux,
- les véhicules ATB ou sous traitant,

Toutes ces émissions ont été intégrées dans le cadastre de résolution de 250 mètres.



Carte 7 : Représentation de la position des différentes sources d'émission de polluants atmosphériques sur la zone aéroportuaire

Les émissions des avions prises en compte entre 0 et 1000 mètres d'altitude

Dans le cadre de ce projet, une chaîne de calcul destinée à évaluer finement les émissions du trafic aérien a été développée.

Des émissions dépendantes de la motorisation des avions ...

L'aéroport Toulouse Blagnac fournit annuellement les historiques de vols, avions d'essai compris, sur l'aéroport. Chaque immatriculation détermine le type d'avion et sa motorisation. Chaque motorisation est ensuite associée à des facteurs d'émissions spécifiques fournis par l'Organisation de l'Aviation Civile Internationale (OACI).

... Mais aussi de leurs cycles de mouvements

Les émissions liées aux aéronefs sont également basées sur le cycle LTO : Landing and Take Off défini par OACI.

Quatre phases sont considérées (et représentées sur le schéma ci-dessous) :

- Le décollage,
- La montée.
- L'approche,
- Le roulage

Les régimes moteur des avions, et donc leurs consommations varient pour chacune des phases.

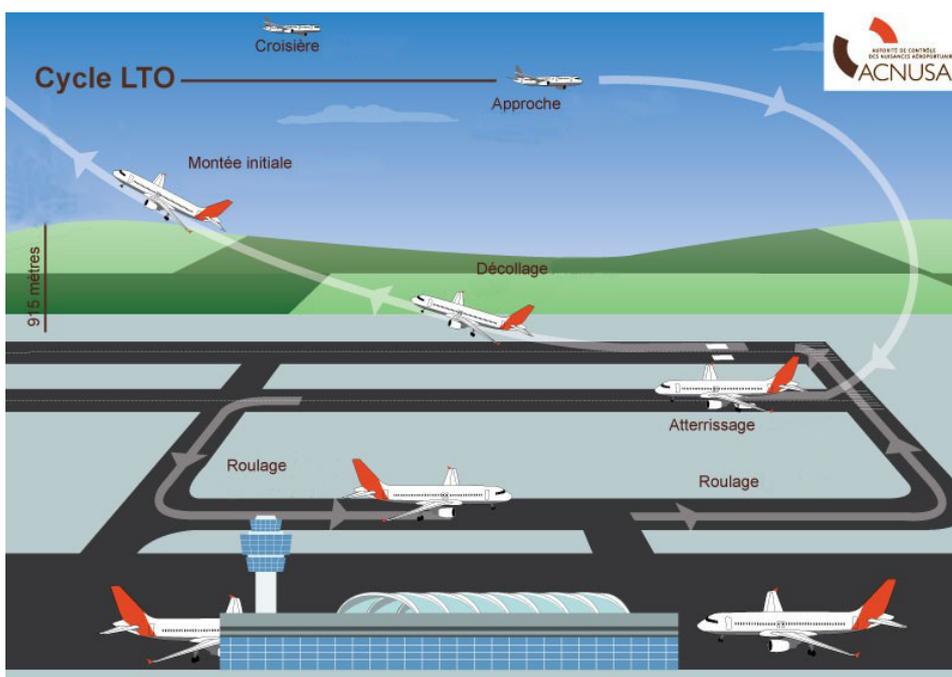


Figure 1 : Représentation du cycle LTO – source : site de l'ACNUSA

En dehors des phases de roulage au sol, les émissions des aéronefs ne sont pas horizontales.

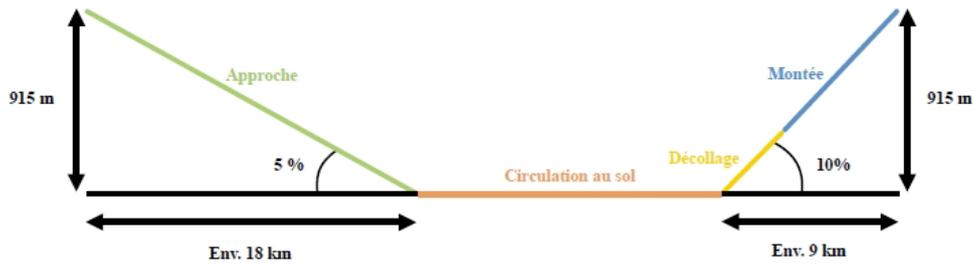


Figure 2: Représentation 2D des trajectoires d'avion par rapport à un sens de piste – Source : les émissions polluantes des aéronefs – 2015 – page 11 – STAC / Service Technique de l'Aviation Civile

Une modélisation en 2 dimensions sur la base des profils de vol a donc été menée entre 0 et 900 mètres d'altitude.

Un découpage a été effectué : un brin linéaire a été assigné tous les 50m en altitude jusqu'à 900m.

En raison de la pente différente des différentes phases (décollage, montée et atterrissage), la longueur de chaque brin a été fixée à :

- 1,3 km pour les phases d'atterrissage
- 0,73 km pour les phases de décollage
- 1,0 km pour les phases de montée

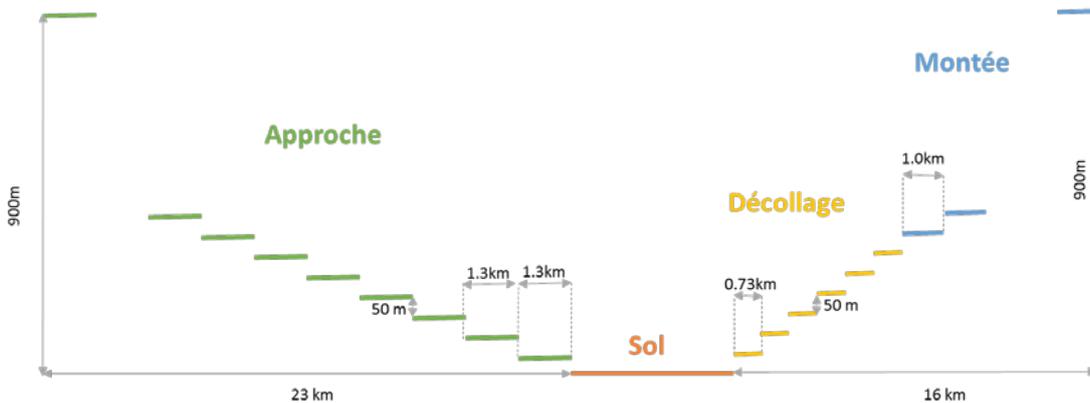


Figure 3: Intégration linéaire des phases aériennes dans la plateforme de modélisation (ADMS)

Les émissions aéronefs dépendent aussi du temps de chaque phase, les recommandations de l'OACI ont été prises en compte.

Le temps de roulage n'étant pas représentatif des usages sur l'aéroport Toulouse Blagnac, la durée de la phase roulage a été adaptée à partir des historiques de vols et des heures d'arrivée piste et heures bloc.

Ainsi pour chaque type moteur et pour chaque phase ont été associés des consommations de carburant et des facteurs d'émissions spécifiques pour les oxydes d'azote et les particules PM10. Les facteurs d'émissions de particules engendrées par l'abrasion des pistes, des

pneus et des systèmes de freinage ont également été pris en compte.

Les émissions pour chaque rotation de l'année de référence (2013) ont donc été calculées en fonction du type de moteur de l'aéronef et de sa phase LTO. Elles ont ensuite été agrégées par pas de temps horaire, par phase LTO et géoréférencées en fonction de la piste utilisée.

Analyse des performances du modèle

La validation temporelle du modèle a été réalisée à partir des données issues des deux stations permanentes d'ATMO Occitanie implantées dans l'environnement de l'aéroport Toulouse Blagnac :

- la station pistes.
- la station parcs de stationnement,

Les résultats de la campagne de mesures par échantillonneurs passifs menée du 07 au 21 novembre 2016 ont été également utilisées pour valider le modèle.

Une modélisation de la moyenne annuelle respectant les conditions de la directive européenne

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 et les PM₁₀, l'erreur sur la moyenne annuelle doit être inférieure à 30%.

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

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

Pour les deux sites de mesures, les erreurs sur la moyenne annuelle obtenues en NO₂ et PM₁₀ sont inférieures à 30% et respectent donc la directive européenne.

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

NO ₂ Stations de mesures	Concentration annuelle DIOXYDE D'AZOTE - année 2013 - En µg/m ³		
	Mesure	Modèle	Erreur modèle / mesure
Pistes	17.8	18.6	5%
Parcs de stationnement	21.1	18.2	-14%

PM ₁₀ Stations de mesures	Concentration annuelle PARTICULES PM ₁₀ -année 2013 - En µg/m ³		
	Mesure	Modèle	Erreur modèle / mesure
Pistes	20.0	18.6	-7%
Parcs de stationnement	20.2	18.7	-7%

Une modélisation des évolutions temporelles satisfaisante

Les biais mesures / modèle ont été calculés mensuellement à partir des moyennes journalières. Ils permettent de quantifier l'amplitude de la surestimation ou de la sous estimation du modèle. Les graphiques des biais obtenus pour les PM₁₀ et le NO₂ pour les deux sites de mesures sont indiqués en annexe XI.

Pour les particules PM₁₀

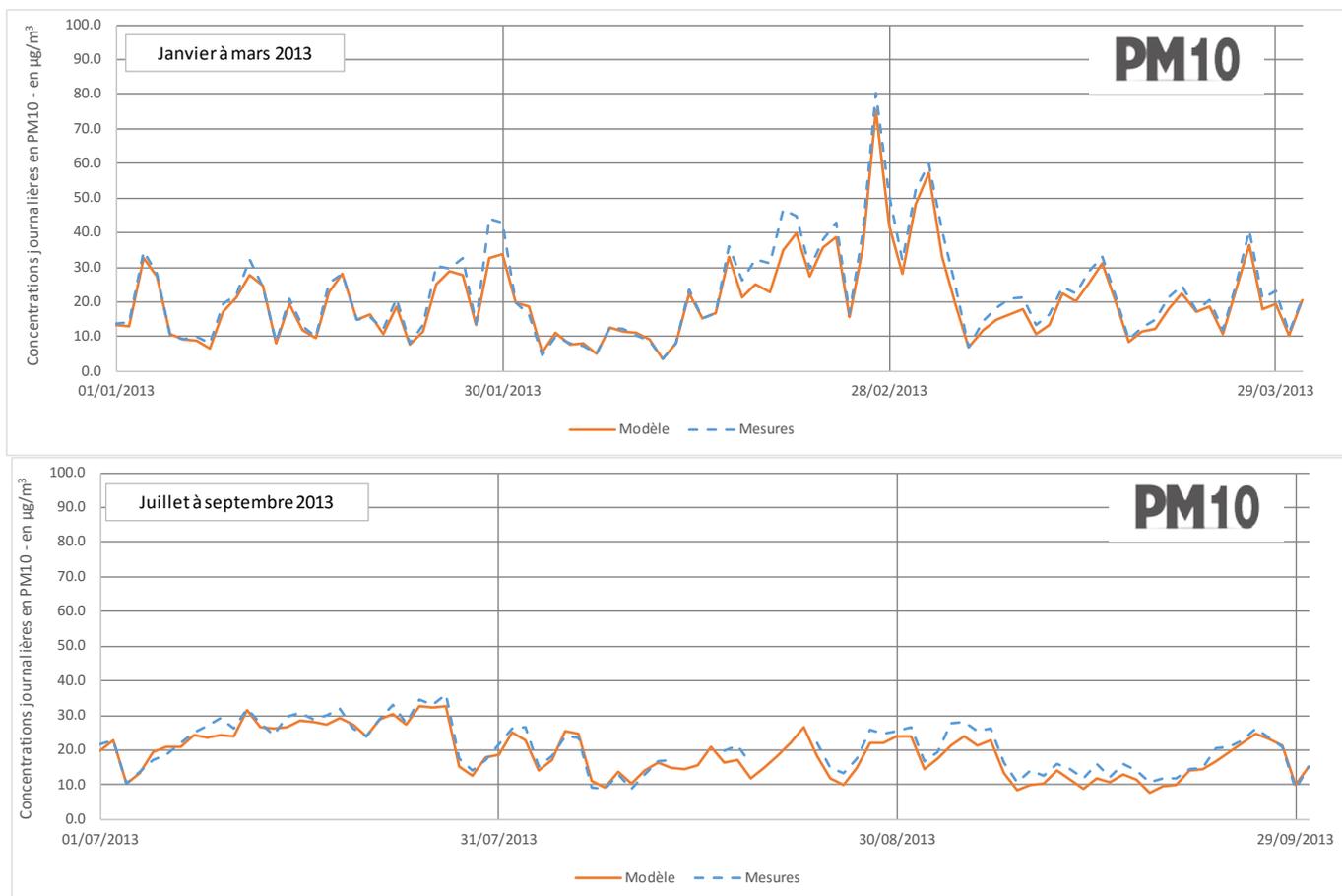
Pour les PM₁₀, les biais obtenus sont faibles et majoritairement négatifs. Ils varient entre +0.3 µg/m³ et -2,4 µg/m³ pour le site aéroport - pistes et entre 0.5 µg/m³ et -3.1 µg/m³ pour le site aéroport - parc de

stationnement. **Le modèle tend donc à sous-estimer légèrement, et de façon similaire pour les deux sites de mesures, les niveaux de PM₁₀.**

Afin d'illustrer les écarts entre concentrations en PM₁₀ modélisées et mesurées, les graphiques suivants présentent l'évolution des niveaux journaliers en PM₁₀ modélisés et mesurés pour la station aéroport - pistes à des saisons et des niveaux de concentration dans l'air contrastés.

Ces graphiques mettent en évidence le **bon comportement du modèle, il reproduit correctement les niveaux journaliers en PM₁₀.**

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



Graphiques 1 : Évolution des moyennes journalières en PM10 modélisées et mesurées à la *station aéroport – pistes* sur 2 trimestres contrastés de l'année 2013

Pour le dioxyde d'azote

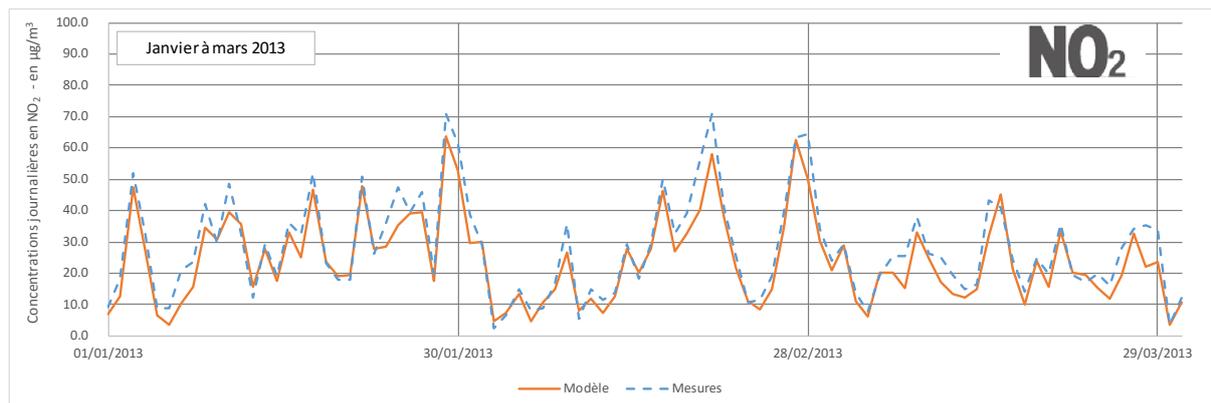
Pour le NO₂, les biais mensuels obtenus sont également faibles. Ils oscillent autour de 0 pour la station aéroport - pistes et varient entre +5.9 µg/m³ et -1.8 µg/m³.

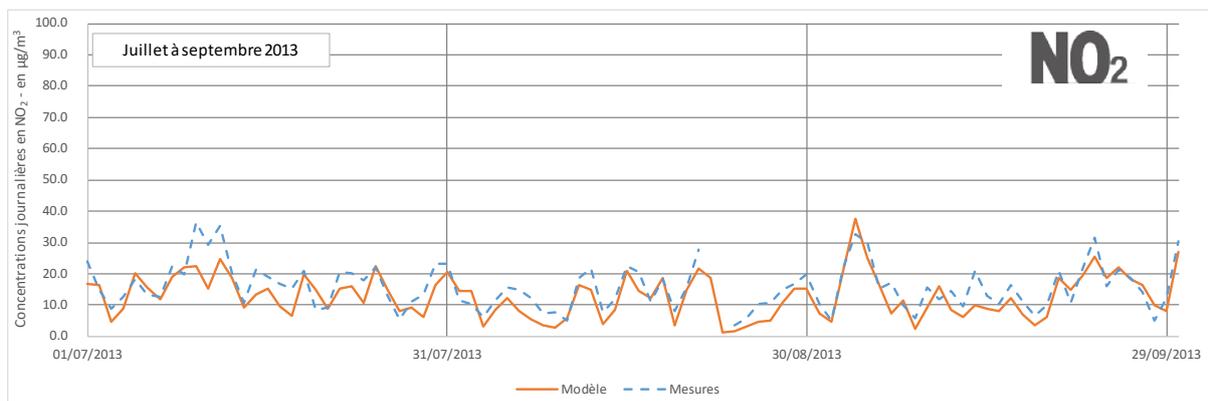
Pour la station aéroport - parc de stationnement, ils sont majoritairement négatifs et varient entre +1.1 µg/m³ et -5.0 µg/m³. **Le modèle tend donc à sous-estimer de façon plus importante les niveaux de NO₂ pour le site aéroport - parc de stationnement.** Le comportement différent du modèle sur ces deux sites est sans doute dû à la différence de précision de la description des sources d'émission influençant ces sites. La station aéroport - pistes est essentiellement sous l'influence des aéronefs. Or, l'inventaire des émissions des aéronefs a été réalisé à partir des données réelles des mouvements enregistrés pour chaque heure de l'année 2013. Le site

aéroport - parcs de stationnement est, quant à lui, influencé par le trafic routier. Pour ce secteur, les émissions sont calculées à partir de données de trafic modélisées et non de données de trafic réel. Cette simplification est sans doute à l'origine des écarts modèle / mesures plus importants entre la station aéroport - parcs de stationnement et la station aéroport - pistes.

Les écarts entre concentrations en NO₂ modélisées et mesurées pour la station aéroport - parcs de stationnement à des saisons et des niveaux de concentration dans l'air contrastés sont illustrés sur les graphiques suivants.

