

Etude de la qualité de l'air en proximité routière sur Bourg-en-Bresse



MESURES ET MODELISATION • 2011-2012

www.air-rhonealpes.fr



Diffusion : Juin 2012

Siège social : 3 allée des Sorbiers – 69500 BRON

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

contact@air-rhonealpes.fr



Sommaire



1. Introduction	5
2. Des mesures en proximité de voirie	6
2.1. Les polluants prospectés et leurs effets sur la santé humaine	6
2.2. La réglementation	7
2.3. Des concentrations suivies par des analyseurs.....	8
2.3.1. Moyens de mesures	8
2.3.2. Localisation des sites de mesures	8
2.4. Caractérisation de la qualité de l'air	12
2.4.1. Les oxydes d'azote (NOx)	12
2.4.2. Les particules en suspension de diamètre moyen inférieur ou égale à 10 µm (PM10)	16
2.4.3. Situation au regard des normes en vigueur.....	18
2.4.4. Conclusion sur les mesures	18
3. Des concentrations suivies par la modélisation.....	19
3.1. Qu'est-ce qu'une modélisation ?.....	19
3.2. Description du modèle	19
3.3. Périmètre de la zone d'étude	22
3.4. Validation du modèle	23
3.5. Résultats de SIRANE	24
3.5.1. Résultats pour le dioxyde d'azote	24
3.5.2. Résultat pour les particules en suspension PM10.....	27
3.5.3. Résultats pour l'ozone.....	30
4. Conclusions	31



Résumé



L'inventaire des émissions montre que le principal émetteur d'oxydes d'azote sur Bourg-en-Bresse est le transport routier avec 70% des émissions totales de NO_x. La part des émissions de PM10 liée au transport routier est d'environ 26% sur cette agglomération. Le transport représente donc l'une des principales sources polluantes avec l'industrie et le secteur résidentiel/tertiaire.

L'objectif de cette étude est donc de déterminer la concentration maximale en polluants primaires (NO₂ et PM10) pouvant être inhalée par la population. Pour cela, des mesures ont été réalisées à moins de 5 mètres de voies à forte circulation. Le second volet de l'étude consiste à spatialiser les mesures afin d'estimer dans chaque rue du périmètre du cœur de ville les concentrations des principaux polluants et à rendre un résultat sous forme cartographique.

Les concentrations relevées en NO₂ à proximité du trafic sont, comme attendu, plus importantes que sur la station de fond. Toutefois, les dépassements du seuil horaire sont rares. La modélisation montre en revanche que de nombreux axes structurants dépassent la valeur limite annuelle.

Pour les particules en suspension (PM10), la moyenne annuelle respecte globalement la réglementation puisque moins de 1% de la surface totale est concernée par des dépassements. Il est à noter que le niveau de fond est relativement élevé et uniforme sur le domaine modélisé et le cœur de ville. En considérant les moyennes journalières, la majorité des axes structurants est au-dessus de 35 jours de dépassements (ce qui représente environ 2% de la surface modélisée). Ces dépassements concernent surtout des journées hivernales et anticycloniques (mauvaise dispersion des polluants, hausse du chauffage). Enfin, lors d'épisodes de pollution aux particules tels que celui observé le 10 février 2011, l'ensemble de l'agglomération est touchée et dépasse le niveau d'information et de recommandations.



1. Introduction

La station fixe implantée dans l'agglomération de Bourg-en-Bresse détermine la qualité de l'air respirée par la majeure partie de la population. De ce fait, ce type de stations doit être au milieu des habitations tout en étant relativement éloigné des sources d'émissions (fort trafic, industries...).

L'inventaire des émissions montre que le principal émetteur d'oxydes d'azote sur Bourg-en-Bresse est le transport routier avec 70% des émissions totales de NO_x. La part des émissions de PM10 liée au transport routier est d'environ 26% sur cette agglomération. Le transport représente donc l'une des principales sources polluantes avec l'industrie et le secteur résidentiel/tertiaire.

L'objectif de cette étude est donc de déterminer la concentration maximale en polluants primaires (NO₂ et PM10) pouvant être inhalée par la population. Pour cela, des mesures ont été réalisées à moins de 5 mètres de voies à forte circulation.

Ainsi, une cabine de mesures itinérante a permis de suivre les concentrations en poussières fines sur trois axes à grande circulation (Avenue d'Alsace Lorraine, boulevard Maréchal Leclerc et boulevard Victor Hugo). De plus, une remorque de mesures a été installée durant une année sur le boulevard périphérique externe (boulevard J. Kennedy). Ce dispositif a été complété par des mesures ponctuelles de dioxyde d'azote à une trentaine d'emplacements par tubes passifs. Les concentrations relevées sont alors comparées aux résultats de la station fixe de la zone et comparées aux normes en vigueur déterminant les risques sanitaires.

Le second volet de l'étude consiste à spatialiser les mesures afin d'estimer dans chaque rue du périmètre du cœur de ville les concentrations des principaux polluants et à rendre un résultat sous forme cartographique.

2. Des mesures en proximité de voirie

2.1. Les polluants prospectés et leurs effets sur la santé humaine

Cette étude a ciblé spécifiquement les polluants issus du trafic routier :

- Les poussières en suspension (PM10): il s'agit en fait d'un mélange complexe de substances minérales et organiques, qui peuvent être d'origine naturelle et/ou anthropique. Seules les particules les plus fines, dont le diamètre moyen est inférieur à 15 μm , restent en suspension dans l'air. Les particules analysées ont un diamètre moyen inférieur à 10 μm (PM 10). Ces particules représentent la fraction dangereuse car elles correspondent à celles pénétrant dans les voies respiratoires. Surtout chez l'enfant ou les personnes sensibles, les particules fines peuvent irriter les voies respiratoires ou altérer la fonction respiratoire. Certaines peuvent même avoir des effets cancérigènes, mutagènes ou reprotoxiques suivant les composées qu'elles transportent.
- Les oxydes d'azotes (NO_x) : ces gaz émanent de toutes les combustions à haute température, par combinaison de l'oxygène et de l'azote présents dans l'air ou dans les combustibles. La formule chimique NO_x rassemble le monoxyde d'azote (NO) et le dioxyde d'azote (NO_2) dont les concentrations seront examinées ici, puisque seul le NO_2 est considéré comme un polluant au regard de ses effets sur la santé humaine. Chez les asthmatiques, ce gaz peut entraîner une altération de la fonction respiratoire, une hyper réactivité bronchique. Chez les enfants et les personnes sensibles il augmente la sensibilité des bronches aux infections microbiennes.
- L'ozone (O_3) sera également investigué à travers la modélisation : ce gaz est aussi présent sur les agglomérations en période estivale et les polluants issus du trafic routier font partis de ses précurseurs. C'est un oxydant puissant qui peut provoquer des irritations oculaires, des migraines, des toux, et une altération pulmonaire, surtout chez les enfants et les asthmatiques.

2.2. La réglementation

La réglementation fixe quatre types de valeurs selon les polluants (Figure 1) :

- 1) les **objectifs de qualité** correspondent aux concentrations pour lesquelles les effets sur la santé sont réputés négligeables et vers lesquelles il faudrait tendre en tout point du territoire.
- 2) les **valeurs limites** sont les valeurs de concentration que l'on ne peut dépasser que pendant une durée limitée : en cas de dépassement des mesures permanentes pour réduire les émissions doivent être prises par les Etats membres de l'Union Européenne.
- 3) en cas de dépassement du **seuil d'information et de recommandations**, des effets sur la santé des personnes sensibles (jeunes enfants, asthmatiques, insuffisants respiratoires et cardiaques, personnes âgées,...) sont possibles. Un arrêté préfectoral définit la liste des organismes à informer et le message de recommandations sanitaires à diffuser auprès des médias.
- 4) le **seuil d'alerte** détermine un niveau à partir duquel des mesures immédiates de réduction des émissions (abaissement de la vitesse maximale des véhicules, réduction de l'activité industrielle, ...) doivent être mises en place.

Polluant	Seuil concerné et valeur		Pas de temps
NO ₂	Valeur limite	200 µg/m ³ , à ne pas dépasser plus de 18 fois par année civile	1 heure
	Valeur limite	40 µg/m ³	1 Année civile
	Seuil d'information	200 µg/m ³	1 heure
	Seuil d'alerte	400 µg/m ³	
O ₃	Valeur cible	120 µg/m ³ , à ne pas dépasser plus de 25 fois par année civile	Maximum journalier de la moyenne sur 8 heures
	Objectif qualité (protec. Végétation)	65 µg/m ³	1 jour
	Seuil d'information	180 µg/m ³	1 heure
	Seuil d'alerte	240 µg/m ³	1 heure
PM10	Valeur limite	50 µg/m ³ , à ne pas dépasser plus de 35 fois par année civile	1 jour
		40 µg/m ³	1 année civile
	Objectif qualité	30 µg/m ³	1 année civile
	Seuil d'information	50 µg/m ³	1 jour
	Seuil d'alerte	80 µg/m ³	1 jour

FIGURE 1 : RECAPITULATIF DE LA REGLEMENTATION

2.3. Des concentrations suivies par des analyseurs

2.3.1. Moyens de mesures

Afin de caractériser les niveaux de particules de manière précise, une cabine de mesures a été implantée en alternance sur 3 sites de manière à suivre en continu l'évolution de la qualité de l'air.

La remorque d'étude installée sur le boulevard Kennedy permet, quant à elle, de suivre de manière continue les trois polluants (O₃, PM10 et NO_x).

2.3.2. Localisation des sites de mesures

La remorque de mesures a été implantée sur le boulevard J. Kennedy en bordure de voirie durant toute l'année 2011 (Figure 2).



