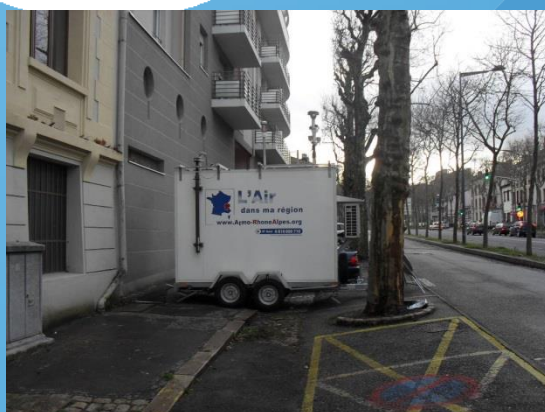


Evaluation de l'évolution de la qualité de l'air dans le cadre du PDU de l'agglomération de Saint-Etienne



MESURES REALISEES EN 2012/2013

www.air-rhonealpes.fr





Résumé



Depuis plusieurs années, AIR Rhône-Alpes met à disposition ses moyens techniques pour fournir des indicateurs de qualité de l'air et réaliser des études dans le cadre du suivi du Plan de Déplacements Urbains (PDU) de Saint-Etienne Métropole, mis en place depuis 2000 et qui doit être révisé en 2015.

Entre 2012 et 2013, AIR Rhône-Alpes a réalisé une campagne de mesures sur plusieurs sites de l'agglomération stéphanoise qui a permis de réactualiser les connaissances sur les niveaux de concentrations des polluants atmosphériques réglementés.

Dans le même temps, AIR Rhône-Alpes a également travaillé sur l'amélioration de ses outils de modélisation, avec la mise en place d'une nouvelle plateforme de modélisation (CARTPOROX), 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). Ce nouvel outil permet d'établir les cartographies annuelles de la pollution atmosphérique qui servent à évaluer l'état de la qualité de l'air sur tout le territoire, avec une haute résolution et une réelle continuité territoriale.

Cette étude dresse un bilan de la qualité de l'air en 2012 et 2013 et une évaluation de l'évolution des niveaux sur les 10 dernières années. Cette étude a notamment permis de mettre en évidence une amélioration globale de la qualité de l'air dans la zone d'aménagement urbain de la seconde ligne de tramway T2, mais sans pouvoir réellement quantifier la part liée à la baisse globale des émissions constatée depuis les 10 dernières années, de celle de l'impact du nouveau mode propre de transport en commun. Les résultats montrent également que cette amélioration est beaucoup moins visible sur certaines zones où le trafic d'hyper-centre-ville reste dense.

Les résultats de mesures et de modélisation montrent qu'en 2012 et 2013, le territoire de Saint-Etienne Métropole est toujours soumis à des risques de dépassements de valeurs réglementaires pour le dioxyde d'azote (NO₂) et les particules en suspension (PM₁₀). Un des enjeux dans le cadre de la révision du PDU de Saint-Etienne Métropole sera notamment de diminuer l'exposition de la population aux fortes concentrations mesurées à proximité du trafic, avec toute la difficulté de mener des actions spécifiques sur les zones les plus fragilisées et sans détériorer les autres zones où la qualité de l'air est bonne.

Enfin, cette étude présente les améliorations apportées aux outils de modélisation d'AIR Rhône-Alpes, qui permettront d'assister Saint-Etienne Métropole dans la préparation des éléments de diagnostic et de scénarisation demandés par la réglementation dans le cadre de la révision du PDU.



Sommaire

1. Introduction – Contexte et objectifs de l'étude.....	5
2. Matériel et méthode pour les campagnes de mesures.....	6
2.1. Sites de mesures	6
2.1.1. Sites avec tubes passifs	7
2.1.2. Stations laboratoires mobiles.....	10
2.1.3. Stations fixes de référence	11
2.2. Périodes de mesures	12
2.2.1. Mesures avec les tubes passifs.....	12
2.2.2. Mesures avec les laboratoires mobiles	12
2.2.3. Représentativité de l'échantillonnage temporel.....	12
3. Résultats des campagnes de mesures	13
3.1. Oxydes d'azote (NO et NO ₂)	13
3.1.1. Emissions	13
3.1.2. Moyennes annuelles NO	13
3.1.3. Moyennes annuelles NO ₂	14
3.1.4. Moyennes horaires NO ₂	16
3.1.5. Moyennes NO ₂ mesurées par tubes passifs	17
3.2. Evolution des niveaux NO ₂ autour de la ligne de tram T2	20
3.2.1. Rappel sur les mesures effectuées en 2002	20
3.2.2. Comparaison des niveaux avec une approche modélisation	21
3.2.1. Evolution des émissions sur la période 2000-2010	23
3.2.2. Comparaison des niveaux avec les mesures	23
3.3. Particules en suspension.....	25
3.3.1. Emissions en particules PM ₁₀	25
3.3.2. Moyennes annuelles en PM10	25
3.3.3. Moyennes journalières en PM10	27
3.3.1. Emissions en particules PM _{2,5}	29
3.3.2. Niveaux mesurés en PM2.5	30
3.4. Benzène et toluène.....	32
4. Amélioration des outils de modélisation	33
4.1. Présentation générale	33
4.1.1. Du modèle SIRANE ... au modèle CARTOPROX	33
4.1.2. Principe de la plateforme de modélisation CARTOPROX	35
4.1.3. Principe de calcul des émissions	36
4.1.1. Principe de calcul d'exposition de la population à la pollution atmosphérique	37
4.1.2. Validation du modèle avec les mesures	38
4.2. Cartographies d'exposition de la population	42
4.2.1. Cartes d'exposition au NO ₂	42
4.2.2. Cartes d'exposition aux particules PM10	44
4.2.1. Cartes d'exposition aux particules PM2.5	46
4.3. Bilan de la qualité de l'air en 2012-2013	47
4.4. Evolution de la qualité de l'air sur 10 ans	48
5. Conclusion.....	49

1. Introduction – Contexte et objectifs de l'étude

Le réseau d'AIR Rhône-Alpes est équipé de sites de mesures permanentes et de plusieurs dispositifs pour réaliser des mesures temporaires. Il dispose également d'un outil de modélisation de la qualité de l'air (SIRANE), qui a déjà été utilisé dans le cadre des travaux de révision du Plan de Protection de l'Atmosphère (PPA) de Saint-Etienne en 2010/2011.

Grâce à cela, AIR Rhône-Alpes met à disposition des indicateurs de qualité de l'air et réalise des études sur le territoire de Saint-Etienne Métropole, notamment dans le cadre du suivi du Plan de Déplacements Urbains (PDU), qui doit être révisé en 2015.

Afin d'accompagner Saint-Etienne Métropole jusqu'à la phase finale du processus de révision du PDU, le travail mené en 2012 et 2013 par AIR Rhône-Alpes visait un double objectif :

- Réaliser des campagnes de mesures afin d'obtenir des données de qualité de l'air les plus récentes possibles et également pour permettre d'évaluer les résultats de modélisation.
- Améliorer les outils de modélisation afin de pouvoir assister Saint-Etienne Métropole dans la préparation des éléments de diagnostic et de scénarisation demandés par la réglementation dans le cadre de la révision du PDU.

Dans un premier temps, le présent rapport présente donc les résultats des 2 campagnes de mesures qui ont été réalisées entre 2012 et 2013, avec 20 sites équipés de tubes passifs (concentrations moyennes mesurées sur 7 jours) répartis sur l'ensemble de l'agglomération stéphanoise, pour étudier à la fois les niveaux de fond en zone urbaine et les niveaux maximum en proximité trafic. Certains sites autour de la ligne de tramway T2 ont été repris d'une précédente étude, pour évaluer l'évolution de la qualité de l'air sur cette zone.

Deux sites laboratoires mobiles ont également été mis en place pour réaliser des mesures en continu en proximité trafic. L'un de ces sites a servi à mesurer les niveaux maximum en bordure de l'A72 (à proximité du Musée d'Art Moderne). L'autre site a été placé en bordure d'un axe urbain (boulevard Jules Janin) pour mesurer l'influence du trafic en entrée de l'agglomération de St-Etienne. Avec ce dernier site, AIR Rhône-Alpes cherchait également à étudier un autre emplacement pour le site fixe de Courbertin, qui est situé actuellement en typologie de fond périurbain, mais dont les niveaux sont parfois fortement influencés par le trafic de l'A72.

D'autres sites de mesures temporaires ont également été investigués pendant les mêmes campagnes de mesures, sur le secteur de Rive-de-Gier, à l'extrême nord-est du territoire de Saint-Etienne Métropole. Ces mesures ont été réalisées dans le cadre d'une autre étude qui visait à améliorer la modélisation des particules fines dans la vallée du Gier. Les résultats des campagnes de mesures ainsi que les améliorations apportées à la modélisation de la qualité de l'air dans la vallée du Gier font l'objet d'un autre rapport qui sera prochainement publié sur le site internet d'AIR Rhône-Alpes (« Amélioration de la cartographie des particules PM10 dans la vallée du Gier »).

La seconde partie du rapport présente les améliorations apportées aux outils de modélisation, avec notamment la mise en place de la plateforme CARTOPROX, ainsi que les cartographies d'exposition de la population pour les différents polluants atmosphériques obtenues à partir de cette modélisation, sur l'ensemble du territoire de Saint-Etienne Métropole, pour les années 2012 et 2013.

Rappel des précédents rapports publiés par AIR Rhône-Alpes :

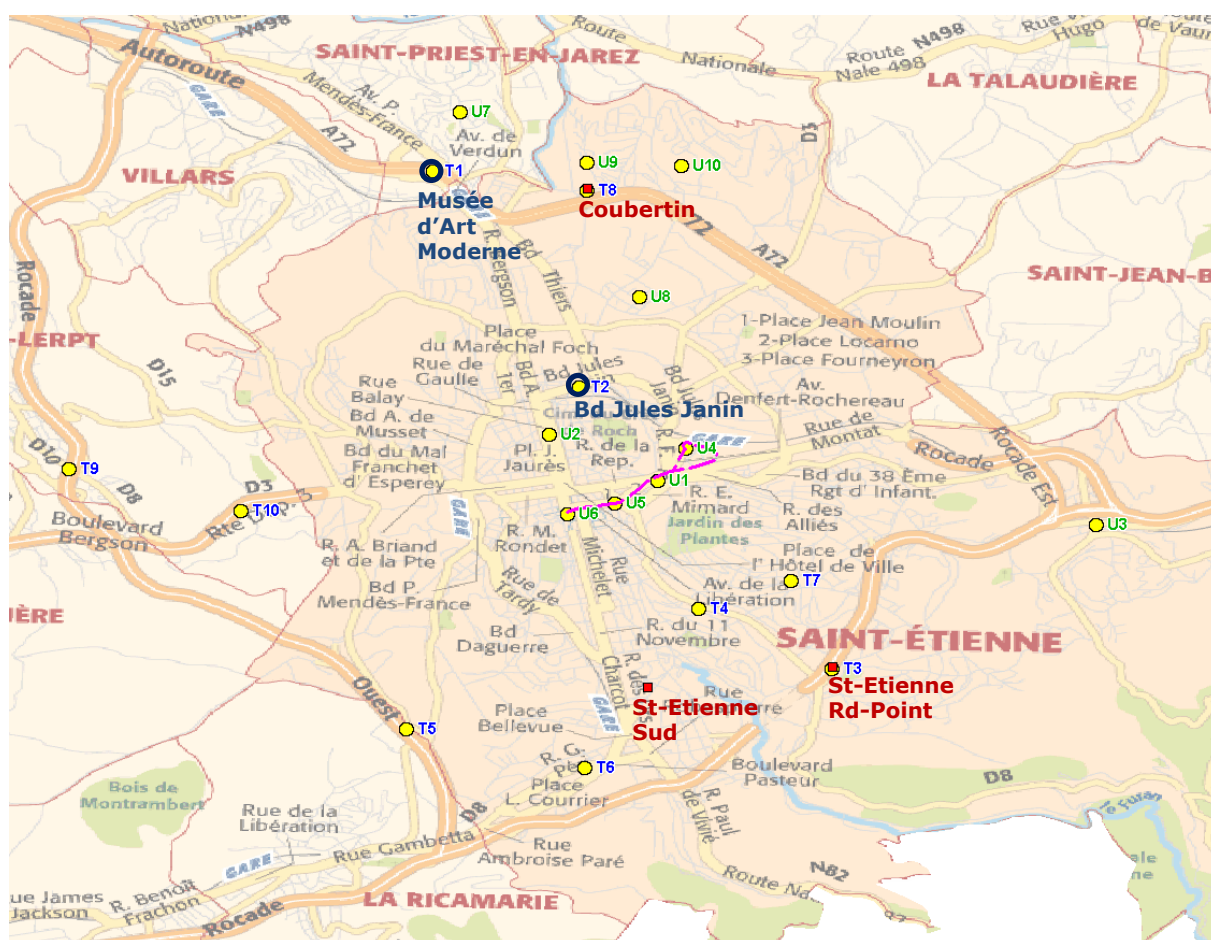
« Etat initial de la qualité de l'air pour la seconde ligne de transport en commun en site propre à Saint-Etienne – Hiver 2002/2003 »

« Evaluation environnementale du PDU de l'agglomération stéphanoise : évolution de la qualité de l'air entre 2000 et 2010 »

2. Matériel et méthode pour les campagnes de mesures

2.1. Sites de mesures

Les sites de mesures pour cette étude ont été choisis en concertation avec Saint-Etienne Métropole pour répondre aux objectifs de l'étude. Les deux sites « laboratoire mobile » ont été implantés en proximité du trafic afin de suivre les niveaux maximum rencontrés en milieu urbain. Le premier était situé en bordure de l'A72 (Musée d'Art Moderne) et le second sur un axe urbain en entrée/sortie d'agglomération (Bd Jules Janin). Ce dernier site a permis également à AIR Rhône-Alpes d'étudier la faisabilité de déplacer le site fixe de Coubertin. Les sites « tubes passifs » ont été implantés sur différentes typologies, en influence trafic (T1 à T10) ou en fond urbain (U1 à U10), avec plusieurs points positionnés sur la zone de la ligne de tram T2.



-  Sites « tubes passifs » (**Trafic / Urbain**)
-  Sites « labo mobile »
-  Sites fixes – Réseau permanent d'AIR Rhône-Alpes
-  Ligne de Tram T2

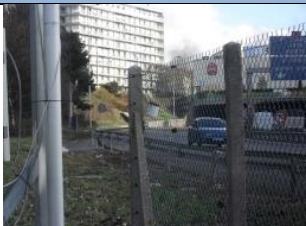
2.1.1. Sites avec tubes passifs

L'objectif des mesures par tubes passifs est d'obtenir une évaluation à la fois quantitative et qualitative des niveaux en plusieurs points d'un territoire et de pouvoir les comparer aux résultats cartographiques fournis par la modélisation.

En effet, les tubes passifs permettent de réaliser simultanément des mesures en plusieurs points et donc d'étudier la répartition spatiale des niveaux de concentrations du dioxyde d'azote (NO₂) dans différents environnements (sites en proximité automobile ou influencés par le trafic, sites en fond urbain ou périurbain). Les tubes sont laissés sur chaque site 1 ou 2 semaines et fournissent donc des concentrations moyennes d'exposition. Les mesures répétées sur plusieurs campagnes permettent d'évaluer les moyennes annuelles sur tous les points étudiés.

Pour cette étude, 20 sites ont été équipés avec des tubes passifs pour la mesure du NO₂. Des mesures complémentaires de benzène ont été réalisées sur le site Bd Jules Janin (T2), avec des tubes passifs BTX, pour comparer les niveaux sur ce site placé en entrée de centre-ville en proximité trafic avec ceux mesurés sur le site de Saint-Etienne-Sud, situé en fond urbain. Ce polluant présente généralement une variation spatiale moindre par rapport au dioxyde d'azote. Le tableau ci-dessous présente les 20 sites investigués.

* La 1^{ère} lettre du Code site indique si le site était placé plutôt en bordure de route dans un environnement influencé par le trafic [T] ou dans un environnement plus proche d'un fond urbain [U]

Code site *	Nom du site (Adresse)	Type de mesure	Photo
T1	Musée d'Art Moderne (Rue F. Léger / A72 St-Priest-en-Jarez)	Site Labo mobile + Tube NO2	
T2	Jules Janin (24 bd Jules Janin Saint-Etienne)	Site Labo mobile + Tube NO2 + BTX	
T3	St-Etienne Rond Point (rue E. Renan / N88 Saint-Etienne)	Site Fixe + Tube NO2	
T4	Cours Fauriel (49 Cours Fauriel Saint-Etienne)	Tube NO2	

2.1.2. Stations laboratoires mobiles

Deux stations mobiles, équipées d'analyseurs automatiques, ont permis de suivre l'évolution des principaux polluants réglementés. Les concentrations sont mesurées en continu, déclinées sur un pas de temps horaire ou journalier.

Site Musée d'Art Moderne (T1) Typologie : Trafic (le long de l'A72)	Adresse Rue Fernand Léger 42270 Saint-Priest-en-Jarez Polluants mesurés Oxydes d'azote (NO, NO₂) Poussières (PM₁₀)	
Ce site a été implanté sur une zone à proximité de l'autoroute A72 pour mesurer les concentrations maximales liées au trafic automobile circulant sur les grandes voies rapides urbaines autour de Saint-Etienne.		

Site Boulevard Jules Janin (T2) Typologie : Trafic (le long du boulevard Jules Janin)	Adresse 24 boulevard Jules Janin 42000 ST Etienne Polluants mesurés Oxydes d'azote (NO, NO₂) Poussières (PM₁₀ et PM_{2.5}) Benzène (BTX)	
Ce site a été implanté sur un boulevard urbain à l'entrée nord de l'agglomération de Saint-Etienne pour mesurer les niveaux maximum auxquels la population peut être exposée en milieu urbain. Ce site a servi également à étudier les niveaux pour le déplacement du site fixe de Coubertin sur un site trafic en milieu urbain (dans le cadre des modifications du réseau d'Air Rhône-Alpes prévues dans le Plan Régional de Surveillance de la Qualité de l'Air).		

2.1.3. Stations fixes de référence

Les mesures effectuées par les deux laboratoires mobiles sont comparées à celles des stations fixes du réseau permanent 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.

Sites fixes de mesure d'AIR Rhône-Alpes			
territoire de Saint-Etienne Métropole	Saint-Etienne Sud Typologie du site : Urbaine		- Dioxyde de soufre (SO₂) - Oxydes d'azote (NO_x) - Ozone (O₃) - Particules fines (PM₁₀ et PM_{2.5})
	Saint-Etienne Rond-Point Typologie du site : Trafic		- Oxydes d'azote (NO_x) - Particules fines (PM₁₀ et PM_{2.5})
	Saint-Etienne Coubertin Typologie du site : Périurbaine		- Oxydes d'azote (NO_x) - Ozone (O₃) - Particules fines (PM₁₀)
	La Talaudière Typologie du site : Périurbaine		- Oxydes d'azote (NO_x) - Ozone (O₃) - Particules fines (PM₁₀)
territoire du Grand Lyon	A7 Sud Lyonnais Typologie du site : Trafic		- Oxydes d'azote (NO_x) - Particules fines (PM₁₀ et PM_{2.5})

2.2. 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).