Ces graphiques mettent en évidence **le bon comportement du modèle, il reproduit correctement les évolutions des niveaux journaliers en NO₂.**



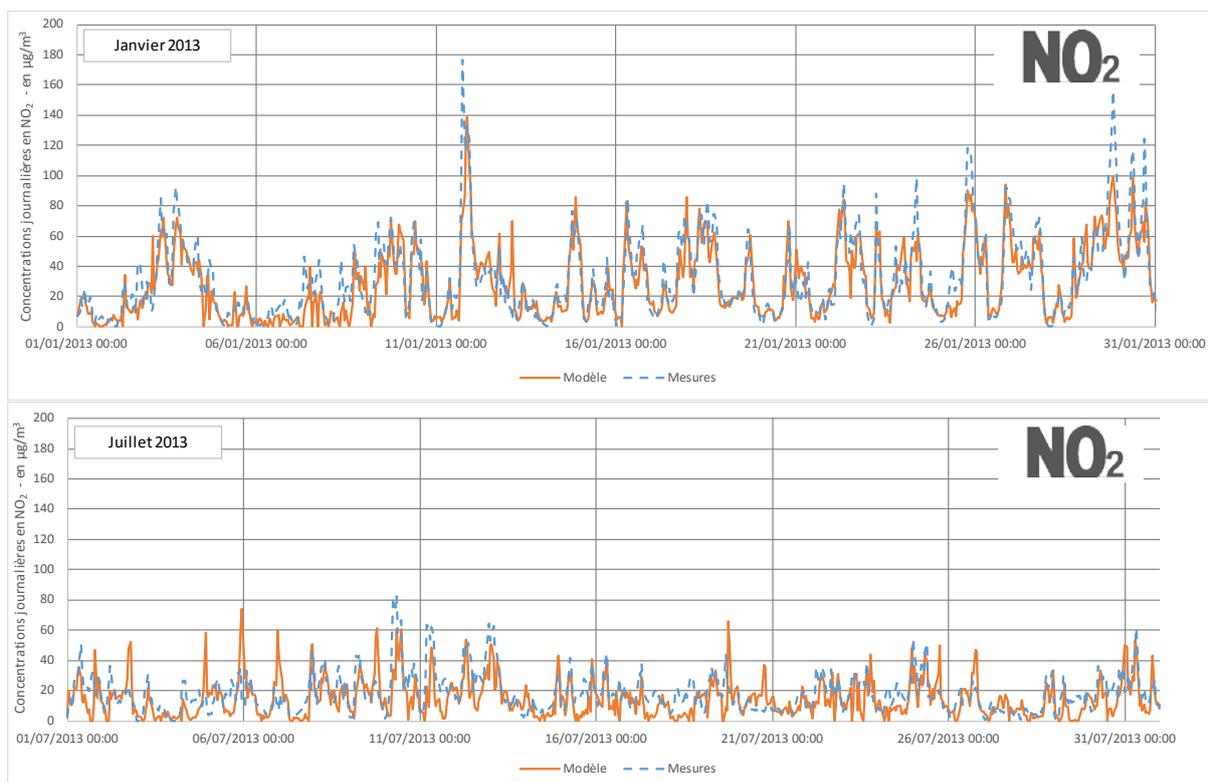


Graphiques 2 : Évolution des moyennes journalières en NO₂ modélisées et mesurées à la **station aéroport – Parcs de stationnement** sur 2 trimestres contrastés de l'année 2013

Une modélisation de la variabilité horaire satisfaisante

Malgré la grande variabilité des concentrations au pas de temps horaire, le modèle reproduit de façon satisfaisante les niveaux en NO₂ et PM₁₀ pour les deux sites de mesures.

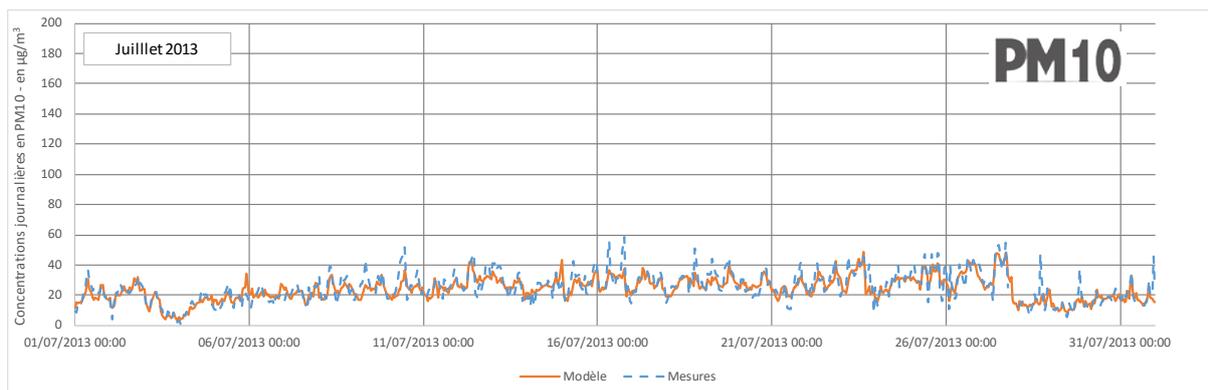
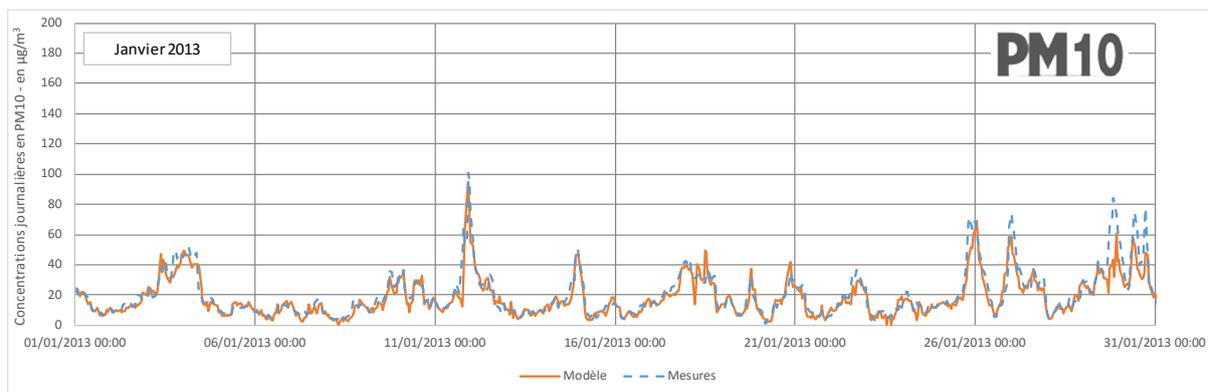
Les graphes ci-après illustrent le bon comportement du modèle pour la modélisation du NO₂ sur le site aéroport – Parcs de stationnement pour les mois de janvier et juillet 2013. On note cependant comme pour les niveaux journaliers, une sous-estimation des concentrations les plus fortes pour ce site.



Graphiques 3 : Évolution des moyennes horaires en NO₂ modélisées et mesurées à la **station aéroport – Parcs de stationnement** sur 2 mois à deux périodes contrastées de l'année 2013

Les graphes ci-après montrent le bon comportement du modèle pour la modélisation du PM₁₀ sur le site

aéroport – Parcs de stationnement pour les mois de janvier et juillet 2013.



Graphiques 4 : Évolution des moyennes horaires en PM10 modélisées et mesurées à la *station aéroport - Parc de stationnement* sur 2 mois à deux périodes contrastées de l'année 2013

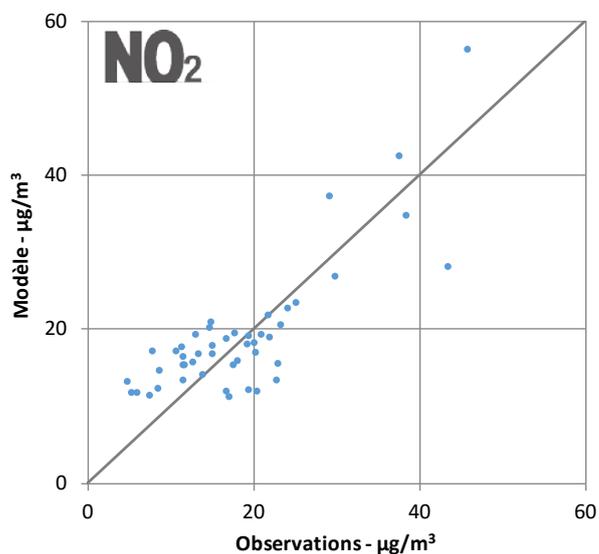
Une bonne représentation spatiale des niveaux de NO₂

Les concentrations en NO₂ mesurées lors de la campagne de mesures à l'aide des échantillonneurs passifs ont été utilisées pour estimer les concentrations annuelles pour l'année 2013 en différents sites du

domaine d'études. La comparaison entre les sorties du modèle et ces niveaux annuels estimés apportent également des informations sur la justesse de la modélisation.

Afin d'analyser les tendances, le diagramme de dispersion, comparant les concentrations estimées à partir des mesures aux prévisions est indiqué ci-contre.

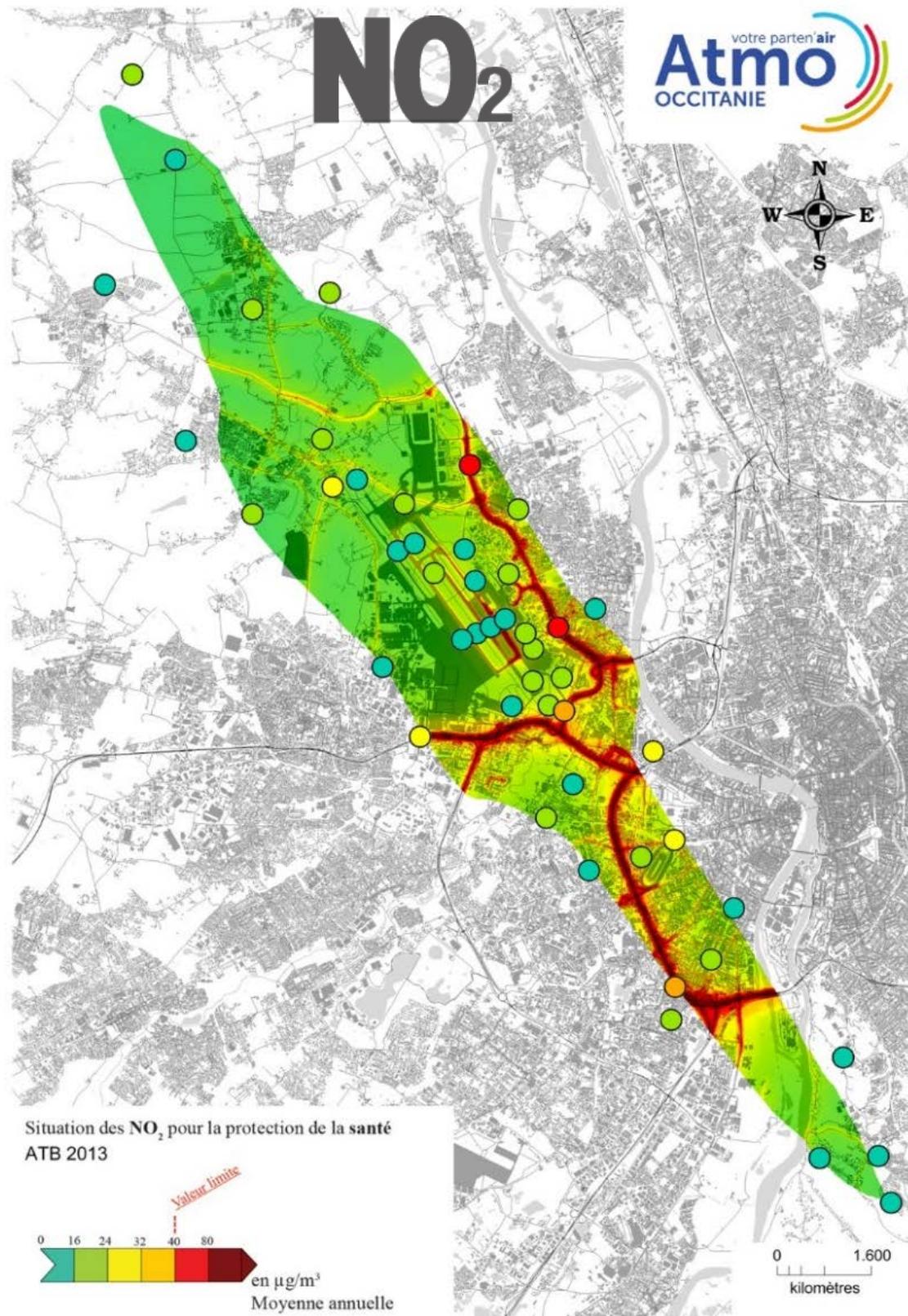
Les concentrations mesurées et modélisées sont cohérentes. On note une tendance à la surestimation des concentrations les plus faibles et les plus fortes par le modèle.



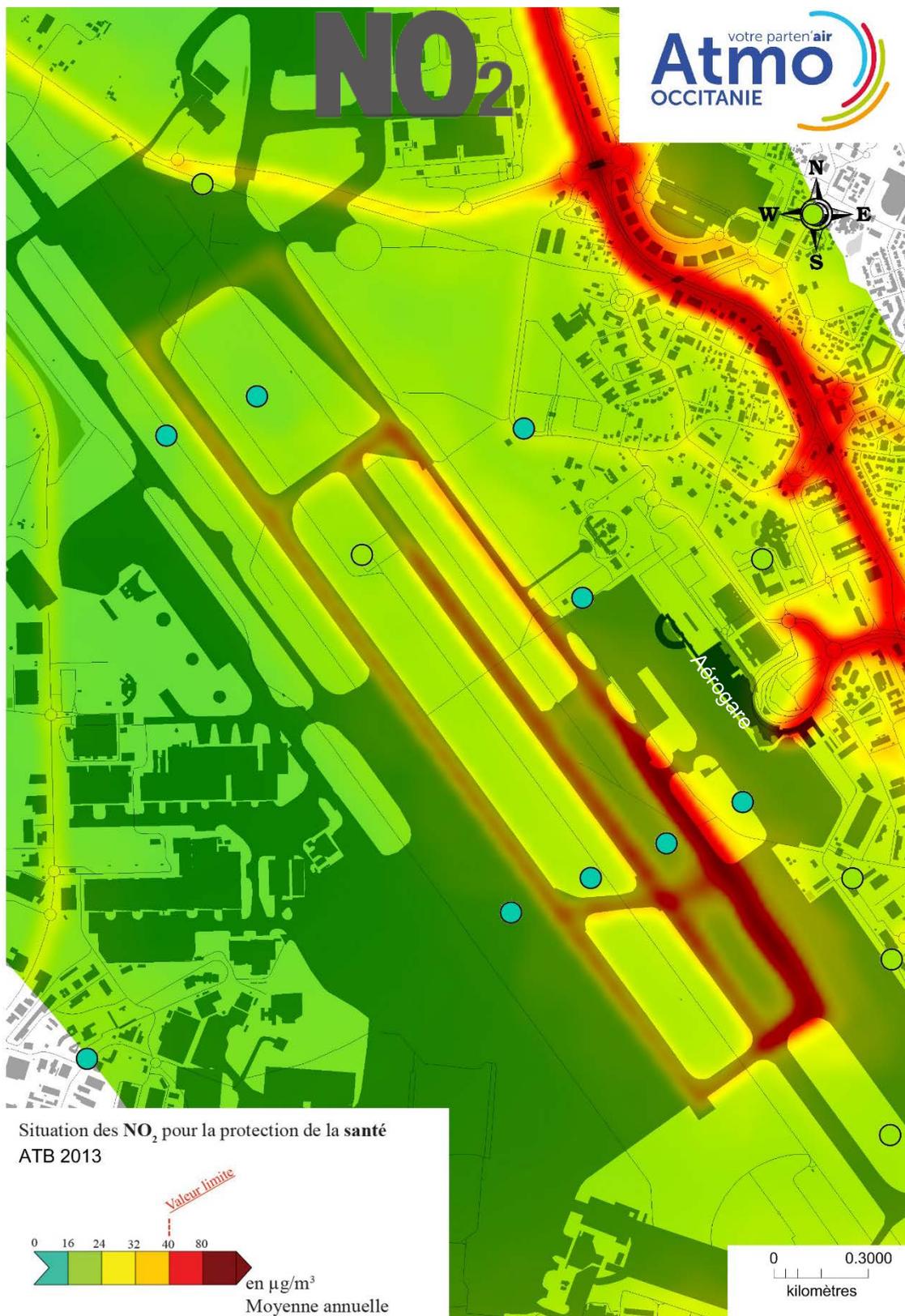
Graphique 5 : diagramme de dispersion, comparant les concentrations estimées à partir des mesures aux concentrations modélisées

La carte ci-dessous représente la distribution des niveaux modélisés de dioxyde d'azote sur le domaine d'études. Les pastilles de couleur représentent les concentrations estimées à partir des mesures par échantillonneurs passifs.

D'une manière générale, les résultats obtenus sont satisfaisants. Cependant, on note que le modèle surestime les concentrations en dioxyde d'azote en zone périurbaine au nord et au sud du domaine d'études ainsi que sur les pistes de l'aéroport. Les stations de référence permettant de redresser le modèle sont des stations urbaines implantées dans Toulouse ce qui engendre une surestimation du niveau de fond des zones périurbaines.



Carte 8 : distribution des niveaux modélisés de dioxyde d'azote sur le domaine d'études et représentation des concentrations estimées à partir des mesures par échantillonneurs passifs



Carte 9 : distribution des niveaux modélisés de dioxyde d'azote aux abords de l'aéroport Toulouse Blagnac et représentation des concentrations estimées à partir des mesures par échantillonneurs passifs

PM10

ANNEXE I : RÉSULTATS DES MESURES DE PARTICULES DE DIAMÈTRE INFÉRIEUR A 10 μm DANS L'ENVIRONNEMENT DE L'AÉROPORT TOULOUSE - BLAGNAC

LES FAITS MARQUANTS DE L'ANNÉE 2016

- Installation d'une station temporaire en bout de pistes au nord-ouest de l'aérogare pendant 15 jours et modélisation des concentrations horaires pour l'ensemble de l'année 2016.
- Respect des valeurs réglementaires sur les trois stations de mesures.
- L'aéroport, impacté par les épisodes de pollution touchant l'agglomération toulousaine.
- Les niveaux de particules sont faiblement influencés par le trafic routier.
- Reprise de la baisse des niveaux moyens annuels de particules PM10 en 2016, après une stabilisation en 2015.

LES PARTICULES : SOURCES ET EFFETS SUR LA SANTE ET L'ENVIRONNEMENT

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 (sidérurgie, cimenteries, incinération de déchets, manutention de produits pondéreux, minerais et matériaux, circulation automobile, centrale thermique ...).

