

rues « canyons » de l'agglomération angevine



qualité de l'air en 2002 et 2015

impact du Plan de Déplacements Urbains,

des projets routiers et des transports collectifs

novembre 2006



sommaire

synthèse	1
introduction	9
la modélisation des rues « canyons »	10
qu'est ce qu'une rue « canyon » ?.....	11
le logiciel OSPM : un modèle adapté aux rues « canyons »	11
la zone d'étude et les données de modélisation	14
la zone d'étude.....	15
les données de circulation automobile.....	18
les émissions des véhicules.....	19
la pollution urbaine de fond.....	20
la météorologie.....	22
le Plan de Déplacements Urbains de l'agglomération angevine ..	23
généralités sur les Plans de Déplacements Urbains (PDU)	24
le PDU de l'agglomération angevine	24
des exemples d'impact d'un PDU sur la qualité de l'air.....	26
qualité de l'air en 2002 et 2015 dans les rues « canyons »... 	28
l'accord mesure modèle.....	29
nature des résultats proposés.....	31
qualité de l'air en 2002	32
qualité de l'air en 2015.....	39
conclusions et perspectives	50
annexes	51
annexe 1 : Air Pays de la Loire	52
annexe 2 : techniques d'évaluation.....	53
annexe 3 : types des sites de mesure	54
annexe 4 : polluants	55
annexe 5 : seuils de qualité de l'air 2002 et 2010	56
annexe 6 : description technique de la modélisation des rues « canyons ».....	57
annexe 7 : procédure de calcul des paramètres des rues	58
annexe 8 : paramètres des rues « canyons » modélisées.....	61
annexe 9 : sensibilité du modèle à l'hétérogénéité du bâti [8]	62
annexe 10 : projets de voirie et de transports à l'horizon 2015 dans l'agglomération angevine	63
annexe 11 : concentrations dans chaque section « canyon ».....	64
bibliographie	73
glossaire	74
abréviations	74
définitions.....	75
précisions sur les calculs statistiques	75

contributions

Coordination de l'étude - Rédaction : Arnaud REBOURS, Réalisation de l'étude : William HO (Ecole des Mines de Nantes), Validation : Luc LAVRILLEUX.

conditions de diffusion

Air Pays de la Loire est l'association agréée pour assurer la surveillance de la qualité de l'air dans la région des Pays de la Loire, au titre de l'article L. 221-3 du code l'environnement, précisé par l'arrêté du 3 août 2004 pris par le ministère de l'Écologie et du développement durable.

À ce titre et compte tenu de ses statuts, Air Pays de la Loire est garante de la transparence de l'information sur les résultats des mesures et les rapports d'études qu'elle produit selon les règles suivantes :

Air Pays de la Loire réserve un droit d'accès au public aux résultats des mesures recueillies et rapports produits dans le cadre de commandes passées par des tiers. Ces derniers en sont destinataires préalablement.

Air Pays de la Loire a la faculté de les diffuser selon les modalités de son choix : document papier, communiqué, résumé dans ses publications, mise en ligne sur son site Internet www.airpl.org, etc...

Air Pays de la Loire ne peut en aucune façon être tenue responsable des interprétations et travaux intellectuels, publications diverses ou de toute œuvre utilisant ses mesures et ses rapports d'études pour lesquels Air Pays de la Loire n'aura pas donné d'accord préalable.

avertissement

Les sorties de modélisation et les cartographies générées restent des résultats de calculs numériques qui par construction comportent des marges d'incertitudes liées à l'état des connaissances scientifiques dans le domaine de la physico-chimie atmosphérique ainsi qu'à la qualité des données d'entrée nécessaires à leur fonctionnement (météorologie, trafic routier, configuration des rues...).

La responsabilité d'Air Pays de la Loire n'est pas susceptible d'être engagée en raison de défauts de qualité de ces données et des incertitudes qui y sont associées, d'erreurs ou d'omissions pouvant affecter les données diffusées ou du fait de l'usage et de la mauvaise interprétation des données par l'utilisateur.

remerciements

Air Pays de la Loire remercie Angers Loire Métropole par l'intermédiaire de la Direction Déchets - Environnement pour avoir accepté la réalisation de cette étude. L'intérêt pour le projet a engendré une collaboration active des acteurs locaux parmi lesquels la Direction Transports – Voiries – Déplacements d'Angers Loire Métropole (description des scénarii de transport, fourniture des données modélisées de trafic), la Direction du Système d'Information Communautaire d'Angers Loire Métropole (calcul des paramètres de configuration des rues « canyons ») et les Directions de la Voirie et de l'Environnement - Cadre de vie de la ville d'Angers (fourniture des comptages de trafic et des vitesses des véhicules).

synthèse

contexte ➤ les rues « canyons » concentrent la pollution

Selon la réglementation, la surveillance de la qualité de l'air doit notamment fournir des renseignements dans les endroits où s'observent les plus fortes concentrations de polluants atmosphériques auxquelles la population est exposée. En agglomération, il s'agit des rues soumises aux rejets atmosphériques de la circulation.

La surveillance réalisée en 2005 à proximité immédiate de la voie des Berges montre ainsi une forte probabilité de dépassement de la valeur limite pour le dioxyde d'azote. A l'heure actuelle, les risques de franchissement de certains seuils réglementaires sont également avérés dans les rues « canyons » qui en raison de leur configuration encaissée empêchent la dilution des polluants. C'est le cas de l'objectif de qualité pour le benzène qui est franchi dans la quasi-totalité des rues « canyons » surveillées dans les Pays de la Loire, dont la rue de la Roë à Angers.



Exemple d'une rue « canyon » à Angers (rue de la Roë)

objectifs ➤ cartographies et impact du PDU

L'amélioration de la connaissance de la pollution urbaine et notamment de proximité routière constitue un axe de travail prioritaire pour Air Pays de la Loire dont un des objectifs prévoit de mieux répondre aux attentes des collectivités locales sur l'impact de leurs politiques de déplacements.

Air Pays de la Loire a ainsi proposé à Angers Loire Métropole, qui l'a accepté, de réaliser une étude de la qualité de l'air dans les rues « canyons » de l'agglomération angevine pour l'année 2002 (état initial) et pour l'année 2015. A l'horizon 2015, deux scénarii de transport du Plan de Déplacement Urbain sont évalués : le scénario « au fil de l'eau » appelé aussi « référence » et le scénario de « projet PDU ».

Les objectifs visés sont de :

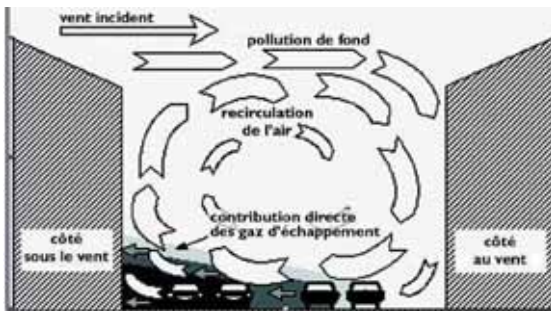
- cartographier la qualité de l'air dans les rues « canyons » de l'agglomération angevine pour les années 2002 et 2015 ;
- étudier les niveaux de pollution vis-à-vis des seuils réglementaires actuels et futurs ;
- évaluer l'impact de la mise en œuvre du Plan de Déplacement Urbain sur la qualité de l'air ;
- fournir des éléments nécessaires à l'implantation d'une station de mesure permanente en remplacement de celle de la rue de la Roë.

moyens OSPM : un modèle éprouvé

Un « canyon » est formé dans une rue entre deux rangées de grands bâtiments. La caractérisation principale d'une rue canyon est son rapport hauteur/largeur (H/L), où H est la hauteur moyenne du bâti et L, la largeur entre les deux rangées de bâtiments.

Le modèle OSPM (Operational Street Pollution Model) a été utilisé pour ce projet. C'est un logiciel destiné à la modélisation des rues canyons. Il est largement utilisé dans les études et recherches au niveau européen.

La pollution totale modélisée par OSPM s'exprime comme la somme de la pollution de fond et de la pollution émise par les véhicules en circulation.



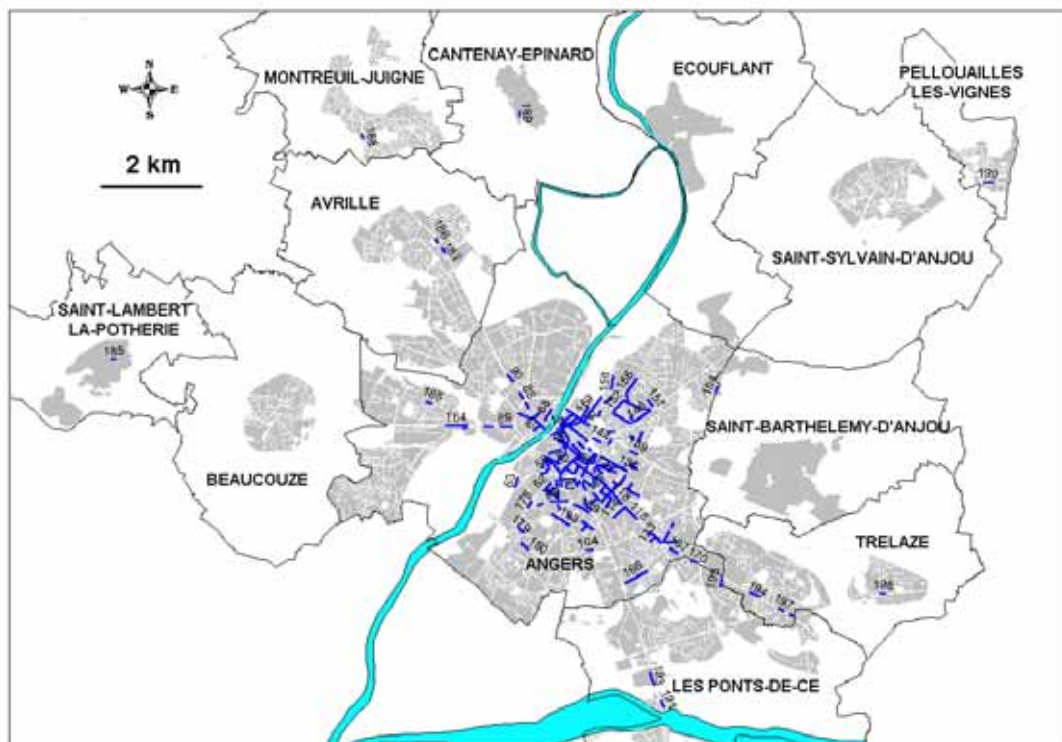
Principe d'entraînement des polluants dans une rue « canyon » par OSPM

OSPM nécessite la connaissance de la pollution ambiante de l'agglomération, de la météorologie, de la configuration de la rue et du trafic automobile horaire et calcule les concentrations horaires sur une année de quatre polluants, majoritairement émis par le trafic routier : dioxyde d'azote, benzène, monoxyde de carbone et particules PM₁₀. L'ozone, s'il est pris en compte par le modèle, n'est pas reporté dans les résultats puisque c'est à l'écart des sources de pollution que ce polluant est observé à de plus fortes concentrations.

résultats zone d'étude et données de modélisation

198 sections « canyons » identifiées

Une sélection des rues bordées de bâtiments homogènes en terme de configuration a été réalisée. La zone d'étude est constituée de 198 sections de rues « canyons » dont 14 sont situées sur les communes périphériques de la ville d'Angers. Au total, 31 km de voirie sont modélisés.



Répartition géographique des sections « canyons » dans l'agglomération angevine

Les rues dégagées, notamment la voie des Berges, ne sont pas donc pas étudiées puisqu'elles sont situées hors du domaine de validité du modèle mis en œuvre.

source des données d'entrée du modèle

Les données géométriques et les trafics modélisés en 2002 et en 2015 dans chacune des 198 sections ont été respectivement fournis par la Direction du Système d'Information Communautaire et par la Direction Transports – Voiries – Déplacements d'Angers Loire Métropole.

Les émissions des axes de circulation sont calculées à partir du nombre et des caractéristiques des véhicules et du facteur d'émission correspondant.

Les données de pollution de fond de l'année 2002 sont issues des stations permanentes d'Air Pays de la Loire localisées dans l'agglomération angevine.

L'estimation de la pollution de fond à l'horizon 2015 est basée sur deux hypothèses : une stabilisation (hypothèse majorante) ou une diminution (hypothèse minorante) des concentrations entre 2002 et 2015.

Les données météorologiques ont été obtenues sur la station Météo France de Beaucouzé, située à 5 km à l'ouest du centre ville d'Angers.

résultats ➔ le PDU de l'agglomération angevine

Un Plan de Déplacements Urbains (PDU) définit les principes permettant d'organiser les déplacements des personnes, le transport des marchandises, la circulation, le stationnement. Ce plan est obligatoire dans les agglomérations de plus de 100 000 habitants.

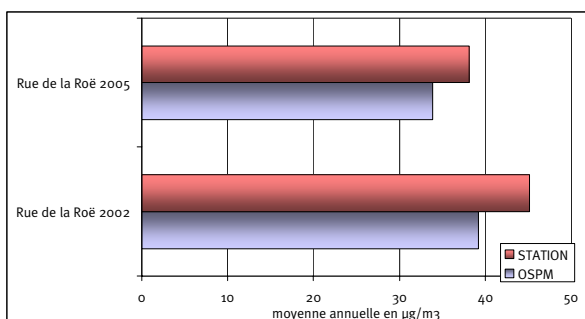
À l'horizon 2015, deux scénarii de transport du Plan de Déplacements Urbains de l'agglomération angevine sont évalués : le scénario « au fil de l'eau » ou « référence » et le scénario de « projet PDU ». Le premier prévoit un maintien du réseau de voirie et de l'offre de transport en commun de l'année 2002 tandis que le second est basé sur une prise en compte de tous les projets d'infrastructures routières et de transports entre 2002 et 2015 (contournement nord, liaison sud, la première ligne de tramway Avrillé- la Roseraie et la seconde Belle-Beille - Monplaisir avec un réseau de bus restructuré,...).

La bibliographie réalisée sur des études de cas à Saint Etienne, à Nantes et à Bordeaux montre qu'à l'échelle moyenne de l'agglomération, l'impact des Plans de Déplacements Urbains est limité. A l'échelle des rues, à proximité du trafic, cet impact est plus sensible.

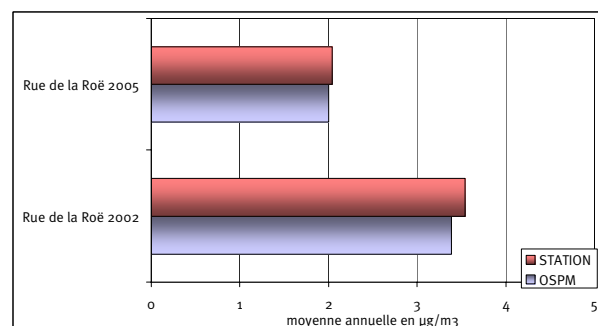
résultats ➔ qualité de l'air en 2002 et 2015

un bon accord mesure modèle

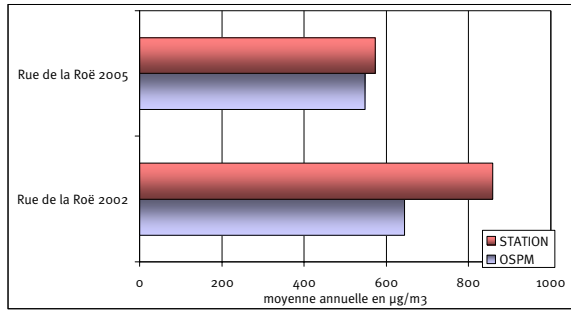
Une comparaison entre les concentrations mesurées sur la rue de la Roë en 2002 et 2005 et celles modélisées par OSPM a été réalisée. Elle permet de valider la modélisation par rapport aux mesures réelles d'une station de trafic à Angers.



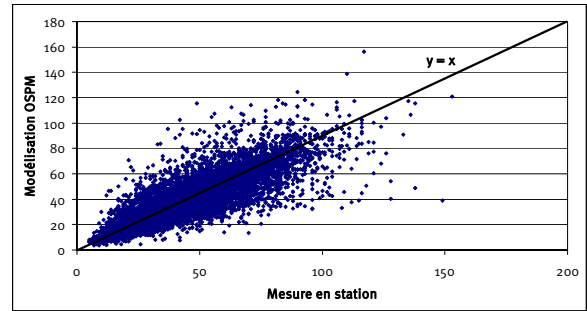
Accord mesure modèle rue de la Roë pour les moyennes annuelles en dioxyde d'azote



Accord mesure modèle rue de la Roë pour les moyennes annuelles en benzène



Accord mesure modèle rue de la Roë pour les moyennes annuelles en monoxyde de carbone



Accord mesure modèle rue de la Roë pour les moyennes horaires 2002 en dioxyde d'azote

Les résultats de la comparaison montrent une tendance à la sous-estimation des concentrations par le modèle mais les écarts sont le plus souvent inférieurs à 15 %. La comparaison démontre également, pour le dioxyde d'azote en 2002 dans la rue de la Roë, la bonne capacité du modèle OSPM à reproduire des moyennes horaires.

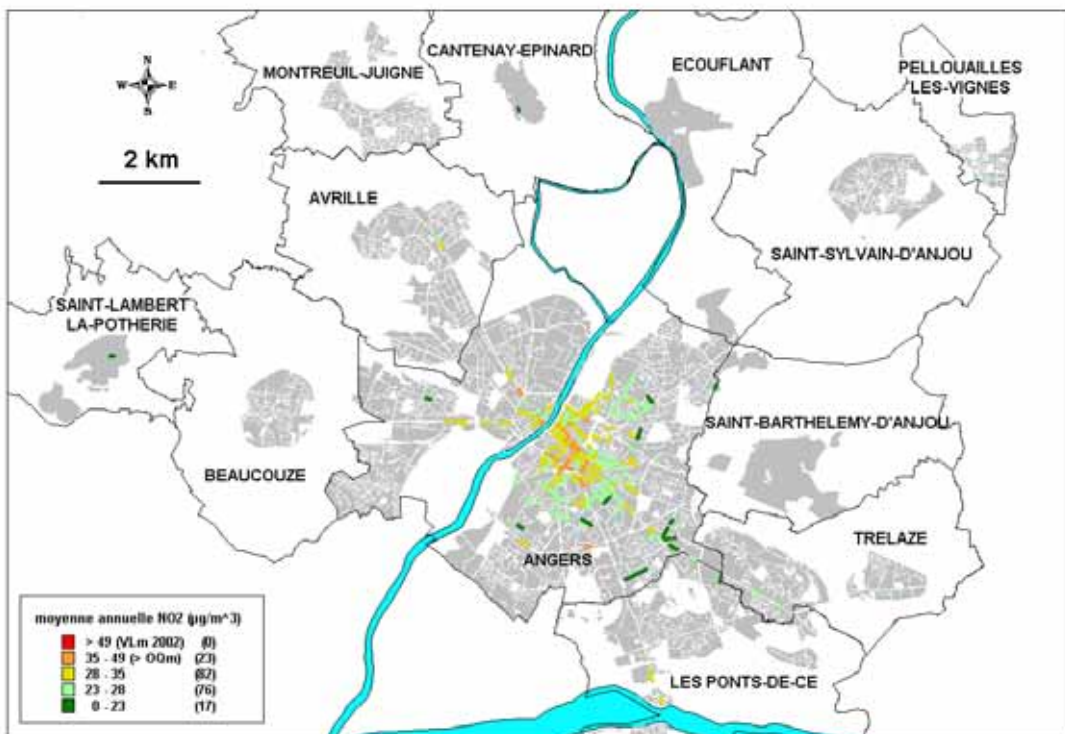
Ces résultats sont similaires à une étude réalisée par Air Pays de la Loire à Nantes avec ce modèle. Cette étude montre qu'OSPM respecte les objectifs de qualité relatifs à l'incertitude des modèles issus de la réglementation européenne sur la surveillance de la qualité de l'air.

Concernant les PM₁₀, les comparaisons mesure-modèle réalisées à Nantes montre une tendance à la sous-estimation d'OSPM d'environ 10 à 20 % sur les moyennes annuelles. L'écart est toutefois certainement plus important encore, la méthode de mesure utilisée le plus en France pour ce polluant (micro-balance) ayant tendance selon le Laboratoire Central de Surveillance de la Qualité de l'Air et dans certaines conditions, à sous estimer les valeurs réelles.

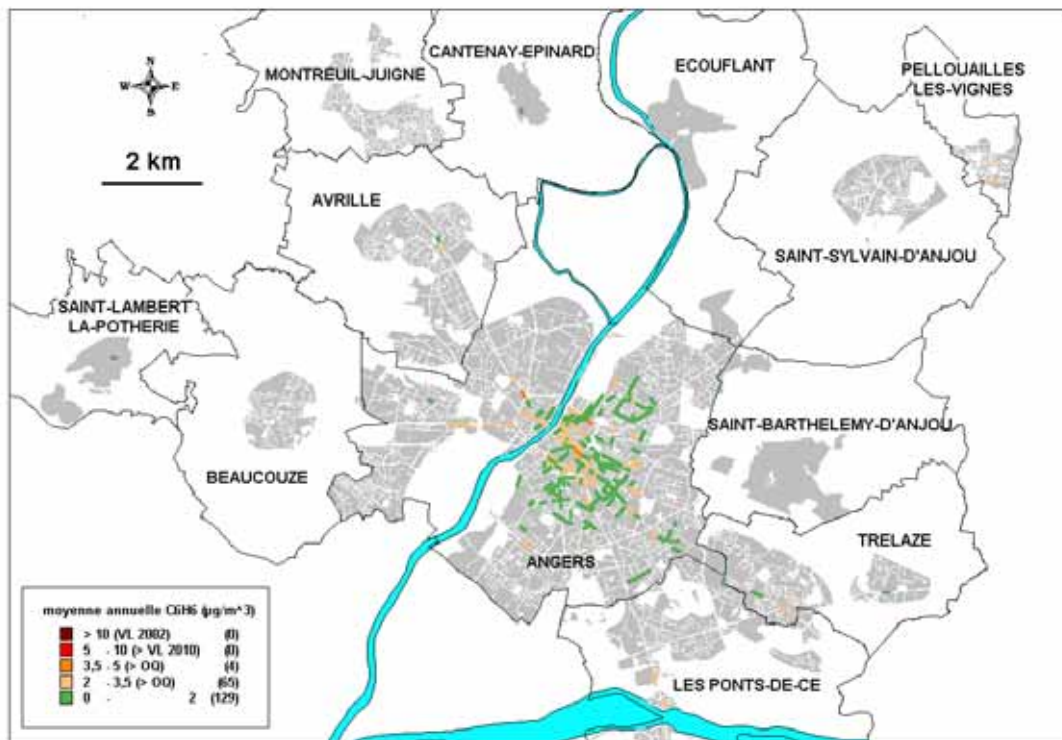
qualité de l'air en 2002

Les résultats de concentration en polluants sont donnés à une hauteur de 2 mètres sur le côté de la rue le plus exposé à la pollution.

cartographies du dioxyde d'azote et du benzène en 2002



Moyenne annuelle 2002 en dioxyde d'azote dans les rues « canyons » de l'agglomération angevine



Moyenne annuelle 2002 en benzène dans les rues « canyons » de l'agglomération angevine

dépassements des objectifs de qualité en 2002

Selon la modélisation, l'ensemble des rues canyons en 2002 devrait respecter les valeurs limites de qualité de l'air. Le franchissement des objectifs de qualité est modélisé dans 23 sections représentant 3 kilomètres pour le dioxyde d'azote et dans 69 sections représentant 9.8 km pour le benzène. L'objectif de qualité est respecté pour les particules PM₁₀, mais ce résultat doit être nuancé, OSPM ayant tendance à sous-estimer les valeurs réelles. La valeur limite pour le dioxyde d'azote est approchée pour deux axes : le boulevard Foch et le boulevard Ayrault.

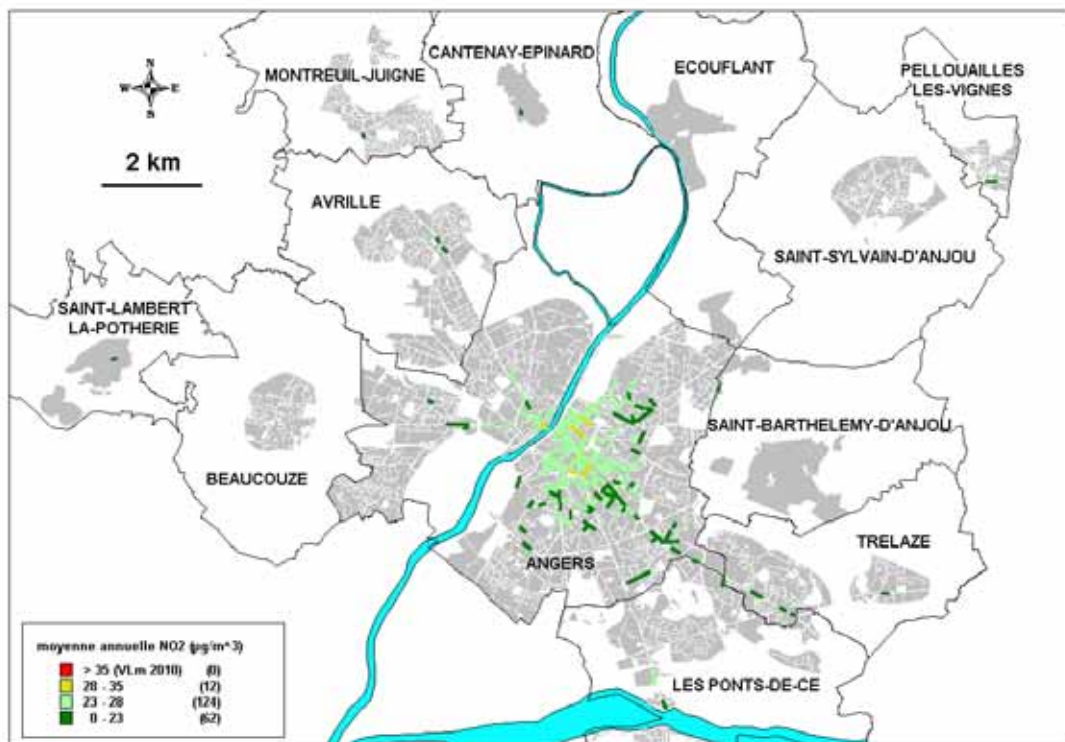
Les concentrations pour les quatre polluants modélisés sont plus élevées dans l'hyper-centre de l'agglomération parce que ce secteur regroupe les sections avec les trafics les plus importants et les configurations de bâti les plus étroites.

Les 10 rues les plus exposées à la pollution sont donc localisées dans la ville d'Angers. Parmi ces 10 rues, la rue Saint Lazare est située sur la rive droite de la Maine. Le reste est localisé sur la rive gauche, principalement sur les boulevards de ceinture du centre ville et en particulier au niveau du boulevard Foch et des rues adjacentes (rue du Haras, rue Paul Bert et rue Saint Julien), du boulevard Ayrault et du boulevard Carnot. La rue Chaussée Saint Pierre, qui rejoint la place du Ralliement possède un degré « canyon » prononcé et même avec un trafic journalier modéré est exposée à des niveaux significatifs de pollution.

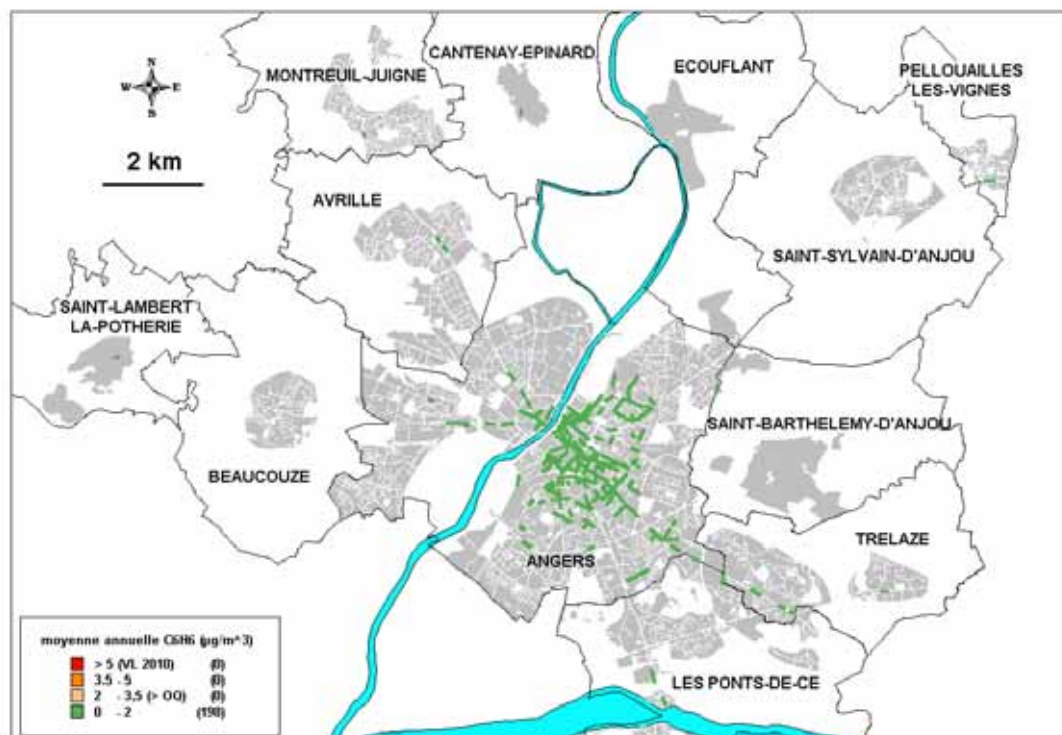
Dans les 14 sections « canyons » en périphérie de la ville d'Angers, le niveau de pollution approche la pollution moyenne sur l'ensemble de la zone d'étude. Le trafic plus élevé dans ces 14 tronçons est compensé par leur caractère canyon moins important.

qualité de l'air en 2015

cartographies du dioxyde d'azote et du benzène en 2015 (scénario « projet PDU »)



Moyenne annuelle 2015 (scénario « projet PDU ») en dioxyde d'azote dans les rues « canyons » de l'agglomération angevine



Moyenne annuelle 2015 (scénario « projet PDU ») en benzène dans les rues « canyons » de l'agglomération angevine

situation par rapport aux seuils réglementaires 2010

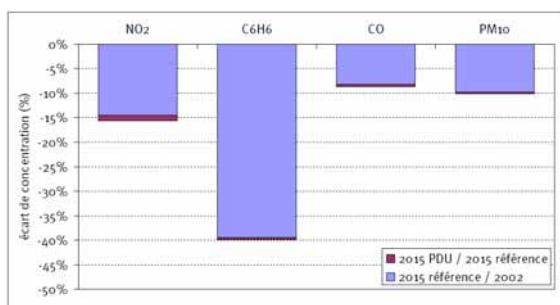
Les seuils réglementaires 2010 sont applicables en 2015.

Selon la modélisation, les 198 sections canyons en 2015 devraient respecter l'ensemble des seuils réglementaires de l'année 2010, plus contraignants qu'en 2002. Cette situation est valable pour tous les scénarii 2015 (scénario « au fil de l'eau » ou « projet PDU »).

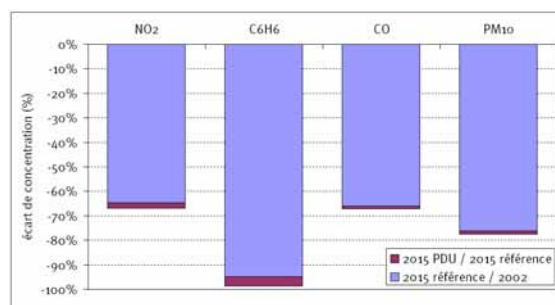
Malgré l'accroissement du trafic entre 2002 et 2015 (+ 21 % en moyenne sur les 198 sections selon le scénario « au fil de l'eau », + 3 % selon le scénario « projet PDU »), la mesure d'introduction de véhicules moins polluants entre ces deux échéances devrait permettre le respect des seuils réglementaires, même sans mise en œuvre du Plan de Déplacements Urbains. En effet, la proportion de véhicules non catalysés devrait évoluer de 19 % en 2002 à 0 % en 2015.

impact des deux scénarii 2015

Les graphiques suivants représentent la diminution de la pollution moyenne annuelle entre le scénario de référence 2015 et l'année 2002 (en bleu), à laquelle s'ajoute l'évolution supplémentaire liée au projet de PDU (écart entre le scénario « projet PDU » et le scénario « référence » - en rouge).



