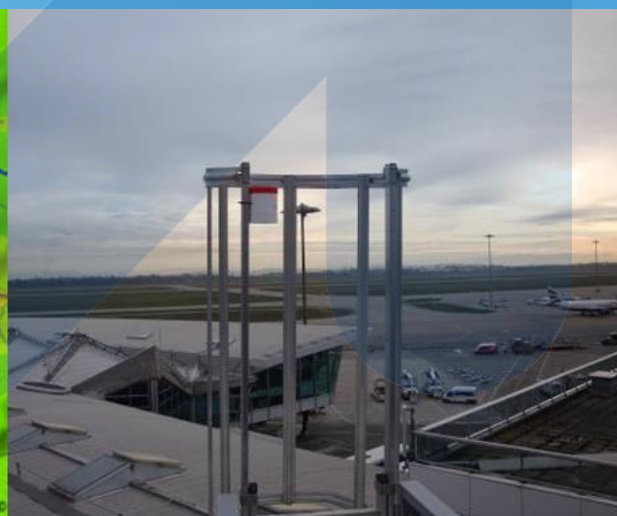
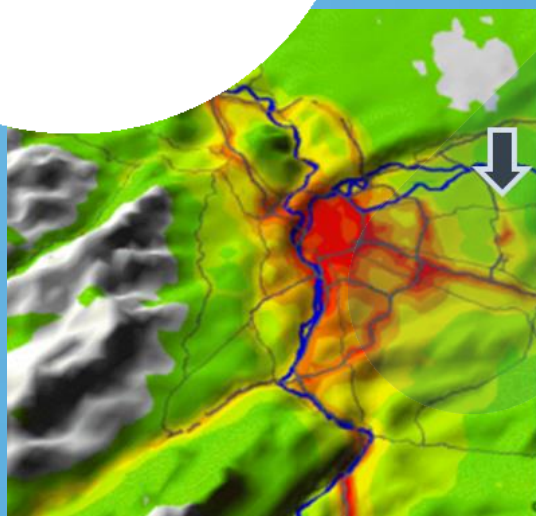


Impact de l'aéroport Saint-Exupéry sur la qualité de l'air

Développement d'un outil de modélisation



**PRISE EN COMPTE A FINE ECHELLE SPATIALE DE L'INFLUENCE DU TRAFIC ROUTIER
ET DES MOUVEMENTS DES AVIONS SUR LES PISTES DANS LES OUTILS DE
MODELISATION**

www.air-rhonealpes.fr



Diffusion : avril 2013

Siège social : 3 allée des Sorbiers – 69500 BRON

Tel : 09 72 26 48 90 - Fax : 09 72 15 65 64

contact@air-rhonealpes.fr





Air Rhône-Alpes est issu du rapprochement de 6 associations agréées pour la surveillance de la qualité de l'Air (Air-APS, AMPASEL, ASCOPARG, ATMO Drôme-Ardèche, COPARLY, SUP'AIR). Cette régionalisation a eu lieu le 1^{er} janvier 2012 et a eu lieu suite aux orientations prises par le Grenelle de l'Environnement et transcrites par Décret Ministériel (2010-1268 du 22 octobre 2010).

CONDITIONS DE DIFFUSION

Air Rhône-Alpes est une association de type « *loi 1901* » agréée par le Ministère de l'Ecologie, du Développement Durable des Transports et du Logement (*décret 98-361 du 6 mai 1998*) au même titre que l'ensemble des structures chargées de la surveillance de la qualité de l'air, formant le réseau national ATMO.

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

Air Rhône-Alpes communique publiquement sur les informations issues de ses différents travaux et garantit la transparence de l'information sur le résultat de ses travaux.

A ce titre, les rapports d'études sont librement disponibles sur le site www.air-rhonealpes.fr

Les données contenues dans ce document restent la propriété intellectuelle d'Air Rhône-Alpes.

Toute utilisation partielle ou totale de ce document (extrait de texte, graphiques, tableaux, ...) doit faire référence à l'observatoire dans les termes suivants : © **Air Rhône-Alpes (2013) Impact de l'aéroport Saint-Exupéry sur la qualité de l'air - Développement d'un outil de modélisation**.

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

Par ailleurs, Air Rhône-Alpes 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 Air-Rhône-Alpes :

- depuis le formulaire de contact sur le site www.air-rhonealpes.fr
- par mail : contact@air-rhonealpes.fr
- par téléphone : 09 72 26 48 90

Un questionnaire de satisfaction est également disponible en ligne à l'adresse suivante

Cette étude a reçu le concours financier de la société « Aéroports de Lyon ».

Version éditée le 9/04/2013

Sommaire



Résumé

1. Contexte et objectif : vers une surveillance de la zone de l'aéroport intégrant la modélisation en complément de la métrologie	5
2. Bilan des campagnes de mesures de la qualité de l'air réalisées aux abords de l'aéroport Lyon Saint-Exupéry	7
2.1. Le choix des polluants mesurés	7
2.2. Le plan d'échantillonnage	7
2.3. Résultats : une influence géographiquement limitée	8
2.4. Conclusions (campagnes de mesures)	9
3. Développement et validation d'un outil de modélisation de la qualité de l'air	10
3.1. Méthodologie	10
3.1.1. Maquette	10
3.1.2. Emissions	11
3.1.3. Météorologie	12
3.1.4. Pollution de fond	13
3.2. Résultats et discussion	14
3.2.1. Evaluation des modèles	14
3.2.2. Cartographies de concentration en NO ₂	18
3.3. Conclusion - Modélisation	19
4. Conclusions – perspectives générales	20
5. Liens intéressants	20



Résumé



L'interprétation des résultats de mesures de qualité de l'air sur et autour d'un aéroport est délicate. Historiquement la surveillance du secteur de l'aéroport de Lyon Saint Exupéry est fondée sur une approche métrologique. La station « Saint Exupéry » a été implantée en 2001 à Pusignan et une vaste campagne de mesure a permis d'améliorer la caractérisation de la qualité de l'air des abords de la plateforme aéroportuaire. Ces mesures ont notamment mis en évidence la limite de l'interprétation des données métrologiques. En effet, un nombre limité de points de mesures ne permet pas de décrire le champ de concentration dans toute sa complexité. Cette réflexion est à l'origine de ce projet visant à intégrer une modélisation fine échelle à la stratégie de surveillance de la zone de l'aéroport.

Objectif : intégrer la modélisation fine échelle à la stratégie de surveillance de la zone de l'aéroport. Jusqu'à présent la zone de l'aéroport n'était couverte que par le modèle PREVALP dont la résolution spatiale (1 km) ne permet pas de caractériser finement la zone d'influence de l'aéroport. L'objectif de ce projet est d'augmenter la résolution spatiale des outils de modélisation disponibles sur le secteur de l'aéroport. Le modèle développé permet prendre en compte, à fine échelle spatiale, l'influence des mouvements des avions sur les pistes de l'aéroport et des axes routiers des abords de l'aéroport.

Des campagnes de mesure pour valider le modèle. Ce projet d'amélioration de la modélisation demande un travail technique de développement de l'outil de modélisation numérique et un travail de validation des sorties du modèle sur la base de données métrologiques (comparaison modèle/mesure). Des mesures des oxydes d'azote (oxydes d'azote totaux et dioxyde d'azote) ont donc été réalisées en 2009/2010 afin d'alimenter cette phase de validation. Quinze sites ont été investigués à l'aide d'échantillonneurs passifs.

Vers une exploitation opérationnelle. L'évaluation des performances du modèle montre qu'il peut être utilisé de manière opérationnelle. Deux types d'application peuvent être envisagés :

- Production de cartographies annuelles de la zone permettant d'évaluer l'exposition des populations environnantes
- Evaluation des conséquences de scénarios prospectifs (e.g. conséquences de la mise en place de la liaison RhoneExpress, de la mise en place d'un PDE ambitieux par Aéroports de Lyon, de l'évolution du trafic aérien...)

Un premier résultat. La cartographie de la moyenne annuelle du dioxyde d'azote (année 2009) réalisée avec le nouvel outil de modélisation permet de préciser les conclusions des campagnes de mesures déjà réalisées sur la zone :

- L'influence de l'aéroport est géographiquement limitée.
- En dehors de la proximité immédiate des pistes de l'aéroport et des axes routiers, les niveaux de NO₂ sont typiques d'un environnement périurbain



1. Contexte et objectif : vers une surveillance de la zone de l'aéroport intégrant la modélisation en complément de la métrologie

Une surveillance de la zone de l'aéroport historiquement basée sur la métrologie.

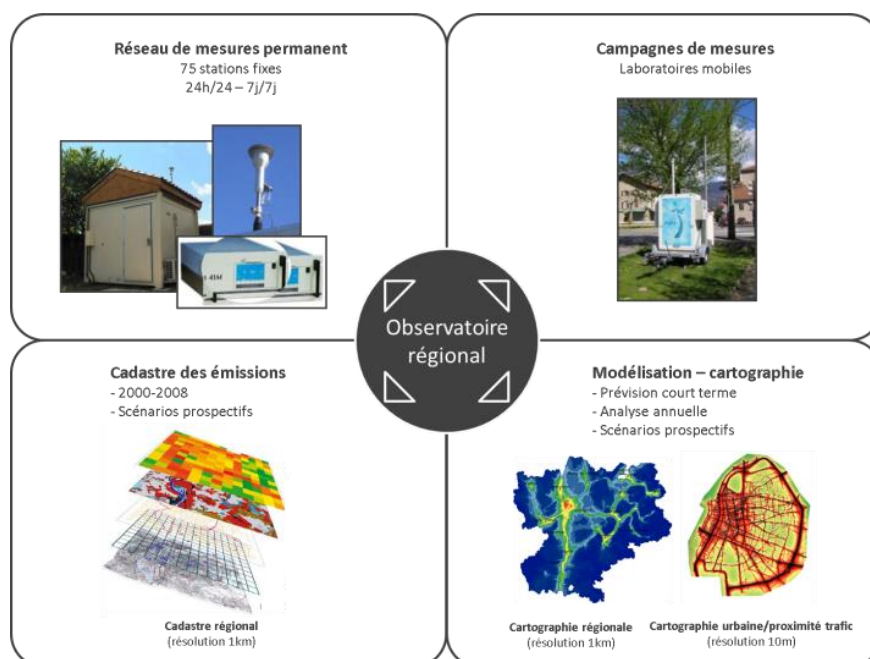
Jusqu'à présent la surveillance de l'aéroport était essentiellement basée sur une approche métrologique. La station de mesures en continu « Saint-Exupéry » a été intégrée au réseau d'Air Rhône-Alpes (ex-COPARLY) en 2001. Elle est implantée dans la commune de Pusignan à environ 1,5 km de l'extrémité nord des pistes de l'aéroport Lyon-St-Exupéry. Elle permet de mesurer les niveaux de polluant auxquels les habitants « les plus proches » de la plateforme sont exposés. Les données collectées montrent que la qualité de l'air est caractéristique d'un environnement périurbain et n'indique pas d'influence marquée de l'aéroport.



