



430, rue de la Belle Eau
Z.I. des Landiers Nord
73000 CHAMBERY

Tél. : 04 79 69 05 43
Fax : 04 79 62 64 59

air-aps@atmo-rhonealpes.org

Informations Qualité de l'air

Tél. : 04 79 69 96 96

www.atmo-rhonealpes.org

Cartographie de la qualité de l'air dans les rues d'Annecy par modélisation

Méthodologie et résultats



SOMMAIRE

<i>Sommaire</i>	2
<i>Introduction</i>	3
<i>Les polluants, leurs effets, la réglementation</i>	4
Les polluants prospectés	4
La réglementation	4
Origines et effets sur la santé	5
<i>Cartographier la pollution d'Annecy par modélisation</i>	6
Qu'est-ce qu'une modélisation ?	6
La modélisation : une chaîne logicielle complexe	6
<i>Modélisation des émissions : le logiciel IMPACT</i>	7
<i>Modélisation des imissions : le logiciel SIRANE</i>	8
Définition du périmètre de la zone d'étude	9
<i>La qualité de l'air</i>	11
Le dioxyde d'azote	11
<i>La réglementation annuelle</i>	11
<i>La réglementation horaire</i>	12
<i>Le film d'une journée de pollution au dioxyde d'azote</i>	13
Les poussières en suspension	16
<i>La réglementation annuelle</i>	16
<i>La réglementation journalière</i>	17
L'ozone	18
Le benzène	20
<i>Incidence du Filtre a Particules (FAP) des Bus urbains sur la pollution atmosphérique</i>	21
Qu'est ce que le FAP ?	21
Incidence du FAP sur la qualité de l'air des Rues Sommeiller et Vaugelas	21
<i>Conclusions</i>	23
<i>Annexe : validation du modèle par les mesures</i>	24
Le benzène	24
Les poussières	25
Les oxydes d'azote	26
L'ozone	27

INTRODUCTION

Dans le domaine de l'environnement, la qualité de l'air constitue une préoccupation majeure pour les Français. L'amélioration des connaissances sur les relations pollution-santé incite donc au développement de moyens de contrôle de la qualité de l'air, afin d'éviter que les populations ne soient soumises à des niveaux de pollution susceptibles de nuire à leur santé.

C'est entre autres pour cette raison que des mesures continues sont réalisées depuis 1998 dans l'unité urbaine d'Annecy. Ces mesures sont réalisées par des stations fixes dites "urbaines" afin de déterminer la qualité de l'air moyenne respirée par la majorité de la population. Implantées dans des conditions précises définies nationalement, leurs résultats ne traduisent cependant pas la pollution maximale à laquelle peut-être soumis un individu lors de ces déplacements à proximité des principaux axes de circulation de la ville.

C'est dans cet esprit qu'a été réalisé dès 2002 une étude en proximité routière sur Annecy. En investiguant temporairement des sites "trafic", L'Air de l'Ain et des Pays de Savoie (Air-APS) avait alors mis en évidence quelques points sensibles dans l'agglomération puisque certains seuils réglementaires n'avaient pas été respectés¹.



Station "urbaine" de Loverchy et cabine "trafic" de l'avenue du Rhône

Si cette étude avait permis de répondre à de nombreuses questions, elle en avait également suscité bien d'autres. En effet, les mesures ont délivré une information en un point donné et sur une échelle de temps limitée (30 jours dans l'année). Il est donc apparu important de pouvoir caractériser la qualité de l'air en tous points de l'agglomération et tout au long de l'année.

Air-APS a donc décidé de mettre en œuvre un outil de modélisation afin de connaître la répartition spatiale de la pollution, avec comme objectif de cartographier la pollution, heure par heure, dans un quartier de plus de 5 km² centré sur Annecy.

¹ *Etude de la qualité de l'air en proximité routière sur l'agglomération Annecienne – 2002/2003*
Rapport disponible sur simple demande ou dans la rubrique "Publications" du site www.atmo-rhonealpes.org

LES POLLUANTS, LEURS EFFETS, LA REGLEMENTATION

Les polluants prospectés

Lorsque l'on réalise une étude de pollution il n'est pas envisageable de qualifier et quantifier les centaines d'espèces chimiques présentes dans l'atmosphère. Certains de ces polluants sont considérés comme des indicateurs de la pollution atmosphérique et une réglementation s'applique à leur présence dans l'atmosphère. Dans cette étude ont été retenus 4 polluants, déjà mesurés en 2002 :

- les poussières en suspension inférieures à 10 μm (PM10),
- le dioxyde d'azote (NO_2),
- l'ozone (O_3),
- le benzène (C_6H_6)

La réglementation

La réglementation fixe quatre types de valeurs selon les polluants :

Les objectifs de qualité correspondent aux concentrations pour lesquelles les effets sur la santé sont réputés négligeables et vers lesquelles il faudrait tendre en tout point du territoire.

Les valeurs limites sont les valeurs de concentration que l'on ne peut dépasser que pendant une durée limitée : en cas de dépassement des mesures permanentes pour réduire les émissions doivent être prises par les Etats membres de l'Union Européenne.

En cas de dépassement du **seuil d'information et de recommandations**, des effets sur la santé des personnes sensibles (jeunes enfants, asthmatiques, insuffisants respiratoires et cardiaques, personnes âgées,...) sont possibles. Un arrêté préfectoral définit la liste des organismes à informer et le message de recommandations sanitaires à diffuser auprès des médias.

Le seuil d'alerte détermine un niveau à partir duquel des mesures immédiates de réduction des émissions (abaissement de la vitesse maximale des véhicules, circulation alternée, réduction de l'activité industrielle, ...) doivent être mises en place.

	Normes	Pas de temps	Valeur en $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Dioxyde d'azote	Objectif qualité	Moyenne annuelle	40
	Niveau d'information et recommandations	Moyenne horaire	200
	Valeur limite	Moyenne annuelle	54
	Niveau d'alerte	Moyenne horaire	400
Benzène	Objectif qualité	Moyenne annuelle	2
	Valeur limite (Applicable à partir du 01/01/2010)		5
Ozone	Niveau d'information et recommandations	Moyenne horaire	180
PM 10	Objectif de qualité	Moyenne annuelle	30
		Moyenne annuelle	40
	Valeur limite	Moyenne journalière	50 (à ne pas dépasser plus de 35 fois sur une année)

Origines et effets sur la santé

Les Polluants	Oxydes d'azote (NO,NO ₂) :	Particules en suspension (PM10)	Composés organiques volatils (COV) dont benzène	Ozone (O ₃)
Leurs origines	<p>Ils résultent de la réaction de l'azote et de l'oxygène de l'air qui a lieu à haute température dans les moteurs et les installations de combustion.</p> <p>Les véhicules émettent la majeure partie de cette pollution ; viennent ensuite les installations de chauffage.</p>	<p>Elles résultent de la combustion, de l'usure des véhicules sur la chaussée et de l'érosion.</p> <p>Ces poussières peuvent également véhiculer d'autres polluants comme les métaux lourds et les hydrocarbures.</p> <p>Les principaux émetteurs sont les véhicules diesels, les incinérateurs, les cimenteries et certaines industries. Les plus grosses particules sont retenues par les voies respiratoires supérieures. Elles</p>	<p>Ces polluants sont multiples ; il s'agit principalement d'hydrocarbures dont l'origine est soit naturelle, soit liée à l'activité humaine : le transport routier, l'utilisation industrielle ou domestique de solvants, l'évaporation des stockages pétroliers et des réservoirs automobiles, et la combustion.</p>	<p>Ce gaz est le produit de la réaction photochimique de certains polluants, notamment les oxydes d'azote (NO_x) et les composés organiques volatils (COV), sous l'effet des rayonnements solaires.</p> <p>Il n'est donc pas émis directement par une source ; c'est un polluant secondaire. On le retrouve principalement en été, en périphérie des agglomérations.</p>
Leurs effets sur la santé	<p>C'est un gaz irritant qui pénètre dans les plus fines ramifications des voies respiratoires, entraînant une hyperréactivité bronchique chez les patients asthmatiques et un accroissement de la sensibilité des bronches aux infections chez l'enfant.</p>	<p>sont donc moins nocives pour la santé que les particules plus fines (<10 µm de diamètre) qui pénètrent plus profondément dans l'organisme ; elles irritent alors les voies respiratoires inférieures et altèrent la fonction respiratoire dans l'ensemble. Certaines, selon leur nature, ont également des propriétés mutagènes et cancérigènes.</p>	<p>Ces molécules ont des effets très divers selon leur famille. De la simple gêne olfactive (odeurs), certains provoquent une irritation (aldéhydes), voire une diminution de la capacité respiratoire.</p> <p>D'autres, comme le benzène, provoquent des effets mutagènes et cancérigènes.</p>	<p>Ce gaz, très oxydant, pénètre facilement jusqu'aux voies respiratoires les plus fines. Il provoque de la toux et une altération pulmonaire, surtout chez les enfants et les asthmatiques, ainsi que des irritations oculaires.</p>

CARTOGRAPHIER LA POLLUTION D'ANNECY PAR MODELISATION

Qu'est-ce qu'une modélisation ?

La pollution atmosphérique est un phénomène complexe résultant essentiellement :

- des émissions des polluants par les différentes sources (voitures, chauffage, industries, ...),
- des éventuelles transformations chimiques par le biais d'interactions entre polluants
- de la dispersion de ces polluants, variable selon les conditions météorologiques et la topographie (qu'il s'agisse du relief naturel ou de la morphologie urbaine)

Habituellement, la mesure d'un polluant se fait par l'intermédiaire d'un appareil de mesure, qui détecte et enregistre les concentrations d'un polluant dans l'air (comme le feraient le nez et les poumons d'une personne). On connaît donc précisément la qualité de l'air, mais uniquement à l'endroit où se trouve le capteur.

Une autre approche consiste à décrire sous formes d'équations mathématiques l'ensemble des phénomènes physico-chimiques se déroulant dans l'atmosphère (émissions, réactions chimiques, dispersion) : les millions de calculs nécessaires sont alors obligatoirement gérés et effectués par un système informatique puissant. Ce processus, qui recrée virtuellement une réalité complexe, constitue une modélisation.

Grâce à cette démarche, il devient alors possible de reproduire l'état de l'atmosphère à tout instant et en tout point d'un territoire comme l'aurait fait des millions de points de mesures ponctuels via les capteurs "classiques". Ainsi, la pollution dans une ville peut être représentée sous forme de carte et non plus seulement par l'intermédiaire de graphiques.