Écart de la pollution moyenne annuelle sur 198 sections entre les différents scénarii selon l'hypothèse majorante d'évolution de la pollution de fond



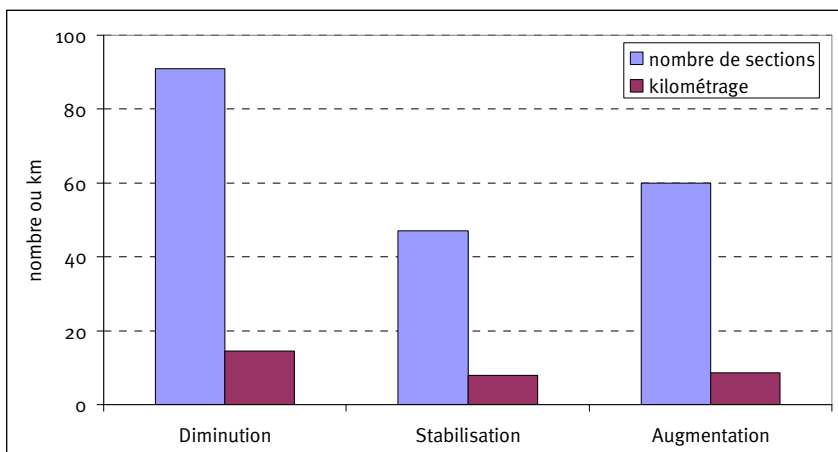
Écart de la pollution moyenne annuelle sur 198 sections entre les différents scénarii selon l'hypothèse minorante d'évolution de la pollution de fond

Selon la modélisation, le seul remplacement progressif entre 2002 et 2015 des véhicules anciens par des automobiles moins polluantes devrait permettre de diminuer très significativement la pollution dans les rues de l'agglomération angevine, de -20 à -75 % tous polluants confondus.

impact du PDU

La réduction supplémentaire de la pollution liée à la mise en œuvre du projet de PDU est faible par rapport à ces écarts mais démontre un impact positif de ce projet. Elle est évaluée entre -0.5 % et -4 %. Cet écart est une valeur moyenne calculée à partir des 198 sections « canyons » et peut être considéré comme étant représentatif de la situation à l'échelle de l'agglomération.

Le graphique suivant représente le nombre de sections « canyons » et leur kilométrage correspondant affectés soit par une augmentation de la pollution (report de la circulation), soit par une stabilisation, soit par une diminution de la pollution entre le scénario « projet PDU » et le scénario « référence » ou « au fil de l'eau ».



Nombre de sections et kilométrages affectés par une diminution, une stabilisation ou une augmentation de la pollution liée au projet PDU

Par rapport au scénario de référence, la mise en œuvre du projet de PDU aurait pour impact une diminution de la pollution dans 91 sections « canyons », une stabilisation de cette pollution dans 47 tronçons et une augmentation dans 60 sections, représentant respectivement 14.4, 7.9 et 8.6 kilomètres. 46 % des rues « canyons » modélisées sont donc impactées de façon positive par le projet d'agglomération.

Les rues affectées par les diminutions les plus importantes de la pollution sont des rues du centre ville d'Angers où le trafic automobile est réduit de façon sensible, en lien avec la mise en service du tramway (rue de la Roë, rue d'Alsace ou rue du Haras), de façon plus globale avec le projet de plan de circulation (rue Saint Julien), voire parce que la rue devient piétonne (rue Chaussée Saint Pierre). Ces rues possèdent un caractère « canyon » prononcé et sont parmi les plus polluées en 2002 ou selon le scénario de référence 2015. Avec le projet de PDU, la pollution en dioxyde d'azote diminue de façon sensible dans ces rues jusqu'à 10 à 20 %.

Parmi les 14 sections localisées hors Angers, l'avenue Pierre Mendès France supportera la ligne 1 du tramway et serait concernée par une amélioration de la qualité de l'air de 2 à 7 % selon le polluant.

Les rues concernées par les augmentations les plus importantes de la pollution atmosphérique sont des axes du centre ville d'Angers ou situés en proximité : avenue de Contades, rue de Belgique, rue du Mail, rue Chaperonnières. Dans ces rues, le trafic automobile augmente en lien avec des reports de trafic liés au plan de circulation. Toutefois, dans ces voies de circulation, au caractère « canyon » moins prononcé que les rues dont le trafic diminue, la pollution au dioxyde d'azote n'augmente que de 4 à 7 %.

conclusions et perspectives un impact positif du PDU

En 2002, des dépassements des seuils réglementaires sont modélisés. La valeur limite pour le dioxyde d'azote est approchée pour deux axes : le boulevard Foch et le boulevard Ayrault. Pour le monoxyde de carbone et les particules PM10, les seuils réglementaires sont respectés.

Les résultats montrent que la réduction de la pollution sur la période 2002 - 2015 proviendra pour une large part du renouvellement du parc de véhicules mais la mise en œuvre du projet de PDU devrait permettre d'anticiper le retour à une qualité de l'air favorable dans les rues de l'agglomération angevine.

Les informations issues de cette étude permettront à Angers Loire Métropole et à la ville d'Angers de disposer d'informations objectives sur l'impact du Plan de Déplacements Urbains. Elles permettront également à Air Pays de la Loire de dimensionner une stratégie de surveillance par station automatiques des rues de l'agglomération pour, par exemple, suivre en temps réel l'impact du PDU.

Enfin, la réalisation de cartographies de la pollution atmosphérique dans les rues des principales agglomérations des Pays de la Loire est prévue dans les années à venir.

introduction

Les Directives Européennes 1999/30/CE et 2000/69/CE fixent des valeurs limites de concentrations en polluants dans l'air ambiant. Selon ces Directives, la surveillance de la qualité de l'air doit permettre de fournir des renseignements sur le niveau d'exposition de la population générale (pollution ambiante de fond) mais également dans les endroits où s'observent les plus fortes concentrations auxquelles la population est exposée pendant une période significative (pollution de proximité des rues).

En agglomération, si la pollution de fond respecte majoritairement la réglementation, les seuils réglementaires sont souvent dépassés à proximité immédiate des voies de trafic routier. La surveillance, réalisée par Air Pays de la Loire en bordure de la voie des Berges en 2005, montre ainsi une forte probabilité de dépassement de la valeur limite pour le dioxyde d'azote [1]. A l'heure actuelle, les risques de franchissement de certains seuils réglementaires sont également avérés dans les rues « canyons ». C'est le cas de l'objectif de qualité pour le benzène qui est franchi dans la quasi-totalité des axes « canyons » surveillés dans les Pays de la Loire, dont la rue de la Roë à Angers. Ces rues, bordées de bâtiments, empêchent la dispersion des polluants émis par les véhicules en circulation.

L'amélioration de la connaissance de la pollution urbaine et notamment de proximité routière constitue un axe de travail prioritaire pour Air Pays de la Loire dont un des objectifs prévoit de mieux répondre aux attentes des collectivités locales sur l'impact de leurs politiques de déplacements.

Air Pays de la Loire a ainsi proposé à Angers Loire Métropole de réaliser une étude de la qualité de l'air dans les rues « canyons » de l'agglomération angevine pour l'année 2002 (état initial) et pour l'année 2015. Angers Loire Métropole a accepté cette proposition par courrier du 16 janvier 2006. A l'horizon 2015, deux scénarii de transport du Plan de Déplacements Urbains sont évalués : le scénario « au fil de l'eau » ou « référence » et le scénario de « projet PDU ». Le premier prévoit un maintien du réseau de voirie et de l'offre de transport en commun de l'année 2002 tandis que le second est basé sur une prise en compte de tous les projets d'infrastructures routières et de transports entre 2002 et 2015.

Les objectifs visés sont de :

- cartographier la qualité de l'air dans les rues « canyons » de l'agglomération angevine pour les années 2002 et 2015 ;
- étudier les niveaux de pollution vis-à-vis des seuils réglementaires actuels et futurs ;
- évaluer l'impact de la mise en œuvre du Plan de Déplacements Urbains sur la qualité de l'air ;
- hiérarchiser les rues en terme de pollution ;
- fournir des éléments nécessaires à l'implantation d'une station de mesure permanente en remplacement de celle de la rue de la Roë, arrêtée le 13 février 2006 ;

Ce projet permet d'apporter des informations sur l'évaluation de l'impact du PDU de l'agglomération angevine sur la qualité de l'air et donc une aide à la décision pour Angers Loire Métropole, notamment dans le cadre de la fiche action 17 du PDU (« Préserver la qualité de l'air et la santé »).

Cette étude répond également au Programme de Surveillance de la Qualité de l'Air des Pays de la Loire (PSQA), adopté le 15 novembre 2005 par Air Pays de la Loire. Ce programme prévoit la réalisation de cartographies de la qualité de l'air dans les rues des principales agglomérations des Pays de la Loire.

la modélisation des rues « canyons »

Une rue « canyon » est une rue bordée de bâtiments. Son caractère plus ou moins encaissé est défini par le rapport entre la hauteur H des bâtiments et la largeur L de la rue (H/L). Le régime de l'écoulement de l'air dans la rue dépend de ce rapport.

Le modèle OSPM a été utilisé pour modéliser ce type de rue. OSPM modélise le tourbillon qui se forme dans la rue « canyon » de façon à ce que la direction du vent au niveau de la rue soit opposée à la direction du vent au niveau des toits.

La pollution totale modélisée dans la rue s'exprime comme la somme de la pollution de fond et de la pollution émise par les véhicules en circulation.

OSPM nécessite la connaissance de la pollution ambiante de l'agglomération, de la météorologie, de la configuration de la rue et du trafic automobile et calcule les concentrations horaires sur une année de quatre polluants, majoritairement émis par le trafic routier : dioxyde d'azote, benzène, monoxyde de carbone et particules PM_{10} .

qu'est ce qu'une rue « canyon » ?

Un « canyon » est formé dans une rue entre deux rangées de grands bâtiments. La caractérisation principale d'une rue canyon est son rapport hauteur/largeur (H/L), où H est la hauteur moyenne du bâti et L, la largeur entre les deux rangées de bâtiments.

La direction du vent au dessus des toits et la forme du « canyon » conditionnent le développement d'un ou plusieurs tourbillons (vortex) à l'intérieur de la rue, qui seront à l'origine de niveaux élevés de pollution en des points précis.

Les régimes d'écoulement généralement considérés à l'intérieur du « canyon » dépendent du rapport H/L. L'annexe 6 décrit en détail ces régimes [2].



Photo 1 : exemple d'une rue « canyon » à Angers (rue de la Roë) avec rapport H/L de 1.3 dans sa partie haute

le logiciel OSPM : un modèle adapté aux rues « canyons »

principe général

OSPM (Operational Street Pollution Model) a été utilisé pour ce projet. C'est un logiciel destiné à la modélisation des rues canyons, c'est à dire des rues bordées de bâtiments. Il s'agit d'un modèle analytique parce qu'il repose sur l'analyse physique du problème de l'écoulement dans ce type de rue et des équations qui décrivent cet écoulement (cf. figure 1).

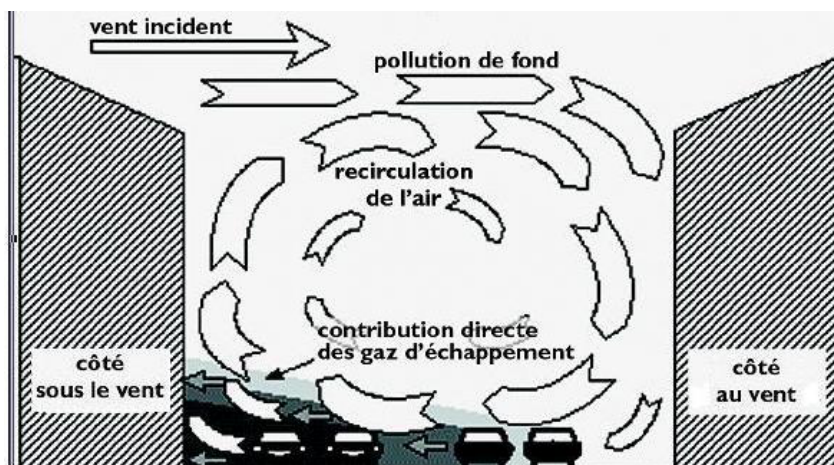


Figure 1 : principe d'entraînement des polluants dans une rue « canyon » par OSPM

La pollution totale modélisée s'exprime comme la somme de la pollution de fond et de la pollution émise par les véhicules en circulation (contribution directe issue des gaz d'échappement + contribution due à la recirculation de l'air). Une description détaillée des hypothèses de modélisation prises en compte par OSPM est proposée dans l'annexe 6.

un modèle utilisé en Europe

Le modèle OSPM est conçu et diffusé par le NERI (National Environmental Research Institute – Danemark). OSPM a fait l'objet d'évaluations par rapport aux résultats d'un très grand nombre de campagnes de mesure, essentiellement au Danemark et en Allemagne, qui ont montré les qualités scientifiques de ce modèle. Dans le cadre du programme européen TRAPOS, il a fait l'objet de comparaisons avec des modèles tridimensionnels, notamment le modèle allemand MISKAM et a montré sa compétitivité, comme l'a montré l'expérience menée en collaboration entre le NERI et l'Ecole Centrale de Nantes sur la rue de Strasbourg à Nantes en 1999 [4]. Il a également été utilisé par l'INERIS sur des rues parisiennes avec des résultats relativement satisfaisants [5].

Plus loin dans ce document, des résultats de comparaisons mesure – modèle élaborées par Air Pays de la Loire à Angers et à Nantes sont proposés.

les entrées et les sorties du modèle

Comme tout modèle, OSPM nécessite d'être alimenté en données d'entrée explicatives de la pollution (émissions, météorologie, bâti,...). La figure 2 ci-dessous résume ce principe :

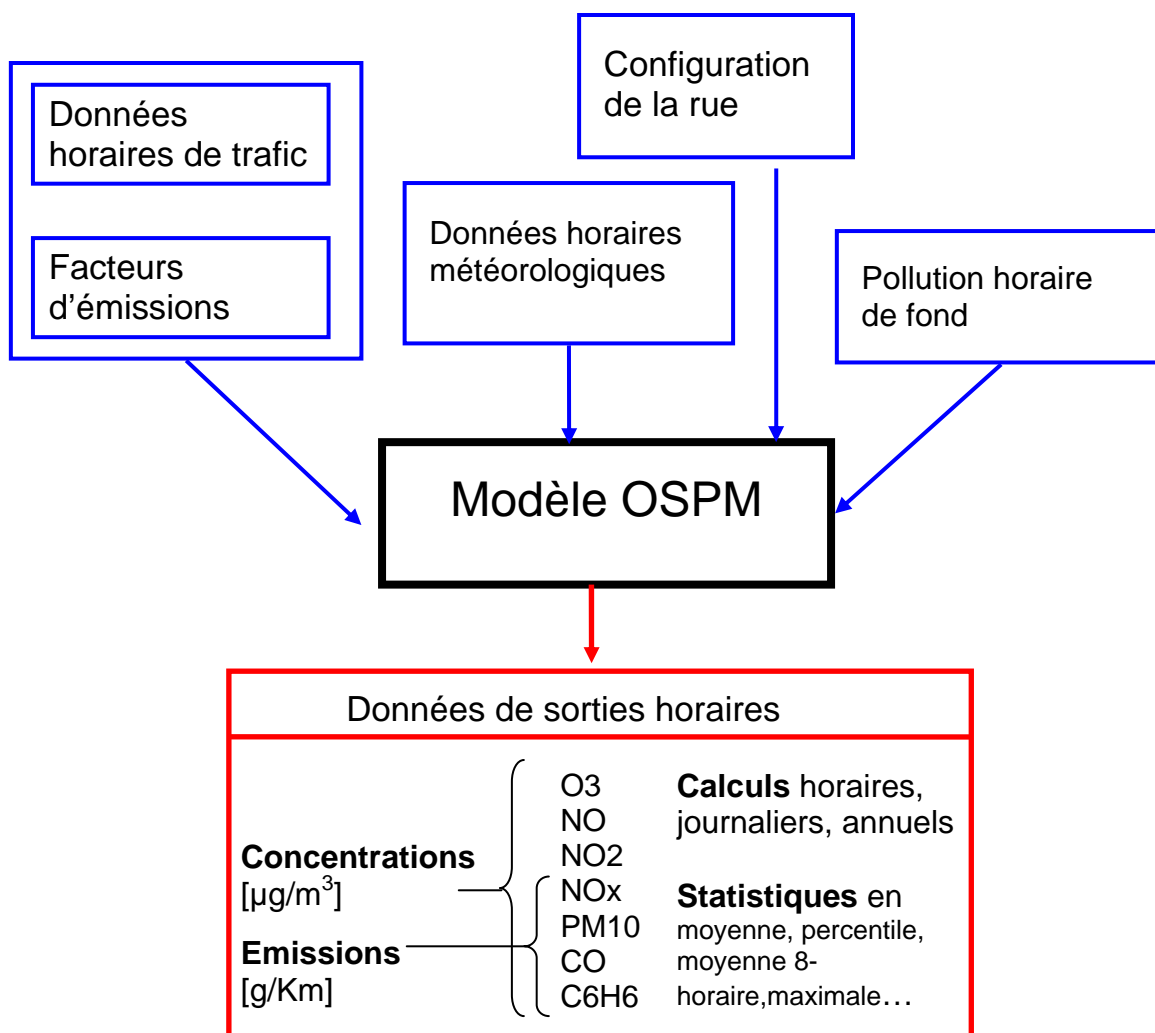


Figure 2 : entrées et sorties du modèle OSPM

domaine de validité d'OSPM

Le modèle peut être utilisé dans les rues avec des bâtis irréguliers ou alors dans des rues bordées de bâtiments d'un seul côté mais OSPM est mieux adapté pour des rues canyons régulières ou homogènes en terme de configuration. Le modèle ne doit pas être utilisé à des carrefours ou en des lieux éloignés des voies de trafic.

Selon le NERI, OSPM a été testé et validé pour des rapports hauteur/largeur (H/L) compris entre 0.5 et 2.

les polluants modélisés

Quatre polluants émis majoritairement par le trafic routier sont modélisés par OSPM : les oxydes d'azote (NO_x) dont le dioxyde d'azote (NO₂), le benzène (C₆H₆), les particules PM₁₀ et le monoxyde de carbone (CO). Ces polluants sont cités dans le guide méthodologique sur les Plans de Déplacements Urbains édité par le CERTU et l'ADEME en 1999 [6]. Une présentation de ces polluants est donnée dans l'annexe 4.

L'ozone, s'il est pris en compte par le modèle, n'est pas reporté dans les résultats puisque c'est à l'écart des sources de pollution que ce polluant est observé à de plus fortes concentrations.

la zone d'étude et les données de modélisation

Une sélection des rues bordées de bâtiments homogènes en terme de configuration a été réalisée. La zone d'étude est constituée de 198 sections de rues « canyons » dont 14 sont situées sur les communes périphériques de la ville d'Angers. Au total, 31 km de voirie sont modélisés.

Les données géométriques et les trafics modélisés en 2002 et en 2015 dans chacune des 198 sections ont été respectivement fournis par la Direction du Système d'Information Communautaire et par la Direction Transports – Voiries – Déplacements d'Angers Loire Métropole.

Les émissions des axes de circulation sont calculées à partir du nombre et des caractéristiques des véhicules et du facteur d'émission correspondant.

Les données de pollution de fond de l'année 2002 sont issues des stations permanentes d'Air Pays de la Loire localisées dans l'agglomération angevine.

L'estimation de la pollution de fond à l'horizon 2015 est basée sur deux hypothèses : une stabilisation ou une diminution des concentrations entre 2002 et 2015.

Les données météorologiques ont été obtenues sur la station Météo France de Beaucouzé, située à 5 km à l'ouest du centre ville d'Angers.

la zone d'étude

identification et sectionnement des rues

Un repérage visuel des rues bordées de bâtiments a été réalisé à partir de plans BD TOPO (IGN) de l'agglomération angevine. Ces rues ont été sectionnées en différents tronçons présentant des caractéristiques homogènes en terme d'orientation et de largeur de la rue. Une variation de plus de 15 % de l'orientation ou de plus de 20 % de la largeur conduit à sectionner la rue. Ces valeurs sont basées sur une étude de sensibilité d'OSPM aux valeurs d'entrée du modèle [7]. Les rues sont également sectionnées si elles contiennent un espace important (place, grande intersection,...) ou des valeurs sensiblement différentes de la hauteur des bâtiments.

paramètres des rues

Le calcul des données géométriques des rues a été réalisé par la Direction du Système d'Information Communautaire d'Angers Loire Métropole selon une procédure détaillée dans l'annexe 7. A l'issue de ce calcul, les paramètres fournis à Air Pays de la Loire sont les suivants :

- largeur moyenne de la rue (L) ;
- hauteur moyenne (H) des bâtiments de chaque côté de la rue ;
- rapport H/L de chaque côté de la rue ;
- continuité du bâti de chaque côté de la rue. Ce paramètre représente le rapport entre la longueur occupée par le bâti sur la longueur totale de la rue ;
- orientation de la rue ;
- longueur totale de la rue.

Les valeurs de ces paramètres pour chacune des rues sélectionnées sont présentées dans l'annexe 8.

Les paramètres de largeur et de hauteur pris en compte dans le modèle OSPM sont des valeurs moyennes. La sensibilité du modèle à l'hétérogénéité du bâti est discutée dans l'annexe 9. Des rues présentant des hauteurs de bâtiment hétérogènes sont ainsi comparées avec des rues de hauteur constante : il est montré un écart maximum sur les valeurs annuelles de concentration de – 17 % entre la rue hétérogène et son équivalent simplifié [8].

Les rues modélisées présentent une continuité moyenne du bâti de 0.85 avec des valeurs comprises dans 90 % des cas entre 0.63 et 1. Cela montre l'intérêt du travail préalable de sectionnement et concourt à l'homogénéité des rues.

Les rues localisées à l'extérieur de la commune d'Angers présentent majoritairement un rapport H/L inférieur à 0.5, valeur en dessous de laquelle le modèle OSPM n'a pas été testé. Elles ont toutefois été conservées pour répondre à la demande d'Angers Loire Métropole d'obtenir une zone d'étude sur l'agglomération.

une zone d'étude de 198 sections de rues

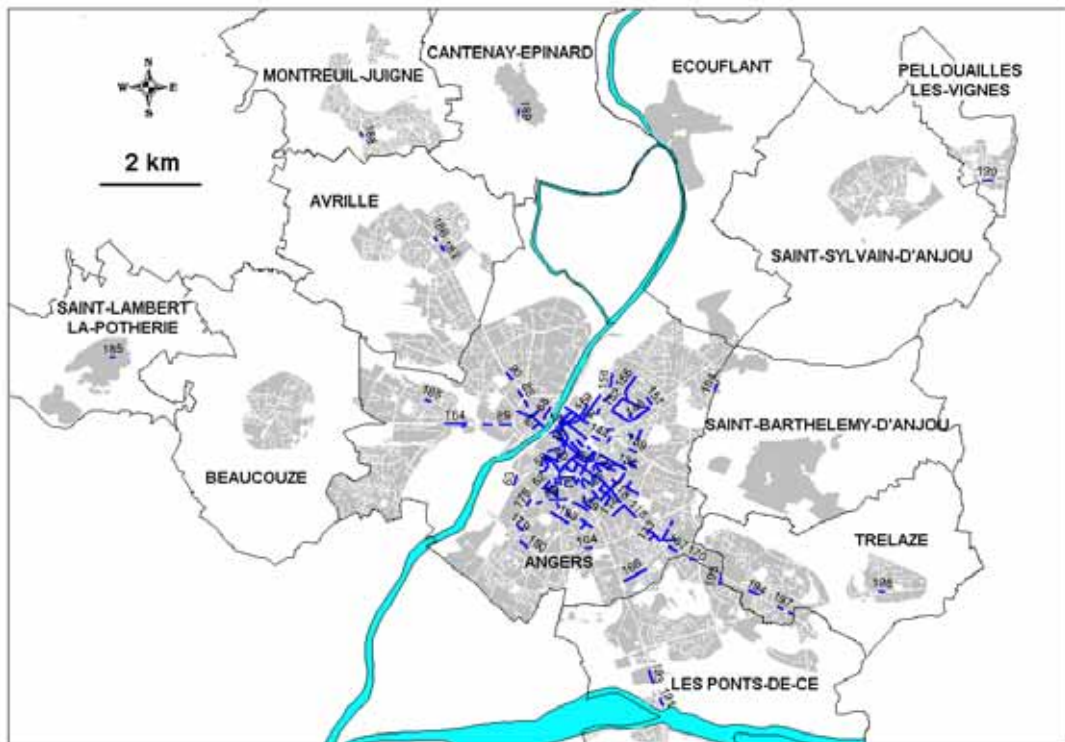
Au total, 198 sections de rues ont été sélectionnées. Ces 198 sections représentent au total environ 31 kilomètres de voirie. Elles sont situées en grande majorité sur la ville d'Angers, 14 d'entre elles étant localisées dans les communes périphériques.

	Nombre de sections	Kilométrage correspondant
Angers	184	29,1
Saint Lambert	1	
Avrillé	2	
Montreuil Juigné	1	
Cantenay Epinard	1	1,7
Pellouialles	1	
Les Ponts de Cé	4	
Trélazé	4	

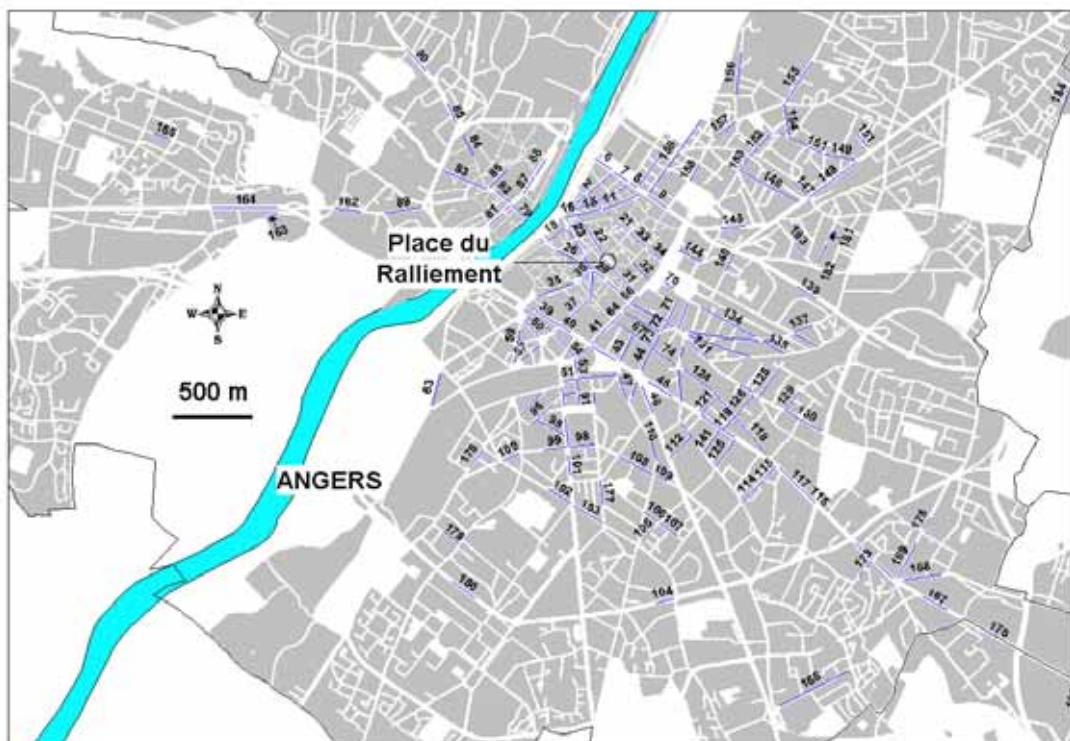
Tableau 1 : nombre de sections modélisées par commune

carte des sections « canyons »

La répartition géographique des rues sélectionnées est présentée dans les deux cartes ci-dessous.



Carte 1 : répartition géographique des sections « canyons » dans l'agglomération angevine



Carte 2 : répartition géographique des sections « canyons » dans la ville d'Angers

index des rues

La correspondance entre le numéro et le nom des rues est donnée ci-après.