STATION DE MESURE DE LA QUALITE DE L'AIR « SAINT EXUPERY »

Afin de compléter la caractérisation de la qualité de l'air aux abords de la plateforme aéroportuaire, Air Rhône-Alpes a réalisé, en 2002-2003, de vastes campagnes de mesures de la qualité de l'air¹. Cette étude a montré que les activités aéroportuaires avaient un impact géographiquement limité sur la qualité de l'air (mesurable au niveau des terminaux ou de la centrale thermique).

En outre, ces mesures ont également permis de mettre en évidence que la qualité de l'air de la zone de l'aéroport subit des influences diverses : les activités de l'aéroport (avions, aérogare, centrale thermique), mais aussi trafic routier (A43, A432, D517e), l'agglomération lyonnaise ou encore des sources industrielles locales. Dans ce contexte, l'interprétation des données métrologiques est délicate. En effet, un nombre limité de points de mesures ne permet pas de décrire le champ de concentration dans toute sa complexité. Cette réflexion est à l'origine de ce projet visant à intégrer la modélisation à la stratégie de surveillance de la zone de l'aéroport.



L'OBSERVATOIRE DE LA QUALITE DE L'AIR EST BASE SUR QUATRE APPROCHES INTEGREES

¹ « Etude de la qualité de l'air aux abords de l'aéroport Lyon-Saint-Exupéry (HIVER 2002b – ETE 2003) »

La modélisation de la qualité de l'air, un outil puissant de surveillance et d'aide à la décision

D'une manière générale, la modélisation de la qualité de l'air a une place croissante dans la stratégie de surveillance de la qualité de l'air d'Air Rhône-Alpes, en complément du réseau de mesures fixes, des campagnes de mesures temporaires et de l'analyse des émissions (Cf. ci-dessus).

La modélisation est un élément clé de l'observatoire de la qualité de l'air. En effet, cette approche permet de réaliser des cartographies de la qualité de l'air et donc d'évaluer les niveaux de polluants auxquels sont exposés tous les habitants de la région. Les modèles peuvent être exploités de trois manières :

- Réalisation de **cartographies annuelles** de la qualité de l'air. Cela est important pour assurer le suivi de l'évolution de l'exposition de la population année après année.
- Calcul d'une **prévision** de la qualité de l'air pour les jours à venir. C'est une application nécessaire à la gestion des épisodes pollués.
- Evaluer l'impact de **scénarios prospectifs**. En effet, les modèles sont des outils d'aide à la décision qui permettent d'éclairer les choix d'aménagements futurs.

Jusqu'à présent la modélisation de la qualité de l'air était basée sur deux outils. Le modèle **PREVALP** permet de réaliser des cartographies régionales des principaux polluants atmosphériques à une résolution spatiale horizontale de 1 km. Au niveau des agglomérations, la modélisation est complétée par le modèle **SIRANE** qui permet de cartographier la pollution à l'échelle d'une ville avec une résolution de 10 m en prenant en compte les émissions du trafic routier de manière fine.

Objectif : vers un observatoire de la qualité de l'air des abords de l'aéroport qui intègre la modélisation à fine échelle

Jusqu'à présent la zone de l'aéroport n'était couverte que par le modèle PREVALP. La résolution spatiale de ce modèle (1 km) ne permet pas de décrire finement la qualité de l'air de la zone et d'évaluer la zone d'influence de l'aéroport. **L'objectif de ce projet est d'augmenter la résolution spatiale des outils de modélisation disponibles sur la zone de l'aéroport. Le modèle développé permet de prendre en compte, à fine échelle spatiale, l'influence des mouvements des avions sur les pistes de l'aéroport et des axes routiers des abords de l'aéroport.** A terme l'exploitation de cet outil permettra de produire « en routine » des cartographies annuelles des niveaux de polluants et d'évaluer l'impact de scénarios prospectifs.

Démarche technique du projet : des mesures pour valider le modèle

Ce projet d'amélioration de la modélisation demande :

- Un travail technique de développement de l'outil de modélisation numérique (création du réseau de trafic, couplage de modèles...)
- Un travail de validation des sorties du modèle sur la base de données météorologiques (comparaison modèle/mesure). Des campagnes de mesures des oxydes d'azote ont été réalisées en 2009/2010 afin d'alimenter cette phase de validation.

Ce rapport est divisé en deux sections :

- La première partie présente une description du dispositif météorologique et une analyse des résultats de la campagne de mesure qui permet de réaliser un nouvel état de la qualité de l'air 7 ans après la première étude.
- La seconde partie du rapport présente l'outil de modélisation, ses performances et la cartographie finale du NO₂ pour l'année 2009.

2. Bilan des campagnes de mesures de la qualité de l'air réalisées aux abords de l'aéroport Lyon Saint-Exupéry

2.1. Le choix des polluants mesurés

Les campagnes de mesures réalisées en 2009-2010 ont ciblé les oxydes d'azote : dioxyde d'azote (NO_2) et oxydes d'azote totaux (NOx^2). Ce choix repose sur plusieurs arguments :

- La situation vis-à-vis de la pollution au NO_2 est préoccupante dans l'agglomération lyonnaise. En effet, le NO_2 est un polluant dont l'impact sanitaire est avéré et sa concentration en air ambiant est réglementée. Une part de la population de l'agglomération lyonnaise est exposée à des dépassements du seuil réglementaire pour ce polluant (valeur limite). A ce titre la commission européenne pourrait engager une procédure de contentieux vis-à-vis de l'Etat français pour non-respect de la réglementation.
- Parmi les polluants générés par les activités d'une plateforme aéroportuaire le NO_2 est potentiellement le plus préoccupant³. En effet, les émissions de polluants directes (aéronefs, engins aéroportuaires, centrale thermique) mais aussi indirectes (transports routiers des salariés et des passagers...) concernent essentiellement les oxydes d'azote NOx .
- La concentration de NOx totaux n'est pas un indicateur direct de la qualité de l'air. Cependant, cette mesure est nécessaire pour la validation de l'outil de modélisation numérique.

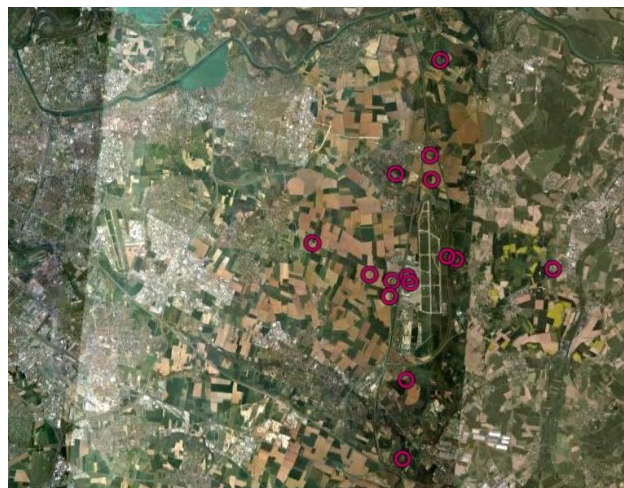
L'approche métrologique mise en œuvre est basée sur l'utilisation d'échantillonneurs passifs. Ils ne fournissent qu'une évaluation de la concentration moyenne au cours de la campagne de mesure (une semaine). En revanche, leur mise en œuvre est simple et permet de multiplier le nombre de points de mesure (Cf. Annexe 1 et 2).

2.2. Le plan d'échantillonnage

Les mesures se sont déroulées en 4 campagnes de 2 semaines représentatives des 4 saisons (années 2009 et 2010). Quinze sites ont fait l'objet de mesures par échantillonneurs passifs (NO_2 et NOx).

Le plan d'échantillonnage (figure ci-contre et annexe 3) a été défini de manière à prendre en compte l'influence des principales sources d'oxyde d'azote affectant la zone de l'aéroport :

- Les sources directement liées à l'activité de l'aéroport : centrale thermique, parking et pistes de décollage (plusieurs points de mesures sont fixés à différentes distances).
- Les infrastructures routières (A432, D517e).
- L'influence globale de l'agglomération lyonnaise est prise en compte par des mesures réalisées en situation de fond à grande distance de la plateforme aéroportuaire.



