



# Amélioration de la cartographie des particules PM10 dans la vallée du Gier (Loire)



**MESURES REALISEES EN 2012/2013**

[www.air-rhonealpes.fr](http://www.air-rhonealpes.fr)



**Diffusion : Juillet 2014**

Siège social : 3 allée des Sorbiers – 69500 BRON

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

[contact@air-rhonealpes.fr](mailto:contact@air-rhonealpes.fr)





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

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

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

A ce titre, les rapports d'études sont librement disponibles sur le site [www.air-rhonealpes.fr](http://www.air-rhonealpes.fr)

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

Toute utilisation partielle ou totale de ce document (extrait de texte, graphiques, tableaux, ...) doit faire référence à l'observatoire dans les termes suivants : © **Air Rhône-Alpes 2012/2013 – Amélioration de la cartographie des particules PM10 dans la vallée du Gier.**

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

Par ailleurs, Air Rhône-Alpes n'est en aucune façon responsable des interprétations et travaux intellectuels, publications diverses résultant de ses travaux et pour lesquels aucun accord préalable n'aurait été donné.

En cas de remarques sur les informations ou leurs conditions d'utilisation, prenez contact avec Air-Rhône-Alpes :

- depuis le formulaire de contact sur le site [www.air-rhonealpes.fr](http://www.air-rhonealpes.fr)
- par mail : [contact@air-rhonealpes.fr](mailto:contact@air-rhonealpes.fr)
- par téléphone : 09 72 26 48 90

Un questionnaire de satisfaction est également disponible en ligne à l'adresse suivante <http://www.surveymonkey.com/s/ecrits> pour vous permettre de donner votre avis sur l'ensemble des informations mis à votre disposition par l'observatoire Air Rhône-Alpes.

Cette étude d'amélioration de connaissances a été rendue possible grâce à l'aide financière particulière de Saint-Etienne Métropole. Toutefois, elle n'aurait pas pu être exploitée sans les données générales de l'observatoire, financé par l'ensemble des membres d'Air Rhône-Alpes.

# Résumé



AIR Rhône-Alpes a effectué des campagnes de mesures, entre l'hiver 2012 et le printemps 2013, afin de mieux comprendre les nombreux dépassements du seuil en moyennes journalières pour les particules fines PM<sub>10</sub>, observés chaque année sur la station fixe de Rive-de-Gier, implantée à proximité de l'autoroute A47.

Le matériel installé a permis de suivre les niveaux de particules PM<sub>10</sub> sur le site fixe de Rive-de-Gier et de réaliser des mesures en parallèle sur 2 autres sites : un site trafic, également en bordure de l'A47 (Desjoyaux) et un site de fond périurbain (La Chapelle).

Les résultats des mesures ont confirmé la forte influence des émissions du trafic sur les dépassements observés sur le site de Rive-de-Gier. Ils ont même montré que les niveaux le long de l'autoroute peuvent parfois être plus élevés que ceux observés sur ce site.

Durant cette étude AIR Rhône-Alpes a également amélioré ses outils de modélisation avec la mise en place de la plateforme CARTOPROX, qui travaille à la fois à l'échelle de la rue en tenant compte de la complexité du milieu urbain (modèle SIRANE) et à plus grande échelle, pour prendre en compte les variations des phénomènes de chimie et de transport (modèle PREVALP).

De plus, la comparaison modèle/mesure des PM<sub>10</sub> en moyennes journalières sur la station fixe de Rive-de-Gier a pu être améliorée en utilisant les mesures obtenues sur le site de fond périurbain (La Chapelle) comme données d'entrées du modèle sur la vallée du Gier.

Au final, la plateforme CARTOPROX fournit les cartographies annuelles 2012 et 2013 pour les particules (PM<sub>10</sub> et PM<sub>2.5</sub>) et le dioxyde d'azote (NO<sub>2</sub>), avec des résultats comparables aux mesures des stations fixes et avec une réelle continuité territoriale, notamment au niveau des zones interurbaines.



# Sommaire

1. Introduction .....	5
2. Campagnes de mesures - Matériel et méthode.....	6
<b>2.1. Sites de mesures</b> .....	<b>6</b>
2.1.1. Matériel utilisé .....	6
2.1.2. Localisation des sites de mesures .....	6
2.1.3. Sites de mesures temporaires.....	7
2.1.4. Sites de mesures fixes .....	8
<b>2.2. Echantillonnage temporel</b> .....	<b>9</b>
2.2.1. Périodes de mesures .....	9
2.2.2. Représentativité de l'échantillonnage temporel.....	9
3. Campagnes de mesures - Résultats .....	10
<b>3.1. Particules fines en suspension (PM<sub>10</sub> et PM<sub>2.5</sub>)</b> .....	<b>10</b>
3.1.1. Sources d'émissions de particules sur le département de la Loire .....	10
3.1.1. Résultats de mesure pour les PM10.....	10
3.1.1. Résultats de mesure pour les PM2.5.....	14
<b>3.2. Autres polluants mesurés</b> .....	<b>15</b>
3.2.1. Les oxydes d'azote et l'ozone.....	15
3.2.2. Résultats de mesure pour le NO .....	15
3.2.1. Résultats de mesure pour le NO <sub>2</sub> .....	16
3.2.2. Résultats de mesure pour l'ozone.....	17
4. Amélioration des outils de modélisation .....	18
<b>4.1. Du modèle SIRANE ... à la plateforme CARTOPROX</b> .....	<b>18</b>
4.1.1. Principe de la plateforme de modélisation CARTOPROX .....	19
4.1.2. Principe de calcul des émissions .....	21
4.1.3. Validation du modèle et estimation de la pollution de fond .....	22
4.1.1. Principe de calcul d'exposition de la population à la pollution atmosphérique .....	23
<b>4.2. Cartographies d'exposition à la pollution atmosphérique</b> .....	<b>24</b>
4.2.1. Cartes d'exposition aux particules PM10 en moyenne annuelle .....	24
4.2.2. Cartes d'exposition aux particules PM10 en moyennes journalières .....	25
4.2.1. Cartes d'exposition aux particules PM2.5 en moyenne annuelle .....	27
4.2.1. Cartes d'exposition au dioxyde d'azote (NO <sub>2</sub> ) en moyenne annuelle.....	28
5. Conclusion.....	31

## 1. Introduction

Depuis 2007, la station de mesure d'AIR Rhône-Alpes implantée à Rive-de-Gier, située en proximité trafic, enregistre régulièrement des dépassements en moyennes journalières du seuil d'information et de recommandations pour les personnes sensibles pour les particules fines  $PM_{10}$  ( $> 50 \mu g.m^{-3}$ ). Chaque année, les niveaux en  $PM_{10}$  observés sur ce site sont plus importants que sur les autres sites du département de la Loire, avec souvent un nombre de jours de dépassements du seuil en moyenne journalière proche ou plus élevé que la valeur limite annuelle (fixée à 35 jours par an).

Cette station est située dans la vallée du Gier, entre Givors et Saint-Etienne, qui réunit plusieurs sources d'émissions : trafic, industriel, résidentiel. Plusieurs facteurs peuvent donc influencer sur les niveaux de particules fines observés sur ce site.

En premier lieu, la proximité de l'autoroute A47, qui relie Lyon à Saint-Etienne, avec un trafic moyen sur l'année de plus de 80000 véhicules/jour. Dans un second temps, la présence d'activités industrielles au nord-est de la commune qui, en fonction des vents, peut influencer sur la qualité de l'air respiré par la population. D'autre part, en période hivernale, le chauffage résidentiel, et notamment le chauffage au bois (si la combustion est incomplète), constitue une troisième source non négligeable, qui peut atteindre certains jours jusqu'à 70% des émissions totales de particules fines. Enfin, la situation géographique place Rive-de-Gier en plein cœur de la vallée du Gier, avec l'influence de vents d'est/ouest, susceptibles d'amener des masses d'air chargées en polluants en provenance de l'agglomération de Saint-Etienne ou de la vallée du Rhône.

La contribution des ces différentes sources est mal connue et rend la description de la vallée du Gier délicate. Des améliorations devaient être notamment apportées au modèle SIRANE qui est utilisé pour évaluer l'impact sur la qualité de l'air des actions menées dans la cadre du Plan de Protection de l'Atmosphère (PPA) et du Plan de Déplacements Urbains (PDU) de Saint-Etienne Métropole.

Pour AIR Rhône-Alpes, cette étude visait donc plusieurs objectifs :

- Améliorer les connaissances sur l'origine des dépassements du seuil journalier pour les particules fines observés sur la station fixe de Rive-de-Gier, en effectuant des campagnes de mesures complémentaires dans le secteur, à proximité de l'A47 et en fond de vallée.
- Améliorer les modèles de simulation numérique qui permettent de réaliser les cartographies annuelles de la qualité de l'air sur le territoire de de Saint-Etienne Métropole et notamment la modélisation des  $PM_{10}$  dans la vallée du Gier.

Ce rapport présente les résultats des campagnes de mesures réalisées en 2012 et 2013, ainsi que les améliorations apportées à la modélisation de la qualité de l'air dans la vallée du Gier.

## 2. Campagnes de mesures - Matériel et méthode

### 2.1. Sites de mesures

#### 2.1.1. Matériel utilisé

Dans le cadre de cette étude, Air Rhône-Alpes a mis en place :

- 1 préleveur PARTISOL de particules fines PM10 (prélèvements de 24h sur filtres), sur un site en proximité de l'A47 (« Desjoyaux »), sans autre source d'influence que le trafic.
- 1 préleveur PARTISOL sur le site fixe de Rive-de-Gier, pour comparer les résultats avec le site de « Desjoyaux » et avec l'analyseur qui mesure en continu les PM10 sur ce site.
- 1 remorque laboratoire mobile sur un site de fond en zone périurbaine (« La Chapelle »), équipée d'analyseurs fournissant des mesures en continu de plusieurs polluants (dont les PM10) comme sur le site fixe de Rive-de-Gier.

D'autres sites de mesures temporaires ont également été investigués pendant les mêmes campagnes de mesures, dans le cadre du PDU de Saint-Etienne. La présentation des sites de mesures et des résultats fait l'objet d'un autre rapport qui sera également publié sur le site internet d'AIR Rhône-Alpes<sup>1</sup>.

#### 2.1.2. Localisation des sites de mesures



<sup>1</sup> Rapport à paraître prochainement sur le site internet d'AIR Rhône-Alpes : « Evaluation de l'évolution de la qualité de l'air en 2012-2013 dans le cadre du PDU de Saint-Etienne »



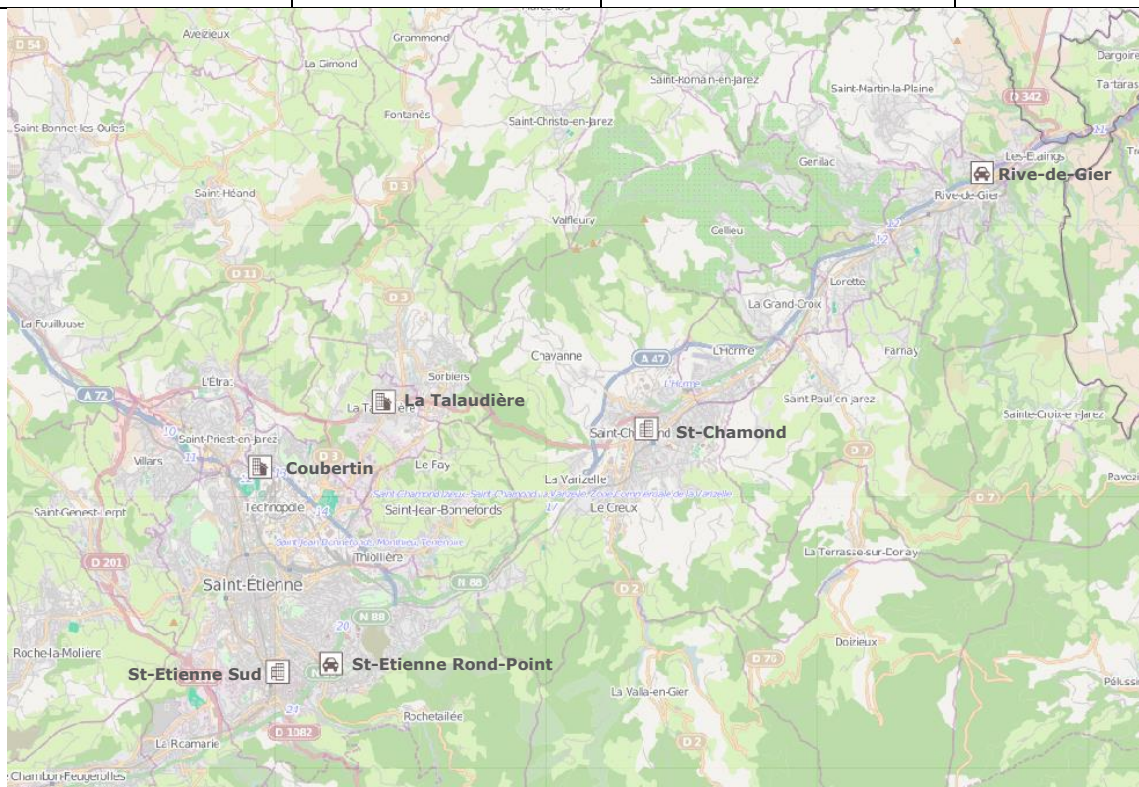
### 2.1.3. Sites de mesures temporaires

<p><b>Rive-de-Gier</b> Site Fixe + PARTISOL</p> <p><b>Typologie :</b> Trafic (bordure de l'A47)</p> <p><b>Adresse</b> Rue Michelet 42800 Rive-de-Gier</p>	<p><b>Mesures en continu</b> Oxydes d'azote (NO, NO<sub>2</sub>) Particules en suspension (PM10)</p> <p><b>+ PARTISOL</b></p> <p><b>Prélèvements sur filtres (24h)</b> Particules en suspension (PM10)</p>	  
<p><b>La Chapelle</b> Site temporaire (labo mobile)</p> <p><b>Typologie</b> périurbain</p> <p><b>Adresse</b> Avenue du Forez 42800 Rive-de-Gier</p>	<p><b>Mesures en continu</b> Oxydes d'azote (NO, NO<sub>2</sub>) Particules en suspension (PM10 et PM2.5) Ozone (O<sub>3</sub>)</p>	
<p><b>Desjoyaux</b> Site temporaire (PARTISOL)</p> <p><b>Typologie</b> Trafic (bordure de l'A47)</p> <p><b>Adresse</b> Impasse du Sardon 42800 Rive-de-Gier</p>	<p><b>PARTISOL</b></p> <p><b>Prélèvements sur filtres (24h)</b> Particules en suspension (PM10)</p>	

### 2.1.4. Sites de mesures fixes

Les mesures effectuées par le laboratoire mobile et les deux préleveurs PARTISOL sont comparées à celles des stations fixes du réseau d'Air Rhône-Alpes dont les statistiques sont connues pour l'ensemble d'une année et servent de référence. Cette comparaison, en fonction de la typologie et/ou de la situation géographique, permet d'évaluer au mieux les concentrations de polluants mesurées sur les sites d'étude.