Numéro	NOM_RUE	Numéro	NOM_RUE	Numéro	NOM_RUE
1	RUE THIERS_1	67	RUE BRESSIGNY_1	133	RUE FRANKLIN_1
2	RUE DU MAIL_1	68	RUE DES ARENES	134	RUE DU QUINQUONCE_2
3	RUE DU MAIL_2	69	RUE HANNELOUP_1	135	RUE DU QUINQUONCE_3
4	RUE MAILLE_1	70	RUE DU QUINQUONCE_1	136	RUE FRANKLIN_2
5	RUE MAILLE_2	71	RUE DESJARDINS_2	137	RUE ANDRE GARDOT
6	BOULEVARD AYRAULT_1	72	RUE DESJARDINS_3	138	RUE FRANCOIS BESNARD
7	BOULEVARD AYRAULT_2	73	RUE DESJARDINS_4	139	AVENUE MONTAIGNE
8	BOULEVARD AYRAULT_3	74	RUE BRESSIGNY_2	140	RUE DE BELGIQUE
9	BOULEVARD CARNOT	75	RUE HANNELOUP_2	141	RUE DE RIVOLI
10	RUE BOISNET_1	76	RUE TARIN	142	RUE FRANKLIN_3
11	RUE BOISNET_2	77	RUE PAUL LANGEVIN	143	RUE DU MAINE
12	RUE DU MAIL_3	78	RUE MICHELET	144	BOULEVARD DU MARECHAL JOFFRE
13	RUE THIERS_2	79	RUE BEAUREPAIRE_1	145	BOULEVARD SAINT MICHEL
14	RUE MAILLE_3	80	BOULEVARD ARNAUD_1	146	RUE DU PRE-PIGEON
15	RUE BOISNET_3	81	BOULEVARD ARNAUD_2	147	RUE LUTIN
16	PLACE MOLIERE	82	RUE BEAUREPAIRE_2	148	AVENUE PASTEUR
17	RUE DE LA ROE_1	83	BOULEVARD DESCAZEAUX	149	RUE VICTOR HUGO_1
18	RUE DE LA POISSONNERIE	84	RUE LIONNAISE	150	RUE VICTOR HUGO_2
19	RUE DE LA PARCHEMINERIE	85	RUE SAINT LAZARE	151	AVENUE DU GENERAL FOY
20	RUE DU MAIL_4	86	RUE DE LA CENSERIE	152	RUE FLORENT CORNILLEAU_1
21	RUE DU MAIL_5	87	BOULEVARD ARAGO_1	153	RUE FLORENT CORNILLEAU_2
22	RUE DE LA ROE_2	88	BOULEVARD ARAGO_2	154	RUE LOUIS BLANC
23	RUE PLANTAGENET_1	89	RUE SAINT JACQUES_1	155	RUE DE LA CHALOUERE_1
24	RUE PLANTAGENET_2	90	AVENUE RENE GASNIER	156	RUE DES FOURS A CHAUX
25	RUE PLANTAGENET_3	91	AVENUE DE CONTADES_1	157	RUE DE LA CHALOUERE_2
26	RUE BAUDRIERE	92	RUE JEAN BODIN	158	RUE BOREAU
27	RUE DE L'OISELLERIE	93	RUE LETANDUERE_1	159	AVENUE TALLET
28	RUE CHAUSSEE SAINT PIERRE	94	RUE DUPETIT THOUARS_1	160	RUE VICTOR HUGO_3
29	RUE LOUIS DE ROMAIN	95	RUE DE TERRE NOIRE	161	RUE VICTOR HUGO_4
30	RUE SAINT JULIEN	96	RUE AUDUSSON	162	RUE SAINT JACQUES_2
31	RUE D'ALSACE	97	RUE LETANDUERE_2	163	RUE MONTESQUIEU
32	RUE DAVID D'ANGERS	98	RUE EVAIN	164	AVENUE PATTON
33	RUE DU MAIL_6	99	AVENUE CHANZY	165	RUE EUGENIE MANSION
34	RUE DU MAIL_7	100	AVENUE VAUBAN	166	BOULEVARD CHARLES DETRICH
35	RUE TOUSSAINT	101	RUE LETANDUERE_3	167	ROUTE DE LA PYRAMIDE_1
36	RUE CHAPERONNIERES	102	BOULEVARD DE STRASBOURG_1	168	RUE PARMENTIER
37	RUE DES LICES	103	BOULEVARD DE STRASBOURG_2	169	RUE JEAN JAURES_1
38	RUE VOLTAIRE	104	BOULEVARD JOSEPH BIEDER	170	ROUTE DE LA PYRAMIDE_2
39	BOULEVARD DU ROI RENE_1	105	RUE AUGUSTE BLANDEAU	171	RUE SAUMUROISE_3
40	BOULEVARD DU ROI RENE_2	106	RUE PIERRE CURIE_1	172	RUE SAUMUROISE_4
41	BOULEVARD FOCH_1	107	RUE PIERRE CURIE_2	173	RUE DE PISE MORTIERS_1
42	RUE PAUL BERT	108	RUE MIRABEAU	174	RUE DE PISE MORTIERS_2
43	RUE DE CHATEAUGONTIER	109	RUE CESAR GEOFFRAY	175	RUE JEAN JAURES_2
44	RUE DESJARDINS_1	110	RUE DE BRISSAC_3	176	AVENUE DE CONTADES_2
45	RUE VOLNEY_1	111	RUE DE BRISSAC_4	177	RUE DUPETIT THOUARS_2
46	RUE RABELAIS	112	RUE CUBAIN	178	RUE EBLE
47	RUE DE BRISSAC_1	113	RUE CHEVRE	179	RUE DES PREVOYANTS DE L'AVENIR
48	RUE DE BRISSAC_2	114	RUE BLAISE PASCAL_1	180	BOULEVARD JACQUES PORTET
49	RUE DU CHANOINE COLONEL PAGANET	115	RUE BLAISE PASCAL_2	181	RUE D'ANTIOCHE_1
50	RUE DE BEL AIR_1	116	RUE SAUMUROISE_1	182	RUE D'ANTIOCHE_2
51	RUE DE BEL AIR_2	117	RUE SAUMUROISE_2	183	RUE BERANGER
52	RUE BOUGERE	118	RUE DE LA MADELEINE_1	184	RUE MAURICE GESLIN
53	AVENUE TURPIN DE CRUISSE	119	RUE BOURGONNIER_1	185	RUE DE L'EGLISE_ST LAMBERT
54	RUE DELAAGE_1	120	RUE VOLNEY_2	186	AVENUE PIERRE MENDES-FRANCE_AVRILLE_1
55	RUE DU HARAS	121	RUE BERNIER	187	AVENUE PIERRE MENDES-FRANCE_AVRILLE_2
56	RUE MAX RICHARD_1	122	RUE DE LA MADELEINE_2	188	RUE VICTOR HUGO_MONTREUIL-JUIGNE
57	RUE MAX RICHARD_2	123	RUE DE LA MADELEINE_3	189	RUE D'ANGERS_CANTENAY-EPINARD
58	RUE RENE BREMONT	124	RUE DE LA MADELEINE_4	190	RUE NATIONALE_PELLOUAILLES
59	RUE MARCEAU	125	RUE D'ASSAS	191	RUE DE GENERAL DE GAULLE_LES PONTS-DE-CE
60	RUE HOCHÉ	126	RUE BOURGONNIER_2	192	RUE VICTOR HUGO_LES PONTS-DE-CE_1
61	RUE DELAAGE_2	127	RUE SAINT LEONARD_1	193	RUE VICTOR HUGO_LES PONTS-DE-CE_2
62	RUE DELAAGE_3	128	RUE DE LA DEVANSAYE	194	RUE JEAN JAURES_TRELAZE_1
63	BOULEVARD MARC LECLERC	129	RUE DES NOYERS	195	RUE WALDECK ROUSSEAU_LES PONTS-DE-CE
64	BOULEVARD FOCH_2	130	RUE SAINT LEONARD_2	196	RUE JEAN JAURES_TRELAZE_2
65	BOULEVARD FOCH_3	131	RUE CELESTIN PORT	197	RUE JEAN JAURES_TRELAZE_3
66	BOULEVARD FOCH_4	132	RUE JOACHIM DU BELLAY	198	RUE PASTEUR_TRELAZE

Tableau 2 : index des rues (en vert : communes hors Angers)

les données de circulation automobile

le trafic automobile : des données modélisées

le trafic moyen journalier

Le paramètre de trafic de base pris en compte par le modèle OSPM est le trafic moyen journalier annuel (TMJA). Ce paramètre pour les années 2002 et 2015 dans les rues « canyons » a été fourni par la Direction Transports – Voiries – Déplacements d'Angers Loire Métropole sur la base d'une modélisation du trafic dans l'agglomération angevine mise en œuvre par la société ISIS, basée à Nantes, à partir du logiciel Davisum.

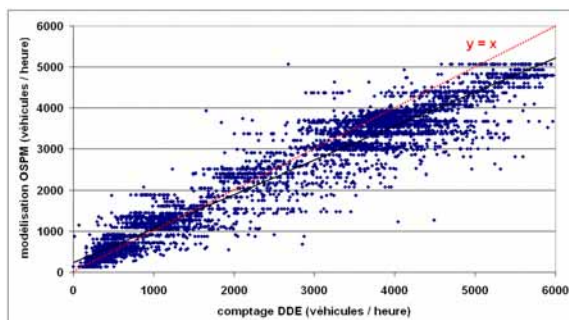
Le modèle Davisum reconstitue les comportements et les choix modaux des différentes catégories d'habitants de l'agglomération. Les flux de déplacements sont ensuite affectés sur le réseau de voirie pour la circulation générale. Pour l'année 2002, le modèle a été ajusté avec 94 points de comptages doubles sens effectués sur différents axes de circulation. L'écart de la modélisation par rapport aux données de comptage est compris dans 95 % des cas entre - 22 % et + 24 %.

Pour l'horizon 2015, les simulations ont été alimentées principalement par des hypothèses d'évolution de la population et des emplois ainsi que par deux variantes d'offre de déplacement (aménagement de voirie et projets de transports collectifs). Ces hypothèses et variantes sont présentées dans le chapitre sur le Plan de Déplacements Urbains de l'agglomération angevine.

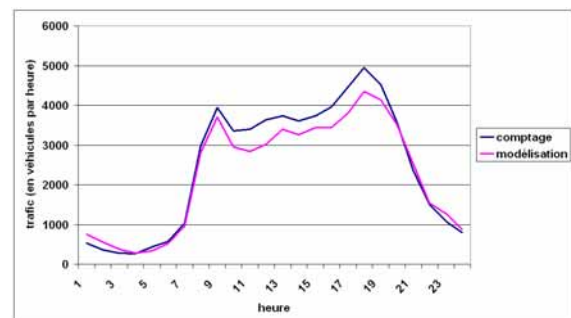
le trafic horaire

Sur l'ensemble des études réalisées avec OSPM, le trafic horaire utilisé en entrée du modèle résulte d'une modélisation basée sur la connaissance du Trafic Moyen Journalier Annuel (TMJA) et de sa décomposition horaire. Cette décomposition est basée sur des profils journaliers modélisés pour cinq types de jours (lundi à jeudi, vendredi, samedi, dimanche, jours fériés et vacances scolaires) à partir de comptages routiers obtenus sur la ville de Nantes [9]. Ces 5 profils sont adaptés suivant 3 catégories de voirie : rues urbaines encombrées (centre ville), rues urbaines dégagées, voies rapides pour lesquelles les relations entre la vitesse des véhicules et la capacité de la voirie en terme de nombre de véhicules sont spécifiques.

Une comparaison horaire entre cette modélisation et des comptages routiers sur la Voie des Berges à Angers (RN 23) a pu être réalisée à partir des données fournies par la Direction Départementale de l'Équipement (DDE) de Maine et Loire entre le 1^{er} janvier et le 15 août 2005 au niveau de la station Félix Faure. Les Voies des Berges appartiennent à la catégorie des voies rapides.



Graphique 1 : accord mesure modèle des données horaires de trafic sur la voie des Berges entre le 1 janvier et le 15 août 2005



Graphique 2 : accord mesure modèle du profil moyen journalier de trafic sur la voie des Berges entre le 1 janvier et le 15 août 2005

D'après ces résultats, le modèle de reconstitution des données horaires du trafic routier permet d'approcher de façon très correcte les données réelles de comptage avec par exemple un coefficient de corrélation de 0.96 entre les mesures et le modèle. Le profil moyen journalier est également bien modélisé. On constate cependant une légère sous estimation des valeurs à reconstituer principalement entre 10 et 19 heures. En conclusion, on peut considérer que notre approche de simulation du trafic est valide, même sur d'autres agglomérations que Nantes, sur laquelle le modèle a été antérieurement calé. On peut constater également la robustesse de cette approche au fil des années, le calage étant réalisé pendant l'année 2000.

les vitesses des véhicules

La vitesse prise en compte par le modèle OSPM de calcul de la pollution est la vitesse à vide, sur laquelle est appliquée un coefficient de réduction aux heures de pointe de circulation. Dans cette étude, la vitesse à vide a été assimilée à la vitesse limite autorisée, paramètre fourni par la ville d'Angers. En dehors de la commune d'Angers, la vitesse limite a été supposée égale à 50 km/h ce qui est une hypothèse acceptable puisque les rues « canyons » sont localisées dans le tissu urbain.



Carte 3 : vitesses limites autorisées des véhicules sur la commune d'Angers

les émissions des véhicules

OSPM intègre un module de calcul des émissions au niveau de la rue. Ces émissions s'ajoutent à la pollution de fond pour obtenir la pollution totale dans la rue. Les émissions des axes de circulation sont calculées de façon classique à partir du nombre et des caractéristiques des véhicules et du facteur d'émission correspondant.

les facteurs d'émission

Un facteur d'émission exprime la quantité de polluant rejetée par kilomètre parcouru. L'unité de ce paramètre est le gramme par kilomètre.

Les facteurs d'émission utilisés dans cette étude sont ceux proposés par le NERI (National Environmental Research Institute) au Danemark, l'organisme à l'origine de la conception et de la diffusion d'OSPM. Ces facteurs d'émission, disponibles dans l'appliquatif (<http://ospm.dmu.dk>) ont été élaborés pour compenser la sous-estimation des émissions de la méthodologie COPERT III [10].

le parc automobile

Les parcs nationaux urbains roulants 2002 et 2015 utilisés sont issus des travaux de l'INRETS en 2004 et repris dans le modèle IMPACT II de l'ADEME [11].

Ces parcs décrivent les caractéristiques des véhicules en France et la proportion correspondante : type de véhicule (voiture particulière, utilitaire, poids lourds, bus), technologie de maîtrise des émissions de polluants (programmes PRE-ECE, EURO I, EURO II,...), carburant (essence ou diesel) et puissance du moteur.

L'évolution de la technologie des moteurs conduit à une diminution des émissions des véhicules entre 2002 et 2015. Ainsi selon l'INRETS, la proportion de véhicules non catalysés devrait passer de 19 % en 2002 à 0 % en 2015. Cette évolution s'ajoute à la diminution du trafic liée à la mise en œuvre du Plan de Déplacements Urbains et des projets de circulation de l'agglomération.

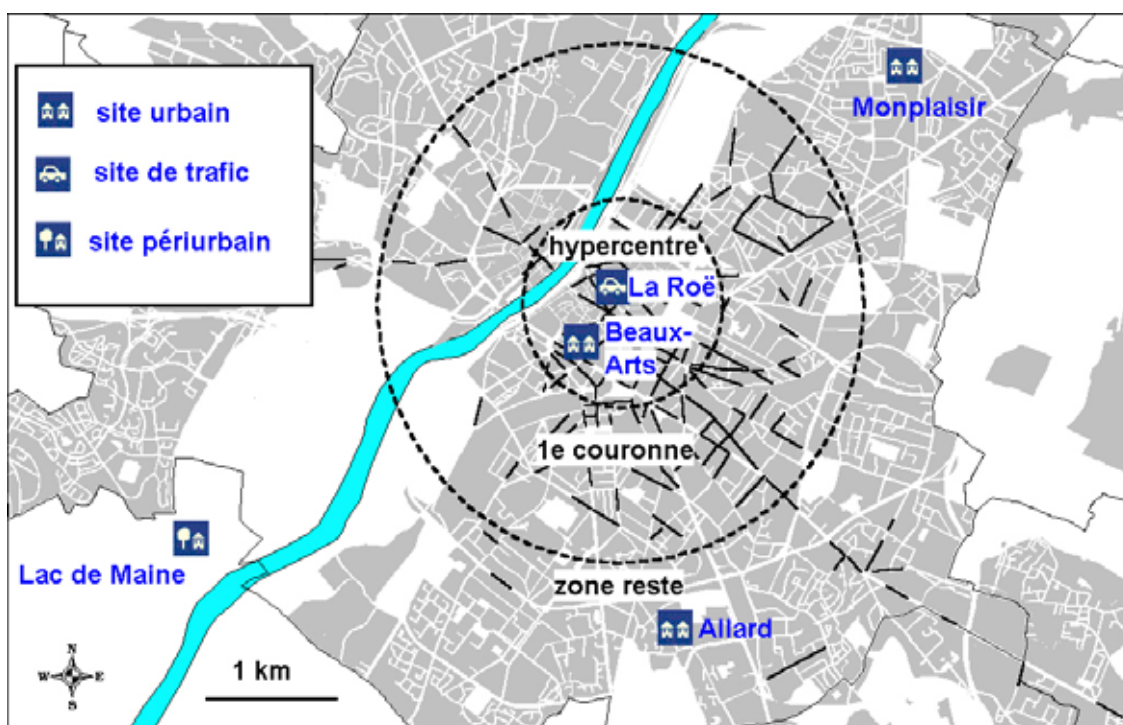
la pollution urbaine de fond

pollution de fond en 2002

Les données de pollution de fond de l'année 2002 sont issues des stations permanentes d'Air Pays de la Loire localisées dans l'agglomération angevine.

Afin de prendre en compte la variation de la pollution de fond avec l'éloignement du centre-ville, la zone d'étude a été divisée en trois secteurs : l'hyper-centre, la première couronne et la zone reste définis par des cercles concentriques autour de la place du Ralliement (cf. carte 4).

Les tronçons situés dans l'hyper-centre (rayon < 1 km) sont modélisés avec la pollution de fond mesurée par la station des Beaux Arts. Les tronçons localisés dans la zone reste (rayon > 2 km) sont modélisés avec la moyenne des concentrations enregistrées par trois sites de mesure : Lac de Maine, Allard et Monplaisir. Les rues situées dans la première couronne sont simulées avec une qualité de l'air moyenne entre l'hyper-centre et la zone reste, en partant de l'hypothèse que la pollution de fond diminue de façon linéaire avec l'éloignement du centre-ville.



Carte 4 : zonage pour la pollution de fond en 2002

Les résultats de la sectorisation de la pollution de fond sont représentés ci-dessous.

Zone	NO	C ₆ H ₆	CO	NO ₂	O ₃	PM ₁₀
Hyper-centre	5.0	1.05	461	24	48	18
1 ^e couronne	4.7	0.98	433	21	52	18
Zone reste	4.4	0.93	408	18	56	18

Tableau 3 – pollution de fond en 2002 en moyenne annuelle ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

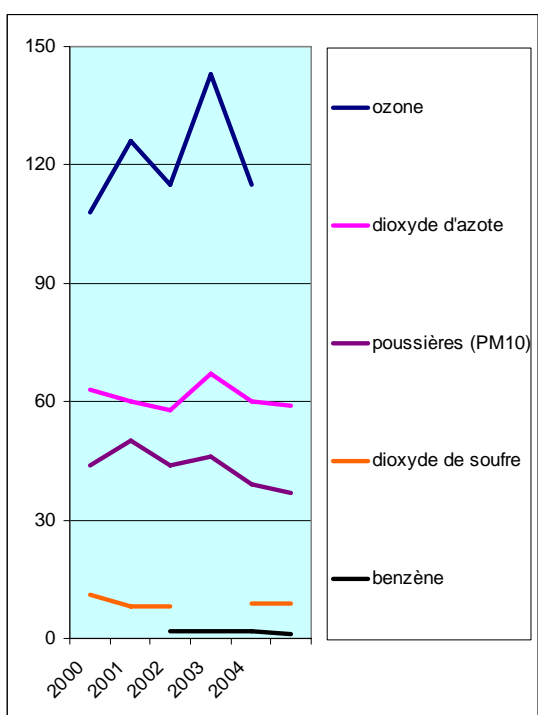
pollution de fond en 2015

De façon rigoureuse, l'estimation de la pollution de fond à l'horizon 2015 nécessite la mise en place d'une modélisation prospective à l'échelle urbaine. Cette modélisation requiert un inventaire des émissions (trafic routier, industries et chauffage urbain) en 2002 et 2015 et un modèle adaptés à cette échelle. Ces outils n'étant pas disponibles et compte tenu de la complexité du travail à envisager, il a été décidé de retenir deux hypothèses :

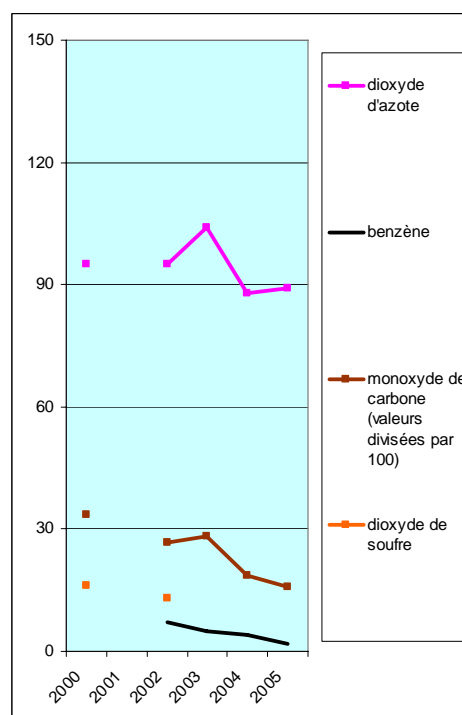
- une stabilisation des concentrations de fond entre 2002 et 2015 en extrapolant les observations de l'évolution de cette pollution depuis 2000 à Angers ;
- une diminution de la pollution de fond entre 2002 et 2015 calée sur l'évolution modélisée de la pollution à l'échelle de la rue et spécifique aux véhicules en circulation.

L'évolution réelle de la pollution de fond entre 2002 et 2015 est certainement comprise entre ces deux hypothèses, la première majorante et la deuxième minorante.

L'historique de la pollution enregistrée à Angers depuis 2000 est reporté ci-dessous :



Graphique 3 : historique de la pollution de fond entre 2000 et 2005 – percentile 98 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) – Jardin des Beaux Arts à Angers



Graphique 4 : historique de la pollution de trafic entre 2000 et 2005 – percentile 98 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) – Rue de la Roë à Angers

De façon plus détaillée, la pollution totale dans la rue s'exprime comme étant la somme de la pollution de fond et de la pollution due aux véhicules en circulation dans la rue. Voici ci-dessous le tableau récapitulatif des hypothèses de variation de ces paramètres.

Pollution totale dans la rue		
	Pollution de fond (Cfond)	Pollution due aux véhicules en circulation (Crue)
Année 2002	Cfond_2002	Crue_2002
Année 2015 – hypothèse majorante	Cfond_2002	Crue_2015
Année 2015 – hypothèse minorante	Cfond_2015	Crue_2015
avec $(Cfond_{2015} / Cfond_{2002}) = (Crue_{2015} / Crue_{2002})$. Ce rapport prend les valeurs suivantes :		
- 64 % pour le dioxyde d'azote ; - 95 % pour le benzène ; - 67 % pour le monoxyde de carbone ; - 76 % pour les particules PM10		

Tableau 4 : caractéristiques des hypothèses d'évolution des paramètres de pollution entre 2002 et 2015

la météorologie

Pour chaque heure de simulation, les paramètres suivants doivent être renseignés : température, vitesse du vent, direction du vent et rayonnement global. L'ensemble des données horaires a été récupéré sur la station météorologique Météo France de Beaucouzé, située à 5 km à l'ouest du centre-ville d'Angers. Pour l'année 2015, les données de l'année 2002 ont été appliquées.

le Plan de Déplacements Urbains de l'agglomération angevine

Un PDU définit les principes permettant d'organiser les déplacements des personnes, le transport des marchandises, la circulation, le stationnement. Ce plan est obligatoire dans les agglomérations de plus de 100 000 habitants.

A l'horizon 2015, deux scénarii de transport du Plan de Déplacements Urbains de l'agglomération angevine sont évalués : le scénario « Au fil de l'eau » ou « référence » et le scénario de « projet PDU ». Le premier prévoit un maintien du réseau de voirie et de l'offre de transport en commun de l'année 2002 tandis que le second est basé sur une prise en compte de tous les projets d'infrastructures routières et de transports entre 2002 et 2015 (contournement nord, liaison sud, la première ligne de tramway Avrillé- la Roseraie et la seconde Belle-Beille - Monplaisir avec un réseau de bus restructuré,...).

La bibliographie montre qu'à l'échelle moyenne de l'agglomération, l'impact des Plans de Déplacements Urbains est limité. À l'échelle des rues, à proximité du trafic, cet impact est plus sensible.

généralités sur les Plans de Déplacements Urbains (PDU)

En 1996, partant du principe que la réduction de la pollution atmosphérique passe par la maîtrise du trafic automobile, la Loi sur l'Air et l'Utilisation Rationnelle de l'Energie (LAURE) du 30 décembre 1996 renforce et rend obligatoire la réalisation d'un Plan de Déplacements Urbains (PDU) par les Autorités Organisatrices de Transports urbains dans le périmètre de transports urbains pour les agglomérations de plus de 100 000 habitants [12].

Le PDU définit les principes permettant d'organiser les déplacements des personnes, le transport des marchandises, la circulation, le stationnement. Ses orientations doivent concourir à diminuer le trafic automobile et à augmenter l'usage des modes alternatifs : transports publics, marche vélo...

Le PDU vise à assurer un équilibre durable entre les besoins de mobilité et de facilité d'accès, d'une part et la protection de l'environnement et de la santé, d'autre part. Deux objectifs sont visés : un usage coordonné de tous les modes de déplacements, notamment par une affectation appropriée de la voirie, ainsi que la promotion des modes les moins polluants et les moins consommateurs d'énergie.

La LAURE définit six orientations pour les PDU :

- la diminution du trafic automobile ;
- le développement des transports collectifs et des moyens de déplacements économes et les moins polluants, notamment l'usage de la bicyclette et de la marche à pied ;
- l'aménagement et l'exploitation du réseau principal de la voirie d'agglomération ;
- l'organisation du stationnement sur le domaine public ;
- le transport et la livraison de marchandises de façon à en réduire les impacts sur la circulation et l'environnement ;
- l'encouragement pour les entreprises et les collectivités publiques à favoriser le transport de leur personnel, notamment par l'utilisation des transports en commun et du covoiturage.

le PDU de l'agglomération angevine

Le Plan de Déplacements Urbains de l'agglomération angevine a été adopté en mars 2005 par Angers Loire Métropole. Ce PDU fixe les orientations définies par la LAURE jusqu'en 2015. L'année 2002 correspond à l'état initial.

A l'horizon 2015, deux scénarii de transport du Plan de Déplacements Urbains de l'agglomération angevine sont évalués : le scénario « au fil de l'eau », appelé aussi « référence », et le scénario de « projet PDU ». Le premier prévoit un maintien du réseau de voirie et de l'offre de transport en commun de l'année 2002 tandis que le second est basé sur une prise en compte de tous les projets d'infrastructures routières et de transports entre 2002 et 2015.

les hypothèses d'évolution de la population, de l'emploi et du trafic à l'horizon 2015 [13]

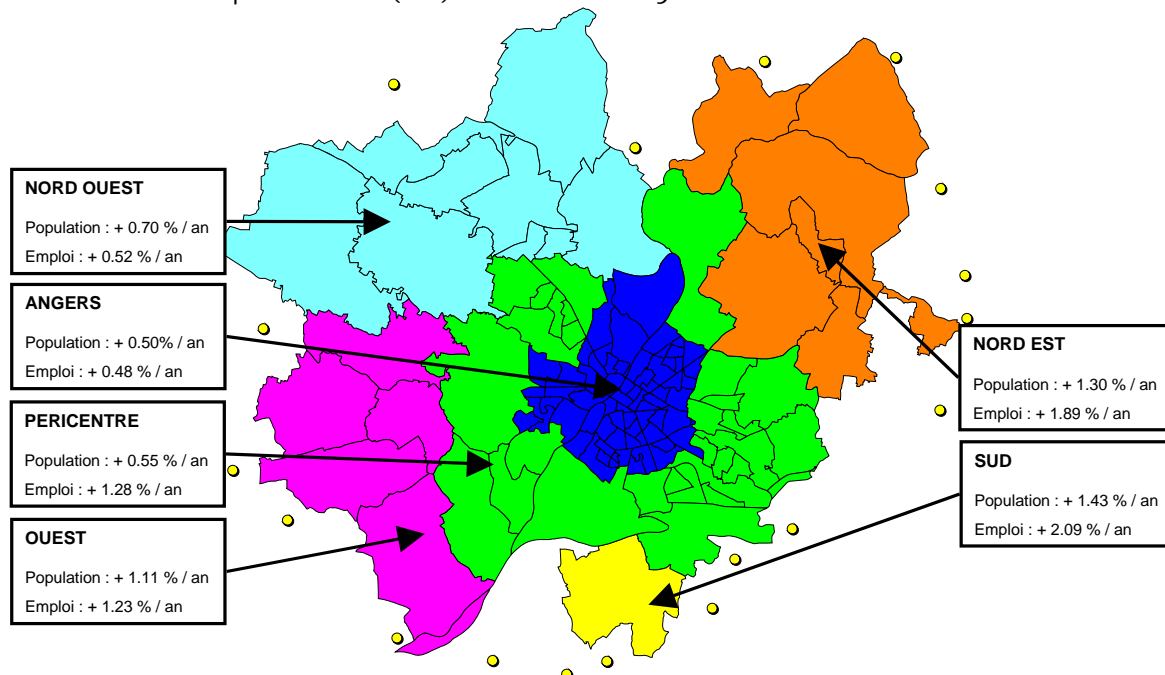
évolution de la demande interne

Le scénario de référence 2015 se base sur une hypothèse moyenne d'évolution de la population et de l'emploi.

Les autres données zonales (effectifs scolaires, surfaces commerciales...) restent inchangées par rapport à la situation actuelle.

Aucune hypothèse sur l'évolution de la mobilité n'est prise en compte dans la modélisation. La mobilité 2015 est donc supposée identique à celle observée dans l'enquête ménages de 1998 (mobilité = nombre de déplacements par personne et par jour : 3,57).

La carte suivante décrit l'hypothèse moyenne de croissance de la population et de l'emploi sur le Périmètre des Transports Urbains (PTU) entre 2002 et 2015.



Carte 5 : hypothèse moyenne de croissance de la population et de l'emploi entre 2002 et 2015 prises en compte dans l'étude (source : Angers Loire Métropole)

Cette hypothèse moyenne conduit à une population totale de 286 793 habitants dans le PTU en 2015, soit une croissance de 10.3 % (+ 26 836 habitants).

Dans le même temps, l'emploi connaît une croissance de 13.1 % (soit 15 200 emplois environ).

évolution du trafic

Les hypothèses d'évolution du trafic d'échange et de transit entre 2002 et 2015 sont les suivantes :

- transit :
 - + 40 % pour le transit autoroutier pur,
 - + 30 % pour le transit autre,
- échange :
 - + 30 % pour le trafic d'échange en provenance ou à destination d'une autoroute,
 - + 25 % pour le trafic d'échange autre.

Ces hypothèses sont basées sur les recommandations de la Direction des Routes et correspondent à l'hypothèse moyenne suivante : croissance annuelle linéaire (base 1995) de +2.5 % par an pour les déplacements compris entre 20 et 100 km et de + 3.5 % par an pour les déplacements de plus de 100 km.

description des scénarii et des projets de transport et de voirie [13]

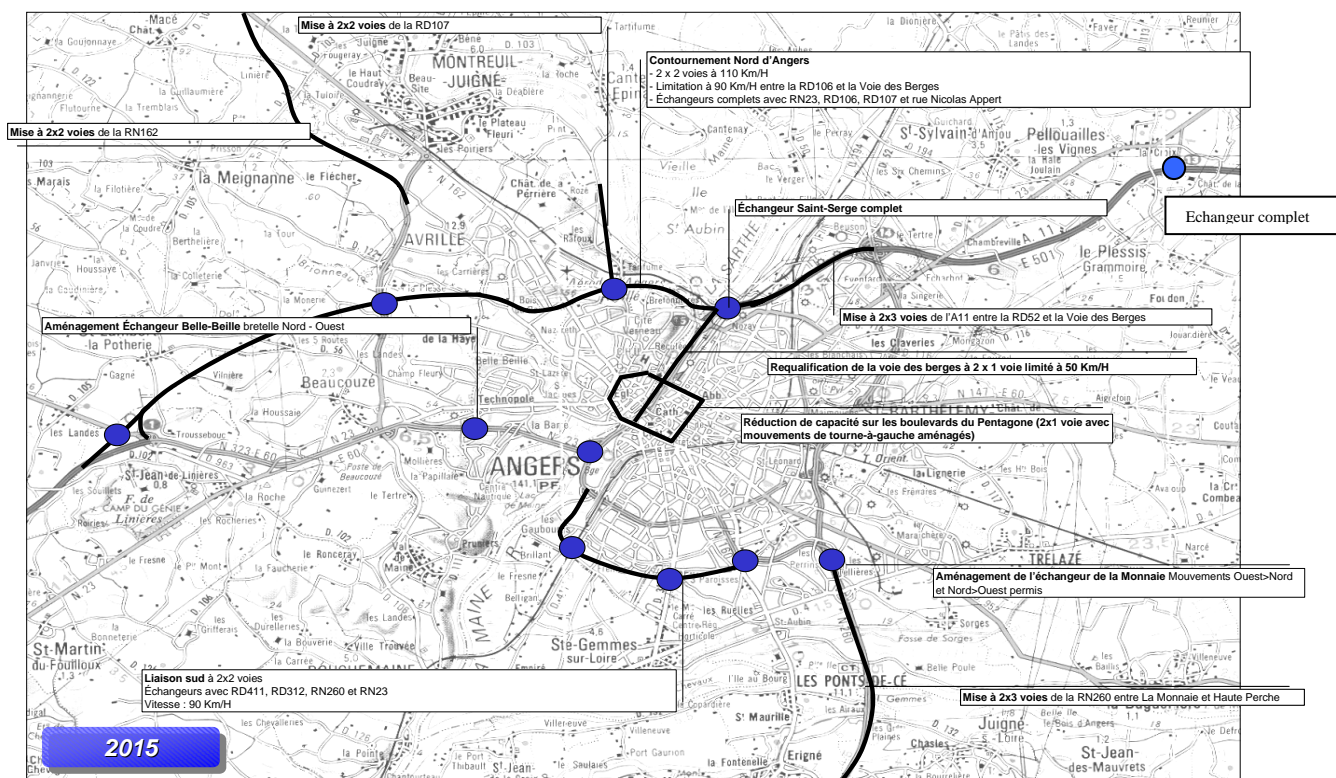
le scénario « au fil de l'eau » sans PDU et projets d'infrastructures routières et de transport

Le scénario « au fil de l'eau » repose sur les hypothèses d'évolution de la population et de l'emploi, ainsi que d'évolution du trafic décrites précédemment. Seulement aucun projet d'infrastructures routières ou de transports n'est modélisé et donc pris en compte.

les projets d'infrastructures routières et de transport dans le scénario avec PDU

Le scénario repose sur les hypothèses d'évolution de la population et de l'emploi, ainsi que du trafic décrits précédemment. Dans ce scénario tous les projets d'infrastructures routières et de transports (contournement nord, liaison sud, la première ligne de tramway Avrillé- la Roseraie et la seconde Belle-Beille - Monplaisir avec un réseau de bus restructuré) ont été modélisés.