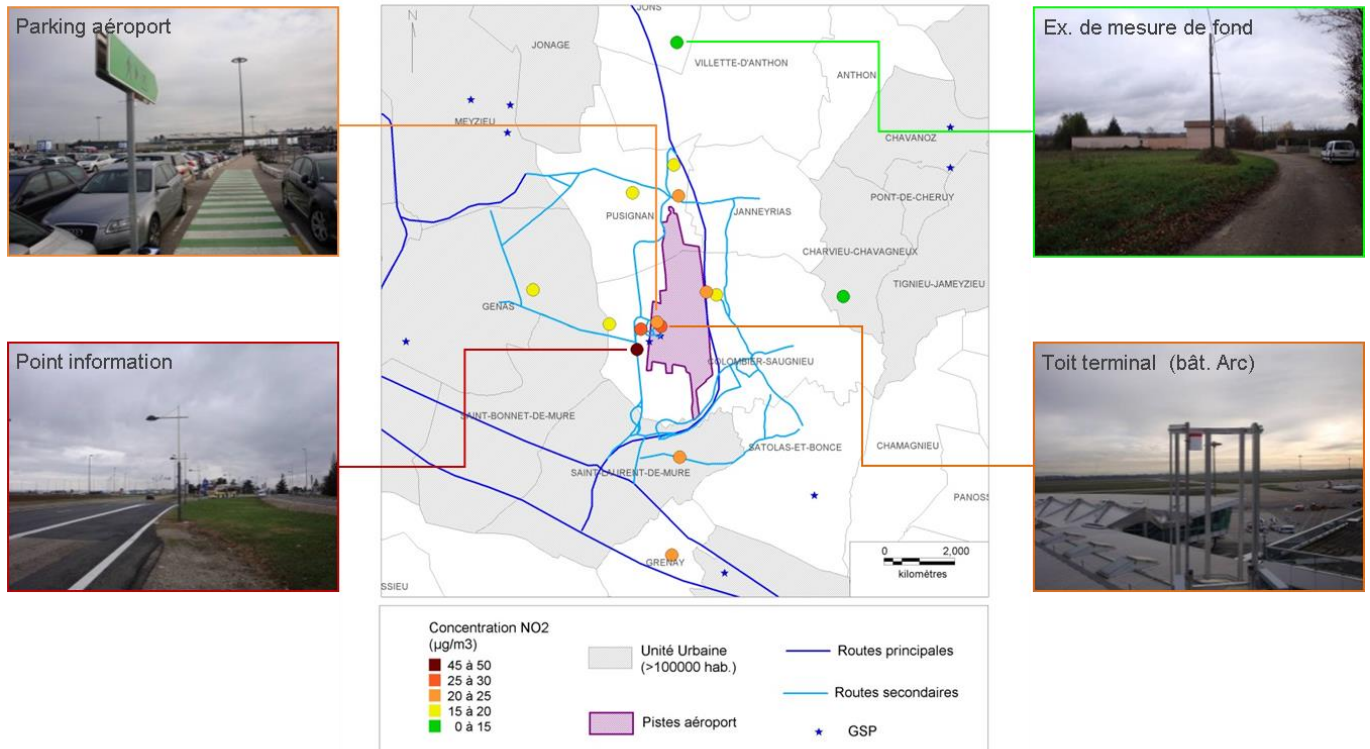
LOCALISATION DES 15 SITES MESURES

² Les oxydes d'azote (NOx) totaux correspondent à la somme du monoxyde d'azote (NO) et du dioxyde d'azote (NO_2)

³ Voir Rapport d'activité 2011 de l'ACNUSA, p. 10 : « le polluant présentant le plus d'intérêt à l'heure actuelle au regard des concentrations mesurées aux alentours des aéroports est le dioxyde d'azote (NO_2) »

2.3. Résultats : une influence géographiquement limitée

La figure ci-dessous présente la concentration moyenne de NO₂ au cours des 8 semaines de mesures au niveau des 15 sites. Ces résultats, collectés au cours des quatre saisons, constituent une estimation de la moyenne annuelle.



CONCENTRATION MOYENNE ANNUELLE DE NO₂ EVALUEES PAR ECHANTILLONNEURS PASSIFS AUX ABORDS DE L'AEROPORT LYON SAINT EXUPERY. DES MESURES SONT REALISEES EN SITUATION DE FOND ET A PROXIMITE DE SOURCES DE POLLUANTS ATMOSPHERIQUES (PISTES DE L'AEROPORT, ROUTES D'ACCES A L'AEROPORT, LE PARKING DE L'AEROPORT, LA CENTRALE THERMIQUE...)

Les concentrations maximales de NO₂ sont mesurées au niveau de la route d'accès à l'aéroport, des parkings de l'aéroport et des terminaux (seul le site « point information » situé à proximité immédiate de la voie d'accès aux terminaux pourrait dépasser la valeur limite annuelle pour le NO₂ fixée à 40 µg/m³). Les autres points de mesure présentent des niveaux de NO₂ modérés conformes à une situation périurbaine voire rurale.

L'interprétation des résultats métrologiques est limitée (Cf. section 1) et les résultats présentés ci-dessus ne permettent pas d'évaluer directement la responsabilité des activités de l'aéroport dans la pollution atmosphérique de la zone. Toutefois, il est possible de tirer des conclusions générales quant à l'impact global de l'aéroport sur son environnement :

- L'aéroport a un impact local indéniable sur la qualité de l'air. En effet, les niveaux de NO₂ sont plus élevés à proximité immédiate de la plateforme aéroportuaire et ils tendent à décroître avec l'éloignement.
- L'influence de l'aéroport sur les niveaux de NO₂ est cependant géographiquement très limitée. En dehors des sites localisés à proximité immédiate de l'aéroport, les niveaux enregistrés sont typiques d'une situation périurbaine voire rurale.
- L'influence de l'aéroport sur la qualité de l'air est liée aux activités se déroulant sur les pistes mais également au trafic routier induit. En effet, les niveaux de NO₂ élevés enregistrés en

proximité immédiate de la piste de l'aéroport indiquent que les activités qui s'y déroulent (atterrissage, décollage, roulage des avions, engins de piste...) sont à l'origine d'une dégradation de la qualité de l'air. Cependant, il est important de mentionner que le point de mesure le plus impacté (« Point information ») est situé à proximité immédiate de la voie d'accès aux terminaux et qu'il présente des niveaux de NO₂ cohérents avec une typologie de proximité trafic.

Ces conclusions sont en accord avec les résultats de la première étude réalisée par Air Rhône-Alpes en 2002-2003 et avec ceux du STBA⁴. Les investigations réalisées aux abords de l'aéroport Strasbourg-Entzheim⁶ ou de l'aéroport de Paris Charles de Gaulle⁷ sont eux aussi cohérents avec les éléments collectés à Lyon.

2.4. Conclusions (campagnes de mesures)

- Les activités aéroportuaires semblent avoir un impact géographiquement limité sur les niveaux de NO₂. Au-delà de la proximité immédiate de l'aéroport, la zone étudiée peut être assimilée, en termes de qualité de l'air, à une zone périurbaine d'agglomération.
- La dégradation locale de la qualité de l'air à proximité de la plateforme aéroportuaire est vraisemblablement causée à la fois par les activités se déroulant sur la piste et par le trafic routier. Le point le plus impacté subit la double influence des pistes et du trafic routier.
- L'interprétation des données météorologiques demeure manifestement limitée. En effet, compte tenu de la complexité de la zone en termes d'émissions de polluants atmosphériques (aéroport, trafic, influence de l'agglomération...), il est nécessaire de disposer d'un outil de modélisation numérique pour caractériser la qualité de l'air de la zone. Les données météorologiques collectées serviront à valider un nouvel outil de modélisation (Cf section suivante).

⁴ Service Technique des Bases Aériennes

⁵ « Campagne de mesures de dioxyde d'azote (NO₂) » ; STBA ; 2002

⁶ « Caractérisation de la qualité de l'air dans la zone de l'Aéroport de Strasbourg-Entzheim » ; ASPA ; 2008 »

⁷ « Campagne de mesure autour de l'aéroport de Paris Charles de Gaulle – Campagne 2007/2008 » ; AirParif ; 2009

3. Développement et validation d'un outil de modélisation de la qualité de l'air

3.1. Méthodologie

Dans un premier temps, le modèle SIRANE⁸ est mis en œuvre sur le domaine d'intérêt. Les simulations et la validation sont réalisées sur les périodes de campagnes de mesures 2009/2010.

Dans un deuxième temps, le modèle CARTOPROX⁹ est mis en œuvre sur l'année 2009. Les résultats sont discutés par comparaison à la modélisation SIRANE.

La fiche de présentation du modèle SIRANE se trouve en annexe 4.

3.1.1. Maquette

Le réseau a été construit sur la base la matrice trafic (2003) avec un ajustement par rapport au bâti (bd topo 2006). Le domaine est centré sur l'aéroport et couvre les communes de Genas, Pusignan, St bonnet de mure, St Laurent de Mure, Grenay, Colombier-Saugnieu, Satolas et Bonce, Janneyrias, Villette-Danthon et Chanieu-Chavagnieu. Il s'étend sur une surface de 15 km x 20 km.



VUE SATELLITE DU DOMAINE D'ETUDE ET LOCALISATION DES SITES DE MESURES TEMPORAIRES (EN VERT). MAQUETTE GEOMETRIQUE DU DOMAINE D'ETUDE ET LOCALISATION DES RECEPTEURS (EN ORANGE).

L'état de la qualité de l'air est caractérisé par 16 tubes à échantillonnages passifs en NO₂. Les campagnes, aux nombres de 4, se sont déroulées sur une période 2 semaines au cours des années 2009 et 2010 et sont représentatives des quatre saisons d'une année.

La localisation des tubes est illustrée par l'image ci-dessus.

⁸ Soulhac, L., 2000, Modélisation de la dispersion atmosphérique à l'intérieur de la canopée urbaine, Thèse de doctorat, Ecole Centrale de Lyon

⁹ Air-APS, AMPASEL, ASCOPARG, ATMO Drôme-Ardèche, COPARLY et SUPAIR (2010) – CartoProx ; Cartographie régionale de la qualité de l'air par modélisation : prise en compte de l'influence des transports à fine échelle ; rapport final 2 – Présentation et validation de la chaîne de modélisation

Le réseau est défini sur la base des informations relatives aux mouvements des avions au niveau de la piste de décollage et de la zone d'embarquement qui ont été fournies par les Aéroports de Lyon.