FIGURE 2 : EMBLACEMENT DE LA REMORQUE DE MESURES EN PROXIMITE TRAFIC

En plus des mesures actives, le dispositif a été complété par un ensemble de mesures de NO₂ par tubes passifs (Figure 6 et Figure 7). Ces prélèvements ont été réalisés lors de 4 périodes de deux semaines en 30 points de la zone d'étude. Ces points ont été choisis en fonction du trafic automobile et de l'exposition des personnes (Figure 8).

Site	Emplacement	X	Y
1	45 Avenue de Mâcon	671150	5119861
2	30 rue Gabriel Vicaire	671425	5119546
3	28 rue Bourgmayer	671443	5119359
4	11 rue d'Espagne	671591	5119181
5	14 rue Bichat	671680	5119266
6	5 rue de la Samaritaine	671852	5119184
7	10 rue Gambetta	671759	5119220
8	7 rue 4 Septembre	671955	5119356
9	12 rue Bernard	671894	5119303
10	57 rue Charles Robin	672277	5119504
11	34 avenue des Belges	672969	5119520
12	18 rue Dîmes	672694	5119241
13	26 avenue Amédée Mercier	672826	5119049
14	rue des Baudières	672651	5119791
15	18 avenue des Sports	672542	5118542
16	rue Marguerite d'Autriche	672306	5118705
17	126 Boulevard Brou	672896	5118802
18	10 Boulevard Charles de Gaulle	672040	5118613
19	2 rue Danton	672213	5119345
20	34 rue général Delestraint	671244	5118375
21	10 rue Lamartine	671187	5118512
22	Boulevard Jules Ferry	671317	5118198
23	5 avenue Jean Marie Verne	671723	5118392
24	29 rue Docteur Nodet	671416	5118012
25	28 avenue Alsace Lorraine	671361	5118914
26	36 rue de la République	671916	5118964
27	1 rue Tony Ferret	672152	5118232
28	15 rue de Saint Roch	671757	5117995
29	13 rue Edgard Quinet	671690	5119117
30	12 rue Paul Pioda	671698	5119473

FIGURE 6 : LISTE DES PONTS DE PRELEVEMENTS PASSIFS (COORDONNEES EN UTM31)

2.4. Caractérisation de la qualité de l'air

2.4.1. Les oxydes d'azote (NOx)

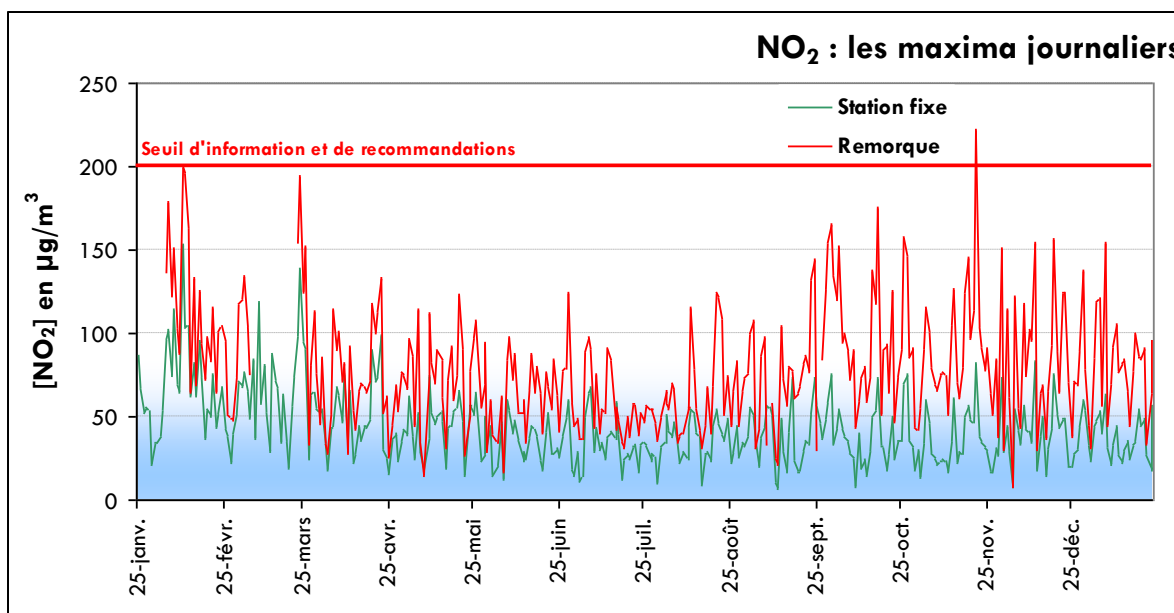


FIGURE 9 : CONCENTRATIONS MAXIMALES JOURNALIERES RELEVÉES EN PROXIMITÉ AUTOMOBILE A BOURG-EN-BRESSE POUR LE DIOXYDE D'AZOTE (EN $\mu\text{G.M-3}$)

Le dioxyde d'azote est un polluant traceur du trafic automobile mais il est aussi sensible à la température et à l'ensoleillement. Ainsi, les plus fortes concentrations se retrouvent en hiver.

Sur la Figure 9, les concentrations relevées à proximité du trafic (remorque) ont un niveau moyen plus élevé que sur le site de fond de l'agglomération avec une saisonnalité marquée : les mois les plus froids montrent les concentrations les plus élevées. Les concentrations maximales journalières en proximité du trafic atteignent régulièrement le double de la concentration mesurée en fond urbain. Toutefois, le seuil d'information n'a été franchi qu'une seule fois.

Le rapport $[\text{NO}] / [\text{NO}_2]$ est également un indicateur de proximité de la source de pollution pour le trafic. Plus ce rapport est inférieur à 1, plus le site est soumis à une pollution secondaire (de fond). A la station fixe, ce rapport vaut 0.57. Ce ratio est de 0.91 en proximité routière (bvd J. Kennedy) ce qui confirme son exposition aux polluants primaires.

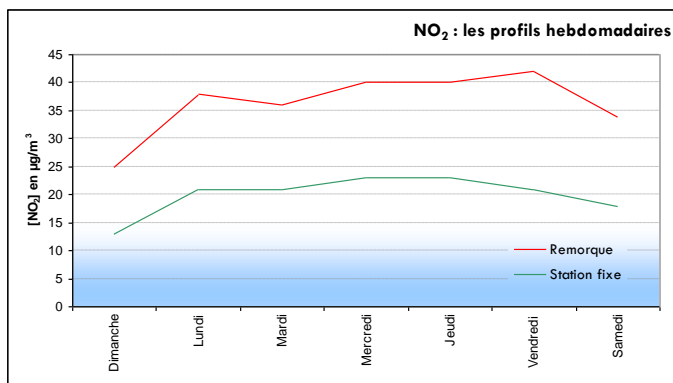


FIGURE 10 : PROFIL HEBDOMADAIRE POUR LE NO₂ (EN µG.M-3)

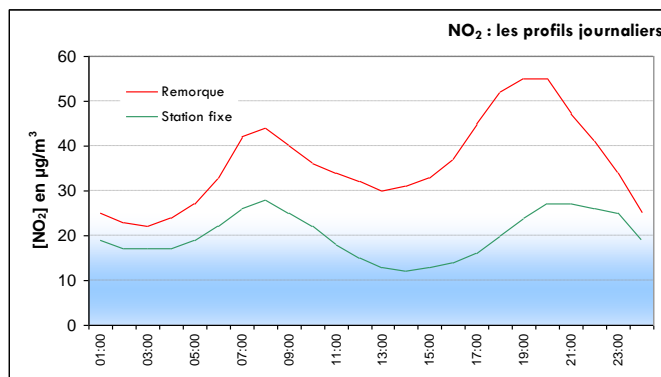


FIGURE 11 : PROFIL JOURNALIER POUR LE NO₂ (EN µG.M-3)

Les concentrations sur le site de proximité sont supérieures d'environ 10 à 15 µg/m³ à celles de la station de fond. Concernant les profils hebdomadaires (Figure 10), les concentrations sont relativement constantes en semaine et baissent ensuite sensiblement les samedis et dimanches. Le profil journalier du NO₂ (Figure 11) est caractéristique du trafic automobile. En effet, une répartition bimodale des concentrations est clairement visible avec un pic le matin vers 7~8h et un pic le soir vers 19~20h (qui correspondent aux heures de pointe des déplacements). Les concentrations les plus basses sont atteintes la nuit et sont alors quasi équivalentes au niveau de fond.

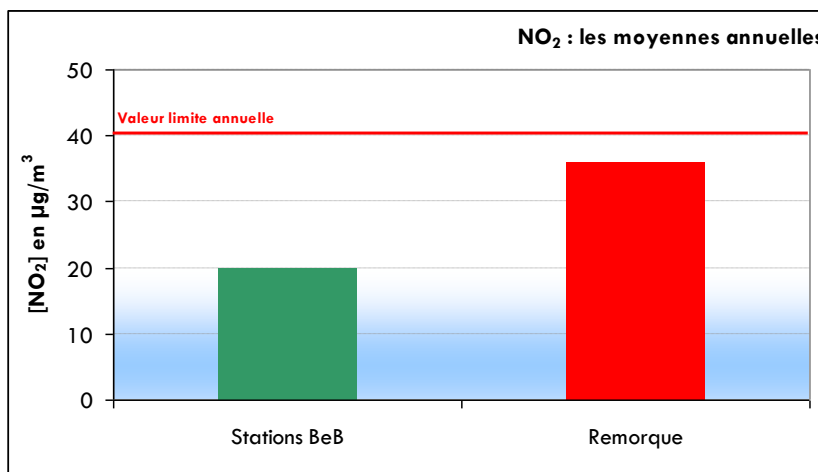


FIGURE 12 : MOYENNE ANNUELLE DU DIOXYDE D'AZOTE (EN µG.M-3)

En moyenne annuelle, pour le dioxyde d'azote, la valeur limite est respectée sur les deux sites. Mais, fort logiquement, la valeur est bien plus élevée sur le site de proximité (Figure 12).