La modélisation : une chaîne logicielle complexe

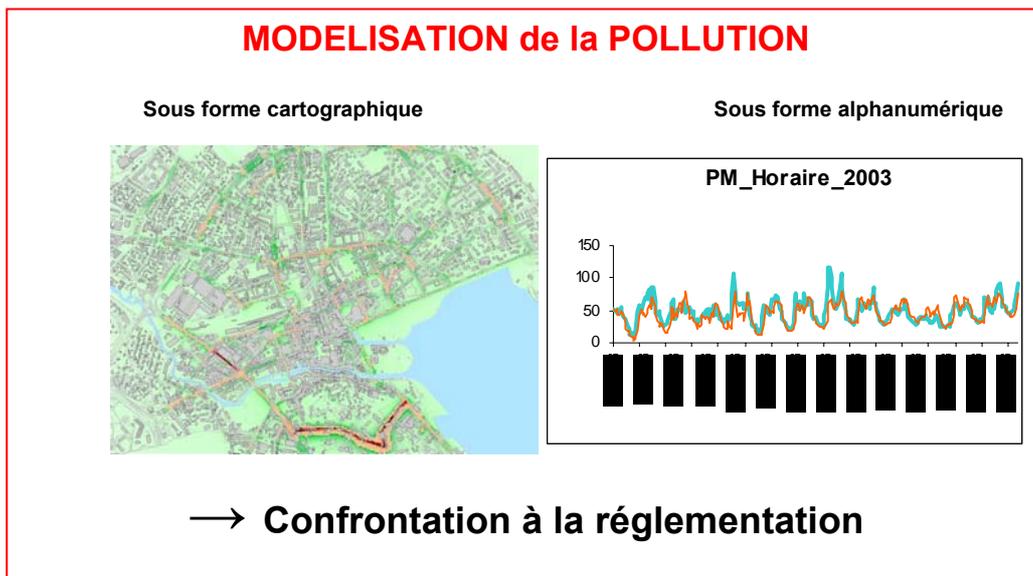
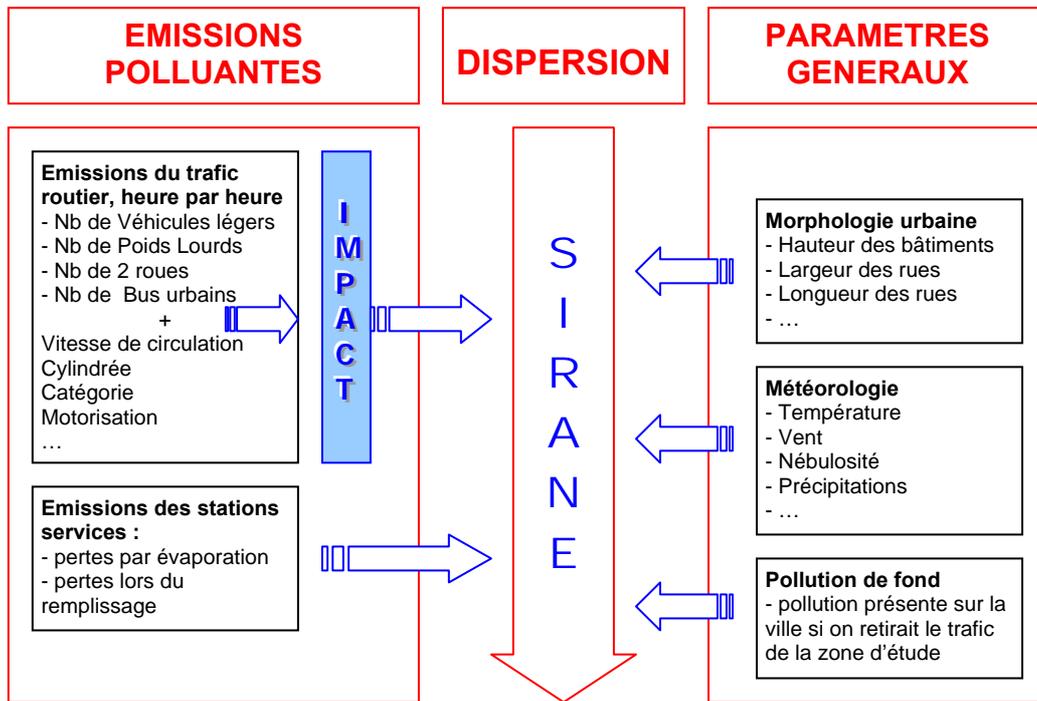
Avant de parvenir à l'expression de la qualité de l'air sous une forme cartographique, il faut donc prendre en considération l'intégralité des connaissances régissant les phénomènes de la pollution de l'air. Bien évidemment, ceux-ci sont extrêmement complexes et de nombreuses équipes scientifiques travaillent quotidiennement pour les améliorer.

Parmi les différentes phases permettant d'aboutir *in fine* à cartographier la pollution sur Annecy, Air-APS a choisi de s'appuyer sur deux modèles différents adaptés chacun aux deux étapes clés du processus de modélisation :

- IMPACT pour déterminer les rejets de polluants produits par le trafic routier
- SIRANE pour appréhender la dispersion et la transformation des polluants.

Et pour administrer le tout et gérer les millions de données géoréférencées, nécessaires ou produites aux différents phases d'élaboration, le Système d'Information Géographie (SIG) MapInfo a été privilégié.

Toutefois, le travail ne se résume pas à faire fonctionner des modèles et des logiciels. Le schéma suivant fait le bilan de toutes les étapes mises en œuvre pour ce projet.



Modélisation des émissions : le logiciel IMPACT

IMPACT a été développé par l'ADEME (Agence De l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie) et permet d'automatiser le calcul des émissions automobiles sur chaque portion de voirie. Il comprend deux types d'informations : les émissions unitaires par type de véhicule, et la compositions du parc roulant.

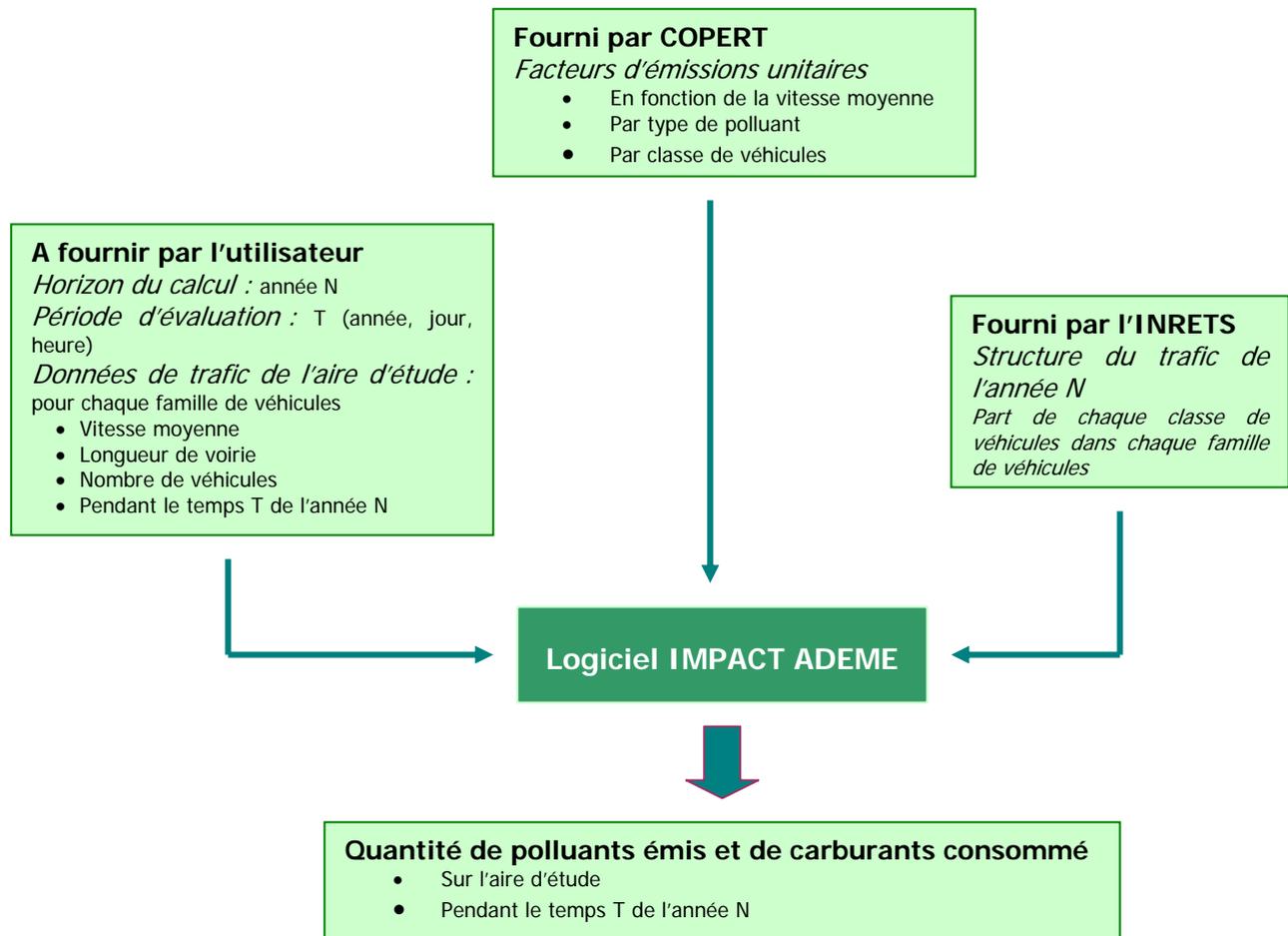
En France, l'INRETS (Institut National de REcherche sur les Transports et leur Sécurité) conduit de nombreux travaux pour déterminer la consommation et les émissions des véhicules. Celles-ci sont élaborées² sur un échantillon de véhicules représentatifs du parc de véhicules français en terme de modèles, de cylindrées, d'âges et de kilométrages. Ces résultats de mesures expérimentales contribuent à alimenter une importante base de données produites par plusieurs programmes de recherche nationaux et européens, dont la confrontation a

² Sur un banc d'essais de laboratoire, sont recréées artificiellement les conditions réelles de circulation : on parle alors, par exemple, de "cycle urbain (une suite de freinage et d'accélération à vitesse modérées variable sur de petits trajets) ou de cycle autoroutier (long trajet à vitesse élevée mais constante)

permis de mettre sur pied la méthodologie COPERT III ⁽³⁾ (Computer Program to Calculate Emissions from Road Transport), valable pour l'ensemble des véhicules circulant dans les pays de l'Union Européenne.

S'appuyant sur les principes de COPERT III, l'ADEME a développé pour la France un outil permettant d'automatiser le calcul des rejets automobiles : le logiciel IMPACT, comprenant également la composition du parc roulant sur le territoire national de 1995 à 2020, permet ainsi de connaître les émissions de nombreux polluants sur une voie ou un réseau routier.

Ainsi, pour résumer, le logiciel IMPACT combine trois jeux de données pour calculer les émissions liées à la circulation selon le schéma ci-dessous :



Modélisation des imissions : le logiciel SIRANE

Connaître les rejets automobiles ne suffit pas pour évaluer la qualité de l'air respirée par les habitants d'une ville. Le transport et la dispersion des polluants à l'échelle d'un quartier urbain sont en effet marqués par l'influence très forte des bâtiments, qui peuvent modifier la vitesse du vent, sa direction ou encore la turbulence de l'écoulement atmosphérique. De plus, les émissions à cette échelle sont particulièrement complexes puisque chaque rue à son propre flux de véhicules qui émet de la pollution et induit une distribution de concentration particulière.

Des travaux expérimentaux menés au Laboratoire de Mécanique des Fluides et d'Acoustique de l'École Centrale de Lyon ont permis de caractériser les échanges qui se déroulent au niveau des intersections de rues et au-dessus des toits et de développer un modèle des flux de polluants. Un modèle de "carrefour" développé a donc été couplé à un modèle de rue-canyon⁴ et à un modèle de panache gaussien pour la dispersion au dessus du niveau des toits.