2.2.1. Mesures avec les tubes passifs

Les mesures par tubes passifs se sont déroulées sur 2 campagnes, avec des prélèvements sur 2 x 2 semaines à chaque campagne, aux dates suivantes :

Campagne	Saison	Prélèvements	Début	Fin
1	Automne/Hiver	1a (14j)	06/12/2012	20/12/2013
		1b (14j)	20/12/2012	03/01/2013
2	Printemps/Été	2a (14j)	28/03/2013	11/04/2013
		2b (14j)	11/04/2013	25/04/2013

2.2.2. Mesures avec les laboratoires mobiles

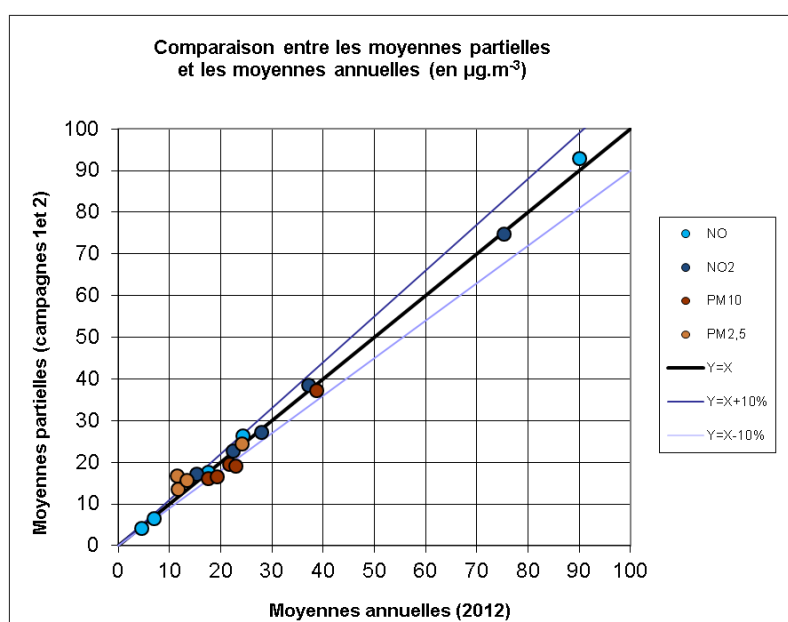
Les deux stations mobiles ont permis de réaliser des mesures en continu sur les 2 mêmes campagnes, sur un peu plus de 6 semaines à chaque campagne (soit 12 à 13 semaines de mesures sur l'année).

Campagne	Saison	Sites mobiles	Début	Fin
1	Automne/Hiver	Musée d'Art moderne	29/11/2012	14/01/2013
		Bd Jules Janin	06/12/2012	21/01/2013
2	Printemps/Été	Musée d'Art moderne	14/03/2013	13/05/2013
		Bd Jules Janin	14/03/2013	30/04/2013

2.2.3. 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.

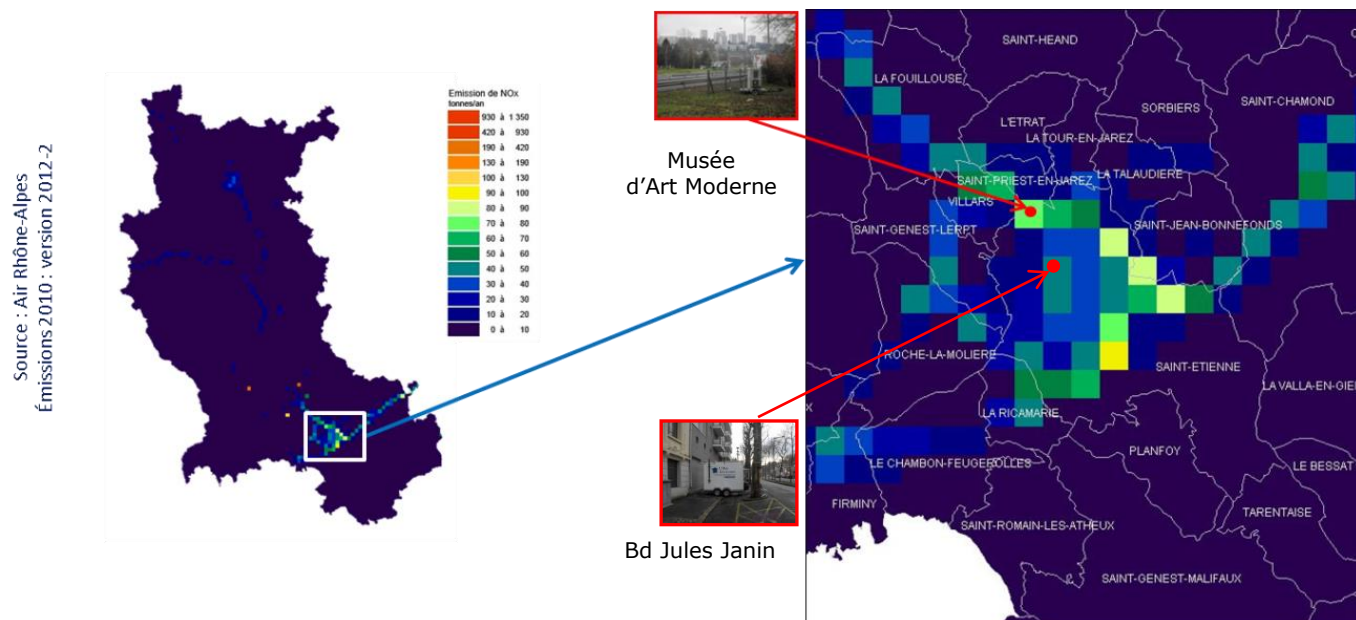


3. Résultats des campagnes de mesures

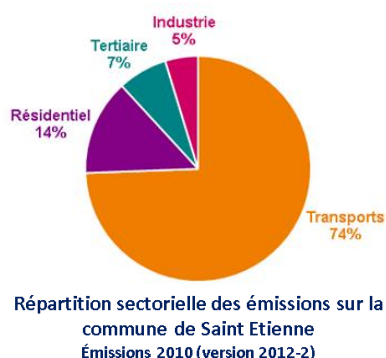
3.1. Oxydes d'azote (NO et NO₂)

3.1.1. Emissions

Répartition géographique des émissions d'oxyde d'azote (NO_x = NO + NO₂)



Répartition sectorielle des émissions d'oxyde d'azote (NO_x = NO + NO₂)



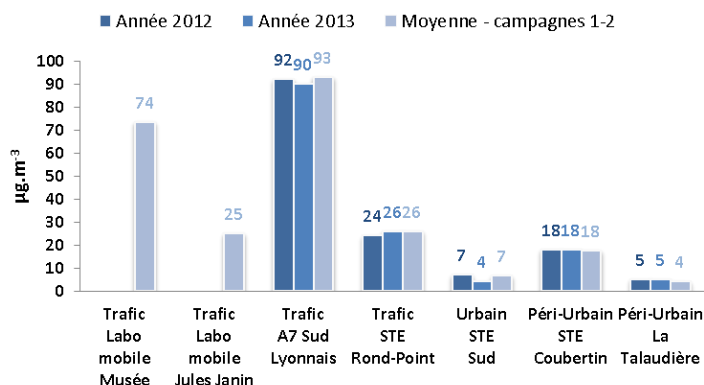
Sur Saint Etienne, les oxydes d'azote proviennent majoritairement du transport routier avec 74% des émissions.

3.1.2. Moyennes annuelles NO

Pour le NO, il n'existe pas de valeurs réglementaires. Cependant, sa mesure fournit une information sur l'influence du trafic automobile.

Moyenne annuelle - NO

Pour la majorité des stations de référence, les niveaux les plus élevés ont été mesurés lors de la campagne hivernale (campagne 1 de déc. 2012 à janv. 2013), qui constitue la période la plus propice à l'accumulation des polluants primaires.



Les niveaux en NO sur le site « Jules Janin », à proximité d'un boulevard urbain à l'entrée nord de Saint-Etienne, sont de l'ordre de $25 \mu\text{g.m}^{-3}$ en moyenne annuelle. Cette moyenne est équivalente à celle mesurée en proximité trafic au sud de l'agglomération (St-Etienne Rond-Point).

Les niveaux en fond urbain ou périurbain sont environ 5 fois moins élevés qu'en proximité trafic, car la concentration en NO diminue rapidement en s'éloignant des sources de trafic. En effet, une fois émis par les véhicules, le NO entre rapidement dans des cycles de réactions avec l'oxygène de l'air ou d'autres composés, pour former notamment le dioxyde d'azote (NO_2).

Sur le site « Musée », à proximité directe de la circulation sur l'A72, la moyenne annuelle en NO est estimée à $75 \mu\text{g.m}^{-3}$, soit environ 3 fois plus élevée qu'en proximité du trafic en centre-ville. Ces niveaux sont équivalents à ceux mesurés à proximité de l'A7 dans le sud lyonnais, ce qui montre l'impact du trafic en proximité autoroutière.

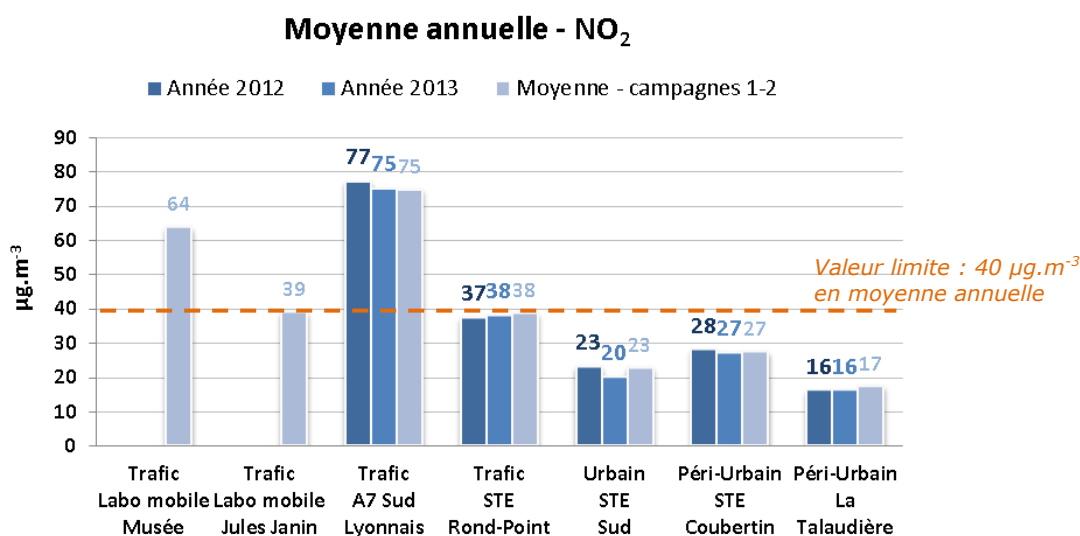
Le site de Coubertin est implanté en zone périurbaine, mais il n'est pas complètement représentatif d'une telle typologie car il subit parfois l'influence du trafic de l'A72. Les niveaux en NO sur site se situent entre les niveaux de fond et les niveaux de proximité trafic du centre urbain. C'est une des raisons pour lesquelles AIR Rhône-Alpes souhaite déplacer ce site.

Les niveaux de NO en moyenne annuelle pour l'année 2012 et l'année 2013 sont quasi équivalents sur l'ensemble des sites de référence.

3.1.3. Moyennes annuelles NO_2

Pour le dioxyde d'azote (NO_2), la réglementation fixe des valeurs à respecter en moyenne annuelle et en moyenne horaire.

La valeur limite en moyenne annuelle est fixée à $40 \mu\text{g.m}^{-3}$.



La moyenne annuelle en NO_2 sur le site mobile « boulevard Jules Janin » est estimée à $39 \mu\text{g.m}^{-3}$. Elle est très proche de la valeur limite réglementaire. Cette moyenne est équivalente à celle observée sur le site trafic « ST-Etienne Rond-Point ». Les concentrations mesurées sur ces deux sites sont caractéristiques d'une typologie de proximité trafic en milieu urbain.

En s'éloignant de la source trafic, les niveaux de fond urbain en moyenne annuelle sont presque 2 fois inférieurs. En règle générale, pour le NO_2 , les concentrations de fond sont atteintes à partir d'une distance à la route qui peut varier entre 50 m et 300 m. Cette distance varie en fonction de l'intensité du trafic, de la vitesse de circulation et de la géographie ou l'urbanisation proche, parfois défavorables à la dispersion.

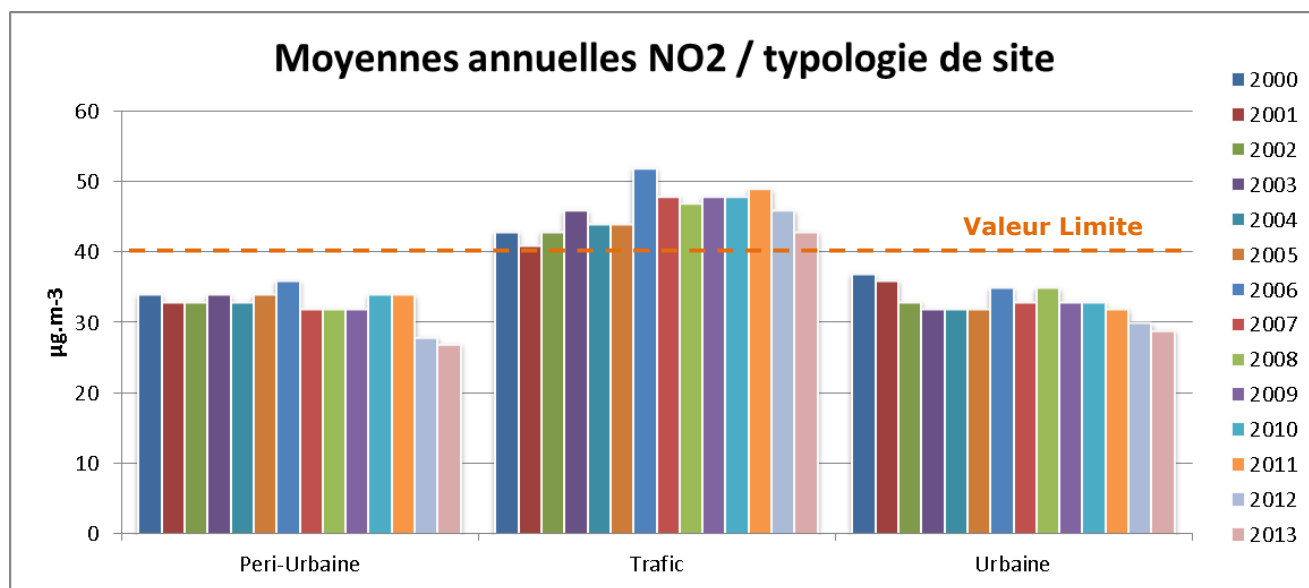
Sur le site mobile « Musée », la moyenne annuelle en NO_2 est estimée à $64 \mu\text{g.m}^{-3}$, soit environ 1,5 fois plus élevée que la moyenne enregistrée en proximité du trafic urbain.

Elle dépasse donc la valeur limite fixée à $40 \mu\text{g.m}^{-3}$. Cette moyenne est équivalente à celle mesurée sur le site « A7 sud lyonnais », ce qui confirme l'impact du trafic en proximité autoroutière.

Sur le site de Coubertin, les niveaux en NO_2 sont légèrement plus élevés qu'en fond urbain ou périurbain, ce qui confirme l'influence du trafic sur ce site.

Enfin, comme pour le NO , les niveaux de NO_2 en moyenne annuelle pour l'année 2012 et l'année 2013 sont quasi équivalents sur l'ensemble des sites de référence.

Le graphique suivant présente l'évolution des concentrations en moyennes annuelles pour le NO_2 avec les niveaux maxima observés par typologie sur l'ensemble des sites fixes de la Loire depuis 2000.



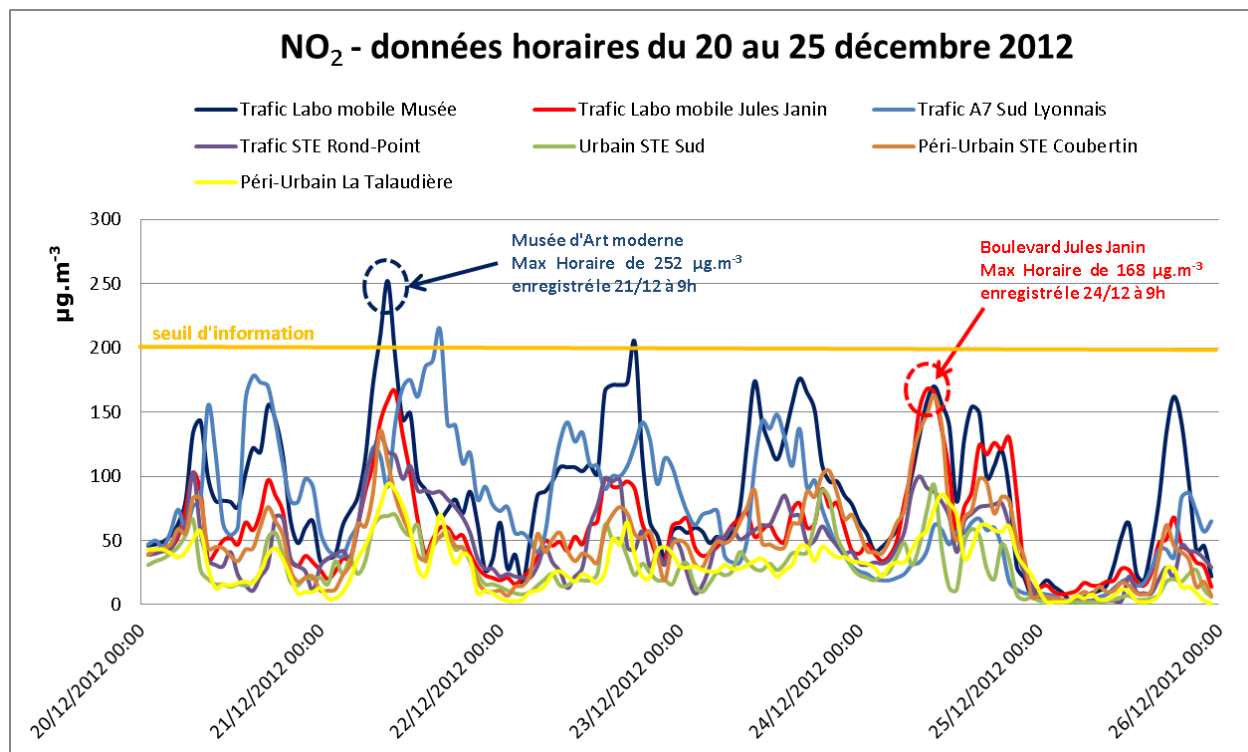
MOYENNES ANNUELLES EN NO_2 SUR LE SITE FIXE STEPHANOIS LE PLUS EXPOSE PAR TYPOLOGIE DE SITE

Ce graphe montre une certaine stabilité des niveaux de fond urbain et périurbain depuis 2000 et montre en revanche une tendance à l'augmentation des niveaux en proximité trafic, au moins jusqu'en 2011.