Mesures par tubes passifs :

Emplacements	Moyenne
45 Avenue de Mâcon	31
30 rue Gabriel Vicaire	59
28 rue Bourgmayer	29
11 rue d'Espagne	25
14 rue Bichat	31
5 rue de la Samaritaine	22
10 rue Gambetta	36
7 rue 4 Septembre	44
12 rue Bernard	31
57 rue Charles Robin	37
34 avenue des Belges	25
18 rue Dîmes	31
26 avenue Amédée Mercier	28
rue des Baudières	26
18 avenue des Sports	44
rue Marguerite d'Autriche	25
126 Boulevard Brou	32
10 Boulevard Charles de Gaulle	35
2 rue Danton	22
34 rue général Delestraint	25
10 (?) rue Lamartine	28
Boulevard Jules Ferry	39
5 avenue Jean Marie Verne	27
29 rue Docteur Nodet	24
28 avenue Alsace Lorraine	36
36 rue de la République	24
1 rue Tony Ferret	26
15 rue de Saint Roch	20
13 rue Edgard Quinet	36
12 rue Paul Pioda	35

FIGURE 13 : MOYENNES ANNUELLES EN NO₂ SUR LES SITES DE PRELEVEMENTS PASSIFS

Les mesures par tubes passifs ont été réalisées lors de 4 périodes de 2 semaines. Les résultats mettent en évidence que la grande majorité des axes investigués respectent la valeur limite annuelle de 40 µg/m³. 3 axes dépassent toutefois la réglementation (Figure 13) :

- La rue Gabriel Vicaire (9898 véhicules/jour) : 59 µg/m³
- L'avenue des sports (17600 véhicules/jour) : 44 µg/m³
- Rue du 4 septembre (1500 véhicules/jour) : 44 µg/m³

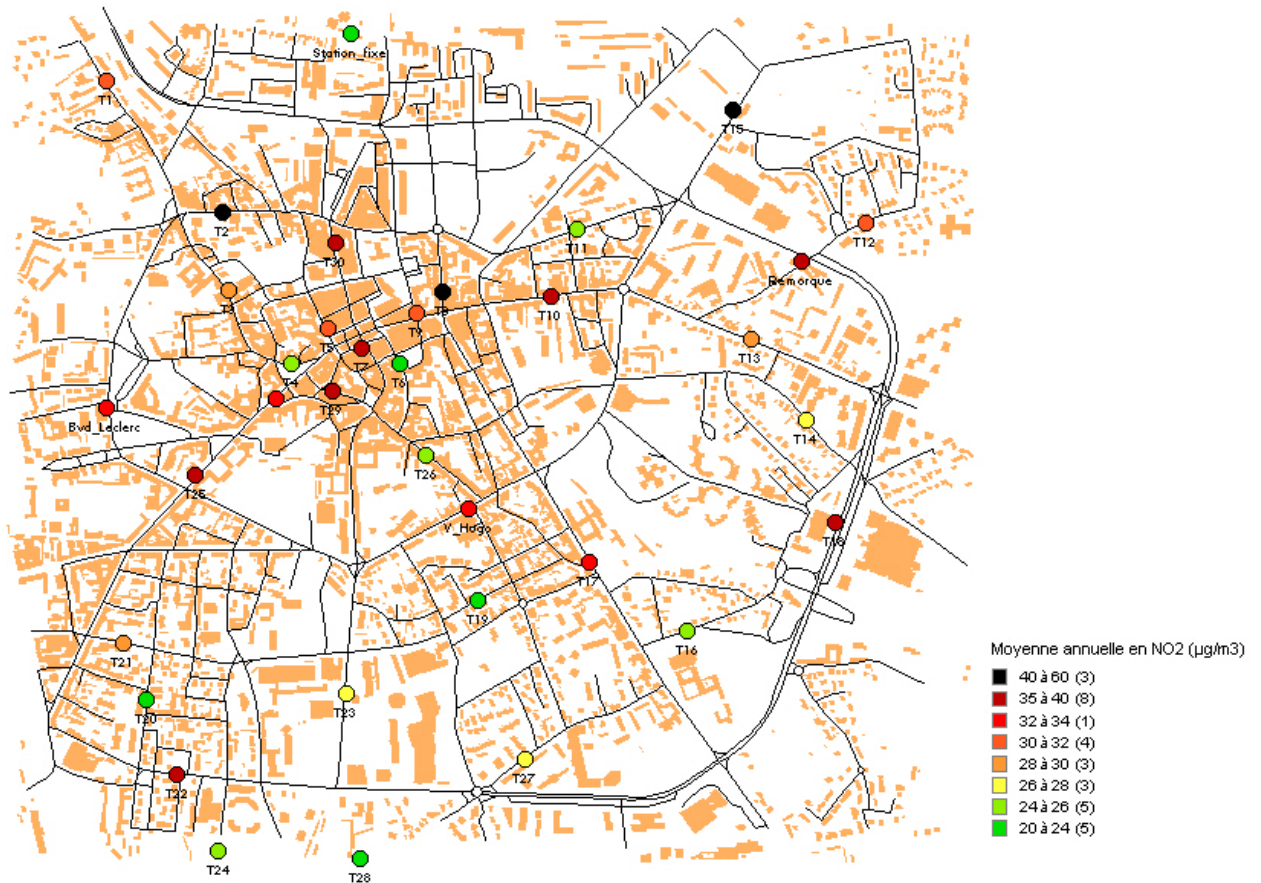


FIGURE 14 : CARTOGRAPHIE DES MOYENNES ANNUELLES EN NO₂ (µG/M3)

Il faut noter que les concentrations ne sont pas directement proportionnelles au trafic. La configuration de la rue joue également un rôle très important. Ainsi, les mêmes concentrations ont été mesurées sur l'avenue des sports (large et ouverte) et dans la rue du 4 septembre (rue étroite bordées de hauts bâtiments) bien que sur cette dernière, le trafic soit dix fois inférieur. La plus forte concentration a été mesurée rue Gabriel Vicaire qui combine un fort trafic, de haut bâtiments la bordant, de plus, la section mesurée est en montée, ce qui implique une hausse des émissions routières (Figure 14).

2.4.2. Les particules en suspension de diamètre moyen inférieur ou égale à 10 µm (PM10)

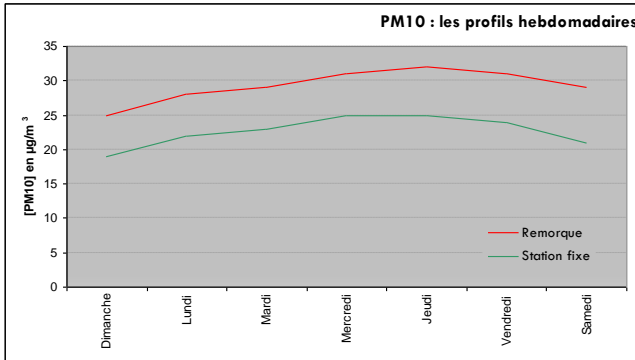


FIGURE 15 : PROFIL HEBDOMADAIRE EN PM10 (EN µG.M-3)

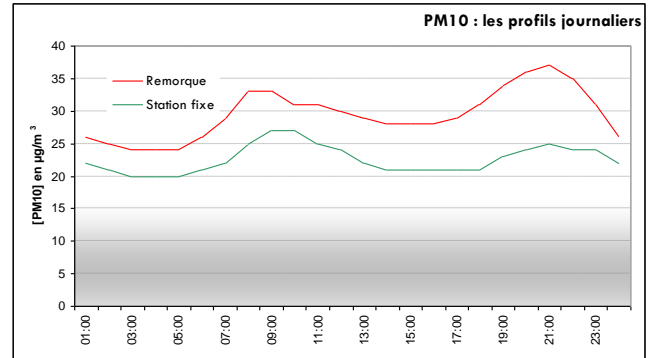


FIGURE 16 : PROFIL JOURNALIER EN PM10 (EN µG.M-3)

Les graphiques précédents (Figure 15 et Figure 16) montrent les profils hebdomadaires et journaliers des concentrations en particules fines à Bourg-en-Bresse. Comme précédemment, les concentrations en proximité automobile sont supérieures au fond urbain (entre 5 et 10 µg/m³ au-dessus). Les concentrations sont légèrement plus élevées en semaine que le week-end et sur le profil journalier, les pointes habituelles liées au trafic (8h et 20h) sont présentes sur toutes les stations mais sont plus marquées sur la station de proximité. On constate que le profil caractéristique du trafic est moins marqué que pour les oxydes d'azote, cela vient du fait que les particules ont des sources plus diverses que les oxydes d'azote. Par conséquent, la « part automobile » est moins visible, et ce, même en proximité routière.