³ AEE (Agence Européenne de l'Environnement) : COPERT III, Méthodologie et facteurs d'émission, rapport technique No 49, novembre 2000

⁴ Voie bordée par des bâtiments, créant dans une ville une topographie encaissée rappelant celle d'une gorge ou d'un canyon creusé par une rivière.

L'outil de modélisation ainsi constitué, appelé SIRANE, permet alors de simuler la pollution dans un quartier constitué de rues-canyons interconnectées. Il s'agit d'un modèle adapté à l'échelle d'un quartier, donc pour un domaine d'étude de quelques centaines de mètres à quelques kilomètres. 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). Il permet de prendre en compte les principaux effets qui agissent sur la dispersion des polluants à l'échelle d'un quartier :

- Phénomène de rue-canyon (confinement des polluants entre les bâtiments)
- Echanges 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 simple
- Prise en compte de la vitesse de déposition des particules
- Modélisation du dépôt humide

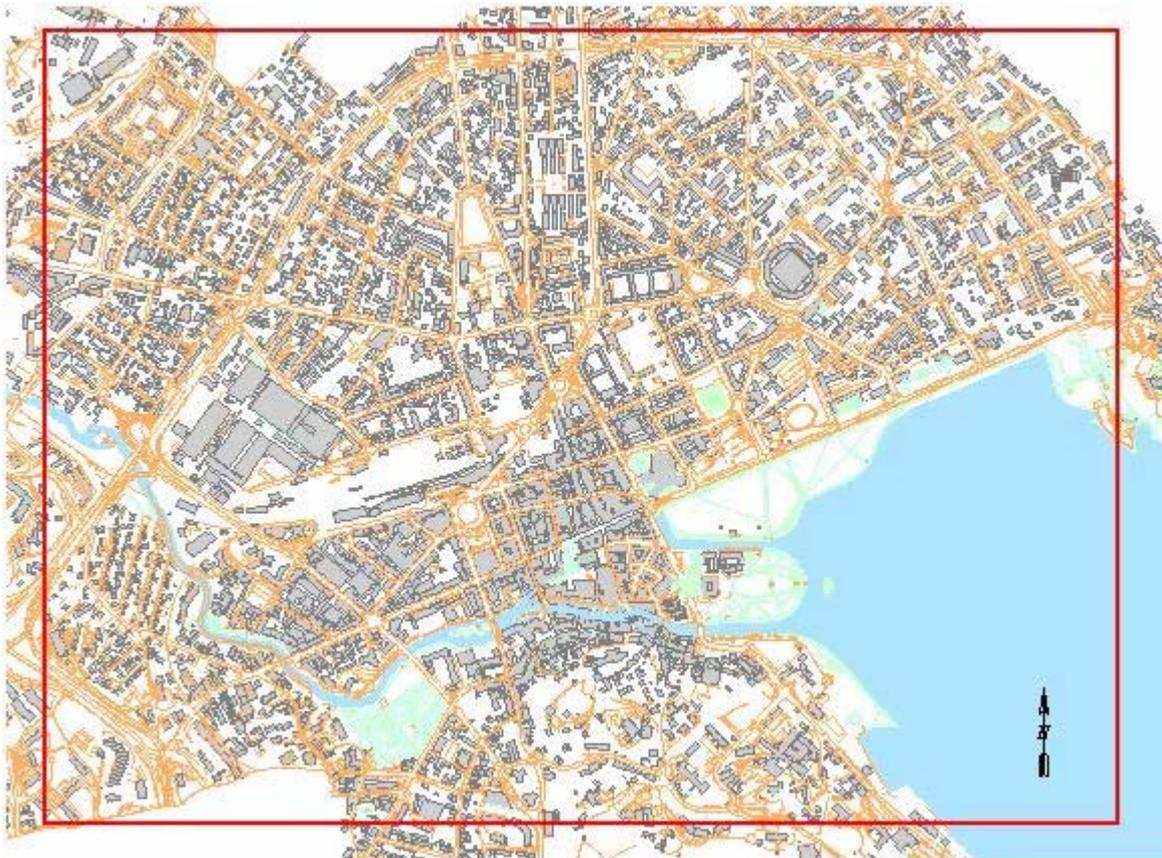
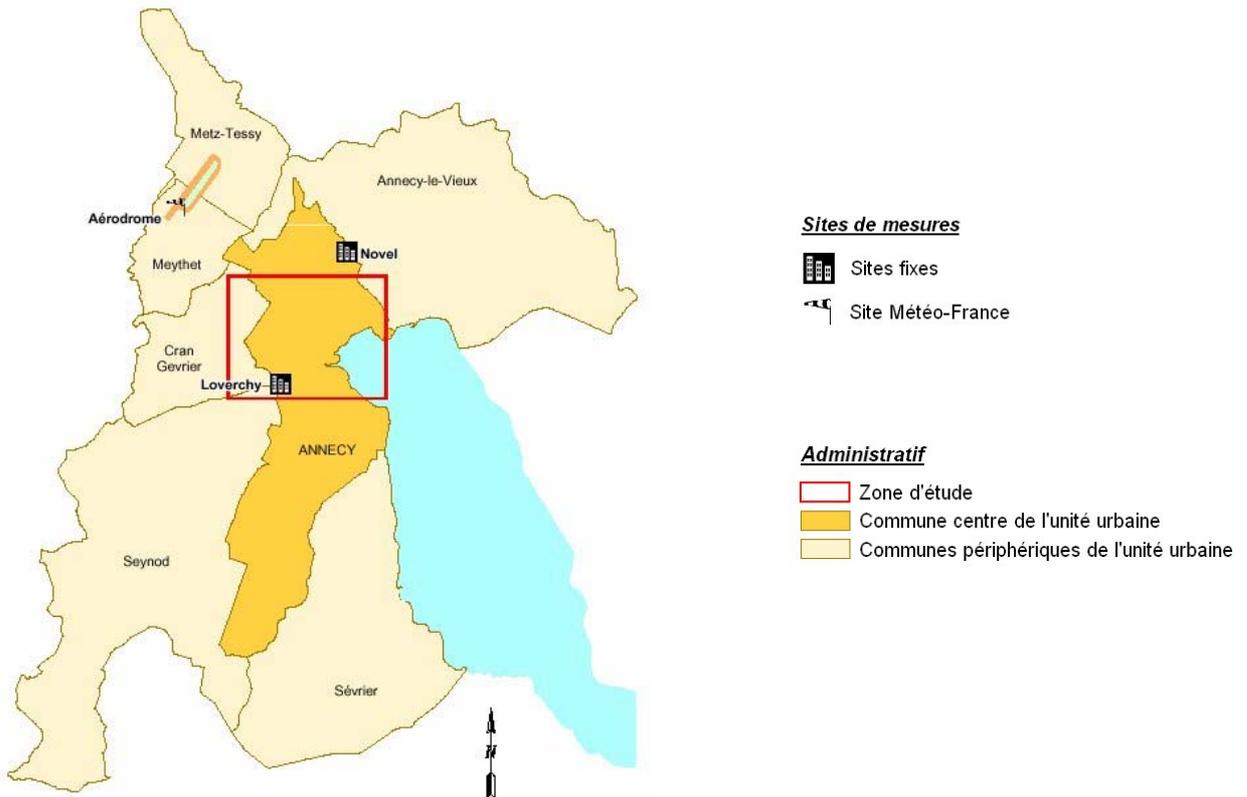
L'obtention de la concentration des différents polluants dans chaque tronçon, au pas de temps horaire, est régie par les données d'entrée suivantes :

- Données temporelles : le jour et l'heure
- Données géométriques : il s'agit du cadastre de la ville "en 3D", représentant les rues, les bâtiments, les nœuds d'intersection avec coordonnées et dimensions.
- Données d'émissions : Cela concerne les émissions liées au trafic automobile.
- Données météorologiques : Classiquement il s'agit des températures, de la direction et de la vitesse du vent, de la pluviométrie et de l'ensoleillement.
- Données de pollution de fond : le modèle SIRANE ne permet de simuler que la dispersion des polluants émis par les véhicules à l'intérieur du quartier ; pour pouvoir comparer le modèle avec les mesures de terrain, il est donc nécessaire de prendre en compte la pollution de fond provenant de l'extérieur du domaine d'étude ou issue des autres types d'émetteurs pas pris en compte.
- Données propres au quartier : il s'agit de constantes nécessaires aux différents calculs, généralement fixées par comparaison avec des études antérieures, ou en utilisant des formules empiriques. Citons pour exemple l'albédo, la longueur de rugosité (prise en compte des détails des bâtiments), ou encore le coefficient de Priestley-Taylor (reflète la quantité d'eau disponible pour l'évaporation).

Définition du périmètre de la zone d'étude

Un ensemble de critères entre en ligne de compte pour choisir la zone d'étude :

- Les limitations des modèles : SIRANE a été conçu pour décrire les concentrations de polluants dans une zone de quelques centaines de mètres à quelques kilomètres constituée principalement de rues bordées de bâtiments. Nous avons donc choisi un secteur de plus de 5 km² centré sur le cœur d'Annecy.
- Confrontation des résultats : Bien que le logiciel ait été validé lors de sa conception, il est indispensable de comparer les résultats obtenus à des mesures réalisées sur le terrain. Nous avons donc délimité la zone afin d'incorporer 3 des 6 sites prospectés lors de l'étude de proximité de 2002-2003.



Eléments cadastre

- Bâtiments
- Hydrographie
- Allée piétonnes
- Voiries

Echelle

0 280 m

Sources

- * Géo Signal
- * Mairie d'Annecy
- * Mairie de Cran-Gevrier

Caractéristiques

- 2,75 * 2,05 Km
- 37276 habitants
- 77 Km de voiries
- 1168 tronçons de voie

LA QUALITE DE L'AIR

Le dioxyde d'azote

Grâce à l'élaboration de simulations horaires tout au long d'une année, une cartographie annuelle permet de représenter les endroits pour lesquelles la réglementation est respectée, ou au contraire dépassée.