3.1.4. Moyennes horaires NO₂

Concernant les données horaires, la valeur limite réglementaire est fixée à 200 µg.m⁻³ et ne doit pas être dépassée plus de 18 fois par an. Cette même concentration sur 1 heure définit le seuil d'information et de recommandation pour les personnes sensibles.

Le graphe ci-dessous présente les données horaires mesurées sur la période du 20 au 25 décembre 2012, durant laquelle ont été observées les concentrations maximales sur les deux sites mobiles.



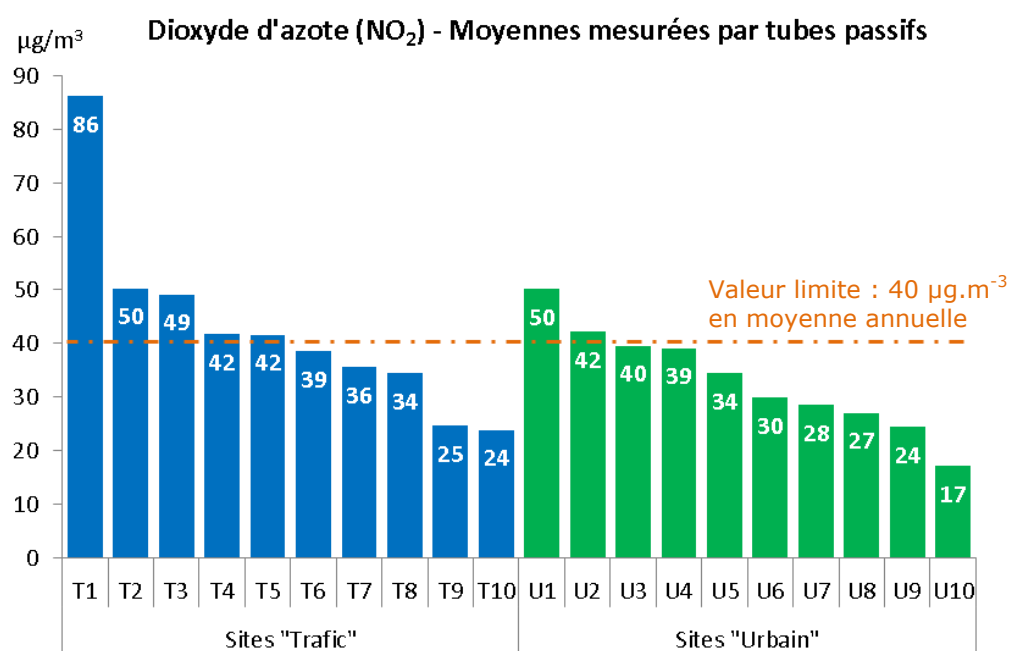
Sur le site mobile « Musée », à proximité de l'A72, le seuil horaire de 200 µg.m⁻³ a été dépassé 7 fois sur la 1^{ère} campagne et 6 fois sur la 2^{ème} campagne, avec une valeur maximale horaire observée à 252 µg.m⁻³.

Sur ces mêmes périodes, le site « A7 sud lyonnais » a enregistré 1 seul dépassement du seuil d'information sur la 1^{ère} campagne et 2 dépassements sur la 2^{ème} campagne. Mais sur l'ensemble d'une année, sur ce même site, il a été observé 66 dépassements en 2012 (maximum horaire : 295 µg.m⁻³) et 33 dépassements en 2013 (maximum horaire : 244 µg.m⁻³). Ceci laisse présager qu'à proximité de l'A72, le seuil horaire de 200 µg.m⁻³ peut être dépassé plus de 18 fois par an, et que la réglementation n'est alors pas respectée.

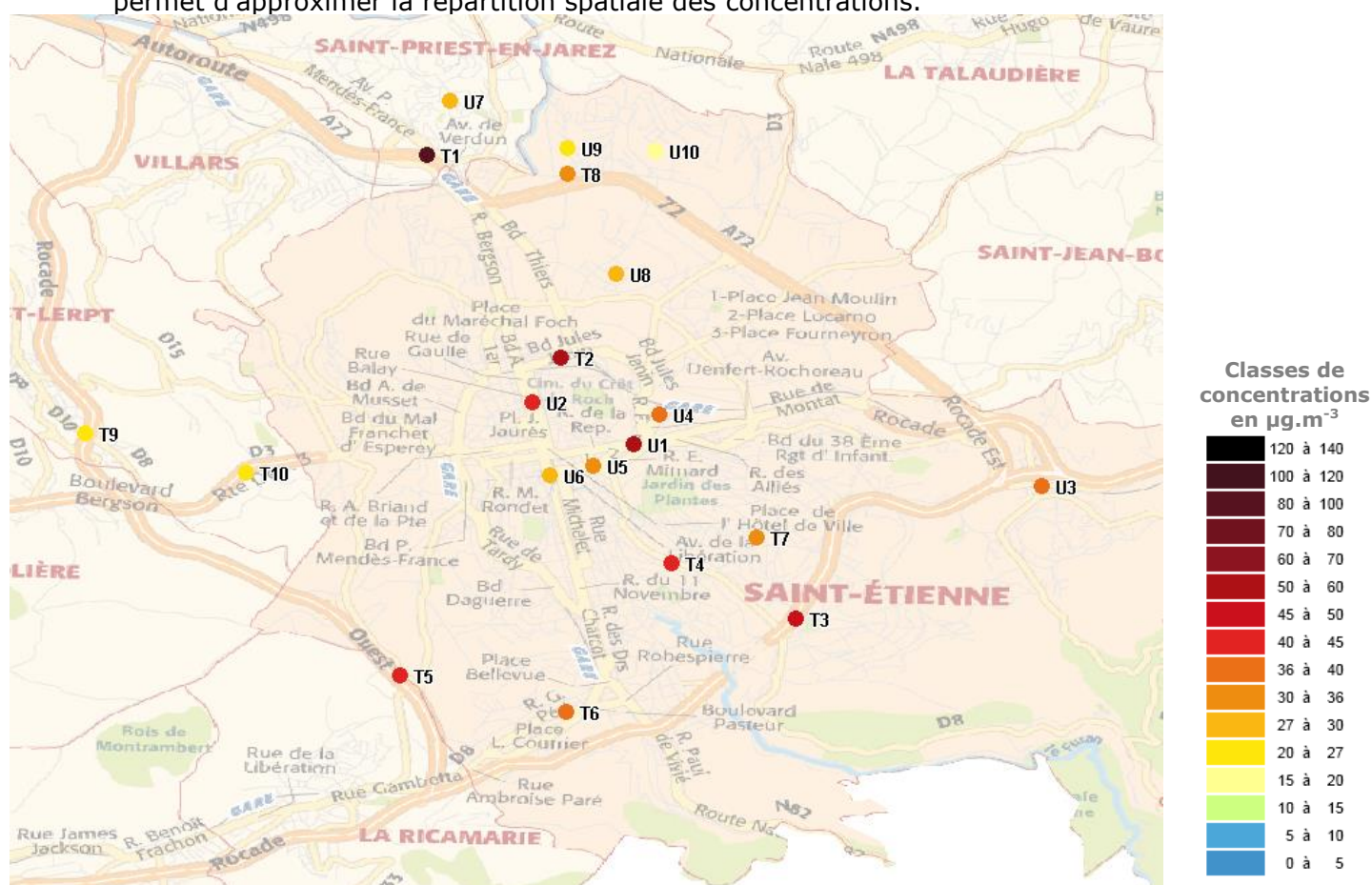
Sur le site « Jules Janin », le maximum horaire observé sur l'ensemble des deux campagnes de mesures est de 168 µg.m⁻³. Aucun dépassement de la valeur limite horaire n'a donc été constaté sur ce site mobile ni sur les autres sites de référence autour de Saint-Etienne.

3.1.5. Moyennes NO₂ mesurées par tubes passifs

Le graphe ci-dessous présente les moyennes calculées sur l'ensemble des campagnes de mesures (4 x 2 semaines) pour les 20 sites équipés de tubes passifs.



La carte ci-dessous présente les mêmes résultats sur une carte géo-référencée, ce qui permet d'approximer la répartition spatiale des concentrations.

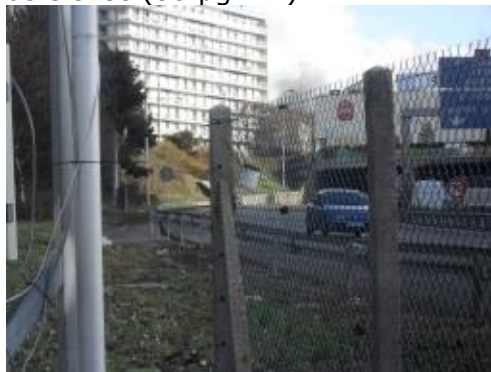


Pour les sites implantés dans un environnement influencé par le trafic, il est possible de distinguer 4 groupes :

Le site T1 : qui mesure la concentration la plus élevée ($86 \mu\text{g.m}^{-3}$).

Ce site est représentatif des niveaux maximum qui peuvent être enregistrés en bordure d'axe autoroutiers (ici : A72) ou sur d'autres axe avec un trafic équivalent circulant à la périphérie de Saint-Etienne.

Il est à noter tout de même que les niveaux plus élevés observés sur ce site pourraient être dus à un effet « tunnel », lié au fait que les véhicules sortent d'une trémie située à quelques centaines de mètres de ce site (cf. photo ci-contre).



Site T1 (Musée d'Art Moderne - Axe A72)

Les sites T2 à T6 : qui mesurent des concentrations comprises entre 50 et 39 $\mu\text{g.m}^{-3}$.

Ces sites enregistrent des niveaux qui oscillent autour de la valeur limite en moyenne annuelle ($40 \mu\text{g.m}^{-3}$), avec donc une forte probabilité de pouvoir la dépasser. Ces sites sont situés principalement dans le centre urbain de Saint-Etienne.

Les sites T7 et T8 : qui mesurent des concentrations de 36 et 34 $\mu\text{g.m}^{-3}$. Ces 2 sites présentent des niveaux qui respectent a priori la valeur limite en moyenne annuelle, mais qui subissent une certaine influence du trafic à proximité du site (Boulevard de Normandie pour le site T7 et A72 pour le site T8).

Les sites T9 et T10 : qui mesurent des concentrations de 25 et 24 $\mu\text{g.m}^{-3}$ avec des niveaux qui sont donc moins élevés que sur les autres sites trafic. Ceci peut sans doute s'expliquer par un flux moins important et moins dense de véhicules sur la partie ouest du territoire (commune de St Genest Lerpt), mais aussi (pour le site T9) par l'éloignement du site de mesure vis-à-vis de l'axe principal (cf. photos ci-après).



Site T9 (19 rue P. et M. Curie – Axe D201-D8)



Site T10 (Impasse B. Thimonnier – Axe D3)

Pour les sites implantés dans un environnement urbain, il est possible de distinguer 3 groupes :

Les sites U1 à U4 : qui mesurent des concentrations comprises entre 50 et 39 $\mu\text{g.m}^{-3}$. Ils enregistrent des niveaux équivalents aux sites trafic T2 à T6, avec également une forte probabilité de dépasser la valeur limite en moyenne annuelle (40 $\mu\text{g.m}^{-3}$). Ceci s'explique par le fait que ces sites sont implantés en centre-ville ou en milieu urbain dense et qu'ils subissent l'influence du trafic environnant.

Les sites U5 à U8 : qui mesurent des concentrations comprises entre 34 et 27 $\mu\text{g.m}^{-3}$. Ces sites sont représentatifs des niveaux de fond rencontrés généralement en milieu urbain, avec des moyennes annuelles qui respectent a priori la valeur limite.

Les sites U9 et U10 : qui mesurent des concentrations inférieures à 25 $\mu\text{g.m}^{-3}$. Ces 2 sites sont représentatifs des niveaux de fond rencontrés dans les zones périurbaines, généralement moins denses en termes de bâti et de trafic.

NB : Il est important de noter que, généralement, les mesures par tubes passifs réalisées par les laboratoires d'analyses présentent une incertitude de mesure qui se situe autour de 20% pour une mesure ponctuelle sur 1 mois et autour de 10-15% pour une moyenne annuelle¹. Par ailleurs, AIR Rhône-Alpes et plusieurs autres AASQA ont identifié un biais entre les concentrations mesurées par tubes passifs et celles mesurées avec les analyseurs, d'autant plus lorsque les tubes sont placés dans un environnement influencé par le trafic. En effet, les mesures par tubes passifs ont tendance à surestimer les concentrations les plus élevées ($> 40 \mu\text{g.m}^{-3}$), avec un écart pouvant aller jusqu'à 30%. Dans le cas de la présente étude, l'écart observé sur les 4 sites équipés à la fois de tubes et d'analyseurs (T1, T2, T3 et T8), se situe autour de 25% à 30%. Néanmoins, il a été décidé de ne pas appliquer d'ajustement ou de correction sur les résultats obtenus par tubes passifs car, d'une part, le nombre de points de comparaison tubes/analyseurs est insuffisant statistiquement, et d'autre part, pour permettre une comparaison avec les mesures réalisées en 2002/2003 (voir prochain paragraphe).

¹ Calibration of diffusive samplers for nitrogen dioxide using the reference method -Evaluation of measurement uncertainty, U. Pfeffer & al. *Gefahrstoffe Reinhaltung der Luft*, 70 (2010) Nr. 11/12 - Nov./Dec.

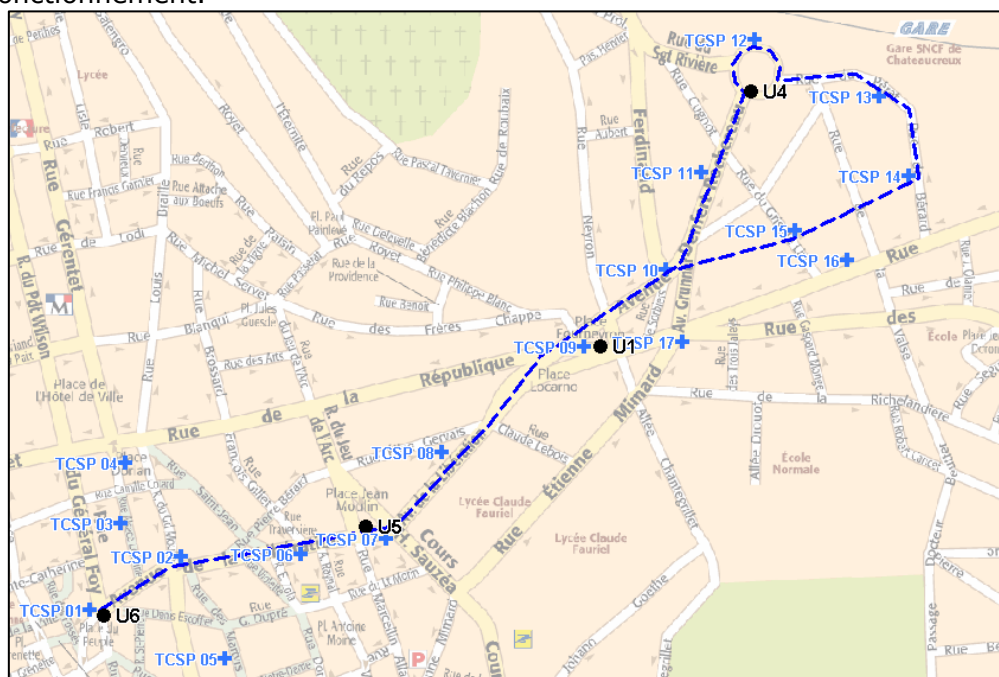
3.2. Evolution des niveaux NO₂ autour de la ligne de tram T2

3.2.1. Rappel sur les mesures effectuées en 2002

Lors de l'étude « Etat initial de la qualité de l'air pour la seconde ligne de transport en commun en site propre à Saint-Etienne », des mesures avec des tubes passifs NO₂ avaient été réalisées sur 2 périodes de 2 semaines consécutives, mais uniquement durant l'hiver : du 4 au 18 novembre 2002, puis du 18 novembre au 2 décembre 2002. La figure suivante illustre la localisation des tubes NO₂ investigués lors de cette étude le long du tracé prévisionnel de la ligne de Tramway T2.



La figure suivante présente la localisation des sites qui ont été repris pour la campagne de mesures en 2012/2013 : U4, U1, U5 et U6, implantés le long de la ligne de tramway T2 en fonctionnement.



3.2.2. Comparaison des niveaux avec une approche modélisation

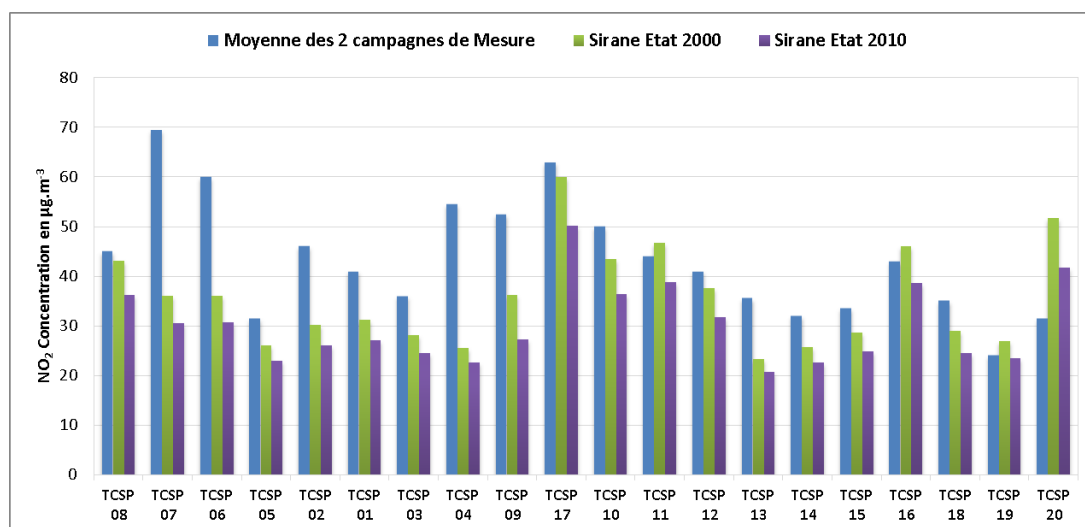
En 2011, lors de l'étude « Evaluation environnementale du PDU de l'agglomération stéphanoise : évolution de la qualité de l'air entre 2000 et 2010 », le modèle SIRANE avait permis de modéliser un état de qualité de l'air « réel » en 2010 avec toutes les données d'entrées disponibles (émissions 2010, météo 2010 et la pollution de fond 2010) et de le comparer avec un état « fictif » modélisé pour l'année 2000, avec des émissions calculées sur l'année 2000 mais en prenant les données météorologiques et de pollution de fond issues de l'année 2010. La modélisation sur l'année 2002 était délicate à réaliser car les données météorologiques de 2002 étaient incomplètes, voir manquantes, et car les données d'émissions (parc roulant et trafic) dataient de l'année 2000.