La carte 6 illustre les projets de voirie. L'annexe 10 les décrit en détail.



Carte 6 : projets de voirie dans l'agglomération angevine à l'horizon 2015 (source : Angers Loire Métropole)

des exemples d'impact d'un PDU sur la qualité de l'air

impact à l'échelle de l'agglomération (pollution de fond)

exemple de l'agglomération de Nantes

Une étude prospective sur la qualité de l'air à l'horizon 2010 dans l'agglomération nantaise a été réalisée par Air Pays de la Loire en 2001 dans le cadre des travaux d'élaboration du Plan Régional pour la Qualité de l'Air des Pays de la Loire [14].

Deux polluants émis en majorité par le trafic routier en milieu urbain ont été étudiés : le dioxyde d'azote et le monoxyde de carbone. Trois hypothèses de trafic ont été simulées : un scénario de référence 1999 et deux scénarii prospectifs 2010, l'un dit « au fil de l'eau » et l'autre incorporant l'hypothèse de croissance de la part modale des transports collectifs issue des propositions du PDU de l'agglomération nantaise.

Selon les modélisations de trafic réalisées par le CETE de l'Ouest pour cette étude, cette croissance de la part modale des transports collectifs correspondait à une diminution de 6 % en moyenne sur l'agglomération du trafic de véhicules particuliers entre les deux horizons 2010.

Air Pays de la Loire a mis en œuvre une plateforme de simulation de la pollution de fond appelé SAMAA, utilisée et validée dans les études [15] et [16] pour étudier ces trois différents scénarii.

Les résultats montrent que l'évolution due à la seule réglementation sur les normes d'émission des véhicules devrait permettre une diminution de la pollution à l'échelle de l'agglomération entre 1999 et 2010 d'environ 25 % pour le dioxyde d'azote et de 6 % pour le monoxyde de carbone (situation aux heures de pointe de la circulation).

L'amélioration supplémentaire due à l'augmentation de la part modale des transports collectifs devrait être limitée à 2 ou 3 %.

exemple de l'agglomération de Saint Etienne

Dans l'agglomération de Saint Etienne, l'impact de différents scénarii de transport du PDU et du dossier de voirie sur la qualité de l'air a été étudié [17]. Un système de modélisation de la pollution de fond, c'est-à-dire en des lieux éloignés des sources directes d'émission, a été appliqué pour une journée type et deux horizons de calcul : 1995 et 2010.

Les résultats montrent que la réduction des émissions de polluants du trafic urbain sur la période 1995-2010 proviendra pour une large part du renouvellement du parc de véhicules (de l'ordre de 60 à 80 % selon les polluants, sauf pour le dioxyde de carbone qui évoluera peu), là où les politiques de transport urbain les plus volontaristes ne pourront apporter une réduction des émissions que de quelques pourcent, en cohérence avec la réduction du trafic routier induite par les mesures mises en œuvre.

Cette amélioration supplémentaire liée aux politiques locales de déplacements est cohérente avec l'étude d'Air Pays de la Loire sur l'agglomération de Nantes [14].

impact à l'échelle des rues (pollution de proximité)

exemple des rues de l'agglomération bordelaise

Airaq, l'association agréée de surveillance de la qualité de l'air en Aquitaine a étudié en 2003 l'évolution à l'horizon 2008 de la qualité de l'air sur les grands axes de l'agglomération bordelaise [18].

L'objectif était d'étudier l'impact de la mise en service du tramway prévue pour 2007, qui s'étendra sur près de 45 km, à travers l'agglomération.

Pour les besoins de l'étude, les axes empruntés par le tramway ont été répertoriés et analysés. A ces derniers se sont ajoutés les principaux axes routiers de la Communauté Urbaine de Bordeaux afin de qualifier un éventuel report de pollution du fait des modifications de voirie. Ainsi, quelques 400 brins sur plus de 200 kilomètres de voirie ont été modélisés avec le logiciel de calcul à l'échelle de la rue, appelé STREET. Il s'agit d'un modèle paramétrique qui repose sur des bases de données de simulation. Selon le LCSQA, ce type de logiciel est plus adapté pour des études « en relatif » (caractérisation des « points chauds » ou comparaison de deux scénarii) que pour évaluer des niveaux de concentration absolus [2].

Airaq a déterminé l'évolution de la pollution entre 2000 et 2008 mais également la situation en 2008 dans l'hypothèse où le tramway n'aurait pas été mis en service. Il est ainsi modélisé une amélioration de la qualité de l'air (tous polluants confondus) de 27 % sur l'ensemble des voies modélisées entre 2002 et 2008.

Il est précisément mis en évidence que le tramway participe :

- pour environ 3 % à l'amélioration de la qualité de l'air sur l'ensemble des 200 km étudiés ;
- pour 28 % à l'amélioration sur les axes empruntés par le tramway ;
- sur la rocade, en raison du report de circulation, le tramway réduit l'amélioration de près de 23 %.

conclusion

La bibliographie montre qu'à l'échelle moyenne de l'agglomération, l'impact des Plans de Déplacements Urbains est limité. A l'échelle des rues, à proximité du trafic, cet impact est plus sensible.

qualité de l'air en 2002 et 2015 dans les rues « canyons »

Une comparaison mesure – modèle est réalisée au niveau de la rue de la Roë pour les années 2002 et 2015. Elle montre une tendance à la sous-estimation des concentrations annuelles par le modèle, le plus souvent contenue à – 15 %, ce qui montre les qualités scientifiques d'OSPM.

Le modèle simule en 2002 des dépassements des objectifs de qualité pour le dioxyde d'azote et le benzène. Même si elle est approchée dans certaines rues, la valeur limite pour le dioxyde d'azote est respectée.

La seule introduction de véhicules de moins en moins polluants entre 2002 et 2015 devrait permettre le respect des seuils réglementaires à l'horizon 2015. Le modèle prévoit en effet une réduction importante de la pollution à cet horizon liée au renouvellement du parc automobile.

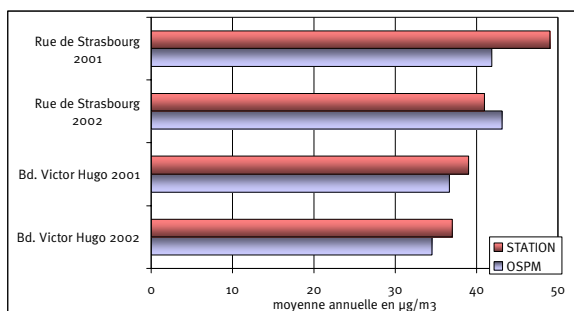
L'amélioration supplémentaire en lien avec la mise en œuvre des projets de transports et de voirie du Plan de Déplacements Urbains est à l'échelle de l'agglomération angevine, beaucoup plus modeste mais positive. Dans certaines rues, notamment celles qui seront empruntées par la première ligne de tramway, cette amélioration devient significative.

l'accord mesure modèle

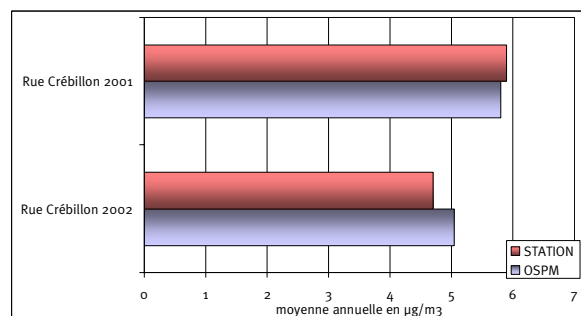
validation sur 3 rues « canyons » de la ville de Nantes

Un test du modèle OSPM a été réalisé en 2003 [7] en évaluant ses performances sur 3 rues "canyons" de Nantes pour lesquelles des données de mesure de pollution étaient disponibles sur les stations fixes d'Air Pays de la Loire : la rue de Strasbourg, le boulevard Victor Hugo et la rue Crébillon.

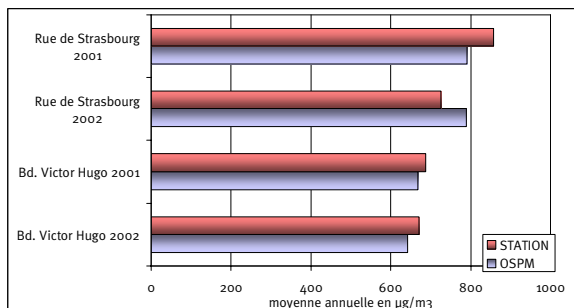
Les graphiques 5 à 8 ci-dessous illustrent les résultats de comparaisons entre les concentrations moyennes annuelles modélisées par OSPM et les données des stations de mesure de Nantes pour les années 2001 et 2002 (NO₂, C₆H₆, CO) étendues en 2004 et 2005 aux particules PM₁₀.



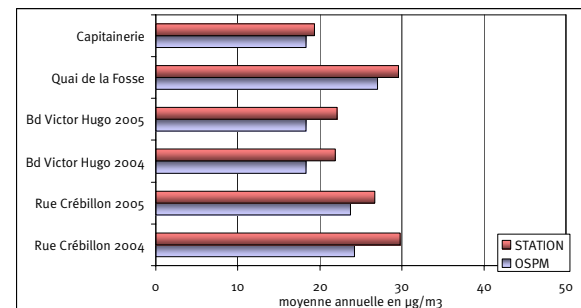
Graphique 5 : accord mesure modèle à Nantes pour les moyennes annuelles en dioxyde d'azote



Graphique 6 : accord mesure modèle à Nantes pour les moyennes annuelles en benzène



Graphique 7 : accord mesure modèle à Nantes pour les moyennes annuelles en monoxyde de carbone



Graphique 8 : accord mesure modèle à Nantes pour les moyennes annuelles en particules PM₁₀

Ces graphiques montrent que l'écart mesure – modèle pour les moyennes annuelles est limité à 20 %, plutôt dans le sens d'une sous-estimation du modèle. L'ensemble des tests réalisés sur les rues nantaises confirme les résultats des études d'évaluation menées au niveau européen qui ont montré les qualités scientifiques de ce modèle [4], [5]. L'écart mesure-modèle observé pour les PM₁₀ est toutefois certainement plus important encore, la méthode de mesure utilisée le plus en France pour ce polluant (micro-balance) ayant tendance selon le Laboratoire Central de Surveillance de la Qualité de l'Air et dans certaines conditions, à sous estimer les valeurs réelles.

comparaison mesure-modèle sur la rue de la Roë à Angers

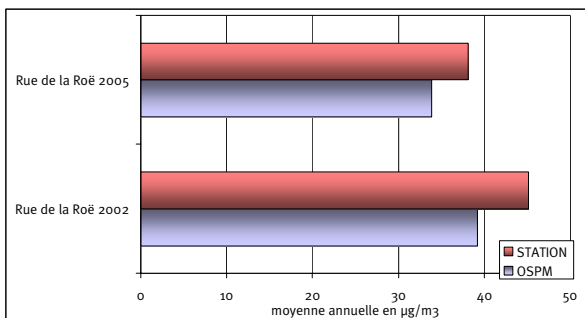
La rue de la Roë est une rue « canyon » du centre-ville d'Angers dont la pollution atmosphérique est surveillée par le dispositif permanent de mesure d'Air Pays de la Loire. Cette station a été arrêtée le 13 février 2006 en raison de travaux dans les bâtiments abritant la station. Le but de cet exercice de calage sur la rue de la Roë est de permettre de valider la modélisation par rapport aux mesures réelles d'une station trafic à Angers.

Les paramètres de la rue de la Roë sont les suivants :

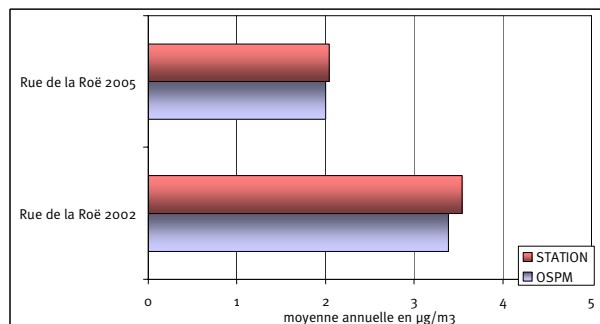
Hauteur (m)	Largeur (m)	Orientation (°)	Continuité	Vitesse (km/h)	Nombre de voies	TMJA 2002	TMJA 2005
14.2	10.8	147 °	0.88	30	2	6000 veh/jour	3773 veh/jour

Tableau 5 : paramètres descriptifs de la rue de la Roë à Angers

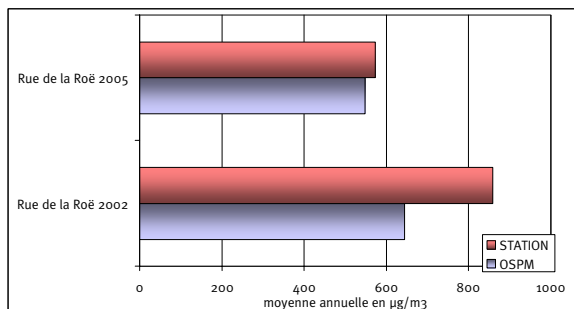
Pour l'année 2002, la valeur de 6000 véh/j est issue d'une modélisation du trafic avec le logiciel Davisum, Pour l'année 2005, il s'agit d'une donnée de comptage de la ville d'Angers.



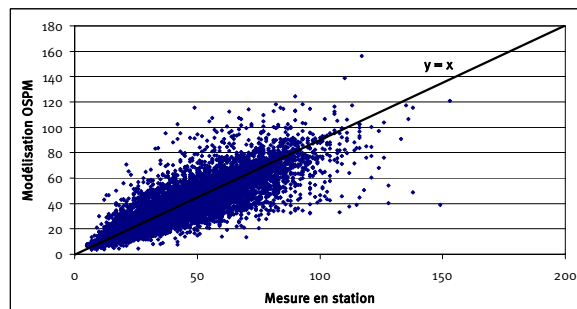
Graphique 9 : accord mesure modèle rue de la Roë pour les moyennes annuelles en dioxyde d'azote



Graphique 10 : accord mesure modèle rue de la Roë pour les moyennes annuelles en benzène



Graphique 11 : accord mesure modèle rue de la Roë pour les moyennes annuelles en monoxyde de carbone



Graphique 12 : accord mesure modèle rue de la Roë pour les moyennes horaires 2002 en dioxyde d'azote

Les concentrations modélisées en 2005 sont inférieures à celles de 2002 en raison de l'introduction entre les deux années dans le parc automobile de véhicules moins polluants et de la diminution du trafic. Le modèle OSPM reproduit bien cette variation de la pollution entre 2002 et 2005.

Les résultats de comparaison entre le modèle et la station de mesure montrent une tendance à la sous-estimation des concentrations par le modèle. Sur la rue de la Roë, les écarts du modèle par rapport à la mesure pour les moyennes annuelles 2002 sont de - 13 %, - 4% et - 25%, respectivement pour le dioxyde d'azote, le benzène et le monoxyde de carbone. Pour l'année 2005, les écarts respectifs sont de - 11%, - 2% et - 4%. Les résultats sont acceptables et similaires à l'étude de Nantes [7]. Cette étude montre qu'OSPM respecte les objectifs de qualité relatifs à l'incertitude des modèles issus de la réglementation européenne sur la surveillance de la qualité de l'air.

Le graphique 12 démontre également, pour le dioxyde d'azote en 2002 dans la rue de la Roë, la bonne capacité du modèle OSPM à reproduire des moyennes horaires. Le coefficient de corrélation mesure-modèle sur l'année 2002 est de 0.83.

La concentration modélisée comporte une partie « pollution de fond ». La pollution de fond de monoxyde de carbone n'est pas mesurée à Angers mais est issue de données provenant d'une station urbaine de Nantes en 1999, ce qui peut expliquer l'écart pour ce polluant en 2002.

nature des résultats proposés

Les résultats de l'évaluation et de la cartographie de la qualité de l'air dans les 198 sections canyons de l'agglomération angevine en 2002 et en 2015 sont maintenant abordés.

Les concentrations cartographiées sont données à une hauteur de 2 mètres au centre du côté de la rue le plus exposé aux polluants (côté sous le vent dont les niveaux sont supérieurs de 10 à 15 % par rapport au côté au vent [19]). Le long d'un côté de la rue, la pollution est considérée comme étant homogène, des paramètres moyens du bâti ayant été pris en compte.

Les Directives Européennes présentent les critères de micro-implantation à respecter dans la mesure du possible pour les points de prélèvement des polluants (distance minimale aux grands carrefours et au centre de la voie, distance maximale à la bordure du trottoir,...).

A l'aide des données calculées pour cette étude, il est montré que le site de surveillance de la rue de la Roë ainsi que la très grande majorité des rues canyons modélisées (97 %) respectent les distances minimales aux carrefours et au centre de la voie. La distance maximale à la bordure du trottoir n'est pas un critère modélisé mais il est respecté rue de la Roë.

Des cartes de pollution moyenne annuelle en dioxyde d'azote, en benzène, en monoxyde de carbone et en particules PM₁₀ sont présentées pour les années 2002 et 2015 : elles permettent d'identifier la position des concentrations par rapport aux seuils réglementaires, notamment les objectifs de qualité et les valeurs limites. Les seuils réglementaires, décrits dans l'annexe 5, sont majoritairement plus contraignants en 2015 qu'en 2002. A noter que pour l'année 2015, ce sont les seuils 2010 qui ont été appliqués.

Les seuils relatifs au dioxyde d'azote sont abaissés de 13 % pour prendre en compte la sous-estimation par le modèle, d'après la comparaison avec les mesures dans la rue de la Roë en 2002. Les concentrations annuelles sont ainsi classées par rapport à des seuils réglementaires modifiés. Pour la valeur limite annuelle (56 µg/m³) et l'objectif de qualité (40 µg/m³), une valeur limite modifiée (VL_m) de 49 µg/m³ et un objectif de qualité modifié (OQ_m) de 35 µg/m³ sont ainsi respectivement considérés. Dans ce cas, il faut parler de probabilité de dépassement des seuils réglementaires pour le dioxyde d'azote.

Le nombre de sections (avec le kilométrage correspondant) dépassant les seuils réglementaires est récapitulé. Une attention particulière est accordée pour la présentation des 10 sections canyons les plus polluées et des axes de circulation des communes périphériques à la ville d'Angers.

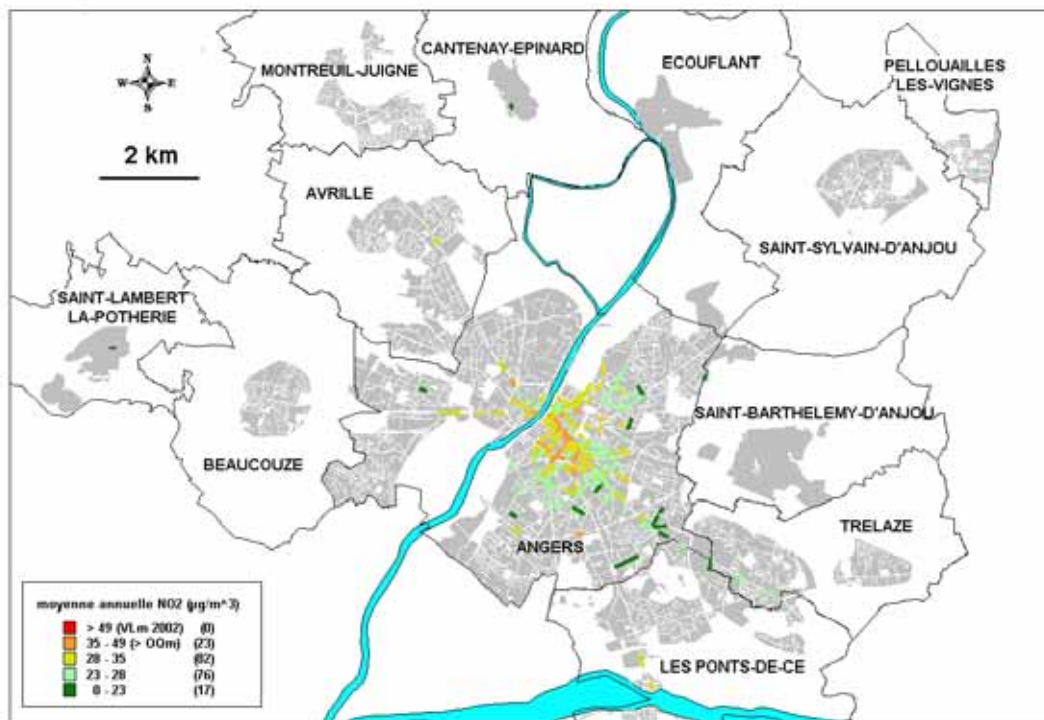
Pour l'année 2002, une comparaison avec la situation de la ville de Nantes est réalisée.

Pour l'année 2015, l'impact de la modification du parc automobile entre 2002 et 2015 et l'impact du PDU sont présentés. Ce dernier est réalisé en comparant le scénario « au fil de l'eau » appelé aussi « référence » et le scénario de « projet PDU ». Le premier prévoit un maintien du réseau de voirie et de l'offre de transport en commun de l'année 2002 tandis que le second est basé sur une prise en compte de tous les projets d'infrastructures routières et de transports entre 2002 et 2015 (cf. chapitre précédent).

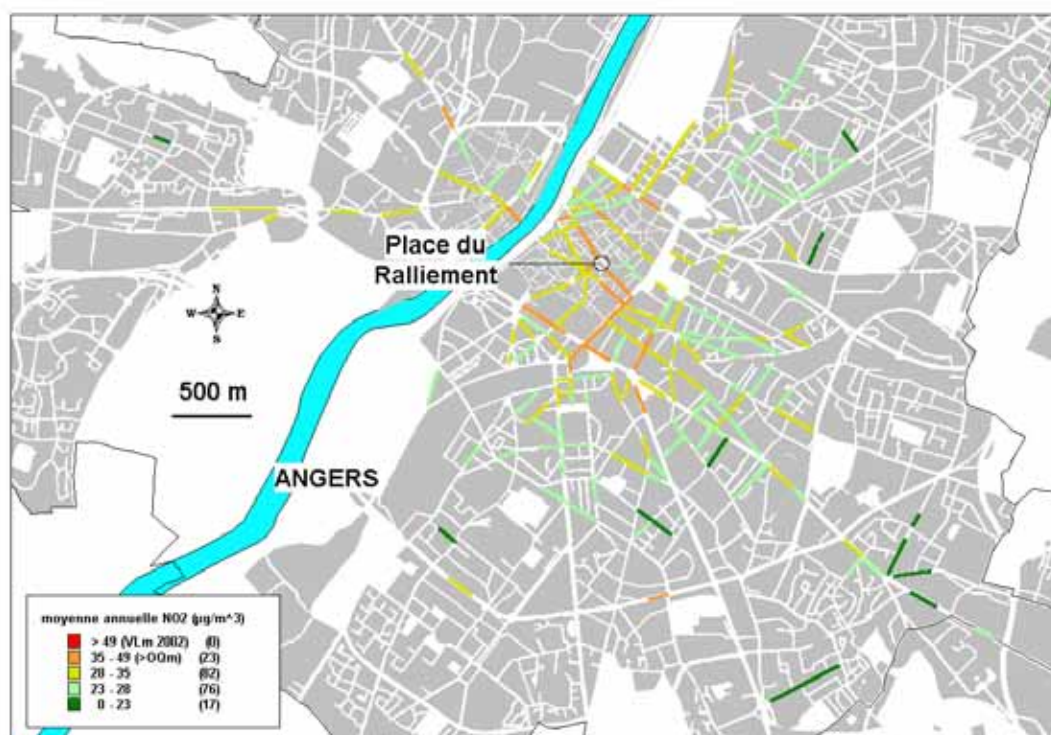
Les concentrations modélisées dans chacune des 198 sections de rues canyons en 2002 et pour chacun des scénarii 2015 sont reportées dans l'annexe 11.

qualité de l'air en 2002

cartographies 2002 de la qualité de l'air le dioxyde d'azote en 2002

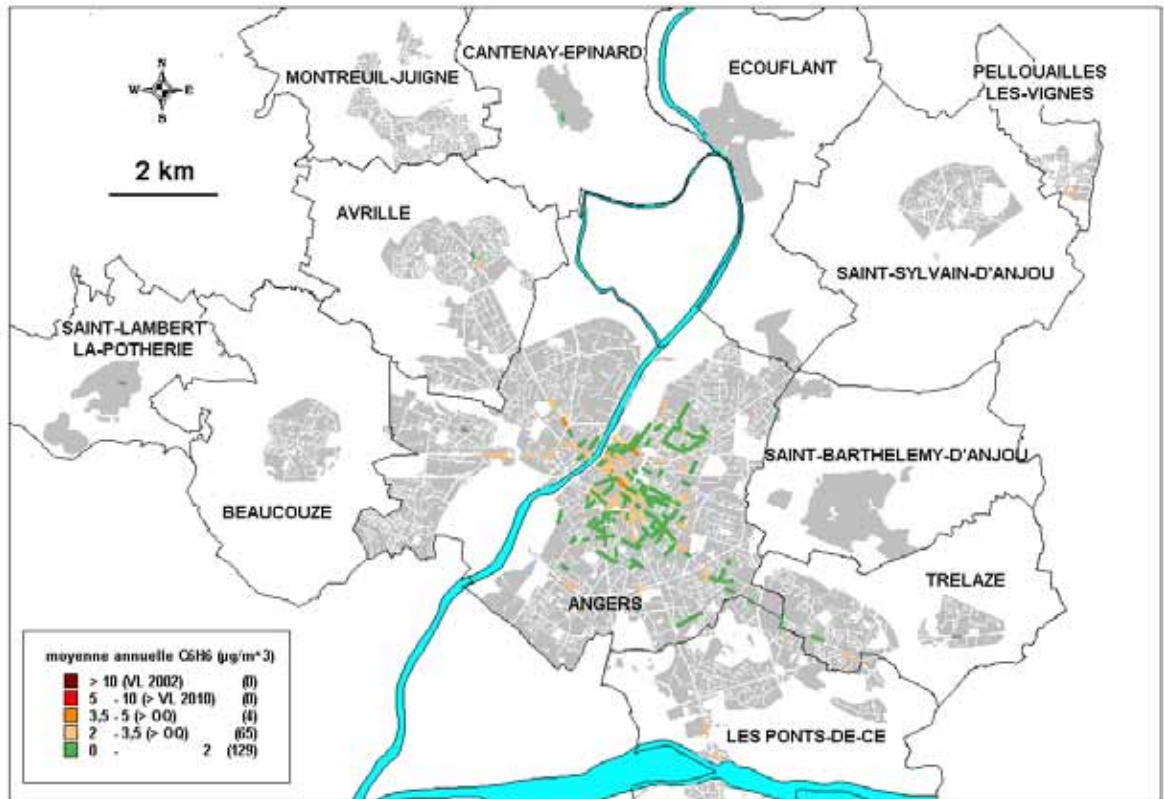


Carte 7 : moyenne annuelle 2002 en dioxyde d'azote dans les rues « canyons » de l'agglomération angevine

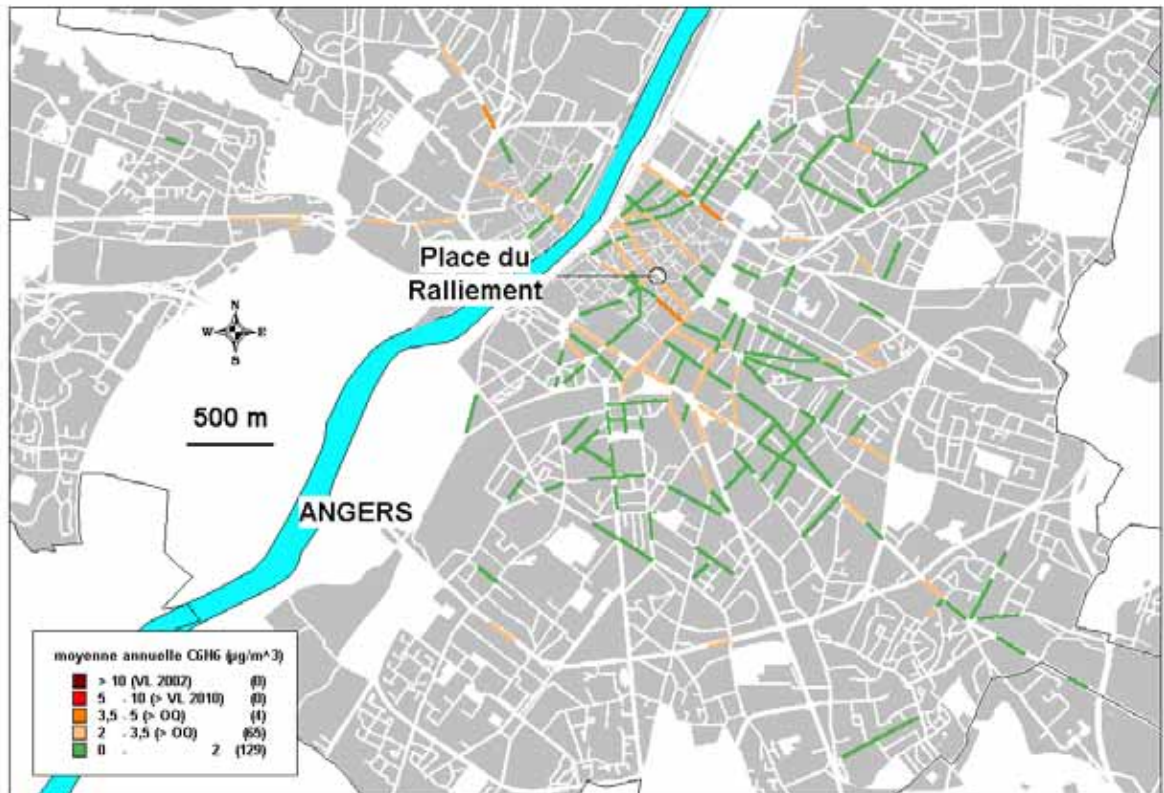


Carte 8 : moyenne annuelle 2002 en dioxyde d'azote dans les rues « canyons » de la ville d'Angers

le benzène en 2002

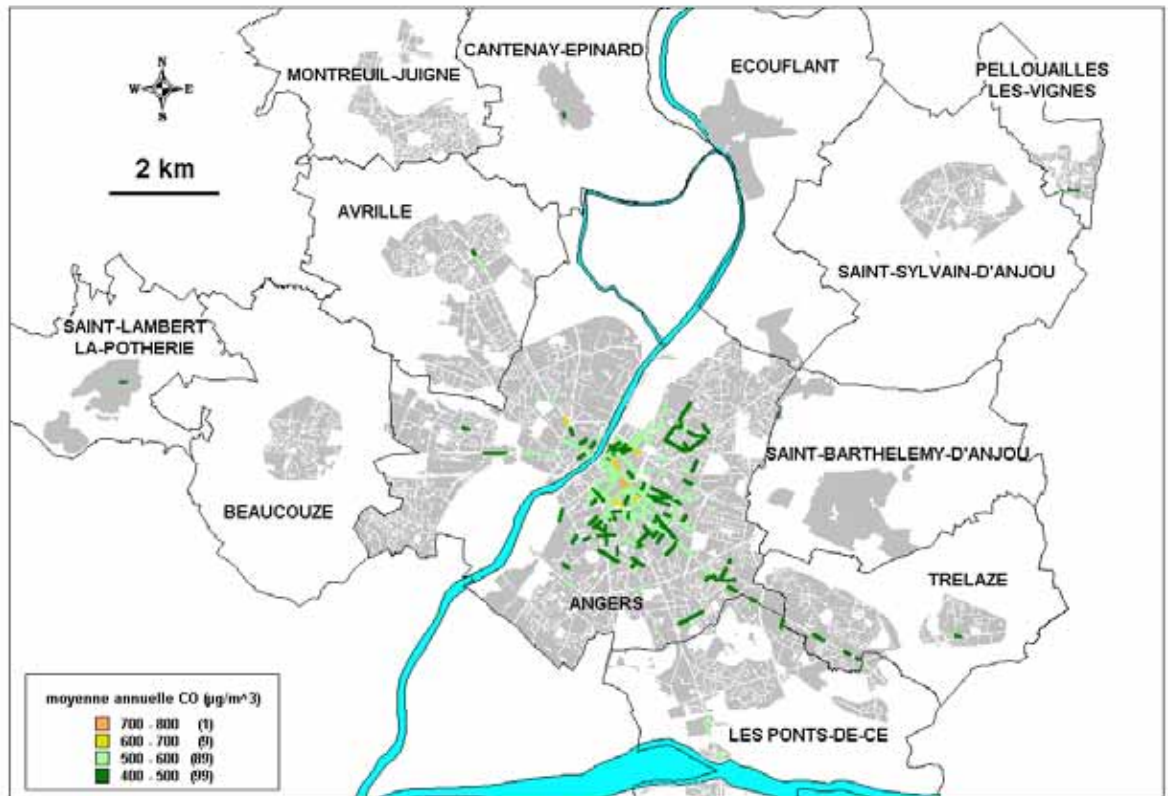


Carte 9 : moyenne annuelle 2002 en benzène dans les rues « canyons » de l'agglomération angevine