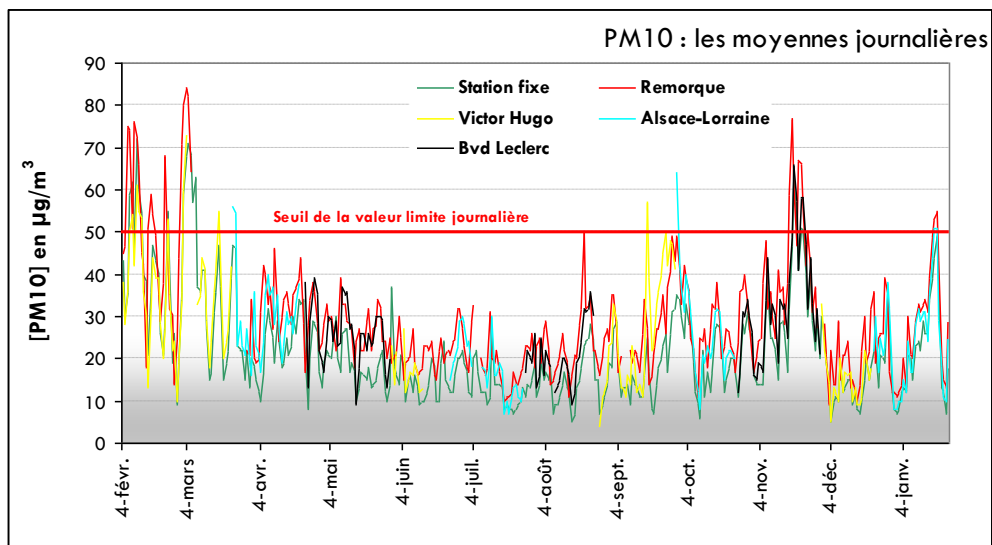


FIGURE 17 : CONCENTRATIONS MOYENNES JOURNALIERES EN PM10 (EN µG/M-3)

Les niveaux observés en particules en suspension (PM10) sur Bourg-en-Bresse sont évidemment plus marquées pendant les saisons froides (les conditions climatiques, liées à une hausse des émissions, étant propices à une accumulation de la pollution). Les concentrations relevées en proximité routière sont un peu plus élevées que sur la station urbaine (5 à 6 µg/m⁻³ en moyenne) mais suivent la même tendance en moyenne journalière (Figure 17).

Les émissions de particules en suspension sur Bourg-en-Bresse sont dues à environ 26% au trafic routier. Le trafic ne permet donc pas d'expliquer à lui seul les niveaux de particules rencontrés qui sont également liés aux émissions du secteur résidentiel/tertiaire, à l'industrie et à des conditions météorologiques qui peuvent être défavorables en bloquant la dispersion.

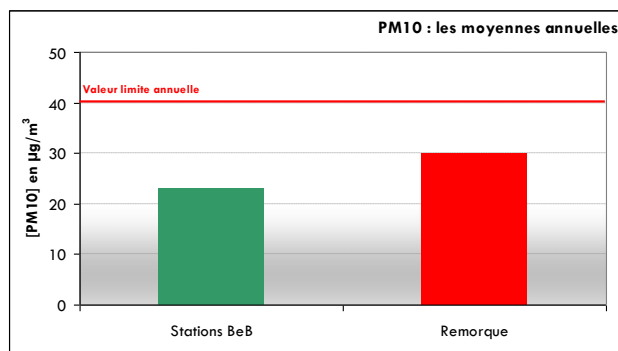


FIGURE 18 : MOYENNE ANNUELLE EN PM10 (EN $\mu\text{G}\cdot\text{M}^{-3}$)

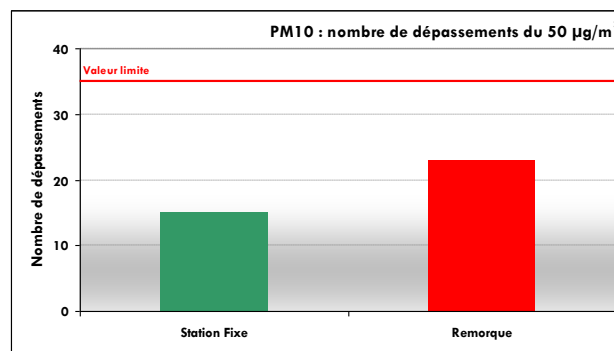


FIGURE 19 : NOMBRE DE DEPASSEMENTS DU 50 $\mu\text{G}\cdot\text{M}^{-3}$ EN MOYENNE JOURNALIERE POUR LES PM10

En moyenne annuelle (Figure 18), la station de proximité automobile est supérieure de $8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ à celle de la station urbaine mais respecte malgré tout la réglementation annuelle (moyenne) et journalière (nombre de jours de dépassement, Figure 19).

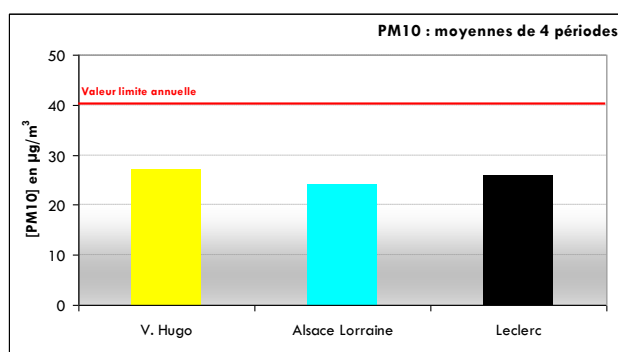


FIGURE 20 : MOYENNES DES PERIODES EN PM10 (EN $\mu\text{G}\cdot\text{M}^{-3}$)

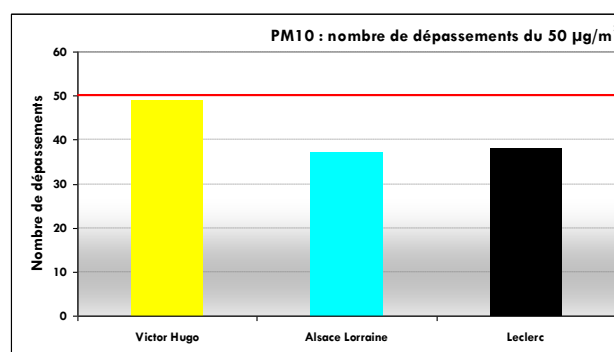


FIGURE 21 : 90,4 PERCENTILE DES MOYENNES JOURNALIERES

Concernant les mesures réalisées par la cabine sur les sites complémentaires, les mesures n'ayant pas été faites en continu mais selon un échantillonnage de 4x1 mois, il convient de calculer le 90,4 percentile afin de déterminer si la valeur limite journalière est respectée ou non. Si cette valeur est inférieure à 50, on peut conclure au respect de la réglementation. Sur le graphique précédent (Figure 21) les trois sites respectent cette valeur, toutefois, sur le boulevard V. Hugo, un dépassement n'est pas à exclure. Concernant la réglementation annuelle, les moyennes des périodes montrent que tous les sites respectent largement la valeur limite (Figure 20).

2.4.3. Situation au regard des normes en vigueur

Norme	Pas de temps	Valeur en $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Respect de la norme
Dioxyde d'azote	Objectif qualité Valeur limite	Moyenne annuelle 40	NON (G. Vicaire, 4 septembre, av. des sports)
	Valeur limite et seuil d'information	Moyenne horaire 200 (18 dépassements autorisés)	OUI
PM 10	Objectif de qualité	Moyenne annuelle 30	NON (30 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ bvd Kennedy)
	Valeur limite	Moyenne journalière 50 (35 dépassements autorisés)	OUI
		Moyenne annuelle 40	OUI

FIGURE 22 : RECAPITULATIF DE LA SITUATION DU POINT DE VUE REGLEMENTAIRE

En confrontant les mesures à la réglementation (Figure 22) il ressort que pour les PM10 dans le secteur du boulevard Kennedy, l'objectif de qualité n'est pas respecté. En revanche, les autres valeurs réglementaires ne sont pas dépassées.

Pour le dioxyde d'azote, la valeur limite annuelle est susceptible d'être dépassée sur des axes très passants et/ou encaissés. Toutefois, la très grande majorité des secteurs suivis ont montré des résultats satisfaisant vis-à-vis de la réglementation.

2.4.4. Conclusion sur les mesures

Afin de faire le suivi le plus efficace des concentrations année après année et de spatialiser les mesures afin qu'une information soit disponible sur un maximum de rues, un outil permettant de faire le constat sur une partie importante du centre-ville et également un outil d'aide à la décision a été développé. Il est basé sur des techniques de modélisations numériques de la physico-chimie de l'atmosphère. Cet outil, qui est opérationnel depuis près de 10 ans, a donc été déployé sur l'agglomération de Bourg-en-Bresse.

3. Des concentrations suivies par la modélisation

3.1. Qu'est-ce qu'une modélisation ?

La pollution atmosphérique est un phénomène complexe résultant essentiellement :

- Des émissions des polluants par les différentes sources (naturelles et humaines)
- Des transformations chimiques (recombinaisons d'espèces chimiques, dégradation...)
- De la dispersion de ces polluants, variable selon les conditions météorologiques et la topographie (qu'il s'agisse du relief naturel ou de la morphologie urbaine)
- Du dépôt des espèces chimiques sur les milieux (dépôts humides comme les pluies acides ou dépôts sec comme le dépôt noir sur les façades des bâtiments)

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

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

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

3.2. Description du modèle

Le modèle numérique utilisé pour appréhender la dispersion et la transformation des polluants à l'échelle de la rue est le modèle SIRANE. Ce modèle a été développé par l'Ecole Centrale de Lyon et est toujours activement entretenu et développé. Il permet de simuler la pollution dans un quartier constitué de rues-canyons interconnectées. Il s'agit d'un modèle adapté à l'échelle d'un quartier, donc pour un domaine d'étude de quelques centaines de mètres à quelques kilomètres carrés. Le modèle SIRANE traite différents types d'émissions à l'aide de sources linéiques (représentant par exemple une voie de circulation) et de sources ponctuelles (par exemple une cheminée). Il permet de prendre en compte les principaux effets qui agissent sur la dispersion des polluants à l'échelle d'un quartier :

- Phénomène de rue-canyon (confinement des polluants entre les bâtiments),
- Echanges des polluants au niveau des carrefours,
- Transport des polluants au-dessus des toits,
- Prise en compte des caractéristiques du vent extérieur (vitesse, direction, turbulence, stabilité thermique),
- Modélisation de transformations chimiques simples,
- Prise en compte de la vitesse de déposition des particules,
- Modélisation du dépôt humide.