Les données utilisées pour le calcul des émissions 2010 étaient issues de la modélisation trafic 2006 (réalisée par le bureau d'étude EPURES) qui intégrait la ligne de tramway T2. En revanche, le réseau routier était celui de l'année 2000, c'est-à-dire sans prise en compte des modifications de voiries engendrées par la construction du tramway.

Le tableau suivant synthétise les hypothèses sur les données entrantes.

Données entrantes SIRANE	Réseau trafic	Trafic	Emissions	Pollution de fond	Météorologie
Etat « fictif » 2000	2000	2000	2000	2010	2010
Etat « réel » 2010	2000	2006	2010	2010	2010

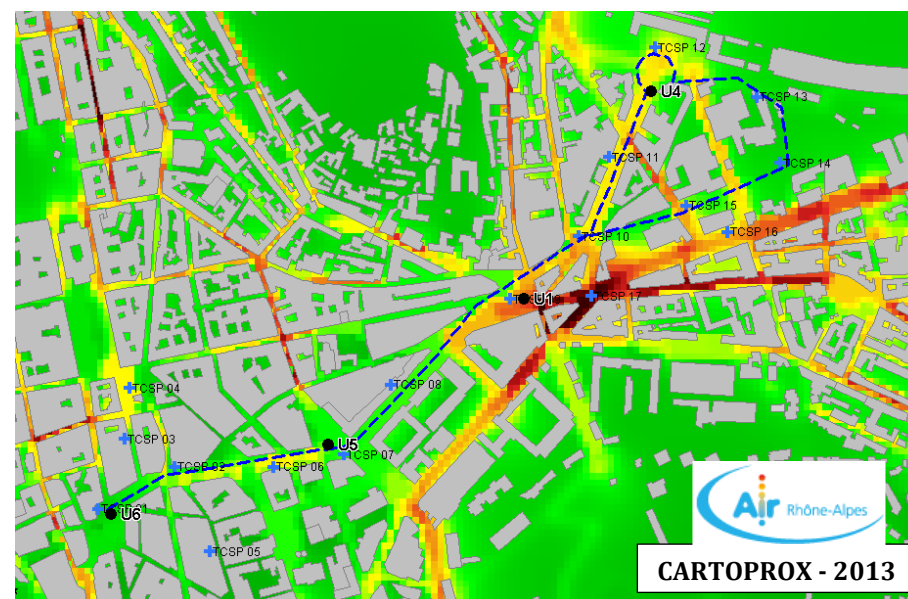
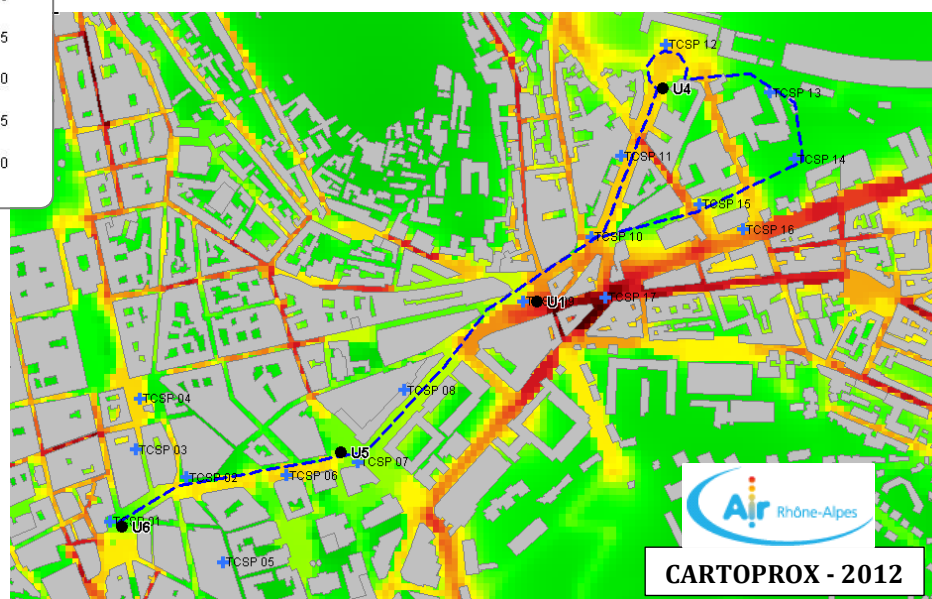
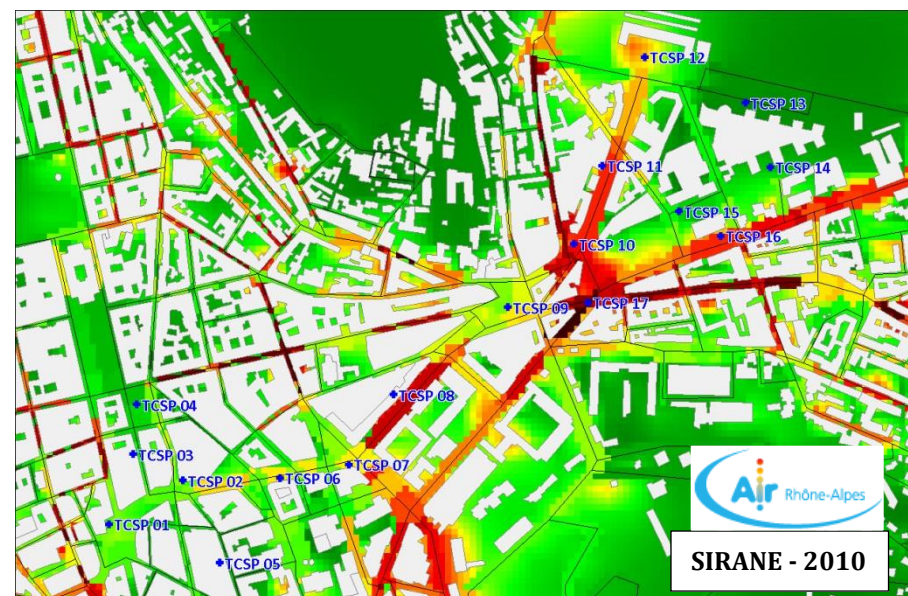
Le graphe suivant présente la comparaison des concentrations mesurées sur les sites tubes passif avec les résultats, sur ces mêmes points, des moyennes annuelles issues du modèle SIRANE pour l'état « fictif » **SIRANE 2000** (avant mise en service du tram) et pour l'état « réel » **SIRANE 2010** (après mise en service du tram).



Sur la plupart des sites, les niveaux mesurés pendant l'hiver 2002-2003 sont plus élevés que les concentrations annuelles calculées par le modèle. Ceci peut s'expliquer par le fait que les conditions hivernales (températures froides, inversion thermique, ...) sont propices aux émissions et à l'accumulation des polluants dans les basses couches de l'atmosphère.

La comparaison des résultats de modélisation entre 2000 et 2010 montre sur tous les sites une baisse plus ou moins importante des concentrations NO₂ en moyenne annuelle. Cette baisse est en moyenne de 5 µg.m⁻³ sur l'ensemble des sites de mesures, ce qui représente une amélioration d'environ 15 % de la qualité de l'air entre 2000 et 2010.

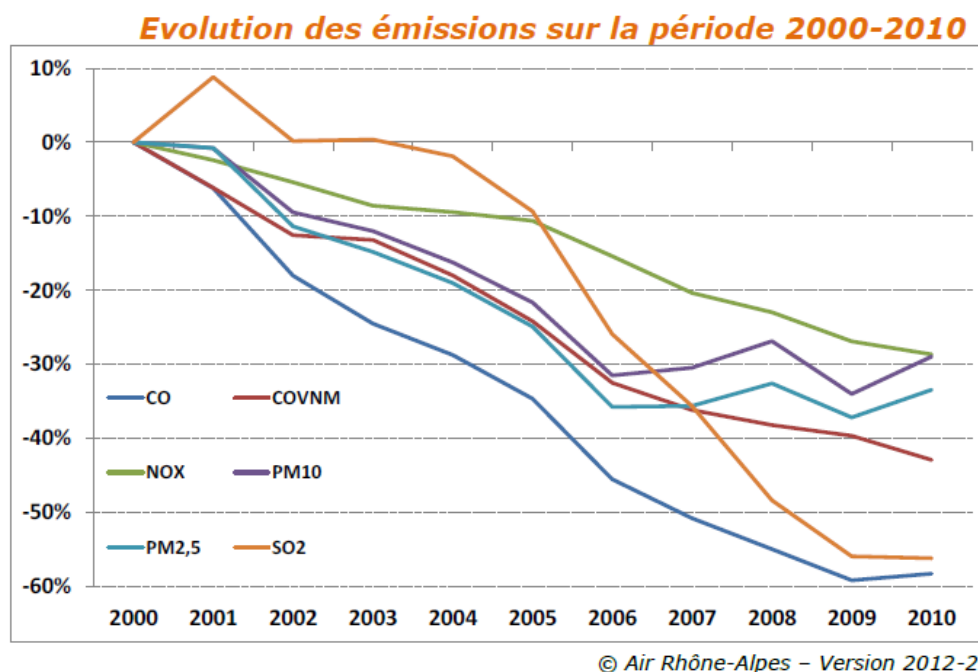
La page suivante illustre ces résultats avec les cartographies des moyennes annuelles calculées avec le modèle SIRANE pour l'état fictif 2000 et l'état 2010, sur la zone autour du tracé de la ligne de tram T2. Afin d'affiner la comparaison, 2 autres figures présentent les cartographies des moyennes annuelles pour les années 2012 et 2013, calculées avec la nouvelle plateforme de modélisation CARTOPROX (voir explications plus loin).



3.2.3. Evolution des émissions sur la période 2000-2010

Le graphe ci-dessous présente l'évolution des émissions de polluants entre 2000 et 2010, en écart relatif par rapport à l'année 2000, prise comme année de référence.

Les résultats sont issus du cadastre des émissions polluantes qui est calculé sur la base d'un grand nombre de données recensées (population, comptages routiers, déclaration industrielles, etc.). La dernière année pour laquelle toutes ces données ont été collectées est l'année 2010.



Ce graphe montre que les émissions de polluants atmosphériques sont globalement en baisse sur les 10 dernières années. Les diminutions d'émissions les plus significatives concernent le CO (essentiellement d'origine automobile) et le SO₂ (traceur historique de la pollution industrielle). D'autres polluants, comme les oxydes d'azote (NOx) et les particules PM₁₀, montrent également une baisse mais plus modérée.

Au niveau de l'amélioration observée pour les concentrations du NO₂ en air ambiant dans la zone d'aménagement urbain de la seconde ligne de tramway T2, il est donc difficile de quantifier la part due à la baisse des émissions de celle due à l'impact de la mise en place d'un nouveau mode de transport en commun.

3.2.4. Comparaison des niveaux avec les mesures

L'évolution des niveaux sur la zone du tracé de la ligne de Tram T2 a également été évaluée à partir de mesures réalisées sur les sites qui ont été repris pour la campagne de mesures en 2012/2013.

Afin de pouvoir comparer les niveaux entre les deux études, les mesures ont été considérées avec la même durée d'exposition (2 x 2 semaines consécutives) et sur la même saison hivernale (où, malgré un léger décalage des périodes de mesures, les conditions sont généralement propices à l'accumulation des polluants dans les basses couches de l'atmosphère):

- Hiver 2002/2003 : du 4/11/02 au 02/12/02
- Hiver 2012/2013 : du 6/12/12 au 03/01/13

Le tableau suivant présente les résultats des concentrations moyennes en NO₂ comparées entre 2002 et 2012 :

Nom du site		Description	Moyennes NO ₂ (en µg.m ⁻³)		Ecart		Evolution
en 2002	en 2012		Hiver 2002	Hiver 2012	Brut (µg.m ⁻³)	Relatif (%)	
TCSP 01	U6	Place du peuple	41	33	-8	-20%	Baisse
TCSP 02		Av. Libération	46				
TCSP 03		Rue Alsace-Lorraine	36				
TCSP 04		Place Dorian	55				
TCSP 05		Rue Martyrs de Vingré	32				
TCSP 06		Av. Libération - La Poste	60				
TCSP 07	U5	Place Jean Moulin	70	36	-33	-48%	Baisse
TCSP 08		Av. Libération - DDE	45				
TCSP 09	U1	Place Fourneyron	53	53	0	+1%	Stabilité
TCSP 10		AV.Denfert Rochereau	50				
TCSP 11		Av. denfert Rochereau	44				
TCSP 12	U4	Gare Châteaueux	41	44	3	+7%	Stabilité
TCSP 13		Rue du Pérat	36				
TCSP 14		Rue Bérard	32				
TCSP 15		Rue Bérard - Casino	34				
TCSP 16		Rue de la Montat	43				
TCSP 17		Carrefour Montat_BUC	63				
TCSP 18		Station fixe Coubertin	35				
TCSP 19		Station fixe STE Sud	24				
TCSP 20		Station fixe STE Rond-Point	32				
MOYENNE GLOBALE sur les 4 sites			51	42	-9	-19%	Baisse

Sur les sites U4 (Gare de Châteaueux) et U1 (Place Fourneyron), les moyennes des concentrations en NO₂ entre l'hiver 2002 et l'hiver 2012 montrent une légère hausse comprise entre 1% et 7%, ce qui peut être considéré comme des niveaux relativement stables, compte-tenu de l'incertitude liée à la mesure et aux conditions météorologiques.

En revanche, sur les sites U5 (Place Jean Moulin) et U6 (Place du peuple), les résultats montrent des écarts compris entre -20% et presque -50%, ce qui peut être considéré comme une baisse des concentrations.

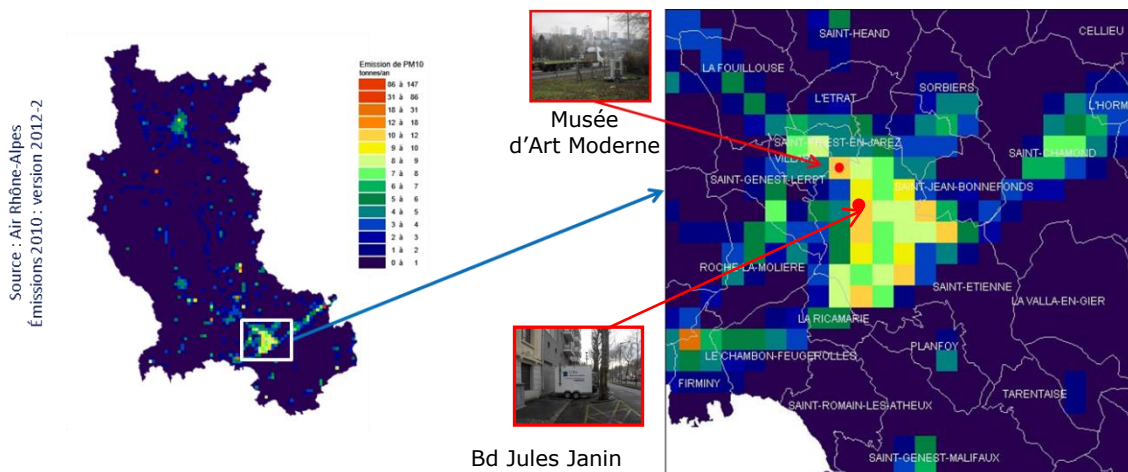
En moyenne sur l'ensemble des 4 sites de mesure, ceci représente une amélioration globale d'environ 20% des niveaux de NO₂ entre 2002 et 2012, ce qui est du même ordre de grandeur que la comparaison des résultats issus de la modélisation.

En conclusion, l'ensemble de ces résultats permet de mettre en évidence une amélioration globale de la qualité de l'air dans la zone d'aménagement urbain de la seconde ligne de tramway T2. Mais il serait toutefois hasardeux d'imputer uniquement à cette ligne de transport en commun tous les tributs de cette amélioration. En effet, la modernisation du parc routier tend à jouer un grand rôle dans la réduction des émissions des polluants. D'autre part, les résultats de modélisation et de mesures montrent que cette amélioration est moins marquée sur certaines zones où le trafic d'hyper-centre-ville reste dense (comme, par exemple, la Gare de Châteaueux ou la Place Fourneyron).

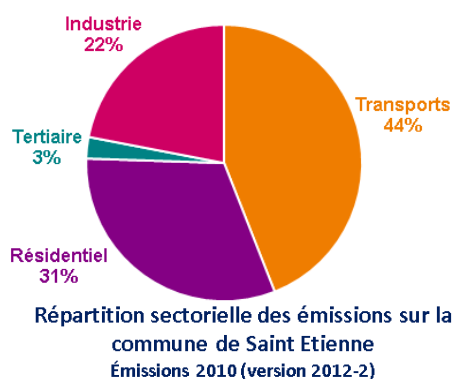
3.3. Particules en suspension

3.3.1. Emissions en particules PM₁₀

Répartition géographique des émissions de particules fines en suspension (PM₁₀)



Répartition sectorielle des émissions de particules fines en suspension (PM₁₀)



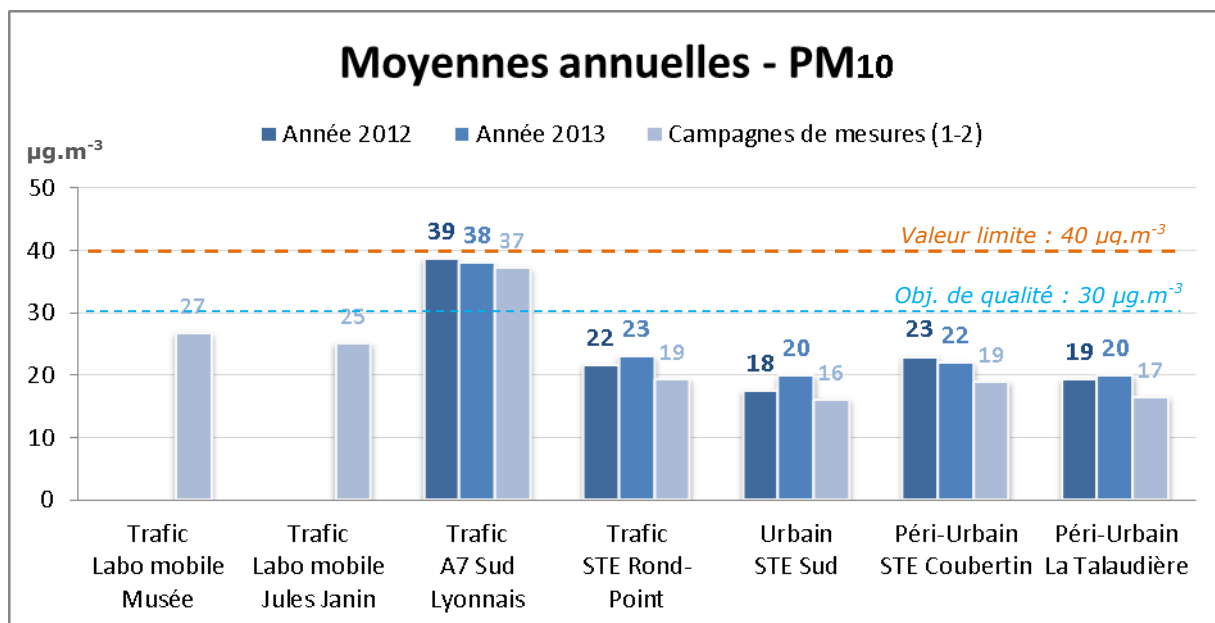
Sur Saint-Etienne, la part des émissions de fines particules (PM₁₀) liée au trafic représente une grande partie avec 44% du total. Viennent ensuite les émissions liées aux secteurs résidentiels (31%) puis celle liées aux activités industrielles (22%), qui représentent des parts non négligeables.