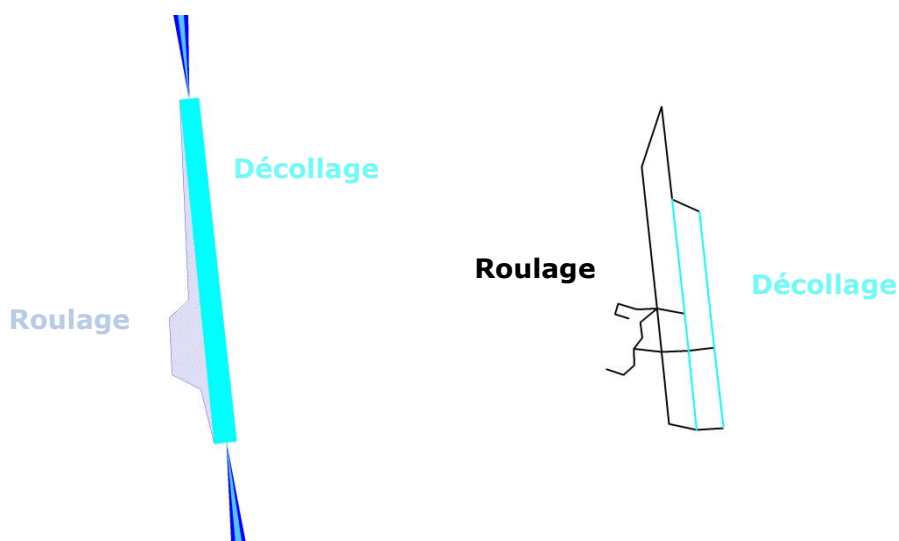
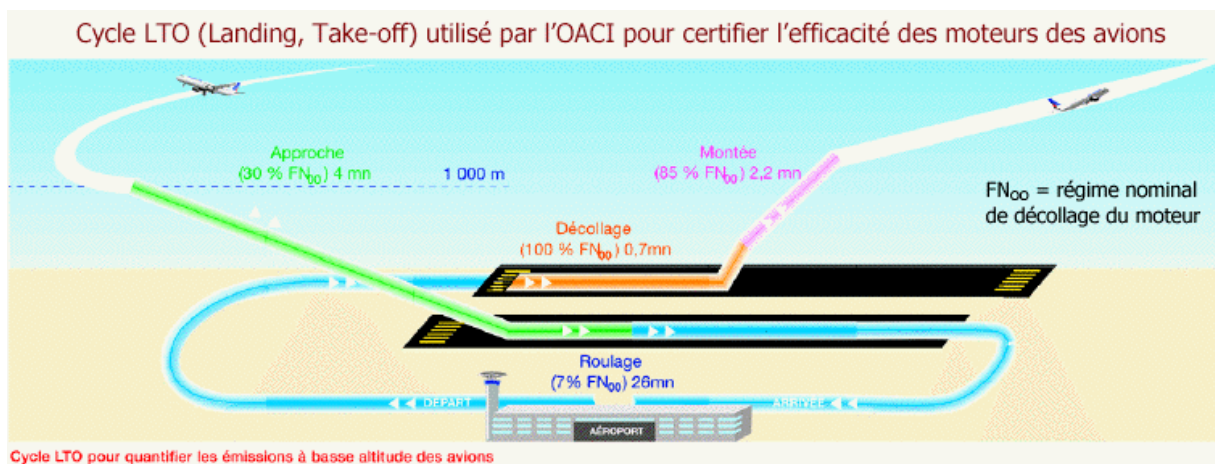
3.1.2. Emissions

Le calcul des émissions issues du trafic routier est un point essentiel de la mise en œuvre du modèle SIRANE. C'est aussi un des points les plus sensibles compte tenu de la difficulté à évaluer le trafic routier et le parc automobile.

Le calcul des émissions du trafic moyen journalier annuel (TMJA) a été réalisé par le CETE de Lyon via le modèle DAVISUM en utilisant la méthodologie COPERT IV (*Computer Programme to Calculate Emissions from Road Transport*) qui repose sur l'utilisation de lois empiriques d'évolution des émissions en fonction de la vitesse des véhicules.

Le trafic routier évolue suivant l'heure de la journée, le jour de la semaine et le mois de l'année. SIRANE applique sur les émissions TMJA des profils de modulation mensuels, journaliers et horaires.

Les émissions des avions sont déterminées à partir d'un cycle théorique atterrissage – décollage (LTO : Landing Take-Off) défini par l'OACI. Il prend en compte les émissions au sol et jusqu'à une altitude d'environ 900 mètres (3000 pieds).

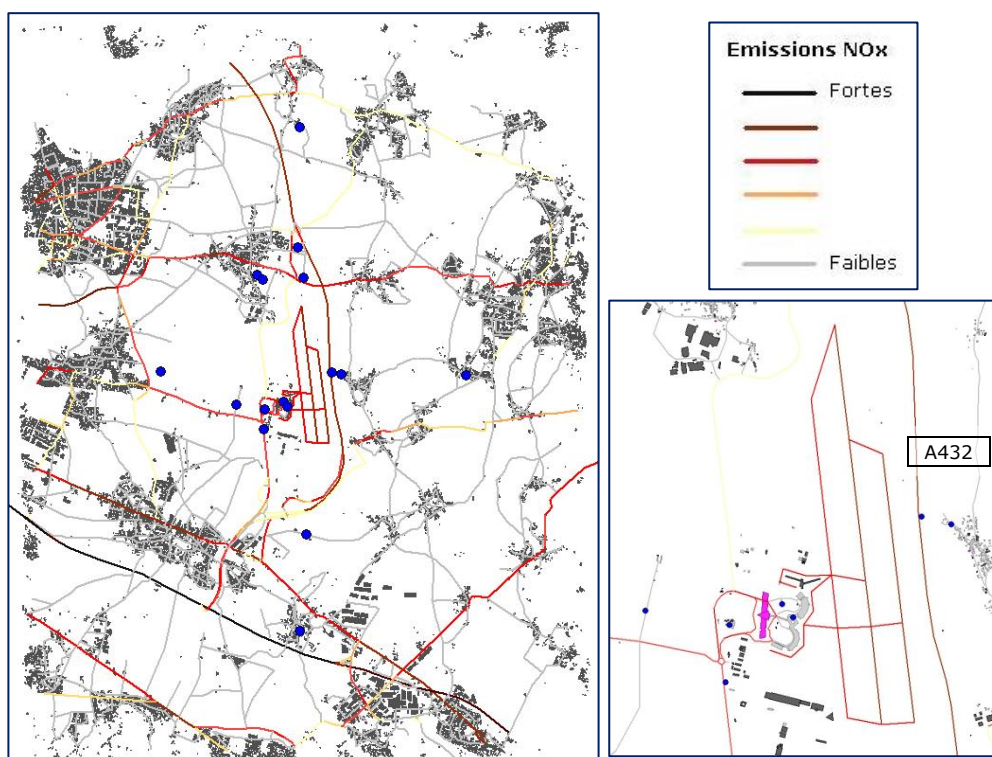


POLYONES DES EMISSIONS DES AVIONS. METHODOLOGIE D'AFFECTATION DES EMISSIONS DES AVIONS SUR LE RESEAU SIRANE.

Les émissions des aéronefs en phase de vol (Approche, Montée) sont prises en compte dans les concentrations de fond par le modèle régional PREVALP, suite aux travaux de modélisation réalisés en 2009. En revanche, les émissions liées aux mouvements d'avions au sol (Décollage et Roulage), considérées comme étant majoritairement responsables de l'impact sur la qualité de l'air local, sont prises en charge par SIRANE de la manière suivante :

- Les émissions de la phase de décollage ont été affectées sur les deux pistes dédiées (en bleue)
- Les émissions de la phase de roulage ont été affectées aux autres voies (en noir)

La figure suivante illustre les niveaux d'émissions d'oxydes d'azote sur les brins du réseau SIRANE. Les émissions en NOx des pistes de l'aéroport sont de niveaux comparables à ceux de l'A432.



EMISSIONS ROUTIERES DE L'AEROPORT ET ALENTOURS.

3.1.3. Météorologie

Une des stations de mesure du réseau METEO France se situe sur le site de l'Aéroport de Lyon St-Exupéry. Cette station dénommée Lyon St-Exupéry mesure avec un pas de temps horaire toutes les grandeurs utiles à la mise en œuvre du modèle SIRANE (vitesse et direction du vent, température, pression, nébulosité et précipitation). Ses propriétés en font une station de choix pour décrire l'aérodologie du site d'étude.

Au cours des campagnes de mesures, les vents perçus par le mât météorologique sont principalement orientés Nord/Sud avec une prédominance des vents du Nord. Il y a une faible fréquence d'occurrence des vents faibles ce qui signifie que, sur les périodes des campagnes, les conditions de dispersion ont été plutôt favorables.