Stations de mesures permanentes d'Air Rhône-Alpes utilisées dans le cadre de l'étude			
<p><b>Rive-de-Gier</b></p> <p>Typologie : Trafic (prox. A47)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li> Oxydes d'azote (NOx)</li> <li> Particules (PM10)</li> </ul>		<p><b>Saint-Chamond</b></p> <p>Typologie : Urbaine</p> <ul style="list-style-type: none"> <li> Oxydes d'azote (NOx)</li> <li> Ozone (O<sub>3</sub>)</li> <li> Particules (PM10 et PM2,5)</li> </ul>	
<p><b>Saint-Etienne Rond-Point</b></p> <p>Typologie : Trafic (prox. N88)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li> Oxydes d'azote (NOx)</li> <li> Particules (PM10 et PM2,5)</li> </ul>		<p><b>Coubertin</b></p> <p>Typologie : Périurbaine</p> <ul style="list-style-type: none"> <li> Oxydes d'azote (NOx)</li> <li> Ozone (O<sub>3</sub>)</li> <li> Particules (PM10)</li> </ul>	
<p><b>A7 Sud Lyonnais</b></p> <p>Typologie : Trafic (prox. A7)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li> Oxydes d'azote (NOx)</li> <li> Particules (PM10 et PM2,5)</li> </ul>		<p><b>La Talaudière</b></p> <p>Typologie : Périurbaine</p> <ul style="list-style-type: none"> <li> Oxydes d'azote (NOx)</li> <li> Ozone (O<sub>3</sub>)</li> <li> Particules (PM10)</li> </ul>	



LOCALISATION DES STATIONS DU RESEAU FIXE SUR LE TERRITOIRE DE SAINT-ETIENNE METROPOLE

Amélioration de la cartographie des particules PM10 dans la vallée du Gier



## 2.2. Echantillonnage temporel

### 2.2.1. Périodes de mesures

En raison de la forte variabilité de la qualité de l'air sur un territoire, mais aussi dans le temps, les mesures doivent être également réparties dans l'année avec un minimum de 8 semaines de mesures, soit 14% de l'année pour être considérées comme représentatives de la qualité de l'air sur une année complète (directive européenne 2008/50/CE du 21 mai 2008).

Dans le cadre de cette étude, la station mobile, équipées d'analyseurs, a effectué des mesures en continu sur 2 campagnes, durant 7 à 8 semaines chacune.

Les deux PARTISOL ont réalisé 28 prélèvements de 24h à chaque campagne. Ils ont été programmés pour effectuer des prélèvements en simultané sur les 2 sites de proximité trafic (« Rive-de-Gier » et « Desjoyaux »). En cas d'échec sur un prélèvement, un nouveau prélèvement était reprogrammé sur un autre jour avec, dans la mesure du possible, un prélèvement en simultané sur l'autre site.

Les campagnes avec le laboratoire mobile se sont déroulées sur les périodes suivantes :

Campagne	Saison	Début	Fin	Site	Nb de jours de mesures validés
1	Automne/Hiver	27/11/2012	17/01/2013	La chapelle	49
				Rive-de-Gier	50
2	Printemps/Eté	20/03/2013	14/05/2013	La chapelle	45
				Rive-de-Gier	52

Les campagnes avec les prélèvements se sont déroulées sur les périodes suivantes :

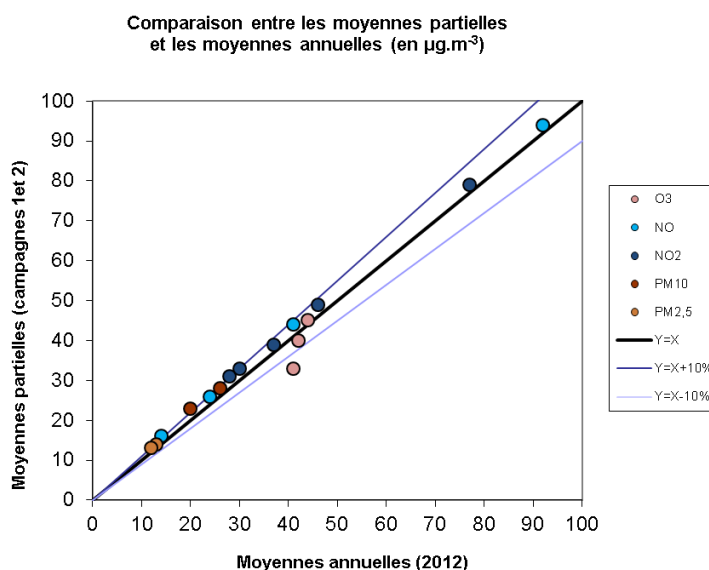
Campagne	Saison	Début	Fin	Site	Nb de jours de prélèvements validés	Nb de prélèvements simultanés
1	Automne/Hiver	27/11/2012	08/02/2013 *	Rive-de-Gier	36	25
				Desjoyaux	36	
2	Printemps/Eté	20/03/2013	14/05/2013	Rive-de-Gier	26	26
				Desjoyaux	32	

\* suite à des pannes survenues durant la 1<sup>ère</sup> campagne, 7 prélèvements ont été reprogrammés sur les 2 sites en simultané entre le 31/01/13 et le 08/02/13.

### 2.2.2. Représentativité de l'échantillonnage temporel

Les stations fixes du réseau permanent effectuent des mesures sur l'année complète. La représentativité de l'échantillonnage temporel peut donc être vérifiée en comparant les moyennes annuelles mesurées sur chaque site avec les moyennes « partielles » calculées sur ces mêmes données, mais sur les périodes des campagnes de mesures.

La figure suivante montre que l'échantillonnage réalisé pour cette étude est conforme aux exigences de représentativité (points proches de la courbe  $Y=X$ ). La comparaison sur l'année 2013 n'est pas présentée ici mais les résultats sont similaires



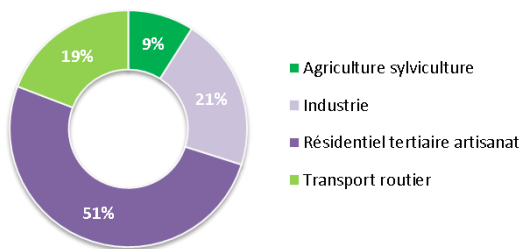
### 3. Campagnes de mesures - Résultats

#### 3.1. Particules fines en suspension (PM<sub>10</sub> et PM<sub>2.5</sub>)

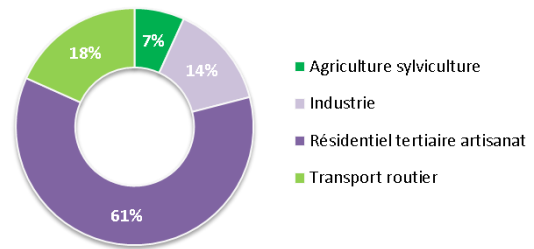
##### 3.1.1. Sources d'émissions de particules sur le département de la Loire

Les particules en suspension forment une famille très hétérogène désignée souvent par le terme générique de poussières. Elles sont d'origine naturelle (volcans, érosion) et anthropique (combustion industrielle, chauffage, incinération, véhicules diesel et essence, usure des pneus). La taille et la composition des particules sont très variables selon leur mode de formation et leur origine. Les PM<sub>10</sub> et les PM<sub>2.5</sub> désignent des particules de diamètre moyen inférieur respectivement à 10 microns et 2,5 microns. Avec 350 000 décès anticipés par an dans l'Union Européenne dus à leur présence dans l'air, la problématique des particules constitue un enjeu sanitaire important.

Répartition sectorielle des émissions de PM<sub>10</sub> dans la Loire  
cadastre 2012 (version 2013)



Répartition sectorielle des émissions de PM<sub>2.5</sub> dans la Loire  
cadastre 2012 (version 2013)

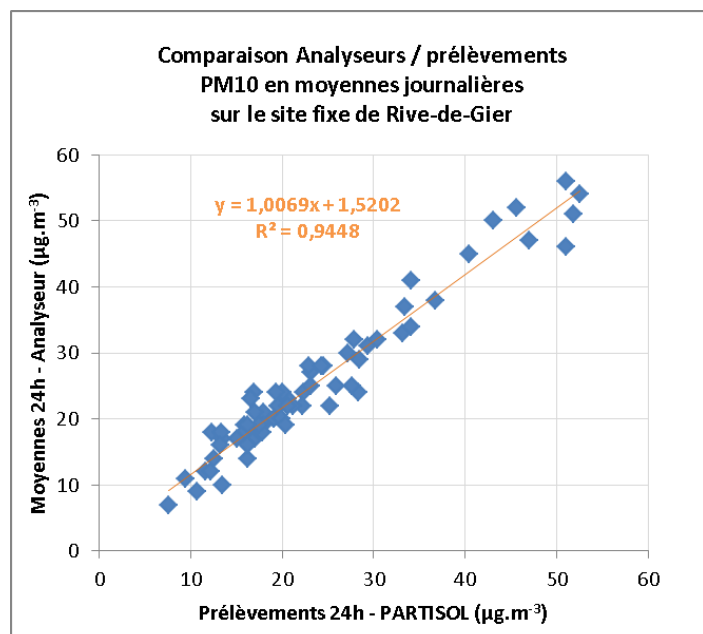


##### 3.1.1. Résultats de mesure pour les PM10

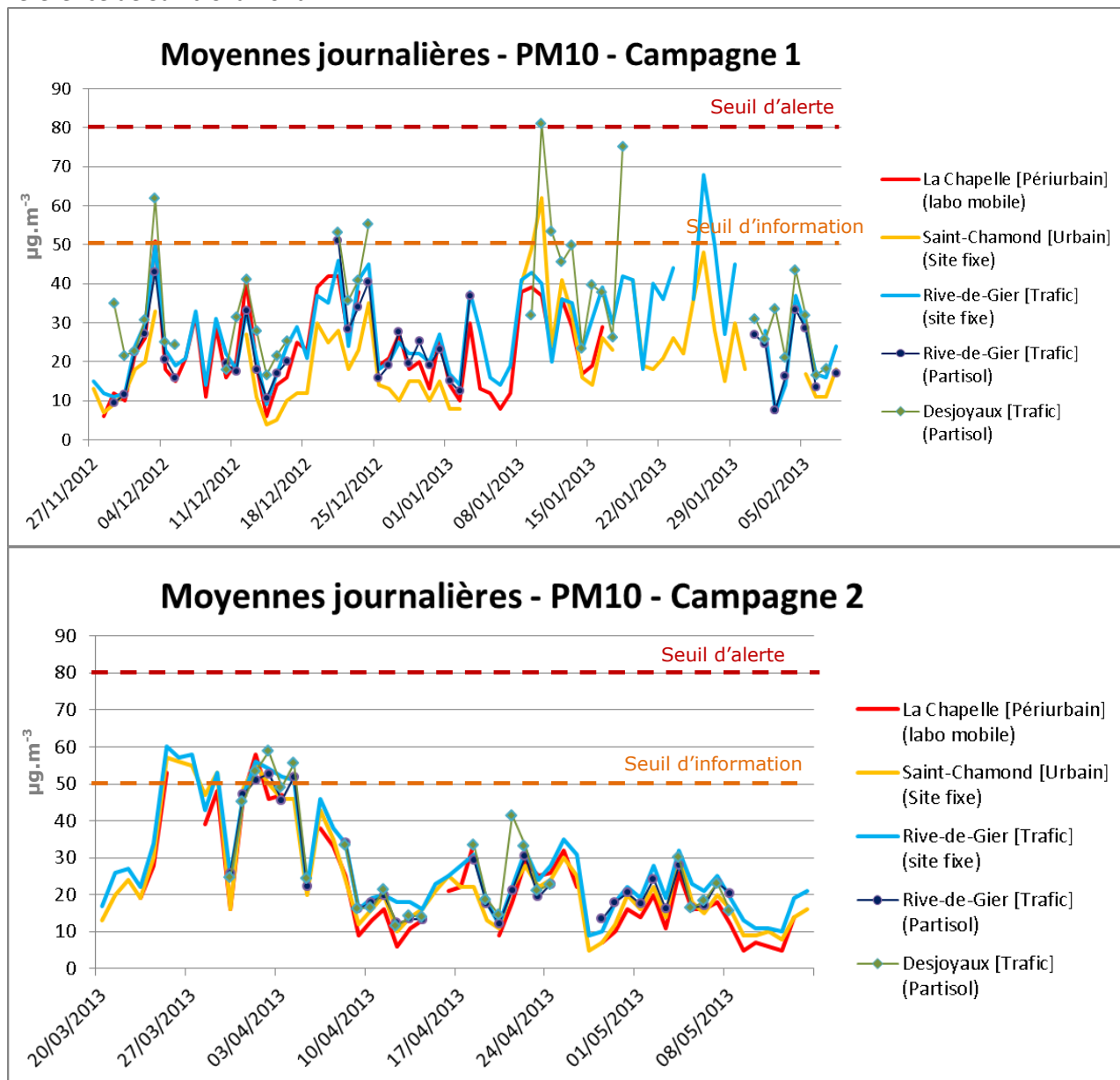
Le premier graphe ci-contre présente la comparaison des concentrations enregistrées avec les 2 techniques de mesures différentes (Analyseur / PARTISOL) sur le site fixe Rive-de-Gier.

Ces résultats confirment que les concentrations mesurées avec un PARTISOL par prélèvements sur filtres de 24h sont tout à fait comparables aux moyennes journalières mesurées avec un analyseur.

Ils permettent de confirmer la validité des mesures sur le site temporaire de « Desjoyaux ».



Les graphes suivants présentent l'évolution des niveaux de PM10 en moyenne journalières, pour les 2 campagnes de mesures, sur les 3 sites investigués pour cette étude ainsi que sur le site urbain de référence de Saint-Chamond :



Durant les 2 campagnes de mesures, le seuil d'information et de recommandations aux personnes sensibles, de 50 µg.m<sup>-3</sup> en moyenne journalière, a été dépassé à plusieurs reprises, et cela sur l'ensemble des sites, y compris les sites de référence.

