



## Etude de la qualité de l'air en proximité routière sur Annecy: mesures et modélisation

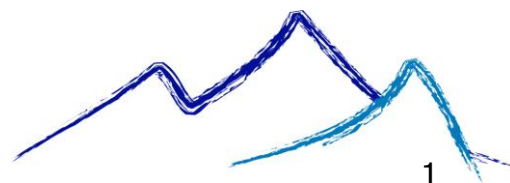


L'Air de l'Ain et des Pays de Savoie

Savoie Technolac - BP 339 - 73377 LE BOURGET DU LAC Cedex

Tél. 04.79.69.05.43 - Fax. 04.79.62.64.59 -

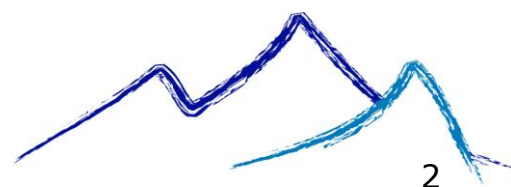
e-mail: [air-aps@atmo-rhonealpes.org](mailto:air-aps@atmo-rhonealpes.org)





# Sommaire

Sommaire	2
Introduction	3
1. Des mesures en proximité de voirie	3
1.1 Les polluants prospectés et leurs effets sur la santé humaine	3
1.2 La réglementation	4
1.3 Des concentrations suivies par des analyseurs	4
1.3.1 Moyens de mesures	4
1.3.2 Localisation des sites de mesures	4
1.4 Caractérisation de la qualité de l'air	6
1.5 Mise en relation avec les sites fixes	9
1.6 Situation en regard des normes en vigueur	10
1.7 Conclusion sur les mesures	10
2. Des concentrations suivies par de la modélisation	11
2.1 Qu'est-ce qu'une modélisation ?	11
2.2 Description du modèle	11
2.3 Périmètre de la zone d'étude	13
2.4 Validation du modèle	14
2.5 Résultats de SIRANE	15
2.5.1 Résultats de SIRANE pour le dioxyde d'azote	15
2.5.2 Résultats de SIRANE pour les particules en suspension PM10	20
2.5.3 Résultats de SIRANE pour l'ozone	24
Conclusions	25





# Introduction

Les stations fixes actuellement implantées dans l'agglomération d'Annecy ont pour but de déterminer la qualité de l'air respirée par la majeure partie de la population. De ce fait, ces stations sont volontairement relativement éloignées des sources d'émissions (fort trafic, industries...), tout en restant au milieu des habitations.

L'inventaire des émissions montre que le principal émetteur d'oxydes d'azote sur Annecy est le transport routier avec 61% des émissions totales de NO<sub>x</sub>. La part des émissions de PM10 liée au transport routier est d'environ 27% sur l'agglomération annécienne. Le transport est donc l'un des principaux contributeurs avec l'industrie et le secteur résidentiel/tertiaire sans être le principal émetteur de poussières fines.

L'objectif de cette étude est de déterminer la concentration maximale en polluants primaires (NO<sub>2</sub> et PM10) pouvant être inhalée par la population. Pour cela, des mesures ont été réalisées à moins de 5 mètres d'une voie à forte circulation constituant également un point de passage piétonnier.

Ainsi, une cabine de mesures a permis de suivre durant toute une année les concentrations en oxydes d'azotes et en poussières fines. Les concentrations relevées sont alors comparées aux résultats des stations fixes de la zone et analysées sous l'éclairage des normes en vigueur qui déterminent les risques sanitaires.

Le second volet de l'étude consiste à spatialiser les mesures afin d'estimer dans chaque rue du périmètre du cœur de ville les concentrations des principaux polluants et à rendre un résultat sous forme cartographique. Cette modélisation est une mise à jour des cartes déjà produites en 2003 sur Annecy.

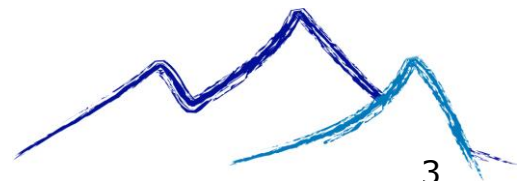
## 1. Des mesures en proximité de voirie

### 1.1 Les polluants prospectés et leurs effets sur la santé humaine

Lorsqu'une évaluation de la qualité de l'air est réalisée, 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 étant à risque pour la santé humaine et une réglementation s'applique à leur présence dans l'atmosphère. Les polluants atmosphériques plus spécifiquement issus du trafic routier seront investigués:

✓ les poussières en suspension (PM10): il s'agit en fait d'un mélange complexe de substances minérales et organiques, qui peuvent être d'origine naturelle et/ou anthropique. Seules les particules les plus fines, dont le diamètre moyen est inférieur à 15 µm, restent en suspension dans l'air. Les particules que nous analysons ont un diamètre moyen inférieur à 10 µm : on les appelle les «PM 10». Ces particules représentent la fraction dangereuse car elles correspondent à celles pénétrant dans les voies respiratoires. Surtout chez l'enfant ou les personnes sensibles, les particules fines peuvent irriter les voies respiratoires ou altérer la fonction respiratoire. Certaines peuvent même avoir des effets cancérigènes, mutagènes ou reprotoxiques suivant les composées qu'elles transportent.

✓ les oxydes d'azotes (NO<sub>x</sub>), ces gaz émanent de toutes les combustions à haute température, par combinaison de l'oxygène et de l'azote présents dans l'air ou dans les combustibles. La formule chimique NO<sub>x</sub> rassemble le monoxyde d'azote (NO) et le dioxyde d'azote (NO<sub>2</sub>) dont les concentrations seront examinées ici, puisque seul le NO<sub>2</sub> est considéré comme un polluant au regard de ses effets sur la santé humaine. Chez les asthmatiques, ce gaz peut





entraîner une altération de la fonction respiratoire, une hyper réactivité bronchique. Chez les enfants et les personnes sensibles il augmente la sensibilité des bronches aux infections microbiennes.

L'ozone ( $O_3$ ) sera également investigué à travers la modélisation: ce gaz est aussi présent sur les agglomérations en période estivale et les polluants issus du trafic routier font partis de ses précurseurs. C'est un oxydant puissant qui peut provoquer des irritations oculaires, des migraines, des toux, et une altération pulmonaire, surtout chez les enfants et les asthmatiques.

## 1.2 La réglementation

En France, la réglementation relative à la qualité de l'air ambiant pour les polluants suivis lors de cette étude est définie par deux textes législatifs :

- la Loi sur l'Air et l'Utilisation Rationnelle de l'Energie (LAURE), du 30 décembre 1996,
- le décret 2002-213 du 15 février 2002, adaptation en droit français d'une directive européenne.

Cette réglementation fixe quatre types de valeurs selon les polluants :

- 1) 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,
- 2) 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,
- 3) 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,
- 4) le **seuil d'alerte** détermine un niveau à partir duquel des mesures immédiates de réduction des émissions (abaissement de la vitesse maximale des véhicules, réduction de l'activité industrielle, ...) doivent être mises en place.

## 1.3 Des concentrations suivies par des analyseurs

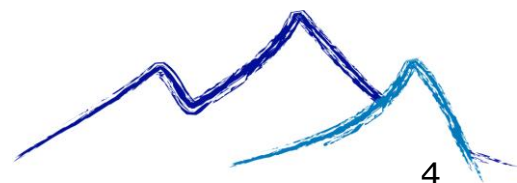
### 1.3.1 Moyens de mesures

Afin de caractériser la qualité de l'air de manière précise, une cabine de mesures a été implantée de manière à suivre en continu, au pas de temps horaire, l'évolution de la qualité de l'air. Ce moyen « mobile » (il reste implanté sur un même site durant l'étude) se présente sous forme d'analyseurs automatiques installés dans une enceinte à température régulée.

Le fonctionnement d'un moyen mobile est identique à celui de l'ensemble des sites permanents du réseau fixe d'AIR-APS et implique des contraintes techniques lourdes: lignes électriques et téléphoniques ainsi que la maintenance régulière des analyseurs.

La finesse temporelle des mesures horaires de la pollution atmosphérique permet d'étudier l'évolution temporelle des concentrations tout au long de la journée et ainsi d'identifier l'impact potentiel de sources locales d'émissions.

### 1.3.2 Localisation des sites de mesures





Le site de proximité routière a été implanté boulevard du lycée en bordure de voirie durant toute l'année 2008 (photo 1).



**Cabine de mesures en proximité trafic:**  
Boulevard du Lycée  
Coordonnées (UTM31 742432,5088305)

Photo 1 - Moyen mobile présent en proximité routière en 2008 à Annecy.

Ce moyen mobile a complété le dispositif de stations fixes de l'agglomération annécienne composé de 2 stations (photo 2) : Annecy-Loverchy et Annecy-Novél.