3.2. Résultats et discussion

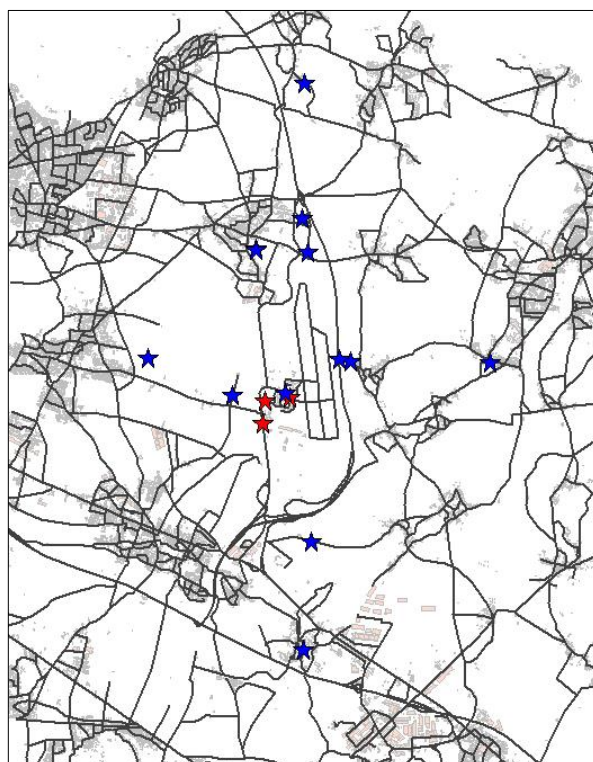
3.2.1. Evaluation des modèles

SIRANE

La directive européenne impose des conditions pour que la simulation de la concentration en NO₂ par un modèle numérique soit considérée comme valide. Il existe deux types de conditions, basées sur des comparaisons modèle/mesures :

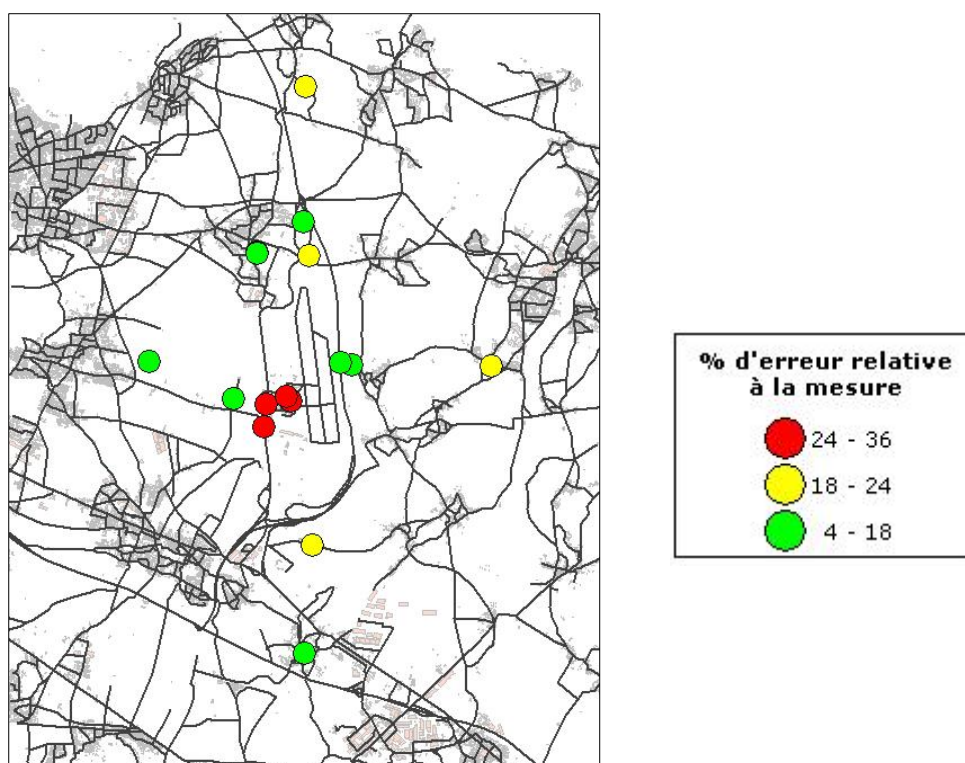
- La première condition concerne l'incertitude autorisée selon le type de moyenne :
 - L'erreur sur la moyenne annuelle doit être inférieure à 30 %
 - L'erreur sur la moyenne horaire doit être inférieure à 50 %
- La seconde condition repose sur un critère de représentativité spatiale, suivant la typologie de station :
 - 75 % des sites de typologie trafic doivent respecter la première condition
 - 90 % des sites de typologie urbaine doivent respecter la première condition

Au sens de la directive européenne (DE), dans le cadre de cette étude tous les sites de typologie urbaine (hors trafic) ont une erreur modèle/mesure inférieure à 30%. En revanche deux sites de typologie trafic sur trois ne respectent pas la DE.



Si l'on cherche à aller un peu plus loin dans l'interprétation des résultats, 3 catégories de sites peuvent être distinguées :

- Les sites dont les erreurs relatives à la mesure sont inférieures à 18% (vert) : Ces sites dont la concentration est correctement modélisée possèdent la particularité de subir l'influence des émissions de l'agglomération lyonnaise ou d'un axe à fort trafic. Le fond de concentration mesuré par la station de Pusignan et les émissions du trafic routier sont représentatifs de ces conditions.
- Les sites dont les erreurs relatives à la mesure sont supérieures à 24% (rouge) : Ces sites dont la concentration est mal décrite par la modélisation possèdent la particularité de subir l'influence directe des émissions liée à l'activité de l'aéroport (chaufferie et parking). Des émissions routières, surfaciques et ponctuelles font certainement défaut dans la modélisation, cette hypothèse repose sur le fait que les données météorologiques disponibles sur le site sont de bonne qualité. L'existence d'un fond de pollution plus élevé sur la zone de l'aéroport est également envisagée pour expliquer les écarts. La station de Pusignan ne permet pas de prendre en compte ce fond local de pollution propre à l'aéroport.
- Les sites dont les erreurs relatives à la mesure sont comprises entre 18 et 24% (orange) : Ces sites dont la concentration est moyennement modélisée sont soit éloignés de toutes influences polluantes directes (Chavagneux et Jons), soit sous le vent des émissions des aéronefs lors des phases de montée et d'approche (Nord et sud de l'aéroport). Dans le premier cas, le fond de Pusignan n'est pas représentatif de ces zones rurales moins influencées par la pollution de l'agglomération lyonnaise. Dans le second cas, l'absence de la modélisation des phases au vol pourrait expliquer la sous-estimation des concentrations simulées.



Conclusion : D'après la directive européenne¹⁰, la modélisation SIRANE est valide. SIRANE modélise correctement le champ de concentration avec toutefois une sous-estimation des niveaux sur le site

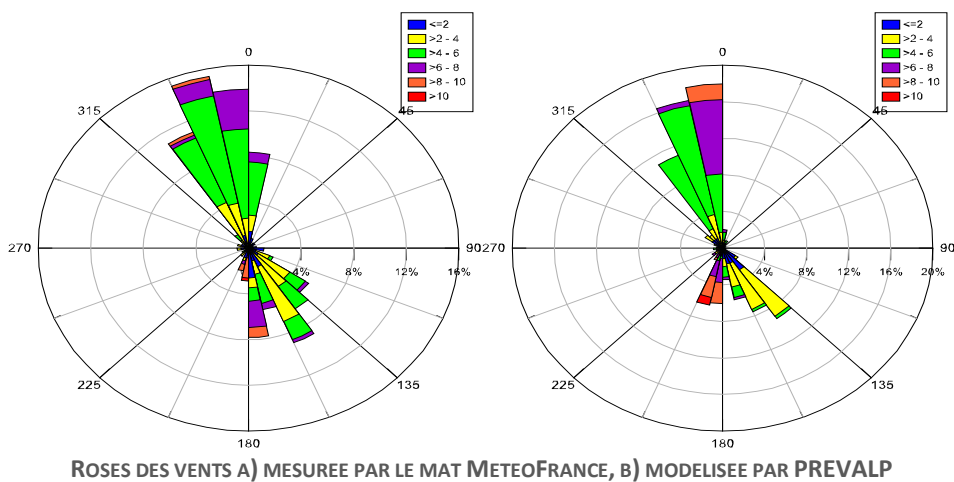
¹⁰ DIRECTIVE 2008/50/CE DU PARLEMENT EUROPÉEN ET DU CONSEIL du 21 mai 2008 concernant la qualité de l'air ambiant et un air pur pour l'Europe. Journal officiel de l'Union européenne.

d'activité même de l'aéroport liée à un fond de pollution plus élevé et/ou à des émissions non modélisées. La modélisation CARTOPROX devrait apporter des éléments de réponse.

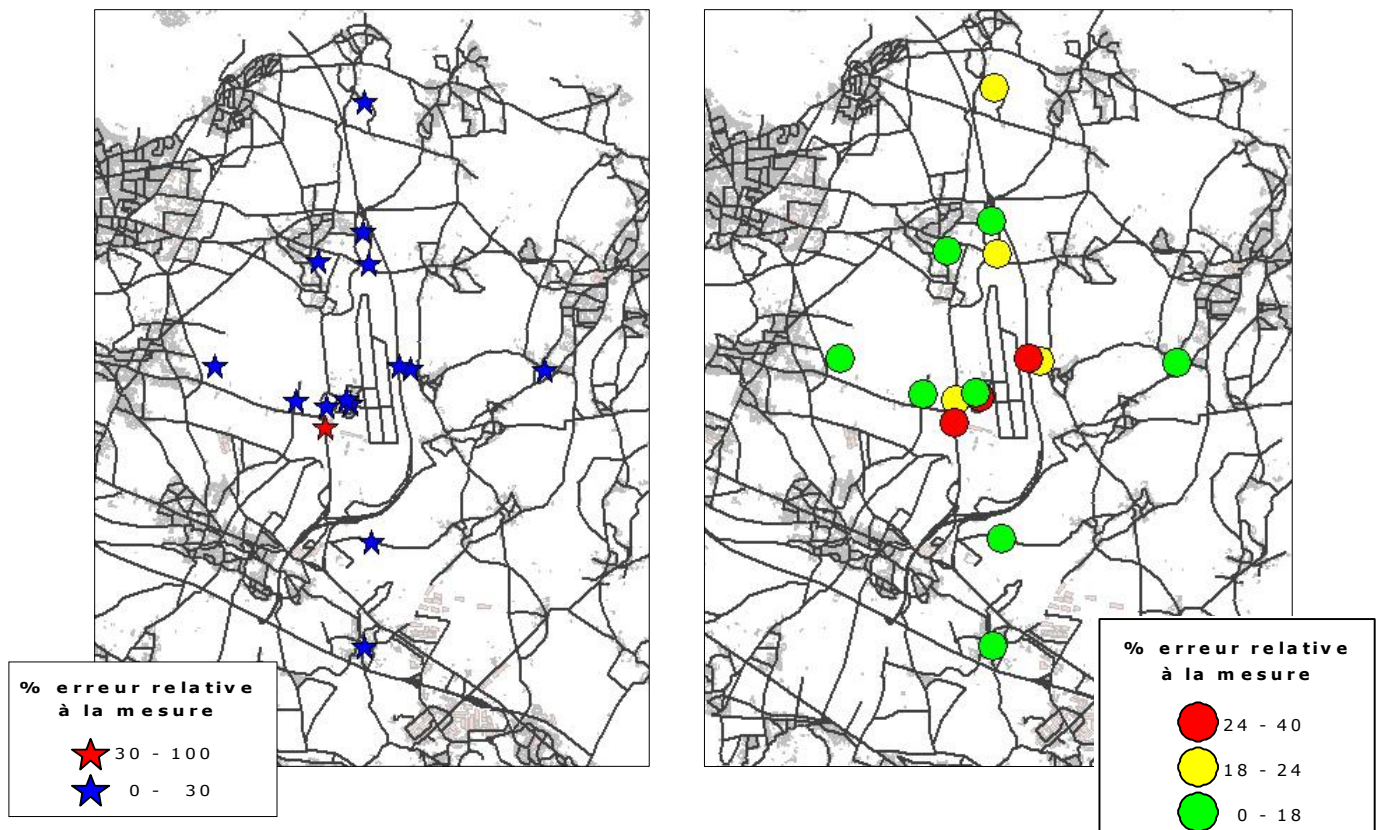
Cartoprox

L'intégration de la modélisation SIRANE présentée ci-dessus dans l'outil CARTOPROX permet de prendre en compte une météo et une pollution de fond non uniforme sur le domaine.