La réglementation annuelle



Concentration en NO₂ (µg/m³)
Moyenne annuelle



Respect de
l'Objectif de Qualité

Dépassement de
l'Objectif de Qualité

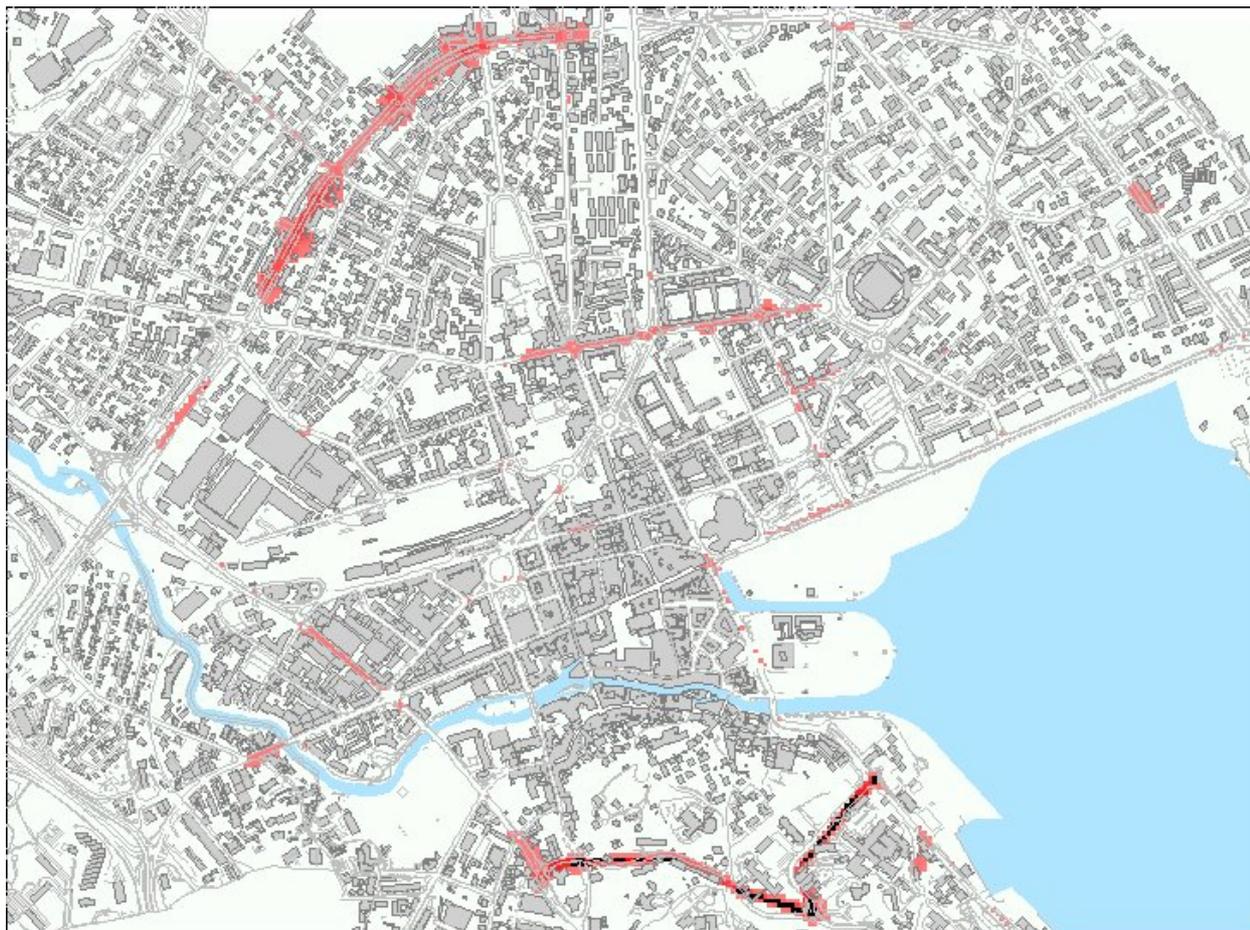
Dépassement de
la Valeur Limite

Plusieurs constats peuvent être faits :

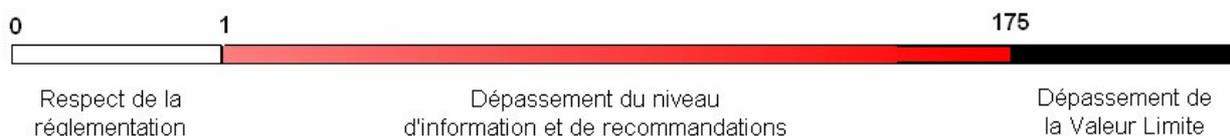
- 80 % de la zone d'étude présente des concentrations respectant l'objectif de qualité
- Une grande majorité des axes de circulation sont concernés par le non respect de l'objectif de qualité.
- Les abords des voiries pour lesquelles un dépassement est observé peuvent également être affectés sur quelques dizaines de mètres (au maximum 50 mètres de part et d'autre de l'axe). C'est notamment le cas des axes les plus touchés comme le boulevard de la Rocade, le Crêt du Maure, le boulevard du Lycée, l'avenue du Rhône...pour ne citer qu'eux.
- Parmi ces axes, la partie la plus proche de la circulation est souvent en dépassement de la valeur limite
- Le secteur piétonnier et le champ de Mars, lieux de passage importants d'une grande part de la population, sont épargnés.

La réglementation horaire

© Air-APS / Géosignal / SIRANE / Mairie d'Annecy / Mairie de Cran-Gevrier



Nombre d'heures de dépassement de la valeur horaire 200 µg/m³



La valeur horaire de 200 µg/m³ permet de statuer sur le comportement de la pollution vis à vis de 2 normes :

- Le niveau d'information et de recommandations qui est dépassé lorsqu'une station de mesure de la pollution de fond (éloignée des principaux axes) dépasse 200 µg/m³
- La valeur limite qui est atteinte si au cours d'une année une zone dépasse pendant plus de 175 heures la valeur de 200 µg/m³

Le Crêt du Maure est le secteur le plus sensible concernant le dépassement de la réglementation horaire. Le trafic important, régulièrement stagnant, cumulé à une configuration de voirie propice à l'accumulation de la pollution engendrent des valeurs importantes. Il semble acquis que le seuil de la valeur limite soit atteint assez régulièrement en semaine lorsque les conditions météorologiques sont propices à la stagnation des masses d'air et donc à la concentration des émissions polluants au niveau du sol. Il semble également probable que le percentile 98 soit dépassé, signifiant donc un dépassement de la valeur limite. Le second secteur enregistrant des dépassements du seuil de 200 µg/m³ en moyenne horaire est le boulevard de la Rocade. Bien que la chaussée soit suffisamment ouverte pour faciliter la dispersion de la pollution, le trafic y est très important et engendre donc des dépassements du niveau réglementaire sur pratiquement toute la partie située entre l'avenue de Cran et

l'avenue de Genève. Rappelons qu'il s'agit du secteur d'Annecy enregistrant le trafic le plus dense avec un maximum horaire dépassant les 3600 véhicules.

Le linéaire boulevard du Lycée et boulevard Decouz est également concerné par des dépassements du niveau d'information et recommandations. Lieu de transit important de l'agglomération Annecienne il s'agit également d'un lieu de vie de premier ordre avec ses lycées, son collège, les Haras, un centre commercial et la proximité du centre ville.

Enfin, le dernier secteur enregistrant des dépassements est la partie de l'avenue du Rhône située entre l'avenue de Chevène et l'avenue d'Aléry. Notons que ceci ne fait que confirmer le constat fait lors de l'étude de proximité réalisée en 2002-2003⁵.

D'autres petites portions de la ville sont également répertoriées comme enregistrant des valeurs supérieures au $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ comme l'avenue de France, la place du Général de Gaulle, l'avenue de Chambéry ou la place de la Libération. Compte tenu du nombre limité de dépassements, de leur représentativité spatiale très faible et sachant qu'il s'agit de modélisation, il est possible que ces endroits ne soient pas concernés par des dépassements du niveau réglementaire. Il y a toutefois une certitude, les concentrations peuvent être importantes.

Enfin, le bilan par rapport au seuil d'alerte (fixé à $400 \mu\text{g}/\text{m}^3$) est pleinement satisfaisant puisque nous n'avons pas enregistré de dépassement.

Le film d'une journée de pollution au dioxyde d'azote

La modélisation, en plus d'offrir la possibilité de se référer à la réglementation, permet de reconstituer, heure par heure, la cartographie de la pollution de l'air.

A titre d'exemple, nous avons comparé l'évolution de la modélisation des concentrations de 2 journées caractéristiques :

- Le 19 septembre correspond à une journée au cours de laquelle les concentrations ont été importantes. Cela symbolise une situation extrême présente seulement quelques jours par an sur Annecy,
- Le 6 décembre représente une situation normale. Au moins 50% des jours de l'année sont similaires à cette journée.

7h00 : la ville est endormie...

© Air-APS / Géosignal / SIRANE / Mairie d'Annecy / Mairie de Cran-Gevrier



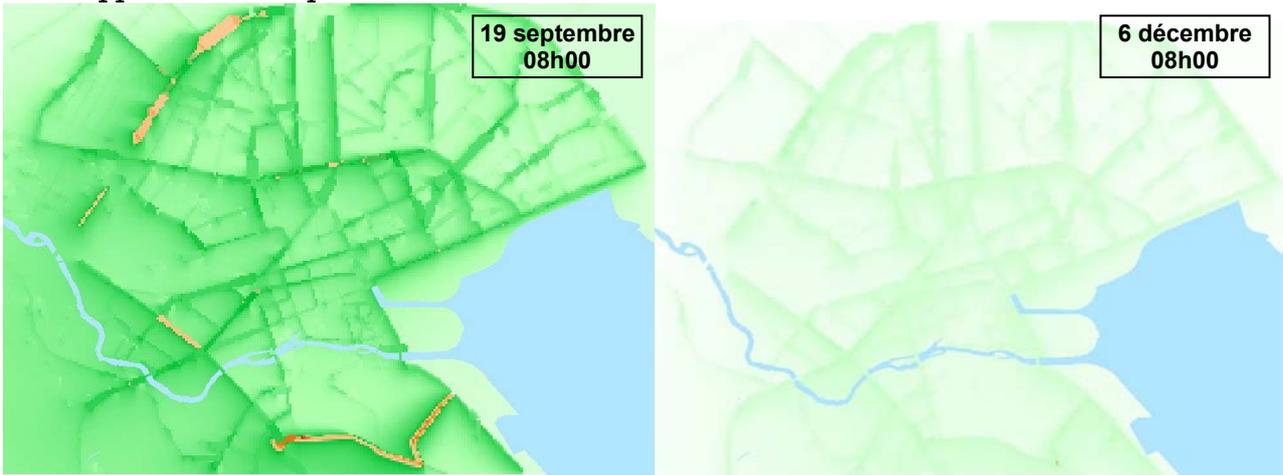
Le trafic jusque 7 h du matin est encore suffisamment faible pour ne pas engendrer de pollution. Dans les deux cas, la qualité de l'air est encore bonne.