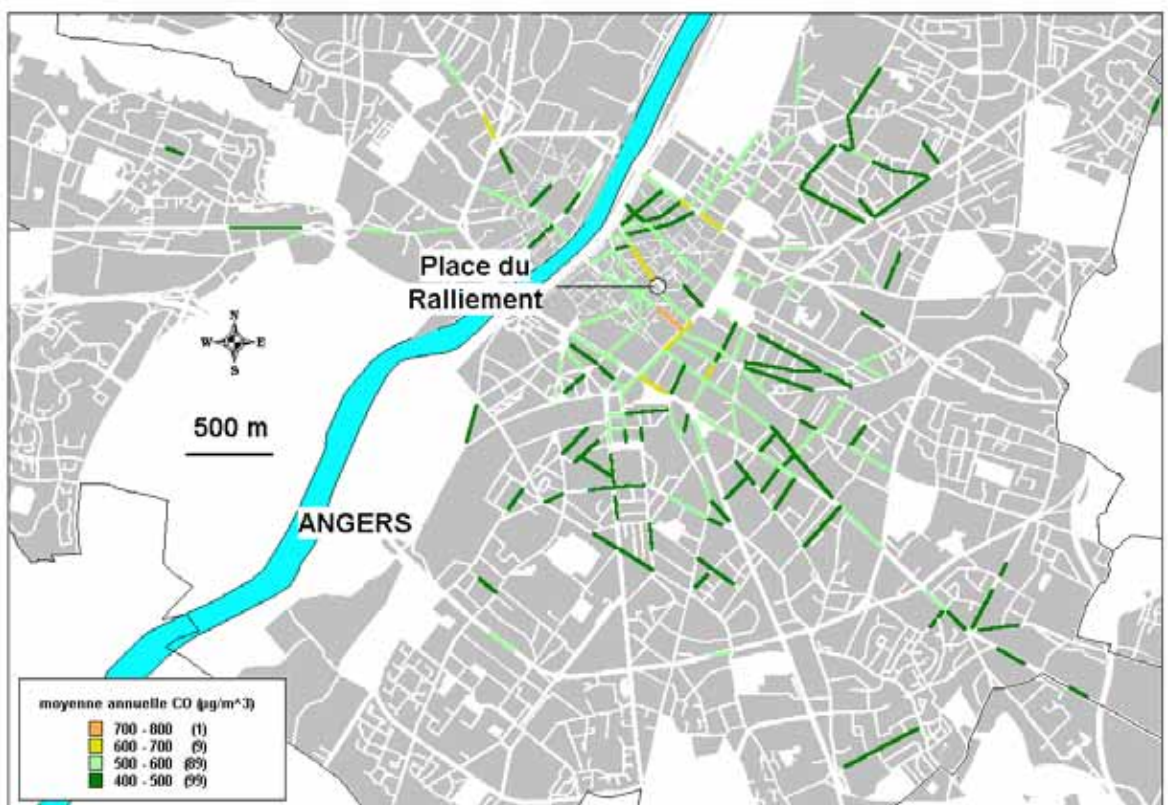


Carte 10 : moyenne annuelle 2002 en benzène dans les rues « canyons » de la ville d'Angers

le monoxyde de carbone en 2002

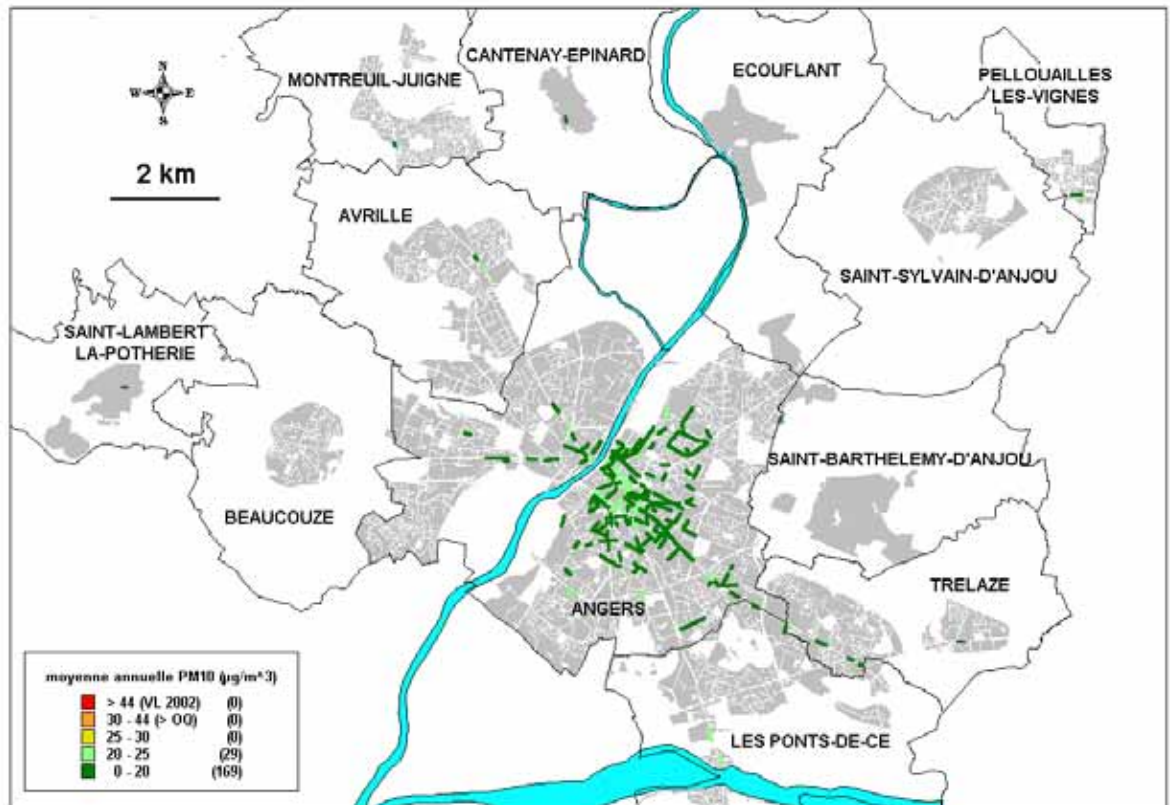


Carte 11 : moyenne annuelle 2002 en monoxyde de carbone dans les rues « canyons » de l'agglomération angevine

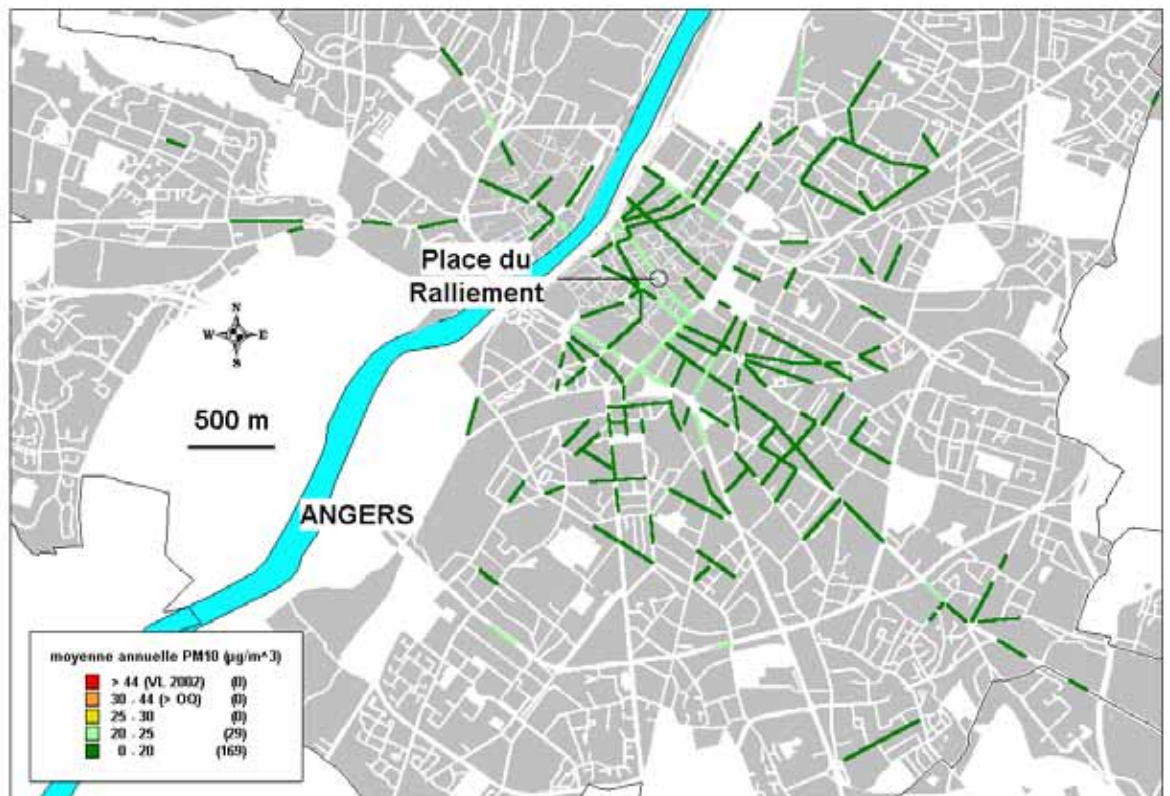


Carte 12 : moyenne annuelle 2002 en monoxyde de carbone dans les rues « canyons » de la ville d'Angers

les particules PM10 en 2002



Carte 13 : moyenne annuelle 2002 en particules PM10 dans les rues « canyons » de l'agglomération angevine



Carte 14 : moyenne annuelle 2002 en particules PM10 dans les rues « canyons » de la ville d'Angers

interprétation des niveaux modélisés en 2002

Selon la modélisation, l'ensemble des rues canyons en 2002 devrait respecter les valeurs limites de qualité de l'air. Le franchissement des objectifs de qualité est modélisé dans 23 sections représentant 3 kilomètres pour le dioxyde d'azote et dans 69 sections représentant 9,8 km pour le benzène. L'objectif de qualité est respecté pour les particules PM10 (cf. tableau 6) mais ce résultat doit être nuancé, OSPM ayant tendance à sous-estimer les valeurs réelles. La valeur limite pour le dioxyde d'azote est approchée pour deux axes : le boulevard Foch et le boulevard Ayrault.

Polluant	Type de Seuil	Valeurs	Dépassement probable en nombre de tronçons et en kilométrage
NO ₂	Objectif de qualité	Moyenne sur l'année civile : 40 µg/m ³ (modifié à 35 µg/m ³)	23 tronçons (3,0 Km)
	Valeur limite	Moyenne sur l'année civile : 56 µg/m ³ (modifié à 49 µg/m ³) Moyenne horaire : - 200 µg/m ³ à ne pas dépasser plus de 175 h par année civile - 280 µg/m ³ à ne pas dépasser plus de 18 h par année civile	o o donnée de sortie non disponible
C ₆ H ₆	Objectif de qualité	Moyenne sur l'année civile : 2 µg/m ³	69 tronçons (9,8 Km)
	Valeur limite	Moyenne sur l'année civile : 10 µg/m ³	o
CO	Valeur limite	Moyenne 8-horaire maximale du jour : 10 000 µg/m ³	L'estimation ne peut être faite en l'absence de donnée horaires de pollution de fond en CO. Par analogie avec les résultats de la rue de la Roë, ce risque est faible sur l'ensemble des rues modélisées.
PM10	Objectif de qualité	Moyenne sur l'année civile : 30 µg/m ³	o
	Valeur limite	Moyenne sur l'année civile : 44 µg/m ³ Moyenne journalière : 65 µg/m ³ à ne pas dépasser plus de 35 j. par année civile	o o

Tableau 6 : situation en 2002 par rapport aux seuils réglementaires

Les concentrations pour les quatre polluants modélisés sont plus élevées dans l'hyper-centre de l'agglomération parce que ce secteur regroupe les sections avec les trafics les plus importants et les configurations de bâti les plus étroites.

Le tableau 7 présente les caractéristiques des 10 sections « canyons » les plus exposées à la pollution.

No	Nom du tronçon	NO ₂ (µg/m ³)	C ₆ H ₆ (µg/m ³)	CO (µg/m ³)	PM ₁₀ (µg/m ³)	NOX (µg/m ³)	TMJA (véh/j)	H/L	TMJA x H/L (véh/j)
65	BOULEVARD FOCH_3	46	3,5	636	26	131	20000	0,61	12103
8	BOULEVARD AYRAULT_3	44	3,9	666	27	147	31000	0,38	11741
66	BOULEVARD FOCH_4	44	3,3	626	25	125	21000	0,50	10526
9	BOULEVARD CARNOT	42	3,7	651	26	139	29000	0,31	8879
42	RUE PAUL BERT	42	3,4	633	26	129	18000	0,77	13859
64	BOULEVARD FOCH_2	41	3,1	613	25	118	20000	0,39	7718
55	RUE DU HARAS	41	2,9	599	24	109	12000	1,18	14206
28	RUE CHAUSSEE SAINT PIERRE	40	2,7	584	23	102	9000	1,24	11196
85	RUE SAINT LAZARE	40	3,7	629	27	139	16000	0,94	14996
30	RUE SAINT JULIEN	39	4,5	732	26	112	5000	1,14	5702
	Moyenne des 10 tronçons les plus pollués	42	3,5	637	25	125	18100	0,75	11093
	Moyenne des 198 tronçons	29	1,9	510	21	66	5818	0,66	3335

Tableau 7 : caractéristiques des 10 sections les plus exposées à la pollution (en moyenne annuelle)

Dans l'agglomération, les rues canyons exposées aux plus forts niveaux de pollution sont situées dans la ville d'Angers. Elles dépassent les objectifs de qualité pour le dioxyde d'azote et le benzène. Parmi ces 10 rues les plus exposées, la rue Saint Lazare est située sur la rive droite de la Maine. Le reste est localisé sur la rive gauche, principalement sur les boulevards de ceinture du centre ville et en particulier au niveau du boulevard Foch et des rues adjacentes (rue du Haras, rue Paul Bert et rue Saint Julien), du boulevard Ayrault et du boulevard Carnot. La rue Chaussée Saint Pierre, qui rejoint la place du Ralliement possède un degré « canyon » prononcé et même avec un trafic journalier modéré est exposée à des niveaux significatifs de pollution.

Le rapport H/L entre la hauteur H des bâtiments et la largeur L de la rue permet de représenter le degré du caractère « canyon » de la rue. Les 10 sections les plus polluées ont une configuration du bâti (rapport H/L de 0.75) en moyenne légèrement plus encaissée que l'ensemble des 198 sections modélisées (rapport H/L de 0.66). Ces 10 sections supportent aussi en moyenne un trafic nettement plus élevé que les autres tronçons, ce qui est le paramètre prédominant pour expliquer la pollution dans ces rues.

Voici la situation pour les sections localisées à l'extérieur de la ville d'Angers :

No	Nom du tronçon	NO ₂ (µg/m ³)	C ₆ H ₆ (µg/m ³)	CO (µg/m ³)	PM ₁₀ (µg/m ³)	NOX (µg/m ³)	TMJA (véh/j)	H/L	TMJA x H/L (véh/j)
187	AVENUE PIERRE MENDES-FRANCE_AVRILLE_2	32	2,9	554	24	108	14000	0,49	6807
192	RUE VICTOR HUGO_LES PONTS-DE-CE_1	31	2,9	550	24	105	13000	0,63	8167
193	RUE VICTOR HUGO_LES PONTS-DE-CE_2	31	2,8	546	24	103	13000	0,53	6944
191	RUE DE GENERAL DE GAULLE_LES PONTS-DE-CE	29	2,6	529	23	93	13000	0,39	5092
196	RUE JEAN JAURES_TRELAZE_2	27	2,1	494	22	73	10000	0,32	3212
188	RUE VICTOR HUGO_MONTREUIL-JUIGNE	27	2,4	518	23	87	13000	0,31	4002
194	RUE JEAN JAURES_TRELAZE_1	26	1,9	482	21	67	8000	0,32	2536
190	RUE NATIONALE_PELLOUAILLES	26	2,0	487	21	70	7000	0,46	3238
197	RUE JEAN JAURES_TRELAZE_3	26	2,0	488	21	70	10000	0,27	2712
198	RUE PASTEUR_TRELAZE	26	2,0	483	21	68	8000	0,33	2658
186	AVENUE PIERRE MENDES-FRANCE_AVRILLE_1	24	1,8	472	21	61	6000	0,36	2179
189	RUE D'ANGERS_CANTENAY-EPINARD	22	1,4	444	20	46	3000	0,46	1375
185	RUE DE L'EGLISE_ST LAMBERT	21	1,3	436	19	41	2000	0,51	1012
195	RUE WALDECK ROUSSEAU_LES PONTS-DE-CE	20	1,2	429	19	37	2000	0,29	577
	Moyenne des 14 tronçons hors Angers	26	2,1	494	22	73	8714	0,40	3608
	Moyenne des 198 tronçons	29	1,9	510	21	66	5818	0,66	3335

Tableau 8 : caractéristiques des 14 sections situées dans les communes périphériques (en moyenne annuelle)

Dans les communes localisées en périphérie de la ville d'Angers, les concentrations en benzène sont le plus souvent supérieures ou proches de l'objectif de qualité. En revanche, l'objectif de qualité pour le dioxyde d'azote est respecté. Les rues les plus polluées de ces communes périphériques sont l'avenue Pierre Mendès France à Avrillé, la rue Victor Hugo et la rue du Général de Gaulle aux Ponts-de-Cé. Le tableau 8 montre que la pollution moyenne dans ces 14 sections approche la pollution moyenne sur l'ensemble de la zone d'étude. Le trafic moyen plus élevé dans ces 14 tronçons est compensé par leur caractère canyon moins élevé.

comparaison avec la ville de Nantes

Une étude de cartographie de la qualité de l'air dans les principales rues du centre-ville de Nantes a été réalisée par Air Pays de la Loire pour l'année 2001 [7]. Les méthodologies de modélisation sur les deux agglomérations de Nantes et Angers étant proches (étude des rues « canyons » par le modèle OSPM), il apparaît intéressant de comparer les deux approches.

Les résultats de comparaison entre les deux villes sont regroupés dans le tableau 9 :

	Nombre de sections modélisées	Nombre de sections dépassant l'objectif de qualité pour le(s)			Caractéristiques moyennes des sections "canyons"		
		dioxyde d'azote	benzène	PM10	TMJA	H/L	
Angers	198	23	69	0	5818	0,66	
Nantes	111	66	110	0	13882	0,72	

Tableau 9 : comparaison entre les deux zones d'étude de Nantes et de l'agglomération angevine

Le nombre de sections modélisées dans l'agglomération angevine est près de 80 % supérieur à celui de la ville de Nantes. La raison est que dans la présente étude, l'identification des rues « canyons » a été étendue à l'ensemble de l'agglomération angevine alors que dans l'étude de Nantes, la zone d'étude était limitée au centre-ville.

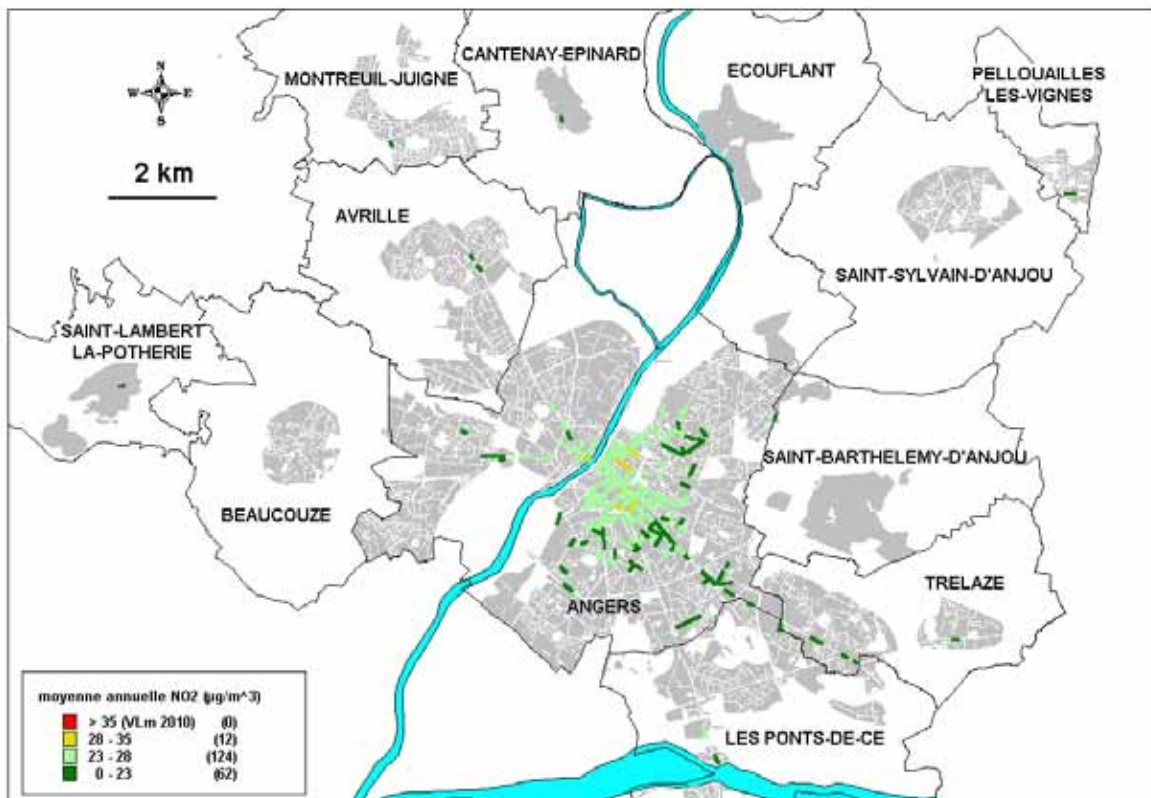
Le nombre de rues dépassant les objectifs de qualité pour le dioxyde d'azote et le benzène est sensiblement plus élevé à Nantes que dans l'agglomération angevine. Plusieurs raisons expliquent cette différence : 1- à Nantes, le trafic moyen sur les sections modélisées est en moyenne 2.4 fois plus élevé que dans les rues modélisées à Angers ; 2- la configuration des rues est légèrement plus étroite à Nantes en raison de la localisation de la zone d'étude, dans l'hyper-centre ; 3- l'année modélisée à Nantes est l'année 2001, pour laquelle le parc de véhicules est légèrement plus ancien que dans cette étude. En revanche, selon la modélisation, il n'y a ni à Nantes, ni à Angers de dépassement des objectifs de qualité pour les particules PM10.

qualité de l'air en 2015

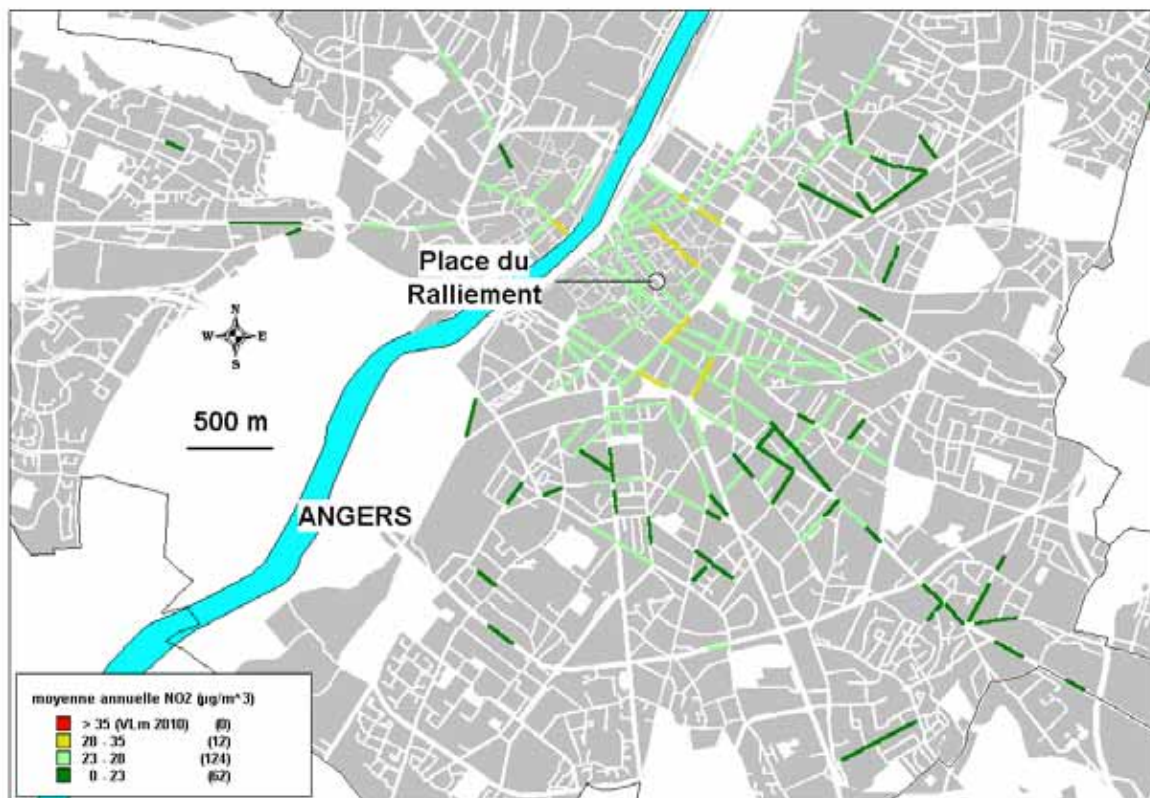
cartographies 2015 de la qualité de l'air (scénario « projet PDU »)

Les cartographies présentées ci-après représentent les moyennes annuelles en 2015 en prenant en compte les projets de voirie et de transports collectifs du PDU (scénario « projet PDU »). La pollution de fond en 2015 est basée sur une stabilisation des concentrations entre 2002 et 2015 (hypothèse « majorante »).

le dioxyde d'azote en 2015 (scénario « projet PDU »)

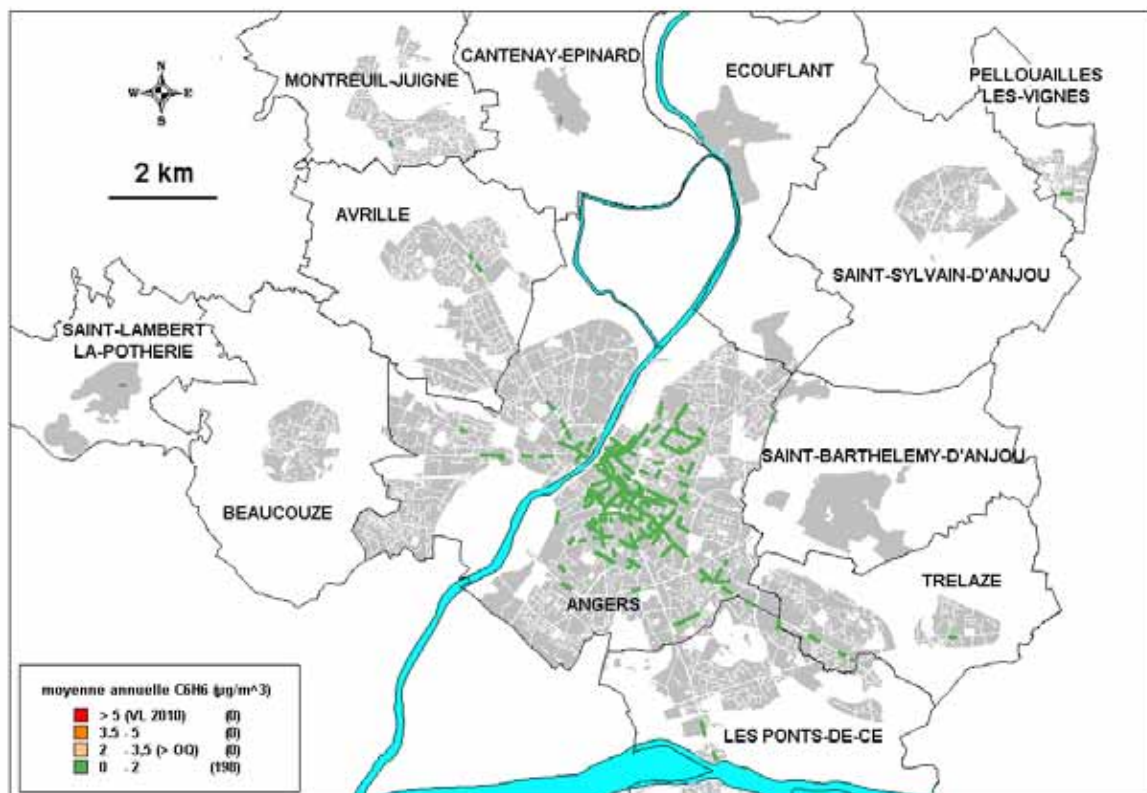


Carte 15 : moyenne annuelle 2015 (scénario « projet PDU ») en dioxyde d'azote dans les rues « canyons » de l'agglomération angevine