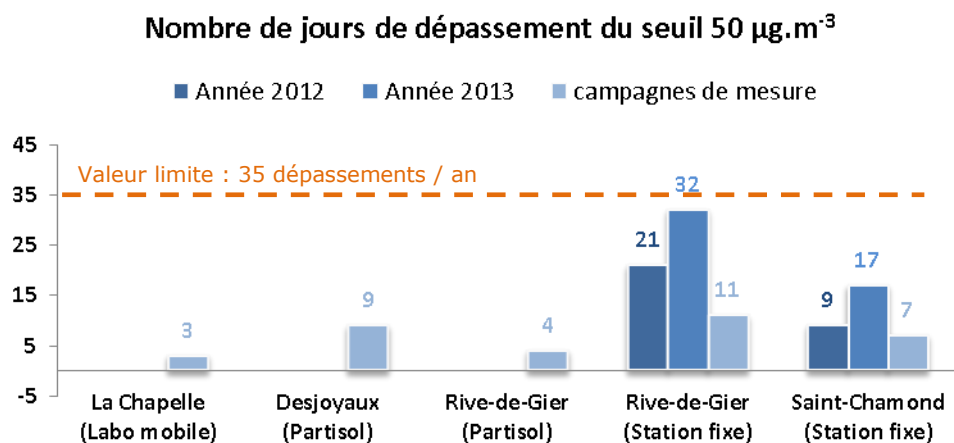
La première campagne a permis de mesurer les niveaux de PM10 sur une période automne/hiver, durant laquelle les dépassements sont principalement dus aux particules émises par le trafic et le chauffage résidentiel (chauffage au bois), sur des journées avec des conditions peu favorables à la dispersion. Durant cette campagne, le site de Desjoyaux a enregistré certains jours des concentrations plus élevées que sur le site de Rive-de-Gier, avec un maxima de 81 µg.m<sup>-3</sup> (le 10 janvier 2013) qui a même dépassé le seuil d'alerte (fixé à 80 µg.m<sup>-3</sup> en moyenne journalière). Ces résultats montrent donc que sur les sites de Desjoyaux et Rive-de-Gier, tous deux implantés à proximité l'autoroute A47, l'origine des PM10 est fortement liée aux émissions du trafic. Ils montrent également que les niveaux sont variables le long de l'autoroute et qu'en fonction de

l'emplacement du site de mesures, ils peuvent même être plus élevés que ceux observés sur le site de Rive-de-Gier.

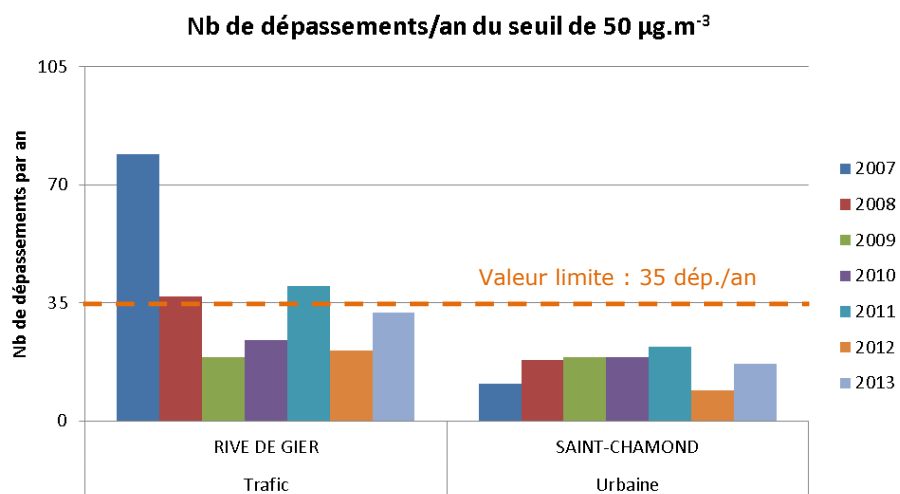
La deuxième campagne a permis d'observer les niveaux sur une période de printemps/début d'été, durant laquelle un épisode de pollution aux particules a été observé début avril sur plusieurs départements en Rhône-Alpes et également sur d'autres régions françaises. Plusieurs dépassements du seuil d'information ont été enregistrés entre le 25 mars et le 4 avril 2013, sur tous les sites de cette étude. En revanche, les niveaux enregistrés sur les sites en proximité du trafic de l'A47 (Desjoyaux et Rive-de-Gier), ont été quasi équivalents à ceux observés sur les sites de fond (La Chapelle et Saint-Chamond). En effet, cet épisode a eu lieu pendant une période où il y avait des conditions anticycloniques, avec la présence de particules d'origines sahariennes, majoritairement importées de régions frontalières ou plus lointaines.

Le seuil de  $50 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$  en moyenne journalière ne doit pas être dépassé plus de 35 jours sur l'année (valeur limite annuelle réglementaire).

Le graphe ci-dessous présente le nombre de jours de dépassement observé pendant les campagnes de mesure, comparé au nombre de jours total enregistré sur 2012 et 2013 sur les stations de référence.



Le graphe suivant indique le nombre de dépassements par an observés sur les sites fixes de Rive-de-Gier et de Saint-Chamond depuis 2007.



Le site de Rive-de-Gier enregistre annuellement un nombre important de dépassements du seuil journalier de  $50 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ , dépassant certaines années la valeur limite de 35 jours de dépassements (en 2007, 2008 et 2011).

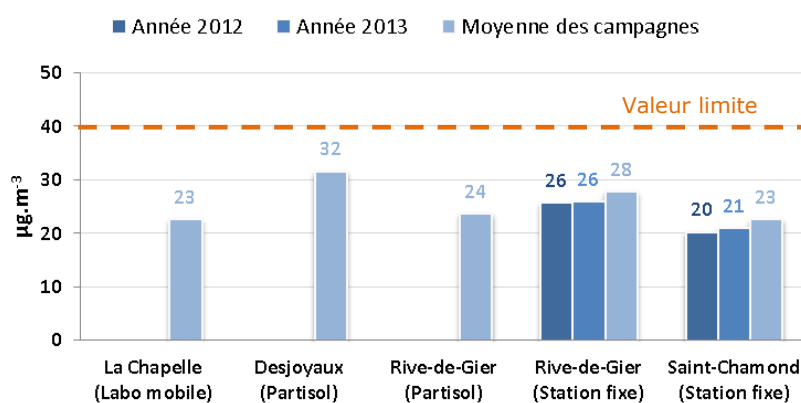




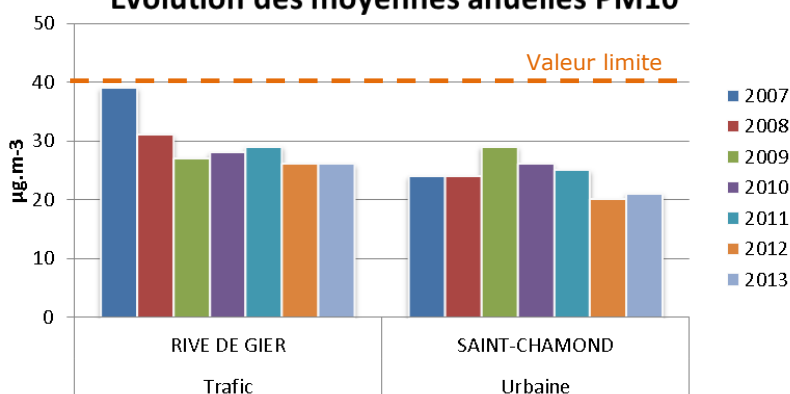
Sur l'ensemble des prélèvements PARTISOL réalisés en simultanément sur le site de Rive-de-Gier et celui de Desjoyaux, en proximité de la même autoroute A47, le nombre de dépassements du seuil de  $50 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$  a été plus important sur le site de Desjoyaux (9) que sur celui de Rive-de-Gier (4). Ceci permet de confirmer qu'une grande partie des dépassements enregistrés sur le site de Rive-de-Gier est bien due aux émissions du trafic routier. Ce nombre de dépassements pourrait même être potentiellement plus important sur un autre site en proximité de l'A47, comme celui de Desjoyaux.

En revanche, les mesures continues sur ce site avec l'analyseur PM10 comptabilisent 21 jours de dépassements en 2012 et 32 jours de dépassements en 2013, mais seulement 11 jours de dépassements sur l'ensemble des 2 campagnes de mesures réalisées entre 2012 et 2013. Ceci montre la difficulté d'estimer le nombre de jours de dépassements avec des campagnes de mesures ponctuelles, et également la difficulté d'évaluer le réel impact des autres sources, comme les émissions industrielles ou le chauffage résidentiel, qui pourraient être à l'origine des autres dépassements observés sur le reste de l'année. La suite du rapport montre que les améliorations apportées à la modélisation permettent de mieux estimer ces dépassements réglementaires en moyennes journalières sur l'ensemble du territoire.

### Moyennes annuelles - PM<sub>10</sub>



### Evolution des moyennes annuelles PM10

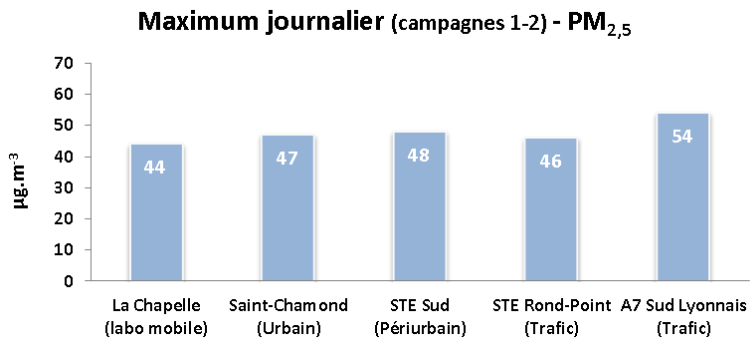


En moyennes annuelles, les concentrations moyennées sur les 2 campagnes de mesures sont relativement proches des moyennes annuelles réelles mesurées sur les sites fixes. La valeur limite fixée à  $40 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$  est a priori respectée sur tous les sites de l'étude réalisée entre 2012 et 2013. Cette valeur n'est pas dépassée depuis 2007 sur les 2 sites fixes Rive-de-Gier et Saint-Chamond.

### 3.1.1. Résultats de mesure pour les PM2.5

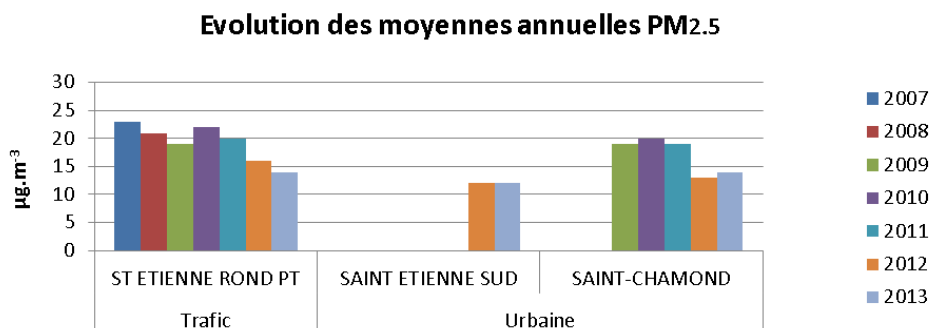
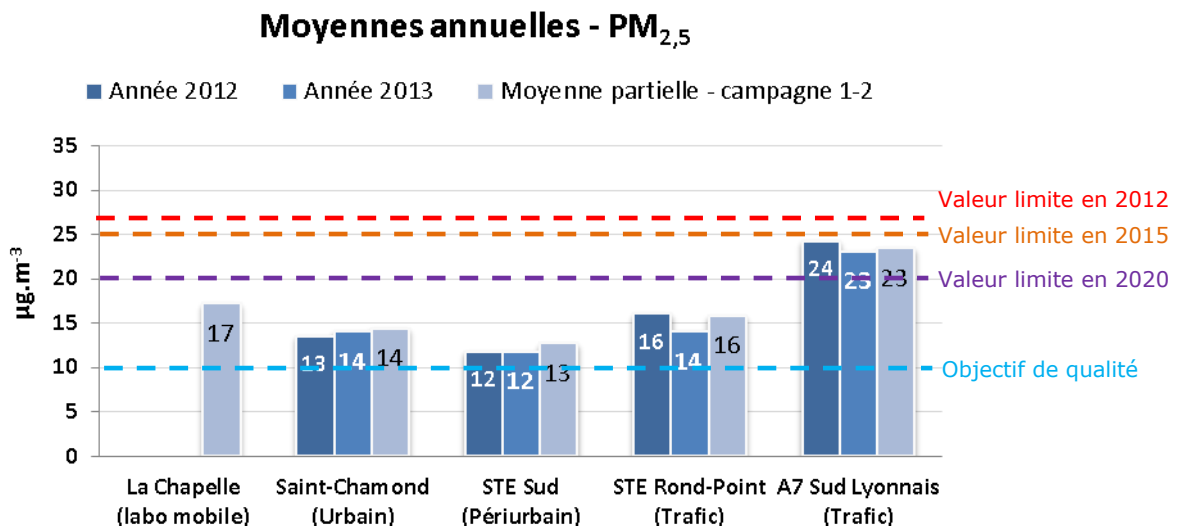
Pour les particules PM2.5, la réglementation européenne fixe une valeur limite uniquement en moyenne annuelle, avec des marges autorisées de dépassements diminuant chaque année : de 29  $\mu\text{g.m}^{-3}$  en 2008 jusqu'à 25  $\mu\text{g.m}^{-3}$  à respecter au 1<sup>er</sup> janvier 2015. La valeur à respecter en 2020 est fixée pour l'instant à 20  $\mu\text{g.m}^{-3}$ . L'objectif de qualité est de 10  $\mu\text{g.m}^{-3}$  en moyenne annuelle. Il s'agit également de la valeur recommandée par l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS).

Dans le cadre de cette étude, les particules PM2.5 ont été mesurées uniquement sur le site de fond « La Chapelle », avec le laboratoire mobile équipé d'un analyseur continu. Les niveaux mesurés sur ce site sont comparés à plusieurs autres sites de référence.



Les niveaux de fond sur le site « La Chapelle » sont comparables à ceux des autres sites de référence sur le territoire de Saint-Etienne.

En proximité trafic, les niveaux en moyenne annuelle à Saint-Etienne Rond-Point sont nettement inférieurs à ceux mesurés en proximité de l'A7 dans le sud lyonnais.



Depuis 2012 et 2013, les niveaux moyens en PM2.5 sur le territoire de Saint-Etienne Métropole présentent une baisse sensible par rapport aux années précédentes. Les moyennes annuelles, en fond urbain et en proximité trafic, avoisinent 15  $\mu\text{g.m}^{-3}$  et sont inférieures à la valeur limite à respecter en 2020.

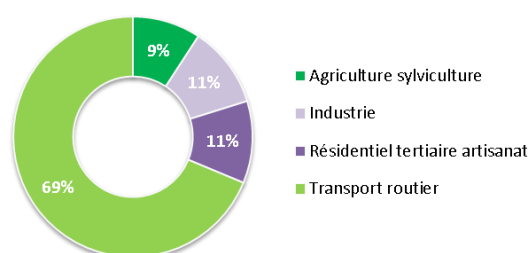
## 3.2. Autres polluants mesurés

### 3.2.1. Les oxydes d'azote et l'ozone

Le terme oxydes d'azotes (NOx) regroupe le monoxyde d'azote (NO) et le dioxyde d'azote (NO<sub>2</sub>). Ils sont émis lors des phénomènes de combustion, principalement par combinaison de l'azote et de l'oxygène de l'air. Les oxydes d'azotes, avec les composés organiques volatils, interviennent dans le processus de formation de la pollution photo-oxydante et de l'ozone dans la basse atmosphère. Seul le NO<sub>2</sub>, considéré comme toxique, fait l'objet d'une réglementation sanitaire dans l'air ambiant.