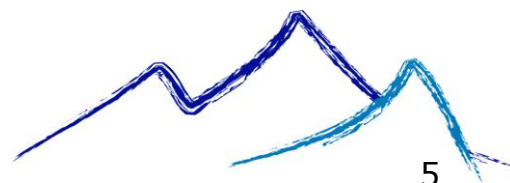


**Station fixe de Annecy-Loverchy**



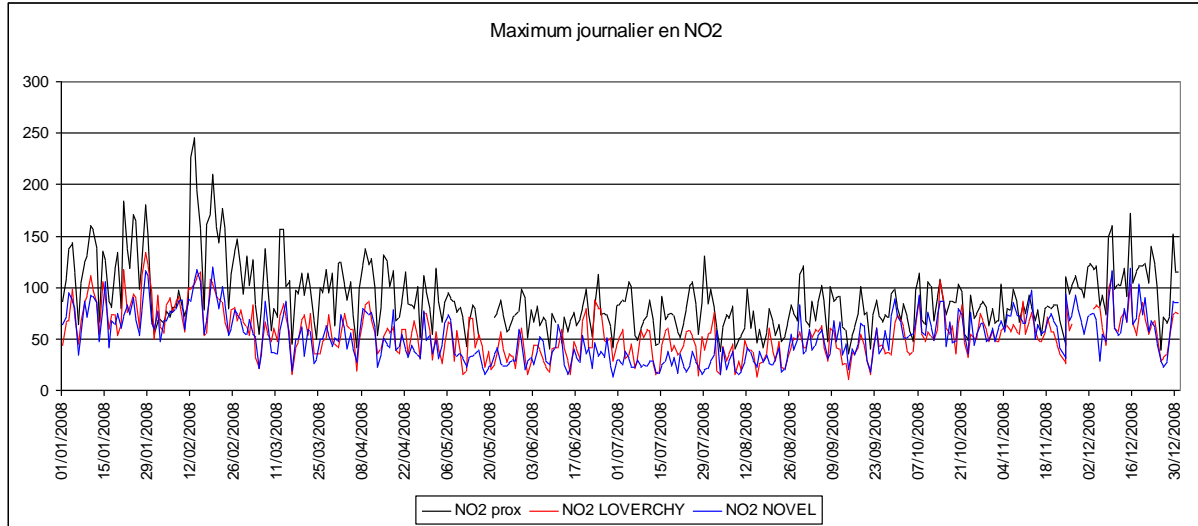
**Station fixe de Annecy-Novél**

Photo 2 - Stations fixes de l'agglomération annécienne





### 1.4 Caractérisation de la qualité de l'air

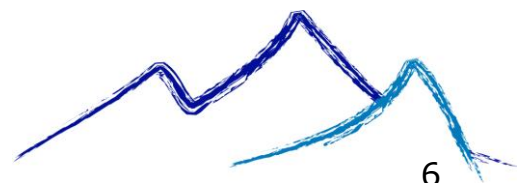


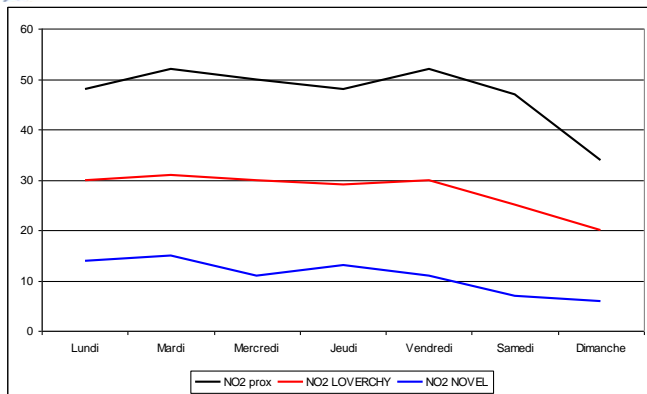
Graphique 1 - Concentrations maximales journalières relevées en proximité automobile à Annecy pour le dioxyde d'azote (en  $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ ).

Le dioxyde d'azote est un polluant traceur du trafic automobile mais il est aussi sensible à la température et à l'ensoleillement. Ainsi, de part sa chimie il est courant de retrouver les plus fortes concentrations en hiver et les plus faibles en été.

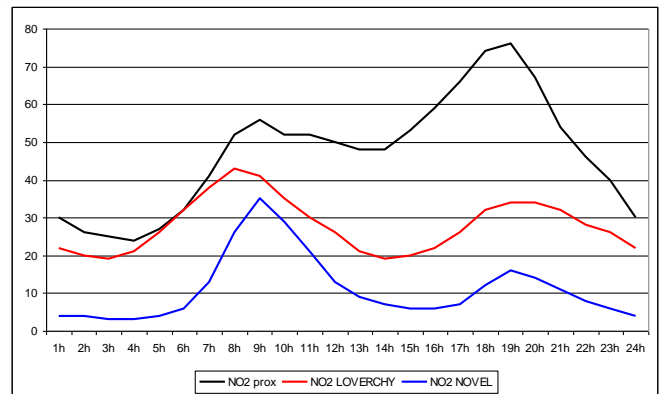
Sur la graphique 1, les concentrations relevées à proximité du trafic ont un niveau moyen plus élevé que sur les 2 autres stations de l'agglomération avec une saisonnalité marquée : les mois les plus froids apportent les concentrations les plus élevées. Les concentrations les plus élevées sont comme attendu celles de l'analyseur le plus proche de la voirie. Les concentrations des stations de Loverchy et de Novel sans être identiques sont du même ordre de grandeur. Les concentrations maximales journalières en proximité du trafic atteignent régulièrement le double de la concentration mesurée sur les 2 autres stations que ce soit en hiver ou en été.

Le rapport  $[\text{NO}] / [\text{NO}_2]$  est également un indicateur de proximité de la source de pollution pour le trafic. Plus ce rapport est inférieur à 1, plus le site est soumis à une pollution secondaire. Pour Loverchy ce rapport vaut 0.68 ; pour Novel il vaut 0.45. Ce ration est de 1.43 pour l'analyseur en proximité routière ce qui confirme à la fois sa forte exposition aux polluants primaires et confirme qu'il n'est pas ou peu soumis à une source extérieure de type industrielle.





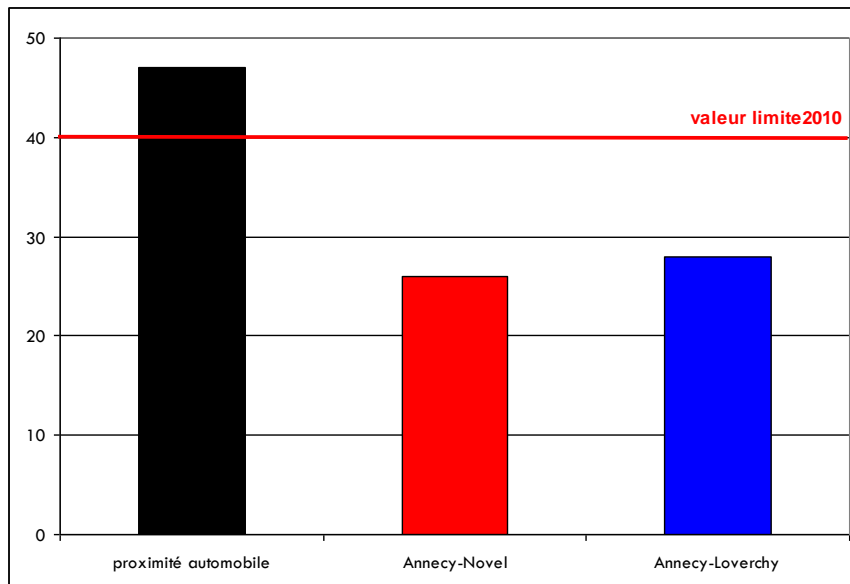
Graphique 2a - Profil hebdomadaire en proximité automobile à Annecy pour le dioxyde d'azote (en  $\mu\text{g.m}^{-3}$ ).



Graphique 2b - Profil journalier en proximité automobile à Annecy pour le dioxyde d'azote (en  $\mu\text{g.m}^{-3}$ ).

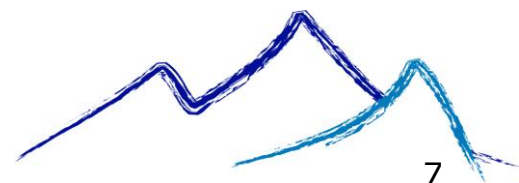
Le profil hebdomadaire pour le dioxyde d'azote (graphique 2a) montre des niveaux relativement faibles à Novel et un peu plus élevés à Loverchy. Les niveaux de la station de proximité sont supérieurs d'environ 20  $\mu\text{g.m}^{-3}$  à la station de Loverchy. Les concentrations sont relativement stables les jours de semaine sur l'ensemble des stations pour le NO<sub>2</sub> et baissent ensuite sensiblement les samedis et dimanches où elles atteignent alors leurs minimums.

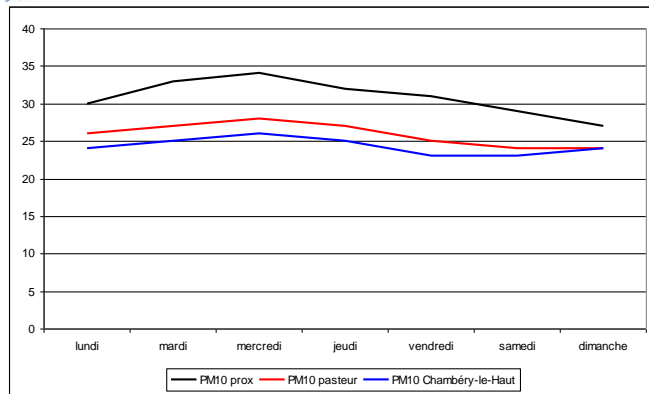
Le profil journalier du NO<sub>2</sub> (graphique 2b) est caractéristique de la signature du trafic automobile en zone urbanisée où l'on retrouve la trace des déplacements pendulaires avec un pic le matin vers 8h et un pic le soir vers 18h. Les concentrations les plus basses sont atteintes la nuit à Novel et sont alors équivalentes au niveau de fond.



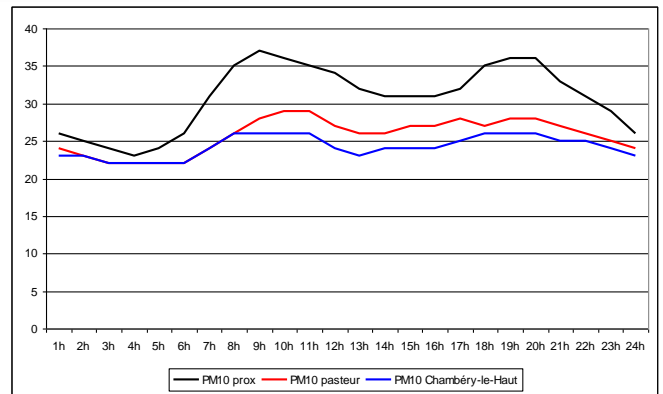
Graphique 3 - Moyenne annuelle du dioxyde d'azote (en  $\mu\text{g.m}^{-3}$ ).

En moyenne annuelle, pour le dioxyde d'azote, la valeur limite n'est pas respectée pour la station de proximité automobile contrairement aux stations de Novel et de Loverchy.