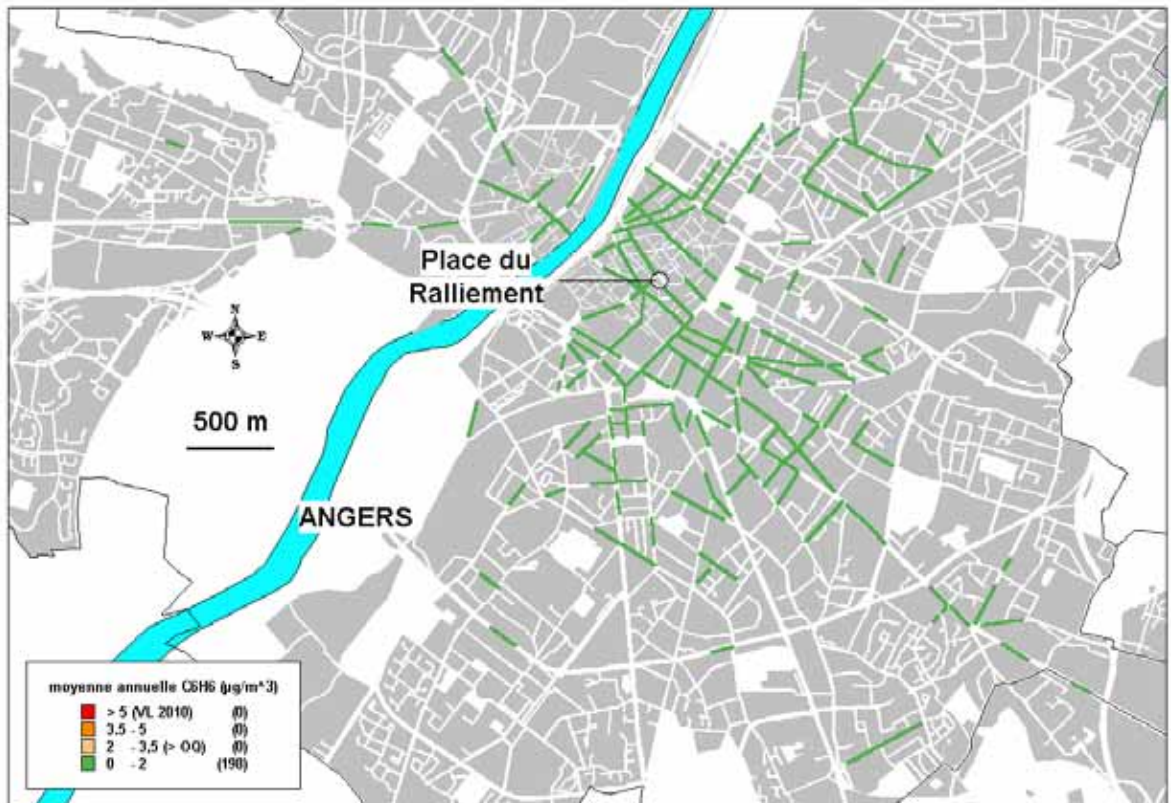


Carte 16 : moyenne annuelle 2015 (scénario « projet PDU) en dioxyde d'azote dans les rues « canyons » de la ville d'Angers

le benzène en 2015 (scénario « projet PDU »)

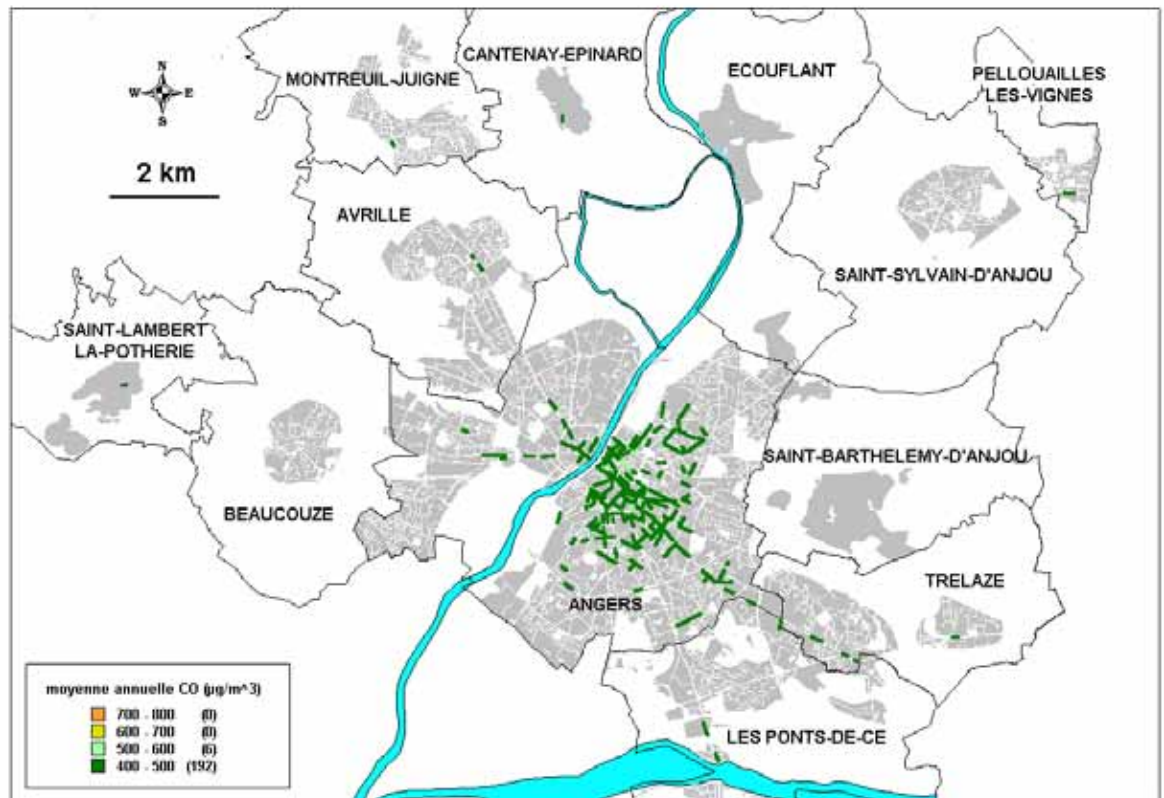


Carte 17 : moyenne annuelle 2015 (scénario « projet PDU) en benzène dans les rues « canyons » de l'agglomération angevine

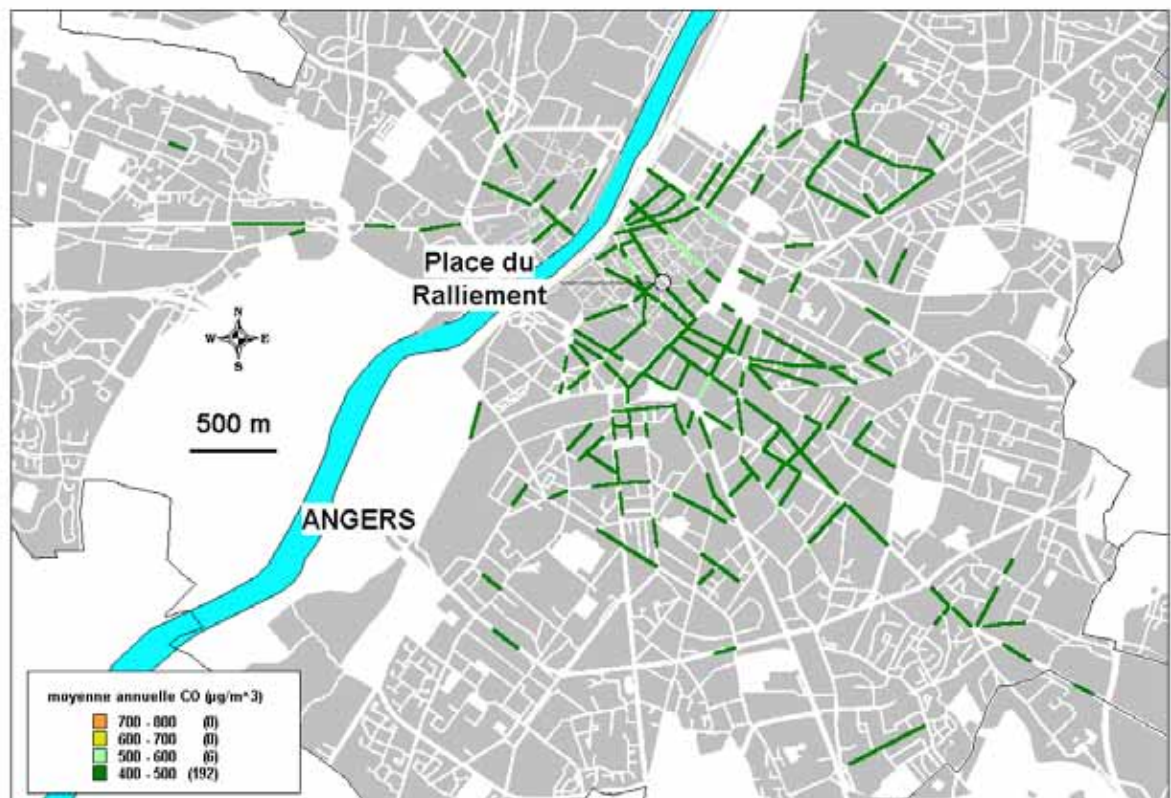


Carte 18 : moyenne annuelle 2015 (scénario « projet PDU ») en benzène dans les rues « canyons » de la ville d'Angers

le monoxyde de carbone en 2015 (scénario « projet PDU »)

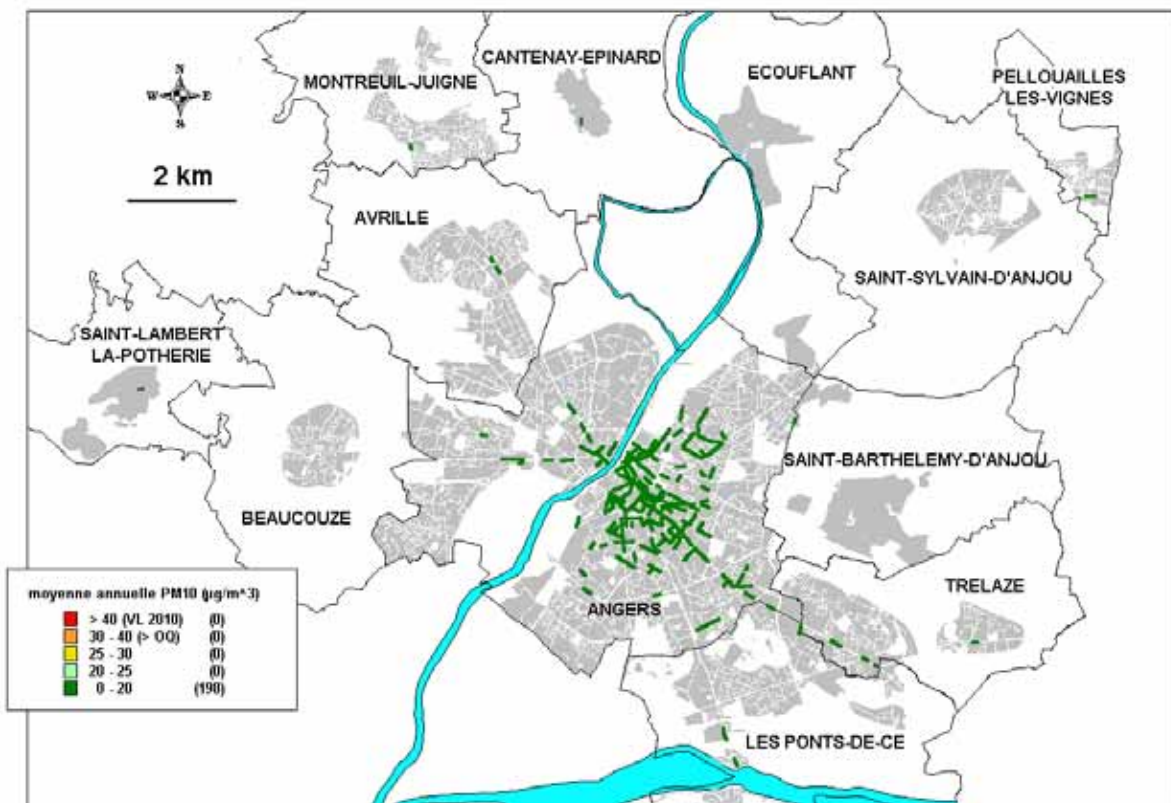


Carte 19 : moyenne annuelle 2015 (scénario « projet PDU ») en monoxyde de carbone dans les rues « canyons » de l'agglomération angevine

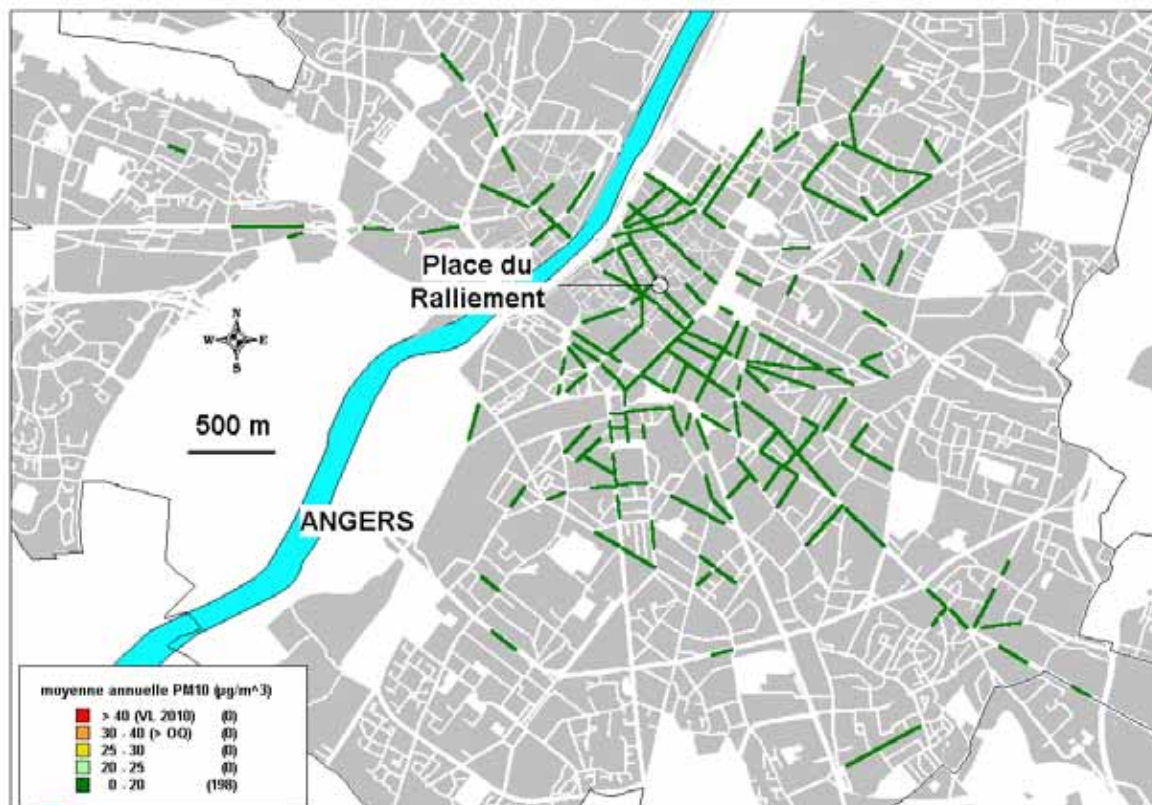


Carte 20 : moyenne annuelle 2015 (scénario « projet PDU ») en monoxyde de carbone dans les rues « canyons » de la ville d'Angers

les particules PM10 en 2015 (scénario « projet PDU »)



Carte 21 : moyenne annuelle 2015 (scénario « projet PDU ») en particules PM10 dans les rues « canyons » de l'agglomération angevine



Carte 22 : moyenne annuelle 2015 (scénario « projet PDU ») en particules PM10 dans les rues « canyons » de la ville d'Angers

situation par rapport aux seuils réglementaires 2010

Les seuils réglementaires 2010 sont applicables en 2015.

Selon la modélisation, les 198 sections canyons en 2015 devraient respecter l'ensemble des seuils réglementaires de l'année 2010, plus contraignants qu'en 2002. Cette situation est valable pour tous les scénarii 2015 (scénario « au fil de l'eau » ou « projet PDU ») ainsi que pour les deux hypothèses d'évolution de la pollution de fond (stabilisation ou diminution des concentrations entre 2002 et 2015).

Polluant	Type de Seuil	Valeurs	Dépassement probable en nombre de tronçons
NO ₂	Valeur limite	Moyenne sur l'année civile : 40 µg/m ³ (modifié à 35 µg/m ³) Moyenne horaire : - 200 µg/m ³ à ne pas dépasser plus de 18 h par année civile	0 donnée de sortie non disponible
C ₆ H ₆	Objectif de qualité	Moyenne sur l'année civile : 2 µg/m ³	0
	Valeur limite	Moyenne sur l'année civile : 5 µg/m ³	0
CO	Valeur limite	Moyenne 8-horaire maximale du jour : 10 000 µg/m ³	Par analogie avec les résultats 2002, ce risque est nul sur l'ensemble des rues modélisées.
PM ₁₀	Objectif de qualité	Moyenne sur l'année civile : 30 µg/m ³	0
	Valeur limite	Moyenne sur l'année civile : 40 µg/m ³ Moyenne journalière : 50 µg/m ³ à ne pas dépasser plus de 35 j. par année civile	0 0

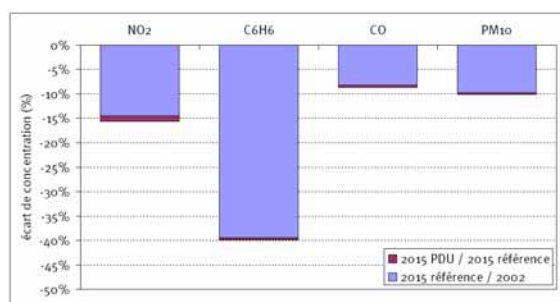
Tableau 10 : situation en 2015 par rapport aux seuils réglementaires (tous scénarii 2015)

Malgré l'accroissement du trafic entre 2002 et 2015 (+ 21 % en moyenne sur les 198 sections selon le scénario « au fil de l'eau », + 3 % selon le scénario « projet PDU »), la mesure d'introduction de véhicules moins polluants entre ces deux échéances devrait permettre le respect des seuils réglementaires, même sans mise en œuvre du Plan de Déplacements Urbains. En effet, la proportion de véhicules non catalysés devrait selon l'INRETS [11] évoluer de 19 % en 2002 à 0 % en 2015.

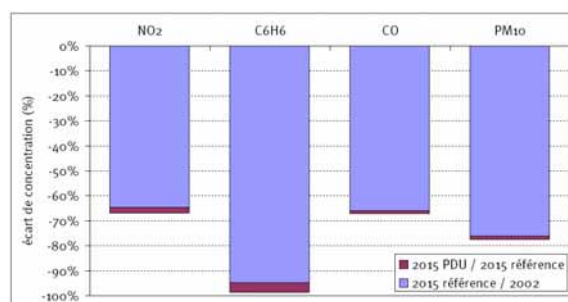
impact des différents scénarii 2015 : référence et projet PDU

évolution moyenne de la pollution

Les graphiques 13 et 14 représentent la diminution de la pollution moyenne annuelle entre le scénario de référence 2015 et l'année 2002 (en bleu), à laquelle s'ajoute l'évolution supplémentaire liée au projet de PDU (écart entre le scénario « projet PDU » et le scénario « au fil de l'eau » - en rouge). Il s'agit d'un écart moyen sur les 198 sections pondéré par leur kilométrage. Deux hypothèses d'évolution de la pollution de fond sont prises en compte : une stabilisation (graphique 13) et une diminution (graphique 14) de cette pollution entre 2002 et 2015 (cf. chapitre sur la zone d'étude et les données de modélisation).



Graphique 13 : écart de la pollution moyenne annuelle sur 198 sections entre les différents scénarii selon l'hypothèse majorante d'évolution de la pollution de fond



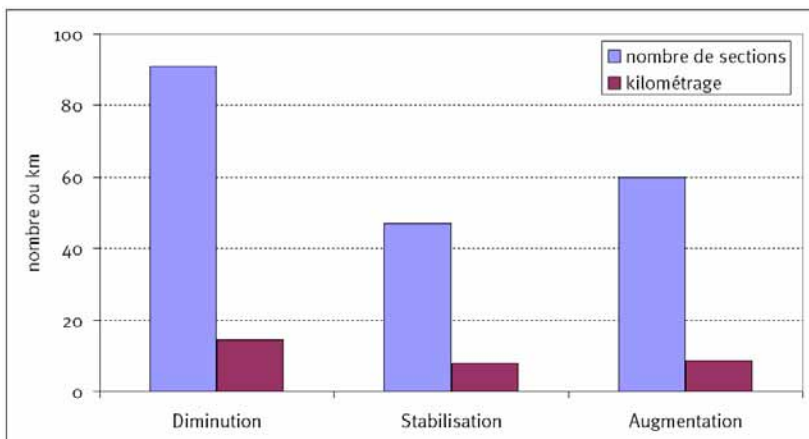
Graphique 14 : écart de la pollution moyenne annuelle sur 198 sections entre les différents scénarii selon l'hypothèse minorante d'évolution de la pollution de fond

Selon la modélisation, le seul remplacement progressif entre 2002 et 2015 des véhicules anciens par des automobiles moins polluantes devrait permettre de diminuer très significativement la pollution dans les rues de l'agglomération angevine. Ainsi, il est prévu une diminution des concentrations totales dans la rue entre 2002 et l'année 2015 « au fil de l'eau », de - 8 % à - 39 % selon le polluant, en prenant en compte l'hypothèse de stabilisation de la pollution de fond entre ces deux années. Selon l'hypothèse qui affecte une diminution de la pollution de fond, cet écart passe de - 65 % à - 95 % selon le polluant.

La réduction supplémentaire de la pollution liée à la mise en œuvre du projet de PDU est faible par rapport à ces écarts mais démontre un impact positif de ce projet. Elle est comprise entre -0.5 % et - 1.2 % avec l'hypothèse de stabilisation de la pollution de fond entre 2002 et 2015 et entre - 1.4 % et - 4 % avec l'autre hypothèse. Cet écart est une valeur moyenne calculée à partir des 198 sections « canyons » et peut être considéré comme étant représentatif de la situation à l'échelle de l'agglomération.

Impact du PDU selon trois classes d'évolution de la pollution

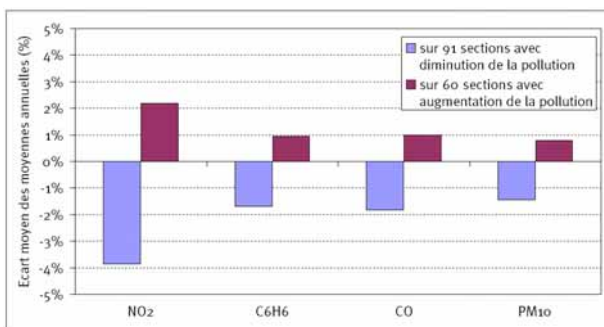
Le graphique 15 représente le nombre de sections « canyons » et leur kilométrage correspondant affectés soit par une augmentation de la pollution (report de la circulation), soit par une stabilisation, soit par une diminution de la pollution entre le scénario « projet PDU » et le scénario « référence » ou « au fil de l'eau ». Le résultat est indépendant de l'hypothèse d'évolution de la pollution de fond entre 2002 et 2015.



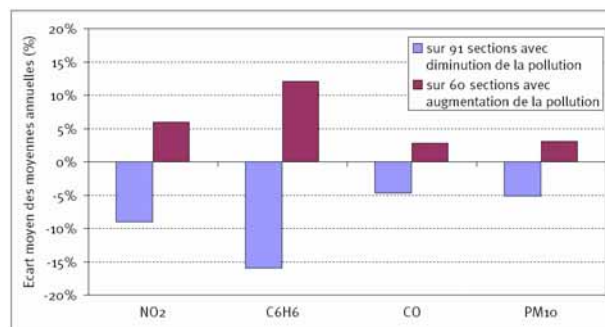
Graphique 15 : nombre de sections et kilométrage affectés par une diminution, une stabilisation ou une augmentation de la pollution liée au projet PDU

Par rapport au scénario de référence, la mise en œuvre du projet de PDU aurait pour impact une diminution de la pollution dans 91 sections « canyons », une stabilisation de cette pollution dans 47 tronçons et une augmentation dans 60 sections, représentant respectivement 14.4, 7.9 et 8.6 kilomètres. 46 % des rues « canyons » modélisées sont donc impactées de façon positive par le projet d'agglomération.

Les graphiques 16 et 17 permettent de quantifier le pourcentage moyen de diminution ou d'augmentation, respectivement sur les 91 et 60 sections concernées, selon les deux hypothèses (l'une majorante, l'autre minorante) de variation de la pollution de fond entre 2002 et 2015.



Graphique 16 : diminution et augmentation moyennes de la pollution annuelle entre les deux scénarii 2015– hypothèse majorante d'évolution de la pollution de fond



Graphique 17 : diminution et augmentation moyennes de la pollution annuelle entre les deux scénarii 2015– hypothèse minorante d'évolution de la pollution de fond

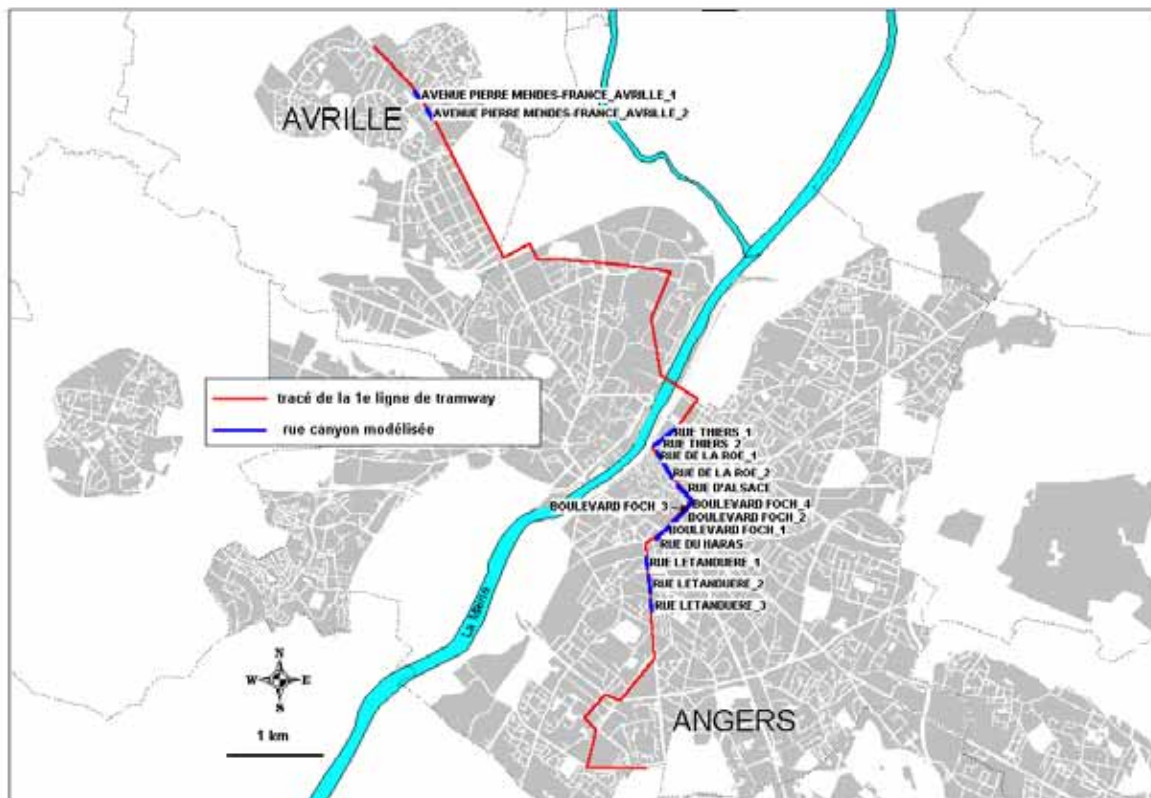
La diminution moyenne sur les 91 sections varie entre -1 % et - 4 % ou entre - 5 % et - 16 % respectivement pour l'hypothèse majorante et minorante choisie pour l'évolution de la pollution de fond. A contrario, l'augmentation sur les 60 tronçons est limitée entre 1 % et 2 % ou entre 3 % et 12 % respectivement selon les mêmes hypothèses. Ceci montre que la diminution moyenne de la pollution sur les 91 sections est plus importante que l'augmentation moyenne des concentrations sur les 60 tronçons concernés.

Les rues affectées par les diminutions les plus importantes de la pollution sont des rues du centre-ville d'Angers où le trafic automobile est réduit de façon sensible, en lien avec la mise en service du tramway (rue de la Roë, rue d'Alsace ou rue du Haras), de façon plus globale avec le projet de plan de circulation (rue Saint Julien), voire parce que la rue devient piétonne (rue Chaussée Saint Pierre). Ces rues possèdent un caractère « canyon » prononcé et sont parmi les plus polluées en 2002 ou selon le scénario de référence 2015. Avec le projet de PDU, la pollution en dioxyde d'azote diminue de façon sensible dans ces rues d'environ 10 à 20 % selon l'hypothèse majorante d'évolution de la pollution de fond entre 2002 et 2015.

Les rues concernées par les augmentations les plus importantes de la pollution atmosphérique sont des axes du centre-ville d'Angers ou situés en proximité : avenue de Contades, rue de Belgique, rue du Mail, rue Chaperonnières. Dans ces rues, le trafic automobile augmente en lien avec des reports de trafic liés au plan de circulation. Toutefois, dans ces voies de circulation, au caractère « canyon » moins prononcé que les rues dont le trafic diminue, la pollution au dioxyde d'azote n'augmente que de 4 à 7 % selon l'hypothèse majorante d'évolution de la pollution de fond entre 2002 et 2015.

impact du PDU sur le tracé de la première ligne de tramway

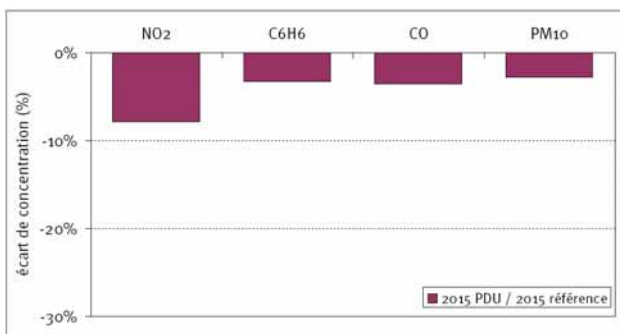
15 sections « canyons » modélisées sont parcourues la première ligne de tramway entre Avrillé et le sud d'Angers. Elles sont décrites dans la carte suivante :



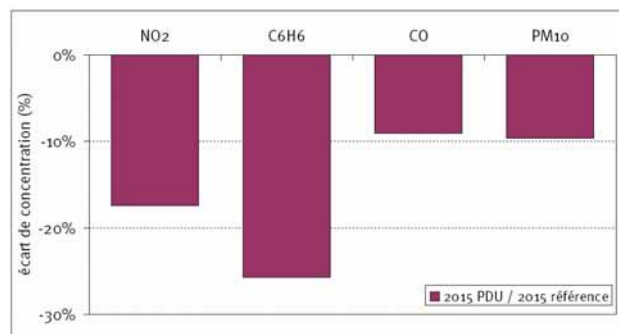
Carte 23 : localisation des 15 sections « canyons » modélisées sur la première ligne de tramway Avrillé – Angers-sud

Sur ces 15 sections canyons, 13 sont concernées par une diminution de la pollution entre le scénario de projet PDU et le scénario de référence. Seules les 2 sections de la rue Thiers sont concernées par une légère augmentation du trafic et donc de la pollution. Le trafic 2002 ou 2015 dans cette rue est faible (inférieur à 5000 véhicules/jour) et la rue Thiers ne fait pas partie des rues les plus exposées à la pollution en 2002 ou 2015.

Les graphiques 18 et 19 représentent la diminution de la pollution moyenne annuelle entre le scénario de projet de PDU 2015 et le scénario de référence 2015. Il s'agit d'un écart moyen sur les 15 sections pondéré par leur kilométrage. Deux hypothèses d'évolution de la pollution de fond sont prises en compte : une stabilisation (graphique 18) et une diminution (graphique 19) de cette pollution entre 2002 et 2015 (cf. chapitre sur la zone d'étude et les données de modélisation).



Graphique 18 : écart de la pollution moyenne annuelle sur 15 sections « tramway » entre les scénarii « projet PDU » et « référence » selon l'hypothèse majorante d'évolution de la pollution de fond



Graphique 19 : écart de la pollution moyenne annuelle sur 15 sections « tramway » entre les scénarii « projet PDU » et « référence » selon l'hypothèse minorante d'évolution de la pollution de fond

Selon la modélisation, la pollution moyenne dans les 15 sections « canyons » parcourues par la ligne de tramway devrait diminuer en moyenne, par rapport au scénario de référence, de - 3 % à - 8 % selon l'hypothèse majorante d'évolution de la pollution de fond et de - 9 % à - 26 % selon l'autre hypothèse. Cette diminution est beaucoup plus importante que celle modélisée en moyenne sur l'ensemble de la zone d'étude (198 sections « canyons »).