3.3.2. Moyennes annuelles en PM₁₀

Pour les particules PM₁₀, la réglementation fixe des valeurs limites à respecter sur l'année : 40 µg.m⁻³ en moyenne annuelle et 50 µg.m⁻³ en moyenne journalière à ne pas dépasser plus de 35 jours par an.

La réglementation fixe également des seuils à ne pas dépasser en moyenne journalière, comme le seuil d'information et de recommandations pour les personnes sensibles ($50 \mu\text{g.m}^{-3}$) et le seuil d'alerte ($80 \mu\text{g.m}^{-3}$).

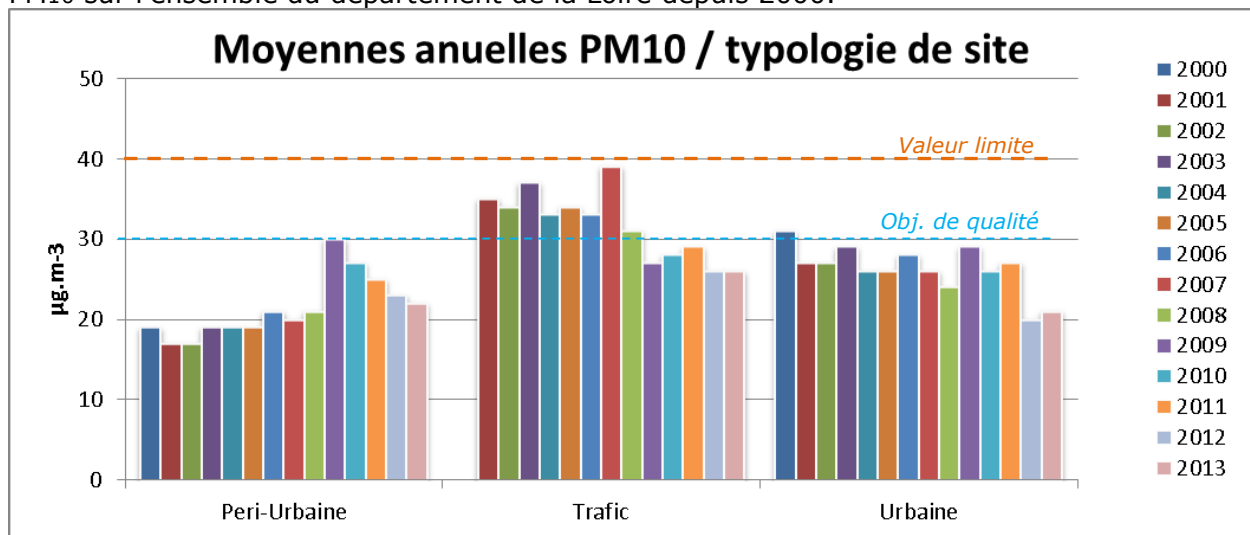
L'objectif de qualité en moyenne annuelle est quant à lui fixé à $30 \mu\text{g.m}^{-3}$.



Par rapport au NO₂, les niveaux de concentrations en PM₁₀ sont plus homogènes entre des sites de fond urbain ou périurbain et des sites de proximité trafic.

Sur les 2 sites mobiles « Musée d'Art moderne » et « Bd Jules Janin », les moyennes annuelles estimées sont respectivement de 27 µg.m⁻³ et 25 µg.m⁻³. Les niveaux mesurés sur ces deux sites sont légèrement supérieurs aux niveaux mesurés sur Saint-Etienne Rond-Point, également en proximité trafic, mais sont inférieurs à ceux mesurés dans le sud lyonnais à proximité de l'A7. La valeur limite fixée à 40 µg.m⁻³ en moyenne annuelle est donc a priori respectée sur ces deux sites, tout comme l'objectif de qualité fixé à 30 µg.m⁻³.

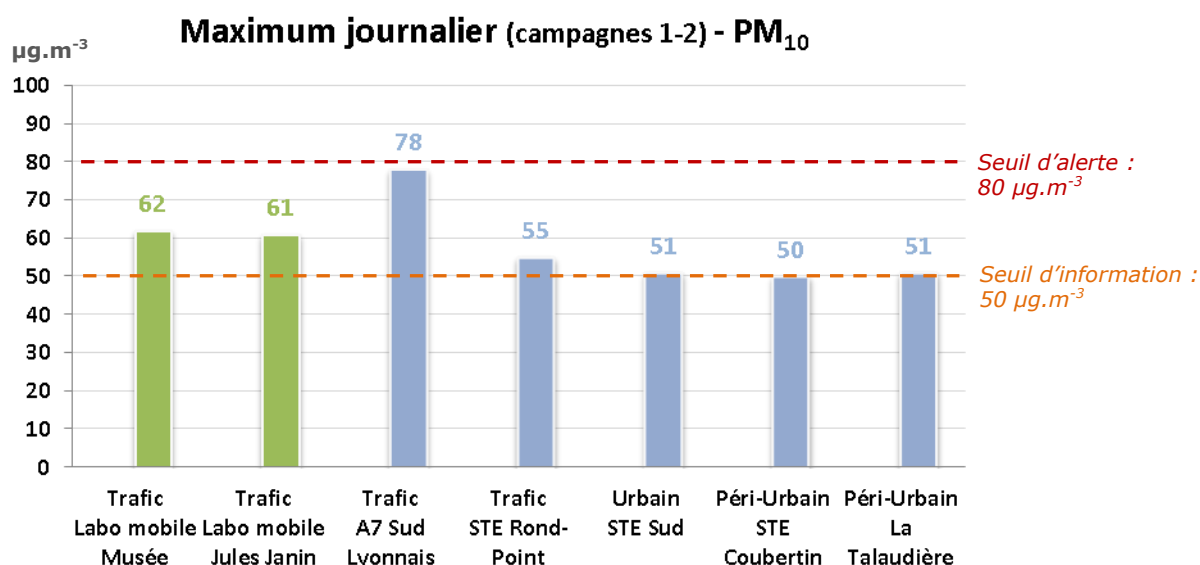
Le graphique suivant présente l'évolution des concentrations en moyennes annuelles des PM₁₀ sur l'ensemble du département de la Loire depuis 2000.



MOYENNES ANNUELLES EN PM₁₀ SUR LE SITE FIXE STEPHANOIS LE PLUS EXPOSE PAR TYPOLOGIE DE SITE

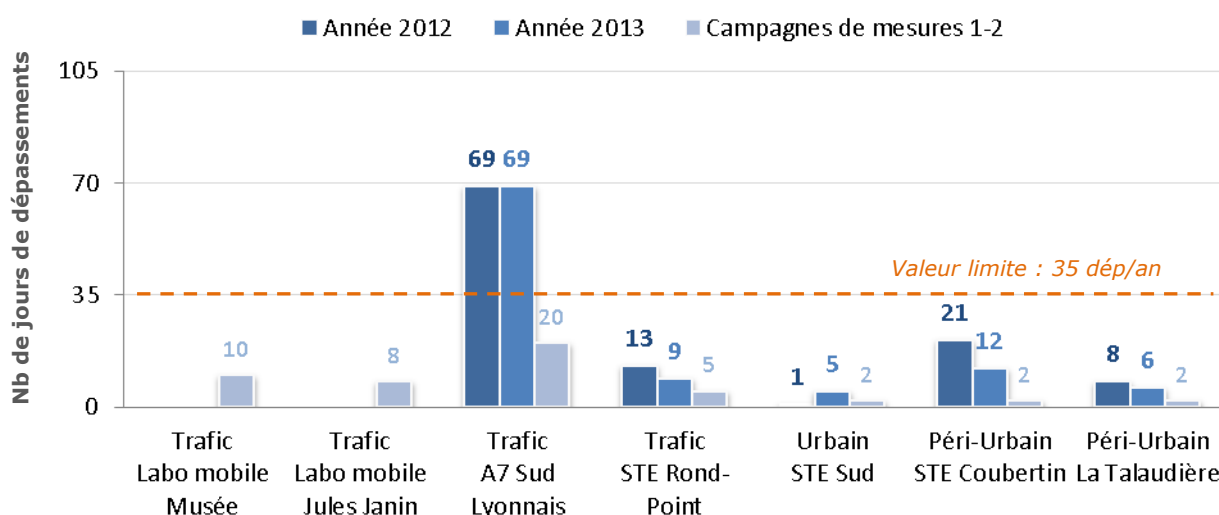
Ce graphe montre que les niveaux moyens de PM₁₀ ont baissé à partir de 2009, en situation de fond urbain et en proximité trafic. Pour la typologie périurbaine, la hausse des niveaux en 2009 est due au site de Coubertin, à cause de l'influence du trafic de l'A72. Depuis 2009, les niveaux de fond montrent une tendance à la baisse, alors que les niveaux en proximité trafic sont plus stables. En 2012 et 2013, la valeur limite et l'objectif de qualité sont respectés en moyenne annuelle sur toutes les typologies de sites.

3.3.3. Moyennes journalières en PM₁₀



Les maximums journaliers mesurés sur les sites mobiles « Musée » (62 µg.m⁻³) et « Jules Janin » (61 µg.m⁻³) ont été enregistrés la même journée (27/03/2013), dépassant ainsi le seuil d'information et de recommandations pour les personnes sensibles (fixé à 50 µg.m⁻³ en moyenne journalière). Ces dépassements ont été observés durant un épisode de pollution aux particules fines, généralisé à l'ensemble de la région Rhône-Alpes (du 25 au 30 mars 2013). Le seuil d'alerte (fixé à 80 µg.m⁻³ en moyenne journalière) n'a pas été dépassé sur ces deux sites, ni sur les stations de référence.

Nb de jours de dépassement du seuil de 50 µg.m⁻³



Le seuil de 50 µg.m⁻³ en moyenne journalière ne doit pas être dépassé plus de 35 jours par an (valeur limite annuelle). Sur l'ensemble des périodes de mesures, ce seuil a été dépassé à 10 reprises pour le site mobile « Musée » et à 8 reprises pour le site mobile « Jules Janin ».

Nb de dépassements du seuil de 50 µg.m⁻³ / typologie de site

Typologie de site	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Peri-Urbaine	0	15	25	18	22	20	10
Trafic	85	40	20	25	45	20	35
Urbaine	15	18	22	20	25	10	18

Valeur limite : 35 dép/an

NB DE DEPASSEMENTS PAR AN DU SEUIL D'INFORMATION POUR LES PM10 SUR LE SITE FIXE STEPHANOIS LE PLUS EXPOSE PAR TYPLOGIE DE SITE

En proximité trafic, il a déjà été observé plus 35 dépassements par an, notamment certaines années où les conditions météorologiques ont été défavorables à la qualité de l'air (2007 et 2011). Les niveaux maximum ont été enregistrés sur le site de « Rive-de-Gier », situé en bordure de l'autoroute A47.

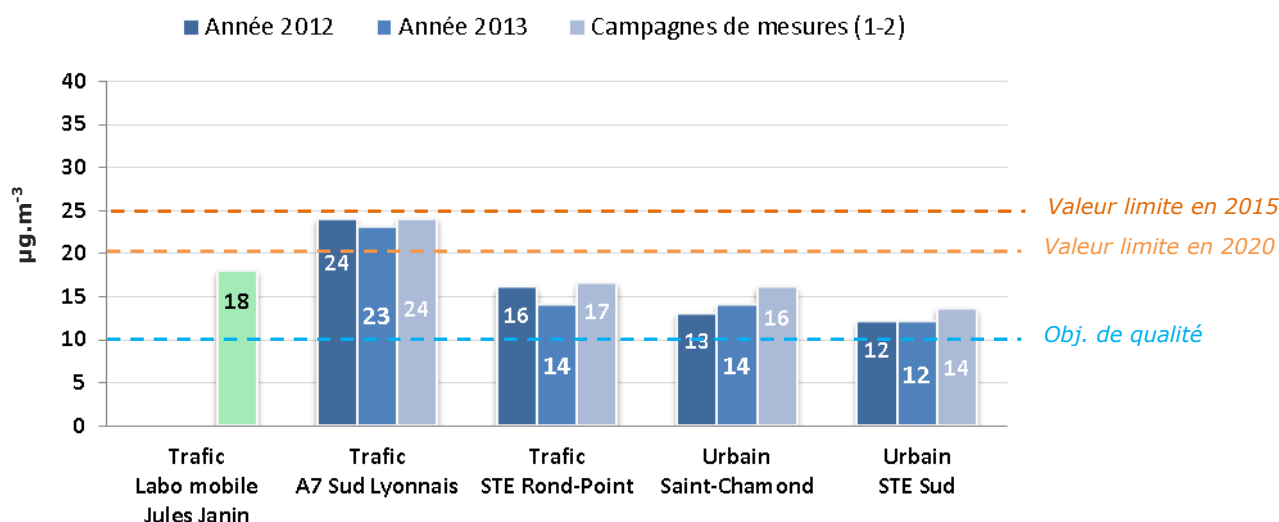
Par conséquent, sur des secteurs de Saint-Etienne où le trafic routier peut être important, comme sur les sites « Musée d'Art moderne » ou le « boulevard Jules Janin », il subsiste tout de même un risque non nul de pouvoir observer des dépassements du seuil de $50 \mu\text{g.m}^{-3}$ plus de 35 fois par an.

3.3.2. Niveaux mesurés en PM_{2.5}

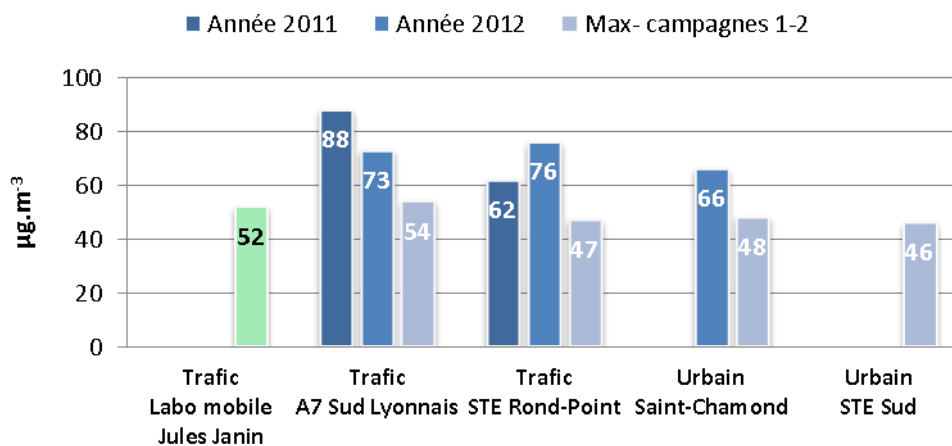
Pour les particules PM_{2.5}, la réglementation fixe une **valeur limite** uniquement en moyenne annuelle, avec des marges autorisées de dépassements diminuant chaque année : à partir de 29 $\mu\text{g.m}^{-3}$ en 2008 pour atteindre **25 $\mu\text{g.m}^{-3}$ à respecter au 1^{er} janvier 2015**. La **valeur limite à respecter en 2020 est fixée à 20 $\mu\text{g.m}^{-3}$** . Par ailleurs, 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).

NB : les particules PM_{2.5} ont été mesurées sur un seul des deux sites mobiles : le site « Jules Janin ».

Moyennes annuelles - PM_{2.5}



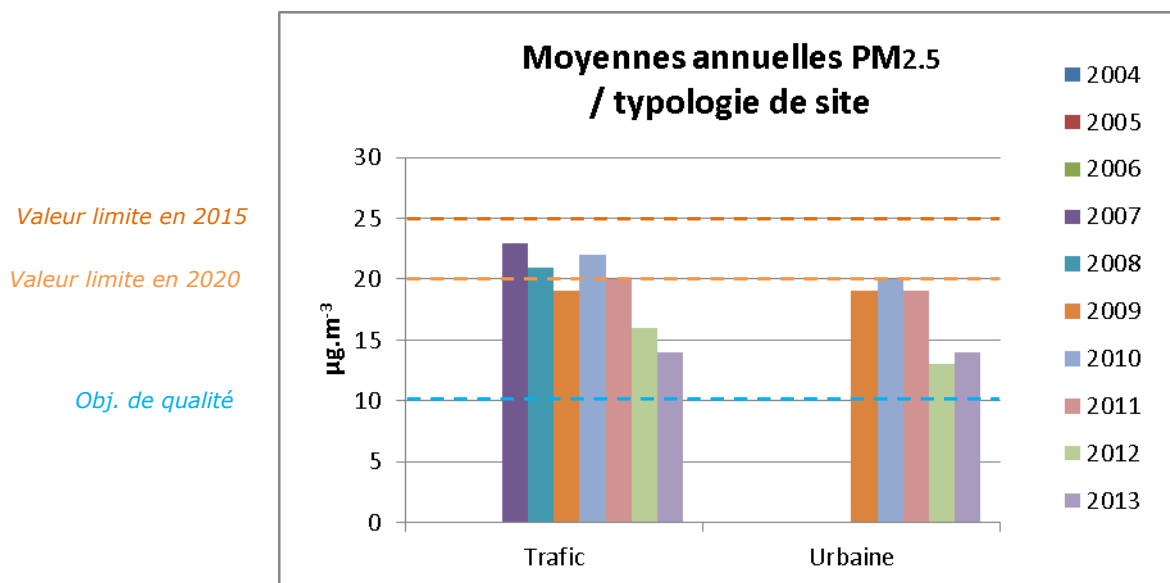
Maximum journalier - PM_{2.5}



La moyenne sur le site mobile « Jules Janin » pour l'ensemble des 2 campagnes de mesures est de 18 $\mu\text{g.m}^{-3}$. D'après les valeurs mesurées sur les autres sites de référence, la valeur limite annuelle devrait donc être respectée sur ce site (fixée à 27 $\mu\text{g.m}^{-3}$ pour 2012 et 26 $\mu\text{g.m}^{-3}$ pour 2013 et 2014). Cette moyenne se situe entre les valeurs mesurées sur les autres sites de référence sur le territoire de Saint-Etienne et celle enregistrée au bord de l'A7 dans le sud lyonnais.

En moyenne journalière, le niveau maximum observé à proximité du bd Jules Janin est comparable à ceux relevés sur les autres sites de référence.

Le graphique suivant présente l'évolution des concentrations en moyennes annuelles des PM2.5 sur l'ensemble du département de la Loire depuis 2004.



MOYENNES ANNUELLES EN PM2.5 SUR LE SITE FIXE STEPHANOIS LE PLUS EXPOSE PAR TYPOLOGIE DE SITE

En 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 pour ces deux années, en fond urbain et en proximité trafic, avoisinent 15 µg.m⁻³ et sont inférieures à la valeur limite à respecter en 2020. Les mesures sur les prochaines années permettront de vérifier si cette tendance se confirme et si l'objectif de qualité sera atteint.