Les figures suivantes présentent la rose des vents vue par le mât MeteoFrance et la rose des vents simulée par le modèle PREVALP au cours de la première campagne réalisée en 2009. Globalement, les directions des vents sont bien modélisées avec l'axe N/S en direction prédominante. Toutefois, le modèle ne représente pas du tout la composante NE et au contraire accentue à tort la composante SE. Concernant la vitesse des vents, le modèle a tendance à surestimer les vitesses mais cela reste très satisfaisant.



Du point de vue de la directive européenne (DE), seul un site dépasse les 30% d'erreur relative à la mesure. La DE est respectée, la modélisation CARTOPROX est valide. (Figure ci dessous)

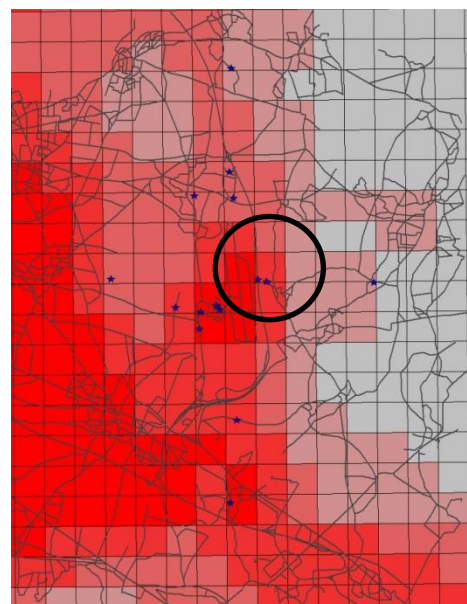


Par rapport à la modélisation SIRANE :

- Les concentrations des sites éloignés de toutes influences polluantes directes (Chavagneux et Jons) sont mieux décrites. Il existe un fond de pollution plus faible en ces sites qu'au site de Pusignan (capteur de fond utilisé pour la modélisation SIRANE).
- Les concentrations des sites à proximité directe de l'aéroport sont mieux décrites. Il existe un fond de pollution local plus élevé sur la zone de l'aéroport. Par ailleurs, les concentrations à proximité directe de l'aéroport sont toujours sous-estimées par le modèle. Des émissions routières, surfaciques et ponctuelles font défaut dans les données d'entrée.
- Les niveaux de concentration à proximité des pistes de l'aéroport et de l'autoroute ont été dégradés. Le fond, un peu plus élevé, cumulé avec l'interpolation par les mailles voisines, les mailles contenant les pistes de l'aéroport, expliquent ces concentrations surestimées par rapport à la mesure.

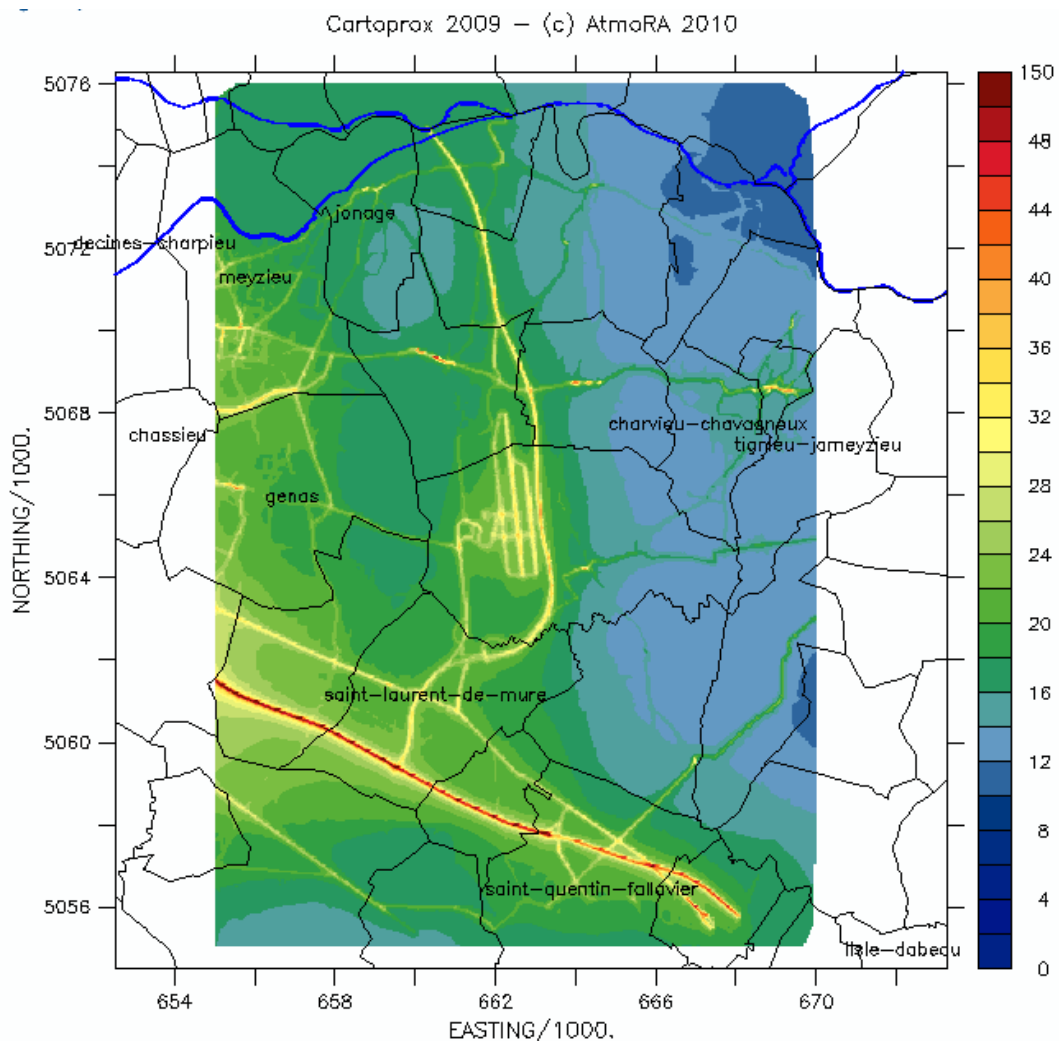
CARTOPROX utilise en entrée une pollution de fond non uniforme avec une résolution de 1km². Autrement dit, sur l'ensemble du domaine, la pollution est non uniforme, mais sur une maille de 1km², elle est uniforme (voir figure ci-contre). Afin d'éviter des effets de mailles, en sortie, le modèle réalise une interpolation linéaire avec les mailles adjacentes.

Conclusion : La modélisation CARTOPROX est valide au sens de la directive européenne. Elle a permis d'identifier un niveau de fond de pollution plus élevé localement sur l'aéroport. Les niveaux de concentration sont au final mieux décrits par l'outil CARTOPROX.



Cartoprox

L'image suivante illustre le champ de concentration à 10 m calculé par le modèle CARTOPROX. Il s'agit de la moyenne annuelle 2009.



Moyenne annuelle NO₂ (microg/m³)

3.3. Conclusion - Modélisation

Les outils de modélisation SIRANE et CARTOPROX ont permis de spatialiser les concentrations avec des incertitudes acceptables par rapport à la mesure sur les années 2009 et 2010. La cartographie des niveaux de NO₂ permet de préciser les conclusions tirées de l'analyse des campagnes de mesures : l'impact localisé de l'aéroport sur la qualité de l'air, l'influence directe des axes à fort trafic sur leur proximité immédiate ainsi que celle de l'agglomération lyonnaise.

4. Conclusions – perspectives générales

- Le travail réalisé a permis d'améliorer les outils de modélisation au niveau de la zone de l'aéroport de Lyon Saint Exupéry afin qu'ils prennent mieux en compte l'influence du trafic routier et des avions (sur la piste) à fine échelle. Des travaux complémentaires pourraient notamment permettre d'intégrer de façon plus précise les émissions (tous polluants) des aéronefs en phase de vol et également l'activité aéroportuaire au sol (engins, véhicules de piste, circulation routière dans l'enceinte de l'aéroport...).
- La cartographie des niveaux de NO₂ réalisée par modélisation permet de préciser les conclusions des campagnes de mesures réalisées par Air Rhône-Alpes en 2002-2003 et en 2009-2010 :
 - L'influence de l'aéroport est géographiquement limitée ;
 - En dehors de la proximité immédiate des pistes de l'aéroport et des axes routiers, les niveaux de NO₂ sont typiques d'un environnement périurbain.
- A terme, cet outil opérationnel devrait permettre deux types d'applications, sous réserve de disposer de nouvelles données suffisamment précises en entrée des outils de calcul et modèles:
 - Production de cartographies annuelles de la zone permettant d'évaluer l'exposition des populations environnantes
 - Evaluation des conséquences de scénarios prospectifs. Le choix des scénarios qu'il serait pertinent de tester doit être fait en concertation avec les acteurs locaux. La nature des questions qui pourraient être investiguées est diverse : conséquences de la mise en place de la liaison RhoneExpress, de la mise en place d'un PDE ambitieux par Aéroports de Lyon, de l'évolution du trafic aérien, de la mise en place des APU 400 Hz en remplacement des systèmes thermiques...