Les oxydes d'azote proviennent majoritairement du transport routier, avec 69% des émissions pour le territoire de la Loire. Même si les avancées technologiques permettent aujourd'hui de faire diminuer les rejets de chaque véhicule, l'augmentation du parc automobile et les kilomètres parcourus ne permettent pas de diminuer les niveaux en dioxyde d'azote. Ainsi, les niveaux observés en proximité automobile stagnent depuis quelques années. Ils ont en revanche légèrement baissé en fond urbain au cours des dernières années.

Répartition sectorielle des émissions de NOx dans la Loire  
cadastre 2012 (version 2013)



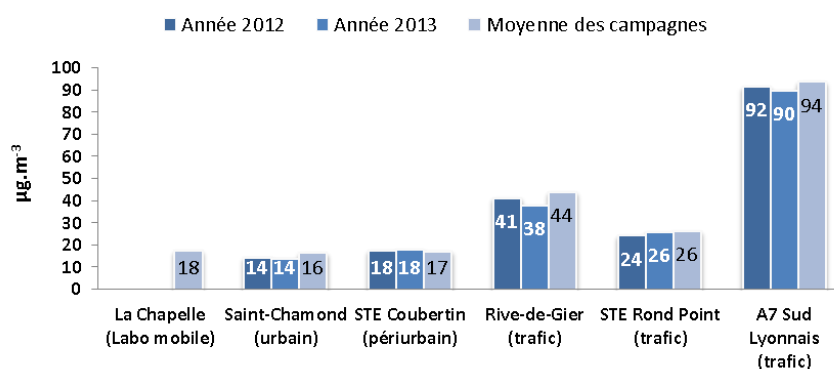
L'ozone est un indicateur de la pollution photochimique estivale. C'est un polluant dit « secondaire » car il résulte de la transformation chimique dans l'atmosphère, sous l'effet du rayonnement solaire, de polluants dits « précurseurs » (en particulier les oxydes d'azote et les composés organiques volatils). Les teneurs en ozone augmentent donc dans l'air ambiant par temps stable, ensoleillé et très chaud.

L'ozone a été mesuré sur le site laboratoire mobile « La Chapelle » essentiellement pour améliorer les connaissances sur les niveaux de ce polluant dans la vallée du Gier. Les données récoltées sont notamment utiles pour la modélisation.

### 3.2.2. Résultats de mesure pour le NO

Le monoxyde d'azote est un polluant non réglementé mais un bon indicateur de la proximité automobile.

#### Moyenne annuelle - NO

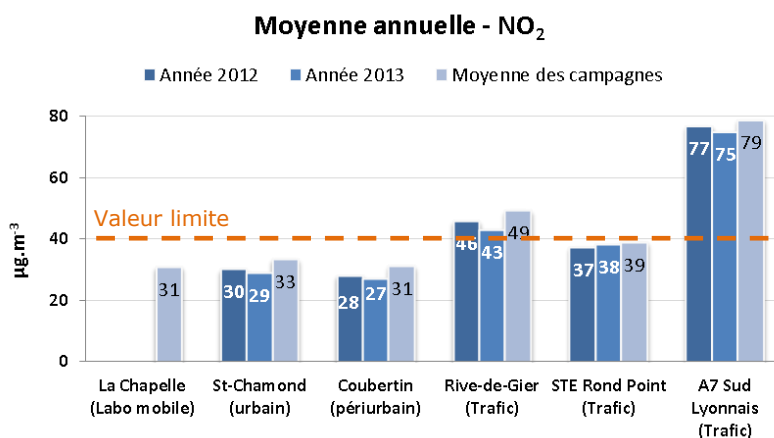


La moyenne annuelle sur le site de fond périurbain « La Chapelle », estimée à 18 µg.m<sup>-3</sup>, est comparable aux niveaux de fond urbain (Saint-Chamond) ou périurbain (Coubertin). Ces niveaux sont nettement inférieurs aux niveaux mesurés en proximité trafic sur la station de Rive-de-Gier (44 µg.m<sup>-3</sup>) ou A7 Sud Lyonnais (94 µg.m<sup>-3</sup>). Le site trafic de Saint-Etienne-Rond-Point mesure quant à lui des niveaux en NO intermédiaires.

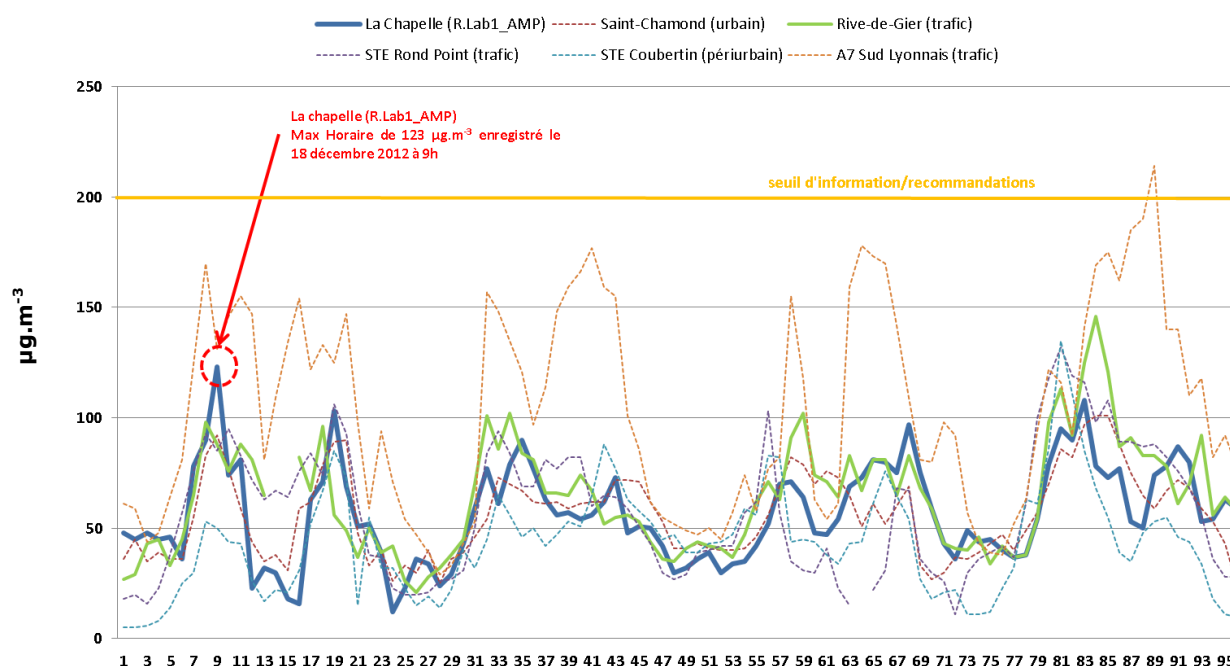
### 3.2.1. Résultats de mesure pour le NO<sub>2</sub>

Pour le dioxyde d'azote (NO<sub>2</sub>), la réglementation fixe des valeurs à respecter en moyenne annuelle et en moyennes horaires.

La moyenne annuelle en NO<sub>2</sub> sur le site mobile « La Chapelle » est estimée à 31 µg.m<sup>-3</sup>. Elle respecte la valeur limite fixée à 40 µg.m<sup>-3</sup>. Les concentrations mesurées sur ce site sont comparables à celles en fond urbain (Saint-Chamond) ou périurbain (Coubertin). Sur les sites en proximité trafic Rive-de-Gier et St-Etienne Rond-Point, les moyennes annuelles sont proches ou légèrement au-dessus de la valeur limite, mais elles sont 2 fois moins élevées que sur le site A7 Sud Lyonnais.



### Moyennes horaires mesurées du 18 au 21 décembre 2012



Sur l'ensemble des 2 campagnes, la valeur maximale horaire enregistrée pour le site « La Chapelle » est de 123 µg.m<sup>-3</sup> (le 18 décembre 2012 à 9h), ne dépassant pas ainsi le seuil d'information (200 µg.m<sup>-3</sup> sur 1h) ni le seuil d'alerte (400 µg.m<sup>-3</sup> sur 1h).

Durant ces 2 campagnes, la station trafic de Rive-de-Gier enregistre un maximum de 146 µg.m<sup>-3</sup> sur une heure (le 21 décembre 2012). Sur la même période d'étude, le site trafic A7 Sud Lyonnais a enregistré quant à lui 2 dépassements du seuil d'information et de recommandations pour les personnes sensibles, avec un maximum horaire à 214 µg.m<sup>-3</sup> (le 21 décembre 2012).

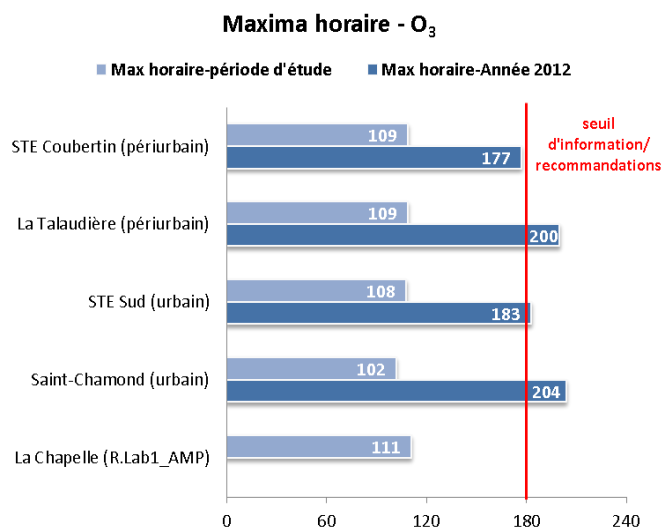
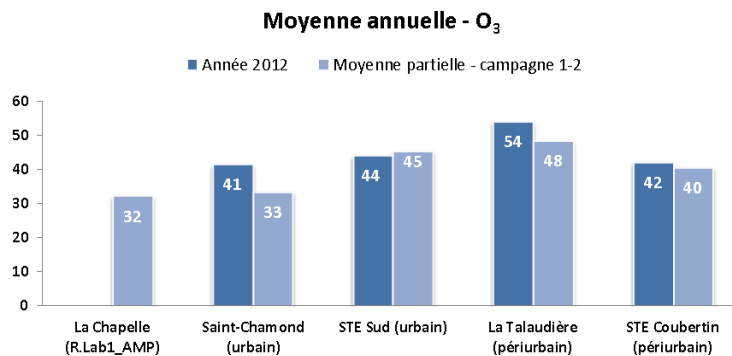
Le site mobile « La Chapelle » subit une faible influence du trafic automobile par rapport au site fixe de Rive-de-Gier. Les niveaux observés sur ce site respectent toutes les valeurs réglementaires en vigueur. Ce site est bien représentatif des niveaux de fond de la vallée du Gier.



### 3.2.2. Résultats de mesure pour l'ozone

Les niveaux d'ozone sur le site « La Chapelle », en moyenne sur les 2 campagnes de mesures, sont proches des niveaux mesurés sur le site de Saint-Chamond. La moyenne annuelle sur ce site devrait donc se situer entre 40 et 45  $\mu\text{g.m}^{-3}$ .

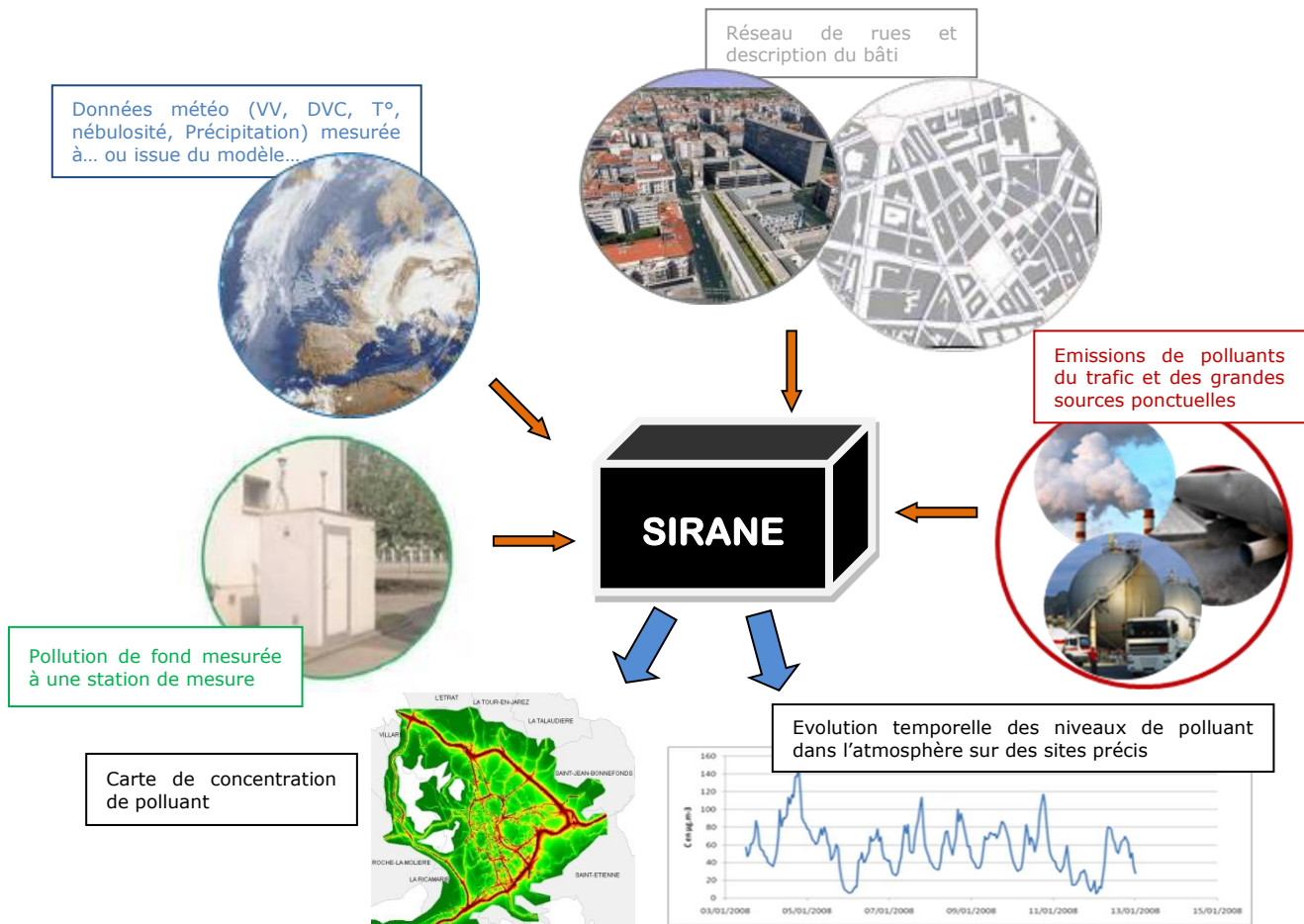
En moyennes horaires, les concentrations mesurées sur la période d'étude ont été du même ordre de grandeur que sur d'autres sites de référence urbains ou périurbains. En saison estivale, les niveaux sur ces sites de référence sont souvent très proches du seuil d'information et de recommandations pour les personnes sensibles (autour de 200  $\mu\text{g.m}^{-3}$  sur 1h pour un seuil à 180  $\mu\text{g.m}^{-3}$ ). Le risque de dépasser ce seuil sur le site de fond « La Chapelle » est donc élevé.