⁵ Etude de la qualité de l'air en proximité routière sur l'agglomération Annecienne – 2002/2003
Rapport disponible sur simple demande ou dans la rubrique "Publications" du site www.atmo-rhonealpes.org

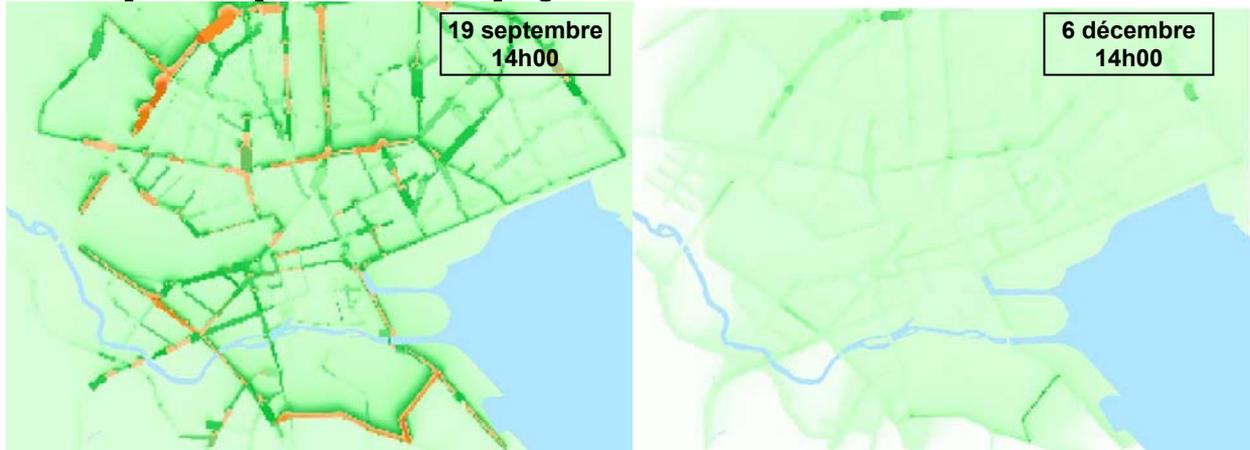
8h00 : apparition de la pollution

© Air-APS / Géosignal / SIRANE / Mairie d'Annecy / Mairie de Cran-Gevrier

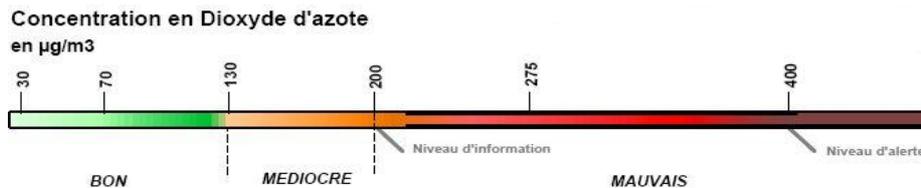


La reprise de l'activité économique vers 8h du matin engendre une hausse importante du trafic et l'apparition d'une qualité de l'air médiocre le 19 septembre sur les axes les plus sensibles comme le Crêt du Maure, l'avenue du Rhône, le boulevard de la Rocade et le boulevard du Lycée. Le 6 décembre, qui correspond à la journée « moyenne », ne montre pas de signes particuliers de pollution.

14h00 : la pollution poursuit sa lente progression

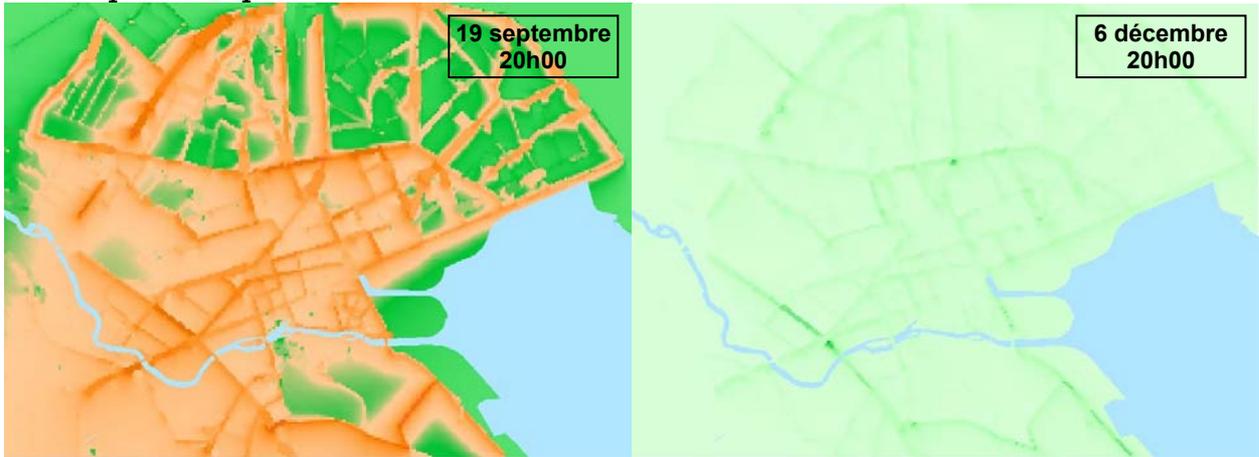


En situation exceptionnelle, la pollution s'est intensifiée sur les voiries les plus circulées et s'est propagée à d'autres axes. Les rues qui avaient enregistré une qualité de l'air médiocre dès 8 h du matin ont visiblement désormais atteint ou dépassé le niveau réglementaire d'information et de recommandations. Le 6 décembre, ces axes les plus sensibles ressortent également par rapport au reste de la zone d'étude mais la qualité de l'air reste toujours bonne.



20h00 : la pointe de pollution

© Air-APS / Géosignal / SIRANE / Mairie d'annecy / Mairie de Cran-Gevrier

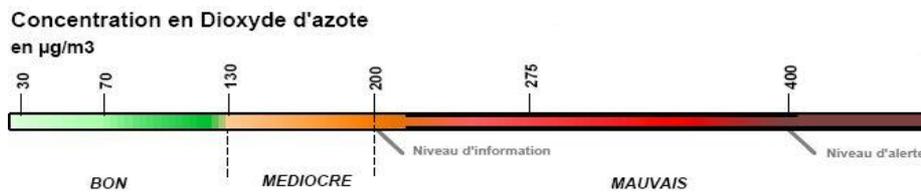


Le trafic du soir, plus les émissions de la journée, plus une météorologie particulièrement favorable à l'accumulation de la pollution à cette heure là engendrent la propagation de la pollution à toute la ville le 19 septembre. De nombreux secteurs enregistrent un dépassement du niveau d'information et recommandations (fixé à 200 µg/m³). La journée du 6 décembre est par contre à l'image du reste de la journée puisque nous enregistrons une bonne qualité de l'air sur l'ensemble de la zone.

22h00 : retour à une situation « respirable »



Le 19 septembre, il est 22 heures et les axes les plus sensibles sont sur le point de retrouver une bonne qualité de l'air. La pollution se résorbe pour la nuit.



Les poussières en suspension

La réglementation annuelle

© Air-APS / Géosignal / SIRANE / Mairie d'annecy / Mairie de Cran-Gevrier



Concentration en Particules ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Moyenne annuelle



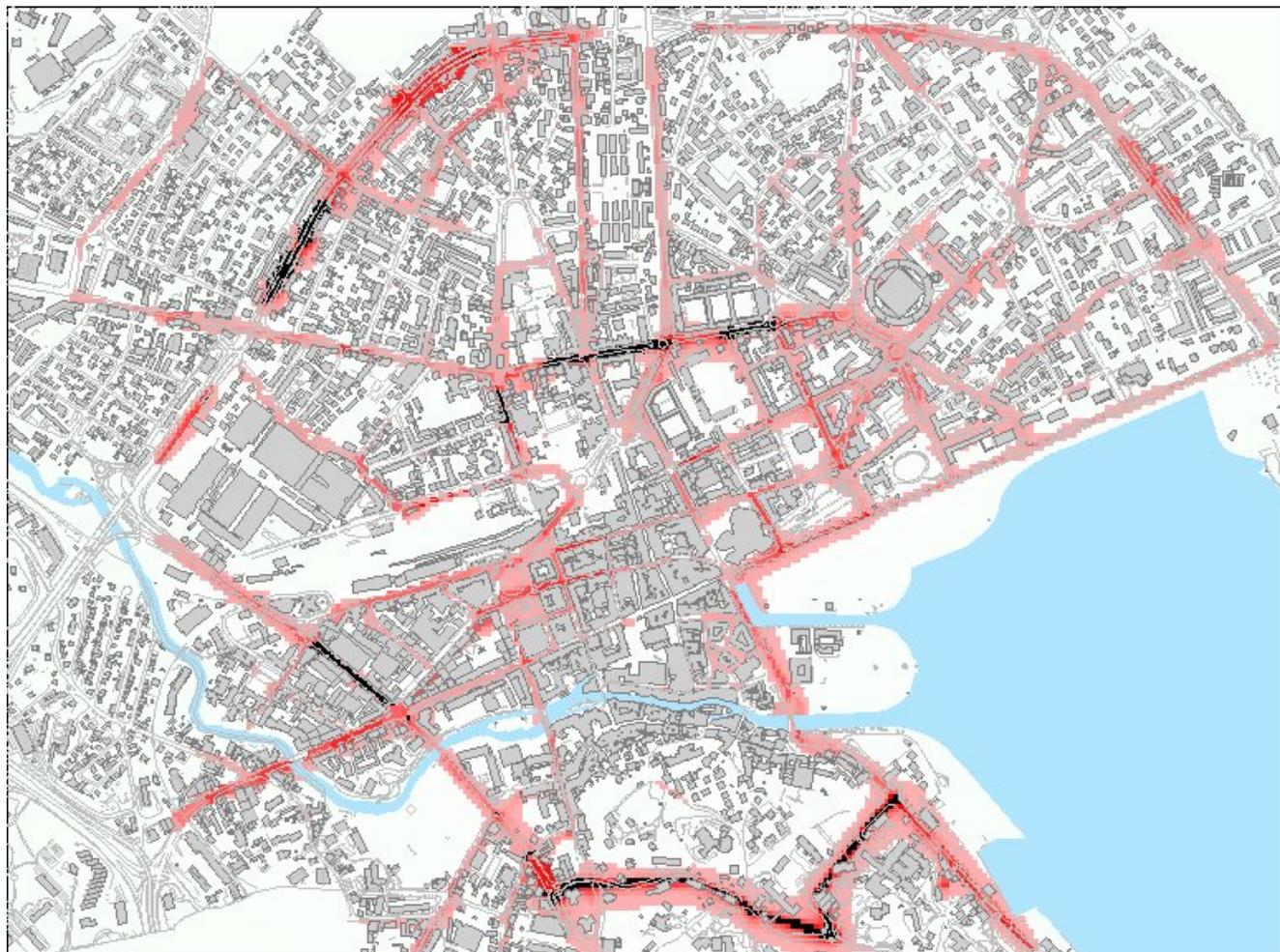
L'impact de la pollution par les poussières en suspension attribuable au trafic routier semble moins important que pour le dioxyde d'azote. Les rues qui observent un dépassement de **l'objectif de qualité** pour les poussières ne respectaient déjà pas les valeurs réglementaires définies pour le dioxyde d'azote. On distingue :

- Le Crêt du Maure
- Le boulevard de la Rocade
- Les boulevards du Lycée et Decouz
- L'avenue du Rhône

Pour ce qui est de la **valeur limite**, si on regarde la référence réglementaire relative à la moyenne annuelle, et compte tenu des éléments à notre disposition, il est fort probable que certaines portions du Crêt du Maure soient amenées à ne pas respecter la valeur limite pour les poussières en suspensions inférieures à 10 microns.

La réglementation journalière

© Air-APS / Géosignal / SIRANE / Mairie d'Annecy / Mairie de Cran-Gevrier



Nombre de jours de dépassement de la valeur journalière 50 µg/m³



Nous avons également la possibilité de juger le respect ou non de la valeur limite en regardant l'évolution journalière des concentrations. Dans ce cas, la réglementation n'est pas respectée si la moyenne journalière dépasse plus de 35 fois la valeur de 50 µg/m³. Dans ces conditions, on a bien confirmation que le Crêt du Maure est susceptible de dépasser la valeur limite. Mais on constate également des dépassements pour des portions déjà mentionnées à plusieurs reprises dans le cadre de ce rapport à savoir le boulevard de la Rocade, les boulevards du Lycée et Decouz et l'avenue du Rhône.

Concernant cette référence réglementaire, il est prévu pour 2010 (mais pas encore décidé) une deuxième phase plus stricte. La valeur limite serait alors atteinte à partir du moment où les moyennes journalières d'un site dépasseraient plus de 7 fois la valeur de 50 µg/m³. On constate donc (en rouge) que cela serait l'ensemble des artères principales de la ville qui ne respecterait pas la valeur limite.