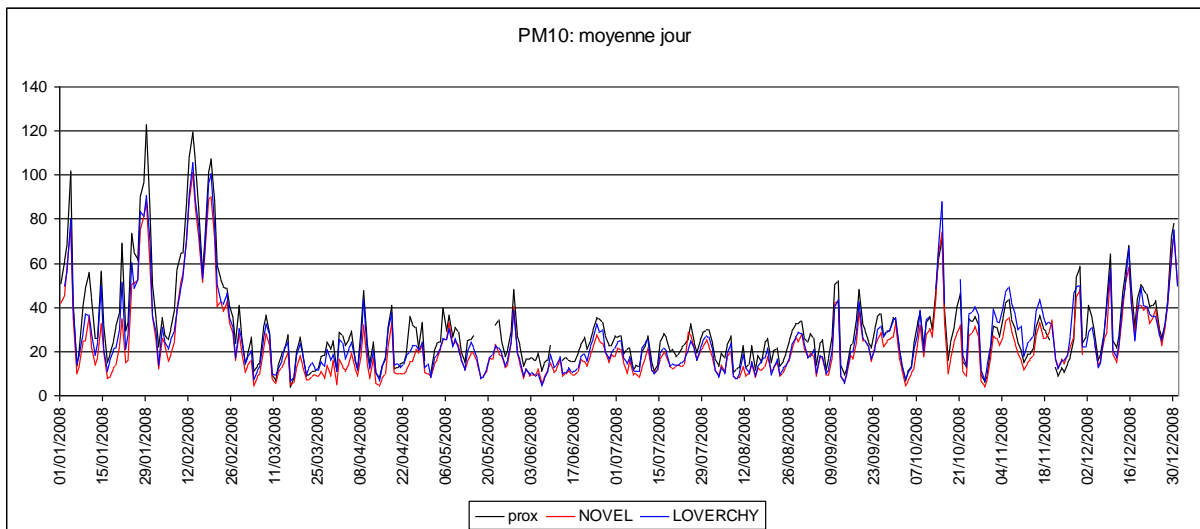


Graphique 4a - Profil hebdomadaire en proximité automobile à Annecy pour les particules en suspension (PM10) (en  $\mu\text{g.m}^{-3}$ ).



Graphique 4b - Profil journalier en proximité automobile à Annecy pour les particules en suspension (PM10) (en  $\mu\text{g.m}^{-3}$ ).

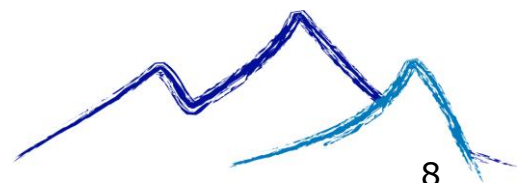
Les graphiques 4a et 4b montrent les profils hebdomadaires et journaliers des concentrations en particules fines à Annecy. Sur ces profils, les concentrations de Loverchy et Novel sont très semblables. Les profils de la station trafic suivent la même tendance mais avec des concentrations supérieures de 5 à 10  $\mu\text{g.m}^{-3}$  en journalier ou en hebdomadaire. Les concentrations sont légèrement plus élevées en semaine que le week-end et sur le profil journalier, les pointes habituelles liées au trafic (8h et 18h) sont présentes sur toutes les stations mais sont plus marquées sur la station de proximité.



Graphique 5 - Concentrations moyennes journalières relevées à Annecy pour les particules en suspension (PM10) (en  $\mu\text{g.m}^{-3}$ ).

Les niveaux observés en particules en suspension (PM10) sur Annecy sont plus marquées pendant les saisons froides que pendant l'été, comme attendu. Les concentrations relevées en proximité routière sont un peu plus élevées que sur les 2 autres stations (6 à 8  $\mu\text{g.m}^{-3}$  en moyenne) mais suivent la même tendance en moyenne journalière (graphique 5).

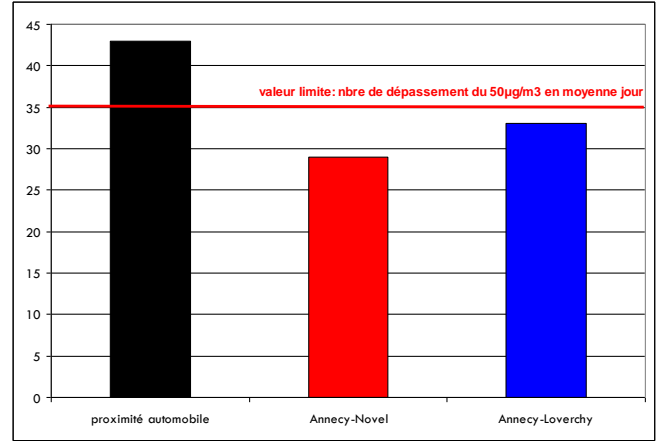
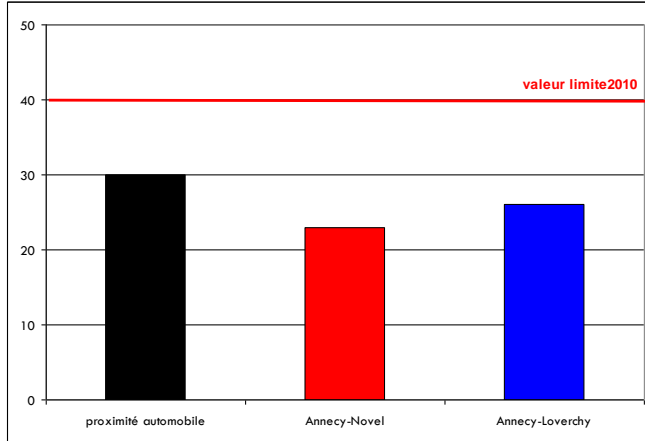
Les émissions de particules en suspension retrouvées dans l'air d'Annecy sont liées à environ 27% au trafic routier. Ce trafic ne permet donc pas d'expliquer à lui seul les pics de pollution et les niveaux de fond en particules qui sont également liés aux émissions du secteur résidentiel/tertiaire, à l'industrie et







à des conditions météorologiques qui peuvent être défavorables en bloquant la dispersion.



Graphique 6a -Moyenne annuelle des particules en suspension PM10 (en µg.m<sup>-3</sup>).

Graphique 6b – Nombre de dépassements du 50 µg.m<sup>-3</sup> en moyenne journalière pour les PM10.

En moyenne annuelle, la station de proximité automobile est 4 à 7 µg.m<sup>-3</sup> au dessus des concentrations des stations urbaines mais l'ensemble des stations respecte la réglementation sur la moyenne annuelle (graphique 6a). Par contre la valeur limite n'est pas respectée en proximité trafic puisque le nombre de dépassement du 50 µg.m<sup>-3</sup> autorisé n'est pas respecté (graphique 6b).

### 1.5 Mise en relation avec les sites fixes

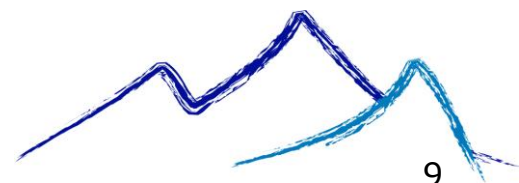
La mise en relation des concentrations enregistrées sur la cabine de mesures en proximité avec les autres stations de l'agglomération montre que le coefficient de corrélation R est bien meilleur pour les particules en suspension que pour le dioxyde d'azote (tableau 1). Ce résultat démontre une nouvelle fois le caractère de proximité du dioxyde d'azote qui va se « diluer » rapidement lorsque l'on s'éloigne de la source (la voirie) contrairement aux particules en suspension qui vont toucher l'agglomération dans son ensemble.

Coefficient de corrélation R	Station de mesures en proximité routière
NO <sub>2</sub> Loverchy	0.62
NO <sub>2</sub> Novel	0.73
PM10 Loverchy	0.9
PM10 Novel	0.92

Tableau 1 - Coefficient de corrélation R entre le site de proximité automobile et les stations de Loverchy et Novel.

Les 10 concentrations les plus importantes enregistrées en NO<sub>2</sub> sur la station de proximité ne concordent pas avec les 10 plus fortes concentrations enregistrées sur les autres stations de l'agglomération : aucune ne correspond avec la station de Loverchy et 3 avec la station de Novel. De la même façon aucune des 10 plus fortes concentrations enregistrée à Loverchy ne concorde avec l'un des 10 plus forts pics en proximité.

Une tendance totalement différente est observée pour les PM10 : les 10 plus fortes moyennes journalières enregistrées sur la station de proximité concordent





avec les 9 plus fortes moyennes journalières de Novel et les 9 plus fortes moyennes à Loverchy. Lors de ces pics, les niveaux de concentrations enregistrés sur la cabine sont par contre à chaque fois supérieurs à ceux des niveaux des 2 autres analyseurs du réseau fixe d'environ 20%.

Il est nécessaire d'avoir sur l'agglomération annécienne une station spécifique pour suivre le dioxyde d'azote en proximité routière et une instrumentation pour les poussières en suspension si l'on souhaite connaître les concentrations.

### 1.6 Situation en regard des normes en vigueur

	Norme	Pas de temps	Valeur en $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Respect de la norme
<b>Dioxyde d'azote</b>	Objectif qualité	Moyenne annuelle	44	NON (47 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ )
	Valeur limite en 2008			
		Moyenne horaire	220 (18 dépassements autorisés)	OUI (2 dépassement)
	Objectif qualité	Moyenne annuelle	40	NON (47 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ )
Valeur limite en 2010				
	Moyenne horaire	200 (18 dépassements autorisés)	OUI (4 dépassement)	
<b>PM 10</b>	Objectif de qualité	Moyenne annuelle	30	NON (30 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ )
	Valeur limite	Moyenne journalière	50 (35 dépassements autorisés)	NON (43 dépassements)
		Moyenne annuelle	40	OUI (30 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ )

Tableau 2 - Respect de la réglementation des gaz de la qualité de l'air concernant la santé humaine dans l'air ambiant sur la station de mesures en proximité routière à Annecy.