## 4. Amélioration des outils de modélisation

### 4.1. Du modèle SIRANE ... à la plateforme CARTOPROX

SIRANE est un modèle de dispersion atmosphérique en milieu urbain, adapté à l'échelle de la rue ou d'un quartier. Il permet de décrire les concentrations en polluants dans des zones constituées principalement de rues bordées de bâtiments sous forme de cartographie. Ce modèle permet de quantifier l'impact sur la qualité de l'air des évolutions de trafic d'une agglomération.

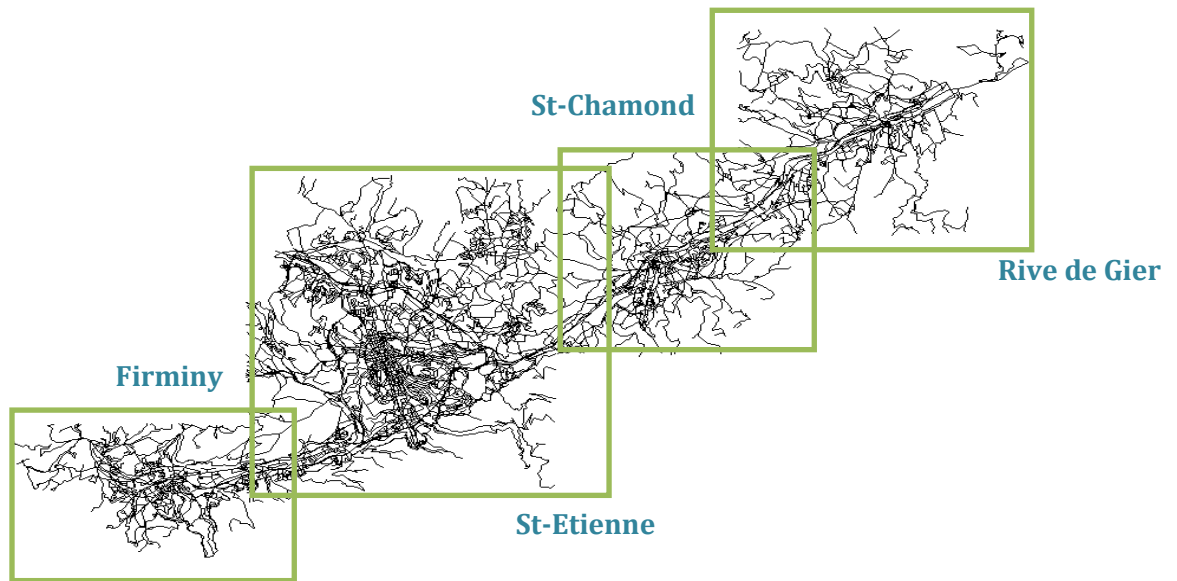


SCHEMA DE PRINCIPE DU MODELE SIRANE

Ce modèle a été mis en œuvre par Air Rhône-Alpes sur le territoire de Saint-Etienne Métropole à partir de 2011, afin de compléter le réseau de surveillance de qualité de l'air et d'évaluer l'impact des mesures du Plan de Protection de l'Atmosphère (PPA) avec la simulation de scénarios<sup>1</sup>. Les résultats de modélisation ont été évalués sur l'agglomération de Saint-Etienne pour les polluants NO<sub>2</sub> et PM<sub>10</sub> avec des incertitudes acceptables par rapport à la réglementation (moins de 30% d'erreur).

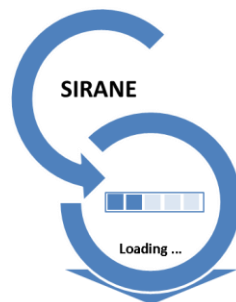
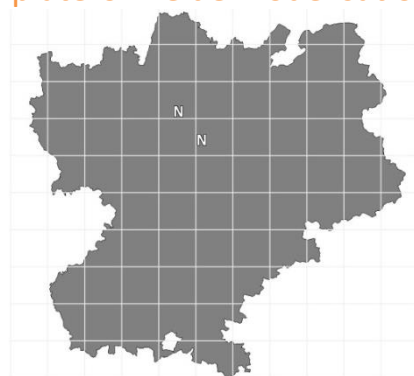
Jusqu'à présent, le modèle SIRANE avait été mis en œuvre avec 4 sous-domaines, pour être en cohérence avec les quatre bassins géographiques du périmètre des transports urbains (PTU) : Saint-Etienne, Firminy, Saint-Chamond et Rive-de-Gier.

<sup>1</sup> « Modélisation urbaine de la pollution atmosphérique de l'agglomération stéphanoise – évaluation du PPA » AIR Rhône-Alpes, 2011.



Entre 2012 et 2013, dans le cadre de la présente étude, AIR Rhône-Alpes a travaillé à la mise en place de la plateforme de modélisation **CARTOPROX**, qui a permis d'apporter des améliorations, notamment au niveau des zones interurbaines, et d'avoir une réelle continuité territoriale pour les cartographies des particules fines et des autres polluants atmosphériques.

#### 4.1.1. Principe de la plateforme de modélisation CARTOPROX



Evolution horaire et statistiques aux récepteurs  
**CARTOGRAPHIE 10 m**

PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT DE LA PLATEFORME CARTOPROX



Amélioration de la cartographie des particules PM10 dans la vallée du Gier

L'approche globale de la plateforme CARTOPROX consiste à réaliser le couplage géostatistique des résultats de deux modèles (SIRANE et PREVALP), qui prennent en compte à la fois la complexité géométrique du milieu urbain (influence des bâtiments) et les variations des phénomènes de chimie et transport inhérentes à la taille du domaine d'étude (mésos échelle)

CARTOPROX travaille donc sur des domaines et des échelles spatiales différentes :

- Le modèle PREVALP assure le calcul de la concentration de fond au niveau de la région entière, avec une résolution spatiale de l'ordre d'1 km.
- Le modèle de dispersion atmosphérique SIRANE assure le calcul de la concentration de proximité des principaux axes interurbains de transport de la région, à très fine échelle (résolution de 10m). Ce modèle assure également le calcul de la concentration de proximité routière (à l'échelle de la rue) au niveau des six grandes agglomérations de la région.

Le principe de fonctionnement de la plateforme CARTOPROX consiste à découper un domaine d'étude en mailles de N km caractérisées par le modèle PREVALP et à calculer les concentrations des polluants atmosphériques par le modèle SIRANE sur chacune des mailles (N représente la résolution des données modélisées par PREVALP et peut atteindre le km). A l'issue des calculs réalisés avec le modèle SIRANE, un traitement des données modélisées est effectué afin de générer les cartographies de concentrations sur l'ensemble du domaine d'étude.

Les données d'entrée nécessaires au fonctionnement du modèle SIRANE sur une maille de N km peuvent être regroupées dans les catégories suivantes :

1. Le réseau des rues interconnectées comprenant les caractéristiques géométriques de ces dernières (largeur, hauteur moyenne et rugosité)
2. L'évolution horaire des données d'émissions provenant des voies de circulation
3. L'évolution horaire des variables météorologiques (vitesse et direction du vent, température, précipitations...) modélisée par PREVALP
4. L'évolution horaire du niveau de pollution de fond modélisée par PREVALP

En sortie, la plateforme CARTOPROX fournit :

- L'évolution des concentrations horaires en un certain nombre de récepteurs ponctuels bordant les routes
- Les grandeurs statistiques associées (moyenne, maximum, percentile ...)
- Le champ de concentration à une résolution maximum de 10 mètres

La plateforme CARTOPROX peut être utilisée comme outil de diagnostic dans le cadre du « reporting » européen de la qualité de l'air avec la réalisation de cartographies annuelles. Elle peut être aussi utilisée comme outil prospectif d'aide à la décision dans le cadre de plans globaux comme les PPA ou les PDU avec l'élaboration et l'étude de scénarios.



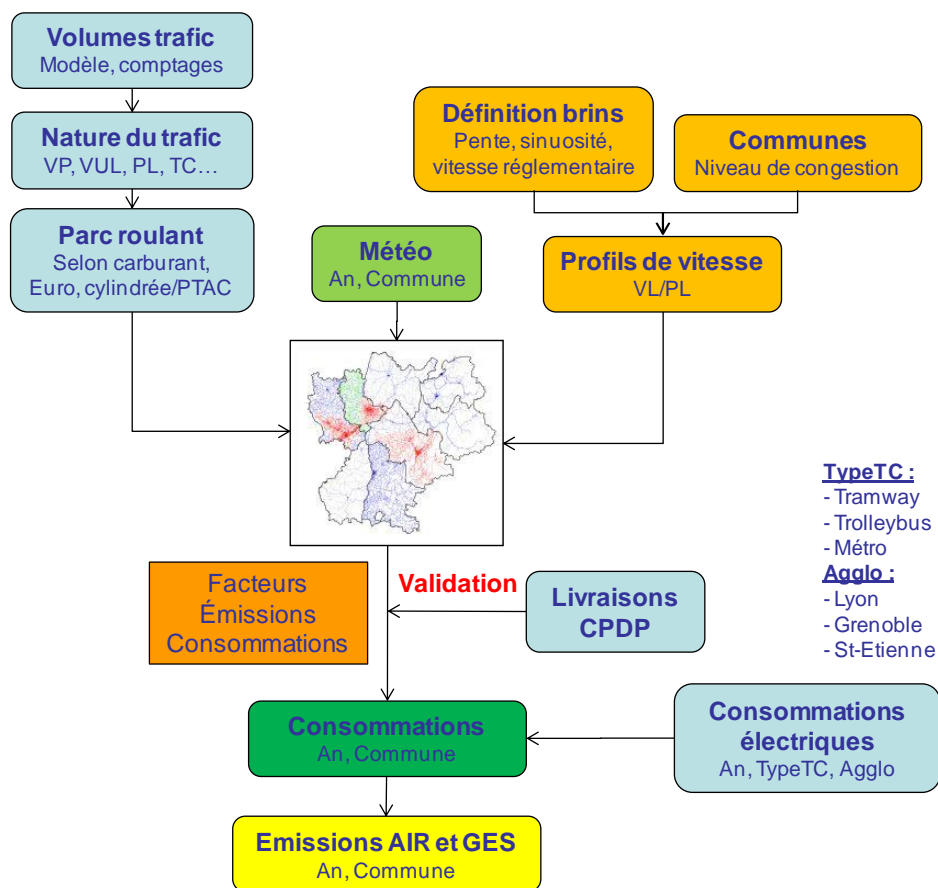
### 4.1.2. Principe de calcul des émissions

Il est important de noter que l'évaluation des concentrations de polluants à proximité des axes de circulation est un exercice délicat qui demande de prendre en compte de nombreux paramètres : les émissions liées au trafic automobile (dépendant elles-mêmes des conditions de circulation et de la composition du parc automobile), des paramètres conditionnant la dispersion des polluants (météorologie locale et configuration de voirie) et de la concentration de fond de la zone environnante. La plateforme CARTOPROX utilise une approche basée sur la modélisation déterministe, qui prend en compte ces paramètres de manière explicite, plutôt qu'une approche géostatistique. Par ailleurs, il a été montré avec des mesures que les émissions des voies ferrées nécessitent d'être prises en compte uniquement dans le modèle régional PREVALP.

Le schéma ci-dessous illustre le calcul des émissions annuelles du trafic routier (assuré par l'outil MOCAT - MODèle de CALCul des émissions du Trafic) qui alimente le cadastre des émissions. Les émissions routières dépendent des caractéristiques des véhicules (débit, vitesse, type de véhicules, parc roulant) mais également des caractéristiques de la route (sinuosité, rampe, vitesse réglementaire, congestion,...).

Ces émissions sont ensuite ventilées sur les 8760 heures de l'année au moyen de « profils », consistant à appliquer des coefficients par mois, par heures de la journée et par type de jours (jours de semaine, jours de pont, vacances scolaires,...), pour obtenir des émissions horaires toute l'année.

Dans le cadre de la présente étude, AIR Rhône-Alpes a utilisé les résultats issus du modèle multimodal de trafic de Saint-Etienne Métropole pour calculer les émissions liées au trafic routier.



PRINCIPE DE CALCUL DES EMISSIONS AVEC L'OUTIL MOCAT

### 4.1.3. Validation du modèle et estimation de la pollution de fond

La directive européenne impose des conditions pour que la simulation de la concentration par un modèle numérique soit considérée comme valide. Les critères sont basés sur des comparaisons modèle/mesure :

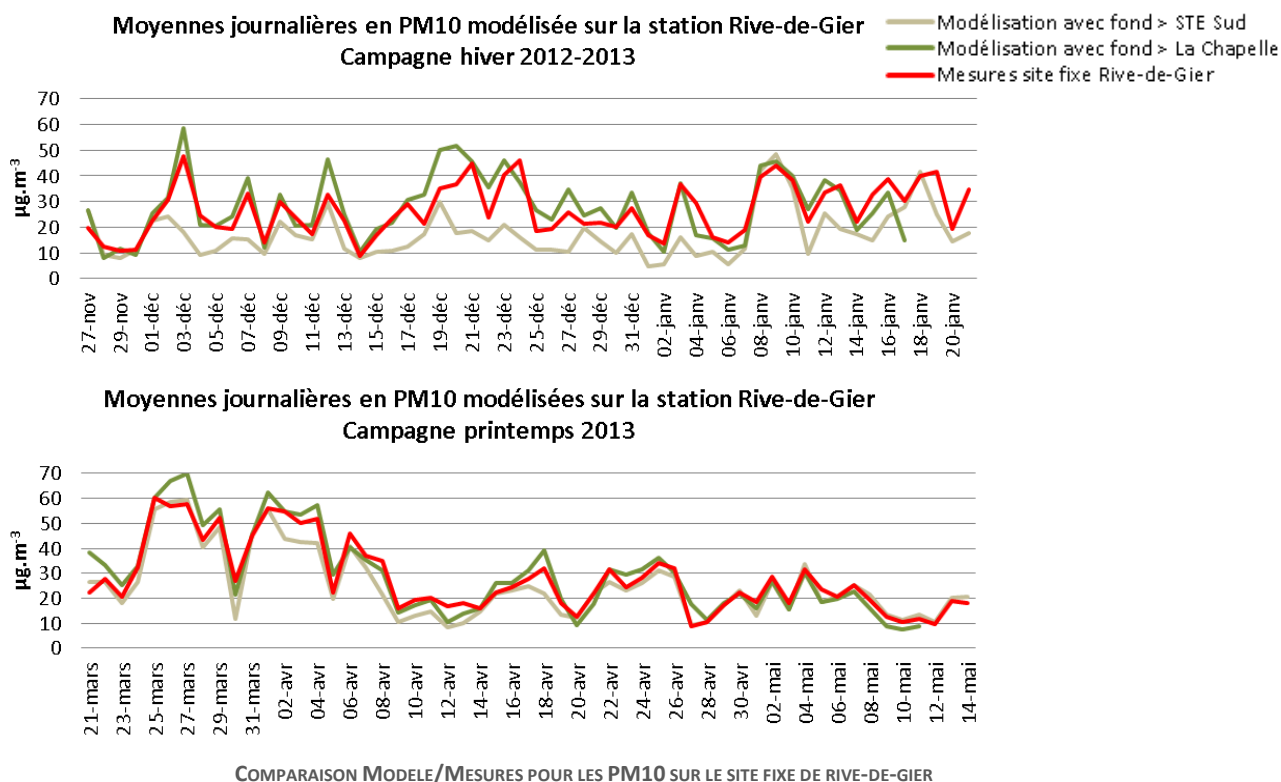
- L'incertitude sur la moyenne annuelle en NO<sub>2</sub> doit être inférieure à 30 %
- L'incertitude sur la moyenne annuelle en PM<sub>10</sub> doit être inférieure à 50 %
- L'incertitude sur la moyenne horaire en NO<sub>2</sub> doit être inférieure à 50 % (sans tenir compte de la chronologie des événements)

La plateforme CARTOPROX a été évaluée sur la base de ces critères, avec l'ensemble des mesures disponibles sur les sites fixe du réseau d'AIR Rhône-Alpes. La comparaison a également été réalisée avec le dispositif de mesures temporaires qui a été déployé pendant les campagnes de mesures dans le cadre du PDU de Saint-Etienne<sup>1</sup>.