L'obtention de la concentration des différents polluants dans chaque tronçon, au pas de temps horaire, est régie par les données d'entrée suivantes (Figure 23) :

- La morphologie des bâtiments : il s'agit du cadastre de la ville "en 3D", représentant les rues et les bâtiments par leur longueur, largeur et hauteur
- Les données d'émissions : cela concerne les émissions liées au trafic automobile et aux sources industrielles
- Les données météorologiques : classiquement il s'agit des températures, de la direction et de la vitesse du vent, de la pluviométrie et de l'ensoleillement
- Les données de pollution de fond : le modèle SIRANE ne permet de simuler que la dispersion des polluants émis par les véhicules à l'intérieur du quartier ; pour pouvoir comparer le modèle avec les mesures de terrain, il est donc nécessaire de prendre en compte la pollution de fond provenant de l'extérieur du domaine d'étude ou issue d'autres types d'émetteurs non pris en compte
- Les constantes physiques du quartier : il s'agit de données nécessaires aux différents calculs, généralement fixées empiriquement. Citons pour exemple l'albédo, la longueur de rugosité (prise en compte des détails des bâtiments), ou encore le coefficient de Priestley-Taylor (reflète la quantité d'eau disponible pour l'évaporation)

La modélisation des émissions a été réalisée avec le logiciel COPERT (logiciel financé par l'agence européenne de l'environnement). Il permet d'automatiser le calcul des émissions automobiles sur chaque portion de voirie. Il comprend deux types d'informations : les émissions unitaires par type de véhicule, et la composition du parc roulant. Il permet ainsi de connaître les émissions de nombreux polluants sur une voie ou un réseau routier à partir de comptages routiers.

Cette chaîne de calculs est présentée sur la figure suivante (Figure 23). Elle permet en tout point du domaine et à tout instant d'évaluer les concentrations des principaux polluants de la qualité de l'air. La restitution peut alors être une cartographie à l'instant t des concentrations ou une courbe décrivant l'évolution temporelle en un point.

3.3. Périmètre de la zone d'étude

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

- SIRANE est un modèle particulièrement efficace pour la résolution des équations dans des rues « canyon » (faible largeur de voirie mais grande hauteur des bâtiments), les résultats sont plus fiables que sur des rues dites « ouvertes » (peu de bâti autour de la voirie)
- Le temps de calcul est également un facteur limitant, une simulation peut ainsi avoir une durée de plusieurs semaines (l'espace disque pour le stockage des résultats pourra alors atteindre plusieurs dizaines de giga-octets)



FIGURE 24 : PERIMETRE DE LA SIMULATION SIRANE SUR BOURG-EN-BRESSE

Le cœur de ville avec ses immeubles hauts, un trafic routier dense et une importante population potentiellement impactée a été choisi. Ce secteur de 4,33 km² est présenté sur la carte ci-dessous (Figure 24).

3.4. Validation du modèle

Bien que le logiciel ait été validé lors de sa conception, il est indispensable de comparer les résultats obtenus à des mesures réalisées sur le terrain : la validation a été réalisée sur le périmètre SIRANE par la confrontation mesures 2011/modèle à partir des stations de proximité et de la station fixe de Bourg-en-Bresse qui se trouvent dans le périmètre d'étude.

La moyenne annuelle	Mesures NO ₂	Modèle NO ₂	Mesures PM10	Modèle PM10	Mesures O ₃	Modèle O ₃
Station fixe Bourg-en-Bresse	20	18	23	23	46	48
Remorque en proximité automobile	36	37	30	25	38	34

FIGURE 25 : COMPARAISON MESURES/MODELES DES MOYENNES ANNUELLES DANS LE PERIMETRE SIRANE (µg.M-3)

La représentation de la moyenne annuelle par le modèle est en bonne adéquation avec la mesure que ce soit pour l'ozone, le dioxyde d'azote ou les particules en suspension l'écart est compris entre 0 et 17% (17% en proximité routière). Le modèle a une légère tendance à sous-estimer la station de fond urbain et la station de proximité automobile (Figure 25). La sous-estimation du modèle sur le site de proximité automobile est en partie liée à l'emplacement particulier de la remorque puisqu'elle était implantée à côté d'un feu rouge. Les démarrages des véhicules à ce carrefour provoquent une surémission qui n'est pas prise en compte par le modèle qui considère sur un même brin un trafic à véhicules et vitesse constante au pas de temps horaire. Toutefois, ces résultats montrent la capacité du modèle à reproduire les longues séries temporelles et montrent également qu'il n'existe pas de biais systématiques importants en fond urbain.

A noter toutefois que la robustesse du modèle est moindre en zone non bâti et faiblement bâti (rues qui ne sont pas cayon).

Les autres moyens mobiles déployés (cabine PM10 et tubes NO₂) ont également servis à la validation mais une comparaison brute mesure/modèle est difficilement exploitable. En effet, l'incertitude de la mesure, la durée de prélèvement, certaines périodes de sous et surexposition, l'emplacement des mesures rend difficile la validation des moyens mobiles par les simples résultats du modèle. Toutefois, ces mesures permettent de suivre l'évolution des trafics et les tendances de fond du modèle qui est alors adapté en termes d'émissions du trafic et de données de pollution de fond.

3.5. Résultats de SIRANE

3.5.1. Résultats pour le dioxyde d'azote

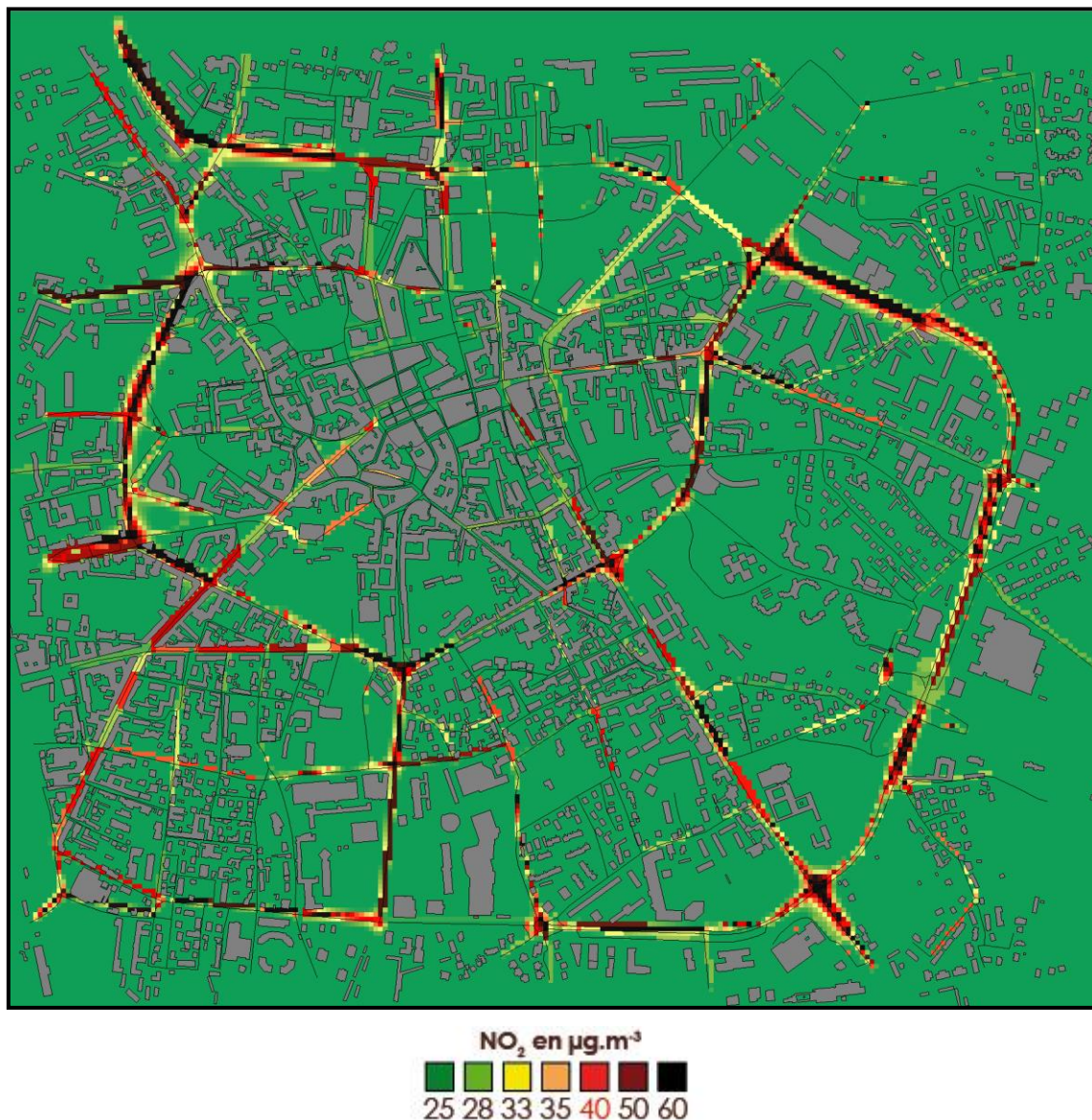


FIGURE 26 : MODELISATION DU DIOXYDE D'AZOTE EN MOYENNE ANNUELLE POUR L'ANNEE 2011 (µG.M-3)

Les simulations réalisées avec SIRANE sur chaque heure de l'année permettent de restituer une cartographie de la moyenne annuelle et de visualiser les rues qui peuvent potentiellement ne pas respecter les normes 2011 de la qualité de l'air.