En confrontant les mesures à la réglementation (tableau 2) on s'aperçoit pour les particules en suspension PM10 que l'objectif de qualité et la valeur limite ne sont pas respectés.

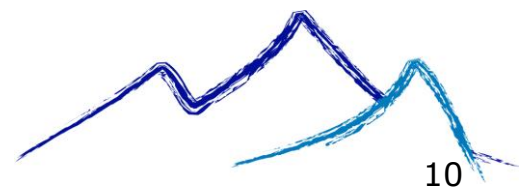
Pour le dioxyde d'azote, le constat est identique : des dépassements de l'objectif de qualité et de la valeur limite (2008 et 2010) ont été enregistrés.

Cette situation de non respect de la réglementation est comparable à celle d'autres agglomérations de la région comme Chambéry ou Grenoble par exemple.

Il est à noter que les normes en vigueur se sont considérablement durcies depuis 2002 et que chaque année les seuils ont diminués pour atteindre les planchers prévus pour l'année 2010.

### 1.7 Conclusion sur les mesures

Afin de faire le suivi le plus efficace des concentrations année après année et de spatialiser les mesures afin qu'une information





soit disponible sur un maximum de rues, un outil permettant de faire le constat sur une partie importante du centre-ville et également un outil d'aide à la décision a été développé. Il est basé sur des techniques de modélisation numérique de la physico-chimie de l'atmosphère. Cet outil qui a déjà été utilisé en 2003 a donc été réactualisé avec les données 2008 afin d'offrir à la population et aux décideurs la vision la plus juste d'un territoire qui aujourd'hui ne respecte pas les normes en matière de qualité de l'air.

## 2. Des concentrations suivies par de la modélisation

### 2.1 Qu'est-ce qu'une modélisation ?

La pollution atmosphérique est un phénomène complexe résultant essentiellement :

- des émissions des polluants par les différentes sources (naturelles et humaines),
- des transformations chimiques (recombinaisons d'espèces chimiques, dégradation...),
- 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),
- du dépôt des espèces chimiques sur les milieux (dépôts humides comme les pluies acides ou dépôts sec comme le dépôt noir sur les façades des bâtiments).

Habituellement, la mesure d'un polluant se fait par l'intermédiaire d'un appareil de mesures, qui détecte et enregistre les concentrations d'un polluant donné dans l'air. La qualité de l'air est donc connue avec précision mais seulement sur la zone où se trouve le capteur.

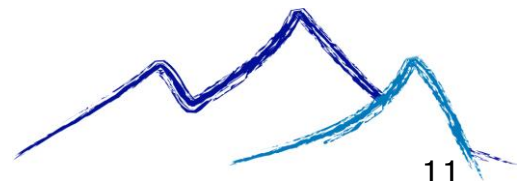
Une approche complémentaire consiste à décrire sous formes d'équations mathématiques l'ensemble des phénomènes physico-chimiques se déroulant dans l'atmosphère: les millions de calculs nécessaires à la résolution des équations sont alors gérés et effectués par un système informatique.

Cette démarche de modélisation numérique permet à tout instant et en tout lieu d'un territoire d'estimer les concentrations. Ainsi, les concentrations dans une ville peuvent être représentées sous forme cartographique.

### 2.2 Description du modèle

Le modèle numérique utilisé pour appréhender la dispersion et la transformation des polluants à l'échelle de la rue est le modèle SIRANE. Ce modèle a été développé par l'école centrale de Lyon et est toujours activement entretenu et développé. Il permet 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),
- échanges 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),





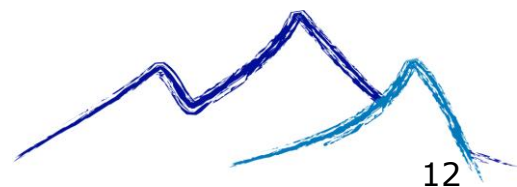
- modélisation de transformations chimiques simple,
- prise en compte de la vitesse de déposition des particules,
- modélisation du dépôt humide.

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

- la morphologie des bâtiments : il s'agit du cadastre de la ville "en 3D", représentant les rues et les bâtiments par leur longueur, largeur et hauteur,
- les données d'émissions : cela concerne les émissions liées au trafic automobile et aux sources industrielles,
- les données météorologiques : classiquement il s'agit des températures, de la direction et de la vitesse du vent, de la pluviométrie et de l'ensoleillement,
- les 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 d'autres types d'émetteurs non pris en compte,
- les constantes physiques du quartier : il s'agit de données nécessaires aux différents calculs, généralement fixées empiriquement. 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).

La modélisation des émissions a été réalisée avec le logiciel COPERT (logiciel financé par l'agence européenne de l'environnement). Il 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 composition du parc roulant. Il permet ainsi de connaître les émissions de nombreux polluants sur une voie ou un réseau routier à partir de comptages routiers.

Cette chaîne de calculs est présentée sur la figure 1. Elle permet en tout point du domaine et à tout instant d'évaluer les concentrations des principaux polluants de la qualité de l'air. La restitution peut alors être une cartographie à l'instant  $t$  des concentrations ou une courbe décrivant l'évolution temporelle en un point.



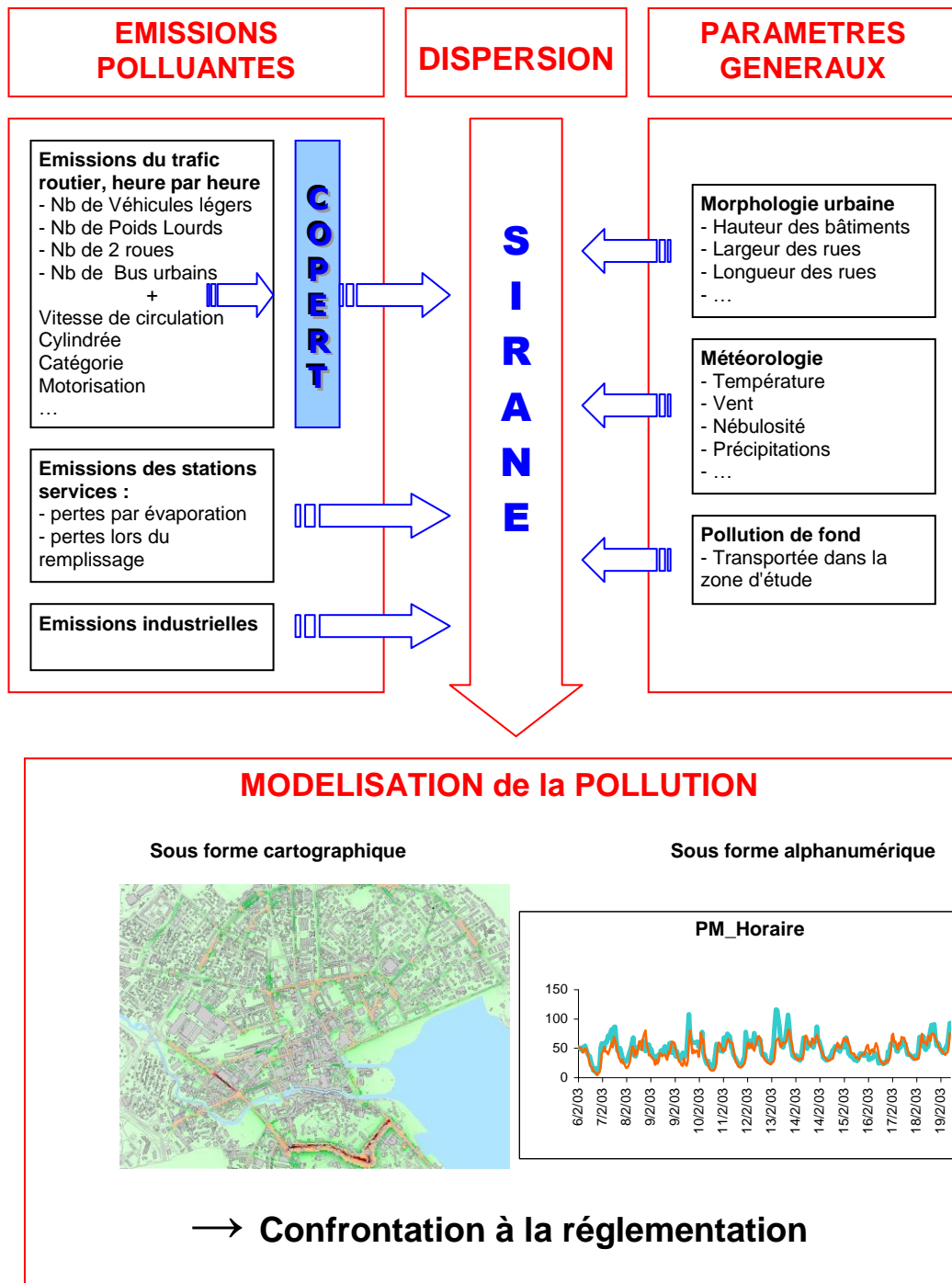
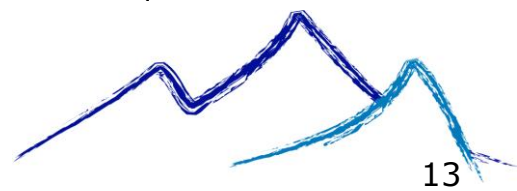


Figure 1 - Chaîne de calculs mise en œuvre pour la modélisation de la qualité de l'air à l'échelle de la rue sur Annecy.