Parmi les données d'entrées d'un modèle, la pollution de fond est un paramètre très important qui peut influencer sur les résultats de sortie de la modélisation. Elle doit donc être bien représentative de la situation sur le domaine étudié.

Avec la plateforme CARTOPROX, les niveaux de pollution de fond sont estimés à partir des résultats du modèle à grande échelle (PREVALP), mais également à partir des mesures sur certains sites fixes, situés en zone urbaine ou périurbaine et suffisamment éloignés du trafic ou d'autres sources d'émissions.

Jusqu'à présent, pour le modèle SIRANE, le site fixe « Saint-Etienne Sud » fournissait les données d'entrées pour estimer la pollution fond sur l'ensemble des 4 sous-domaines. Dans le cadre de cette étude, des simulations ont été réalisées en prenant les mesures du site mobile « La Chapelle » comme données d'entrées pour les niveaux de fond sur le domaine de la vallée du Gier. Ceci a permis d'améliorer sensiblement les incertitudes du modèle, notamment pour les PM<sub>10</sub>, avec des concentrations modélisées en période hivernale beaucoup mieux corrélées avec les niveaux mesurés sur la station fixe de Rive-de-Gier.

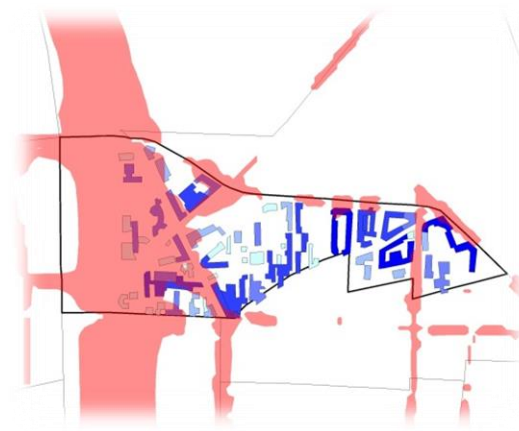


<sup>1</sup> Voir le rapport « Evaluation de l'évolution de la qualité de l'air en 2012-2013 dans le cadre du PDU de Saint-Etienne »

### 4.1.1. Principe de calcul d'exposition de la population à la pollution atmosphérique

Le croisement des concentrations calculées par la modélisation avec les informations de densité de population permet de déterminer le pourcentage de la population d'un territoire soumis à des taux de pollution supérieurs aux valeurs limites européennes pour la protection de la santé.

La méthodologie est basée sur l'affectation de la population sur les contours Iris®<sup>1</sup> – fournie par l'INSEE et mise à jour annuellement – aux bâtiments issus de la BD Topo de l'IGN. Les bâtiments d'habitation sont sélectionnés en éliminant ceux dont la hauteur est inférieure à 2m et les bâtiments de type « remarquables » (église, musées...) ou « Industriels ». Puis, la population est calculée en chacun des points de la grille de concentrations de la plateforme CARTOPROX, sur la base du pourcentage de population par bâtiment « habité ».



Exemple de données de population ramenées dans les bâtiments habités (en bleu ou violet) croisées avec les concentrations supérieures à la valeur limite (en rouge)

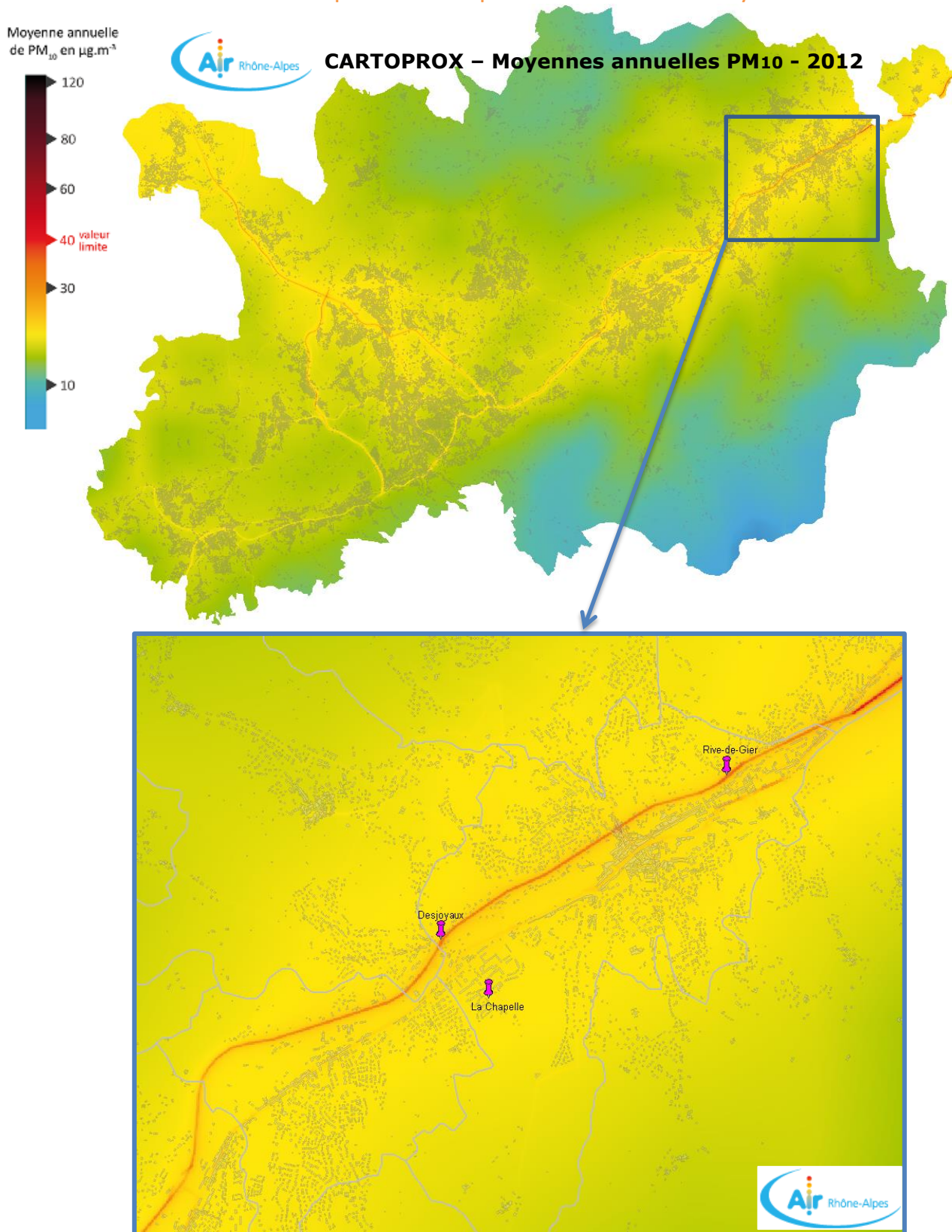
Cette méthode est utilisée au niveau national par de nombreuses Associations Agréées de Surveillance de la Qualité de l'Air pour calculer le pourcentage de population exposée à la pollution atmosphérique dans les grandes agglomérations.

---

<sup>1</sup> Iris® est un fond numérisé des îlots Iris définis par l'INSEE pour les besoins des recensements sur l'ensemble des communes de plus de 10 000 habitants et la plupart des communes de 5 000 à 10 000 habitants.

## 4.2. Cartographies d'exposition à la pollution atmosphérique

### 4.2.1. Cartes d'exposition aux particules PM10 en moyenne annuelle

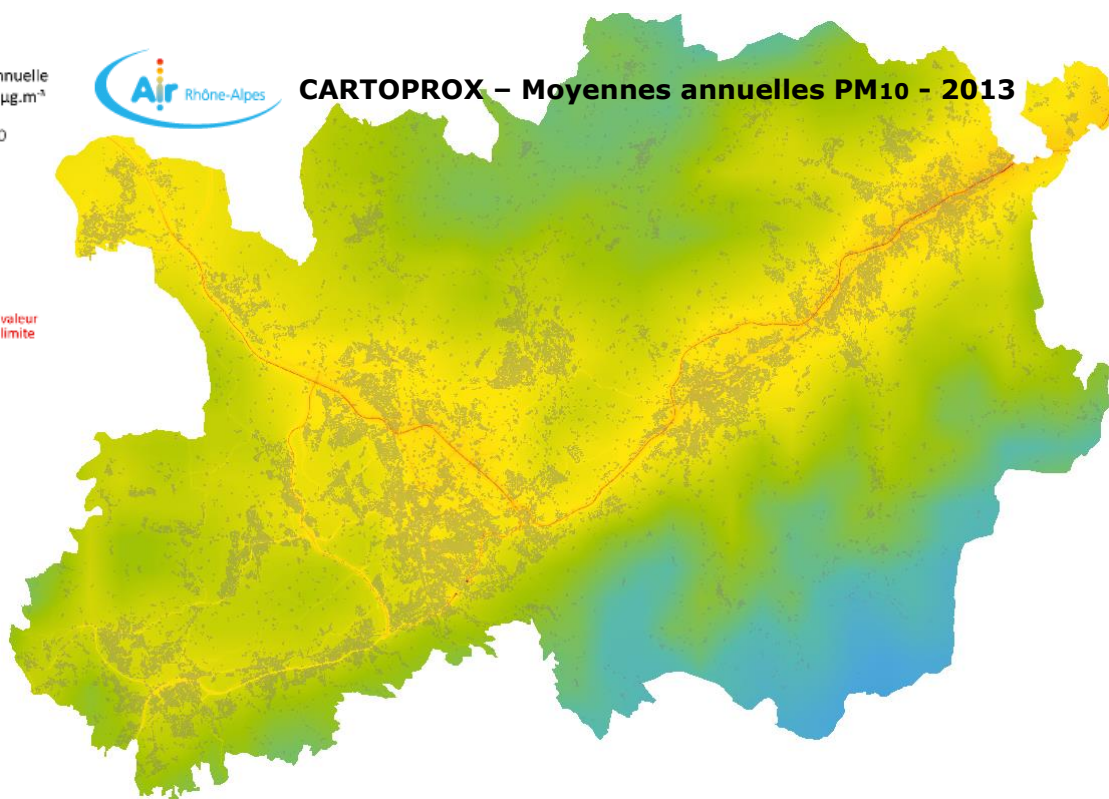
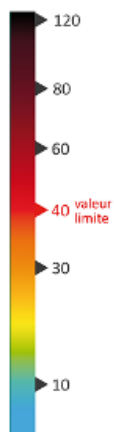




Moyenne annuelle  
de  $PM_{10}$  en  $\mu g.m^{-3}$



### CARTOPROX – Moyennes annuelles $PM_{10}$ - 2013



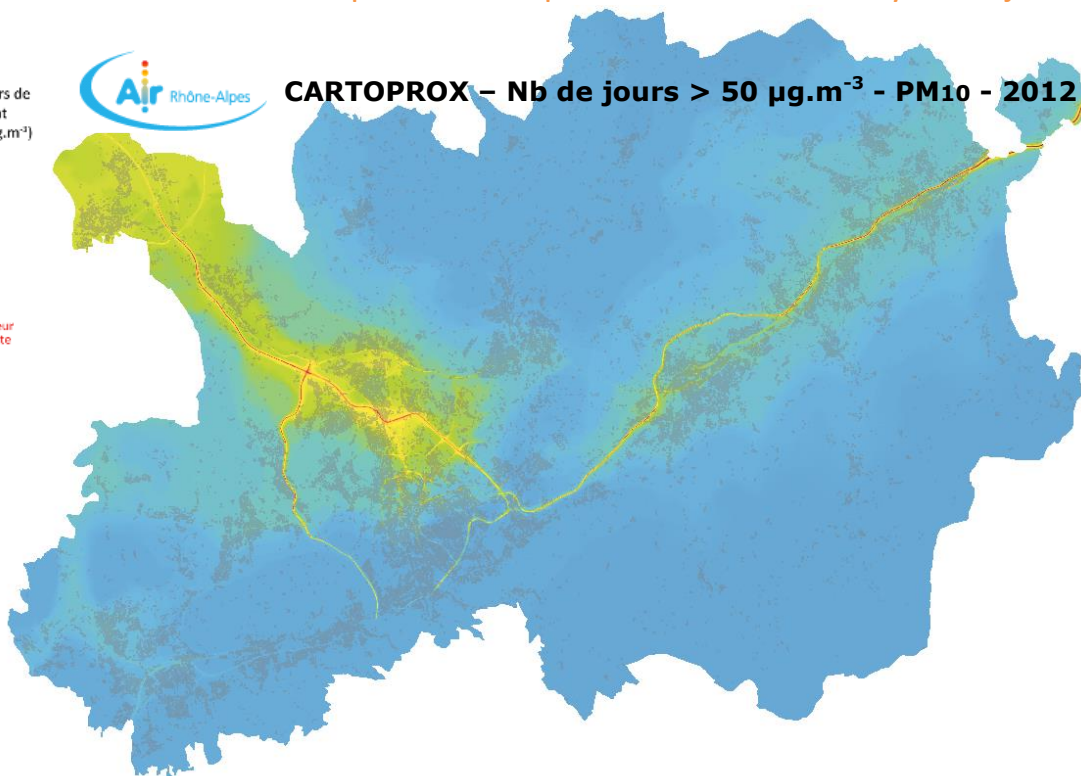
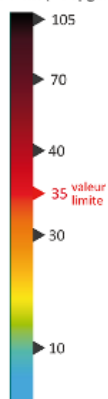
En 2012, comme en 2013, la valeur limite en moyenne annuelle a été respectée sur l'ensemble du territoire de Saint-Etienne Métropole. Néanmoins, la réduction de l'exposition aux particules en suspension dans l'air reste un enjeu important à l'échelle nationale vis-à-vis des contentieux européens. Il est donc nécessaire de continuer à mener des plans d'actions (PPA, PDU...) qui contribuent à réduire l'exposition chronique des particules en moyenne annuelle.