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 Composés Organiques Volatiles. On distingue les particules de diamètre inférieur à 10 microns (PM10), à 2,5 microns (PM2.5) et à 1 micron (PM1).

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 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.

EFFETS SUR L'ENVIRONNEMENT

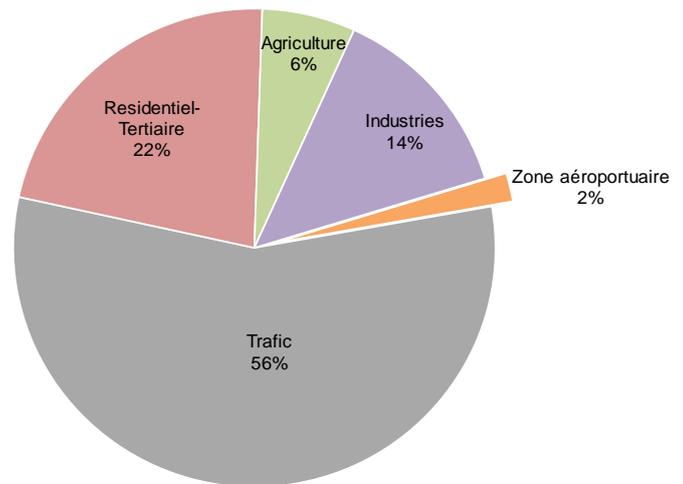
Les effets de salissures des bâtiments et des monuments sont les atteintes à l'environnement les plus évidentes.

PM = Particulate Matter (matière particulaire)

Une contribution limitée de la zone aéroportuaire aux émissions du territoire

L'intégration de l'inventaire des émissions de la zone aéroportuaire dans l'inventaire des émissions totales permet de déterminer le poids de l'activité aéroportuaire face aux autres secteurs émissifs Toulouse Métropole.

En 2014, l'activité aéroportuaire représente ainsi **2% des émissions de PM10** sur le territoire de Toulouse Métropole.



Graphique 6 : Répartition des émissions de particules PM10 par émetteurs sur Toulouse Métropole
Source Act'air_2014_V3.2

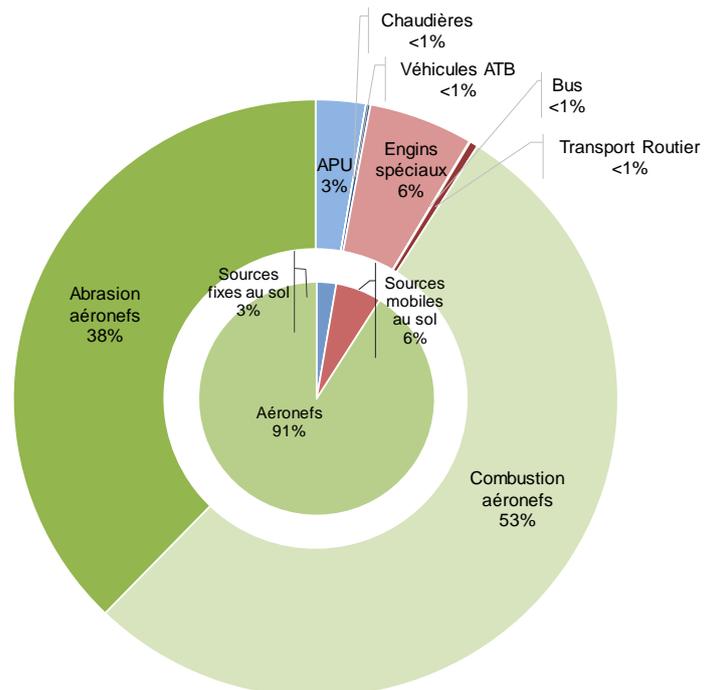
Les avions, principale source de particules sur la zone aéroportuaire

91% des particules émises sur la zone aéroportuaire sont issues des avions.

Les particules émises par les aéronefs sont dues :

- A la combustion de leur carburant avec 53% des particules émises, cette source est la première source de particules de la zone aéroportuaire
- A l'abrasion des freins, pneus et pistes (pour 38% des particules émises sur la zone aéroportuaire)

Au sol, 6% des émissions de particules PM10 proviennent de l'utilisation des engins sur piste. Les groupes auxiliaires de puissance (APU) représentent quant à eux 3% des émissions.



Graphique 7 : Répartition des émissions de particules PM10 par émetteurs sur la zone aéroportuaire
Source Act'air_2014_V3.2

Réglementations respectées sur l'année sur les stations de mesures

PM10		PARTICULES DE DIAMETRE INFERIEUR A 10 µm			
		Respect de la réglementation	Valeurs réglementaires	Evolution 2015/2016	Commentaire
Exposition de longue durée	Valeurs limites	OUI	40 µg/m ³ en moyenne annuelle	=	Moyenne annuelle Pistes : 15 µg/m ³ Parcs de stationnement : 16 µg/m ³ Station provisoire : 15 µg/m ³ *
		OUI	Ne pas dépasser 35 jours par an la concentration journalière de 50 µg/m ³ .	=	Nombre de jours de dépassement de la moyenne journalière Pistes : 0 Parcs de stationnement : 0 Station provisoire : 0*
	Objectif de qualité	OUI	30 µg/m ³ en moyenne annuelle	=	Moyenne annuelle Pistes : 15 µg/m ³ Parcs de stationnement : 16 µg/m ³ Station provisoire : 15 µg/m ³ *

*calculé à partir des données horaires modélisées sur l'année 2016.
µg/m³ : microgramme par mètre cube

Des concentrations similaires aux stations urbaines toulousaines

Les niveaux de particules rencontrés sur la zone aéroportuaire sont similaires pour les deux sites étudiés. Ils sont du même ordre de grandeur que ceux mesurés

par les stations urbaines toulousaines. Ils sont donc inférieurs à ceux rencontrés à proximité du trafic routier.

PARTICULES DE DIAMETRE INFERIEUR A 10 µm			
stations	Objectif de qualité et Valeur limite	Valeur limite	Valeur maximale des moyennes journalières sur l'année (en µg/m ³)
	Moyenne annuelle (en µg/m ³)	Nombre de moyennes journalières > 50 µg/m ³ sur l'année	
Aéroport - pistes	15	0	45
Aéroport - parcs de stationnement	16	0	47
Aéroport - station provisoire	15*	0*	43*
Toulouse - Moyenne des stations urbaines	16	2	57
Toulouse - proximité trafic en ville	21	8	57
Toulouse - proximité trafic périphérique toulousain	29	12	72

*calculé à partir des données horaires modélisées sur l'année 2016.
µg/m³ : microgramme par mètre cube

L'aéroport concerné par les épisodes de pollution touchant l'agglomération toulousaine

En 2016, l'agglomération toulousaine a été concernée par 6 mises en œuvre de la procédure d'information à l'échelle du département de Haute-Garonne pour les particules de diamètre inférieur à 10 µm sur constat.

Ces épisodes de pollution rencontrés sont la conséquence des émissions de particules issues notamment des dispositifs de chauffage au bois qui se sont accumulés dans l'air du fait des conditions météorologiques particulières (temps froid et vent faible).

Au cours de ces journées, des niveaux élevés de particules de diamètre inférieur à 10 µm ont également été relevés sur les stations de mesures de l'aéroport Toulouse-Blagnac.

La zone aéroportuaire est ainsi impactée par les épisodes de pollution aux particules qui touchent l'agglomération toulousaine.

Une amplitude de variation faible sur la journée

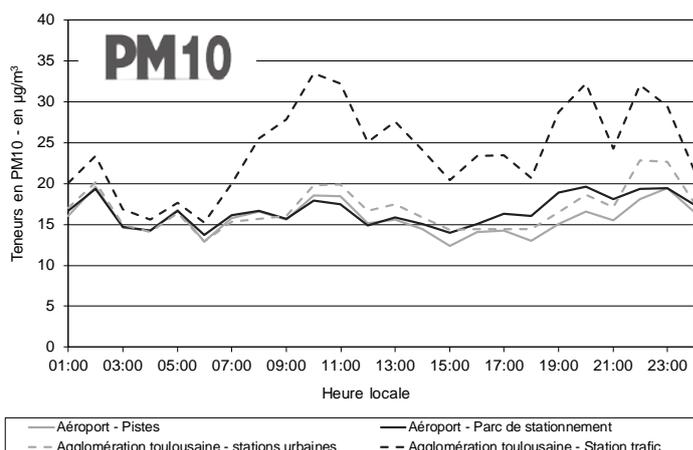
Les profils moyens journaliers observés aux abords de l'aéroport Toulouse Blagnac pour les deux stations de mesures suivent qualitativement la même évolution que le profil moyen obtenu par les stations urbaines toulousaines.

Les niveaux mesurés sur les stations de l'aéroport sont du même ordre de grandeur que ceux relevés en site urbain dans l'agglomération toulousaine.

En outre, l'amplitude de variation des niveaux de particules entre le jour et la nuit reste limitée, de l'ordre d'une dizaine de µg/m³, pour les deux stations implantées dans l'environnement de l'aéroport Toulouse-Blagnac comme pour les stations urbaines toulousaines.

Jour du déclenchement de la procédure d'information	Concentration moyenne sur 24 heures maximale en µg/m ³			
	stations urbaines aggro toulousaine	stations aéroportuaires		
		Pistes	Parcs de stationnement	Station provisoire*
03 décembre	61	49	52	47
07 décembre	50	42	47	43
12 décembre	58	47	49	45
16 décembre	51	37	40	37
18 décembre	52	34	33	31
19 décembre	58	46	46	42

*concentrations modélisées



Graphique 8 :: Evolution moyenne pour 2016 des concentrations horaires en particules de diamètre inférieur à 10 µm sur les stations implantées dans l'environnement de l'aéroport Toulouse-Blagnac et dans l'agglomération toulousaine.

Influence limitée du trafic routier

Sur la zone aéroportuaire, les concentrations horaires moyennes en PM10 varient peu d'un site à l'autre en fonction de la direction du vent :

- de 9 à 16 µg/m³ pour la station piste,
- de 9 à 17 µg/m³ pour la station parcs de stationnements
- de 9 à 19 µg/m³ pour la station provisoire située à proximité de la route départementale 1.

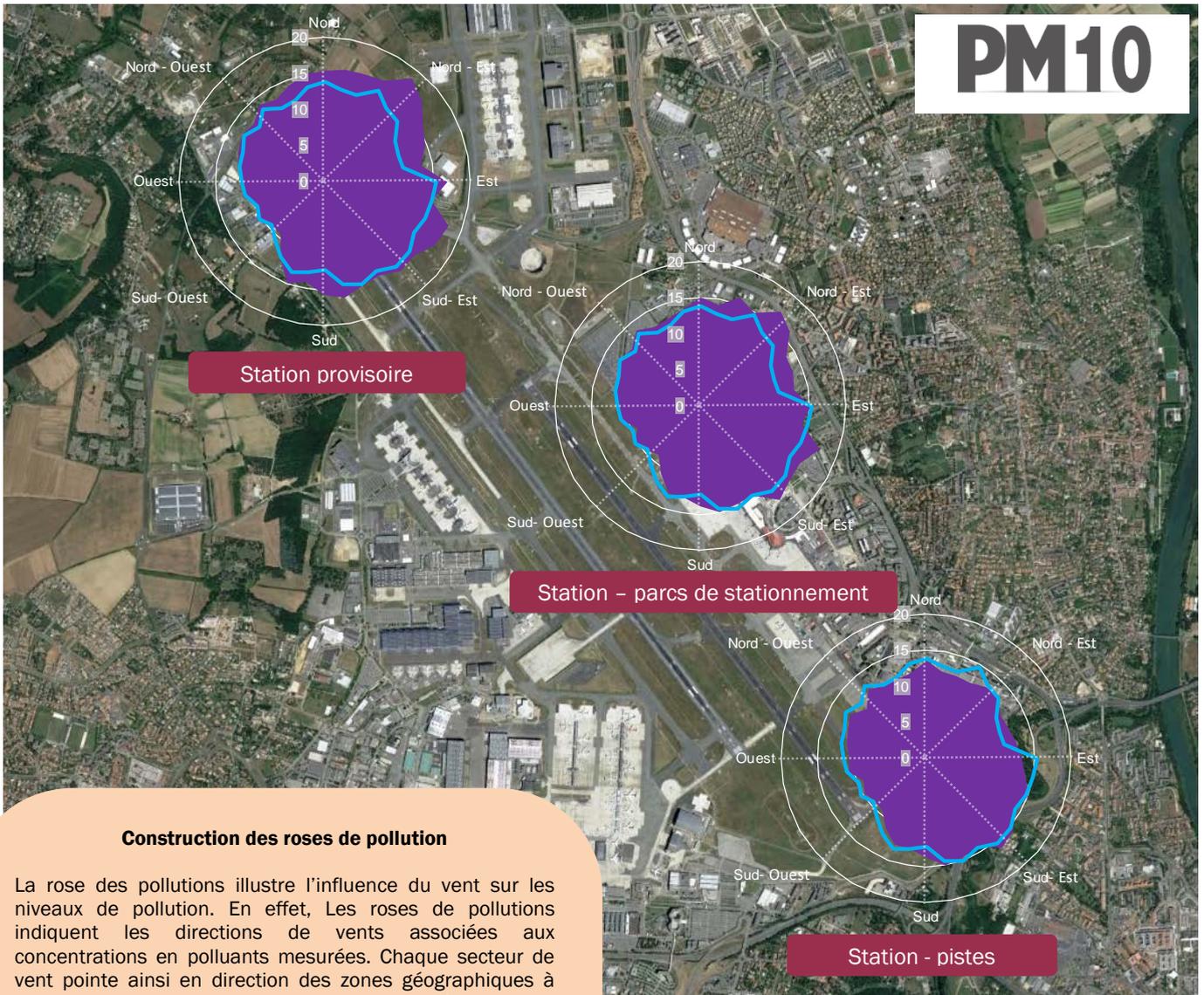
En site de fond dans l'agglomération toulousaine, ces concentrations horaires moyennes varient entre 9 et 15 µg/m³. Pour les trois stations de surveillance des abords

aéroportuaires, les roses de pollution obtenues présentent de fortes similitudes.

Le site aéroport - pistes, dont la rose de pollution est similaire à celle obtenue pour le site de fond de l'agglomération toulousaine apparaît peu influencé par des émissions localisées de particules.

Pour les deux sites parcs de stationnement et station provisoire, on note en revanche des niveaux de PM10 plus élevés par vent de Nord-Est à Sud-Est sans doute liés à des phénomènes de réenvol sur les axes routiers proches (RD 1, périphérique, voies d'accès à l'aéroport).

PM10

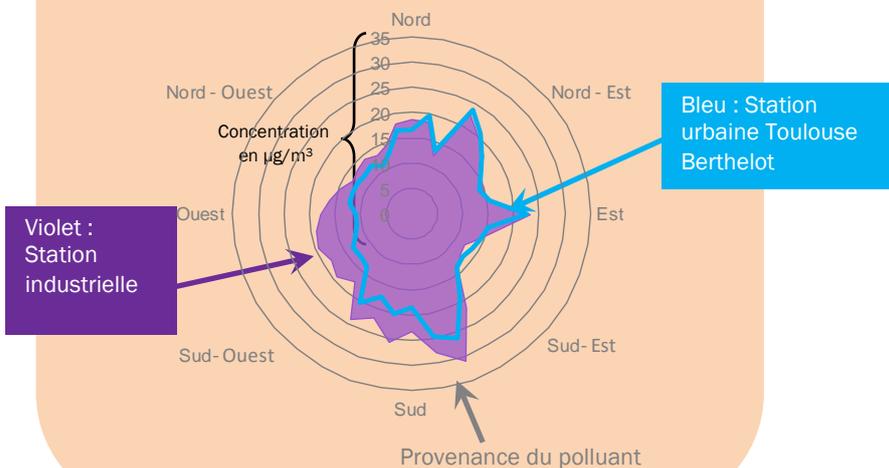


Construction des roses de pollution

La rose des pollutions illustre l'influence du vent sur les niveaux de pollution. En effet, Les roses de pollutions indiquent les directions de vents associées aux concentrations en polluants mesurées. Chaque secteur de vent pointe ainsi en direction des zones géographiques à l'origine des concentrations quart-horaires relevées.

Pour les vitesses de vents les plus faibles, inférieures à 1 m/s, les directions mesurées par la girouette sont considérées comme non représentatives. Nous indiquons donc ci-dessous les roses de pollutions calculées pour des vents supérieurs ou égales à 1m/s.

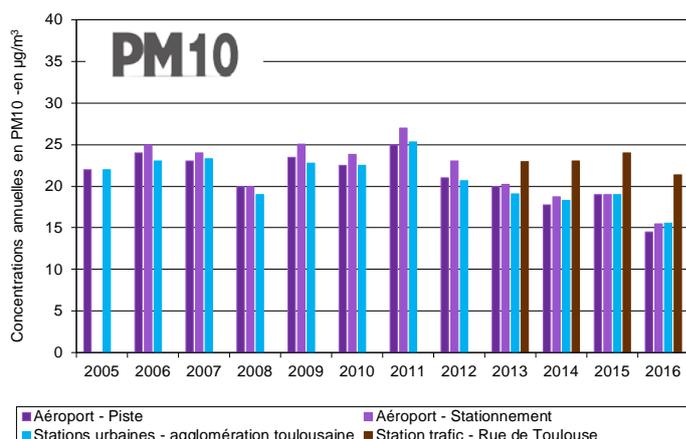
Lecture de la rose de pollution



Baisse des niveaux de concentration depuis 2011

L'année 2016 marque la reprise de la baisse des niveaux annuels en particules observée en zone urbaine depuis 2011 sur l'ensemble de l'agglomération toulousaine. Entre 2011 et 2016, les niveaux de fond des particules en zone urbaine ont ainsi diminué de 39%.

Cette diminution est également observée sur la zone aéroportuaire, dans des proportions similaires à celle relevée sur les sites urbains toulousains (42% en moyenne sur la station coté pistes et 43% sur la station coté parcs de stationnement). Les concentrations relevées en 2016 sont les plus faibles mesurées depuis le début de la surveillance sur ce secteur.



Graphique 9 : Évolution des concentrations annuelles en particules de diamètre inférieur à 10 µm sur les stations implantées dans l'environnement de l'aéroport Toulouse-Blagnac et dans l'agglomération toulousaine depuis 2005.