### 2.3 Périmètre de la zone d'étude

Deux critères entre en ligne de compte pour définir la zone d'étude :

- SIRANE est un modèle particulièrement efficace pour la résolution des équations dans des rues « canyon » (faible largeur de voirie mais grande hauteur des

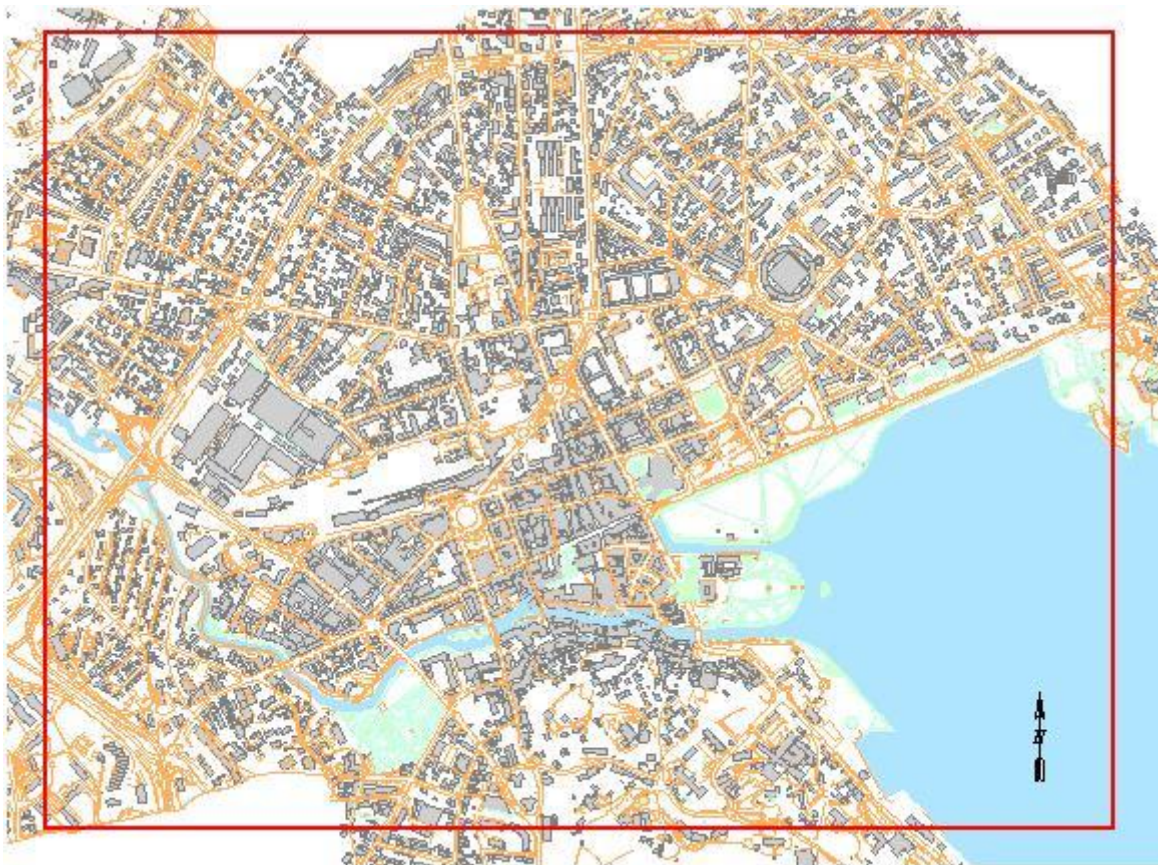




bâtiments), les résultats sont plus fiables que sur des rues dites « ouvertes » (peu de bâti autour de la voirie),

- le temps de calcul est également un facteur limitant, une simulation peut ainsi avoir une durée de plusieurs semaines (l'espace disque pour le stockage des résultats pourra alors atteindre plusieurs dizaines de giga-octets).

Le cœur de ville avec ses immeubles hauts, un trafic routier dense et une importante population potentiellement impactée a été choisi. Ce secteur de 5 km<sup>2</sup> est présenté sur la figure 2.



Eléments cadastre

- Bâtiments
- Hydrographie
- Allée piétonnes
- Voiries

Echelle

- 0 ——— 280 m

Sources

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

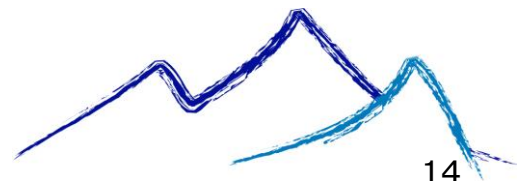
Caractéristiques

- 2,75 \* 2.05 Km
- 37276 habitants
- 77 Km de voiries
- 1168 tronçons de voie

Figure 2 - Périmètre de la simulation SIRANE sur Annecy.

## 2.4 Validation du modèle

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. La validation réalisée sur le périmètre SIRANE en 2003 est une première étape complétée par la confrontation mesure/modèle des stations de proximité et des 2 stations d'Annecy qui se trouvent dans le périmètre d'étude.





La représentation de la moyenne annuelle par le modèle est en bonne adéquation avec la mesure que ce soit pour l’ozone, le dioxyde d’azote ou les particules en suspension l’écart est compris entre 5 et 13%. Le modèle a une légère tendance à surestimé la station de fond urbain et à sous-estimer la station de proximité automobile (les tableaux 3 et 4). Ceci montre la capacité du modèle à reproduire les longues séries temporelle et montre également qu’il n’existe pas de biais systématique importants. Le coefficient de corrélation calculé sur les maxima journaliers pour le NO<sub>2</sub> et l’O<sub>3</sub> donne de bons résultats et plus particulièrement pour l’ozone. Il permet d’appréhender la façon donc le modèle va se comporter face aux pics de pollution.

Ce même coefficient calculé sur la moyenne journalière des particules (la réglementation est journalière au plus petit pas de temps) donne de très bons résultats sur les 3 sites ce qui confirme la nécessité d’un forçage aux frontières dans le même bassin d’air que le périmètre de l’étude.

La moyenne annuelle	Mesures NO <sub>2</sub>	Modèle NO <sub>2</sub>	Mesures PM10	Modèle PM10	Mesures O <sub>3</sub>	Modèle O <sub>3</sub>
Annecy-Loverchy	27	28	26	23	37	42
Annecy-Novel	26	25	23	24	43	44
Proximité automobile	46	47	31	30	Pas de mesures	28

Tableau 3 - Comparaison mesures/modèles des moyennes annuelles dans le périmètre SIRANE (µg.m<sup>-3</sup>)

Coefficient de corrélation R	NO <sub>2</sub>	PM10	O <sub>3</sub>
Annecy-Loverchy	0.78	0.98	0.97
Annecy-Novel	0.99	0.99	0.99
Proximité automobile	0.64	0.97	x

Tableau 4 - Coefficient de corrélation R pour les maxima horaires journaliers en NO<sub>2</sub> et O<sub>3</sub> et en moyenne journalière pour les PM10.

La confrontation mesures/modèles présentée ici permet de conclure à la robustesse et à la validation de SIRANE sur le périmètre d’Annecy pour l’année 2008 avec une incertitude très raisonnable qui respecte les standards d’un exercice de modélisation (« normes » fixées par l’EPA, agence de protection de l’environnement américaine).

## 2.5 Résultats de SIRANE

### 2.5.1 Résultats de SIRANE pour le dioxyde d’azote

Les simulations réalisées avec SIRANE sur chaque heure de l’année permettent de restituer une cartographie de la moyenne annuelle et de visualiser les rues qui peuvent potentiellement ne pas respecter les normes 2010 de la qualité de l’air.

Cette valeur limite pour le NO<sub>2</sub> se retrouve sur la figure 3. Elle montre que quelques axes structurant ne respectent ni l’objectif de qualité, ni la valeur limite 2010. Les rues en dépassement sont souvent très circulantes avec un bâti dense de part et d’autre de la chaussée qui ne permet pas de disperser correctement les polluants émis par le trafic. Pour ne citer que les axes les plus exposés, on retrouve : le boulevard de la rocade, le boulevard de lycée, l’avenue du Rhône, l’Avenue du crêt de Maure et l’avenue de Trésum.

Ainsi, environ 1% du kilométrage total des voiries investiguées ne respecte pas la valeur limite (environ 1% de la surface totale).

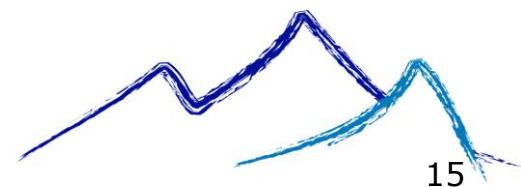




Figure 3 - Modélisation du dioxyde d'azote en moyenne annuelle pour l'année 2008 ( $\mu\text{g.m}^{-3}$ )

Le maximum horaire de l'année en dioxyde d'azote donne également une information sur l'exposition ponctuelle maximale de la population et la localisation des zones les plus impactées (figure 4). Lors d'un pic en  $\text{NO}_2$  sur le cœur de ville, peu de rues sont concernées : les dépassements sont le plus souvent liés à un trafic intense, des bouchons et avec des conditions météorologiques particulièrement défavorable à la qualité de l'air (masse d'air froide et stagnante). 3 dépassements du seuil réglementaire des  $200 \mu\text{g.m}^{-3}$  (niveau d'information et de recommandations des personnes sensibles) ont été enregistrés sur la station de proximité en 2008. La modélisation montre un risque de dépassement sur le boulevard de la rocade, l'Avenue du crêt de Maure et l'avenue de Trésum. Moins de 1% du kilométrage des voiries investiguées présente un dépassement du  $200 \mu\text{g.m}^{-3}$  en moyenne horaire d'après les résultats du modèle (ce qui représente également moins de 1% de la surface modélisée).