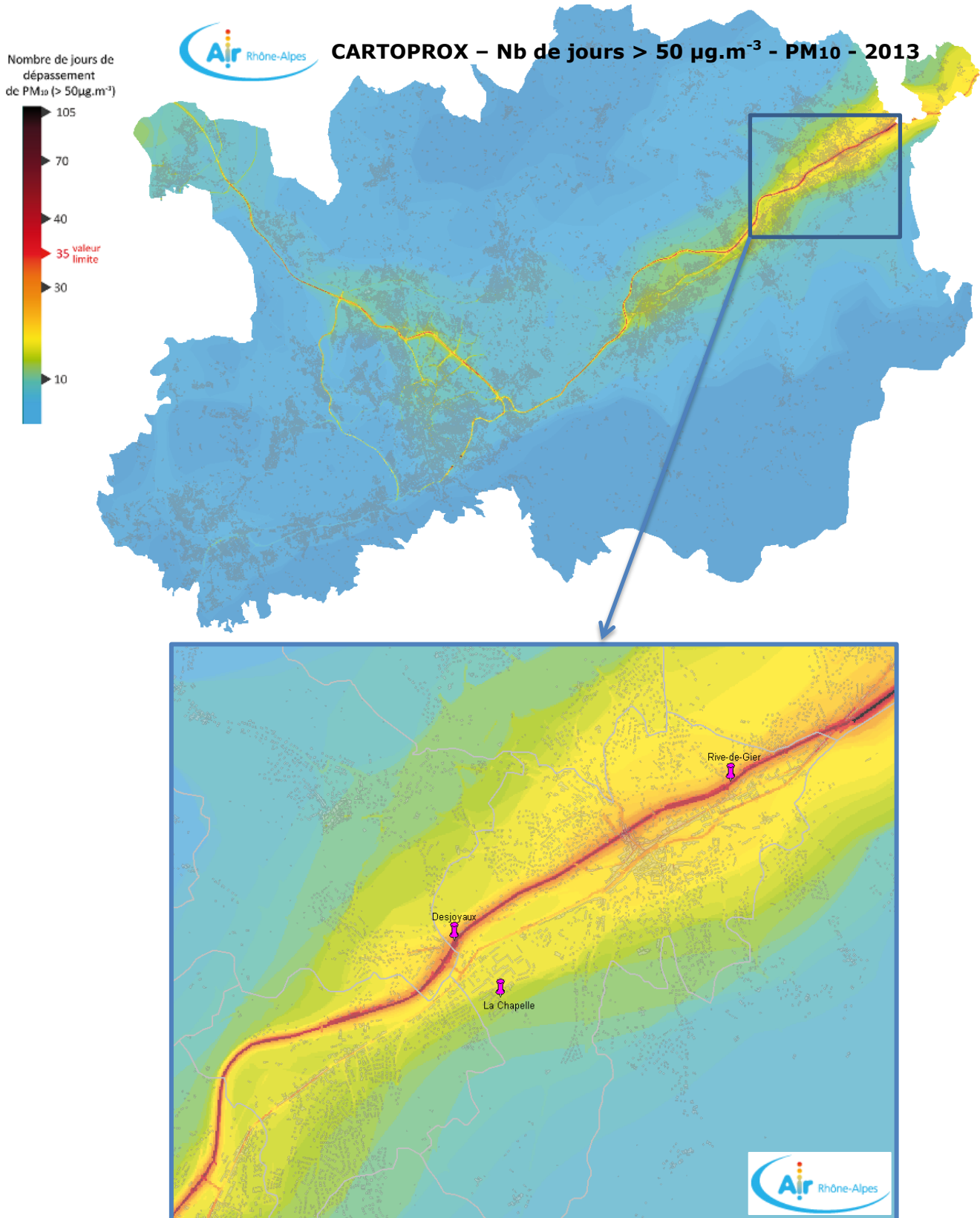
#### 4.2.2. Cartes d'exposition aux particules $PM_{10}$ en moyennes journalières

Nombre de jours de  
dépassement  
de  $PM_{10}$  ( $> 50 \mu g.m^{-3}$ )



### CARTOPROX – Nb de jours $> 50 \mu g.m^{-3}$ - $PM_{10}$ - 2012





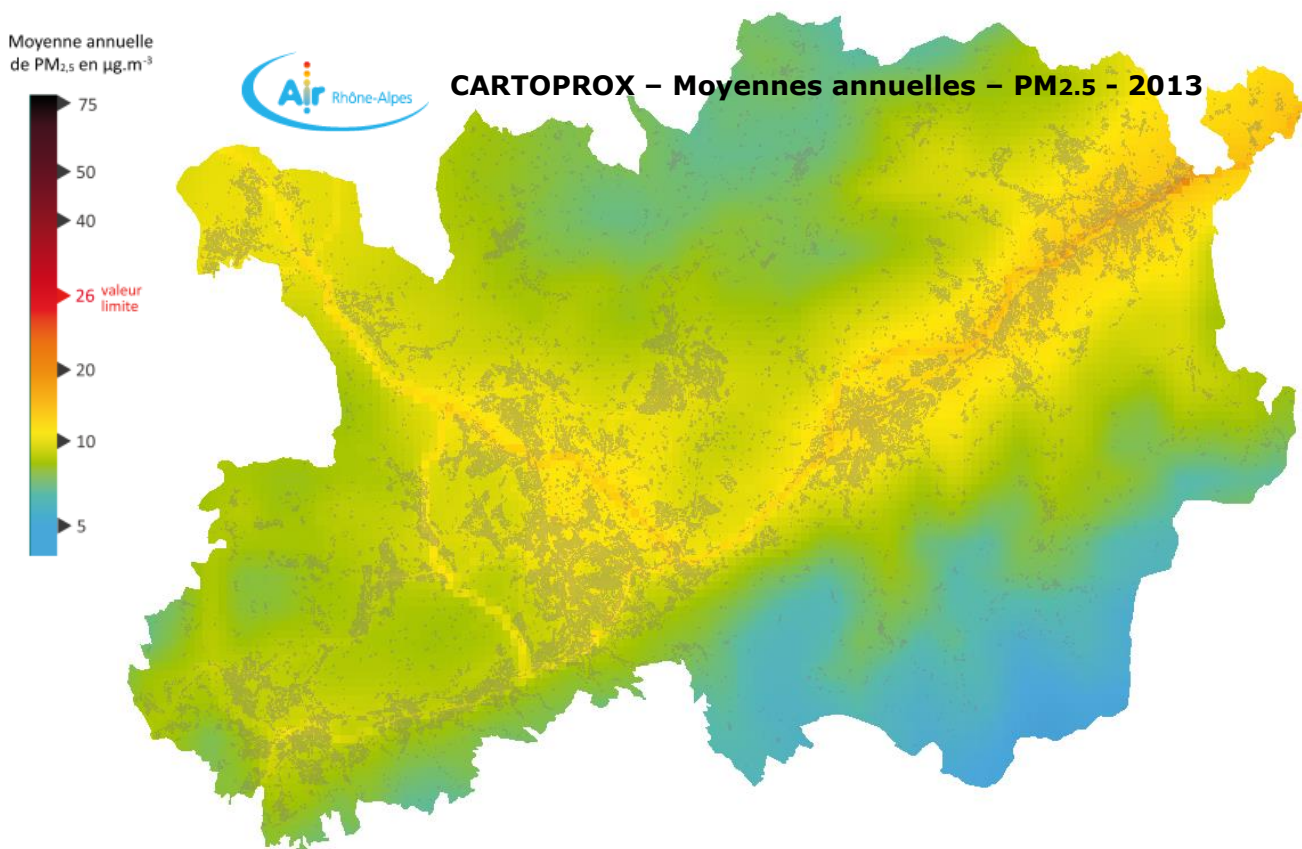
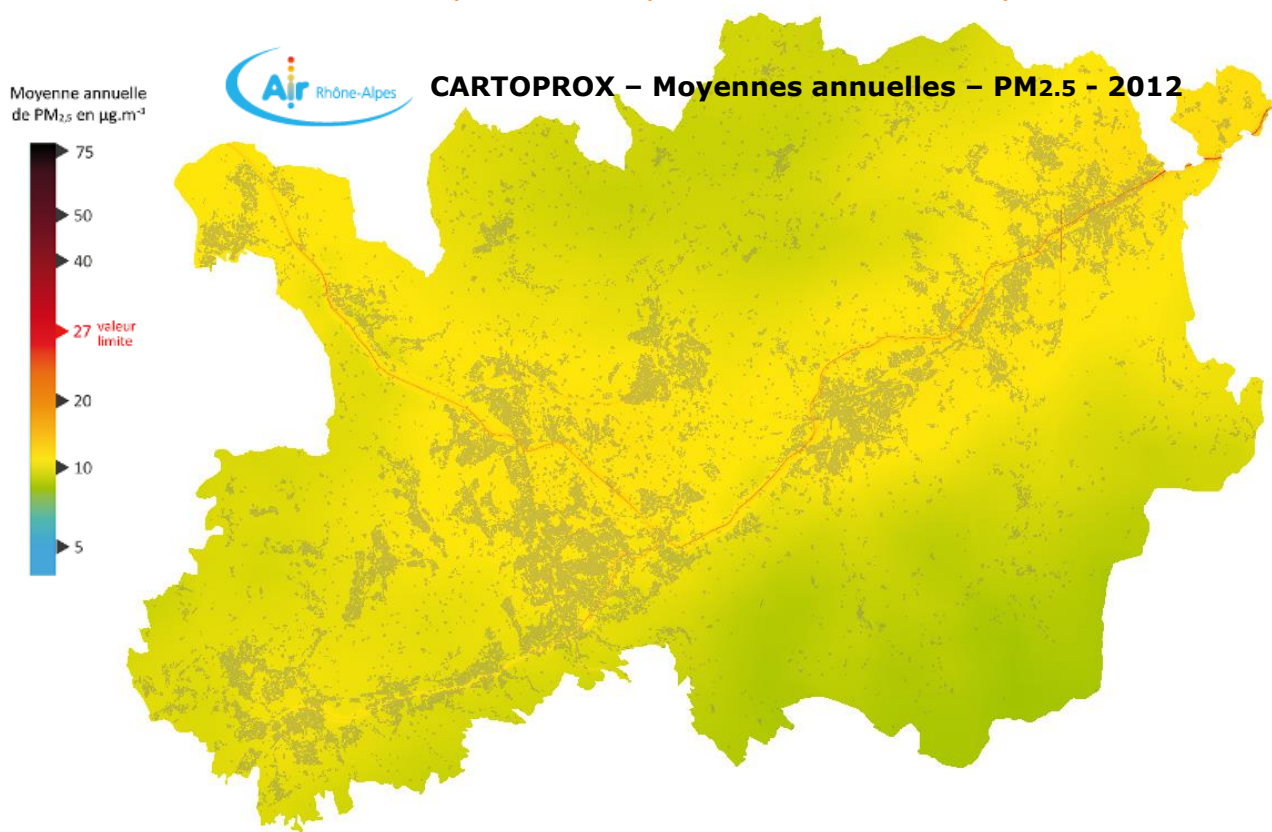
Au niveau des dépassements en moyennes journalières, la valeur limite des 35 jours de dépassements est franchie par endroit, mais sur de très petites parties du territoire :

- en 2012 : sur le secteur nord-ouest, le long de l'A72,
- en 2013 : dans la vallée du Gier, principalement à proximité de l'A47.

Le pourcentage de population exposée est quasi nul car très peu d'habitations sont touchées.



#### 4.2.1. Cartes d'exposition aux particules PM2.5 en moyenne annuelle



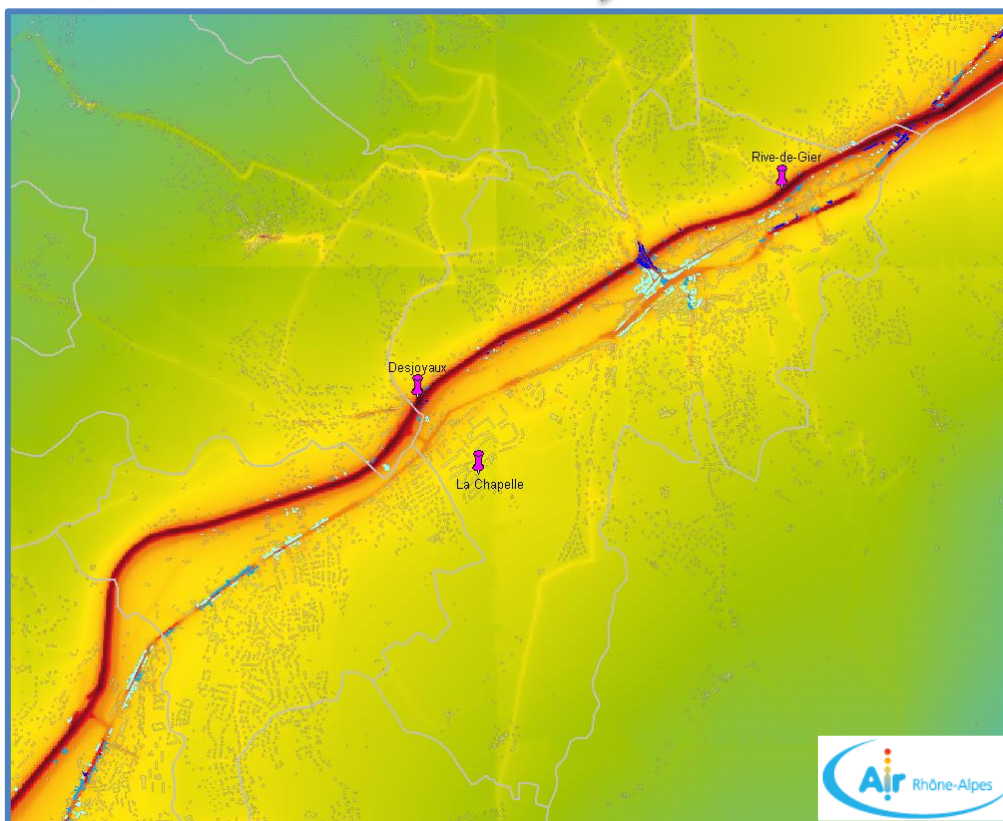
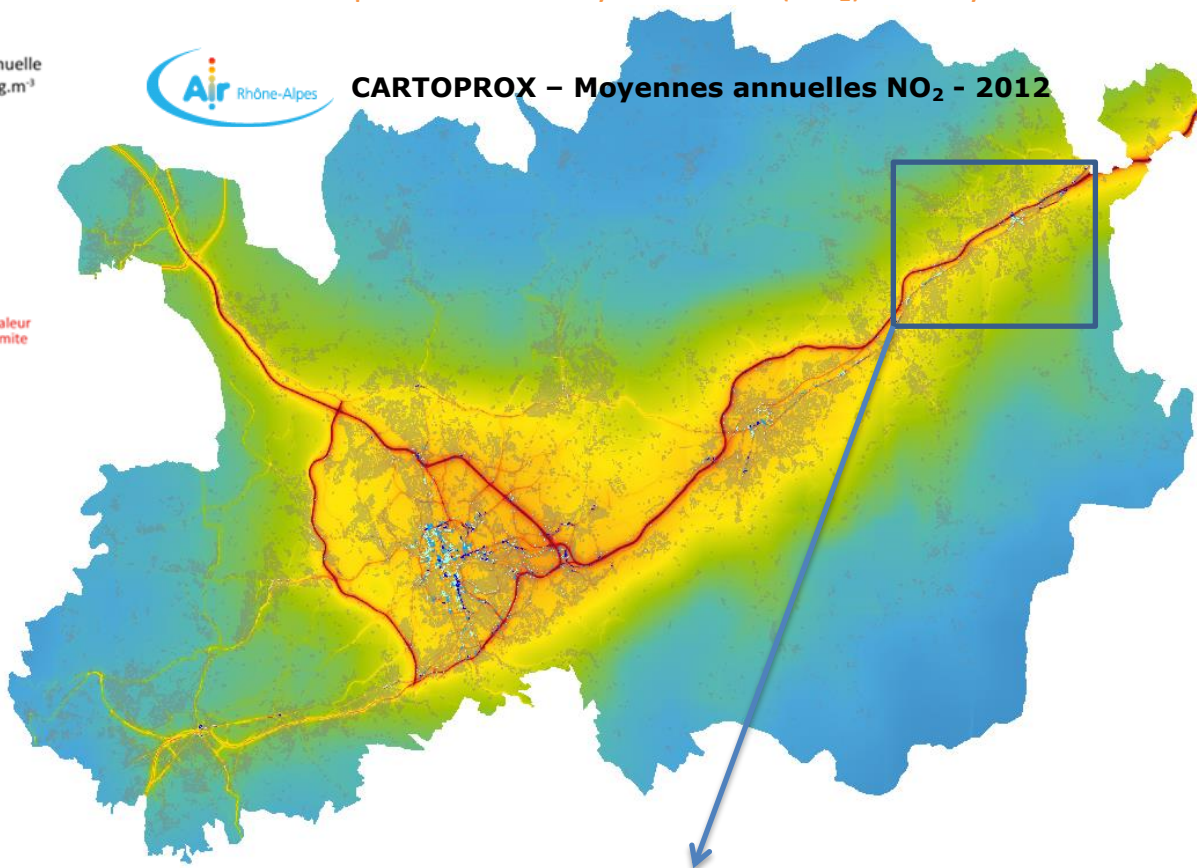
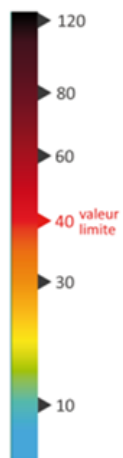
Pour les particules PM<sub>2.5</sub>, la valeur limite annuelle est respectée sur l'ensemble du territoire de Saint-Etienne Métropole, en 2012 et en 2013.