5. Liens intéressants

Depuis fin 2010, l'Autorité de Contrôle des Nuisances Aéroportuaires (ACNUSA, voir www.acnusa.fr) a vu ses compétences élargies à la pollution atmosphérique sur et autour des aéroports. A ce titre, un premier état des lieux général a été réalisé en 2011 sur les principales plateformes aéroportuaires en France et des axes de travail ont été proposés. Les principaux résultats sont présentés dans le [rapport annuel d'activité 2011 de l'Autorité](#).

La surveillance des plateformes aéroportuaires par modélisation est une approche également mise en œuvre sur d'autres territoires. En effet, Airparif a été chargée de développer un observatoire de la qualité de l'air à proximité des plateformes aéroportuaires d'Île-de-France. Cet observatoire (survol.airparif.fr) est basé sur des outils de modélisation et met quotidiennement à disposition une cartographie de la qualité de l'air de la veille sur les zones aéroportuaires depuis 2013.

Annexe 1 : Techniques de mesures

Les méthodes de travail des AASQA de Rhône-Alpes sont certifiées selon le référentiel d'assurance qualité ISO 9001 pour l'ensemble de son activité et 17025 pour l'activité d'étalonnage et ont été appliquées pour la présente étude (maintenance du parc d'appareils de mesures, traitement des données, conduite de projet).

Mesures par échantillonnage passif pour les oxydes d'azote (NOx), le dioxyde d'azote (NO₂)

Par définition, l'échantillonnage passif est basé sur le transfert de matière d'une zone à une autre sans mouvement actif de l'air. Le contact de l'air à analyser avec le réactif du tube est dans ce cas induit par convection naturelle et diffusion (Loi de Fick).

Cette méthode indicative qui donne une moyenne sur une semaine (correspondant à la durée d'exposition du tube dans cette étude) est moins détaillée que les analyseurs (qui mesurent des concentrations horaires) mais présente l'avantage d'être moins onéreuse et donc de pouvoir multiplier les points de mesures.

Les échantillonneurs passifs (aussi appelés tubes à diffusion passive ou tubes passifs) pour la mesure des oxydes d'azote (NOx), du dioxyde d'azote (NO₂) sont fournis et analysés par PASSAM (laboratoire d'analyses – MANNEDORF, Suisse).

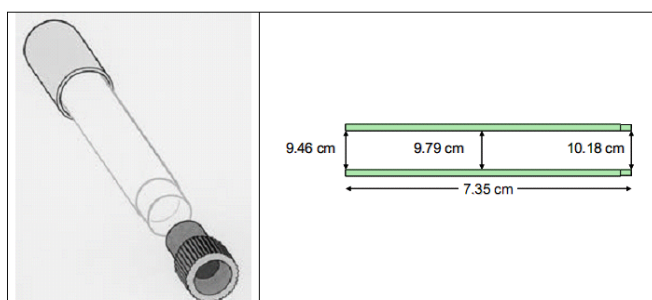
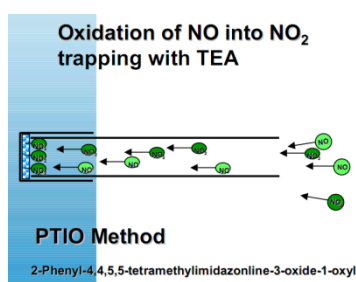


Schéma d'un échantillonneur passif pour le NO₂



Echantillonneurs passifs NO₂ et NOx installés dans leur boîte de protection



Principe de la mesure des NOx par échantillonneur passif.

Le NO est oxydé en NO₂ et l'ensemble du NO₂ est ensuite quantifié. La concentration fournie par la méthode est donc exprimée en µg/m³ équivalent NO₂.

Les échantillonneurs passifs sont exposés dans l'air ambiant pendant une semaine (soit deux semaines de mesures par campagne) puis envoyés pour analyse afin de déterminer la concentration des polluants piégés. L'ensemble des recommandations formulées dans le guide « échantillonneurs passif pour le dioxyde d'azote »¹¹ sont respectées. La hauteur d'implantation des boîtes est standardisée à 2,20 m. La concentration de NO est calculée par soustraction de la concentration de NO₂ à celle de NOx. L'incertitude de cette valeur cumule donc les incertitudes de mesures de la valeur NOx et de celle du NO₂.

¹¹ Echantillonneurs passifs pour le dioxyde d'azote, coordination technique de la surveillance de la qualité de l'air, ADEME, LCSQA, Fédération ATMO, 2002

ANNEXE 2 : Correction des données manuelles

Echantillonneurs passifs pour la mesure du NO₂

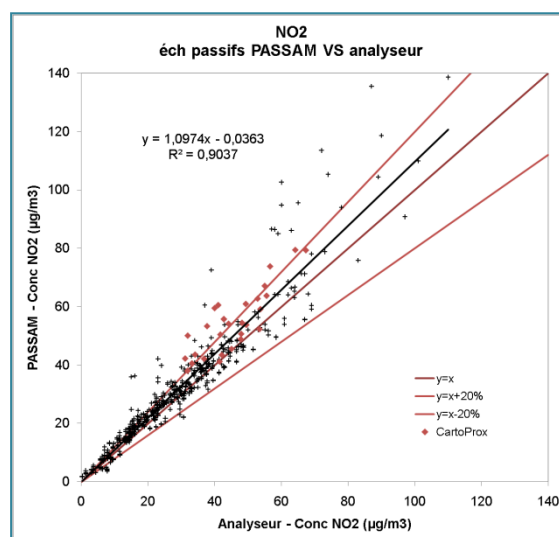
Correction pour la température de prélèvement

Les analyses réalisées par le laboratoire Suisse PASSAM sont effectuées à 9°C et 950 hPa. Par convention les valeurs de concentration sont exploitées et présentées pour les conditions suivantes : 20°C et 1013 hPa. Les données fournies par PASSAM sont donc corrigées (correction du débit d'échantillonnage, correction de température et standardisation à 20°C) tel que :

$$C_{20^{\circ}\text{C}-1013\text{hPa}} = C_{\text{PASSAM}} \times ((273.15 + T_{\text{terrain}}) / (275.15 + 20)) \times ((273.15 + 21.1) / (273.15 + T_{\text{terrain}}))^{3/2} \times 0.90137$$

Comparaison avec une méthode de référence (analyseur)

565 couples de valeurs échantillonneur passif NO₂ / Analyseur ont permis d'étudier les propriétés de la mesure par échantillonneur passif. Les échantillonneurs de NO₂ reproduisent convenablement les mesures par analyseur mais ont une tendance à surestimer les concentrations à fortes concentrations (jusqu'à 30%). Le redressement des valeurs des mesures par échantillonneurs passifs permettrait de réduire les écarts à fortes concentrations mais augmente considérablement les écarts dans la gamme des concentrations faible et moyennes. Cela témoignerait d'une non linéarité. Il est choisi de ne pas redresser les données de mesures par échantillonneurs passifs.



Concentration fournie par échantillonneurs passifs en fonction de la concentration fournie par un analyseur de NOX

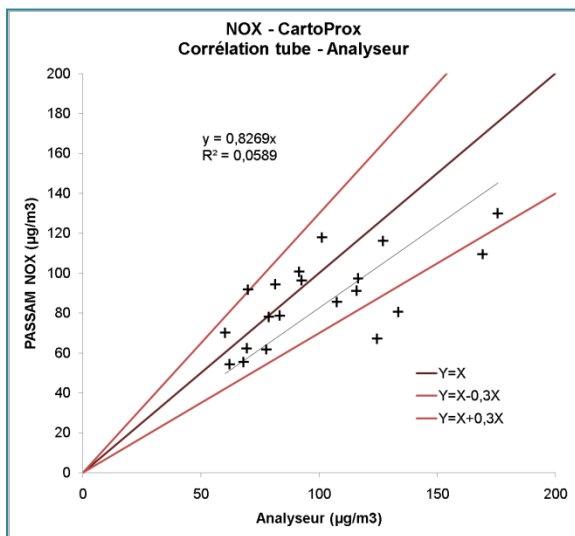
Echantillonneurs passifs pour la mesure des NOX totaux

Correction pour la température de prélèvement

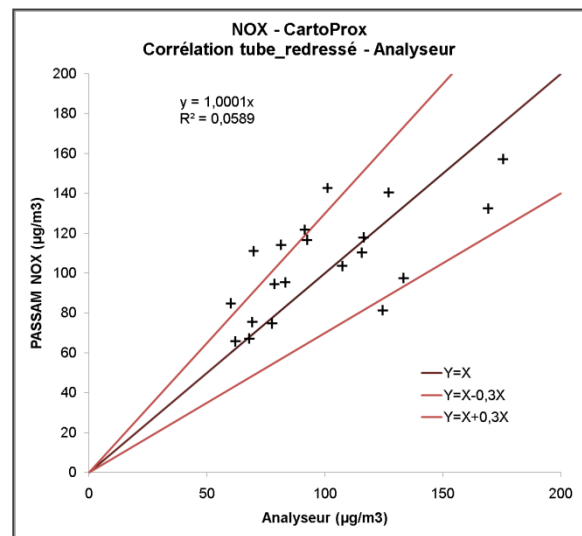
Cf. section « Correction pour la température de prélèvement » relative à la mesure du NO₂ page précédente.