Figure 4 - Modélisation du dioxyde d'azote : maximum horaire modélisé pour l'année 2008 ( $\mu\text{g.m}^{-3}$ )

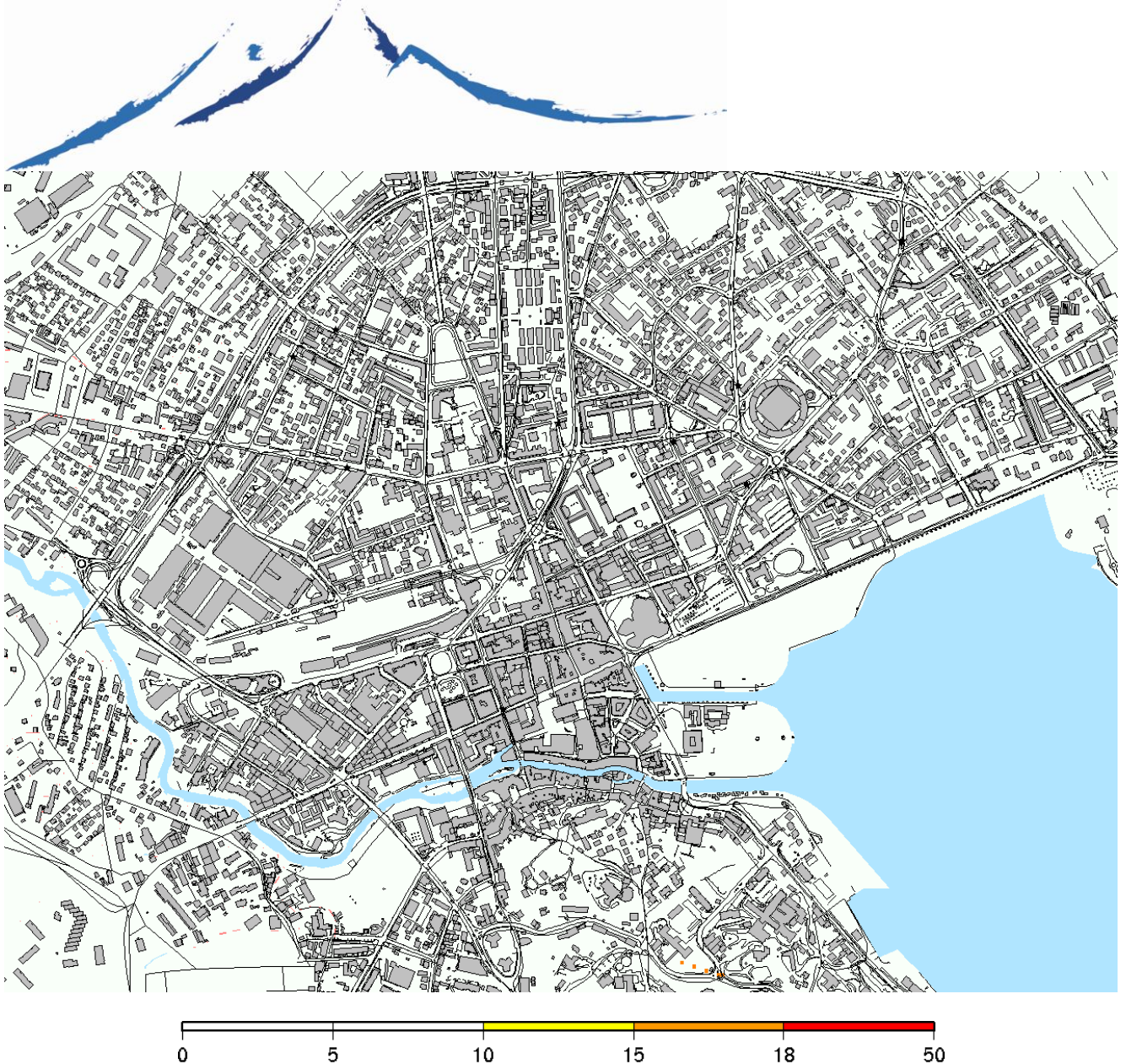


Figure 5 - Modélisation du dioxyde d'azote: nombre de dépassements du  $200 \mu\text{g.m}^{-3}$  pour l'année 2008.

Le nombre de dépassement du  $200 \mu\text{g.m}^{-3}$  en horaire est également un indicateur du respect de la valeur limite, il est représenté sur la figure 5. Sur cette figure aucune rue ne dépasse la valeur limite fixée à 18 dépassements.

Afin de mettre en évidence l'évolution des normes et l'évolution des concentrations mesurées, la figure 6 présente une comparaison entre SIRANE en 2003 et 2008 pour le dioxyde d'azote, en moyenne annuelle, en utilisant le code couleur « en vigueur » en 2002. La carte du bas de la figure 6 est bien la même que celle de la figure 3 mais avec une échelle différente. Ainsi, la figure 6 montre une amélioration des niveaux sur les rues du centre-ville depuis 2003. Cette amélioration est confirmée par le cadastre des émissions puisque les émissions de  $\text{NO}_x$  liées au trafic ont baissées de 14% entre 2003 et 2007 sur le territoire de l'agglomération d'Annecy (grâce au renouvellement du parc roulant avec normes EURO 3 et 4).



Figure 6 - Modélisation du dioxyde d'azote en moyenne annuelle pour l'année 2003 en haut et l'année 2008 en bas en utilisant l'échelle « réglementaire » de 2003 ( $\mu\text{g.m}^{-3}$ ).



### 2.5.2 Résultats de SIRANE pour les particules en suspension PM10

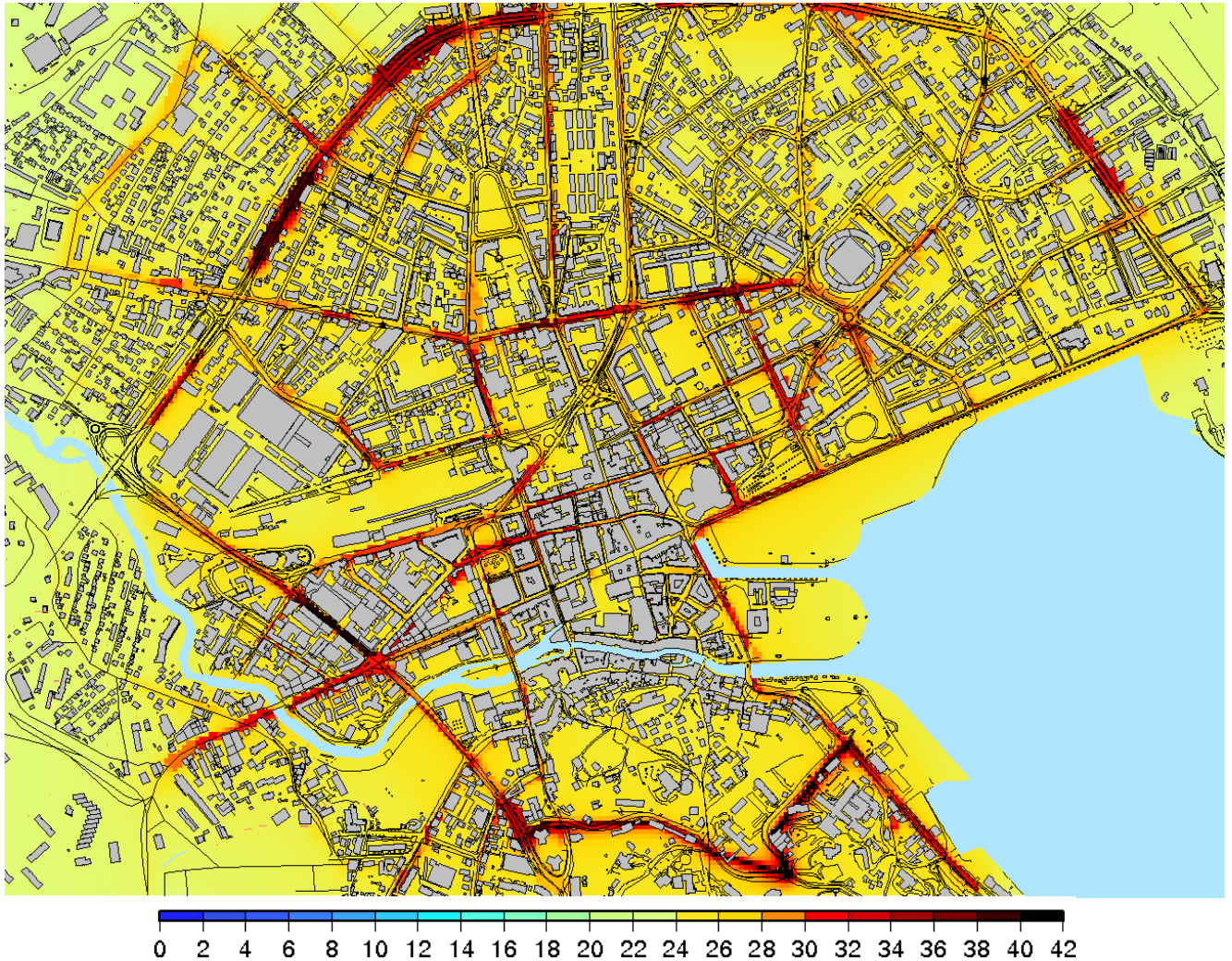
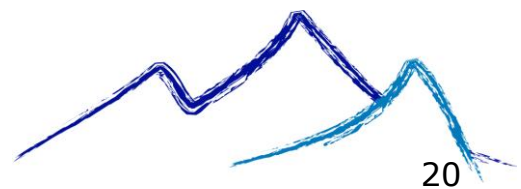


Figure 7 - Modélisation des particules en suspension PM10 en moyenne annuelle pour l'année 2008 ( $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ )

Comme pour le dioxyde d'azote, les moyennes annuelles en poussières en suspension sont les plus élevées le long des axes structurants (figure 7). Les dépassements de la valeur limite pour la moyenne annuelle sont par contre plus nombreux que dans le cas du  $\text{NO}_2$  : environ 9% du kilométrage total des voiries investiguées ne respecte pas la valeur limite (environ 2% de la surface totale). Les rues principalement impactées sont le boulevard de la rocade, le boulevard du lycée, l'avenue du Pont Neuf, l'avenue du Rhône, l'avenue du crêt de Maure, l'Avenue de Trésum, la rue des Marquisat, l'avenue d'Albigny et l'Avenue de France.

Il est à noter que le niveau de fond est relativement élevé et uniforme sur l'agglomération et le cœur de ville.