Cette valeur limite pour le NO₂ se retrouve sur la Figure 26. Elle montre que de nombreux axes structurants ne respectent ni l'objectif de qualité, ni la valeur limite 2011. Les rues en dépassement sont souvent très circulantes avec un bâti dense de part et d'autre de la chaussée qui ne permet pas de disperser correctement les polluants émis par le trafic. Pour ne citer que les axes les plus exposés, se retrouvent les boulevards périphériques : le boulevard Curie, Kennedy, de Gaulle, Leclerc, Bert, Hugo, l'allée 8 mai et l'avenue des sports. Les boulevards pénétrants sont aussi impactés (Brou, J.M. Verne, Jaurès, Herriot). Ainsi, environ 3% de la surface totale ne respecte pas la valeur limite.

Il est à noter que les places et rues piétonnes sont moins exposées à des concentrations élevées et respectent le plus souvent la réglementation.

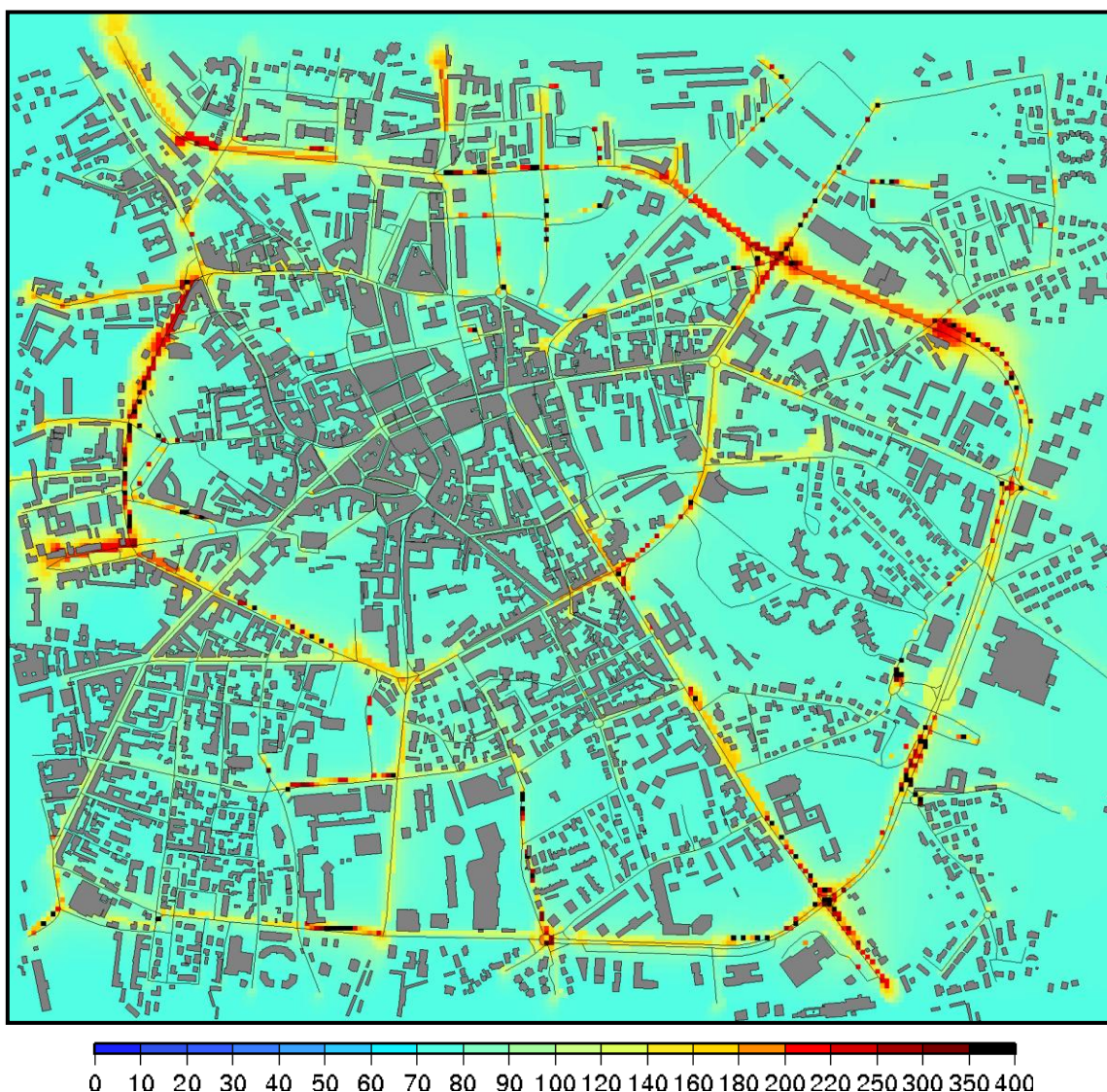


FIGURE 27 : MODELISATION DU DIOXYDE D'AZOTE : MAXIMUM HORAIRE MODELISE POUR L'ANNEE 2011 ($\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$)

Le maximum horaire de l'année en dioxyde d'azote donne également une information sur l'exposition ponctuelle maximale de la population et la localisation des zones les plus impactées (Figure 27). Lors d'un pic en NO_2 toutes les rues ne sont pas concernées : les dépassements sont le plus souvent liés à un trafic intense, des bouchons et à des conditions météorologiques particulièrement défavorables à la qualité de l'air (masse d'air froide et stagnante). Aucun dépassement du seuil réglementaire des $200 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ (niveau d'information et de recommandations des personnes sensibles) n'a jamais été enregistré sur la station historique de Bourg-en-Bresse. Un seul dépassement a été enregistré sur la station de proximité (le 21/11/2011 à 17h00) installée pour la durée de l'étude.

La modélisation montre un risque de dépassement sur les boulevards périphériques et pénétrants vers le centre. Toutefois, moins de 1% de la surface modélisée dépasse le $200 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ en moyenne horaire lors de ce pic.

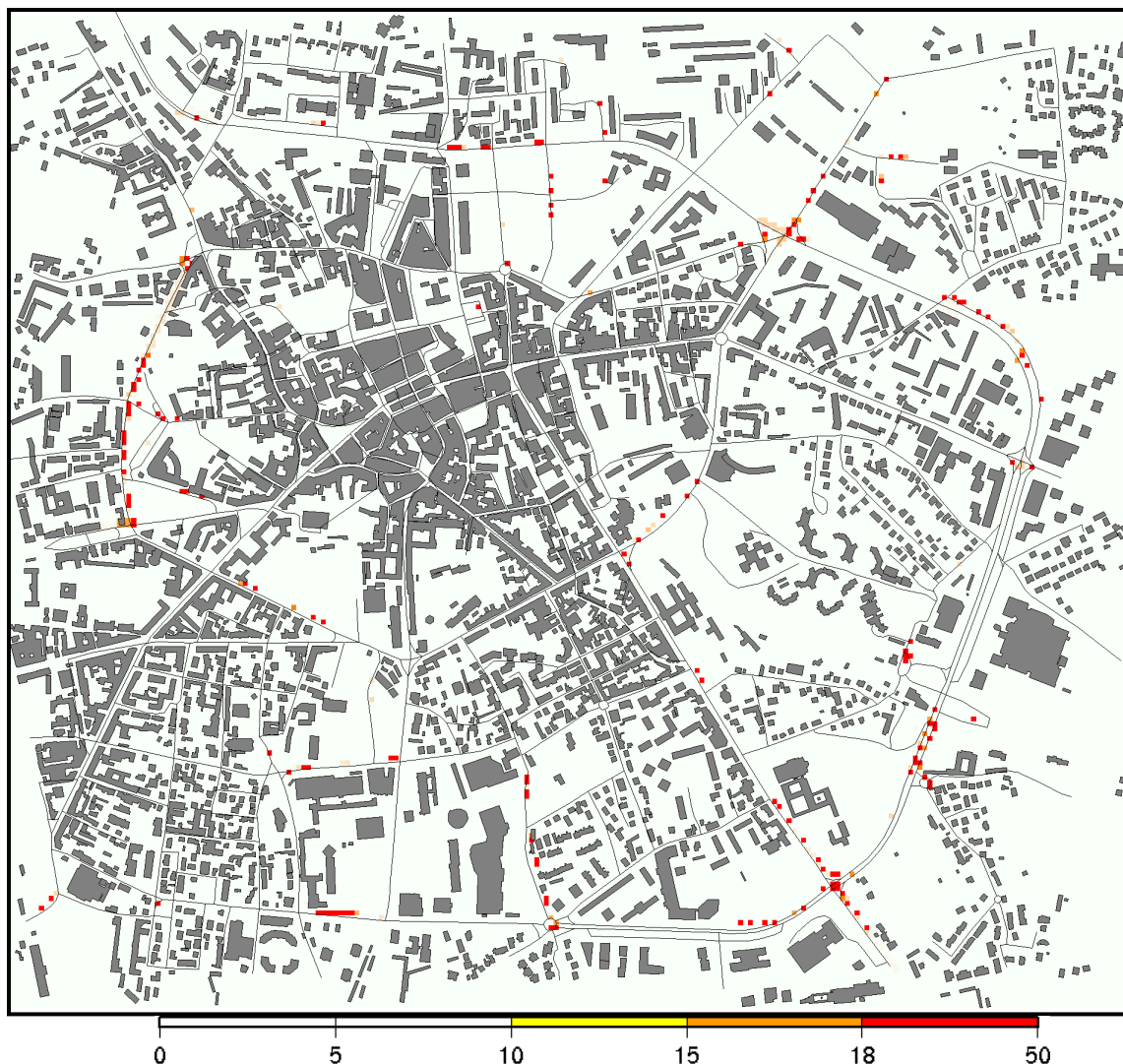


FIGURE 28 : MODELISATION DU DIOXYDE D'AZOTE : NOMBRE DE DEPASSEMENTS DU 200 µG.M-3 POUR L'ANNEE 2008

Le nombre de dépassement du 200 µg.m⁻³ en horaire est également un indicateur du respect de la valeur limite, il est représenté sur la Figure 28. Sur cette figure, seuls quelques points isolés ne respectent pas la valeur limite fixée à 18 dépassements du 200 µg.m⁻³.