Enfin, il faut noter que la pollution reste tout de même bien localisée à proximité immédiate des axes de circulation les plus circulés et ne s'étend pas beaucoup au-delà.

L'ozone

A la différence des polluants primaires qui sont directement rejetés par une source (une cheminée, un pot d'échappement,...), l'ozone est un polluant dit "secondaire" : il est issu de la transformation, par réaction chimique, de polluants primaires.

Ainsi, les polluants primaires sont majoritairement présents à proximité de leur lieu de production, par exemple le long d'un axe routier. Par contre, pour la formation de l'ozone, des réactions complexes sont en jeu et les concentrations les plus importantes sont enregistrées à une certaine distance des lieux d'émissions, le plus souvent en périphérie des agglomérations.

L'outil de modélisation utilisé permet de connaître la répartition des polluants « primaires ». Cependant, il donne également accès aux valeurs réglementaires des concentrations d'ozone. Il nous est donc apparu intéressant de pouvoir visualiser ces concentrations au cours d'une journée type, afin d'observer l'évolution spatio-temporelle de ce polluant sur notre zone d'étude.

De mai à septembre, les concentrations d'ozone dégradent la qualité de l'air qui devient médiocre environ 1 jour sur 5. On enregistre également en moyenne 3 à 4 dépassements du seuil d'information et recommandations ($180 \mu\text{g}/\text{m}^3$), conduisant ainsi à une situation comme celle observée le 13 août 2003. La station de Loverchy, située dans la zone d'étude, avait enregistré ce jour là un maximum de $182 \mu\text{g}/\text{m}^3$ à 14h. Voici le déroulement de la journée au travers de quelques cartographies.

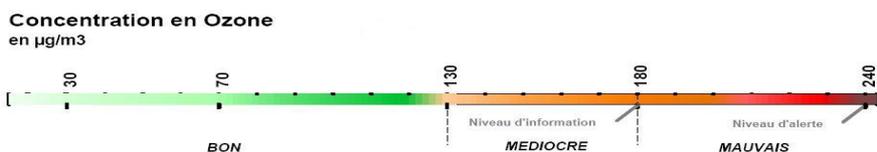


10h00 : comme d'habitude avec l'ozone, la matinée a été plutôt calme.

Les processus photochimiques de formation de l'ozone étant associés à la puissance du rayonnement solaire, les concentrations pour ce polluant sont restées inférieures au niveau réglementaire une grande partie de la matinée.

11h00 : l'ozone commence son ascension...

La fin de matinée se caractérise par l'apparition de l'ozone à des concentrations supérieures à $130 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Le centre ville et le bord des artères principales sont épargnés puisque l'ozone est encore consommé sur place par les polluants primaires émis par le trafic routier.



12h00 : forte augmentation

En l'espace d'une heure, la qualité de l'air est devenue médiocre sur la grande majorité de la zone d'étude. Les abords des axes de circulation sont encore épargnés.



14h00 : maximum de la journée

L'ozone atteint son maximum à 14h00. On peut constater une bonne homogénéité des concentrations sur l'ensemble de la zone et donc la très bonne représentativité des informations délivrées par la station de Loverchy. Seuls les axes accueillant une circulation importante enregistrent des valeurs plus faibles.



18h00 : persistance du pic de pollution

Les concentrations vont rester à des valeurs importantes tout l'après-midi mais en décroissant lentement.



20h00 : fin du pic de pollution

Il faudra attendre 19h pour commencer à enregistrer une réelle amélioration et ce n'est qu'à 20h que la qualité de l'air redeviendra majoritairement bonne.

Si les concentrations d'ozone pourraient être encore plus importantes en périphérie de l'agglomération, on observe une bonne homogénéité des niveaux au centre de l'unité urbaine. A l'heure de pointe, presque toute la ville est pour ainsi dire concernée par cette pollution ce que la grande majorité du public ignore le plus souvent. Ainsi, lors de cette journée du 13 août, le maxima a eu lieu à 14h00. Le modèle indique 187 µg/m³ au niveau de la station de Loverchy, 180 µg/m³ au cœur du secteur piétonnier et 177 µg/m³ au niveau de l'aire de jeu du champ de Mars en bordure de lac.

© Air-APS / Géosignal / SIRANE / Mairie d'Annecy / Mairie de Cran-Gevrier

INCIDENCE DU FILTRE A PARTICULES (FAP) DES BUS URBAINS SUR LA POLLUTION ATMOSPHERIQUE

Qu'est ce que le FAP ?

Le parc de véhicules de la Société Intercommunale des Bus de la Région Annecienne (SIBRA) est notamment composé de bus Diesel. L'un des aspects sensibles de la pollution générée par les véhicules Diesel est la quantité importante de particules solides émises à l'échappement, causant l'apparition de fumées noires. C'est également une source importante de la fraction la plus nocive des particules (celle inférieure à 2,5 microns).

Pour diminuer les émissions de particules, il existe actuellement sur le marché des filtres dont le principe de fonctionnement est le suivant :

- Capture des suies sur un support poreux laissant passer les gaz d'échappement,
- Combustion des suies pour assurer la régénération du FAP et permettre ainsi un fonctionnement continu,
- Nettoyage nécessaire selon le kilométrage effectué.

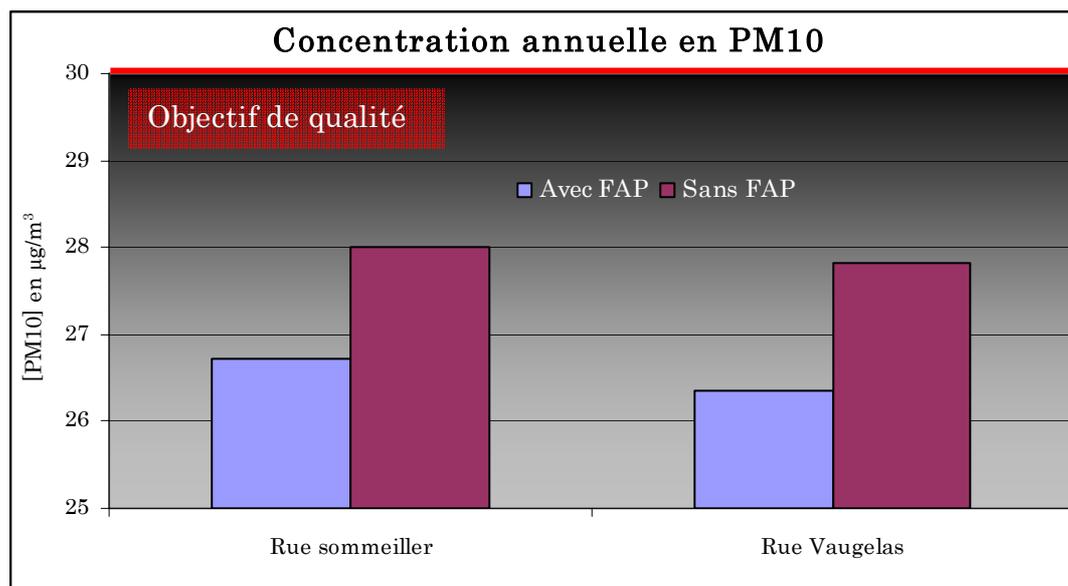
Depuis 2005, l'ensemble des bus de la SIBRA est équipé de FAP.

Les résultats des études qui ont été menées⁶ indiquent une diminution de l'ordre de 80% des quantités de poussières émises lorsqu'un bus est équipé d'un FAP.

Il semblait donc intéressant de prendre en compte cette donnée bien que l'on se soit heurté à un problème de taille : le logiciel IMPACT permettant de calculer les émissions (voir pages 7 et 8), bien que récent, ne permet pas de prendre en compte cette technologie.

Souhaitant tout de même avoir une idée de l'impact des FAP sur la diminution de la pollution atmosphérique en poussières, nous avons développé une méthode permettant de comparer la qualité de l'air avec et sans FAP sur une rue.

Incidence du FAP sur la qualité de l'air des Rues Sommeiller et Vaugelas



⁶ "BUS propres : quels carburants ? quels moteurs ? les évaluations de l'ADEME - TOME 2, ref 5255". Le site Internet de l'ADEME contient également quelques informations : <http://www.ademe.fr>

Comme on peut le constater, les FAP des bus urbains engendrent une baisse de plus de 1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ des concentrations annuelles en poussières dans les rues Sommeiller et Vaugelas. Ceci peut paraître très modeste pour ne pas dire faible. Nous avons donc souhaité apporter un éclairage sur ce sujet. Le tableau suivant regroupe toutes les informations disponibles qui permettent de comprendre la raison d'une baisse de concentrations aussi faible.

	Rue sommeiller	Rue Vaugelas
Trafic VL journalier (entre rue de la poste et de l'Annexion)	6273	4686
Trafic Bus journalier	256	
Pourcentage de bus	4%	5,5%

Trafic VL journalier (entre rue de l'Annexion et Favre)	1576	1178
Trafic Bus journalier (approximatif)	256	
Pourcentage de bus	16,2%	21,7%

Masse annuelle de PM due aux VLs (Kg)	30,5	21,2
Masse annuelle de PM due aux bus sans FAP (Kg)	17,7	20,5
Masse annuelle de PM due aux bus si FAP (Kg)	3,5	4,1

Masse annuelle de PM non émise (Kg)	14,2	16,4
Pourcentage total de baisse grâce aux FAP	29,40%	39,40%

Bien que conséquent par rapport à d'autres portions de la ville, le trafic des bus dans les rues Vaugelas et Sommeiller ne représente que 4 à 20% de la circulation suivant le tronçon. Cela veut donc dire que le trafic VL reste largement majoritaire. Ensuite, les FAP ont permis de réduire les émissions de 29% et 39% dans les rues Sommeiller et Vaugelas. Cela représente 14 et 16 Kg de poussières, ce qui n'est pas négligeable en terme de santé public.

Toutefois, la principale réponse réside dans l'influence de la pollution de fond. Il existe effectivement un niveau de fond auquel nous serions tout de même soumis s'il n'y avait pas de trafic dans la zone d'étude. Il est issu de la pollution longue distance et de la pollution extérieure à la zone et entrant dans celle-ci. On peut l'estimer de l'ordre de 15 à 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ sur Annecy. D'autre part, il existe des échanges entre les rues et les carrefours de sorte que les concentrations en poussières sont assez homogènes sur un large espace. Une réduction des émissions dans une rue, même significative, est donc atténuée par les émissions du reste de la zone

On estime à 440 Kg la diminution des rejets en poussières, sur l'année, pour l'ensemble de la zone d'étude, grâce à l'équipement en FAP des bus urbains. La quantité totale annuelle de poussières rejetée est de 9,4 tonnes. Enfin, les émissions des bus ne représentent au maximum que 5% des émissions totales en poussières sur l'ensemble de la zone.

CONCLUSIONS

Bien que la modélisation de la qualité de l'air se développe de plus en plus en France à une échelle régionale, elle reste encore marginale au niveau de la rue. Peu d'agglomérations dans l'hexagone ont donc une **modélisation horaire opérationnelle** sur leur centre urbain. Ce n'est pas l'intérêt de l'outil qui est en cause mais la taille de l'investissement humain et matériel qu'il requiert.