Les rues les plus sensibles en terme de diminution de la pollution en lien avec la mise en service de la première ligne de tramway sont la rue de la Roë, la rue d'Alsace et la rue du Haras. Ces rues font partie des rues les plus exposées à la pollution en 2002 et selon le scénario de référence 2015 mais sont caractérisées par une pollution dans la moyenne des 198 sections en lien avec le projet de tramway.

description des rues les plus exposées à la pollution en 2015

Les deux tableaux suivants présentent les caractéristiques des 10 sections « canyons » les plus exposées à la pollution en 2015 selon les scénarii « au fil de l'eau » et « projet PDU ». Ces scénarii sont basés sur une stabilisation des concentrations de fond entre 2002 et 2015.

No	Nom du tronçon	NO2 (µg/m³)	C6H6 (µg/m³)	CO (µg/m³)	PM10 (µg/m³)	NOX (µg/m³)	TMJA (véh/j)	H/L	TMJA x H/L (véh/j)
65	BOULEVARD FOCH_3	33	1,2	516	20	62	25000	0,61	15129
66	BOULEVARD FOCH_4	32	1,2	513	20	60	26000	0,50	13032
8	BOULEVARD AYRAULT_3	31	1,2	522	20	66	36000	0,38	13635
64	BOULEVARD FOCH_2	30	1,2	509	19	58	25000	0,39	9648
42	RUE PAUL BERT	30	1,2	508	19	58	19000	0,77	14629
9	BOULEVARD CARNOT	30	1,2	515	20	62	32000	0,31	9797
28	RUE CHAUSSEE SAINT PIERRE	30	1,1	499	19	53	11000	1,24	13684
30	RUE SAINT JULIEN	30	1,1	527	20	55	5000	1,14	5702
55	RUE DU HARAS	30	1,1	497	19	52	12000	1,18	14206
22	RUE DE LA ROE_2	29	1,1	516	19	54	7000	1,31	9146
	Moyenne des 10 tronçons les plus pollués en NO2	31	1,2	512	20	58	19800	0,78	11861
	Moyenne des 198 tronçons	25	1,1	464	19	41	7061	0,66	4004

Tableau 11 : caractéristiques des 10 sections les plus exposées à la pollution (en moyenne annuelle) en 2015 – scénario « au fil de l'eau »

No	Nom du tronçon	NO2 (µg/m³)	C6H6 (µg/m³)	CO (µg/m³)	PM10 (µg/m³)	NOX (µg/m³)	TMJA (véh/j)	H/L	TMJA x H/L (véh/j)
8	BOULEVARD AYRAULT_3	30	1,2	511	20	59	28000	0,38	10605
65	BOULEVARD FOCH_3	30	1,1	494	19	50	13000	0,61	7867
66	BOULEVARD FOCH_4	30	1,1	496	19	51	16000	0,50	8020
9	BOULEVARD CARNOT	29	1,2	506	19	56	25000	0,31	7654
42	RUE PAUL BERT	29	1,1	498	19	52	14000	0,77	10779
64	BOULEVARD FOCH_2	29	1,1	498	19	52	18000	0,39	6946
44	RUE DESJARDINS_1	29	1,1	502	19	55	11000	1,02	11249
20	RUE DU MAIL_4	29	1,1	497	19	52	7000	1,53	10718
73	RUE DESJARDINS_4	29	1,1	499	19	53	10000	1,16	11634
33	RUE DU MAIL_6	28	1,1	508	19	51	5000	1,24	6199
	Moyenne des 10 tronçons les plus pollués	29	1,1	501	19	53	14700	0,79	9167
	Moyenne des 198 tronçons	24	1,1	462	19	39	6010	0,66	3425

Tableau 12 : caractéristiques des 10 sections les plus exposées à la pollution (en moyenne annuelle) en 2015 – scénario « projet PDU »

En 2015, les rues canyons les plus exposées à la pollution sont localisées comme en 2002 dans le centre-ville d'Angers. Dans les deux scénarii, on retrouve le boulevard Foch, le boulevard Ayrault, le boulevard Carnot et la rue Paul Bert parmi les 6 rues les plus polluées. Pour d'autres axes, la modélisation prévoit des différences entre les deux scénarii. Ainsi, la rue du Haras (rive droite de la Maine), la rue de la Roë, la rue Saint Julien et la rue Chaussée Saint Pierre (rive gauche) sont affectés par une réduction significative du trafic et donc de la pollution selon le scénario « projet PDU », les deux premiers axes étant situés le long de la ligne 1 du tramway. Ces rues disparaissent donc du classement des 10 rues les plus exposées selon ce dernier scénario.

description de la situation 2015 dans les communes périphériques à Angers

Les deux tableaux suivants présentent les caractéristiques des 14 sections « canyons » hors Angers en 2015 selon les scénarii « au fil de l'eau » et « projet PDU ». Ces scénarii sont basés sur une stabilisation des concentrations de fond entre 2002 et 2015.

No	Nom du tronçon	NO2 (µg/m3)	C6H6 (µg/m3)	CO (µg/m3)	PM10 (µg/m3)	NOX (µg/m3)	TMJA (véh/j)	H/L	TMJA x H/L (véh/j)
192	RUE VICTOR HUGO_ LES PONTS-DE-CE_1	24	1,1	464	20	56	21000	0,63	13193
193	RUE VICTOR HUGO_ LES PONTS-DE-CE_2	23	1,1	462	20	55	21000	0,53	11217
191	RUE DE GENERAL DE GAULLE_ LES PONTS-DE-CE	23	1,0	456	19	51	21000	0,39	8226
187	AVENUE PIERRE MENDES-FRANCE_AVRILLE_2	22	1,0	447	19	46	14000	0,49	6807
190	RUE NATIONALE_PELLOUAILLES	22	1,0	441	19	43	12000	0,46	5550
188	RUE VICTOR HUGO_MONTREUIL-JUIGNE	21	1,0	445	19	45	17000	0,31	5234
196	RUE JEAN JAURES_TRELAZE_2	21	1,0	435	19	39	12000	0,32	3855
197	RUE JEAN JAURES_TRELAZE_3	21	1,0	433	19	38	12000	0,27	3254
194	RUE JEAN JAURES_TRELAZE_1	21	1,0	428	19	36	8000	0,32	2536
198	RUE PASTEUR_TRELAZE	21	1,0	430	19	37	9000	0,33	2990
186	AVENUE PIERRE MENDES-FRANCE_AVRILLE_1	20	1,0	425	18	34	6000	0,36	2179
185	RUE DE L'EGLISE_ST LAMBERT	20	1,0	422	18	32	4000	0,51	2025
189	RUE D'ANGERS_CANTENAY-EPINARD	19	1,0	418	18	30	3000	0,46	1375
195	RUE WALDECK ROUSSEAU_ LES PONTS-DE-CE	19	0,9	416	18	29	3000	0,29	866
	Moyenne des 14 tronçons hors Angers	21	1,0	437	19	41	11643	0,40	4950
	Moyenne des 198 tronçons	25	1,1	464	19	41	7061	0,66	4004

Tableau 13 : caractéristiques des 14 sections situées dans les communes périphériques selon le scénario « au fil de l'eau » (en moyenne annuelle)

No	Nom du tronçon	NO2 (µg/m3)	C6H6 (µg/m3)	CO (µg/m3)	PM10 (µg/m3)	NOX (µg/m3)	TMJA (véh/j)	H/L	TMJA x H/L (véh/j)
192	RUE VICTOR HUGO_ LES PONTS-DE-CE_1	24	1,0	462	20	54	20000	0,63	12565
193	RUE VICTOR HUGO_ LES PONTS-DE-CE_2	23	1,0	460	20	54	20000	0,53	10682
191	RUE DE GENERAL DE GAULLE_ LES PONTS-DE-CE	23	1,0	454	19	50	20000	0,39	7834
190	RUE NATIONALE_PELLOUAILLES	21	1,0	439	19	42	11000	0,46	5088
196	RUE JEAN JAURES_TRELAZE_2	21	1,0	433	19	38	11000	0,32	3534
188	RUE VICTOR HUGO_MONTREUIL-JUIGNE	21	1,0	441	19	43	15000	0,31	4618
187	AVENUE PIERRE MENDES-FRANCE_AVRILLE_2	21	1,0	430	19	37	7000	0,49	3404
198	RUE PASTEUR_TRELAZE	21	1,0	430	19	37	9000	0,33	2990
197	RUE JEAN JAURES_TRELAZE_3	21	1,0	431	19	38	11000	0,27	2983
194	RUE JEAN JAURES_TRELAZE_1	20	1,0	426	19	34	7000	0,32	2219
185	RUE DE L'EGLISE_ST LAMBERT	20	1,0	424	18	34	5000	0,51	2531
189	RUE D'ANGERS_CANTENAY-EPINARD	19	1,0	418	18	30	3000	0,46	1375
186	AVENUE PIERRE MENDES-FRANCE_AVRILLE_1	19	0,9	415	18	28	2000	0,36	726
195	RUE WALDECK ROUSSEAU_ LES PONTS-DE-CE	19	0,9	416	18	29	3000	0,29	866
	Moyenne des 14 tronçons hors Angers	21	1,0	434	19	39	10286	0,40	4387
	Moyenne des 198 tronçons	24	1,1	462	19	39	6010	0,66	3425

Tableau 14 : caractéristiques des 14 sections situées dans les communes périphériques selon le scénario « projet PDU » (en moyenne annuelle)

En terme de classement des rues les plus exposées à la pollution dans les 14 sections hors Angers, il n'y a pas de modification importante entre 2002 et 2015. Les axes de circulation des Ponts-de-Cé (rue Victor Hugo et rue du Général de Gaulle) sont les axes les plus exposés en raison d'une augmentation du trafic entre les deux horizons d'environ 50 à 60 % et ceci quelque soit le scénario 2015 envisagé. En revanche, l'avenue Pierre Mendès France à Avrillé qui supportera la ligne 1 du tramway est affectée par une réduction importante de 50 à 70 % du trafic entre le scénario « projet PDU » et le scénario « au fil de l'eau » ou l'année 2002. L'influence de cette réduction de trafic sur la pollution n'est pas aussi importante : une diminution de -2 % à -7 % des concentrations moyennes annuelles selon le polluant est modélisé entre le scénario avec projet de PDU et le scénario de référence.

conclusions et perspectives

La qualité de l'air de 198 sections « canyons » de l'agglomération angevine a été modélisée pour l'année 2002 et à l'horizon 2015. L'intérêt pour le projet a engendré une collaboration active des acteurs locaux parmi lesquels Angers Loire Métropole et la ville d'Angers.

En 2002, des dépassements de l'objectif de qualité du dioxyde d'azote et du benzène sont modélisés pour respectivement 12 % et 35 % des sections étudiées. La valeur limite pour le dioxyde d'azote est approchée pour deux axes : le boulevard Foch et le boulevard Ayrault. Pour le monoxyde de carbone et les particules PM₁₀, les seuils réglementaires sont respectés.

En 2015, en raison de l'introduction progressive de véhicules moins polluants, l'ensemble des seuils réglementaires devrait être respecté avec ou sans mise en œuvre des projets de voirie et de transports collectifs du Plan de Déplacements Urbains.

En moyenne sur les 198 sections, l'amélioration supplémentaire de la qualité de l'air liée au projet de PDU est modeste mais positive. Toutefois, dans certaines rues les plus impactées par la diminution du trafic liée au projet de PDU (axes empruntés par le tramway, par exemple), cette amélioration est sensible et peut atteindre environ 20 % par rapport à la situation sans projet.

En conclusion, les résultats montrent que la réduction de la pollution sur la période 2002 - 2015 proviendra pour une large part du renouvellement du parc de véhicules mais la mise en œuvre du projet de PDU devrait permettre d'anticiper le retour à une qualité de l'air favorable dans les rues de l'agglomération angevine.

Les informations issues de cette étude permettront à Angers Loire Métropole et à la ville d'Angers de disposer d'informations objectives sur l'impact du Plan de Déplacements Urbains. Elles permettront également à Air Pays de la Loire d'identifier la localisation d'une station permanente de mesure de la pollution dans une section « canyon » de l'agglomération sur la période 2007 – 2015. La rue de la Roë, rue « canyon » surveillée jusque début 2006, devrait également faire l'objet de mesures de la qualité de l'air avant et après la mise en service de la première ligne de tramway. Ces mesures permettront de suivre en temps réel l'impact du PDU.

Enfin, comme le prévoit le Programme de Surveillance de la Qualité de l'Air dans les Pays de la Loire, la réalisation de cartographies de la pollution atmosphérique dans les rues des principales agglomérations des Pays de la Loire est prévue dans les années à venir.

annexes

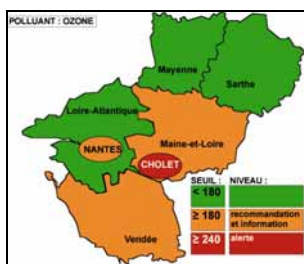
- annexe 1 : Air Pays de la Loire
- annexe 2 : techniques d'évaluation
- annexe 3 : types des sites de mesure
- annexe 4 : polluants
- annexe 5 : seuils de qualité de l'air 2002 et 2010
- annexe 6 : la modélisation des rues « canyons – description technique
- annexe 7 : la procédure de calcul des paramètres des rues
- annexe 8 : les paramètres des rues canyons
- annexe 9 : sensibilité du modèle à l'hétérogénéité du bâti
- annexe 10 : projets de transports et de voirie à l'horizon 2015 dans l'agglomération angevine
- annexe 11 : concentrations moyennes annuelles en 2002 et en 2015 dans chacune des 198 sections

annexe 1 : Air Pays de la Loire

Dotée d'une solide expertise riche de vingt-cinq ans d'expérience, Air Pays de la Loire est agréée par le ministère de l'Écologie et du développement durable pour surveiller la qualité de l'air de la région des Pays de la Loire. Air Pays de la Loire regroupe de manière équilibrée l'ensemble des acteurs de la qualité de l'air : services de l'État et établissements publics, collectivités territoriales, industriels et associations et personnalités qualifiées.

Air Pays de la Loire mène deux missions d'intérêt général : surveiller et informer.

surveiller pour savoir et comprendre



l'air de la région sous haute surveillance

Fonctionnant 24 heures sur 24, le dispositif permanent de surveillance est constitué d'une cinquantaine de sites de mesure, déployés sur l'ensemble de la région : principales agglomérations, zones industrielles et zones rurales.

mesurer où et quand c'est nécessaire

Air Pays de la Loire s'est doté de systèmes mobiles de mesure (laboratoires mobiles, préleveurs...). Ces appareils permettent d'établir un diagnostic complet de la qualité de l'air dans des secteurs non couverts par le réseau permanent. Des campagnes de mesure temporaires et ciblées sont ainsi menées régulièrement sur l'ensemble de la région.

la fiabilité des mesures garantie

Les mesures de qualité de l'air consistent le plus souvent à détecter de très faibles traces de polluants. Elles nécessitent donc le respect de protocoles très précis. Pour assurer la qualité de ces mesures, Air Pays de la Loire dispose d'un laboratoire d'étalonnage, airpl.lab accrédité par le Cofrac et raccordé au Laboratoire National d'Essais.

simuler et cartographier la pollution

Pour évaluer la pollution dans les secteurs non mesurés, Air Pays de la Loire utilise des logiciels de modélisation. Ces logiciels simulent la répartition de la pollution dans le temps et l'espace et permettent d'obtenir une cartographie de la qualité de l'air. La modélisation permet par ailleurs d'estimer l'impact de la réduction, permanente ou ponctuelle, des rejets polluants. Elle constitue un outil d'aide à la décision pour les autorités publiques compétentes et les acteurs privés.

prévoir la qualité de l'air

Si le public souhaite connaître la pollution prévue pour le lendemain afin de pouvoir adapter ses activités, les autorités ont, elles, besoin d'anticiper les pics de pollution pour pouvoir prendre les mesures adaptées. En réponse à cette attente, Air Pays de la Loire réalise des prévisions de la pollution atmosphérique grâce à ses logiciels Sib'Air.

informer pour prévenir



pics de pollution : une vigilance permanente

En cas d'épisodes de pollution, une information spécifique est adressée aux autorités et aux médias. Suivant les concentrations de pollution atteintes, le préfet de département prend, si nécessaire, des mesures visant à réduire les émissions de polluants (limitations de vitesse, diminution d'activités industrielles...)

sur Internet : tous les résultats, tous les dossiers

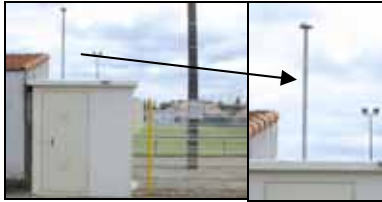
Le site Internet www.airpl.org donne accès à de très nombreuses informations sur la qualité de l'air des Pays de la Loire. Elles sont actualisées plusieurs fois par jour. On y trouve les cartes de pollution et de vigilance, les communiqués d'alerte, les indices Atmo, les mesures de pollution heure par heure, les actualités, toutes les publications d'Air Pays de la Loire...

des publications largement diffusées

Chaque mois, Air Pays de la Loire publie des informations sur la qualité de l'air de la région, grâce à son bulletin *Au fil de l'air*. Un rapport annuel dresse par ailleurs un état très complet de la qualité de l'air.

annexe 2 : techniques d'évaluation

mesures



les sites fixes permanents

C'est le principal moyen de surveillance : il existe une cinquantaine de sites fixes dans les Pays de la Loire. Ils surveillent en continu la qualité de l'air des principales agglomérations de la région, des zones industrielles de Basse-Loire, et également dans un secteur rural dans l'est de la Vendée. Fonctionnant 24 heures sur 24, ils sont équipés d'analyseurs spécifiques des principaux indicateurs de pollution atmosphérique : dioxyde de soufre, oxydes d'azote, ozone, particules PM₁₀ ou PM_{2,5}, monoxyde de carbone, BTX. Ces stations sont reliées au poste central d'Air Pays de la Loire où les données sont traitées et servent le cas échéant à activer les procédures d'information et d'alerte.



les tubes à diffusion passive

Ces systèmes de dimension réduite permettent à moindre coût de mesurer sur des périodes de 15 jours en général, et après analyse en laboratoire, des polluants tels que le dioxyde d'azote, l'ozone, benzène et les composés organiques volatils, de façon générale. Ils sont également utilisés pour mailler un territoire et obtenir ainsi la répartition géographique de la pollution.

modélisation



modélisation à l'échelle de la rue : OSPM

OSPM est un modèle destiné à la modélisation des rues "canyons", c'est-à-dire des voies bordées de bâtiments. Il prend en compte la pollution ambiante de l'agglomération, la météorologie, la configuration de la rue et le trafic automobile pour calculer les concentrations de quatre polluants : dioxyde d'azote, benzène, monoxyde de carbone et particules PM₁₀. OSPM est utile pour évaluer, plus rapidement qu'avec des outils de mesure, les risques de dépassement des seuils réglementaires à proximité des voies de circulation.

annexe 3 : types des sites de mesure

Les sites de mesure sont localisés selon des objectifs précis de surveillance de la qualité de l'air, définis au plan national.



sites urbains

Les sites urbains sont localisés dans une zone densément peuplée en milieu urbain, de façon à ne pas être soumis à une source déterminée de pollution et à caractériser la pollution moyenne de cette zone.



sites périurbains

Les sites périurbains sont localisés dans une zone peuplée en milieu périurbain, de façon à ne pas être soumis à une source déterminée de pollution et à caractériser la pollution moyenne de cette zone.



sites de trafic

Les sites de trafic sont localisés près d'axes de circulation importants, souvent fréquentés par les piétons ; ils caractérisent la pollution maximale liée au trafic automobile.

annexe 4 : polluants

l'ozone (O₃)

C'est le polluant secondaire majeur qui se forme par l'action des ultraviolets du soleil sur les polluants primaires, directement émis par les sources, que sont les oxydes d'azote, les composés organiques volatils et le monoxyde de carbone. C'est un polluant chimique présent au niveau du sol : on parle d'ozone troposphérique que l'on distingue de l'ozone stratosphérique, observé à une vingtaine de kilomètres d'altitude et qui forme la couche d'ozone.

les oxydes d'azote (NOx)

Les NOx comprennent essentiellement le monoxyde d'azote (NO) et le dioxyde d'azote (NO₂). Ils résultent de la combinaison de l'azote et de l'oxygène de l'air à haute température. Environ 95 % de ces oxydes sont la conséquence de l'utilisation des combustibles fossiles (pétrole, charbon et gaz naturel). Le trafic routier (59 %) en est la source principale. Ils participent à la formation des retombées acides. Sous l'action de la lumière, ils contribuent à la formation d'ozone au niveau du sol (ozone troposphérique).

les particules (ou poussières)

Les particules ou poussières constituent en partie la fraction la plus visible de la pollution atmosphérique (fumées). Elles ont pour origine les différentes combustions, le trafic routier et les industries. Elles sont de nature très diverses et peuvent véhiculer d'autres polluants comme des métaux lourds ou des hydrocarbures. De diamètre inférieur à 10 µm (PM₁₀), elles restent plutôt en suspension dans l'air. Supérieures à 10 µm, elles se déposent, plus ou moins vite, au voisinage de leurs sources d'émission. On peut citer également les poussières issues des carrières et des cimenteries ainsi que les poussières issues de l'usure des revêtements des routes et des pneus, et, enfin, de l'érosion.

les composés organiques volatils (COV)

Ils englobent des composés organiques gazeux que l'on rencontre dans l'atmosphère, dont les principaux sont des hydrocarbures.

Les trois sources principales sont le trafic routier (39 %), l'utilisation industrielle ou domestique de peinture, vernis, colle, etc, dont les solvants s'évaporent au cours du séchage, et l'évaporation à partir du stockage d'hydrocarbures. Avec les oxydes d'azote et le monoxyde de carbone, ils contribuent à la formation d'ozone troposphérique.

Les BTEX (appellation regroupant le benzène, le toluène, l'éthylbenzène et les xylènes) sont des hydrocarbures monocycliques (HAM) constitués d'un seul cycle benzénique. Les BTEX entrent dans la composition des carburants des réservoirs ou des stations services.

le monoxyde de carbone (CO)

Ce gaz provient des combustions incomplètes. Il est émis en grande partie (59 %) par le trafic routier. Le chauffage urbain, collectif ou individuel, vient en deuxième position avec 21 % des émissions. Dans l'atmosphère, il se combine en partie et à moyen terme avec l'oxygène pour former du dioxyde de carbone (CO₂). On le rencontre essentiellement au niveau du sol à proximité des sources d'émission. Il participe avec les oxydes d'azote et les composés organiques volatils, à la formation d'ozone troposphérique.

annexe 5 : seuils de qualité de l'air 2002 et 2010

TYPE DE SEUIL (µg/m ³)	DONNÉE DE BASE	dioxyde d'azote décret 2002-213 du 15/02/02	oxydes d'azote décret 2002-213 du 15/02/02	poussières (PM10) décret 2002-213 du 15/02/02	benzène décret 2002-213 du 15/02/02	monoxyde de carbone décret 2002-213 du 15/02/02
valeurs limites	moy. annuelle	40 ⁽¹⁾	30 ⁽²⁾	40 ⁽³⁾	5 ⁽⁴⁾	-
	moy. hivernale	-	-	-	-	-
	moy. journalière	-	-	50 ⁽⁵⁾	-	-
	moy. 8-horaire maximale du jour	-	-	-	-	10 000
	moy. horaire	200 ⁽⁶⁾ 200 ⁽⁷⁾	-	-	-	-
seuils d'alerte	moy. horaire	400 200 ⁽⁸⁾	-	-	-	-
seuils de recommandation et d'information	moy. horaire	200	-	-	-	-
objectifs de qualité	moy. annuelle	40	-	30	2	-
	moy. journalière	-	-	-	-	-
	moy. 8-horaire	-	-	-	-	-
	moy. horaire	-	-	-	-	-

(1) valeur applicable à compter du 01/01/2010 (marge de tolérance applicable en 2002 : 16)
 (2) pour la protection de la végétation
 (3) valeur applicable à compter du 01/01/2005 (marge de tolérance applicable en 2002 : 4)
 (4) valeur applicable à compter du 01/01/2010 (marge de tolérance applicable en 2002 : 5)
 (5) à ne pas dépasser plus de 35j par an (percentile 90,4 annuel); valeur applicable à compter du 01/01/2005 (marge de tolérance

applicable en 2002 : 15)
 (6) à ne pas dépasser plus de 175h par an (percentile 98 annuel); valeur limite applicable jusqu'au 31/12/2009
 (7) à ne pas dépasser plus de 18h par an (percentile 99,8 annuel) - valeur applicable à compter du 01/01/2010 (marge de tolérance applicable en 2002 : 80)
 (8) si la procédure de recommandation et d'information a été déclenchée la veille et le jour même et que les prévisions font craindre un nouveau risque de déclenchement pour le lendemain

valeur limite : niveau maximal de pollution atmosphérique, fixé dans le but d'éviter, de prévenir ou de réduire les effets nocifs de la pollution pour la santé humaine et/ou l'environnement.

seuil d'alerte : niveau de pollution atmosphérique au-delà duquel une exposition de courte durée présente un risque pour la santé humaine ou de dégradation de l'environnement et à partir duquel des mesures d'urgence doivent être prises.

seuil de recommandation et d'information : niveau de pollution atmosphérique qui a des effets limités et transitoires sur la santé en cas d'exposition de courte durée et à partir duquel une information de la population est susceptible d'être diffusée.

objectif de qualité : niveau de pollution atmosphérique fixé dans le but d'éviter, de prévenir ou de réduire les effets nocifs de la pollution pour la santé humaine et/ou l'environnement, à atteindre dans une période donnée.

annexe 6 : description technique de la modélisation des rues « canyons »

les régimes d'écoulement dans les rues « canyons »

Un « canyon » est formé dans une rue entre deux rangées de grands bâtiments. La caractérisation principale d'une rue canyon est son rapport hauteur/largeur (H/L), où H est la hauteur moyenne du bâti et L, la largeur entre les deux rangées de bâtiments.

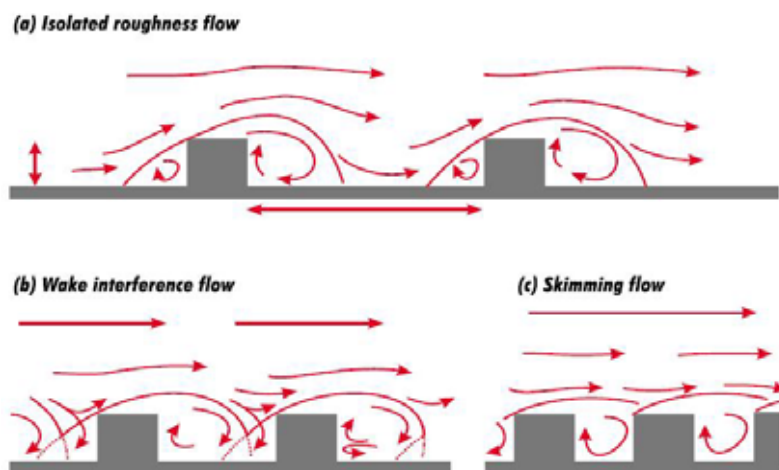
La direction du vent au dessus des toits et la forme du « canyon » conditionnent le développement d'un ou plusieurs tourbillons (vortex) à l'intérieur de la rue, qui seront à l'origine de niveaux élevés de pollution en des points précis.

Les régimes d'écoulement généralement considérés à l'intérieur du « canyon » dépendent du rapport H/L [2].

« Isolated roughness flow » : quand 2 vortex indépendants se développent de part et d'autre de la rue, celle-ci étant suffisamment large pour qu'il n'y ait pas d'interactions entre les structures ($H/L < 0.2$) ;

« Skimming flow » : quand un seul vortex se développe la rue supposée très étroite ($H/W > 0.65$). Dans ce cas le tourbillon agit à l'intérieur de la rue et peu d'échanges avec l'extérieur ont lieu ;

« Wake interference flow » : état intermédiaire entre les deux précédemment décrits ($0.2 < H/W < 0.65$). L'écoulement est alors très complexe puisque plusieurs structures tourbillonnaires peuvent interagir.



Différents régimes d'écoulement dans une rue « canyon »

hypothèses de modélisation du logiciel OSPM

Le modèle OSPM est un modèle semi empirique adapté aux rues « canyons » et utilise des hypothèses de conditions de dispersion et de flux basées sur des analyses extensives de données expérimentales permettant de tester le modèle. A l'intérieur d'une rue canyon, lorsque la composante du vent perpendiculaire à la rue est non nulle, un vortex se forme de façon à ce que la direction du vent au niveau de la rue soit opposée à la direction du vent au niveau des toits.

Deux phénomènes principaux de transport des polluants sont identifiés :

- Le transport des polluants directement émis au niveau du sol par les véhicules. Il s'agit ici d'une dispersion de type gaussienne dans le sens du vent au niveau du sol.
- La recirculation de ces polluants dans la rue due à la présence éventuelle d'un vortex.

OSPM utilise un modèle de panache gaussien pour la contribution directe des gaz d'échappement et un modèle de boîte pour la re-circulation des polluants dans la rue. L'air qui re-circule est ventilé au bord de la boîte en gardant un équilibre entre les flux entrants et sortants. Les flux entrants sont les sources d'émissions de trafic et les flux sortants sont principalement fonctions de la turbulence au niveau du toit.

Le coté au vent est exposé à la pollution provenant de la zone de re-circulation d'air et, si le vortex n'occupe pas l'ensemble de la rue, aux émissions des véhicules en dehors de la zone de re-circulation. Le coté sous le vent est soumis au panache direct dû aux émissions à l'intérieur de la zone occupée par le vortex, à l'air recirculé et à une fraction des émissions de trafic en dehors de la zone de vortex. OSPM modélise la turbulence dans la rue : la turbulence du vent et la turbulence induite par le trafic. La turbulence induite par le trafic devient prédominante lorsque les vents sont faibles pour déterminer les plus fortes concentrations de pollution dans la rue canyon.

La formation de NO₂ est modélisée dans OSPM en résolvant analytiquement les cinétiques du schéma réactionnel suivant :



annexe 7 : méthodologie de récupération des données géométriques des rues canyons

L'extraction des données géométriques nécessaires a été réalisé à partir de la BD Topo© de l'IGN, grâce au logiciel WinStar Carto de la société STAR-APIC. La procédure mise en place par la Direction du Système d'Information Communautaire d'Angers Loire Métropole pour calculer ces paramètres est la suivante :

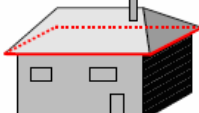

1- calcul des hauteurs des bâtiments

La couche « bâti » de la BD Topo datant de 1996 a été intégrée dans WinStar Carto. Tous les points ont été importés en 3D avec une valeur en Z égale à l'altitude en NGF 69.

Modélisation géométrique : Contour extérieur du bâtiment tel qu'il apparaît vu d'avion (le plus souvent, ce contour correspond à celui du toit); altitude* correspondant à ce contour (généralement l'altitude des gouttières).




* altitude de l'arête supérieure en cas de face verticale.

Seules les cours intérieures de plus de 10 m de large sont représentées par un trou dans la surface bâtie.