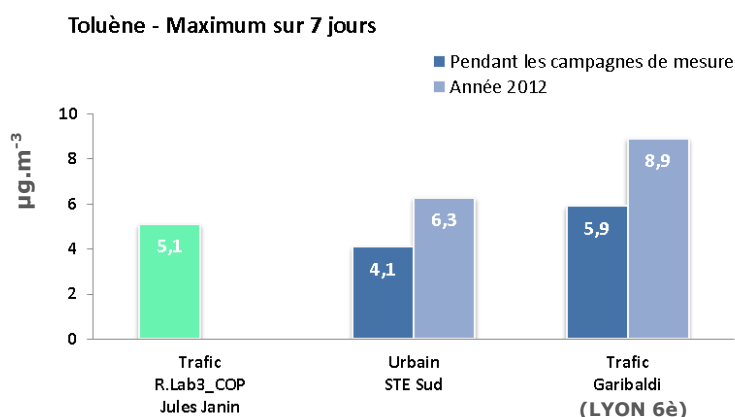
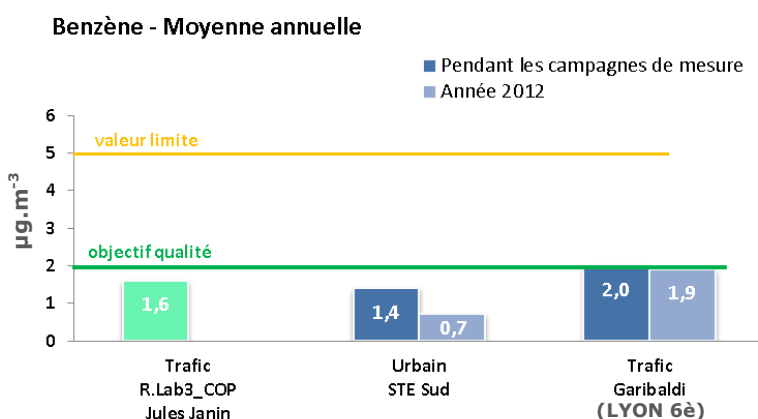
3.4. Benzène et toluène

Le Benzène est réglementé avec une valeur limite en moyenne annuelle fixée à $5 \mu\text{g.m}^{-3}$ depuis 2010. Il existe également un objectif de qualité pour le Benzène qui est fixé à $2 \mu\text{g.m}^{-3}$ en moyenne annuelle.

Pour le Toluène, il n'existe pas de valeur réglementaire. L'OMS (Organisation Mondiale de la Santé) préconise cependant de ne pas dépasser les valeurs suivantes :

- $260 \mu\text{g.m}^{-3}$ en moyenne sur 7 jours
- $1\,000 \mu\text{g.m}^{-3}$ en moyenne sur une demi-heure (seuil olfactif)

Les concentrations de benzène et de toluène ont été mesurées sur le site « Jules Janin », à l'aide de tubes à diffusion passive, avec des prélèvements de 7 jours répétés tout au long des deux campagnes de mesures.



Les concentrations relevées à proximité du boulevard Jules Janin sont du même ordre de grandeur que sur un site de fond urbain (Saint-Etienne Sud). La valeur limite et l'objectif de qualité en moyenne annuelle pour le benzène sont respectés.

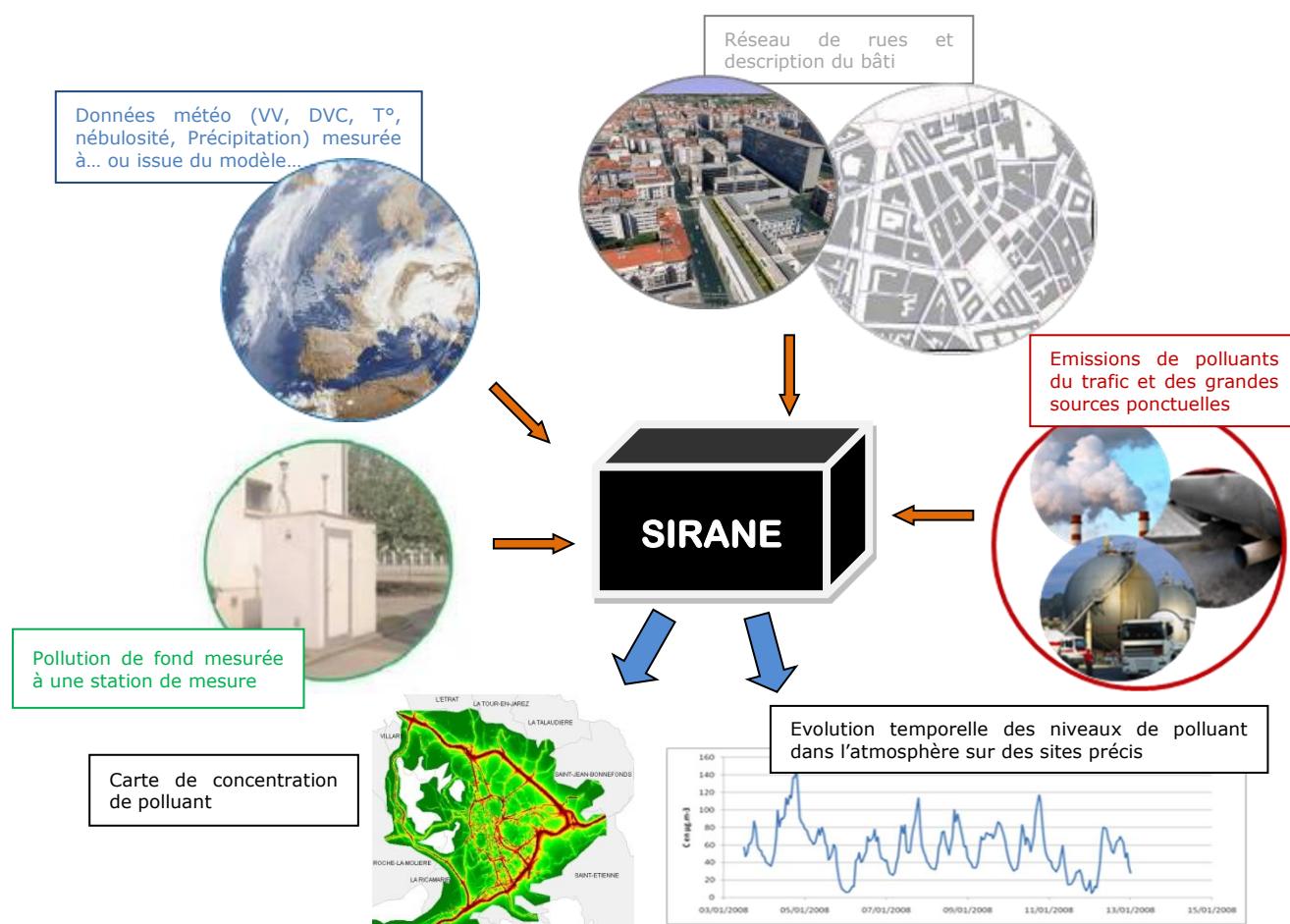
Pour le toluène, les niveaux maximum sur 7 jours relevés sur le site « Jules Janin » sont nettement inférieurs à la valeur guide préconisée par l'OMS.

4. Amélioration des outils de modélisation

4.1. Présentation générale

4.1.1. Du modèle SIRANE ... au modèle 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.

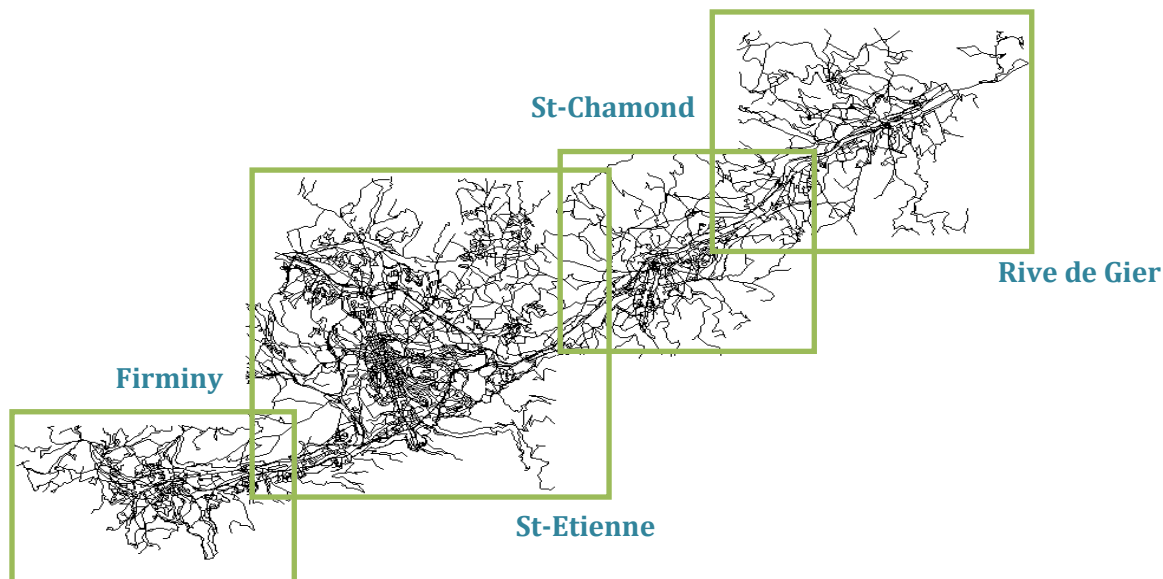


SCHEMA DE PRINCIPE DU MODELE SIRANE

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 scénarios¹. Les résultats de modélisation ont été évalués sur l'agglomération de Saint-Etienne pour les polluants NO₂ et PM₁₀ avec des incertitudes acceptables par rapport à la réglementation (moins de 30% d'erreur).

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

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.



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 et de compléter les informations de qualité de l'air, notamment au niveau des zones interurbaines et sur l'ensemble des communes de Saint-Etienne Métropole.

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 (méso échelle).

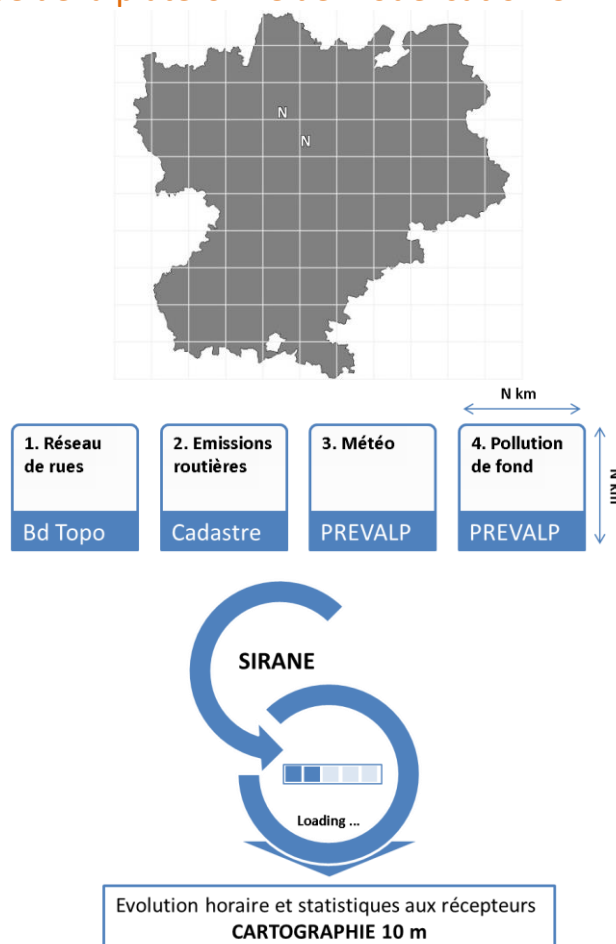
CARTOPROX travaille donc sur des domaines et des échelles spatiales différentes :

- 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.

Au final, la plateforme CARTOPROX permet donc d'avoir une réelle continuité territoriale pour les cartographies à haute résolution de la pollution atmosphérique.

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 la plateforme de modélisation CARTOPROX



PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT DE LA PLATEFORME CARTOPROX

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 :

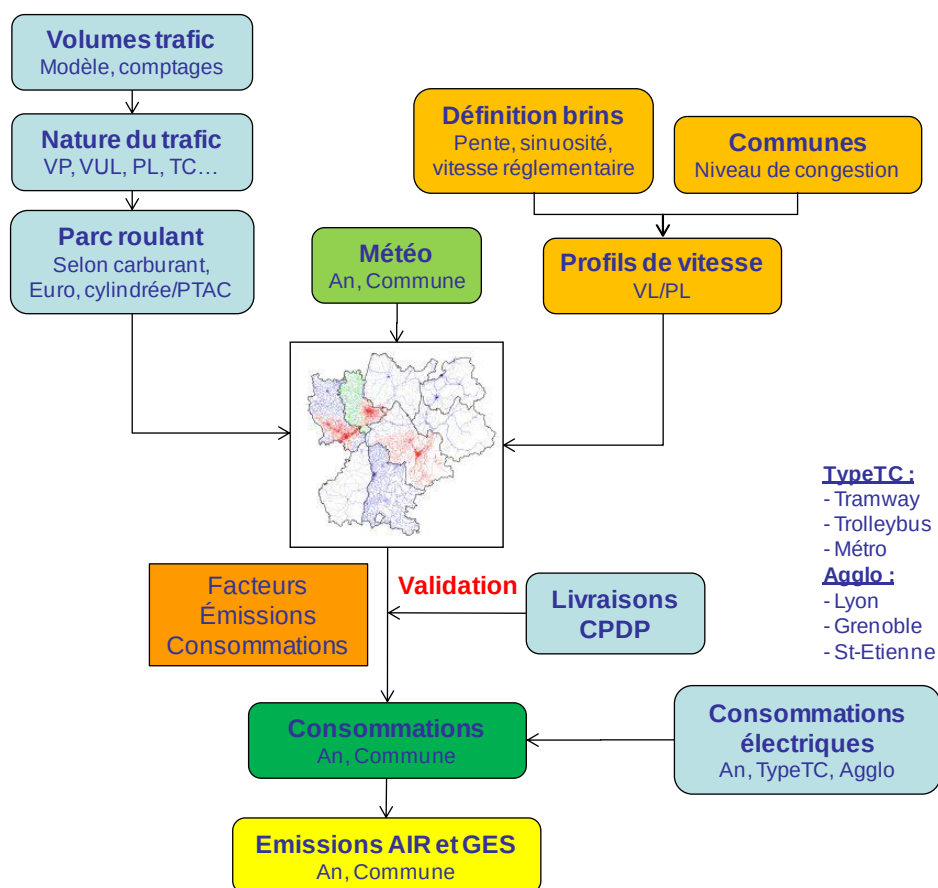
- L'évolution des concentrations horaires en un certain nombre de récepteurs ponctuels bordant les routes
- Les grandeurs statistiques associées (moyenne, maximum, percentile ...)
- Le champ de concentration à une résolution maximum de 10 mètres

4.1.3. 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.



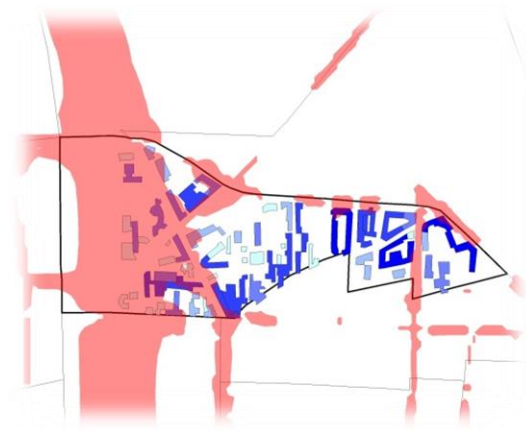
PRINCIPE DE CALCUL DES EMISSIONS AVEC L'OUTIL MOCAT

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

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®¹ – 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 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 et fait l’objet d’une validation au niveau national (par le LCSQA).

¹ 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.

SIRANE – Moyennes annuelles NO₂ - 2012

Moyenne annuelle de NO₂ en µg.m⁻³

120
80
60
40 valeur limite
30
10

T1, T2, T3, T4, T5, T6, T7, T8, T9, T10, U1, U2, U3, U4, U5, U6, U7, U8, U9, U10

Air Rhône-Alpes

Evaluation de l'évolution de la qualité de l'air en 2012-2013 dans le cadre du PDU de Saint-Etienne

Le tableau ci-dessous présente la comparaison des données mesurées site par site avec les concentrations du modèle CARTOPROX pour l'année 2012 (avec les écarts en valeur absolue et relative).