3.5.2. Résultat pour les particules en suspension PM10

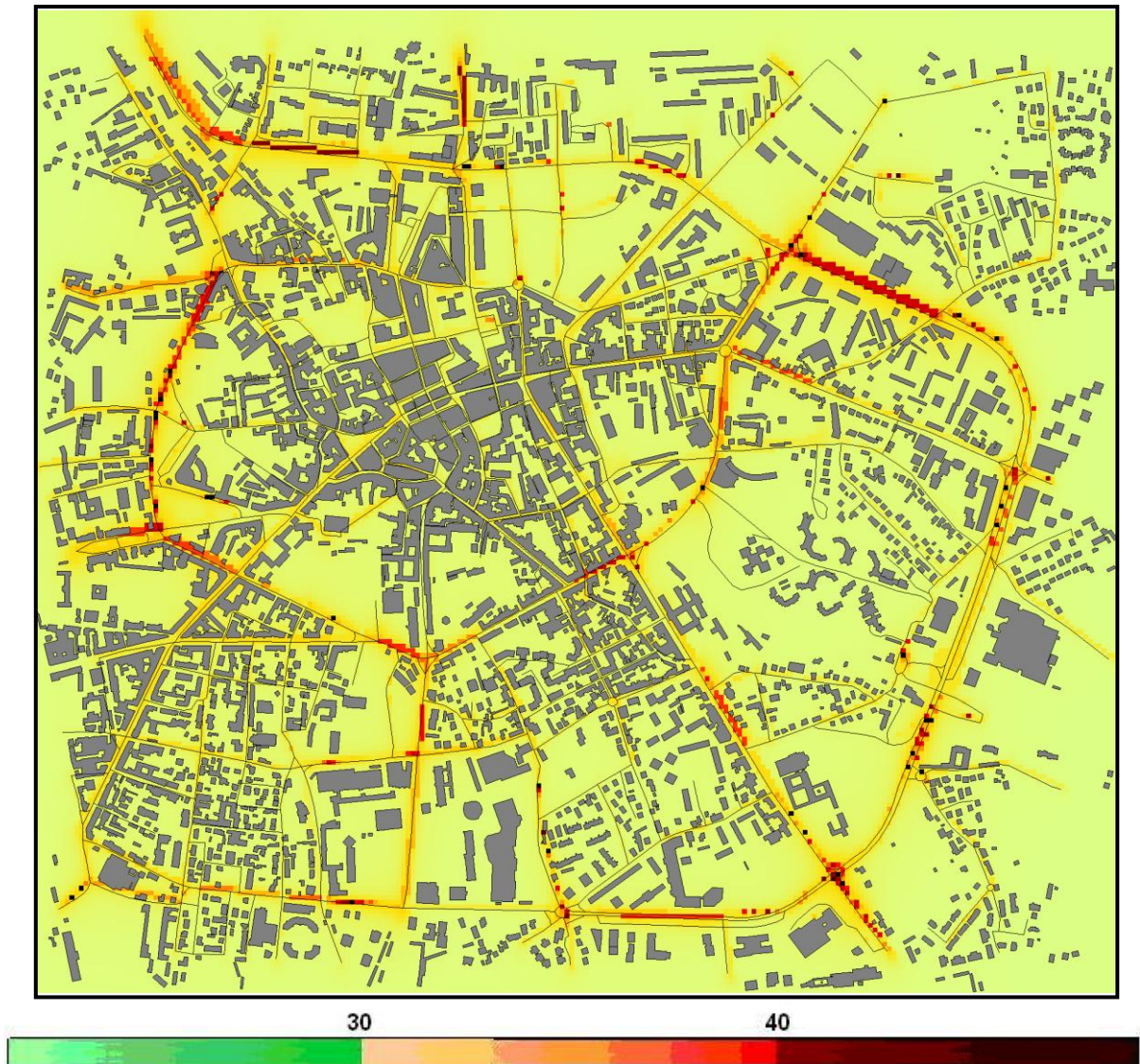


FIGURE 29 : MODELISATION DES PARTICULES EN SUSPENSION PM10 EN MOYENNE ANNUELLE POUR L'ANNEE 2011 ($\mu\text{G.M-3}$)

Comme pour le dioxyde d'azote, les moyennes annuelles en poussières en suspension sont les plus élevées le long des axes structurants (Figure 29). Les dépassements de la valeur limite pour la moyenne annuelle sont par contre moins nombreux que dans le cas du NO_2 : moins de 1% de la surface totale est concernée. Il est à noter que le niveau de fond est relativement élevé et uniforme sur le domaine modélisé et le cœur de ville.

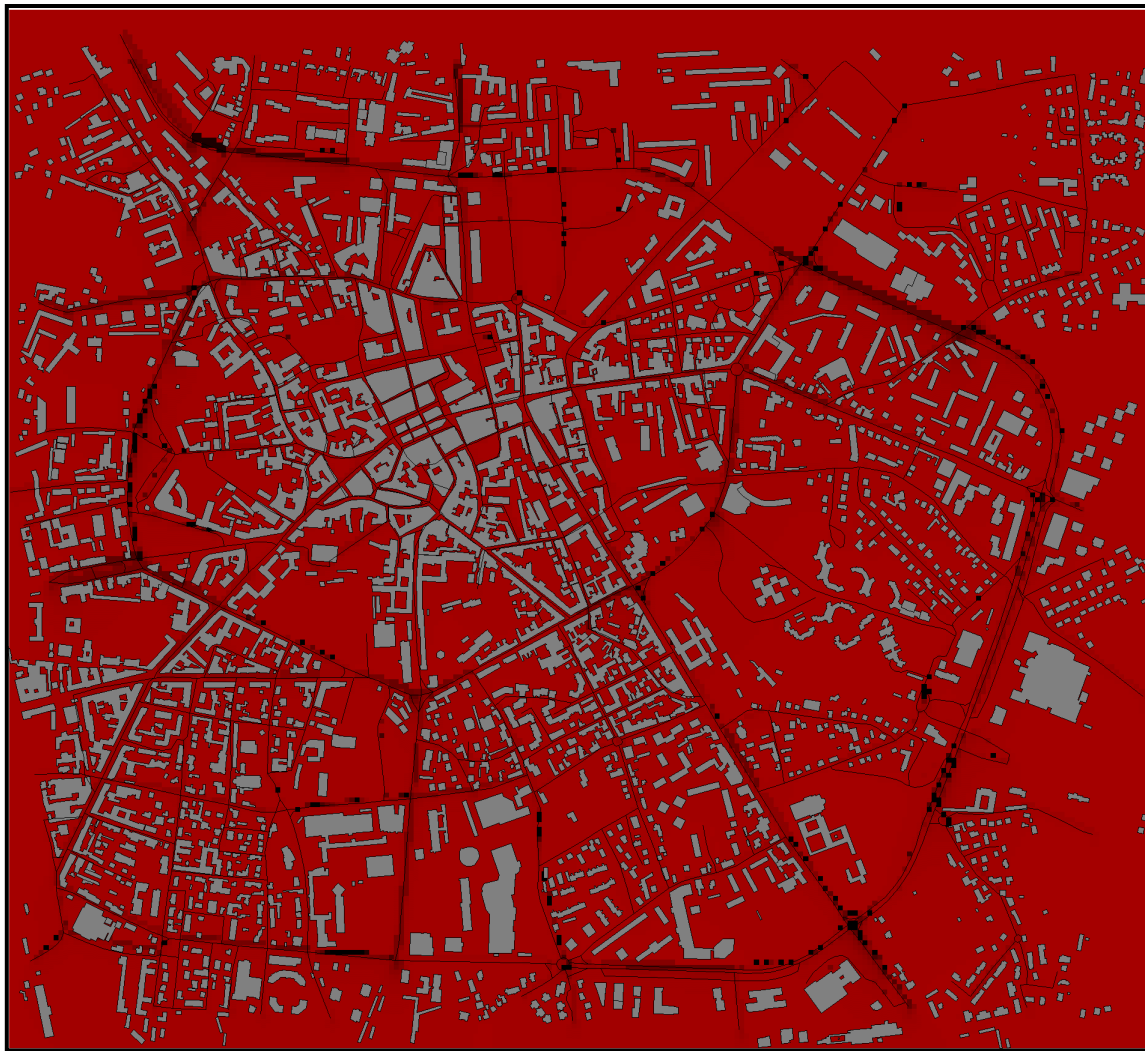


FIGURE 31 : MODELISATION DES POUSSIERES EN SUSPENSION (PM10): MAXIMUM JOURNALIER DE L'ANNEE 2011 EN µG.M-3

Lors d'un important épisode de pollution aux particules en suspension comme cela a été le cas le 10 février 2011, non seulement l'ensemble de l'agglomération est touchée (Figure 31) et dépasse le niveau d'information et de recommandations des personnes sensibles mais aussi de nombreuses autres agglomérations et bassins d'air de la région. Il n'existe pas de réglementation concernant le maximum horaire pour les PM10.