Redressement des données sur la base de la comparaison avec une méthode de référence (analyseur)

Les échantillonneurs passifs ont été utilisés pour la première fois dans le cadre projet CartoProx. Ainsi, seuls 20 couples de valeurs échantillonneur passif NOX / Analyseur sont disponibles afin d'étudier les propriétés de la mesure par échantillonneur passif.



Concentration fournie par échantillonneurs passifs en fonction de la concentration fournie par un analyseur de NOX



Concentration redressée des échantillonneurs passifs en fonction la concentration fournie par un analyseur de NOX

La taille de l'ensemble de données est faible et rend difficile l'interprétation et l'exploitation de ces graphiques. Les données couvrent une gamme réduite de concentration, en particulier aucun point ne permet de caractériser la gamme des faibles valeurs de concentration. Les données présentent une forte dispersion reflétant l'incertitude de mesure des échantillonneurs passifs (sous l'hypothèse que l'incertitude de mesure des analyseurs est faible devant celles d'échantillonneurs passifs). De plus il semble que les échantillonneurs passifs de NOX présentent une tendance à la sous-estimation à forte concentration. Cela est également soutenu par le constat que les rapports NO/NO₂ calculés sur la base des données non redressées sont inférieurs à 1 au niveau de la plupart des sites de proximité trafic investigués dans le cadre du projet CartoProx.

Malgré la faiblesse de l'ensemble de donnée, il est décidé de redresser les données des échantillonneurs passifs NOX. Une régression linéaire a été utilisée pour dériver une fonction simple de redressement de la forme : $C_{redressée} = C_{Brute} \times A + B$; avec $A = 1,21$ et $B = 0$. La régression linéaire est contrainte tel que $X_0=Y_0=0$ afin de compenser la faible représentation des faibles valeurs dans le set de données. Le redressement permet de corriger la tendance à la sous-estimation des échantillonneurs passifs NOX.

Les caractéristiques (incertitude, biais) de la mesure des NOX par échantillonneurs passifs ne pourront être étudiées de manière fiable que lorsque davantage de couples de valeurs échantillonneur NOX / Analyseur auront été collectées.

ANNEXE 3

Le plan d'échantillonnage des mesures 2009-2010

Les mesures se sont déroulées en 4 campagnes de 2 semaines représentatives des 4 saisons (années 2009 et 2010). Quinze sites ont fait l'objet de mesures par échantillonneurs passifs (NO₂ et NO_x).

Le plan d'échantillonnage a été défini de manière à prendre en compte l'influence des principales sources d'oxyde d'azote affectant la zone de l'aéroport :

- Les sources directement liées à l'activité de l'aéroport : centrale thermique, parking et pistes de décollage (plusieurs points de mesures sont fixés à différentes distance).
- Les infrastructures routières (A432, D517e).
- L'influence globale de l'agglomération lyonnaise est prise en compte par des mesures réalisées en situation de fond à grande distance de la plateforme aéroportuaire.

La localisation des points de mesures est présentée dans les figures suivantes.

Exemples de points de mesures à proximité de l'aéroport



ANNEXE 4

Présentation du modèle SIRANE

Développé par l'Ecole Centrale de Lyon, le modèle SIRANE est un modèle de dispersion atmosphérique en milieu urbain, adapté à l'échelle de la rue ou d'un quartier. Il permet de décrire les concentrations en polluants dans des zones constituées principalement de rues bordées de bâtiments sous forme de cartographie.

D'un point de vue temporel, SIRANE est adapté à des échelles caractéristiques de l'ordre de l'heure. Le modèle SIRANE traite différents types d'émissions à l'aide de sources linéiques (représentant par exemple une voie de circulation) et de sources ponctuelles (par exemple une cheminée).

Le modèle SIRANE permet de prendre en compte les principaux effets qui agissent sur la dispersion des polluants à l'échelle d'un quartier :

- Phénomènes de rue-canyon (confinement des polluants entre les bâtiments)
- Echange des polluants au niveau des carrefours
- Transport des polluants au dessus des toits
- Prise en compte des caractéristiques du vent extérieur (vitesse, direction, turbulence, stabilité thermique)
- Modélisation de transformations chimiques simples (cycle de Chapman NO, NO₂, O₃)

SIRANE utilise des modèles théoriques et des formulations simplifiées des différents phénomènes. Il est donc adapté au traitement d'un grand nombre de rues dans un temps de calcul limité.

Les applications du modèle concernent l'étude des conséquences de la pollution atmosphérique en milieu urbain :

- Cartographie de la pollution à l'échelle d'un quartier, en complément des mesures
- Détermination de la représentativité des capteurs
- Evaluation de l'exposition de la population
- Impact de nouveaux aménagements urbains, de plans de déplacement ou de politiques de réduction des émissions
- Prévision de la pollution
-

Le modèle SIRANE est utilisé, d'une part, pour évaluer la concentration annuelle en dioxyde d'azote depuis 2002 sur l'agglomération intra périphérique de Lyon, depuis 2004 sur l'agglomération de Grenoble et depuis 2007 sur l'agglomération de Valence. Le modèle SIRANE est utilisé, d'autre part, pour évaluer de manière prospective les actions entreprises sur l'agglomération de Lyon dans le cadre du Plan de Protection de l'Atmosphère (PPA) depuis 2005 ou dans le cadre du Plan de Déplacement Urbain (PDU) depuis 2005.

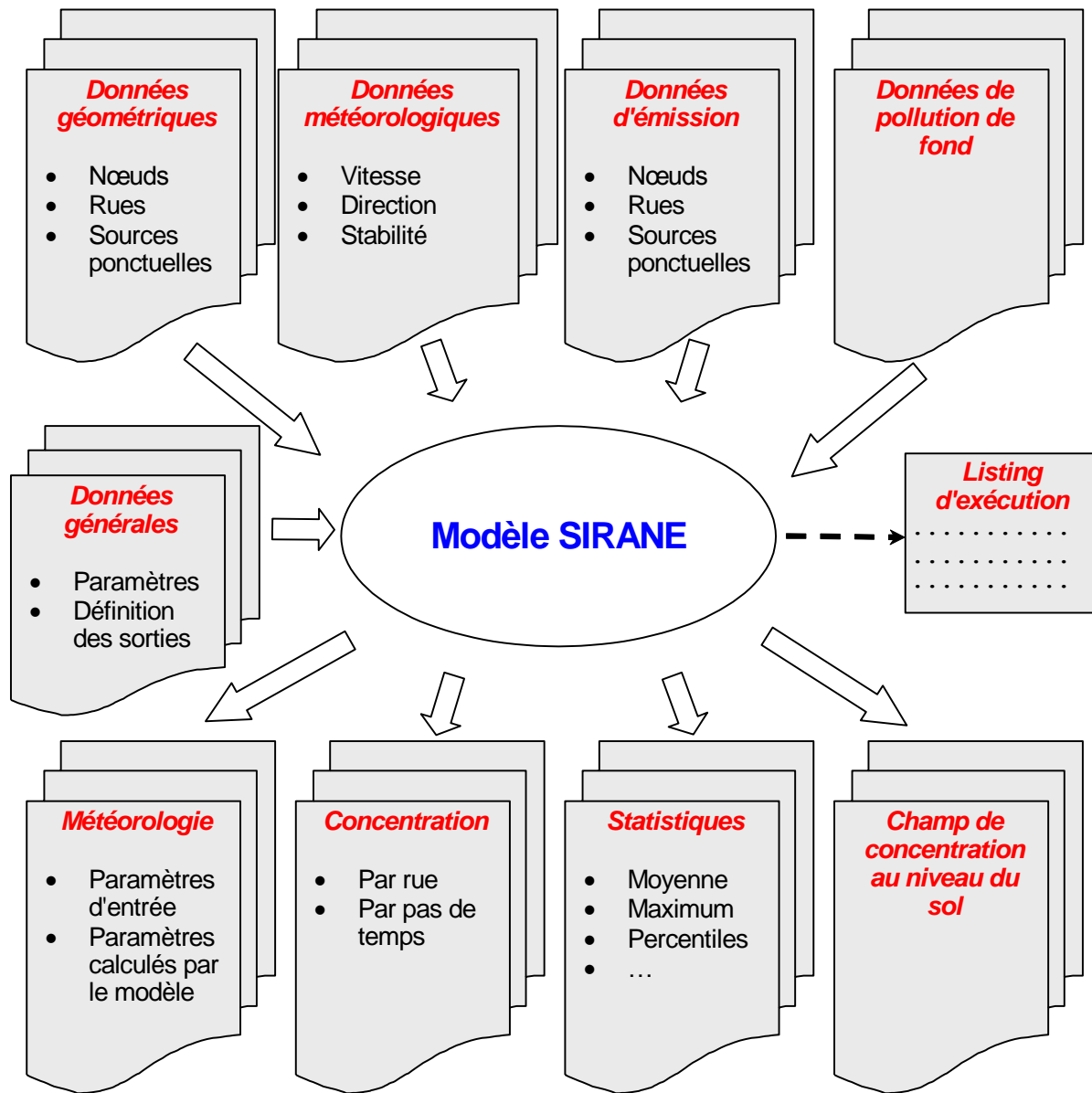
Principe de fonctionnement

Les données d'entrée nécessaires au fonctionnement du modèle peuvent être regroupées dans les catégories suivantes :

- Le réseau des rues interconnectées comprenant les caractéristiques géométriques de ces dernières (largeur et hauteur moyenne)

- L'évolution horaire des variables météorologiques (vitesse et direction du vent, température, précipitations...)
- L'évolution horaire du niveau de pollution de fond
- L'évolution horaire des données d'émissions provenant des voies de circulation

Le schéma des entrées-sorties du modèle SIRANE est présenté ci-dessous :



SCHEMA DE FONCTIONNEMENT DU MODELE SIRANE

En sortie, SIRANE fournit :

- L'évolution de la concentration moyenne à l'intérieur de chaque rue et en un certain nombre de récepteurs ponctuels
- Les grandeurs statistiques associées (maximum, percentile ...)
- Le champ de concentration à une résolution maximum de 10 mètres