Sites	Concentrations mesurées (µg.m ⁻³)		Concentrations modélisées CARTOPROX (µg.m ⁻³)	Ecart brut (µg.m ⁻³)		Ecart relatif (%)	
	analyseur	tube	MOD 2012	MOD / analyseur	MOD /Tube	MOD /analyseur	MOD /Tube
T1 (Musée d'Art Moderne)	64	86	66	2	-20	3%	-23%
T2 (Bd Jules Janin)	39	50	49	10	-1	26%	-2%
T3 (site fixe STE Rond Point)	37	49	40	3	-9	8%	-18%
T4 (Cours Fauriel)		42	34		-8		-19%
T5 (Casino Ricamarie)		42	41		-1		-2%
T6 (Bd Pasteur)		39	27		-12		-31%
T7 (Richelandière)		36	27		-9		-25%
T8 (Site Fixe Coubertin)	28	34	30	2	-4	7%	-12%
T9 (SGLerpt)		25	30		5		20%
T10 (Dir Roche)		24	30		6		25%
U1 (Place Fourneyron)		50	40		-10		-20%
U2 (Préfecture)		42	38		-4		-10%
U3 (Terrenoire)		39	36		-3		-8%
U4 (Gare Chateaucrueux)		40	32		-8		-20%
U5 (Jean Moulin)		34	30		-4		-12%
U6 (Place du Peuple)		30	28		-2		-7%
U7 (Fond STPriest-en-Jarez)		28	23		-5		-18%
U8 (Fond Technopole)		27	26		-1		-4%
U9 (Fond Coubertin)		24	24		0		0%
U10 (Fond Montreynaud)		17	24		7		41%

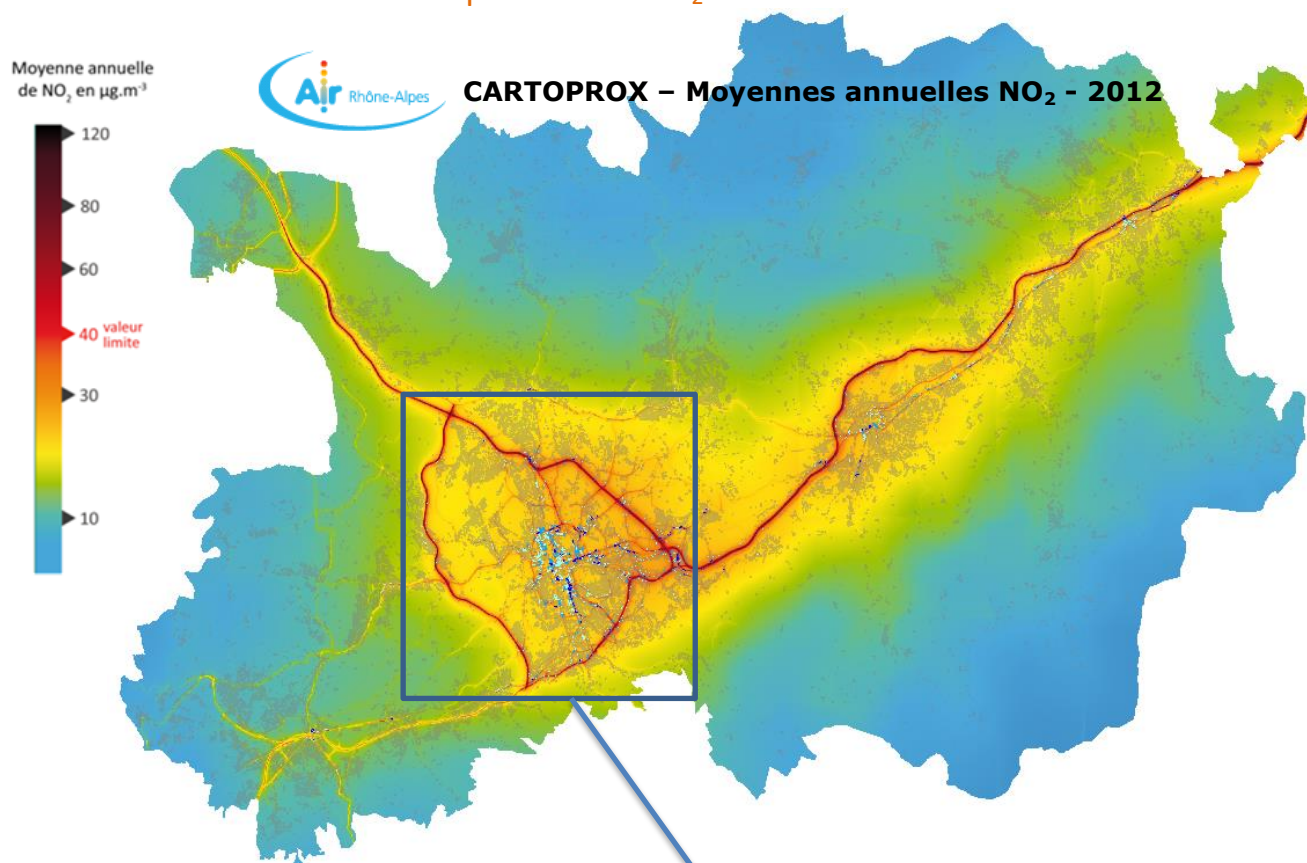
Pour 18 des 20 sites investigués, la comparaison modèle/mesures présente des écarts relatifs inférieurs à $\pm 30\%$ et 11 de ces sites présentent des écarts inférieurs à $\pm 20\%$.

L'utilisation de la plateforme CARTOPROX conduit donc à des résultats valides par rapport à la directive européenne.

4.2. Cartographies d'exposition de la population

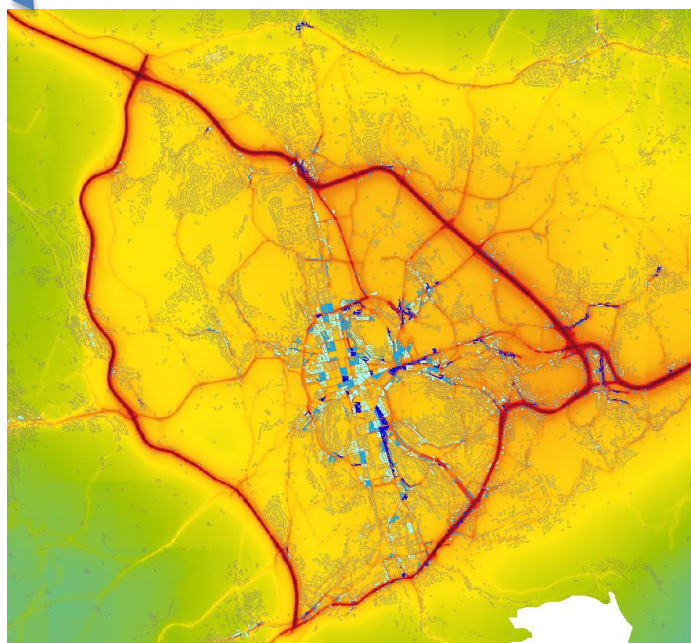
Cette dernière partie présente l'ensemble des cartographies obtenues avec le modèle CARTOPROX avec le calcul du pourcentage de population exposée à des niveaux supérieurs aux valeurs réglementaires sur le territoire de Saint-Etienne Métropole pour les années 2012 et 2013.

4.2.1. Cartes d'exposition au NO₂

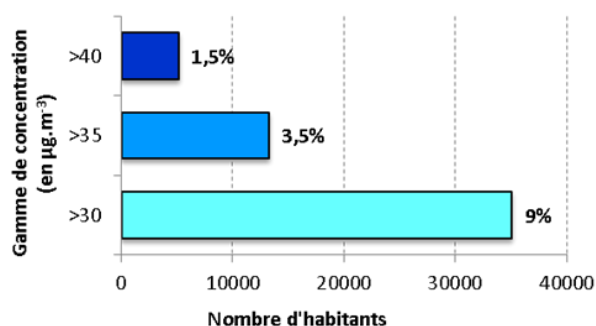


En 2012, environ **1,5%** de la population du territoire de Saint-Etienne Métropole (soit près de 5000 habitants) a été exposée à des concentrations supérieures à la valeur limite fixée à 40 µg.m⁻³.

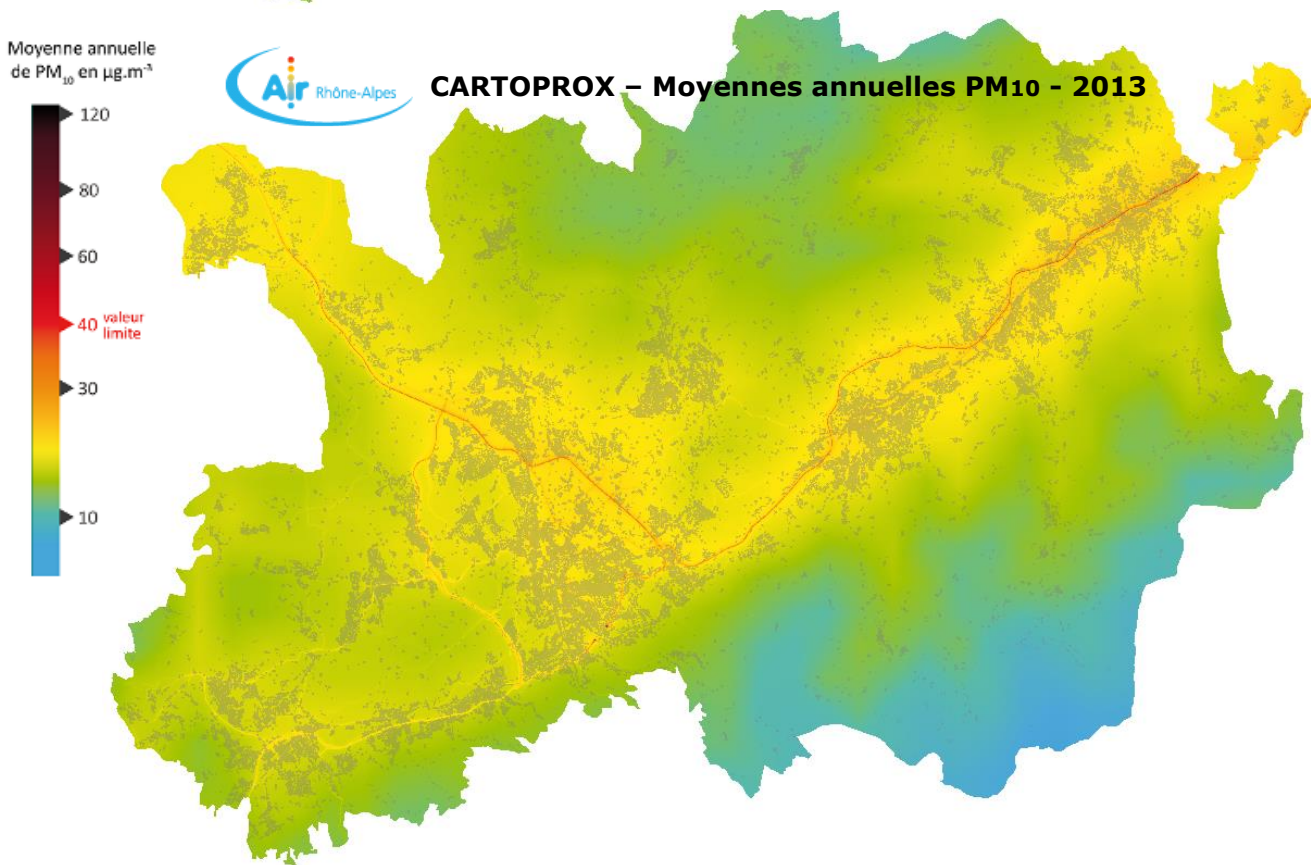
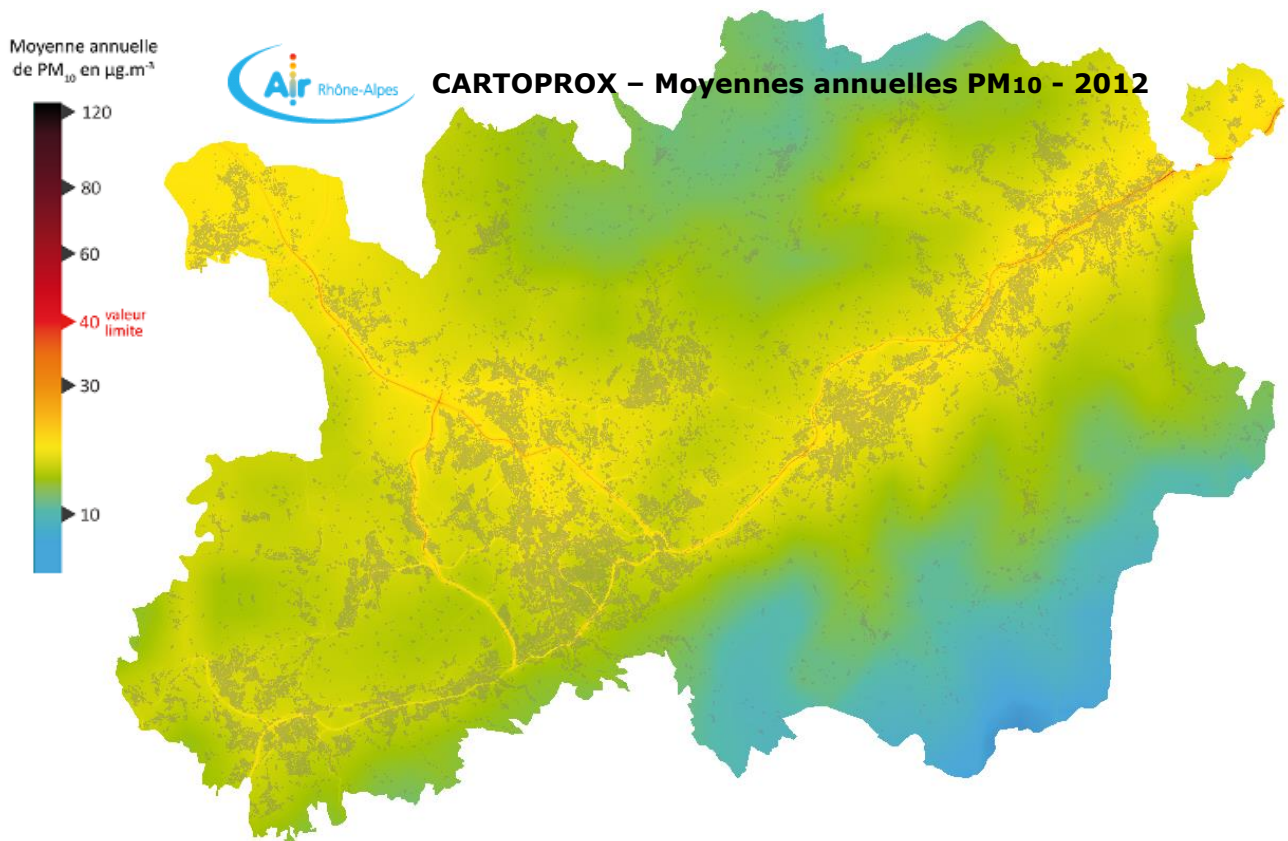
Et presque **10%** a été exposée à des valeurs supérieures à 30 µg.m⁻³



Population exposée au NO₂

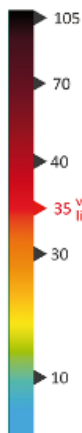


4.2.2. Cartes d'exposition aux particules PM10

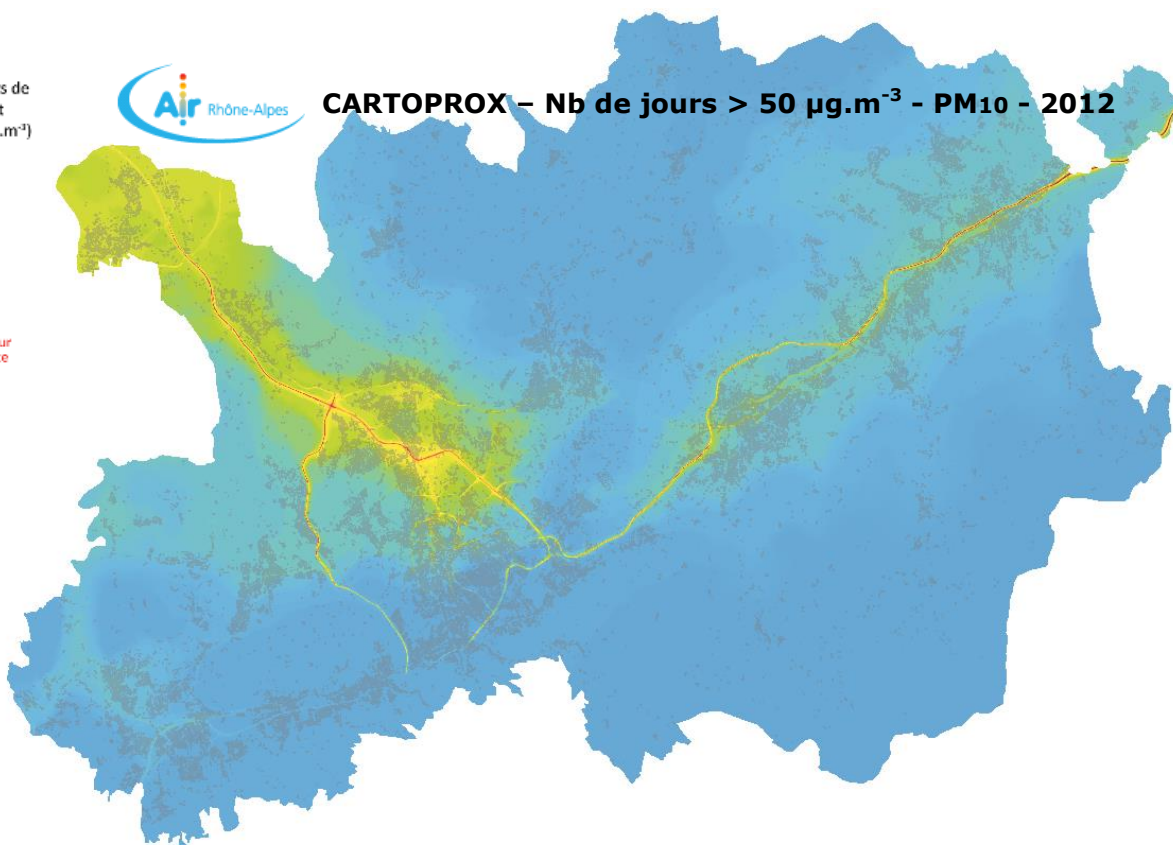


En 2012, comme en 2013, la valeur limite en moyenne annuelle est respectée sur l'ensemble du territoire de Saint-Etienne Métropole.