NO₂

ANNEXE II : RÉSULTATS DES MESURES DE DIOXYDE D'AZOTE DANS L'ENVIRONNEMENT DE L'AÉROPORT TOULOUSE - BLAGNAC

LES FAITS MARQUANTS DE L'ANNÉE 2016

- ➔ Installation d'une station temporaire en bout de pistes au nord-ouest de l'aérogare pendant 15 jours et modélisation des concentrations horaires pour l'ensemble de l'année 2016.
- ➔ Respect des valeurs réglementaires.
- ➔ Les niveaux moyens de concentration sont légèrement plus élevés au niveau de la station "parcs de stationnement".
- ➔ Les niveaux de concentrations sur la zone aéroportuaire sont, néanmoins, du même ordre de grandeur que ceux mesurés en situation urbaine sur Toulouse.
- ➔ Au bord des pistes, les niveaux de NO₂ sont faibles. Le trafic routier apparaît être la principale source du dioxyde d'azote mesuré sur la zone aéroportuaire.
- ➔ En 2016, sur la zone aéroportuaire, comme sur les sites urbains et trafic de la Métropole toulousaine, les niveaux de dioxyde d'azote ont légèrement diminué (-10% pour le site coté pistes -11% pour le site coté parcs de stationnement).

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

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.

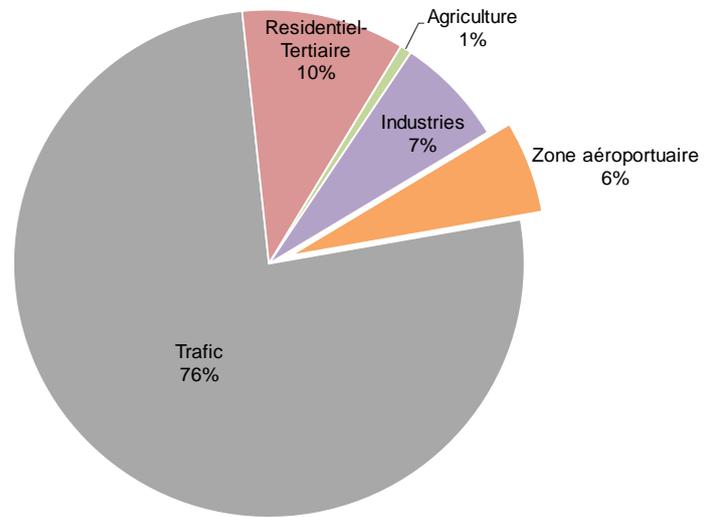
EFFETS SUR L'ENVIRONNEMENT

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.)

L'activité aéroportuaire contribue à 5% des émissions de NOx sur le territoire de Toulouse Métropole

L'intégration de l'inventaire des émissions de la zone aéroportuaire dans l'inventaire des émissions totales permet de déterminer le poids de l'activité aéroportuaire face aux autres secteurs émissifs sur la Communauté Urbaine Toulouse Métropole (CUTM).

En 2016, l'activité aéroportuaire représente ainsi **6% des émissions de NOx** de la CUTM.



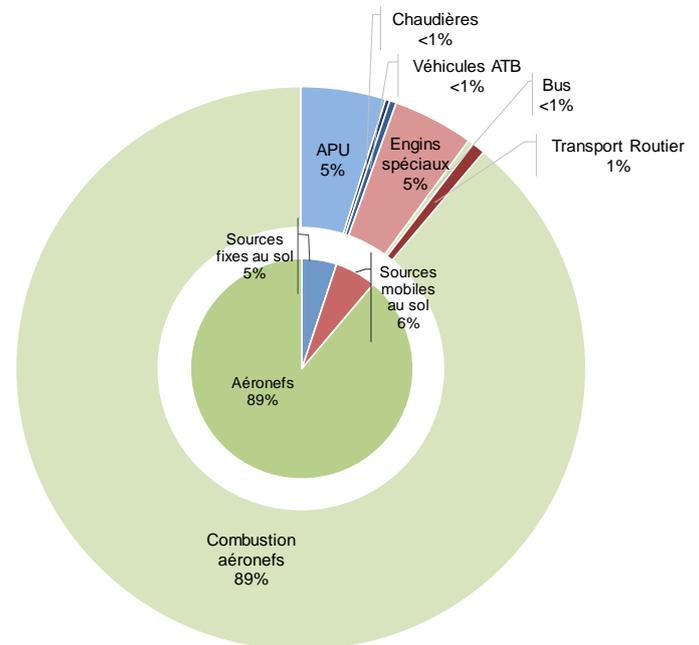
Graphique 10 : Répartition des émissions d'oxydes d'azote par sources sur Toulouse Métropole
Source Act'air_2014_V3.2

Les oxydes d'azote émis sur la zone aéroportuaire liés aux activités de transport

Les émissions de NOx sont dues à des activités de combustion. Les aéronefs sont ainsi la source de 89% des oxydes d'azote émis sur la zone aéroportuaire.

Avec 6% des émissions de NOx, les activités de transport au sol sont la seconde source de NOx sur la zone aéroportuaire. 5% des émissions sont notamment dues à **la circulation des engins** sur la zone réservée.

Enfin, les sources fixes au sol, essentiellement les APU, émettent 5% des NOx.



Graphique 11 : Répartition des émissions d'oxydes d'azote par sources sur la zone aéroportuaire
Source Act'air_2014_V3.2

Réglementations respectées sur l'année pour les stations de mesures de la zone aéroportuaire

		DIOXYDE D'AZOTE			
		Respect de la réglementation	Valeurs réglementaires	Evolution 2015/2016	Commentaire
Exposition de longue durée	Valeurs limites	OUI	40 µg/m ³ en moyenne annuelle	=	Moyenne annuelle Pistes : 18 µg/m ³ Parcs de stationnement : 22 µg/m ³ Station provisoire : 16 µg/m ³ *
		OUI	200 µg/m ³ en centile 99.8 des moyennes horaires (soit 18 heures de dépassement autorisées par année civile)	=	Maximum horaire Pistes : 126 µg/m ³ Parcs de stationnement : 160 µg/m ³ Station provisoire : 106 µg/m ³ *

*calculé à partir des données horaires modélisées sur l'année 2016.
µg/m³ : microgramme par mètre cube

Des concentrations en NO₂ proches de celles des stations urbaines toulousaines

Les stations de surveillance de la zone aéroportuaire mesurent des concentrations horaires de dioxyde d'azote du même ordre de grandeur ou légèrement supérieures à celles rencontrées par les stations urbaines de l'agglomération toulousaine.

La station provisoire est située en bout de pistes dans une zone peu urbanisée et à une trentaine de mètres de la RD1, donc peu influencée par celle-ci. Les concentrations de NO₂ mesurées sur ce site sont similaires aux niveaux rencontrés en site périurbain.

La station côté pistes met en évidence une situation similaire à une station urbaine. Cette station de mesures

observe cependant ponctuellement des concentrations horaires plus élevées.

La station côté parc de stationnement est plus influencée par le trafic routier. Ainsi, la moyenne annuelle et le maximum horaire mesurés en 2016 sur cette station sont plus élevés que ceux relevés par les stations urbaines de l'agglomération toulousaine. Cependant, son environnement très aéré permet la dispersion rapide des polluants émis par les véhicules à proximité. Les niveaux atteints pour ce site sont ainsi nettement inférieurs à ceux mesurés en proximité trafic dans le centre de Toulouse.

DIOXYDE D'AZOTE			
stations	Valeur limite	Valeur limite	Maximum horaire sur l'année (en µg/m ³)
	Moyenne annuelle (en µg/m ³)	Nombre d'heures > 200 µg/m ³ sur l'année	
Aéroport - pistes	18	0	126
Aéroport - parcs de stationnement	22	0	160
Aéroport - station provisoire	16*	0*	106*
Toulouse - Moyenne des stations urbaines	19	0	109
Toulouse - proximité trafic en ville	44	8	221
Toulouse - proximité trafic périphérique toulousain	76	10	227

*calculé à partir des données horaires modélisées sur l'année 2016.
µg/m³ : microgramme par mètre cube

Influence du trafic routier sur les niveaux rencontrés

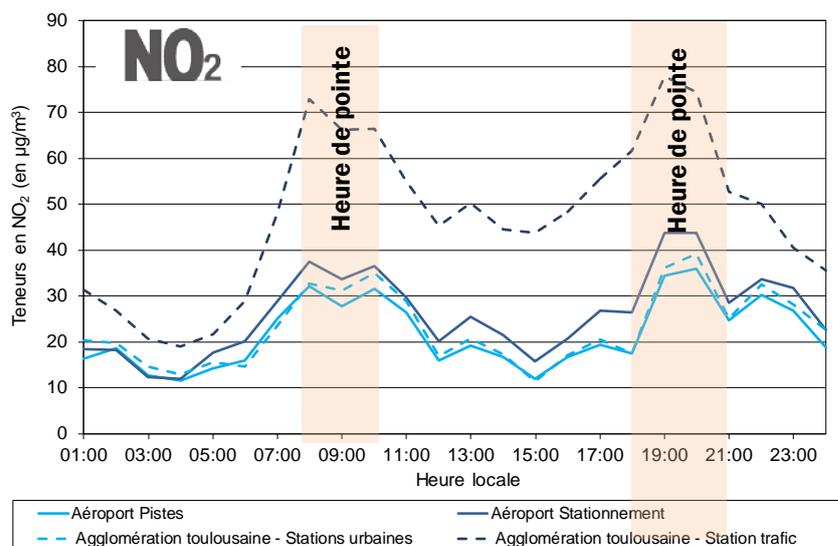
A proximité du trafic routier, les niveaux les plus élevés de dioxyde d'azote sont mesurés lors des heures de pointes de la circulation.

Les niveaux mesurés par la station côté parcs de stationnement de l'aéroport Toulouse Blagnac sont supérieurs à ceux rencontrés par la station de l'aéroport coté pistes. L'écart de concentration relevé entre ces deux stations est faible à nul la nuit entre 1h et 5h du matin. Dans la journée, l'écart se creuse jusqu'à $9 \mu\text{g}/\text{m}^3$. L'écart le plus important est mesuré lors des heures de pointes du trafic routier.

Les niveaux mesurés par la station côté parcs de stationnement de l'aéroport Toulouse Blagnac sont, en revanche, très nettement inférieurs à ceux obtenus en

proximité routière sur le reste de l'agglomération. L'influence du trafic routier reste donc limitée pour cette station. Son environnement particulièrement aéré permet une dispersion rapide des polluants.

Aux abords des pistes de l'aéroport Toulouse Blagnac, le profil moyen journalier rencontré suit qualitativement la même évolution que celui obtenu par les stations urbaines toulousaines avec cependant des niveaux de dioxyde d'azote similaires ou légèrement plus faibles de quelques microgrammes par mètre cube. La station coté pistes apparaît, en 2016, légèrement moins exposée que le centre urbain toulousain.



Graphique 12 : Évolution moyenne pour 2016 des concentrations horaires en dioxyde d'azote sur les stations implantées dans l'environnement de l'aéroport Toulouse-Blagnac et dans l'agglomération toulousaine.

Influence de la route départementale 902 et du trafic routier sur la zone aéroportuaire

Sur la zone aéroportuaire, les concentrations horaires moyennes en NO_2 en fonction de la direction du vent sont assez variable d'un site à l'autre :

- de 8 à $28 \mu\text{g}/\text{m}^3$ pour la station piste,
- de 10 à $35 \mu\text{g}/\text{m}^3$ pour la station parcs de stationnements
- de 8 à $24 \mu\text{g}/\text{m}^3$ pour la station provisoire située à proximité de la route départementale 1.

Par vents d'Ouest à Sud-ouest, vents rabattant les masses d'air en provenance des pistes, les concentrations en NO_2 rencontrées sur la zone aéroportuaire sont légèrement inférieures à celles rencontrées par la station urbaine toulousaine pour la station coté pistes et la station provisoire. Elles sont en revanche du même ordre de grandeur pour la station coté parcs de stationnement.

Les trois sites de la zone aéroportuaire enregistrent des concentrations élevées en NO_2 par vents de Nord-Est à

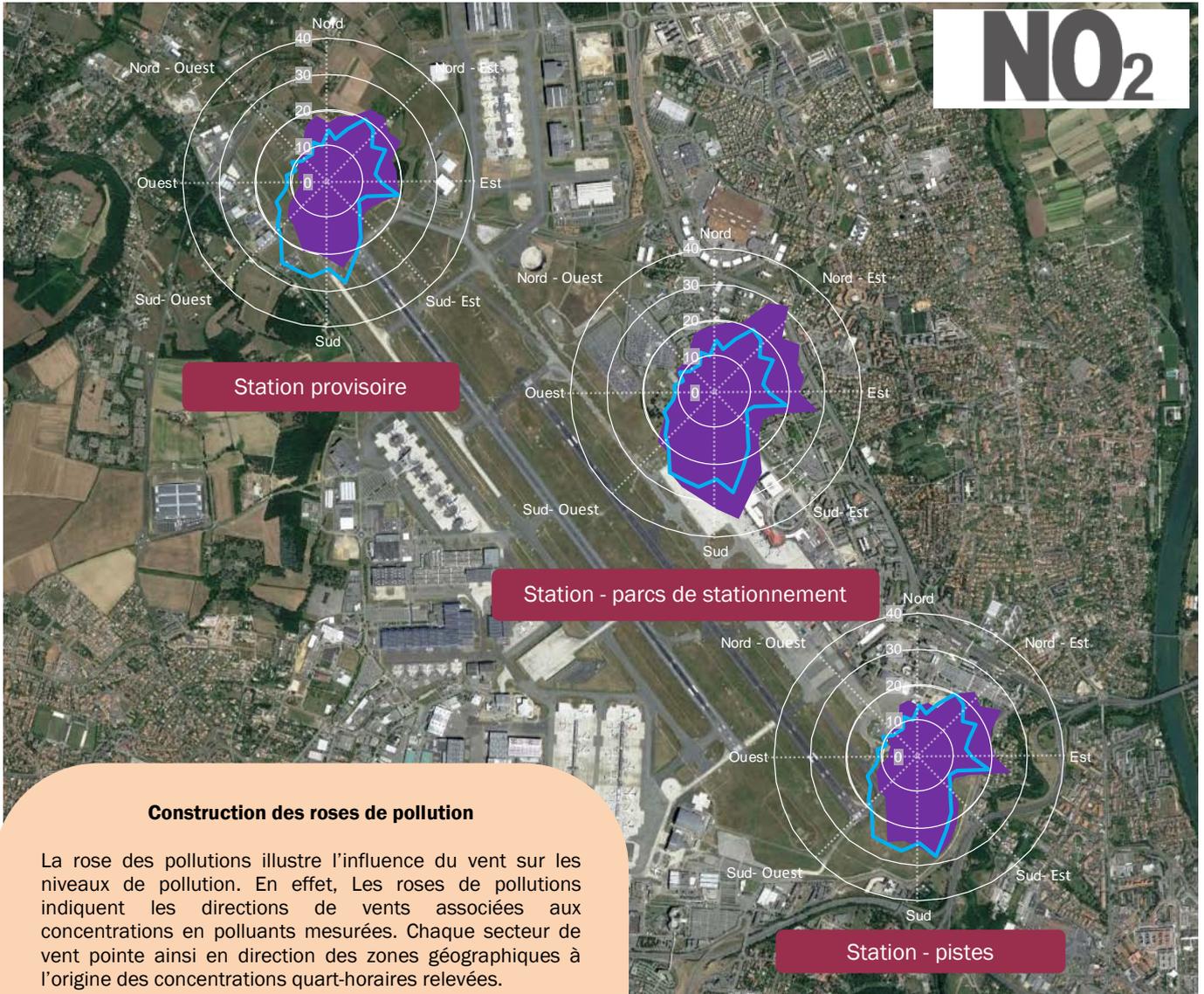
Est, qui rabattent sur la zone aéroportuaire les masses d'air en provenance des voies de circulation.

La station provisoire apparaît donc influencée par le trafic routier de la RD1.

Les stations pistes et parcs de stationnement sont, quant à elles, influencées par la RD902. Les niveaux de NO_2 mesurés par la station coté parcs de stationnement sont cependant quelques $\mu\text{g}/\text{m}^3$ plus élevés que pour la station coté pistes en raison d'une distance moindre entre la station parcs de stationnement et la voie de circulation.

Par vent de Sud, Sud-Est, les niveaux de NO_2 rencontrés pour la station aéroportuaire coté pistes sont similaires à ceux mesurés par la station toulousaine Berthelot. L'influence des axes de circulation de ce secteur sur les niveaux de NO_2 apparaît donc faible. Sur la station proche des parcs de stationnement, ces mêmes vents induisent des niveaux de NO_2 plus importants. Cette station apparaît ainsi nettement influencée par les émissions des véhicules en circulation sur la zone aéroportuaire.

NO₂



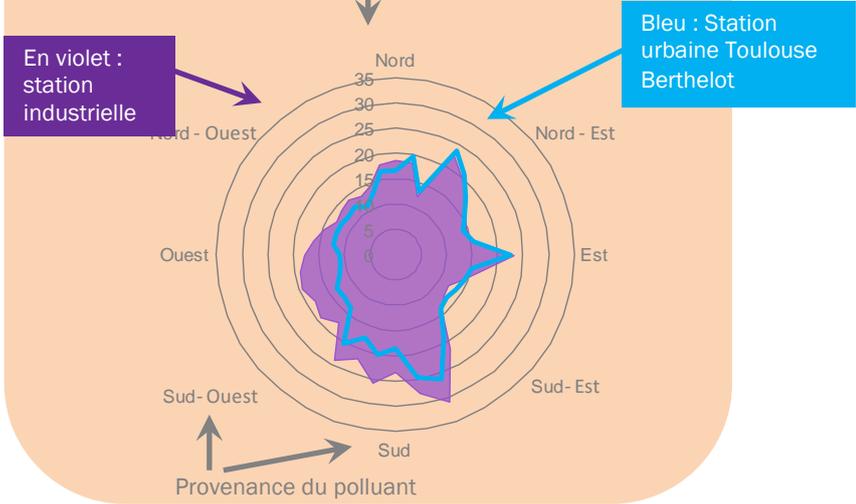
Construction des roses de pollution

La rose des pollutions illustre l'influence du vent sur les niveaux de pollution. En effet, Les roses de pollutions indiquent les directions de vents associées aux concentrations en polluants mesurées. Chaque secteur de vent pointe ainsi en direction des zones géographiques à l'origine des concentrations quart-horaire relevées.

Pour les vitesses de vents les plus faibles, inférieures à 1 m/s, les directions mesurées par la girouette sont considérées comme non représentatives. Nous indiquons donc ci-dessous les roses de pollutions calculées pour des vents supérieurs ou égales à 1m/s.