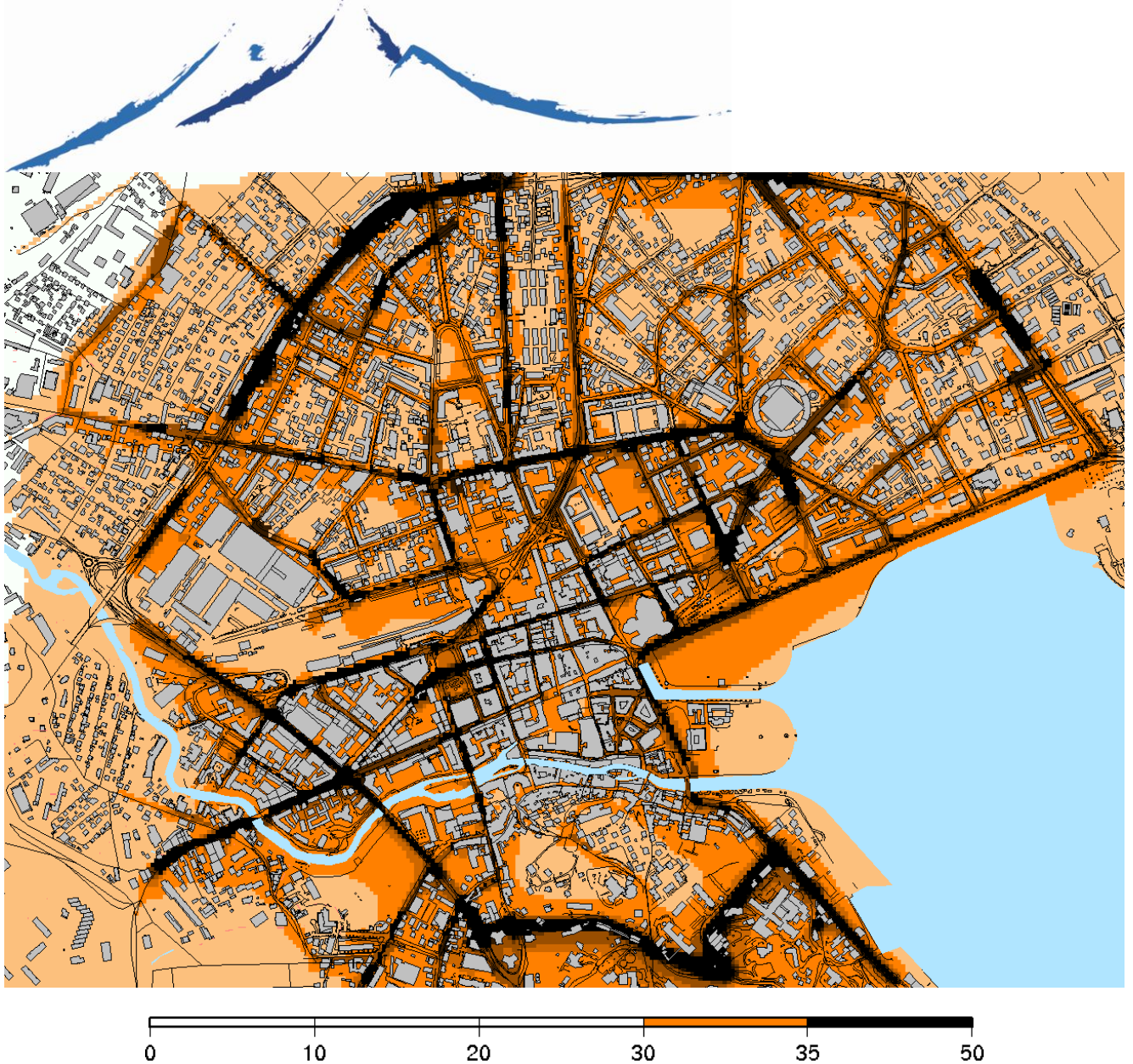


Figure 8 - Modélisation des poussières en suspension (PM10): nombre de journées de dépassements du  $50 \mu\text{g.m}^{-3}$  pour l'année 2008.

Le nombre de jours de dépassement du  $50 \mu\text{g.m}^{-3}$  est aussi un indicateur du respect de la valeur limite. La figure 8 montre qu'une majorité des axes est au dessus de 35 jours de dépassements et qu'environ 5% de la surface modélisée ne respecte pas cette valeur limite. Les journées provoquant ces dépassements sont essentiellement des journées hivernales et anticycloniques : la mauvaise dispersion des polluants liée aux émissions du trafic, du chauffage et de l'industrie fait rapidement et durablement augmenter les niveaux en PM10. Il est en effet tenu compte dans les simulations présentées des niveaux de fond et donc des pollutions hors trafic qui sont présentes sur Annecy.

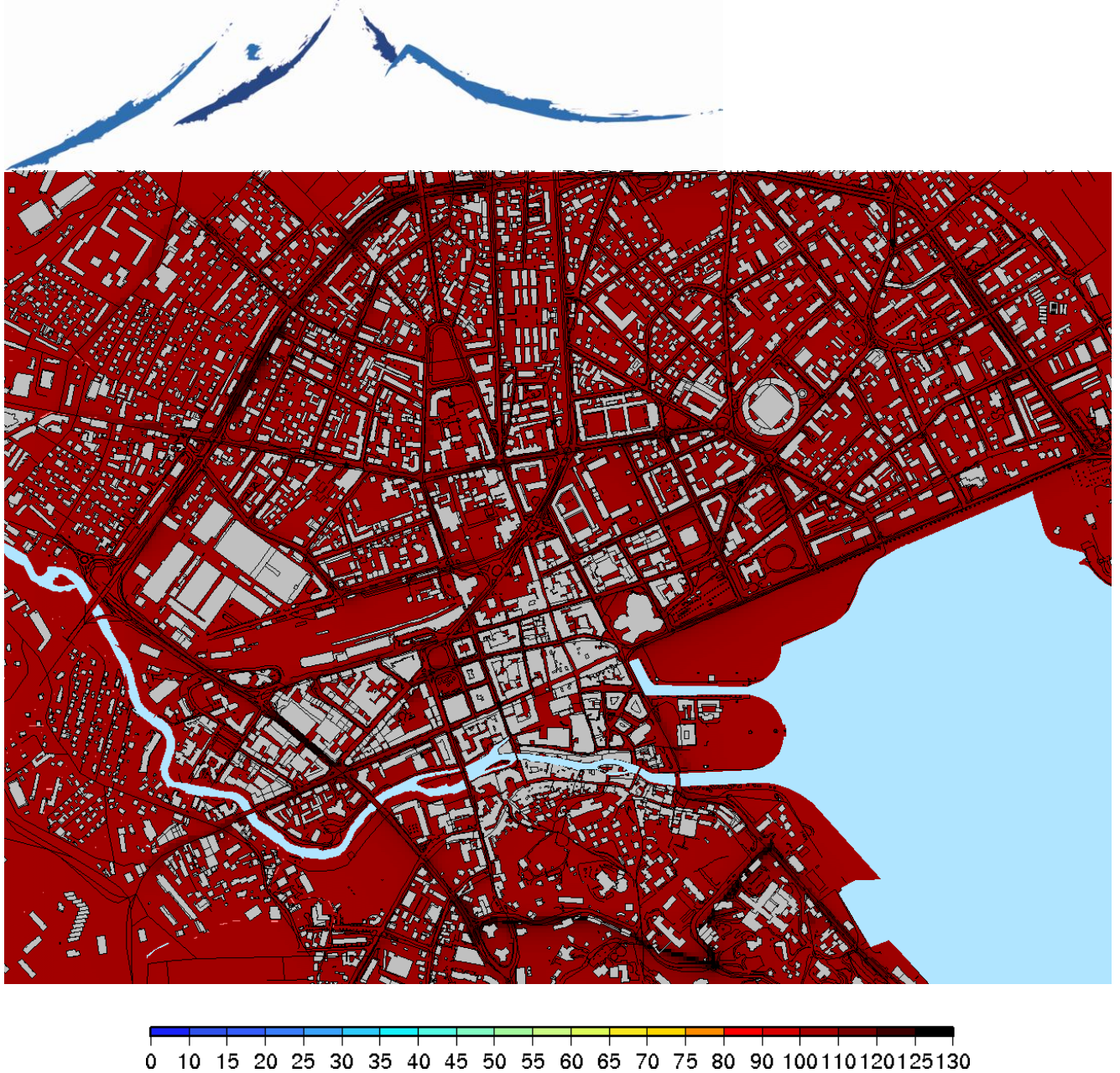


Figure 9 - Modélisation des poussières en suspension (PM10): situation du 13 février 2008 (journée du maximum relevé par les stations fixes pour l'année 2008) en  $\mu\text{g.m}^{-3}$

Lors d'un important épisode de pollution aux particules en suspension comme cela a été le cas le 13 février 2008, non seulement l'ensemble de l'agglomération est touchée (figure 9) et dépasse le niveau d'information et de recommandations des personnes sensibles mais aussi de nombreuses autres agglomérations et bassins d'air de la région. Moins de 1% du territoire couvert par SIRANE montre un dépassement du niveau d'alerte fixé (en 2008) à  $125 \mu\text{g.m}^{-3}$  lors de cette journée exceptionnelle.



Figure 10 - Modélisation des particules en suspension en moyenne annuelle pour l'année 2003 en haut et l'année 2008 en bas en utilisant l'échelle « réglementaire » de 2003 ( $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ ).

Pour mettre une nouvelle fois en évidence l'évolution des normes et l'évolution des concentrations mesurées, la figure 10 présente une comparaison entre SIRANE en 2003 et 2008 pour les PM10 et en utilisant le code couleur « en vigueur » en 2003. La carte du bas de la figure 10 est bien la même que celle de la figure 7 mais avec une échelle différente. La figure 10 montre une augmentation des concentrations depuis 2003 : certaines rues du centre-ville semblent plus touchées en 2008 qu'en 2003 et le niveau de fond est un peu plus élevé. Cette situation s'explique par le fait que les particules en suspension ne sont pas émises majoritairement par le trafic et que les conditions météorologiques peuvent conduire à des épisodes pollués pour une même émission.



En ce qui concerne le trafic, les émissions de poussières ont baissées d'environ 10% entre 2003 et 2007 sur l'agglomération annécienne grâce au renouvellement du parc roulant avec la norme EURO 3 et 4.