L'étude de modélisation réalisée sur Annecy s'est caractérisée par une très bonne similitude avec les mesures réalisées sur le terrain. Le modèle s'est également révélé bien homogène sur l'ensemble des points de comparaison. Compte tenu de la diversité des sites et de leur espacement dans la zone, la modélisation sur l'ensemble du domaine étudié apparaît donc tout à fait pertinente. La modélisation n'est "*qu'une estimation de la réalité entachée d'incertitudes*". Elle n'est donc pas synonyme de constat comme peuvent l'être les mesures réalisées par un appareil. Toutefois, il semble acquis que **certains quartiers ne respectent pas la réglementation en vigueur**.

Le dioxyde d'azote

Tous les axes de transit importants, mais également les voies secondaires accueillant pourtant un nombre de véhicules plus faible, sont concernés par le non respect de l'objectif de qualité. L'environnement immédiat des axes les plus circulés (ou des quartiers les plus sensibles) est également concerné par le non respect de cette valeur réglementaire. Cela signifie donc que la population transitant autour de ces axes est concernée. Les secteurs dépassant la valeur limite sont nombreux mêmes s'ils concernent seulement les zones les plus proches (quelques mètres) des voies de circulation. Les axes les plus importants sont naturellement concernés mais également certaines voiries intérieures comme les rues Sommeiller et Vaugelas. Enfin, un certain nombre de secteurs dépasse régulièrement le seuil de la valeur limite et peuvent donc être considérés comme les plus sensibles d'Annecy. Il s'agit : du Crêt du Maure, de l'avenue du Rhône, du boulevard de la rocade et du boulevard du lycée pour ne citer qu'eux. Un point positif, qui mérite donc d'être souligné, est « la sauvegarde » du secteur piétonnier. Sur cette zone, la qualité de l'air peut devenir médiocre, lors de certaines journées très polluées, mais les valeurs réglementaires sont respectées.

Les poussières en suspensions inférieures à 10 microns

L'objectif de qualité et la valeur limite ne sont pas respectés sur les secteurs les plus sensibles recensés précédemment. L'équipement en filtres à particules des bus urbains permet une légère amélioration mais elle reste modeste compte tenu de l'importance du trafic VL, et donc de leurs émissions, par rapport aux bus.

Le benzène

L'objectif de qualité est dépassé sur un nombre assez important de rues plaçant ce polluant dans une problématique moins grande que le dioxyde d'azote mais plus préoccupante que les poussières. Des dépassements de la valeur limite ont également été enregistrés avenue du Rhône et Crêt du Maure.

L'ozone

On a pu constater que l'information délivrée par la station de Loverchy était bien représentative de ce que respire la population en cas de pic de pollution. Lorsque les concentrations de ce polluant sont importantes, personne ne semble épargné. Notons que c'est le seul polluant pour lequel la réglementation n'est pas respectée dans les secteurs piétonniers de la ville.

Et maintenant ?

Bien que les résultats soient pleinement satisfaisants, il faut poursuivre le travail afin d'améliorer la modélisation. Des modifications vont donc être apportées au modèle afin de l'ajuster encore un peu plus à la réalité. Les perspectives d'utilisation de cet outil sont de diffuser en "temps réel" les cartographies de pollution (via le net par exemple) et de travailler sur l'impact et le suivi des projets d'aménagement.

ANNEXE : VALIDATION DU MODELE PAR LES MESURES

Pour valider les résultats du modèle, nous avons utilisé les mesures obtenues lors de la campagne de proximité réalisée en 2003 et les mesures de la station fixe du centre d'Annecy. Nous avons donc comparé les résultats de la modélisation à des capteurs situés aux endroits suivants :

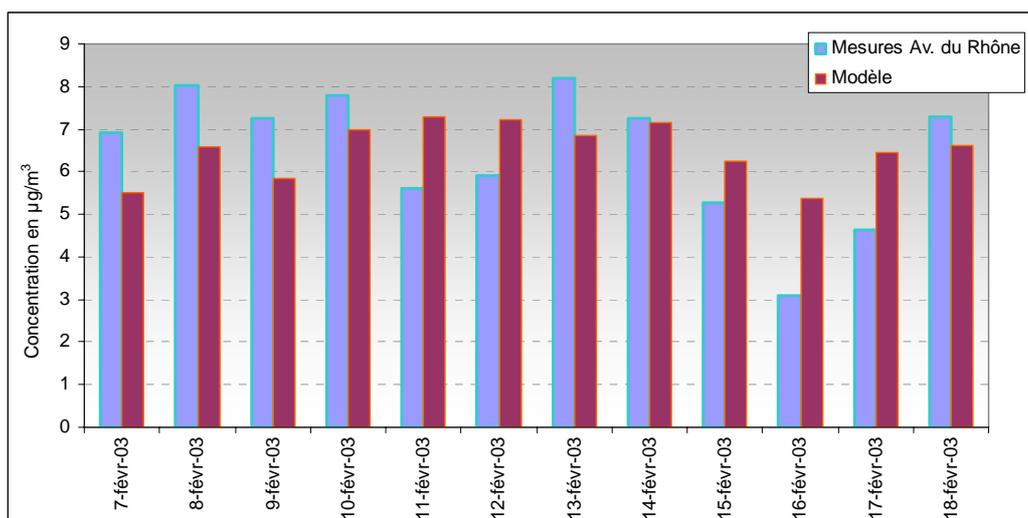
- Boulevard de la Rocade
- Avenue du Rhône
- Marquisats

Afin d'appréhender toutes les "dérives" possibles du modèle, la validation a été effectuée en comparant le modèle à différentes échelles temporelles :

- la moyenne sur la période de mesure des sites (généralement 15 jours à 3 semaines),
- les moyennes journalières
- les valeurs horaires.

Toutefois, dans le cadre de ce rapport, nous n'avons repris que les graphes relatifs au pas de temps adaptée à la réglementation en vigueur.

Le benzène



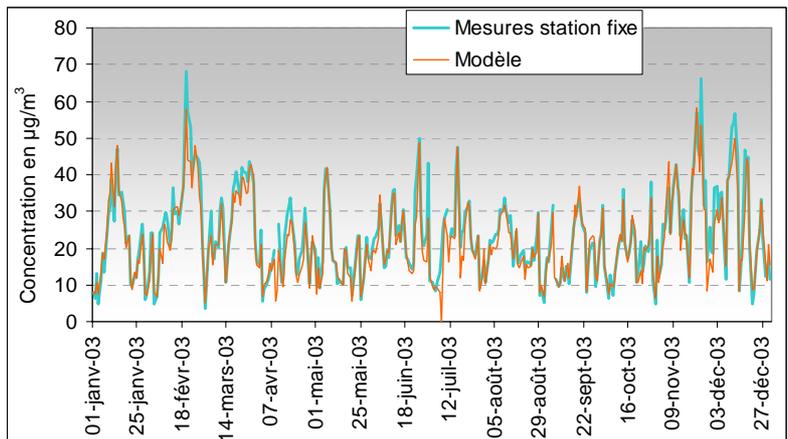
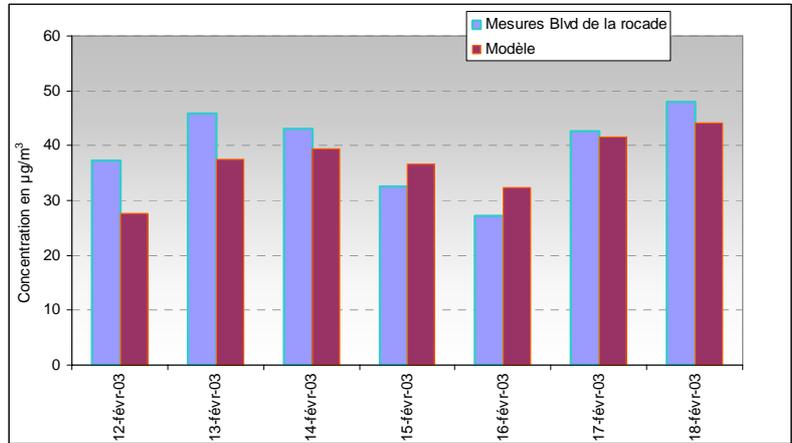
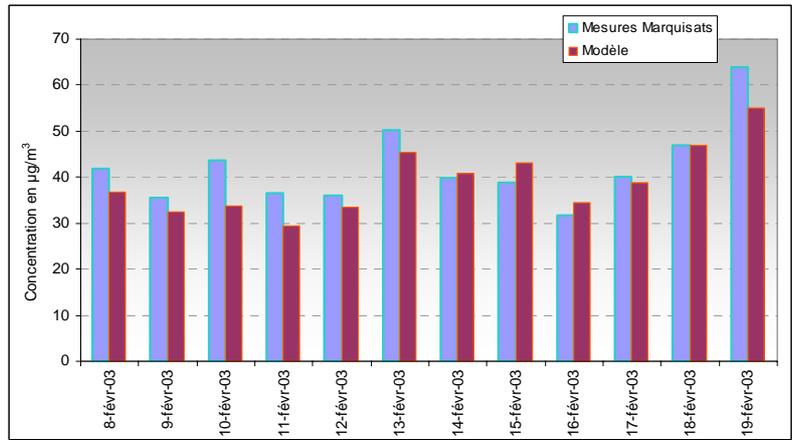
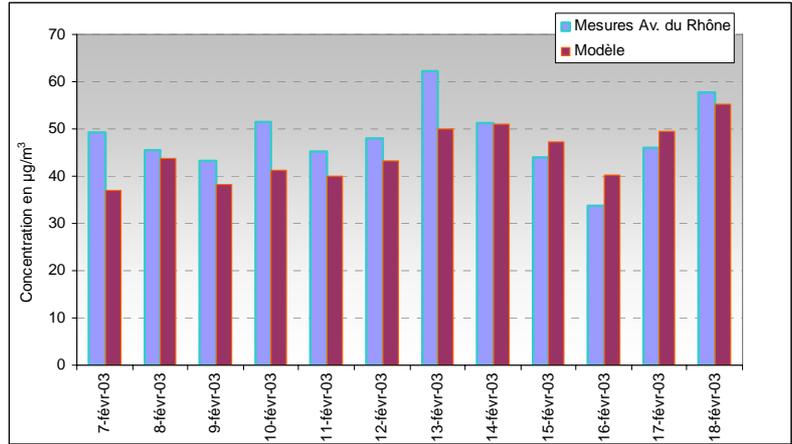
Le graphe ci-dessus compare la moyenne journalière des mesures réalisées avenue du Rhône avec les sorties du modèle. Les résultats sont satisfaisants pour plusieurs raisons :

- L'évolution d'une journée à l'autre est généralement bien reproduite et indique que le phénomène est bien modélisé.
- L'écart entre le modèle et les mesures reste globalement faible pour ce type de travail puisqu'il se situe en dessous de 30%. Seul le 16 février enregistre un biais plus important.
- Même si la modélisation de ce polluant est *a priori* entachée de nombreuses lacunes, liées notamment à la bonne estimation des émissions, il semble que les hypothèses formulées pour contourner cet écueil reproduisent finalement assez fidèlement la réalité. Notons qu'il faudra rester prudent quand à la prise en compte de la modélisation de ce polluant sur l'ensemble de la zone d'étude car nous avons pu confronter les sorties du modèle aux mesures que pour un seul site et sur une période. Cela semble donc un peu insuffisant pour assurer de la justesse du modèle sur une zone de plus de 5 Km².