Lecture de la rose de pollution

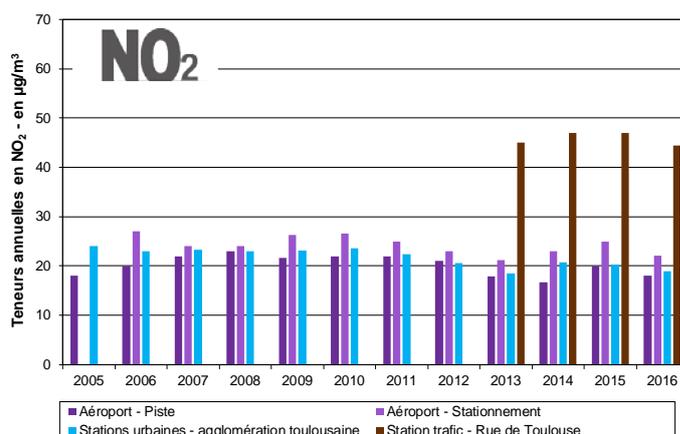
Concentration du polluant en µg/m³



Dioxyde d'azote : légère baisse des niveaux sur les deux stations de surveillance de la zone aéroportuaire

L'année 2016 est marquée par une légère baisse des niveaux de dioxyde d'azote sur l'ensemble de l'agglomération toulousaine. Cette diminution touche les stations urbaines (-7%) et la station de proximité de trafic routier (-6%).

Cette diminution est également observée dans des proportions assez proches pour les stations de surveillance de la zone aéroportuaire puisque les niveaux moyens de NO₂ ont diminué de 10% pour la station coté pistes et de 11% pour la station coté parcs de stationnement.



Graphique 13 : Evolution des concentrations annuelles en dioxyde d'azote sur les stations implantées dans l'environnement de l'aéroport Toulouse-Blagnac et dans l'agglomération toulousaine depuis 2005.



ANNEXE III : RÉSULTATS DES MESURES DU BENZÈNE DANS L'ENVIRONNEMENT DE L'AÉROPORT TOULOUSE - BLAGNAC

LES FAITS MARQUANTS DE L'ANNÉE 2016

- Respect de la réglementation sur l'année.
- Baisse des niveaux entre 2015 et 2016.

LE BENZÈNE : SOURCES ET EFFETS SUR LA SANTE ET L'ENVIRONNEMENT

SOURCES

Dans les lieux clos, la présence de benzène résulte à la fois des sources intérieures et du transfert de la pollution atmosphérique extérieure. Les principales sources intérieures identifiées sont les combustions domestiques, le chauffage au bois 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...). La contamination de l'air extérieur résulte, quant à elle, des émissions du secteur résidentiel et tertiaire – chauffage au bois notamment – du trafic routier et de certaines industries telles que la pétrochimie.

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.

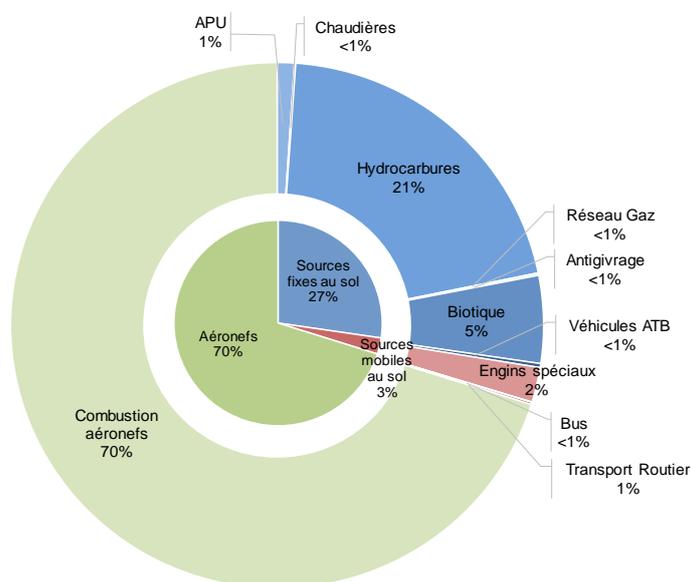
multiples sources des Composés Organiques Volatils Non Méthaniques sur la zone aéroportuaire

Les sources d'émission de Composés Organiques Volatils Non Méthaniques (COVNM) sont multiples en raison des modes de rejets de cette famille de polluants :

- Combustion incomplète de combustibles utilisés dans les sources fixes ou mobiles,
- Evaporation des réservoirs d'essence et de kérosène,
- Sources biotiques.

En 2014, la combustion de carburant par les aéronefs est la première source de Composés Organiques Volatils Non Méthaniques sur la zone aéroportuaire (70% des émissions).

Au sol, l'activité de stockage et de distribution de carburants est la seconde source d'émission. Elle comptabilise 27 % des émissions de COVNM.



Graphique 14 : Répartition des émissions de Composés Organiques Volatils Non Méthaniques par sources sur la zone aéroportuaire
Source Act'air_2014_V3.2

Réglementations respectées sur l'année pour la station de la zone aéroportuaire

		BENZÈNE			
		Respect de la réglementation	Valeurs réglementaires	Evolution 2015/2016	Commentaire
Exposition de longue durée	Valeurs limites	OUI	5 µg/m ³ en moyenne annuelle	=	Moyenne annuelle Parcs de stationnement : 1.1 µg/m ³
	Objectif de qualité	OUI	2 µg/m ³ en moyenne annuelle	=	Moyenne annuelle Parcs de stationnement : 1.1 µg/m ³

µg/m³ : microgramme par mètre cube

Benzène : une concentration annuelle faible

Les niveaux de benzène rencontrés sur la zone aéroportuaire coté parcs de stationnement sont 1,6 fois plus faibles que ceux relevés en proximité trafic dans Toulouse. Cette différence est sans doute due à plusieurs facteurs :

- Le trafic moyen journalier en bordure de la station aéroportuaire est limité. Il est probable

cependant qu'il soit inférieur à celui de la rue de Metz (environ 12 000 véhicules / jour en 2010).

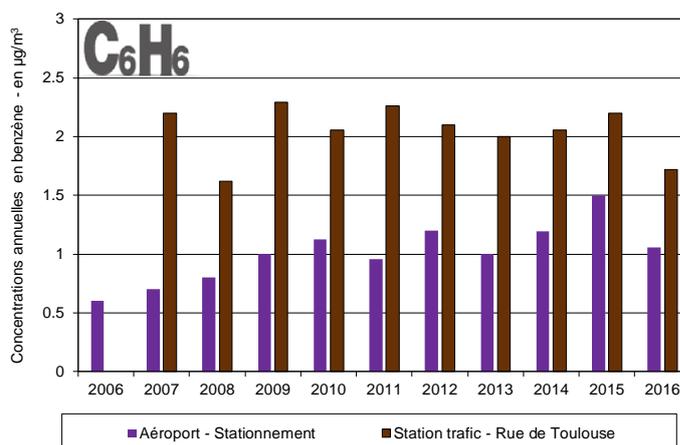
- La station de l'aéroport est située plus en retrait de la voie de circulation.
- La rue de Metz est bordée de part et d'autres de bâtiments de plusieurs étages ce qui réduit la dispersion des polluants.

BENZÈNE	
stations	Objectif de qualité et Valeur limite
	Moyenne annuelle(en $\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Aéroport - parcs de stationnement	1.1
Toulouse - proximité trafic	1.7

$\mu\text{g}/\text{m}^3$: microgramme par mètre cube

Stabilité des concentrations en benzène depuis 2008

L'année 2016 est marquée par une chute des niveaux de sur la station coté parcs de stationnement de l'aéroport Toulouse-Blagnac et en proximité trafic de l'agglomération toulousaine.



Graphique 15 : : Évolution des concentrations annuelles en benzène sur la station coté parcs de stationnement de l'aéroport Toulouse-Blagnac et dans une rue toulousaine depuis 2005.

ANNEXE IV : CONDITIONS MÉTÉOROLOGIQUES

Bilan climatique global sur Blagnac

Le début de l'année 2016 se caractérise par un temps souvent perturbé, avec une succession de passages pluvieux. L'ensoleillement est déficitaire tandis que la pluviométrie est normale à fortement excédentaire. Les cumuls de février sont ainsi 2,3 fois supérieures aux normales du mois.

En janvier et février, les températures sont supérieures aux normales de saison. En mars, elles se rapprochent des normales.

Le printemps et le début de l'été est conforme à la norme. Cependant cette apparente normalité masque d'importantes variations. Pendant cette période, le temps est très changeant, avec de fortes variations des températures maximales et des épisodes pluvieux ou venteux importants.

La fin de l'été et le début de l'automne sont chauds, très ensoleillés et très secs. Les perturbations reviennent en novembre. Elles se succèdent, apportant un temps souvent gris, plutôt doux et des précipitations fréquentes. Enfin, le dernier mois de l'année 2016 se caractérise par des conditions anticycloniques durables avec des températures maximales nettement supérieures aux normales de saison, un ensoleillement important et une pluviométrie très déficitaire.

Des précipitations déficitaires sur une grande partie de l'année

La station météorologique de Blagnac a enregistré des cumuls de précipitation déficitaires en comparaison des normales mensuelles sur le printemps et l'automne. Elles sont en légèrement excédentaires en mai et novembre et très largement excédentaires en février et juillet. Ces pluies ont ainsi favorisé le lessivage de l'atmosphère.

Pluviométrie mensuelle sur la station météorologique de Toulouse Blagnac		
Année 2016	Pluviométrie mensuelle en mm	Normales en mm
Janvier	45,1	51,3
Février	94,8	41,6
Mars	43,6	49,1
Avril	52,9	69,6
Mai	81,4	74
Juin	46,3	60,3
Juillet	71,4	37,7
Août	24,7	46,8
Septembre	15,4	47,7
Octobre	41,5	57
Novembre	53,9	51,1
Décembre	5,6	52,4

Source Météo France

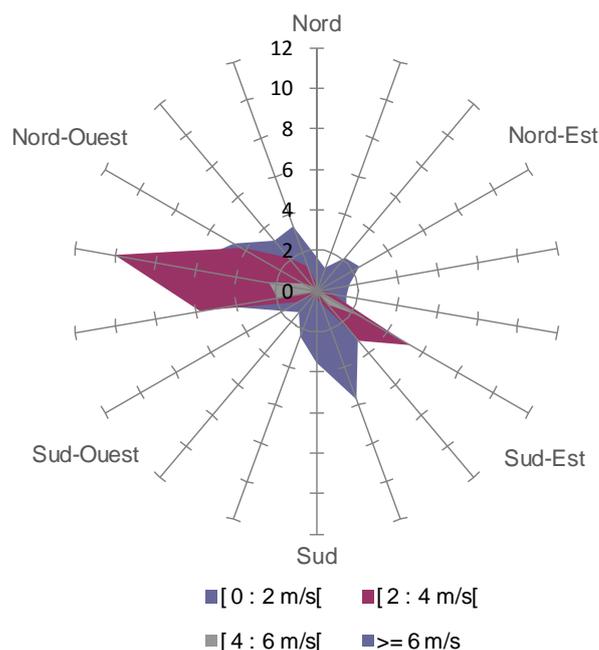
Un vent quasi nul pendant 40% de l'année

Le suivi de l'orientation et de la vitesse du vent permet de mieux interpréter les résultats des mesures réalisées dans l'environnement de l'aéroport Toulouse - Blagnac.

La rose des vents met ainsi en évidence que la zone aéroportuaire est soumise à deux typologies de vents :

- Un vent de direction Nord-Ouest, Ouest présent 47% de l'année et dont la vitesse peut être très variable,
- Un vent de direction Sud-Est présent environ 26% de l'année de vitesse plutôt faible inférieure à 2 m/s pendant 12% de l'année.

Sur l'ensemble de l'année, quelle que soit la direction du vent, le vent a été de vitesse quasi-nulle (inférieure à 1 m/s) pendant 27% de l'année et de vitesse faible (comprise entre 1 et 2 m/s) pendant 26% de l'année. Ces résultats sont similaires à ceux relevés en 2015, (25% de vents inférieurs à 1 m/s sur l'année et 27% de vents compris entre 1 et 2 m/s). En 2016, les vents de vitesses plus élevées sont également dans des proportions similaires à 2015.



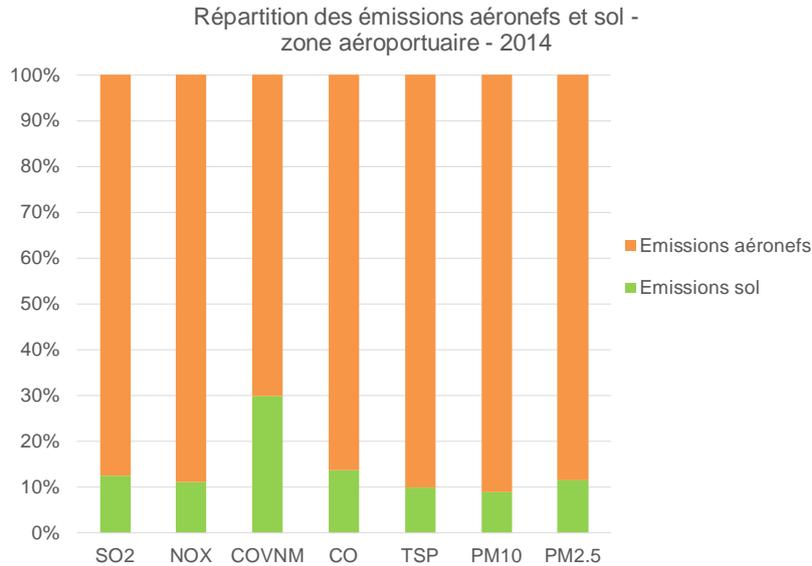
Graphique 16 : Rose des vents obtenue à partir des relevés quart horaires de direction et de vitesse du vent sur la station de mesures de Colomiers

ANNEXE V : PRINCIPAUX RÉSULTATS DE L'INVENTAIRE DES ÉMISSIONS DE L'ACTIVITÉ AÉROPORTUAIRE

Emissions totales de la zone aéroportuaire

Le graphique ci dessous présente la part des émissions des **sources au sol** et des **aéronefs** pour la zone aéroportuaire de Toulouse-Blagnac.

Les avions étant de forts consommateurs d'énergie, ils sont responsables de la **plus grande partie des émissions** de polluants atmosphériques sur la zone aéroportuaire toutes sources confondues.



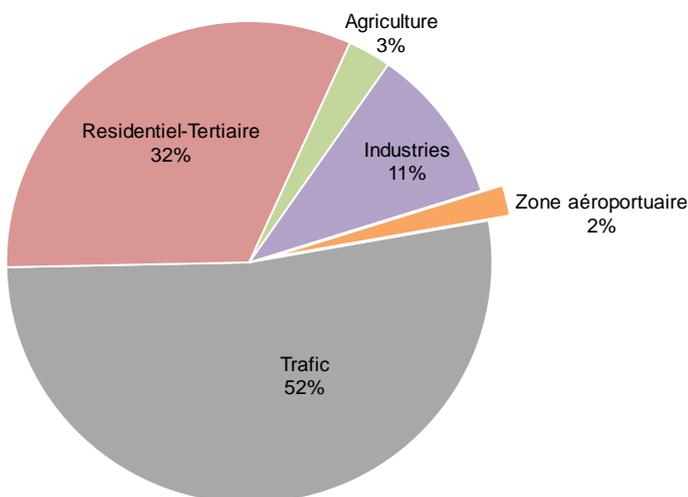
Graphique 17 : Répartition des émissions aéronaves et au sol sur la zone aéroportuaire pour différents polluants atmosphériques

Poids de l'activité aéroportuaire sur les émissions totales du territoire de Toulouse Métropole.

L'inventaire des émissions de la zone aéroportuaire a été intégré dans l'inventaire des émissions totales, permettant de connaître le poids de l'activité aéroportuaire face aux autres secteurs émissifs :

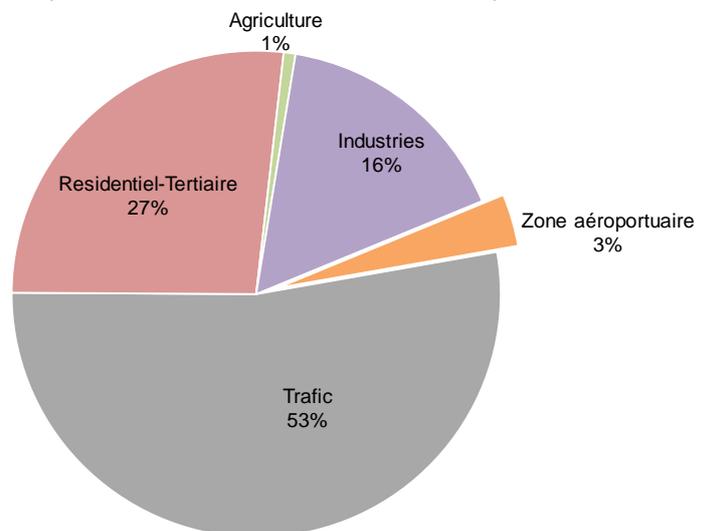
- Le secteur résidentiel et tertiaire,
- Le secteur industriel,
- Le secteur agricole.

Répartition des émissions de PM2,5 - Toulouse Métropole - 2014



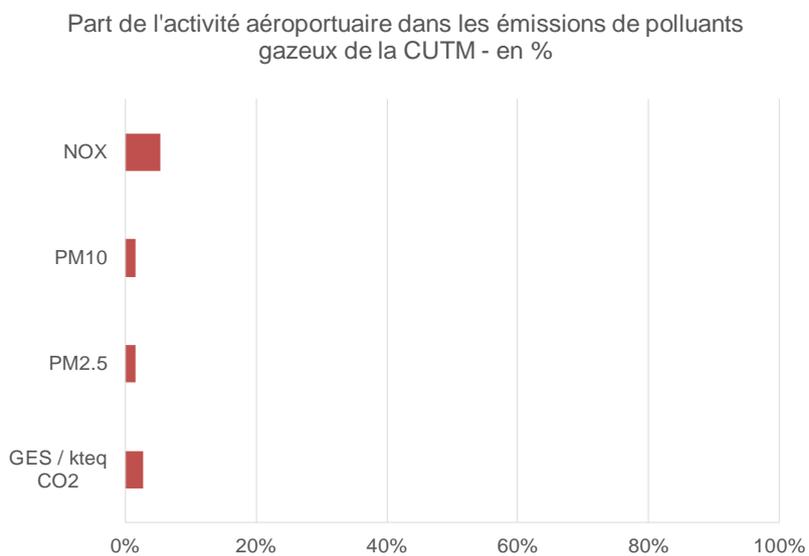
Graphique 18 : Part de l'activité aéroportuaire sur les émissions de PM2,5 pour la CUTM
Source Act'air_2014_V3.2

Répartition des émissions de GES - Toulouse Métropole - 2014



Graphique 19 : Part de l'activité aéroportuaire sur les émissions de Gaz à effet de serre pour la CUTM
Source Act'air_2014_V3.2

Ainsi le poids de l'activité aéroportuaire représente **5% des émissions de NOx** de la Communauté Urbaine Toulouse Métropole (CUTM), et **2% des PM10** et des **PM2.5**. Les émissions de **gaz à effet de serre** représentent **3 %** des émissions totales.