3.5.3. Résultats pour l'ozone



FIGURE 32 : MODELISATION DU MAXIMUM HORAIRE D'OZONE POUR L'ANNEE 2011 ($\mu\text{G.M}^{-3}$)

A la différence des polluants primaires qui sont directement rejetés par une source (une cheminée, un pot d'échappement,...), l'ozone est un polluant dit "secondaire" : il est issu de la transformation, par réaction chimique, de polluants primaires. Ainsi, les polluants primaires sont majoritairement présents à proximité de leur lieu de production, par exemple le long d'un axe routier. Par contre, pour l'ozone, des réactions chimiques complexes sont en jeu et les concentrations importantes sont enregistrées à une certaine distance des lieux d'émissions, en périphérie d'un centre-ville par exemple. Les émissions du trafic vont en quelque sorte protéger le centre-ville de ce polluant (Figure 32). Les artères roulantes montrent même les concentrations les plus faibles lors d'un pic de pollution à l'ozone : ces concentrations de 120 à 150 $\mu\text{g.m}^{-3}$, même si elles sont les plus faibles de la zone, restent élevées. Aucun pic de pollution en ozone n'a été relevé sur la station historique de Bourg-en-Bresse depuis juillet 2006.

4. Conclusions

Un suivi des concentrations en polluants primaires en bordure de voirie à Bourg-en-Bresse a été réalisé à l'aide d'une remorque et d'une cabine spécifiques durant toute l'année 2011. Ce dispositif a été complété pour des prélèvements ponctuels de NO₂ à l'aide de tubes passifs. L'ensemble de ces données ont permis l'élaboration de cartes de pollution du centre-ville.

Les concentrations relevées en NO₂ à proximité du trafic sont, comme attendu, plus importantes que sur la station de fond. Toutefois, les dépassements du seuil horaire sont rares. La modélisation montre en revanche que de nombreux axes structurants dépassent la valeur limite annuelle.

Pour les particules en suspension (PM10), la moyenne annuelle respecte globalement la réglementation puisque moins de 1% de la surface totale est concernée par des dépassements. Il est à noter que le niveau de fond est relativement élevé et uniforme sur le domaine modélisé et le cœur de ville. En considérant les moyennes journalières, la majorité des axes structurants est au-dessus de 35 jours de dépassements (2% de la surface modélisée). Ces dépassements concernent surtout des journées hivernales et anticycloniques (mauvaise dispersion des polluants, hausse du chauffage). Enfin, lors d'épisodes de pollution aux particules tels que celui observé le 10 février 2011, l'ensemble de l'agglomération est touchée et dépasse le niveau d'information et de recommandations des personnes.

Contrairement aux polluants primaires qui sont majoritairement présents à proximité de leur lieu de production, l'ozone se retrouve à une certaine distance des lieux d'émissions, en lien avec des réactions chimiques complexes. Le trafic va même « protéger » le centre-ville de ce polluant. En effet, les polluants primaires et les oxydes d'azote en particulier constituent des prédateurs de l'ozone. Ainsi, les artères roulantes montrent les concentrations les plus faibles lors d'un pic de pollution à l'ozone (comprises entre 120 et 150 µg.m⁻³). Ces niveaux sont cependant élevés. Aucun pic de pollution en ozone n'a été relevé sur la station historique de Bourg-en-Bresse depuis juillet 2006.

Cette étude a permis le développement du modèle SIRANE sur Bourg-en-Bresse et servira d'année de référence pour observer, via modélisation, l'évolution de la qualité de l'air sur le centre-ville dans les années à venir.

Table des illustrations

FIGURE 1 : RECAPITULATIF DE LA REGLEMENTATION.....	7
FIGURE 2 : EMPLACEMENT DE LA REMORQUE DE MESURES EN PROXIMITE TRAFIC.....	8
FIGURE 3 : SITE DE L'AVENUE D'ALSACE LORRAINE (UTM31 671556 ; 5119098).....	9
FIGURE 4 : SITE DU BOULEVARD LECLERC (UTM31 671147 ; 5119078).....	9
FIGURE 5 : SITE DU BOULEVARD V. HUGO (UTM31 672017 ; 5118833).....	9
FIGURE 6 : LISTE DES PONTS DE PRELEVEMENTS PASSIFS (COORDONNEES EN UTM31).....	10
FIGURE 7 : EXEMPLE DE PRELEVEMENT PAR TUBES.....	11
FIGURE 8 : REPARTITION DES SITES DE MESURES (EN JAUNE : PERIMETRE DE L'ETUDE).....	11
FIGURE 9 : CONCENTRATIONS MAXIMALES JOURNALIERES RELEVees EN PROXIMITE AUTOMOBILE A BOURG-EN-BRESSE POUR LE DIOXYDE D'AZOTE (EN $\mu\text{G.M-3}$).....	12
FIGURE 10 : PROFIL HEBDOMADAIRE POUR LE NO_2 (EN $\mu\text{G.M-3}$).....	13
FIGURE 11 : PROFIL JOURNALIER POUR LE NO_2 (EN $\mu\text{G.M-3}$).....	13
FIGURE 12 : MOYENNE ANNUELLE DU DIOXYDE D'AZOTE (EN $\mu\text{G.M-3}$).....	13
FIGURE 13 : MOYENNES ANNUELLES EN NO_2 SUR LES SITES DE PRELEVEMENTS PASSIFS.....	14
FIGURE 14 : CARTOGRAPHIE DES MOYENNES ANNUELLES EN NO_2 ($\mu\text{G/M3}$).....	15
FIGURE 15 : PROFIL HEBDOMADAIRE EN PM_{10} (EN $\mu\text{G.M-3}$).....	16
FIGURE 16 : PROFIL JOURNALIER EN PM_{10} (EN $\mu\text{G.M-3}$).....	16
FIGURE 17 : CONCENTRATIONS MOYENNES JOURNALIERES EN PM_{10} (EN $\mu\text{G/M-3}$).....	16
FIGURE 18 : MOYENNE ANNUELLE EN PM_{10} (EN $\mu\text{G.M-3}$).....	17
FIGURE 19 : NOMBRE DE DEPASSEMENTS DU 50 $\mu\text{G.M-3}$ EN MOYENNE JOURNALIERE POUR LES PM_{10}	17
FIGURE 20 : MOYENNES DES PERIODES EN PM_{10} (EN $\mu\text{G.M-3}$).....	17
FIGURE 21 : 90,4 PERCENTILE DES MOYENNES JOURNALIERES.....	17
FIGURE 22 : RECAPITULATIF DE LA SITUATION DU POINT DE VUE REGLEMENTAIRE.....	18
FIGURE 23 : CHAINE DE CALCULS MISE EN ŒUVRE POUR LA MODELISATION DE LA QUALITE DE L'AIR A L'ECHELLE DE LA RUE SUR BOURG-EN-BRESSE.....	21
FIGURE 24 : PERIMETRE DE LA SIMULATION SIRANE SUR BOURG-EN-BRESSE.....	22
FIGURE 25 : COMPARAISON MESURES/MODELES DES MOYENNES ANNUELLES DANS LE PERIMETRE SIRANE ($\mu\text{G.M-3}$).....	23
FIGURE 26 : MODELISATION DU DIOXYDE D'AZOTE EN MOYENNE ANNUELLE POUR L'ANNEE 2011 ($\mu\text{G.M-3}$).....	24
FIGURE 27 : MODELISATION DU DIOXYDE D'AZOTE : MAXIMUM HORAIRE MODELISE POUR L'ANNEE 2011 ($\mu\text{G.M-3}$).....	25
FIGURE 28 : MODELISATION DU DIOXYDE D'AZOTE : NOMBRE DE DEPASSEMENTS DU 200 $\mu\text{G.M-3}$ POUR L'ANNEE 2008.....	26
FIGURE 29 : MODELISATION DES PARTICULES EN SUSPENSION PM_{10} EN MOYENNE ANNUELLE POUR L'ANNEE 2011 ($\mu\text{G.M-3}$).....	27
FIGURE 30 : MODELISATION DES POUSSIERES EN SUSPENSION (PM_{10}): NOMBRE DE JOURNEES DE DEPASSEMENTS DU 50 $\mu\text{G.M-3}$ POUR L'ANNEE 2011.....	28
FIGURE 31 : MODELISATION DES POUSSIERES EN SUSPENSION (PM_{10}): MAXIMUM HORAIRE DE L'ANNEE 2011 EN $\mu\text{G.M-3}$	29
FIGURE 32 : MODELISATION DU MAXIMUM HORAIRE D'OZONE POUR L'ANNEE 2011 ($\mu\text{G.M-3}$).....	30

Remerciements



Nous tenons à remercier les personnes qui ont permis que cette étude se déroule dans de bonnes conditions : Mme Sophie AULAZ, responsable du service hygiène et santé publique ; Mme Claire ALLOMBERT du service voirie et M. Christophe MOURGUES du service éclairage public. Leur concours a été précieux dans la recherche des sites de mesures ainsi que pendant la phase opérationnelle des campagnes.