Les poussières

Les graphiques ci-contre comparent pour chaque site les moyennes journalières du modèle aux mesures réelles. Les constats suivants peuvent être faits :

- L'évolution des concentrations en poussières est bien modélisée puisque la variabilité temporelle est bien représentée par le modèle.
- La modélisation des poussières sur l'ensemble des sites reproduit fidèlement les mesures enregistrées. De manière générale, le modèle sous-estime les concentrations en PM10. Le biais est rarement supérieur à 20% ce qui est très satisfaisant pour un travail de modélisation.
- Malgré la grande disparité de la configuration des sites, le modèle semble bien modéliser les effets locaux propres à chacun d'entre eux malgré des phénomènes dus à la présence du Lac ou du Semnoz.
- Enfin, les résultats du modèle ont également été comparés aux mesures de la station fixe de Loverchy, révélant des simulations très proches de la réalité.



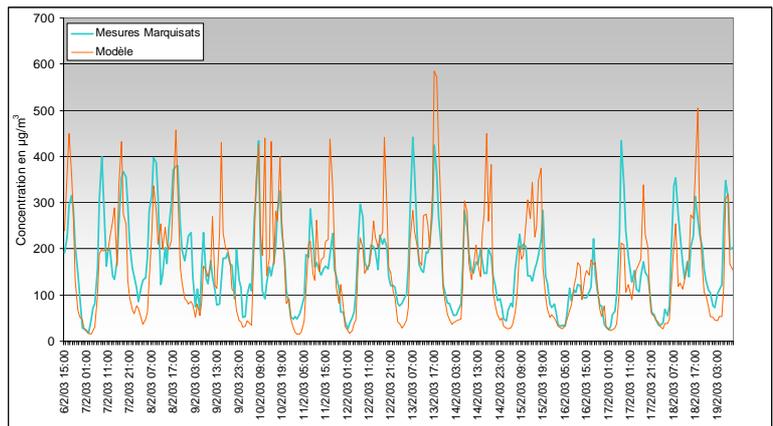
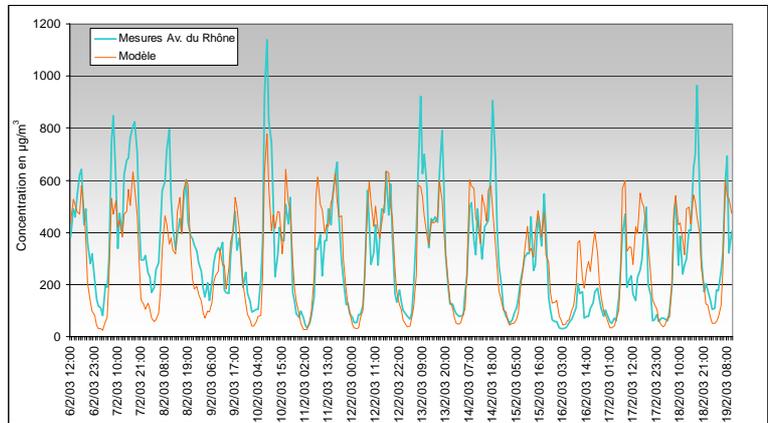
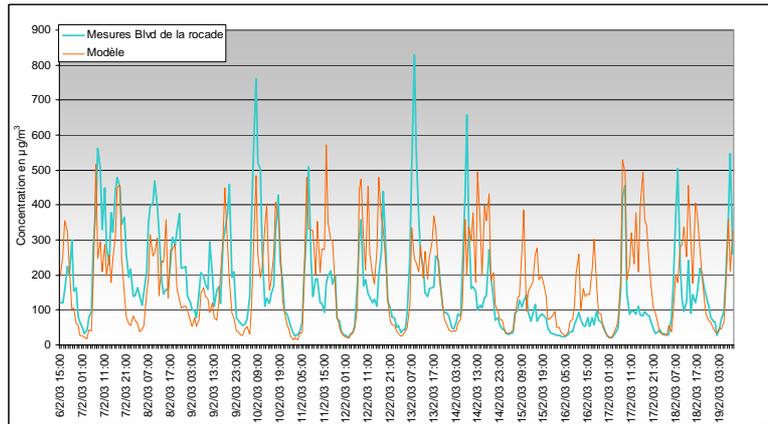
Les oxydes d'azote

Les oxydes d'azote se composent essentiellement du monoxyde et du dioxyde (d'azote).

Il n'existe pas de réglementation pour le monoxyde d'azote car les concentrations rencontrées dans l'air ambiant ne sont pas sujettes à préoccupation.

Le dioxyde d'azote est par contre réglementé et constitue même l'un des principaux indicateurs de la pollution automobile.

- Le logiciel reproduit très bien l'évolution des concentrations dans la forme. Il n'y a pas de décalages dans l'enregistrement des principaux pics, preuve de la bonne prise en compte de l'évolution journalière du trafic sur les différents sites d'études : Avenue du Rhône, Boulevard de la Rocade et les Marquisats.
- Pour ce qui est de l'intensité des concentrations, le modèle est globalement en accord avec les mesures. Il existe des jours pour lesquels le modèle sous-estime le maximum de la journée, en particulier sur les sites du boulevard de la Rocade et de l'avenue du Rhône, mais sa fiabilité n'est pas à remettre en cause. Le décalage entre le trafic pris en compte et le trafic réel est sans aucun doute la principale cause du biais enregistré.



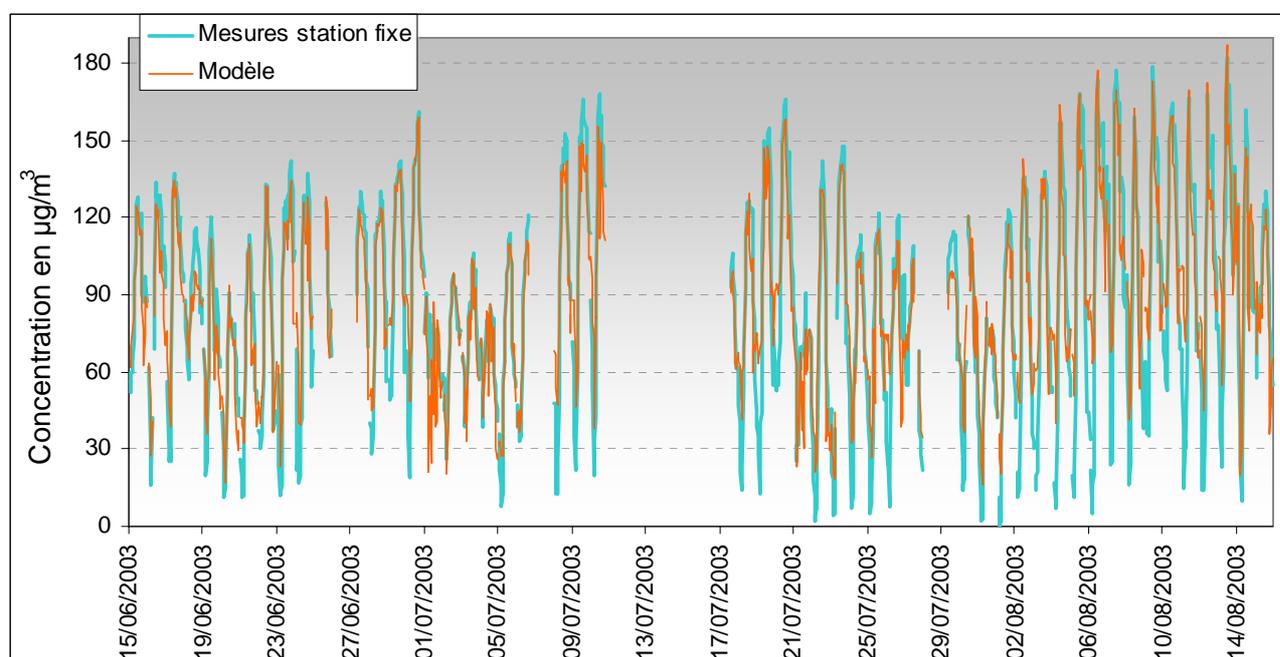
L'ozone

La validation des données d'ozone modélisées est surtout intéressante pour le pas de temps horaire puisque toute la réglementation s'y réfère.

A la différence des autres polluants étudiés dans le cadre de cette étude, l'ozone n'est pas un polluant directement émis par le trafic automobile. C'est un polluant secondaire issu de la transformation de polluants primaires. Les réactions mises en jeu sont particulièrement complexes et nombreuses, et le modèle ne peut en reconstituer qu'une petite partie. Les écarts entre la modélisation et les mesures sont donc majoritairement attribuables à la simplification des réactions prises en compte par le logiciel.

Le modèle a été étudié sur l'année 2003. Nous ne pouvons donc pas le comparer aux mesures d'ozone réalisées lors de la campagne estivale de l'été 2002.

Par contre, on a pu confronter la modélisation avec les mesures de la station fixe de Loverchy sur toute l'année. Compte tenu du mode de formation de l'ozone (par photochimie), nous avons reporté ci-dessous que la période la plus propice à l'enregistrement de fortes concentrations (15 juin au 15 août).

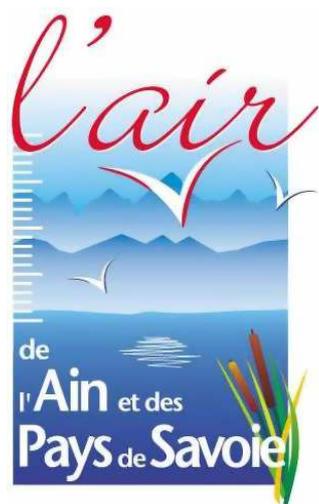


On peut voir que le modèle restitue d'une part très bien l'évolution des concentrations d'ozone dans le temps et reproduit d'autre part fidèlement le niveau de concentration. Par exemple, pour la journée du 13 août, la station fixe a enregistré une valeur supérieure au seuil d'information avec $182 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Le modèle témoigne d'une valeur de $187 \mu\text{g}/\text{m}^3$ au même moment, ce qui fait un biais inférieur à 3% ! Cet écart est excellent pour de la modélisation.

Par contre, les données issues de la modélisation restent élevées la nuit à comparer des mesures. Ceci est dû à la "pauvreté" des réactions chimiques prises en compte par le logiciel comme nous l'avons vu plus haut. En fait, le modèle sous-estime la consommation d'ozone par le dioxyde d'azote lorsque les processus photochimiques n'ont plus lieu (c'est à dire une fois le soleil « couché »). Notons que cela n'affecte que les concentrations basses, la nuit ou au petit matin. On peut donc considérer ce biais comme négligeable.

Bien que l'on ne possède pas d'autres points de comparaison sur la zone d'étude, nous avons confiance quant à la justesse de la modélisation sur l'ensemble du domaine étudié car :

- La comparaison avec le site fixe a donné entière satisfaction et
- L'ozone est un polluant relativement homogène sur une vaste zone.



L'AIR DE L'AIN ET DES PAYS DE SAVOIE
430 rue de la Belle Eau, Z.I. des Landiers Nord, 73000 CHAMBERY
Téléphone : 04-79-69-05-43 Télécopie : 04-79-62-64-59
Email : air-aps@atmo-rhonealpes.org
www.atmo-rhonealpes.org