### 2.5.3 Résultats de SIRANE pour l'ozone

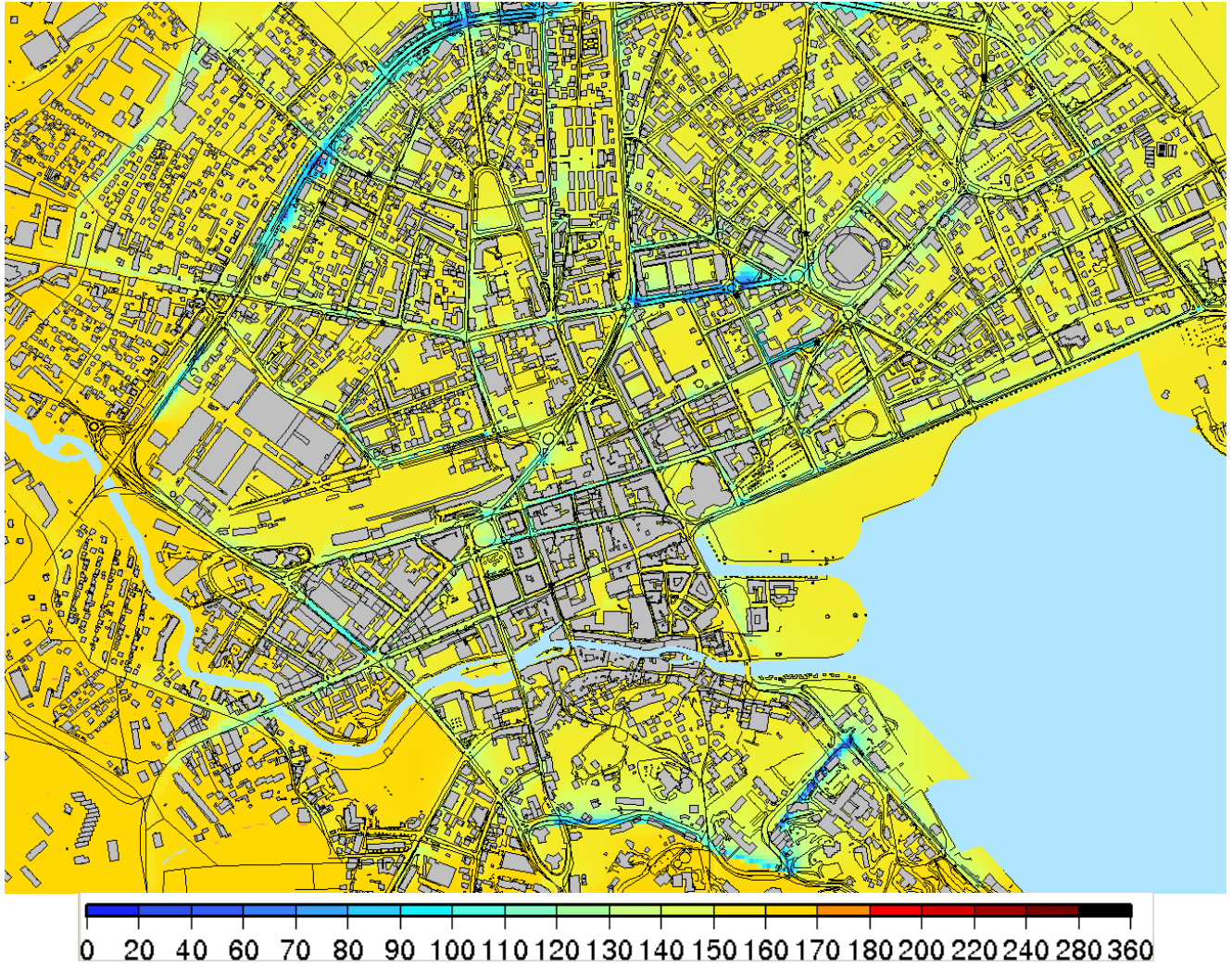
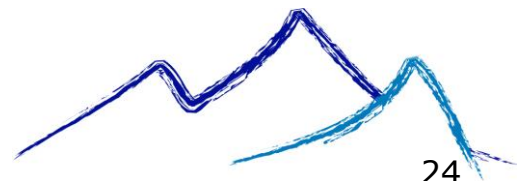


Figure 11 - Modélisation du maximum horaire d'ozone pour l'année 2008 ( $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ )

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 l'ozone, des réactions chimiques complexes sont en jeu et les concentrations importantes sont enregistrées à une certaine distance des lieux d'émissions, en périphérie d'un centre ville par exemple. Les émissions du trafic vont en quelque sorte protéger le centre-ville de ce polluant que l'on va retrouver plus facilement en périphérie. Les artères roulantes montrent même les concentrations les plus faibles avec des concentrations de 90 à 120  $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$  lors de la journée où le maxima d'ozone a été enregistré (150  $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$  à Novel le 2 juillet 2008). Aucun dépassement du niveau d'information et de recommandations des personnes sensibles n'a été constaté sur les stations d'Annecy en 2008.







## Conclusions

L'Air de l'Ain et des Pays de Savoie a réalisé le suivi durant une année des concentrations en polluants primaires en bordure de voirie à l'aide d'une cabine spécifique implantée boulevard du lycée.

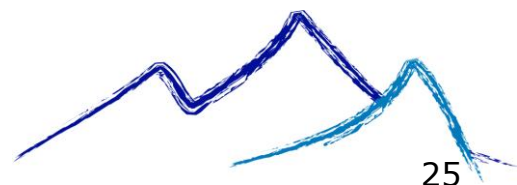
Les concentrations relevées en  $\text{NO}_2$  à proximité du trafic sont comme attendu beaucoup plus importantes que sur les stations des zones résidentielles de Loverchy et de Novel : elles atteignent régulièrement le double de la concentration maximale journalière mesurée sur les 2 autres stations que ce soit en hiver ou en été.

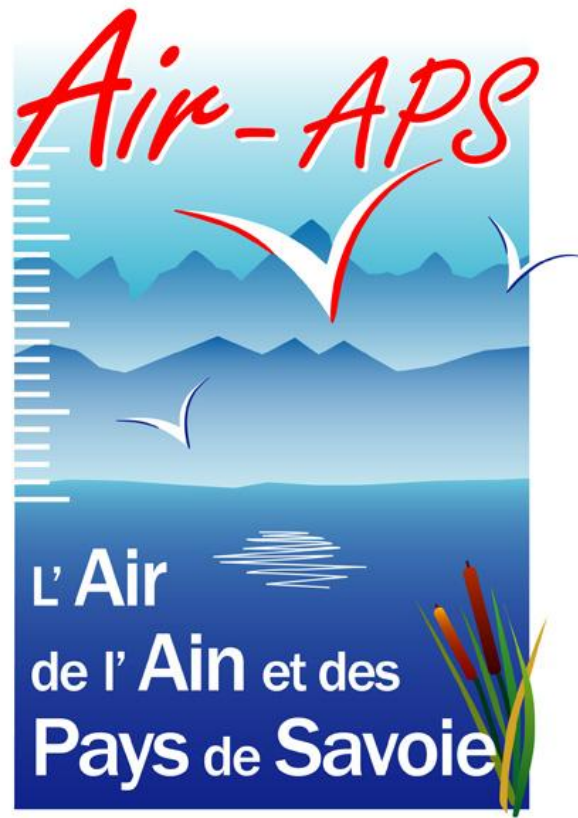
Les pics de pollutions au dioxyde d'azote sont plutôt rares dans le centre ville et sont localisés sur les axes les plus roulants qui peuvent ainsi être amenés à dépasser la valeur limite réglementaire 2010.

Pour les particules en suspension ( $\text{PM}_{10}$ ), la moyenne annuelle respecte globalement la réglementation mais 9% des rues dépassent la valeur limite. Les concentrations journalières sont aussi globalement respectées puisque 5% de la surface modélisée dépasse la valeur limite fixée à 35 journées de dépassement du  $50 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ . En moyenne, les concentrations en  $\text{PM}_{10}$  relevées en proximité routière sont un peu plus élevées que sur les 2 autres stations (20%) mais suivent la même tendance journalière démontrant que le trafic n'est pas la source majoritaire des particules à l'échelle de l'agglomération ce qui est confirmé par l'inventaire des émissions (la part des émissions de  $\text{PM}_{10}$  liée au transport routier est estimée à 30% sur l'agglomération d'Annecy). Lors d'un épisode de pollution, lorsque le niveau d'information et de recommandations des personnes sensibles est atteint, l'ensemble du cœur de ville, de l'agglomération et même de la région est le plus souvent touché à cause de conditions météorologiques particulièrement défavorables à la qualité de l'air (longue période anticyclonique froide avec une masse d'air très stable et de fréquentes inversions thermiques bloquant la dispersion).

Les pics de pollution à l'ozone, de part leur chimie complexe, sont plus souvent présents en périphérie des centres-villes que dans ces espaces où le trafic important empêche le développement de ce polluant secondaire. Ainsi les concentrations les plus élevées vont se retrouver en zone périurbaine sans pour autant que les concentrations soient considérées comme faibles au niveau des rues circulantes.

En dépit des dépassements constatés, une amélioration de la situation est à noter depuis la première modélisation SIRANE de 2003. En effet, le volume des émissions en polluants primaires est à la baisse : les émissions de  $\text{NO}_x$  du trafic ont baissées de 12% entre 2003 et 2007 sur l'agglomération d'Annecy et les émissions de poussières de 10% sur la même période. Cette amélioration des émissions n'a pas été aussi rapide que l'évolution de la norme. A titre d'exemple, la valeur limite en moyenne annuelle pour le dioxyde d'azote était de  $54 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$  en 2003, elle est de  $40 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$  pour l'année 2010. De plus, d'une année à l'autre, à émission constante, les conditions météorologiques peuvent plus ou moins disperser les polluants et donc influencer les concentrations relevées.





### L'Air de l'Ain et des Pays de Savoie

Savoie Technolac - BP 339  
73377 LE BOURGET DU LAC Cedex

Tél. 04.79.69.05.43. - Fax. 04.79.62.64.59.

e-mail: [air-aps@atmo-rhonealpes.org](mailto:air-aps@atmo-rhonealpes.org)

Membre de



# Rhône-Alpes Région