#### 4.2.1. Cartes d'exposition au dioxyde d'azote (NO<sub>2</sub>) en moyenne annuelle

Moyenne annuelle  
de NO<sub>2</sub> en µg.m<sup>-3</sup>



**CARTOPROX – Moyennes annuelles NO<sub>2</sub> - 2012**



Amélioration de la cartographie des particules PM10 dans la vallée du Gier

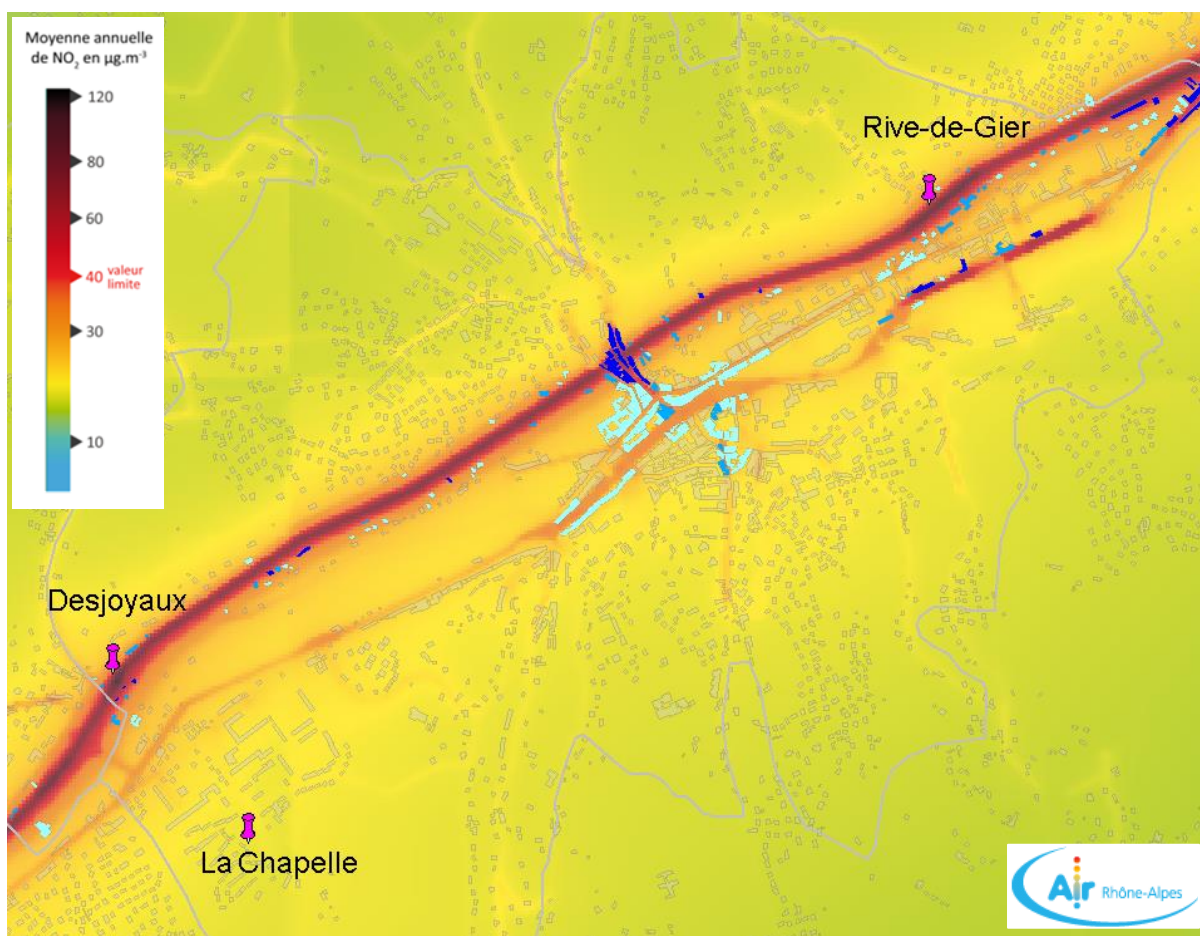
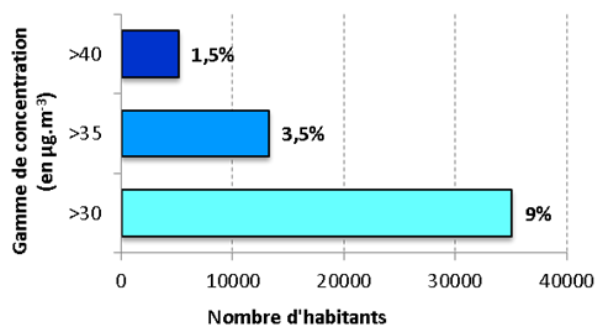


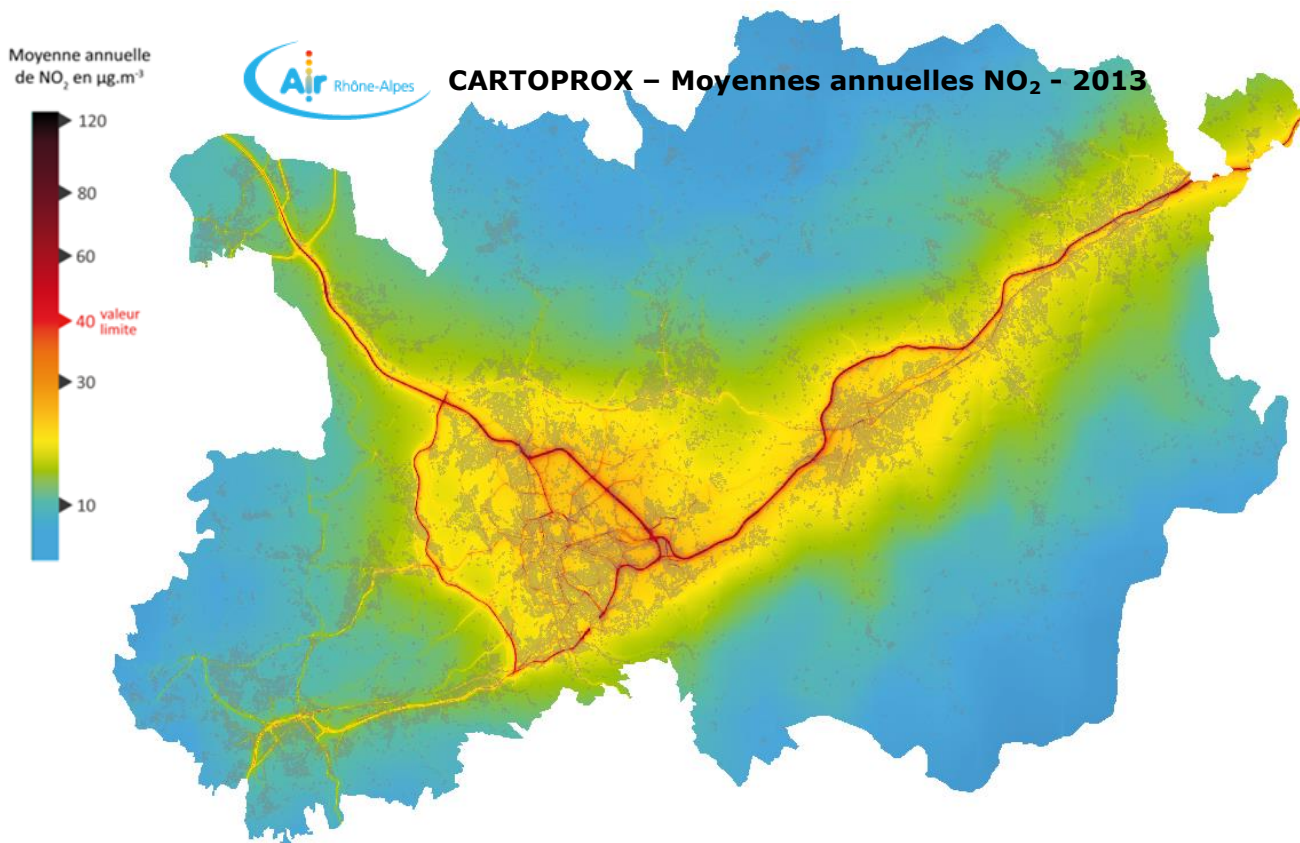
En 2012, sur l'ensemble du territoire de Saint-Etienne Métropole, environ **1,5%** de la population (soit près de 5000 habitants) a été exposée à des concentrations en dioxyde d'azote supérieures à la valeur limite de  $40 \mu\text{g.m}^{-3}$ .

Environ **3,5%** a été exposée à des valeurs supérieures à  $35 \mu\text{g.m}^{-3}$  et presque **10%** de la population à des valeurs supérieures à  $30 \mu\text{g.m}^{-3}$ .

La carte ci-dessus montre l'emplacement des populations exposées sur le domaine de l'étude dans la vallée du Gier.

Population exposée au NO<sub>2</sub>





En 2013, même si l'exposition aux plus fortes concentrations de NO<sub>2</sub> a diminué, sur l'ensemble du territoire de Saint-Etienne Métropole, environ 0,3% de la population est restée exposée à des valeurs supérieures au seuil réglementaire (soit près de 1500 personnes). Les secteurs les plus touchés restent le centre de l'agglomération stéphanoise et la vallée du Gier, en proximité immédiate de l'A47, en lien direct avec les émissions des transports routiers.

## 5. Conclusion

Dans la cadre de cette étude, AIR Rhône-Alpes a réalisé un suivi des niveaux de particules PM<sub>10</sub> sur le site fixe de Rive-de-Gier (site trafic, en proximité de l'A47) et des mesures en parallèle sur 2 autres sites : Desjoyaux (site trafic, également en bordure de l'A47) et La Chapelle (site de fond périurbain). Les campagnes de mesures, étalées sur deux périodes entre l'hiver 2012 et le printemps 2013, ont permis d'observer plusieurs jours de dépassements du seuil de 50 µg.m<sup>-3</sup> pour les PM<sub>10</sub>.

Les résultats de ces mesures ont confirmé la forte influence des émissions du trafic de l'autoroute A47 pour les dépassements observés sur les sites de Desjoyaux et Rive-de-Gier. Ils ont montré également que les niveaux le long de l'autoroute peuvent parfois être plus élevés que ceux observés sur le site de Rive-de-Gier.

Avec des campagnes de mesures ponctuelles, il reste difficile d'estimer le nombre de jours de dépassements sur une année complète, et d'évaluer l'impact des autres sources, comme les émissions industrielles, le chauffage résidentiel ou bien des apports extérieurs de particules, qui peuvent être à l'origine des autres dépassements observés sur le reste de l'année. En revanche, ces données peuvent être étudiées avec les mesures continues sur les stations fixes et avec l'approche cartographique fournie par la modélisation.

Entre 2012 et 2013, AIR Rhône-Alpes a donc travaillé à l'amélioration des outils de modélisation, avec notamment la mise en place de la nouvelle plateforme de modélisation CARTOPROX, qui prend en compte à la fois la complexité géométrique du milieu urbain à l'échelle de la rue (modèle SIRANE) et les variations des phénomènes de chimie et transport à plus grande échelle (modèle PREVALP).

La campagne de mesure réalisée dans le cadre de cette étude a apporté des améliorations complémentaires sur le domaine de la vallée du Gier : les données mesurées en PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub> et NO<sub>2</sub> sur le site mobile « La Chapelle » ont été assimilées comme données d'entrées pour les niveaux de fond de la vallée, ce qui a permis de réduire les incertitudes du modèle et d'améliorer notamment la comparaison modèle/mesure des PM<sub>10</sub> en moyennes journalières sur la station fixe de Rive-de-Gier.

Au final, la plateforme CARTOPROX a permis de fournir les cartographies annuelles 2012 et 2013 pour les particules fines (PM<sub>10</sub> et PM<sub>2.5</sub>) et le dioxyde d'azote (NO<sub>2</sub>), avec des résultats comparables aux mesures des stations fixes et avec une réelle continuité territoriale, notamment au niveau des zones interurbaines.

Par la suite, ces outils de modélisation permettront de suivre ou simuler l'évolution des niveaux et d'apporter une aide à la décision en matière de qualité de l'air concernant les politiques de transports ou autres actions menées dans le cadre du Plan de Protection de l'Atmosphère (PPA) ou du Plan de Déplacements Urbains (PDU) sur le territoire de Saint-Etienne Métropole.