Graphique 20 : Part de l'activité aéroportuaire sur les émissions de polluants gazeux pour la CUTM
Source Act'air_2011_V2.4

ANNEXE VI : TAUX DE FONCTIONNEMENT DU RÉSEAU DE SUIVI DE LA QUALITÉ DE L'AIR

La directive européenne concernant la qualité de l'air ambiant et un air pur pour l'Europe fixe à 90% la proportion de données valides sur une année civile.

Tous les taux de fonctionnement obtenus par les deux stations de surveillance de la zone aéroportuaire sont supérieurs aux 90% fixés par la directive européenne. Les jeux de données valides en NO/NO₂ et PM10 sont donc représentatifs de l'année 2016.

De même, les stations de référence choisies pour la comparaison des concentrations enregistrent des taux de fonctionnement qui respectent les 90% minimum de données valides.

Dans sa démarche d'assurance qualité, l'ORAMIP s'est fixé comme objectif annuel de performance du processus exploitation d'obtenir, entre autres, un taux de fonctionnement annuel du dispositif de mesures automatiques de 95%.

Cet objectif de performance a été atteint pour les stations de surveillance de la zone aéroportuaire pour l'année 2016.

TAUX DE FONCTIONNEMENT DU RESEAU DE SUIVI DE LA QUALITÉ DE L'AIR DANS L'ENVIRONNEMENT DE L'AÉROPORT TOULOUSE - BLAGNAC			
stations	Paramètres mesurés		
	NO/NO ₂	PM10	Benzène
Aéroport - pistes	97.7%	97.0%	-
Aéroport - parcs de stationnement	99.6%	98.5%	Mesure par échantillonneurs passifs 96,9%

ANNEXE VII : DISPOSITIF DE MESURE POUR LA VALIDATION DU MODELE

Présentation du dispositif mis en place

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

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. Leurs niveaux sont comparés aux stations fixes de l'ORAMIP implantées sur l'agglomération toulousaine. Cette station mobile fournit en temps réel une concentration moyenne 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 estimées, 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 IX.

La station mobile

Du 03 au 24 novembre 2016, la station mobile a été installée en bout des pistes au nord-ouest de l'aérogare. Cette station est représentative des conditions à proximité du trafic aérien, dans la bande d'étude.

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

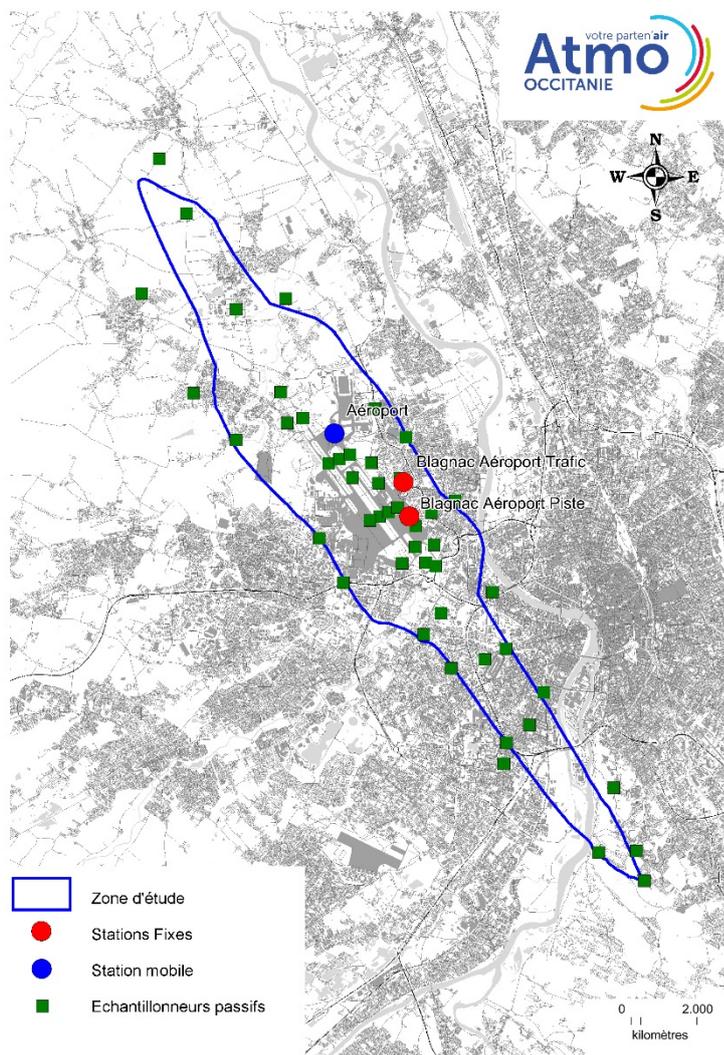
- Dioxyde d'azote (NO₂),
- Particules de diamètre inférieur à 10 µm (PM10).

Les échantillonneurs passifs

Les échantillonneurs passifs ont été installés du 07 au 21 novembre 2016.

Ils permettent d'évaluer la dispersion du dioxyde d'azote NO₂, sur le domaine d'études. Pour cette étude le niveau de pollution en NO₂ est évaluée sur 49 sites (dont 17 sites sur la zone aéroportuaire et 32 sites répartis sur le reste du domaine d'études).

La campagne de mesures par échantillonneurs passifs est réalisée en même temps que celle de la station mobile, afin de comparer et ajuster les valeurs mesurées.



Carte 10 : Position de la station mobile et des échantillonneurs passifs sur le domaine d'étude, campagne de mesures 2016



Photographie 1 : station provisoire implantée à proximité des pistes

Mesure du dioxyde d'azote

Les niveaux en NO₂ sont évalués par la station mobile implantée en bout de pistes au nord ouest, ainsi que par échantillonneurs passifs sur 49 sites, dont 17 sites sur la zone aéroportuaire et 32 sites en fond périurbain, urbain et trafic.

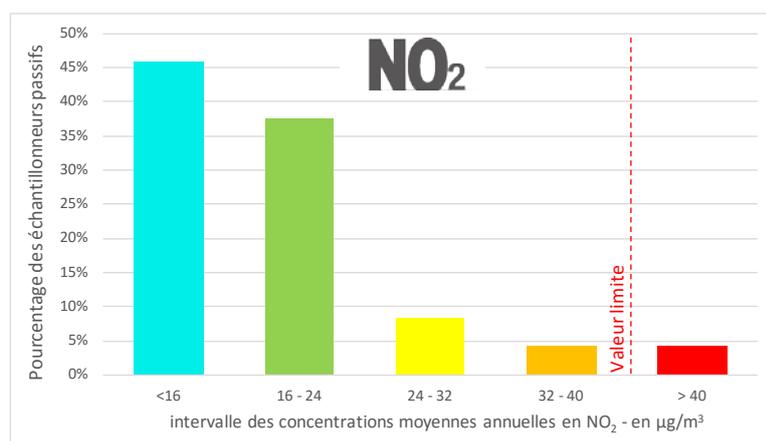
	DIOXYDE D'AZOTE	
	Station provisoire aéroport	Échantillonneurs passifs
Concentration moyenne annuelle	16 µg/m ³	Moyenne des sites 18 µg/m ³ Sur la zone aéroportuaire : 16.2 µg/m ³
Dépassement de 200 µg/m ³ en concentration horaire	0 dépassement	

Le tableau ci-dessous décrit les statistiques issues des concentrations moyennes en NO₂ estimées sur l'année. Il met en évidence des variations importante de concentrations sur le domaine d'études. En dehors de la

zone aéroportuaire, les concentrations sont hétérogènes, elles varient fortement selon que le site étudié est en situation de fond périurbain ou urbain ou de proximité trafic ; l'écart-type est donc plus élevé.

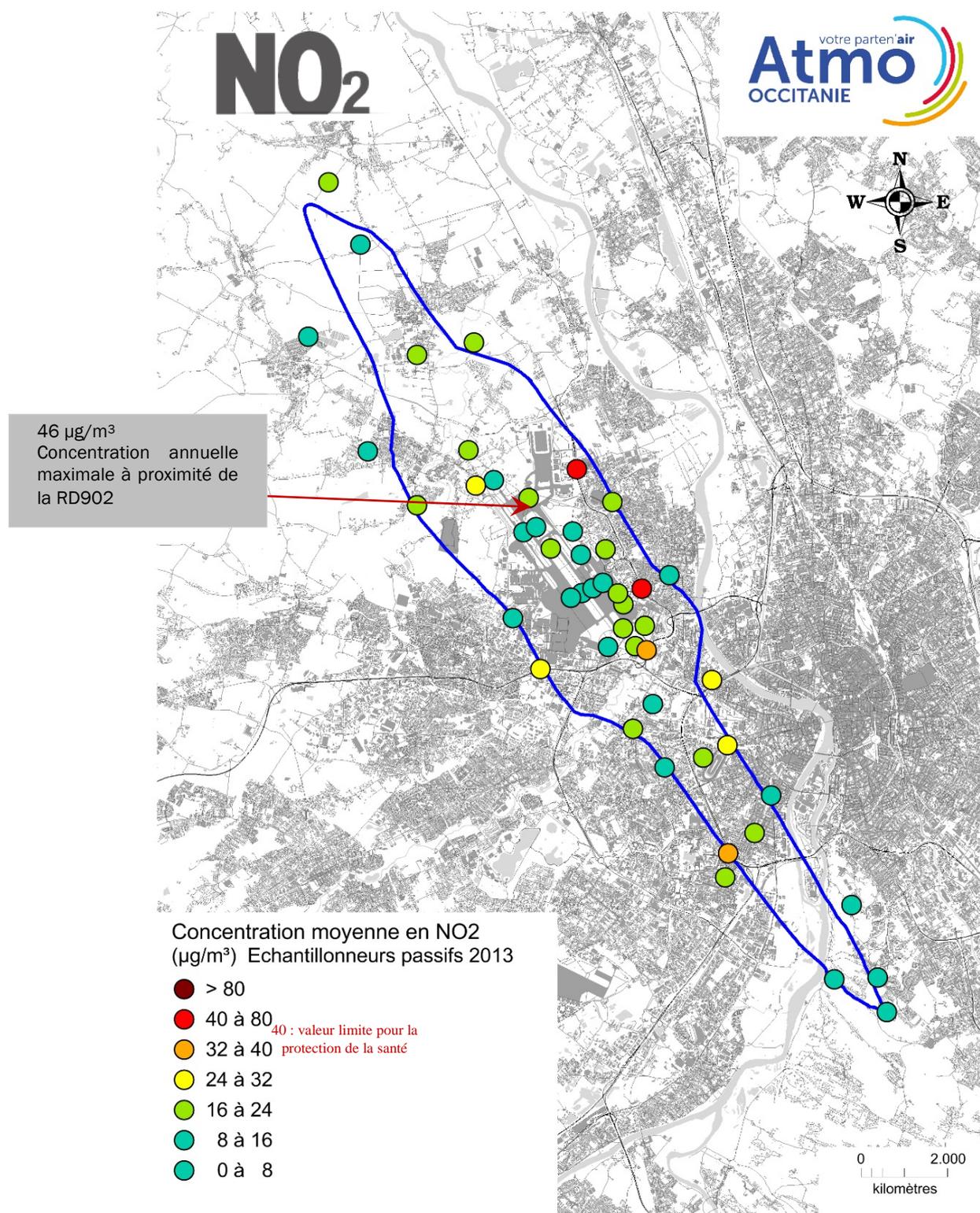
NO ₂	Echantillonneurs passifs				
	Minimum	Maximum	Moyenne	Médiane	Ecart Type
Zone aéroportuaire	9 µg/m ³	23 µg/m ³	16 µg/m ³	15 µg/m ³	± 4 µg/m ³
Domaine d'études hors zone aéroportuaire	5 µg/m ³	46 µg/m ³	19 µg/m ³	18 µg/m ³	± 11 µg/m ³

Le graphique ci-contre met en évidence la dispersion des concentrations des échantillonneurs passifs sur les sites de mesure. Malgré cette hétérogénéité, tous les sites, hormis deux sites implantés en bordure de la DR902 respectent la valeur limite de 40 µg/m³.



Graphique 21 : Répartition des échantillonneurs passifs en fonction des intervalles de concentration en NO₂, 2013

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



Carte 11 : Concentrations moyennes annuelles estimées des échantillonneurs passifs en NO₂, 2013

Mesure des particules

Les niveaux en particules PM10 sont évalués sur le domaine d'étude avec la station mobile implantée en bout des pistes de l'aéroport.

PM10	PARTICULES PM10
	Station provisoire aéroport
Concentration moyenne annuelle	15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Dépassement de 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en concentration journalière	0 dépassement

ANNEXE VIII : NOTE MÉTHODOLOGIQUE 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 de l'ORAMIP.

ADAPTATION STATISTIQUE DES STATIONS MOBILES

Hypothèses

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

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

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

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

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

L'équation de régression s'écrit :

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

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

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

Variables explicatives

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

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

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

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

Détection des points aberrants et des points influents

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

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

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

Le coefficient de détermination :

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

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

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

Le test de significativité globale de la régression

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

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

Le test de significativité d'un coefficient

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

ANNEXE IX : NOTE METHODOLOGIQUE DE L'INVENTAIRE, DE LA MODELISATION ET DE LA CARTOGRAPHIE

Principe de la méthode

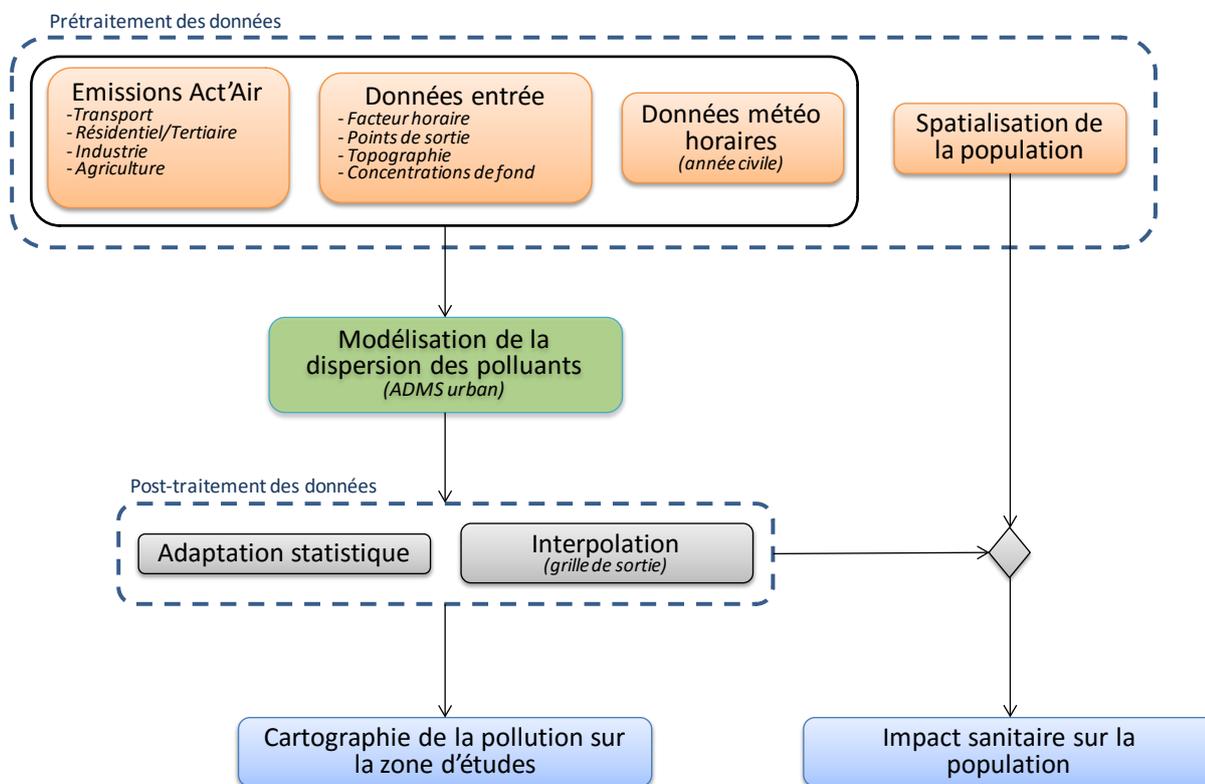


Schéma 1 : Méthodologie utilisée pour la modélisation de la dispersion à fine échelle sur la zone d'études

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

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

Le principe du logiciel est de simuler heure par heure la dispersion des polluants dans un domaine d'étude sur une année entière, en utilisant des chroniques

météorologiques réelles représentatives du site. A partir de cette simulation, les concentrations des polluants au sol sont calculées et des statistiques conformes aux réglementations en vigueur (notamment annuelles) sont élaborées. L'utilisation de données météorologiques horaires sur une année permet en outre au modèle de pouvoir calculer les percentiles relatifs à la réglementation

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

Prétraitement de la modélisation

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

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

Atmo Occitanie effectue les inventaires d'émissions de polluants atmosphériques et de gaz à effet de serre, et de les met 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 (SNIIBA), 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.

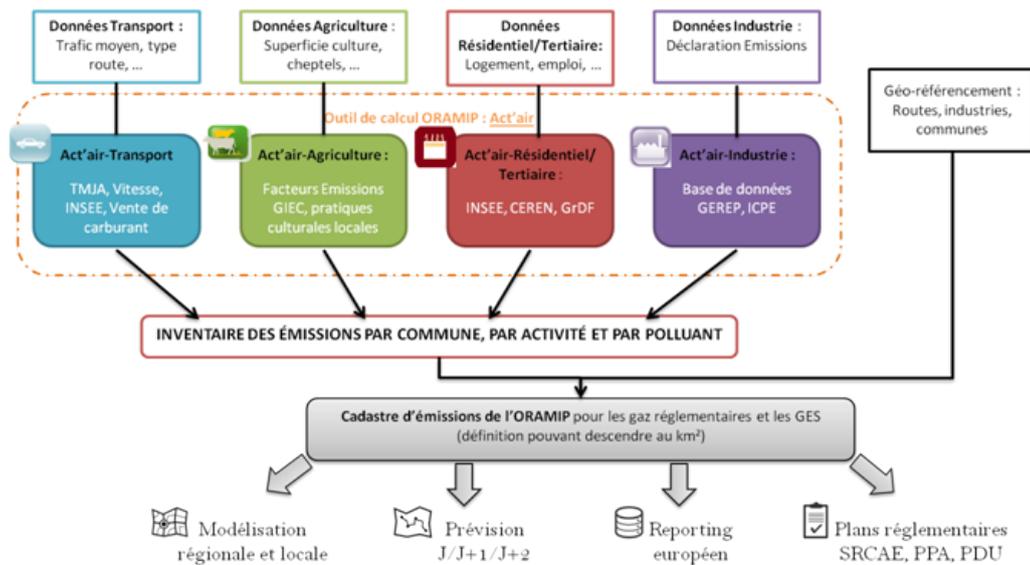


Schéma 2 : organigramme de l'outil de calcul Act'air

Calcul des émissions de la zone aéroportuaire Toulouse-Blagnac

La méthodologie employée est celle du guide du PCIT, le Pôle de Coordination des Inventaires Territoriaux. Elle permet de constituer des **inventaires territoriaux** qui reflètent la situation locale, tout en étant cohérents entre eux.