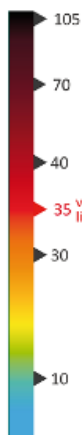
Nombre de jours de
dépassement
de PM_{10} ($> 50 \mu g.m^{-3}$)



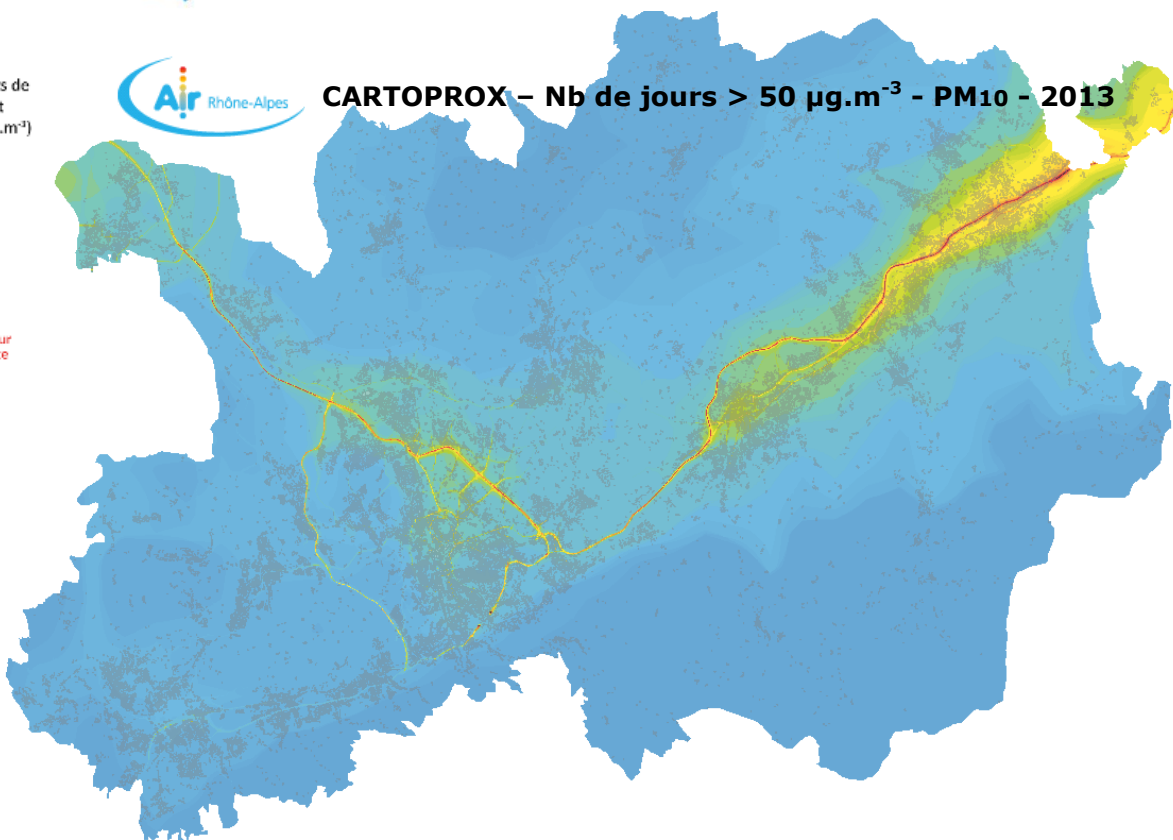
CARTOPROX – Nb de jours $> 50 \mu g.m^{-3}$ - PM_{10} - 2012



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



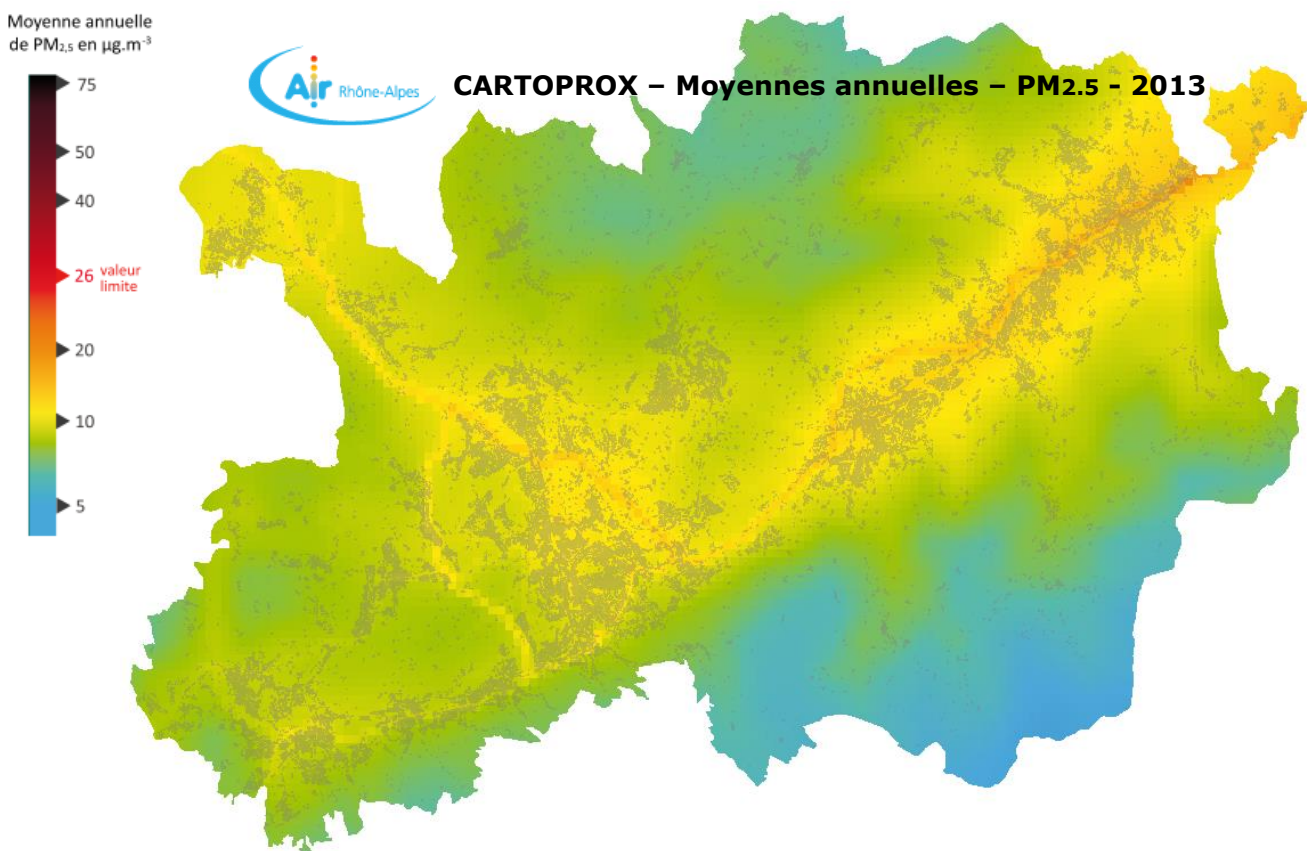
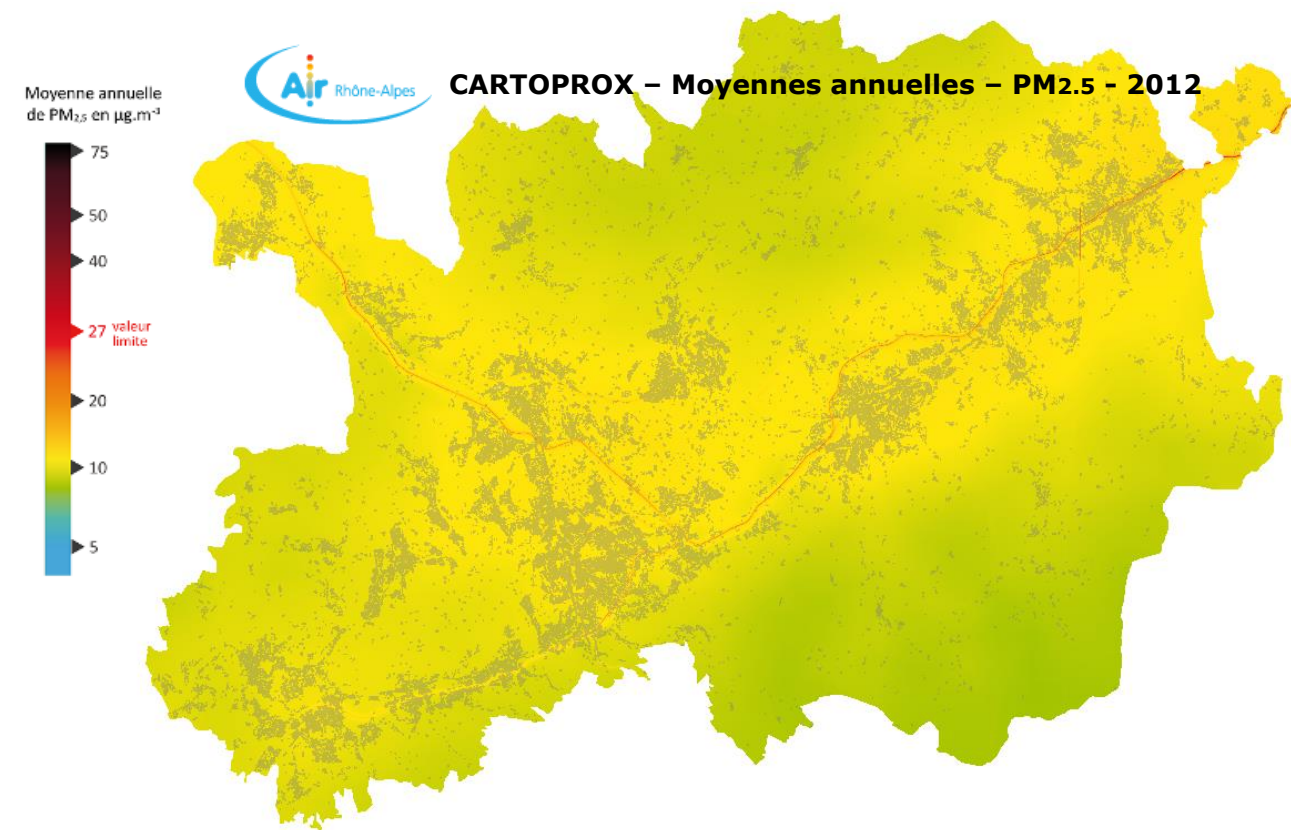
CARTOPROX – Nb de jours $> 50 \mu g.m^{-3}$ - PM_{10} - 2013



Pour les dépassements en moyennes journalières, la valeur limite est franchie sur de très petite parties du territoire : en 2012, sur le secteur nord-ouest, le long de l'A72, et en 2013, dans la vallée du Gier, à proximité de l'A47. Les données météorologiques sont les principaux paramètres qui expliquent la différence entre ces 2 années. Très peu d'habitations sont concernées.



4.2.1. Cartes d'exposition aux particules PM_{2.5}



Pour les particules PM_{2.5}, la valeur limite annuelle est respectée sur l'ensemble du territoire de Saint-Etienne Métropole, en 2012 et en 2013.

4.3. Bilan de la qualité de l'air en 2012-2013

Le tableau ci-dessous présente un bilan des risques de dépassements vis-à-vis des valeurs réglementaires, estimés à partir des niveaux mesurés pendant les campagnes de mesures réalisées dans cette étude et également des résultats de modélisation en 2012 et 2013 :

Environnement	Situation vis-à-vis des valeurs réglementaires	NO ₂	PM ₁₀	PM _{2,5}	Benzène
Niveaux de fond	Exposition chronique *				
	Exposition aiguë **				
Niveaux en proximité trafic	Exposition chronique *				
	Exposition aiguë **				

* Exposition chronique : valeurs réglementaires en moyennes annuelles

** Exposition aiguë : valeurs réglementaires en moyennes horaires ou journalières

Risques de dépassement
nul ou très faible
modéré
fort
Pas de valeur réglementaire

Pour les zones situées en bordure de route, le risque de dépassements de valeurs réglementaires concerne les principaux polluants émis par le trafic, à savoir le dioxyde d'azote (NO₂), les particules en suspension (PM₁₀) et le benzène.

Pour le NO₂, les niveaux mesurés sont variables selon les sites et le risque de dépasser la valeur limite en moyenne annuelle (40 µg.m⁻³) peut être modéré à fort selon l'endroit et selon l'importance du trafic. De plus, à proximité des grands axes autoroutiers ou des voies rapides urbaines, il est possible d'observer des dépassements du seuil d'information et de recommandation pour les personnes sensibles (200 µg.m⁻³ en moyenne horaire).

Au niveau des particules PM₁₀, le risque le plus élevé se situe au niveau du nombre de jours de dépassements du seuil d'information et de recommandations pour les personnes sensibles (50 µg.m⁻³ en moyenne journalière). Les résultats de modélisation indiquent que ce seuil peut être dépassé plus de 35 fois dans l'année aux abords de certains axes, notamment autoroutiers.

Pour le benzène, même si les niveaux mesurés entre 2012 et 2013 ne dépassent pas l'objectif de qualité de l'air (2 µg.m⁻³ en moyenne annuelle), le risque d'observer des niveaux plus élevés en proximité trafic existe.

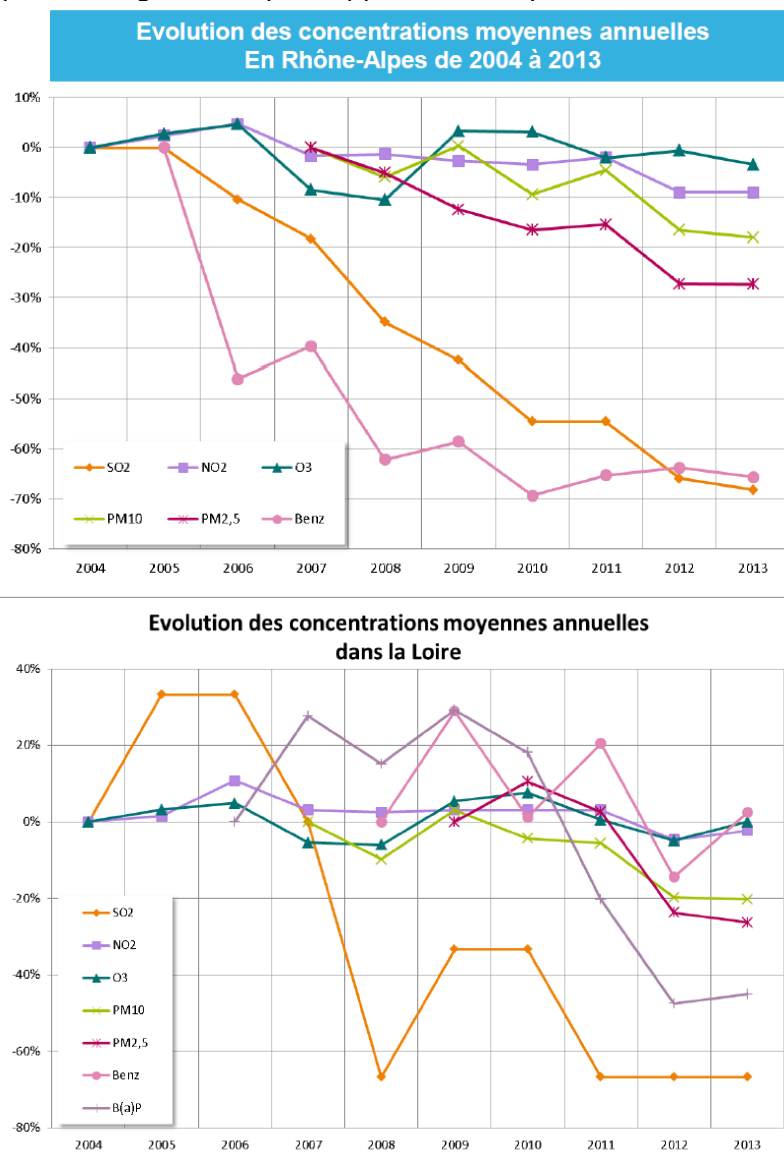
Pour les zones plus éloignées des sources (niveaux de fond), le risque de dépassements de valeurs réglementaires concerne les particules fines (PM₁₀), principalement sur des valeurs journalières, et également mais dans une moindre mesure, le dioxyde d'azote (NO₂) sur des valeurs d'exposition en moyenne annuelle.

S'agissant des particules PM₁₀, en situation de fond, elles peuvent être issues de différentes sources dont le trafic, mais également le chauffage au bois, notamment en cas de combustion incomplète. Les niveaux les plus importants sont souvent observés en période hivernale, lorsque les conditions atmosphériques sont peu favorables à la dispersion des polluants. Durant cette période, le risque de dépasser plusieurs fois le seuil d'information et de recommandations pour les personnes sensibles est quasi certain, mais le risque de le dépasser plus de 35 fois dans l'année (valeur limite annuelle) paraît plus modéré.

Concernant le NO₂, même en fond urbain, il peut exister un risque sur certaines zones d'être exposé à des valeurs élevées en moyenne annuelle (> 40 µg.m⁻³). C'est le cas notamment dans l'hyper-centre de l'agglomération stéphanoise, en lien direct avec les émissions du trafic urbain.

4.4. Evolution de la qualité de l'air sur 10 ans

Les 2 graphes ci-dessous présentent l'évolution de 2004 à 2013 des concentrations en moyennes annuelles pour l'ensemble des polluants mesurés sur les sites du réseau permanent d'AIR Rhône-Alpes, sur l'ensemble de la région et sur la Loire. La tendance est calculée en pourcentage relatif par rapport à la moyenne annuelle 2004.



Ces graphes montrent une tendance à l'amélioration générale de la qualité de l'air, mais avec tout de même une stagnation des niveaux pour certains polluants.

Le constat sur le département de la Loire est le suivant :

- Stabilité des niveaux pour le dioxyde d'azote (NO₂) et l'ozone (O₃)
- Baisse modérée pour les particules PM₁₀, légèrement plus marquée pour les PM_{2,5}
- Amélioration des niveaux pour le benzo(a)pyrène (Hydrocarbure Aromatique Polycyclique), même si les niveaux en 2013 restent similaires à 2012
- Stagnation des taux de dioxyde de soufre (SO₂) et peu de variation nette pour le benzène, mais les niveaux sont très faibles.

Les détails des bilans de qualité de l'air sur la Région Rhône-Alpes sont disponibles dans le rapport d'activités d'AIR Rhône-Alpes 2013 : <http://ra2013.air-rhonealpes.fr>

5. Conclusion

Les campagnes de mesures menées en 2012 et 2013 par AIR Rhône-Alpes ont permis d'obtenir des données fiables et récentes pour évaluer l'état de la qualité de l'air sur le territoire de l'agglomération stéphanoise.

Ces données ont également permis de valider les nouveaux outils de modélisation, mis en place par AIR Rhône-Alpes, pour assister Saint-Etienne Métropole dans la préparation des éléments de diagnostic et de scénarisation demandés par la réglementation dans le cadre de la révision du PDU.

Les actions menées par Saint-Etienne Métropole dans le cadre du PDU jouent un rôle non négligeable dans l'amélioration de la qualité de l'air, mais la contribution de ces actions reste difficile à quantifier. Les résultats de cette étude ont tout de même permis de mettre en évidence une amélioration globale de la qualité de l'air dans la zone d'aménagement urbain de la seconde ligne de tramway T2, avec une baisse moyenne des niveaux de NO₂ estimée sur toute la zone du tracé d'environ 15% à 20% entre 2000-2002 et 2010-2012. Toutefois, tous les tributs de cette amélioration ne sont pas imputables uniquement à cette nouvelle ligne de transport en commun, car la modernisation du parc routier tend à jouer un grand rôle dans la réduction des émissions des polluants. D'autre part, cette amélioration doit être relativisée sur certaines zones où le trafic d'hyper-centre-ville reste dense (comme autour de la Gare de Châteaueux ou de la Place Fourneyron par exemple). Par ailleurs, malgré la baisse des émissions, depuis 2000, sur l'ensemble des sites fixes implantés sur le territoire de Saint-Etienne Métropole, les niveaux mesurés en NO₂ montrent une certaine stabilité en fond urbain et périurbain et présentent même une tendance à l'augmentation des niveaux en proximité trafic.

Les résultats de cette étude montrent qu'en 2012 et 2013, le territoire de Saint-Etienne Métropole est toujours soumis à des risques de dépassements de valeurs réglementaires pour le dioxyde d'azote (NO₂) et les particules en suspension (PM₁₀).

Un des enjeux dans le cadre de la révision du PDU de Saint-Etienne Métropole sera notamment de diminuer l'exposition de la population aux fortes concentrations de NO₂, émises principalement par le trafic. Une des difficultés sera de mener des actions qui portent spécifiquement sur les zones fragilisées, mais sans détériorer les zones où la qualité de l'air est bonne (par des reports de trafic,...). Concernant les particules PM₁₀, les actions du PDU devront porter sur la réduction de la source trafic, mais elles devront être accompagnées par d'autres actions au niveau du secteur résidentiel (chauffage au bois) ou industriel, menées dans le cadre du Plan de Protection de l'Atmosphère (PPA).

Enfin, cette étude a permis d'améliorer les outils de modélisation, avec la mise en place de la plateforme CARTPOROX, 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).

Cette plateforme peut être utilisée comme véritable outil de diagnostic de la qualité de l'air avec la réalisation de cartographies annuelles à haute résolution et avec une réelle continuité territoriale. Elle va pouvoir être également utilisée comme outil prospectif d'aide à la décision dans le cadre de la révision du PDU, avec l'élaboration et l'étude de scénarios qui permettront de simuler et suivre l'impact en matière de qualité de l'air des politiques de transports sur tout le périmètre du PDU.