L'approche générale retenue pour tous les calculs d'émissions, quelle que soit la source, consiste à croiser des données d'activité (comptage routier, consommation énergétique, etc.) avec des facteurs d'émissions unitaires qui dépendent de l'activité émettrice.

Les émissions d'une activité donnée sont exprimées par la formule générale suivante :

$$E_{s,a,t} = A_{a,t} * F_{s,a}$$

- E : émission relative à la substance « s » et à l'activité « a » pendant « t ».
- A : quantité d'activité relative à l'activité « a » pendant le temps « t ».
- F : facteur d'émission relatif à la substance « s » et à l'activité « a ».

Les émissions sur la zone aéroportuaire ont été séparées en deux classes :

- Les émissions linéaires, issues de la rotation des aéronefs
- Les émissions non linéaires.

ÉMISSIONS DES AERONEFS

Les émissions liées aux aéronefs sont basées sur le **cycle LTO** : Landing and Take Off.

Les différentes phases du cycle LTO sont représentées par le schéma ci-dessous :

Cinq phases sont considérées :

- L'approche,
- Le roulage arrivé,
- Le roulage départ,
- Le décollage,
- La montée.

Ainsi pour chaque mouvement d'avion est calculé les émissions pour chaque phase du cycle LTO.

Un traitement automatique a été créé, pour faciliter la mise à jour chaque année.

Un calcul des émissions de particules dues à **l'abrasion des pneus, des freins et des pistes** est également effectué.

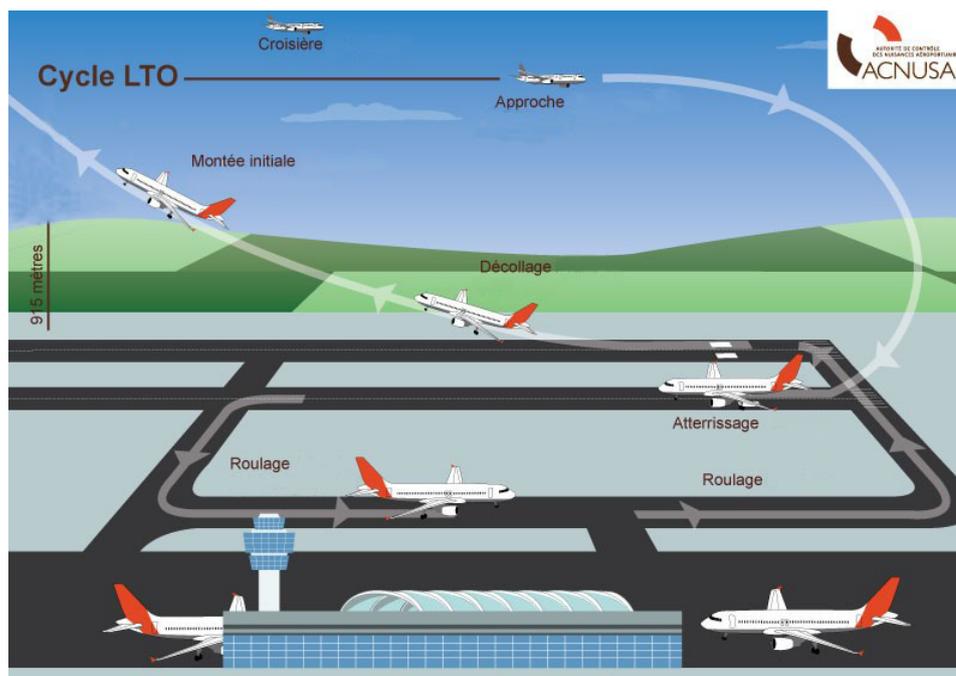


Figure 4 : Représentation du cycle LTO – source : site de l'ACNUSA

Les émissions des rotations ont été géoréférencées pour les deux sens de décollage et d'atterrissage (vers le nord-ouest ou vers le sud est) et pour les deux pistes de l'aéroport. En effet, les règles aérodynamiques imposent que les avions décollent et atterrissent face au vent. Cette contrainte entraîne des changements de sens d'utilisation des deux pistes de l'aéroport en fonction de conditions météorologiques.

En outre, toutes les émissions linéaires liées aux phases de roulage des aéronefs ont été géoréférencées.

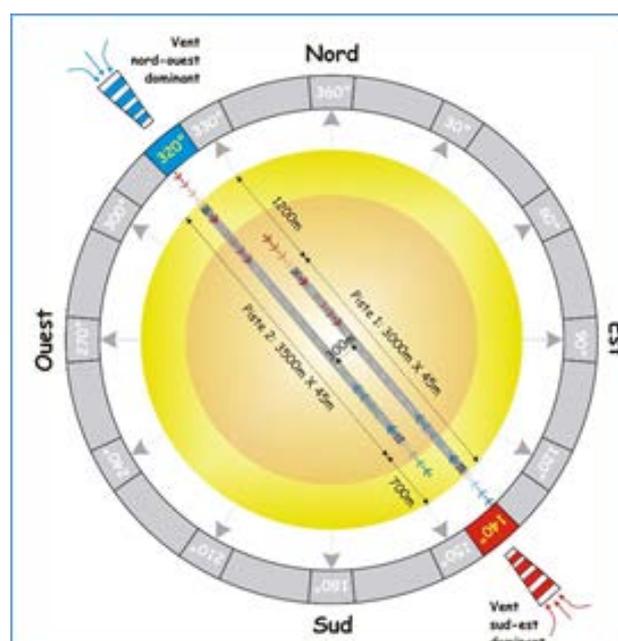


Figure 5: Représentation des sens de décollage et d'atterrissage pour les 2 pistes de l'aéroport de Toulouse - Blagnac

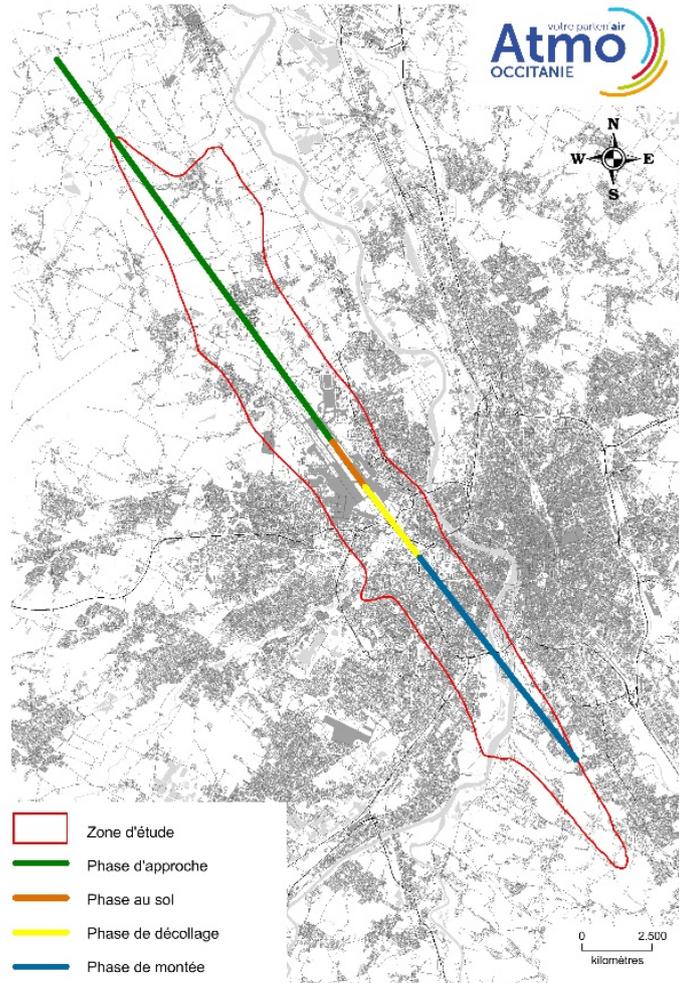


Figure 6: Géoréférencement des émissions linéaires par vents de sud est sur la piste 1 par rapport à la zone d'étude (projection au sol)

En dehors des phases de roulage au sol, les émissions des aéronefs ne sont pas horizontales.

décollage, qu'une modélisation en 2 dimensions sur la base des profils de vol peut être menée si l'on travaille entre 0 et 900 mètres d'altitude.

Nous avons considéré, à partir des informations fournies par la DGAC/STAC sur la dispersion des aéronefs lors des phases d'atterrissage et de

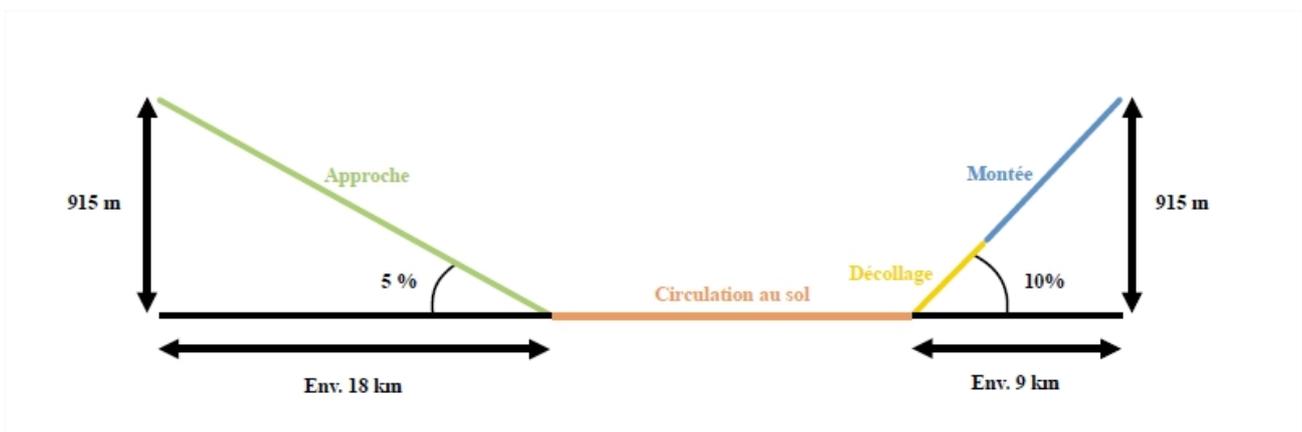


Figure 7: Représentation 2D des trajectoires d'avion par rapport à un sens de piste

Un découpage a donc été effectué : un brin linéaire a été assigné tous les 50m en altitude jusqu'à 900m.

En raison de la pente différente des différentes phases (décollage, montée et atterrissage), ce brin a été fixé à :

- 1,3 km pour les phases d'atterrissage
- 0,73 km pour les phases de décollage
- 1,0 km pour les phases de montée

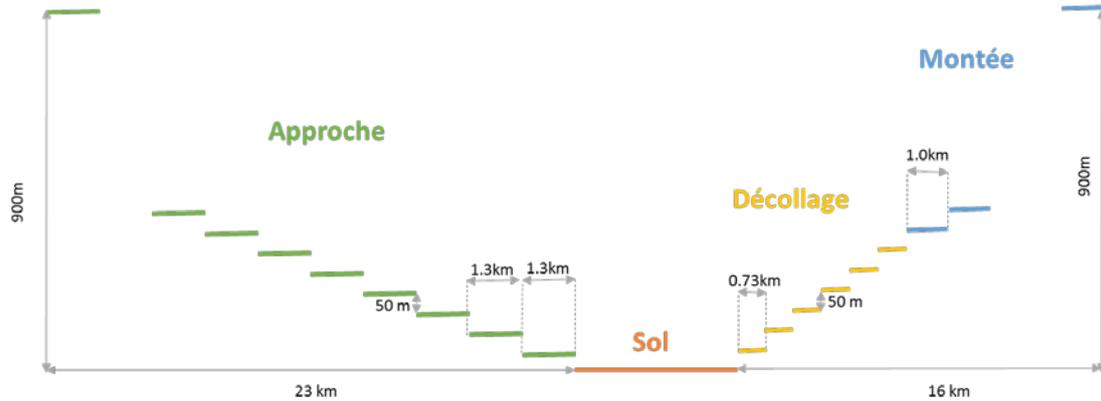


Figure 8: Intégration linéaire des phases aériennes dans la plateforme de modélisation (ADMS)

ÉMISSIONS AU SOL

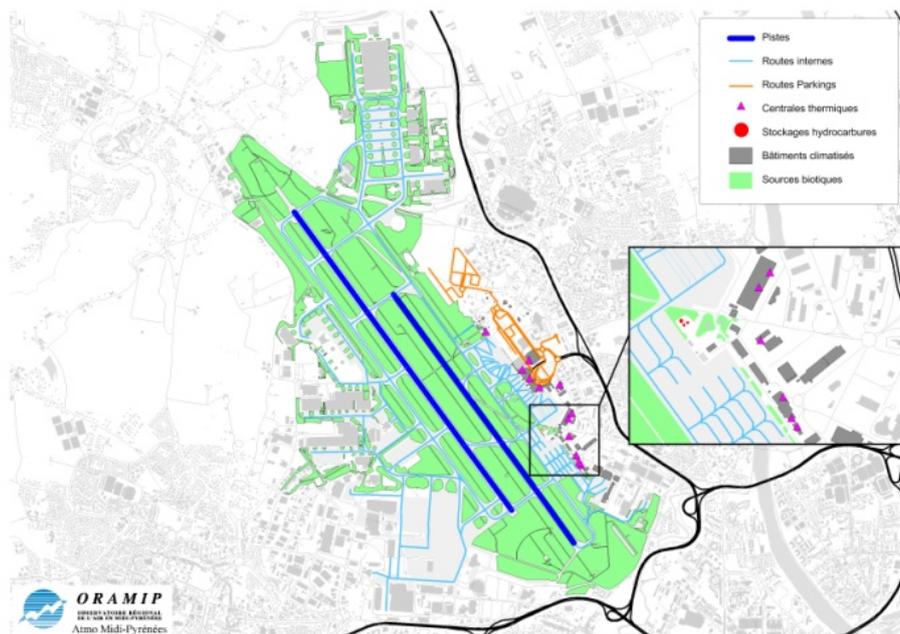
Les émissions liées aux **sources fixes** au sol prises en compte sont les suivantes :

- les APU (Auxiliary Power Unit),
- les centrales thermiques,
- la climatisation et la réfrigération,
- les stockages d'hydrocarbures et distribution,
- les réseaux de distribution de gaz,
- les sources biotiques : végétation et espaces verts,

- les opérations de dégivrage, de déverglçage et d'antigivrage des avions.

Sont aussi intégrées les émissions des **sources mobiles** sur la zone aéroportuaire :

- les engins spéciaux,
- les véhicules ATB ou sous traitement,
- le trafic routier accédant à l'aéroport,
- le réseau de bus.



Carte 12 : Représentation de la position des différentes sources d'émission de polluants atmosphériques sur la zone aéroportuaire

Traitement des autres émissions de la zone d'étude

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

LE TRAFIC ROUTIER

Le parc roulant relatif à une année donnée est composé de différentes classes technologiques de véhicules qui conditionnent les émissions de polluants. La méthode de calcul permet de connaître pour chaque année, les effectifs, la nature et les caractéristiques détaillées des véhicules en circulation. Ces données servent de base aux calculs d'inventaire des émissions du trafic routier en France.

A partir du trafic routier modélisé par le SGGD sur l'aire urbaine de Toulouse et du parc roulant pour l'année 2013 les émissions liées à la consommation de carburant, à l'usure des équipements (pneus, freins et routes) et au ré-envoi des particules lors du passage des véhicules sont calculées.

Sur chaque axe de circulation, les émissions sont calculées en fonction :

- du Trafic Heure de Pointe du Matin (HPM) et Heure de Pointe du Soir (HPS),
- de la vitesse à vide et en charge HPM et HPS
- de la composition des véhicules (véhicules légers (VL) et transport en commun (TC))
- de la capacité de chaque tronçon.

Les émissions horaires sont ainsi calculées, les suremissions de polluants liées aux ralentissements aux heures de pointe sont prises en compte.

Les émissions ferroviaires ont également été déterminées à partir des données de la SNCF.

LE RESIDENTIEL / TERTIAIRE

Les émissions sont essentiellement dues aux dispositifs de chauffage à la production d'eau chaude sanitaire et aux divers équipements ménagers (cuisson, agrément...). Elles dépendent du combustible utilisé.

Elles sont donc 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.

L'INDUSTRIE

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 OMINIA 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.

L'AGRICULTURE

La culture des sols engendre, au-delà des émissions liées à l'utilisation de machines munies de moteurs thermiques, des émissions dues aux labours des sols et aux réactions consécutives à l'utilisation de fertilisants. L'élevage se traduit par des émissions liées, d'une part, à la fermentation entérique et, d'autre part, aux réactions chimiques engendrées par les déjections animales.

Les quantités engendrées pour certaines substances sont très importantes et font de ce secteur l'émetteur parfois le plus important.

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.

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 :

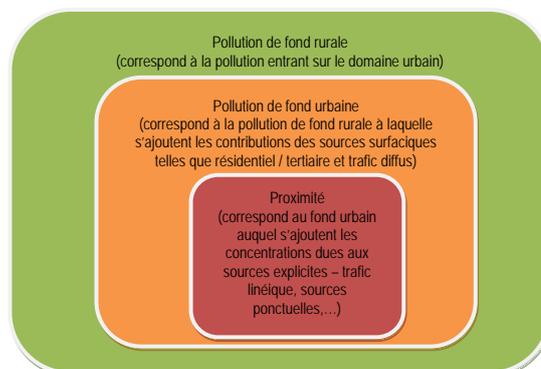


Schéma 3 : Les principales échelles de pollution en milieu urbain

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. Cette pollution de fond est estimée en prenant une moyenne horaire pondérée des stations fixes urbaines toulousaines. Afin de calculer cette pollution de fond, les concentrations mesurées sur chaque station sont comparées entre elles pour supprimer les valeurs "aberrantes". Puis une moyenne est calculée pour chaque heure de l'année étudiée.

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 prend en compte le taux de saturation de chaque axe afin de mieux estimer les surémissions horaires liées aux embouteillages,
- 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'étude

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.

Post traitement de la modélisation

Adaptation statistique de données

Les sorties brutes de modèles de dispersion tels qu'ADMS correspondent rarement à la réalité des concentrations mesurées. En effet, différents effets sont difficilement pris en compte par la modélisation :

- Les surémissions de certains polluants dues à des bouchons suite à un accident
- La pollution de fond sur laquelle vient s'ajouter la dispersion des sources prises en compte (trafic routier, industrie, chauffage, etc.). En effet l'évolution de la pollution de fond entre deux heures consécutives est difficilement prise en compte par les modèles de dispersion.
- L'apport de pollution provenant de l'extérieur de la zone de modélisation

Ces différents points sont les sources principales de différence entre les sorties brutes de la modélisation et les mesures.

Les hypothèses retenues dans cette méthodologie sont que :

- La différence entre le niveau de fond modélisé et le niveau de fond mesuré est homogène sur la zone d'étude et peut être représentée par un biais moyen horaire. A partir de 3 stations de fond toulousaines, l'adaptation statistique est réalisée afin d'estimer ce biais moyen sur la zone pour chaque heure de l'année et pour chaque polluant.
- Une pente estimant une erreur conjointe entre les émissions linéiques et le calcul de la couche limite est calculée à l'aide des concentrations horaires mesurées par la station située en proximité immédiate du périphérique.

Interpolation des données

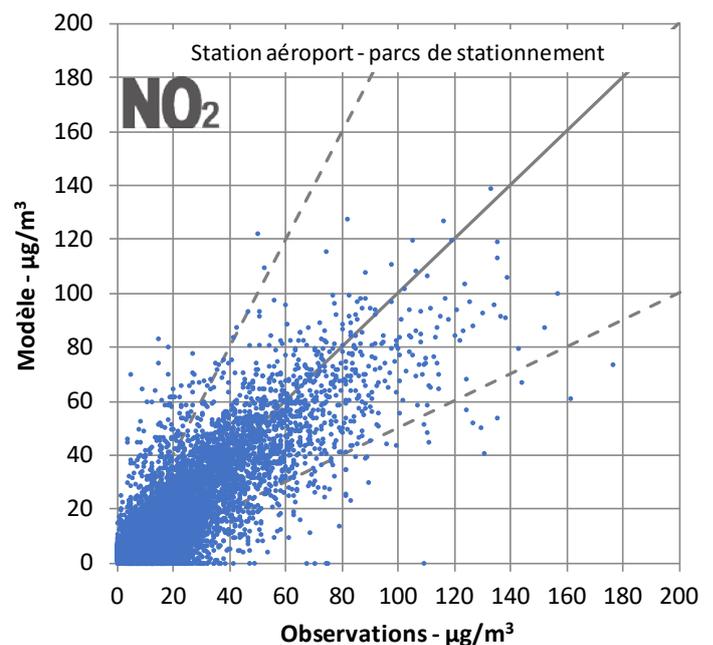
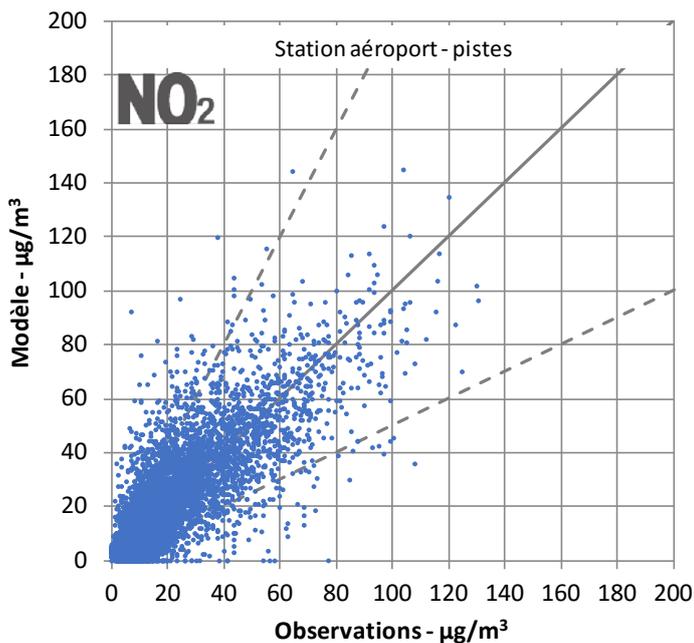
Les données de sortie de modélisation ne sont pas spatialement homogènes dans le domaine d'étude. Aussi avant de créer une cartographie des concentrations, une interpolation par pondération inverse à la distance est effectuée sur une grille régulière.

ANNEXE X : ANALYSE DE LA PERFORMANCE DU MODELE A L'AIDE DE CRITERES STATISTIQUES

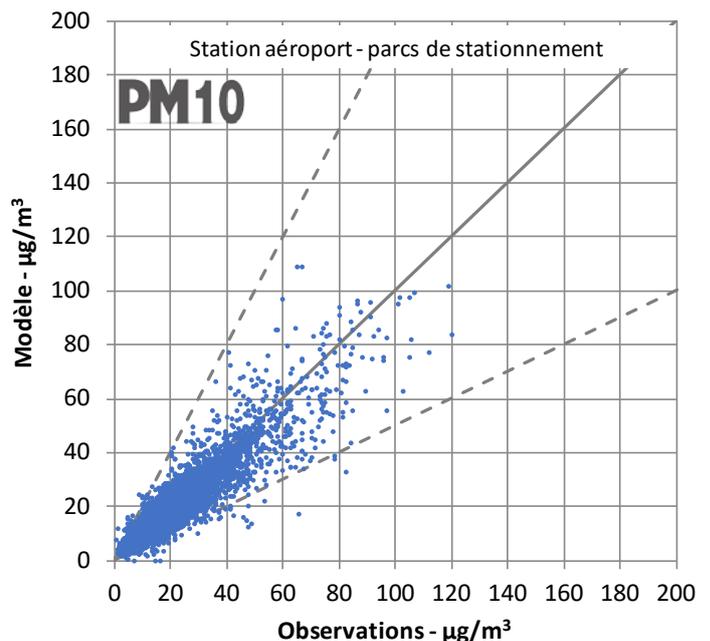
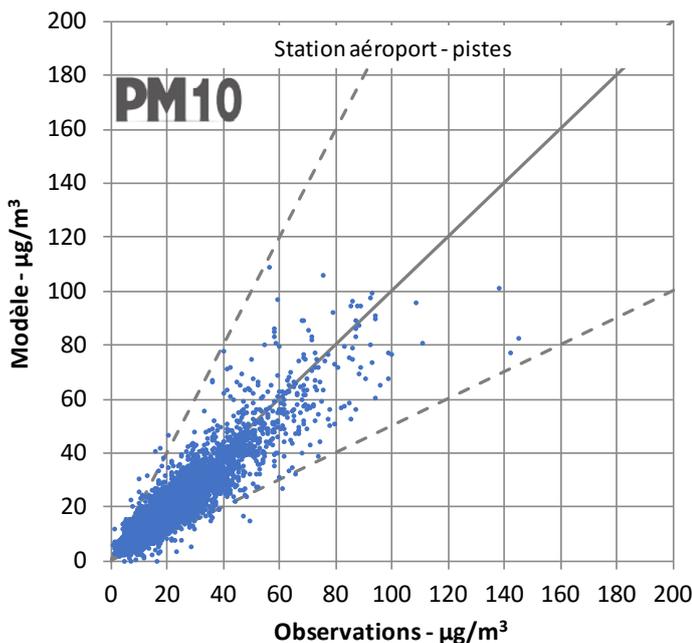
Performance de modélisation des concentrations horaires en un site

L'ensemble de l'analyse des performances statistiques du modèle peut être illustrée par un diagramme de dispersion, comparant les observations aux prévisions, pour l'ensemble de mesures par échantillonneurs passifs. La première bissectrice correspond à une concordance parfaite entre prévisions et observations ; les droites tiretées délimitent la zone du facteur 2, où $0,5 \leq \text{FAC2} \leq 2$.

Dans l'ensemble, les nuages de points obtenus révèlent une évaluation satisfaisante des concentrations. Pour le dioxyde d'azote, on note cependant une dispersion importante des concentrations modélisées ainsi que la tendance du modèle à sous estimer les concentrations les plus fortes.



Graphique 22 : Diagramme de dispersion des concentrations horaires modélisées et mesurées en NO_2 des deux stations implantées dans l'environnement de aéroport pour l'année 2013



Graphique 23 : Diagramme de dispersion des concentrations horaires modélisées et mesurées en PM_{10} des deux stations implantées dans l'environnement de aéroport pour l'année 2013

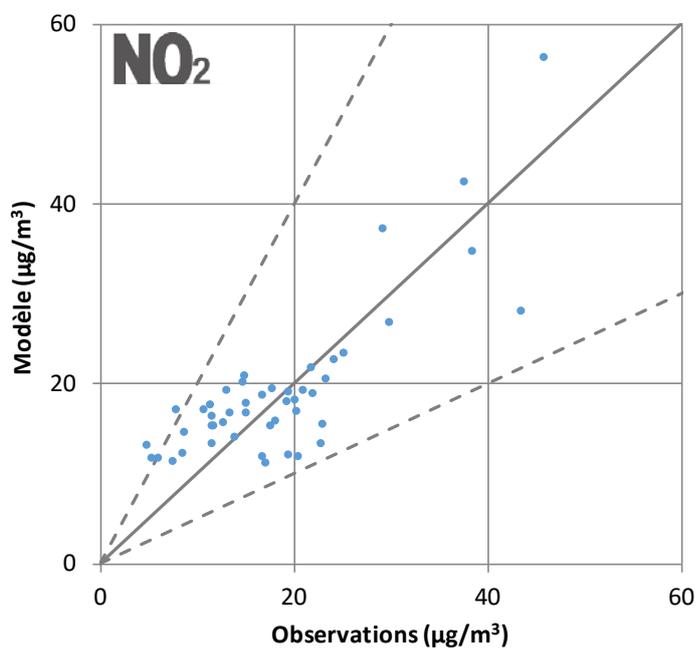
Dans le tableau ci après, nous indiquons les performances statistiques du modèle relativement aux concentrations moyennes horaires en NO₂ et Pm10 modélisées et observées pour les deux stations de surveillance de la qualité de l'air aux abords de l'aéroport. Seuls les points communs aux différentes phases sont pris en compte dans cette comparaison mesure/modèle.

Nous notons les très bonnes performances du modèle, qui respectent tous les critères de haute performance, mis à part le facteur VG qui est légèrement supérieur au seuil fixé pour la modélisation du NO₂. Cela traduit l'importance plus forte de l'erreur locale portant sur les faibles concentrations.

Indicateurs statistiques	NO ₂		PM10		Caractéristiques d'un modèle performant
	Modèle Station pistes	Modèle Station parcs de stationnement	Modèle Station pistes	Modèle Station parcs de stationnement	
FB	-0.06	0.11	0.06	0.08	-0.3 < FB < 0.3
MG	1.01	1.20	1.06	1.07	-0.7 < MG < 1.3
NMSE	0.37	0.36	0.07	0.07	NMSE <=2
VG	1.66	2.39	1.07	1.08	VG < 1.6
FAC2	0.77	0.69	0.98	0.98	FAC2 > 0.5
R ²	0.64	0.67	0.85	0.85	Le plus proche de 1

Performance de modélisation pour la dispersion du dioxyde d'azote sur le domaine d'études

Le diagramme de dispersion, comparant les observations aux modélisations, pour l'ensemble des mesures par échantillonneurs passifs montre la bonne performance du modèle. On note cependant une légère surestimation des concentrations les plus faibles.



Graphique 24 : Diagramme de dispersion des concentrations annuelles modélisées et estimées en NO₂ sur 49 sites pour l'année 2013

Tous les critères de performance 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.

Indicateurs statistiques	Modèle 47 observations	Caractéristiques d'un modèle performant
FB	-0.04	$-0.3 < FB < 0.3$
MG	0.91	$-0.7 < MG < 1.3$
NMSE	0.09	$NMSE \leq 2$
VG	1.14	$VG < 1.6$
FAC2	0.94	$FAC2 > 0.5$
R ²	0.67	Le plus proche de 1

Principe de la méthode

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

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

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

Les 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, les valeurs de FB sont négatives en cas de sur-estimation, et positives en cas de sous-estimation des valeurs.

Des critères de performances acceptables ont été développés dans Chang et Hanna [2004] et Hanna et al [2004] à partir de l'évaluation de nombreux modèles sur un grand nombre d'expériences.

Un modèle est considéré comme acceptable si :

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

Présentation des indicateurs statistiques utilisés

On utilise les notations suivantes :

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

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

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

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

FB : Biais fractionnel

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

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

Valeur recherchée : 0

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

Une valeur positive implique, qu'en moyenne, le modèle sous estime la mesure : la moyenne des données issues du modèle est plus faible que celle des données mesurées. Toutefois ponctuellement, le modèle peut donner une valeur supérieure à la mesure.

Une valeur négative implique qu'en moyenne, le modèle surestime globalement la mesure : la moyenne des données issues du modèle est plus forte que celle des données mesurées. Toutefois ponctuellement, le modèle peut donner une valeur inférieure à la mesure.

Type d'erreur : systématique

NMSE : Normalised mean square error

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

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

Valeur recherchée : 0

Interprétation des valeurs : La NMSE est une grandeur positive ou nulle. Elle est sans dimension. Si elle est nulle, les valeurs du modèle sont toutes égales aux

valeurs observées. Plus la NMSE est grande, plus l'écart entre mesure et observation est grand. La NMSE ne donne toutefois pas d'indication sur la distribution de cette erreur. Une grande valeur de NMSE peut correspondre soit à un biais fort, soit à un écart type des erreurs fort, soit aux deux à la fois.

Type d'erreur : totale

MG : Geometric Mean Bias

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

Signification : MG est l'exponentielle du biais calculé à partir des logarithmes népériens des valeurs d'observations et des valeurs modélisées. Il donne le même type d'information que la valeur du biais. Toutefois les propriétés du logarithme font que ce paramètre est influencé par l'écart relatif entre les valeurs et non pas par l'écart brut.

Concrètement, pour une même erreur relative, le biais est plus sensible à un écart sur des valeurs fortes que sur des valeurs faibles car la même erreur relative conduira alors à un écart plus grand. MG sera aussi sensible à l'un qu'à l'autre.

Valeur recherchée : 1

Interprétation des valeurs : MG est une grandeur strictement positive. C'est un nombre sans dimension. Une valeur égale à 1 indique que les données d'observations et les données modélisées ont la même moyenne. Le modèle est donc en mesure de bien restituer la valeur moyenne du paramètre considéré. Toutefois les écarts peuvent être ponctuellement ou systématiquement très importants : il suffit que les écarts positifs compensent les écarts négatifs.

Une valeur supérieure 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

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

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

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

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 corrigéable au sein du modèle, ou dans le traitement des données).

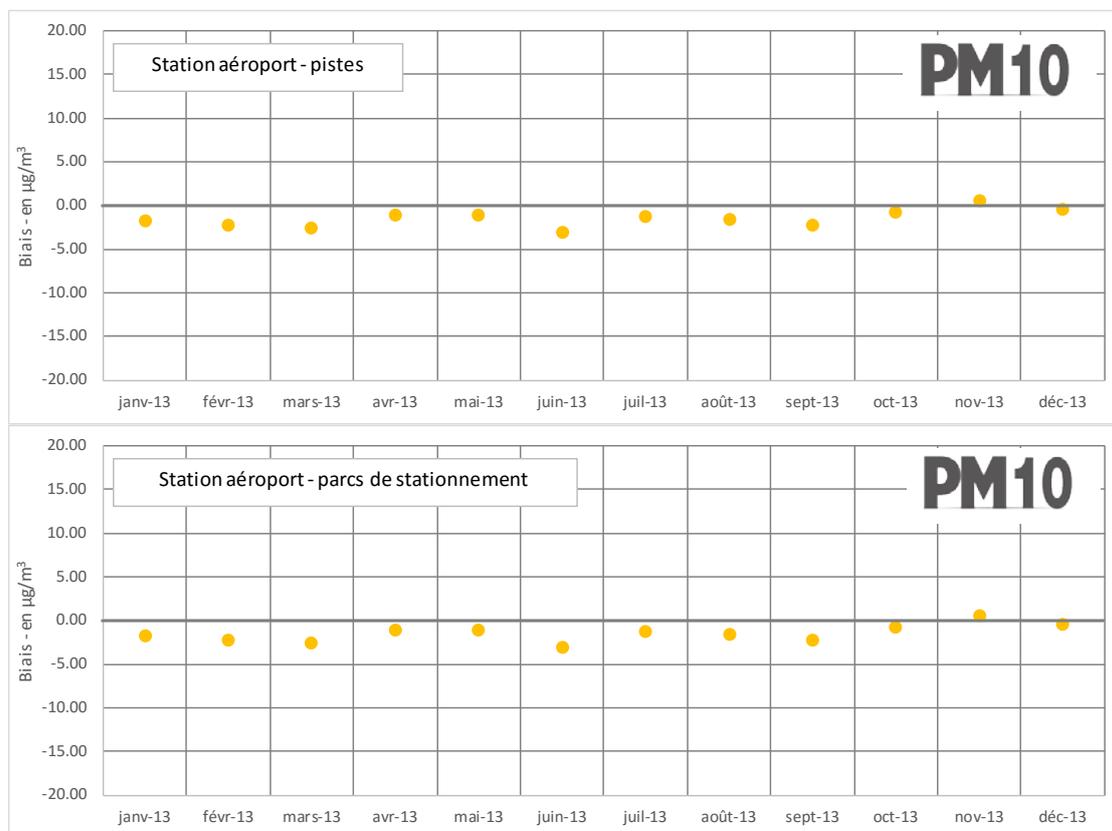
Interprétation des valeurs : R est toujours compris entre -1 et 1. Si la valeur absolue de R est égale à 1, l'ensemble des valeurs observées peut être calculé à partir des valeurs modélisées par l'application d'une fonction affine (facilement calculable). Autrement dit, il est possible de construire une droite passant exactement par l'ensemble des points correspondant aux couples "observations/valeurs 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 XI : BIAIS MESURES / MODELE MENSUELS CALCULES A PARTIR DES MOYENNES JOURNALIERES



Graphique 25 : Moyenne mensuelle des biais calculés à partir des concentrations journalières modélisées et mesurées en PM10 des deux stations implantées dans l'environnement de aéroport pour l'année 2013



Graphique 26 : Moyenne mensuelle des biais calculés à partir des concentrations journalières modélisées et mesurées en NO2 des deux stations implantées dans l'environnement de aéroport pour l'année 2013

Surveillance de la qualité de l'air

24 heures/24 • 7 jours/7

• • prévisions • •

• • mesures • •



**L'information
sur la qualité de l'air :**

www.atmo-occitanie.org