Description	Monde réel et modélisation	Modélisation géométrique
Modélisation d'une maison		

Plusieurs bâtiments contigus ou superposés de même nature sont généralement considérés comme un seul et même objet (seul le contour extérieur est saisi). Deux objets contigus ou superposés sont cependant représentés s'ils présentent les caractéristiques suivantes :

- différence de hauteur entre les deux bâtiments > 10 m environ (ou 3 étages) ;
- surface de chaque objet résultant > 400 m² ;

Description	Monde réel et modélisation	Modélisation géométrique	Modélisation géométrique
Modélisation d'un bâtiment		Perspective 	Vue de dessus 

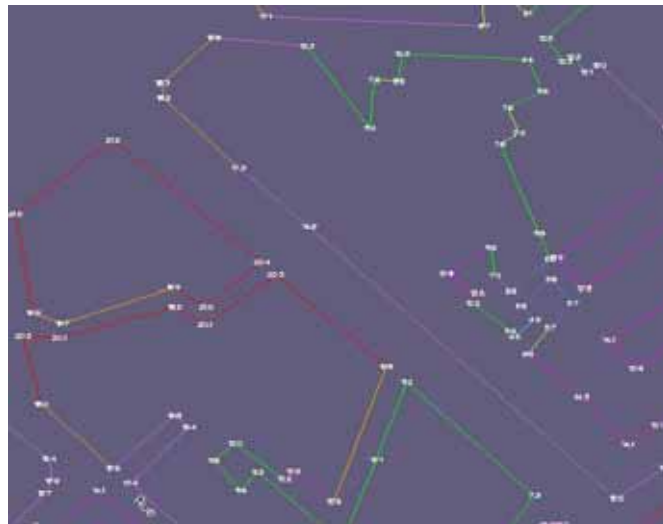
Un calcul des hauteurs des bâtiments a été généré en soustrayant aux altitudes des toits de la BD Topo, les altitudes projetées au sol. Les altitudes au sol ont été interpolées sur un MNT réalisé par la société FIT pour la production d'une orthophotographie en 2000.

La précision du calcul des hauteurs de bâtiment est d'ordre métrique.

Pour une façade de rue bâtie de manière continue, la densité des points donnant des informations sur la hauteur peut être variable. En effet si la hauteur des différents bâtiments est assez homogène, il peut très bien avoir un espacement planimétrique de plusieurs centaines de mètre entre deux points.



La capture d'écran ci-dessus montre un espacement extrême entre deux valeurs de hauteur sur la façade sud de la rue des lices (200 mètres)

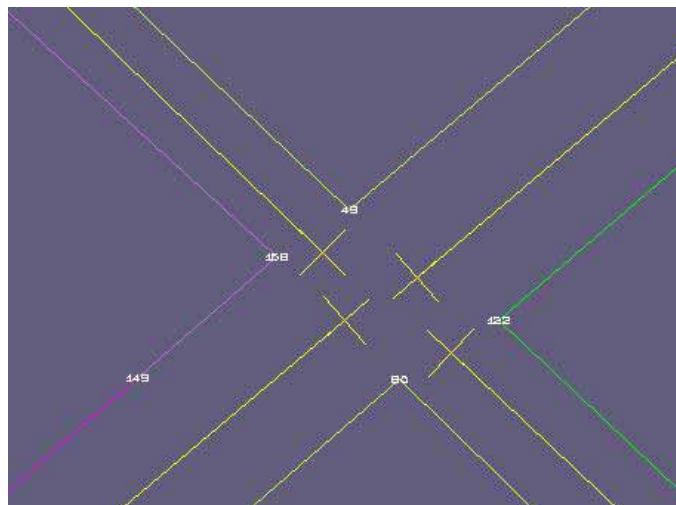


En règle générale, il y a cependant plusieurs indications de hauteurs sur une façade de rue (cf capture d'écran ci-dessus).

2- saisie graphique manuelle du tronçon de rue sur fond cartographique de la BD Topo

Les tronçons des rues canyons ont été saisis manuellement, sans tenir compte de la géométrie des tronçons de voies de la BD Topo (pas d'accrochage, pas de reprise des arcs existants), afin de construire des tronçons simplifiés au maximum avec les coordonnées du point du milieu du tronçon, un angle et une longueur.

Par ailleurs, les limites des tronçons, au niveau des carrefours, correspondent aux limites projetées du bâti et non au centre du carrefour.



3- dessin de la surface du tronçon de rue avec accrochage sur les bâtis



4- récupération des informations géométriques concernant le tronçon

Sélection du tronçon et lancement d'une macro-procédure qui récupère les informations géométriques (longueur, angle, X et Y du milieu du tronçon) et les insère dans la table attributaire.

Sélection du tronçon et lancement d'une seconde macro-procédure qui récupère la largeur moyenne du tronçon et l'insère dans la table attributaire. La macro va diviser la surface dessinée précédemment par la longueur du tronçon pour obtenir une largeur moyenne de la rue.

5- affectation au tronçon d'une hauteur moyenne des bâtiments

Lancement d'une macro-procédure qui calcule la continuité et la hauteur moyenne du bâti de chaque côté du tronçon et les insère dans la table attributaire.

Choix du côté du tronçon sur lequel va être effectué le calcul, puis sélection manuelle des différents segments de bâti qui bordent le tronçon du côté choisi.

La macro-procédure va calculer la somme des longueurs de tous les segments de bâti sélectionnés et la diviser par la longueur du tronçon, ce qui donne une valeur de continuité du bâti entre 0 et 1.

(Dans un certain nombre de cas, il a fallu recréer, sur la couche bâti des murs, – non existants dans la BD Topo - ou recréer des segments de bâti pour qu'ils soient ajustés au tronçon. Ces données ont été renseignées avec une hauteur pour chacun des points – hauteur estimée).

La macro-procédure calcule également pour chaque segment sélectionné la hauteur moyenne de ce segment (moyenne des deux points) et la multiplie par sa longueur.

On obtient une surface correspond à la « façade » de chaque segment. L'addition de ces surfaces va permettre d'obtenir une façade totale qui est ensuite divisée par la longueur des segments, ce qui donne la hauteur moyenne des bâtis d'un côté de tronçon.

6- affectation au tronçon de renseignements divers

La table attributaire du tronçon est renseignée avec des informations diverses : nom de la rue, trafic (à partir des données fournies par la Direction Transports-Déplacements), vitesse et hétérogénéité dans les hauteurs de bâti (valeur estimée à partir de la lecture graphique des différentes hauteurs de bâtiments le long du tronçon).

7- calcul de moyennes et de ratios pour chaque tronçon

Lancement d'une requête SQL qui calcule pour chaque tronçon :

- la moyenne de la hauteur du bâti à partir des hauteurs des côtés 1 et 2,
- le rapport Hauteur/Largeur pour chaque côté du tronçon
- le rapport Hauteur/Largeur pour le tronçon dans sa globalité.

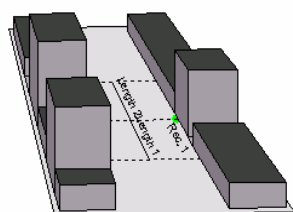
8- conversion de WinStar Carto vers Mapinfo avec le logiciel FME.

annexe 9 : sensibilité du modèle à l'hétérogénéité du bâti [8]

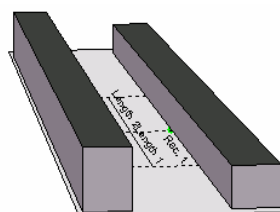
Selon le NERI, une rue canyon idéale à modéliser est une rue avec un bâti très homogène en hauteur et une continuité de bâti (sans présence de vide, intersection), un rapport hauteur/largeur égale à 1 et une largeur de rue homogène. Or, les bâtiments réels possèdent toujours un degré plus ou moins élevé d'hétérogénéité.

Pour caractériser l'influence de l'hétérogénéité d'une rue sur la pollution, 4 modélisations de bâti de rue ont été considérées : une rue avec un bâti hétérogène (avec les hauteurs réelles des bâtiments) une rue avec un bâti homogène, (avec les hauteurs réelles des bâtiments), et deux rues parfaitement canyon, qui représentent de façon simplifiée les deux rues précédentes, avec des hauteurs constantes sur chaque côté de la rue (cf. figures ci-dessous).

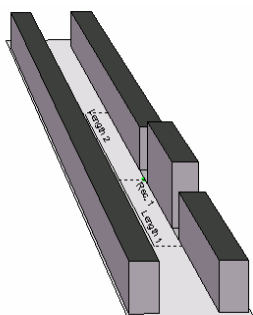
1(a) un bâti hétérogène



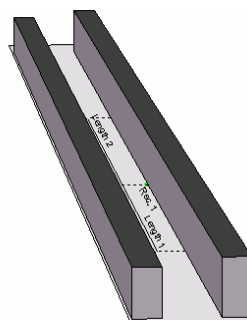
1(b) un bâti hétérogène simplifié



2(a) un bâti homogène



2(b) un bâti homogène simplifié



Différentes configurations de bâti modélisées. Source : OSPM

Pour chaque modélisation de bâti, trois simulations ont été faites avec 3 sites de récepteurs différents placés sur le bord de la rue : un site dans un vide dans le bâti et deux sites à proximité de ce vide.

Une comparaison des concentrations a été faite entre les rues avec des hauteurs réelles et leurs équivalents simplifiés. Les résultats montrent des écarts maxima, pour le benzène en moyenne annuelle, de -17% entre la rue hétérogène et son équivalent simplifié et de -3% entre la rue homogène et son équivalent simplifié. L'écart de -17% est modélisé sur le site où se trouve des hauteurs de bâtiments inférieures à la hauteur moyenne des bâtiments. Dans cette étude, les bâtis des 198 rues ont été modélisées de façon simple en considérant des hauteurs homogènes de chaque côté de la rue, sans vide. La valeur de -17 % permet de rendre compte d'un ordre de grandeur de la surestimation maximale de notre approche. La rue avec un bâti homogène se rapproche plus de la simplification donc son écart (-3%) est moins important que celui avec un bâti hétérogène (-17%).

Une hypothèse pour expliquer ces écarts est que l'hétérogénéité dans le bâti induit un meilleur échange de polluant entre le canyon et l'air extérieur en raison d'un mélange plus turbulent.

annexe 10 : projets de voirie et de transports à l'horizon 2015 dans l'agglomération angevine

source : ISIS, Nantes

	Projets	Caractéristiques	Situation de référence 2015	Situation de projet
Demande				
	Evolution de la demande à l'horizon 2015		oui	oui
Offre de transport actuelle				
	Réseau routier et offre TC 2002		oui	
Projets routiers				
AGGLOMERATION	Contournement Nord d'Angers	2 x 2 voies à 110 Km/H Limitation à 90 Km/H entre RD106 et VdB Echangeurs complets RN23, RD106 & RD107 Demi-échangeur Saint-Serge		oui
	Echangeur Saint-Serge	Création de l'échangeur complet Mouvements CNA Ouest ↔ Angers assurés via le carrefour Ramon x Doyenné		oui
	Déviations ETAS	2 x 2 voies Echangeurs complets RN162 & RD106		oui
	Mise à 2 x 2 voies RD107	2 x 2 voies entre Les Loges et le Contournement Nord d'Angers		oui
	Mise à 2 x 3 voies de l'A11	2 x 3 voies entre Saint-Serge & RD 52		oui
	Mise à 2 x 3 voies de la RN260	2 x 3 voies entre l'échangeur de Haute-Perche & l'échangeur de la Monnaie		oui
	Echangeur de Belle-Beille	Création d'une bretelle dans le sens Nord → Ouest		oui
	Echangeur de Beaucozézé	Refonte du système d'échange Continuité à 2 x 2 voies RD106 / RN23 Echangeur avec la RN23 Ouest		oui
	Echangeur Ouest de Beaucozézé	Création d'un échangeur sur la RN23		
	Rachat du péage de Troussebouc	Rachat du péage		oui
	Mise à 2 x 2 voies de la RD106	Mise à 2 x 2 voies de la RD106 entre l'échangeur de Bourg-de-Paille et l'échangeur de Beaucozézé		oui
	Echangeur du Buisson	Création de l'échangeur du Buisson et continuité de la RD56		oui
	Déviations Nord de Saint-Jean-de-Linière	2 x 1 voie à 90 Km/H entre RN23 et échangeur de Troussebouc		oui
	Liaison Sud d'Angers	2 x 2 voies à 90 Km/H Echangeurs complets RN260, RD312, RD411 & Boulevards Sud Demi-échangeur Saint-Serge		oui
Echangeur de la Baumette	Refonte du système d'échange Continuité à 2 x 2 voies RN23 / Liaison Sud Echangeur avec la voie des Berges		oui	
Echangeur de la Monnaie	Création des bretelles Rocade Est ↔ Liaison Sud		oui	
ANGERS	PCA Tramway	Plan de circulation associé à la première ligne de Tramway Réduction de capacité sur la RN162 Création du barreau de liaison RN162 / RD107 Secteur Capucins Nouveau franchissement de la Maine Refonte de la place Molière Mise en site propre de la rue de la Roe, de la place du Ralliement et de la rue d'Alsace Réduction de capacité du boulevard Foch Mise en sens unique de la rue du Haras Restriction d'accès sur la rue Létenduère (sens uniques inversés)		oui
	Requalification de la Voie des berges	2 x 1 voie à 50 Km/H entre Saint-Serge et le pont de Basse Chaîne 2 x 2 voies à 50 Km/H entre le pont de Basse Chaîne et l'échangeur de la Baumette Maintien des carrefours dénivelés et des bretelles d'accès		oui
	Raqualification du Pentagone	Réduction de capacité des boulevards du Pentagone (2 x 1 voie avec aménagements de capacité en tourne-à-gauche) : - Une capacité en section de 1 200 véhicules / H / sens sur les barreaux Ayraut / Carnot et Charles de Gaulle / Roi René - Une capacité réduite de 900 véhicules / H / sens sur le barreau de liaison Foch / Bessonneau		oui
	Extension du plateau piétonnier	Extension du plateau piétonnier et restriction d'accès à l'hyper-centre		oui
	Carrefour Ramon x Doyenné	Restructuration du carrefour Ramon x Doyenné		oui
Projets de transports collectifs				
AGGLOMERATION	Première ligne de Tramway	Avrillé ↔ Angers Sud (La Roseraie) Vitesse commerciale de 21 Km/H Fréquence de 5 mn		oui
	Deuxième ligne de Tramway	Beaucozézé ↔ Angers Nord (Monplaisir) Vitesse commerciale de 21 Km/H Fréquence de 5 mn		oui
	Restructuration du réseau Bus	Restructuration du réseau Bus autour de la première ligne de tramway		oui
	Déplacement de la Gare Routière	Déplacement de la Gare Routière à la gare SNCF		oui

annexe 11 : concentrations dans chaque section « canyon »

Les concentrations modélisées en moyenne annuelle ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) dans chacune des 198 sections « canyons » sont reportées ci-après. Les classements sont effectués par concentrations en dioxyde d'azote décroissantes.

concentrations en 2002

		NO ₂	C6H6	CO	PM ₁₀	NOX
		dépassement de la valeur limite				
		dépassement de l'objectif de qualité - valeur limite non atteinte				
		respect de l'objectif de qualité				
Numéro	Nom de la section	NO ₂	C6H6	CO	PM ₁₀	NOX
65	"BOULEVARD FOCH_3"	46	3,5	636	26	131
8	"BOULEVARD AYRAULT_3"	44	3,9	666	27	147
66	"BOULEVARD FOCH_4"	44	3,3	626	25	125
9	"BOULEVARD CARNOT"	42	3,7	651	26	139
42	"RUE PAUL BERT"	42	3,4	633	26	129
64	"BOULEVARD FOCH_2"	41	3,1	613	25	118
55	"RUE DU HARAS"	41	2,9	599	24	109
28	"RUE CHAUSSEE SAINT PIERRE"	40	2,7	584	23	102
85	"RUE SAINT LAZARE"	40	3,7	629	27	139
30	"RUE SAINT JULIEN"	39	4,5	732	26	112
31	"RUE D'ALSACE"	39	2,8	588	24	104
73	"RUE DESJARDINS_4"	39	3,1	607	24	115
41	"BOULEVARD FOCH_1"	39	2,9	593	24	106
22	"RUE DE LA ROE_2"	38	3,3	635	24	104
39	"BOULEVARD DU ROI RENE_1"	38	2,8	589	24	104
44	"RUE DESJARDINS_1"	38	2,9	592	24	107
104	"BOULEVARD JOSEPH BEDIER"	37	3,2	570	25	116
40	"BOULEVARD DU ROI RENE_2"	37	2,9	597	24	109
79	"RUE BEAUREPAIRE_1"	37	2,7	583	23	101
16	"PLACE MOLIERE"	36	2,9	596	24	108
53	"AVENUE TURPIN DE CRUISSE"	36	2,6	573	23	95
20	"RUE DU MAIL_4"	36	2,5	565	23	91
46	"RUE RABELAIS"	36	2,8	585	23	102
68	"RUE DES ARENES"	35	2,5	566	23	91
21	"RUE DU MAIL_5"	35	2,6	581	22	82
180	"BOULEVARD JACQUES PORTET"	35	2,9	552	24	106
82	"RUE BEAUREPAIRE_2"	35	2,4	559	22	87
47	"RUE DE BRISSAC_1"	34	2,4	559	22	87
17	"RUE DE LA ROE_1"	34	2,3	555	22	85
23	"RUE PLANTAGENET_1"	34	2,0	533	21	73
12	"RUE DU MAIL_3"	34	2,2	542	22	78
7	"BOULEVARD AYRAULT_2"	34	2,7	578	23	98
24	"RUE PLANTAGENET_2"	34	2,5	574	22	79
145	"BOULEVARD SAINT MICHEL"	33	2,0	532	21	72
60	"RUE HOCHÉ"	33	2,2	543	22	78
25	"RUE PLANTAGENET_3"	33	2,0	528	21	70
33	"RUE DU MAIL_6"	33	2,4	570	22	77
137	"RUE ANDRE GARDOT"	33	2,3	528	22	82
77	"RUE PAUL LANGEVIN"	33	2,2	542	22	78
45	"RUE VOLNEY_1"	33	2,3	552	22	83
110	"RUE DE BRISSAC_3"	32	2,4	539	23	88
29	"RUE LOUIS DE ROMAIN"	32	2,0	529	21	71
89	"RUE SAINT JACQUES_1"	32	2,2	521	22	78
83	"BOULEVARD DESCAZEUX"	32	2,0	534	21	73
162	"RUE SAINT JACQUES_2"	32	2,4	537	23	87
187	"AVENUE PIERRE MENDES-FRANCE_AVRILLE_2"	32	2,9	554	24	108
78	"RUE MICHELET"	32	2,2	544	22	79
92	"RUE JEAN BODIN"	32	1,9	523	21	67
75	"RUE HANNELOUP_2"	32	2,0	531	21	72
93	"RUE LETANDUERE_1"	32	2,0	528	21	70
156	"RUE DES FOURS A CHAUX"	31	2,6	553	23	96
14	"RUE MAILLE_3"	31	2,1	534	21	73
192	"RUE VICTOR HUGO_LES PONTS-DE-CE_1"	31	2,9	550	24	105
48	"RUE DE BRISSAC_2"	31	2,0	532	21	72
26	"RUE BAUDRIERE"	31	2,0	538	21	64
6	"BOULEVARD AYRAULT_1"	31	2,3	554	22	84
38	"RUE VOLTAIRE"	31	1,7	506	20	58
36	"RUE CHAPERONNIERES"	31	1,6	504	20	56
76	"RUE TARIN"	31	1,9	522	21	66
158	"RUE BOREAU"	31	2,0	528	21	69
193	"RUE VICTOR HUGO_LES PONTS-DE-CE_2"	31	2,8	546	24	103
90	"AVENUE RENE GASNIER"	31	2,3	532	22	84
67	"RUE BRESSIGNY_1"	31	1,8	517	20	64
131	"RUE CELESTIN PORT"	30	1,9	520	21	66

Numéro	Nom de la section	NO2	C6H6	CO	PM10	NOX
69	"RUE HANNELOUP_1"	30	1,8	515	20	63
18	"RUE DE LA POISSONNERIE"	30	1,9	521	21	66
74	"RUE BRESSIGNY_2"	30	1,8	516	20	63
51	"RUE DE BEL AIR_2"	30	1,9	520	21	66
37	"RUE DES LICES"	30	1,7	506	20	57
119	"RUE BOURGONNIER_1"	30	1,9	500	21	66
27	"RUE DE L'OISELLERIE"	30	1,6	503	20	56
54	"RUE DELAAGE_1"	30	1,7	505	20	57
159	"AVENUE TALLET"	30	1,8	513	20	62
117	"RUE SAUMUROISE_2"	30	2,1	516	22	75
35	"RUE TOUSSAINT"	30	1,6	501	20	55
171	"RUE SAUMUROISE_3"	30	2,6	531	23	95
144	"BOULEVARD DU MARECHAL JOFFRE"	30	1,8	517	20	63
130	"RUE SAINT LEONARD_2"	29	2,2	521	22	78
138	"RUE FRANCOIS BESNARD"	29	2,2	523	22	79
150	"RUE VICTOR HUGO_2"	29	2,0	508	21	71
80	"BOULEVARD ARNAUD_1"	29	1,6	499	20	54
176	"AVENUE DE CONTADES_2"	29	1,6	504	20	56
34	"RUE DU MAIL_7"	29	1,6	501	20	55
70	"RUE DU QUINQUONCE_1"	29	1,8	514	20	62
143	"RUE DU MAINE"	29	1,7	509	20	59
191	"RUE DE GENERAL DE GAULLE_LES PONTS-DE-CE"	29	2,6	529	23	93
126	"RUE BOURGONNIER_2"	29	1,9	503	21	68
140	"RUE DE BELGIQUE"	29	1,7	507	20	58
164	"AVENUE PATTON"	29	2,1	493	22	73
59	"RUE MARCEAU"	29	1,6	502	20	55
62	"RUE DELAAGE_3"	29	1,5	496	19	52
124	"RUE DE LA MADELEINE_4"	29	1,6	501	20	55
81	"BOULEVARD ARNAUD_2"	29	1,6	499	20	53
157	"RUE DE LA CHALOUERE_2"	29	1,9	502	21	67
108	"RUE MIRABEAU"	29	2,0	505	21	69
136	"RUE FRANKLIN_2"	29	2,1	514	22	74
183	"RUE BERANGER"	29	2,1	511	21	72
88	"BOULEVARD ARAGO_2"	29	1,7	511	20	60
58	"RUE RENE BREMONT"	29	1,6	502	20	55
5	"RUE MAILLE_2"	29	1,5	496	20	52
49	"RUE DU CHANOINE COLONEL PAGANET"	28	1,5	496	20	52
2	"RUE DU MAIL_1"	28	1,5	496	20	52
19	"RUE DE LA PARCHEMINERIE"	28	1,5	494	19	51
96	"RUE AUDUSSON"	28	1,5	492	19	49
163	"RUE MONTESQUIEU"	28	2,2	502	22	78
15	"RUE BOISNET_3"	28	1,4	489	19	48
71	"RUE DESJARDINS_2"	28	1,5	494	19	51
155	"RUE DE LA CHALOUERE_1"	28	1,8	492	21	62
120	"RUE VOLNEY_2"	28	1,9	501	21	67
50	"RUE DE BEL AIR_1"	28	1,5	497	20	52
3	"RUE DU MAIL_2"	28	1,5	492	19	49
177	"RUE DUPETIT THOUARS_2"	28	1,8	493	21	62
11	"RUE BOISNET_2"	28	1,4	488	19	47
152	"RUE FLORENT CORNILLEAU_1"	27	1,8	490	20	60
153	"RUE FLORENT CORNILLEAU_2"	27	1,6	475	20	52
160	"RUE VICTOR HUGO_3"	27	1,7	482	20	56
116	"RUE SAUMUROISE_1"	27	1,9	501	21	67
132	"RUE JOACHIM DU BELLAY"	27	1,5	491	19	49
134	"RUE DU QUINQUONCE_2"	27	1,4	489	19	48
10	"RUE BOISNET_1"	27	1,4	486	19	46
32	"RUE DAVID D'ANGERS"	27	1,4	486	19	46
97	"RUE LETANDUERE_2"	27	1,5	473	20	51
101	"RUE LETANDUERE_3"	27	1,7	483	20	56
133	"RUE FRANKLIN_1"	27	1,5	491	19	49
196	"RUE JEAN JAURES_TRELAZE_2"	27	2,1	494	22	73
43	"RUE DE CHATEAUGONTIER"	27	1,4	484	19	45
102	"BOULEVARD DE STRASBOURG_1"	27	1,7	484	20	57
188	"RUE VICTOR HUGO_MONTREUIL-JUIGNE"	27	2,4	518	23	87
128	"RUE DE LA DEVANSAYE"	27	1,9	500	21	66
170	"ROUTE DE LA PYRAMIDE_2"	27	2,0	484	21	68
72	"RUE DESJARDINS_3"	27	1,4	488	19	47

Numéro	Nom de la section	NO2	C6H6	CO	PM10	NOX
113	"RUE CHEVRE"	27	1,8	489	20	60
127	"RUE SAINT LEONARD_1"	27	1,9	497	21	65
103	"BOULEVARD DE STRASBOURG_2"	27	1,6	481	20	55
56	"RUE MAX RICHARD_1"	27	1,3	479	19	42
4	"RUE MAILLE_1"	27	1,4	488	19	47
98	"RUE EVAIN"	27	1,5	474	20	52
141	"RUE DE RIVOLI"	27	1,6	479	20	54
111	"RUE DE BRISSAC_4"	27	1,8	491	20	61
142	"RUE FRANKLIN_3"	27	1,4	487	19	47
112	"RUE CUBAIN"	27	1,6	481	20	56
86	"RUE DE LA CENSERIE"	27	1,3	482	19	44
87	"BOULEVARD ARAGO_1"	26	1,5	493	19	50
61	"RUE DELAAGE_2"	26	1,3	480	19	43
94	"RUE DUPETIT THOUARS_1"	26	1,3	477	19	41
194	"RUE JEAN JAURES_TRELAZE_1"	26	1,9	482	21	67
135	"RUE DU QUINQUONCE_3"	26	1,5	473	20	51
57	"RUE MAX RICHARD_2"	26	1,3	478	19	42
52	"RUE BOUGERE"	26	1,3	476	19	40
13	"RUE THIERS_2"	26	1,3	476	19	40
147	"RUE LUTIN"	26	1,5	470	20	49
91	"AVENUE DE CONTADES_1"	26	1,2	475	19	40
190	"RUE NATIONALE_PELLOUAILLES"	26	2,0	487	21	70
109	"RUE CESAR GEOFFRAY"	26	1,6	478	20	54
174	"RUE DE PISE MORTIERS_2"	26	2,0	489	22	71
161	"RUE VICTOR HUGO_4"	26	1,5	471	20	49
122	"RUE DE LA MADELEINE_2"	26	1,6	476	20	53
197	"RUE JEAN JAURES_TRELAZE_3"	26	2,0	488	21	70
1	"RUE THIERS_1"	26	1,2	475	19	40
198	"RUE PASTEUR_TRELAZE"	26	2,0	483	21	68
178	"RUE EBLE"	26	1,5	468	19	48
148	"AVENUE PASTEUR"	26	1,5	467	19	47
173	"RUE DE PISE MORTIERS_1"	26	2,0	484	21	68
149	"RUE VICTOR HUGO_1"	25	1,5	472	20	50
172	"RUE SAUMUROISE_4"	25	1,8	469	21	59
123	"RUE DE LA MADELEINE_3"	25	1,4	466	19	47
114	"RUE BLAISE PASCAL_1"	25	1,4	464	19	46
139	"AVENUE MONTAIGNE"	25	1,8	494	21	63
99	"AVENUE CHANZY"	25	1,4	460	19	44
118	"RUE DE LA MADELEINE_1"	25	1,4	463	19	45
186	"AVENUE PIERRE MENDES-FRANCE_AVRILLE_1"	24	1,8	472	21	61
115	"RUE BLAISE PASCAL_2"	24	1,3	460	19	43
154	"RUE LOUIS BLANC"	24	1,4	461	19	44
129	"RUE DES NOYERS"	24	1,3	459	19	42
95	"RUE DE TERRE NOIRE"	24	1,2	450	19	37
63	"BOULEVARD MARC LECLERC"	24	1,4	461	19	44
146	"RUE DU PRE-PIGEON"	23	1,2	449	19	37
105	"RUE AUGUSTE BLANDEAU"	23	1,3	456	19	41
84	"RUE LIONNAISE"	23	1,2	448	19	36
100	"AVENUE VAUBAN"	23	1,2	448	19	37
121	"RUE BERNIER"	23	1,2	449	19	37
106	"RUE PIERRE CURIE_1"	23	1,2	447	19	36
168	"RUE PARMENTIER"	23	1,5	450	20	48
151	"AVENUE DU GENERAL FOY"	23	1,1	445	18	35
107	"RUE PIERRE CURIE_2"	23	1,2	446	18	35
184	"RUE MAURICE GESLIN"	23	1,4	442	19	44
167	"ROUTE DE LA PYRAMIDE_1"	23	1,6	456	20	52
125	"RUE D'ASSAS"	23	1,2	446	19	36
181	"RUE D'ANTIOCHE_1"	23	1,2	448	19	37
169	"RUE JEAN JAURES_1"	23	1,5	450	20	49
182	"RUE D'ANTIOCHE_2"	22	1,2	446	19	35
189	"RUE D'ANGERS_CANTENAY-EPINARD"	22	1,4	444	20	46
179	"RUE DES PREVOYANTS DE L'AVENIR"	22	1,3	436	19	41
175	"RUE JEAN JAURES_2"	21	1,3	436	19	41
185	"RUE DE L'EGLISE_ST LAMBERT"	21	1,3	436	19	41
165	"RUE EUGENIE MANSION"	21	1,2	431	19	38
195	"RUE WALDECK ROUSSEAU_LES PONTS-DE-CE"	20	1,2	429	19	37
166	"BOULEVARD CHARLES DETRICH"	19	1,0	416	18	29

concentrations en 2015 (scénario de référence – hypothèse majorante)

		NO2	C6H6	CO	PM10	NOX
dépassement de la valeur limite						
dépassement de l'objectif de qualité - valeur limite non atteinte						
respect de l'objectif de qualité						
Numéro	Nom de la section	NO2	C6H6	CO	PM10	NOX
65	"BOULEVARD FOCH_3"	33	1,2	516	20	62
66	"BOULEVARD FOCH_4"	32	1,2	513	20	60
8	"BOULEVARD AYRAULT_3"	31	1,2	522	20	66
64	"BOULEVARD FOCH_2"	30	1,2	509	19	58
42	"RUE PAUL BERT"	30	1,2	508	19	58
9	"BOULEVARD CARNOT"	30	1,2	515	20	62
28	"RUE CHAUSSEE SAINT PIERRE"	30	1,1	499	19	53
30	"RUE SAINT JULIEN"	30	1,1	527	20	55
55	"RUE DU HARAS"	30	1,1	497	19	52
22	"RUE DE LA ROE_2"	29	1,1	516	19	54
31	"RUE D'ALSACE"	29	1,1	498	19	52
41	"BOULEVARD FOCH_1"	29	1,1	500	19	54
73	"RUE DESJARDINS_4"	29	1,1	503	19	55
39	"BOULEVARD DU ROI RENE_1"	29	1,1	501	19	54
44	"RUE DESJARDINS_1"	29	1,1	502	19	55
40	"BOULEVARD DU ROI RENE_2"	29	1,1	504	19	56
79	"RUE BEAUREPAIRE_1"	28	1,1	496	19	51
53	"AVENUE TURPIN DE CRUISSE"	28	1,1	495	19	51
20	"RUE DU MAIL_4"	28	1,1	493	19	49
21	"RUE DU MAIL_5"	28	1,1	501	19	48
16	"PLACE MOLIERE"	28	1,1	501	19	54
82	"RUE BEAUREPAIRE_2"	28	1,1	492	19	49
46	"RUE RABELAIS"	28	1,1	496	19	51
85	"RUE SAINT LAZARE"	28	1,1	488	20	58
68	"RUE DES ARENES"	28	1,1	491	19	49
145	"BOULEVARD SAINT MICHEL"	27	1,1	485	19	45
12	"RUE DU MAIL_3"	27	1,1	486	19	46
17	"RUE DE LA ROE_1"	27	1,1	488	19	47
77	"RUE PAUL LANGEVIN"	27	1,1	488	19	47
26	"RUE BAUDRIERE"	27	1,1	494	19	45
37	"RUE DES LICES"	27	1,1	482	19	44
7	"BOULEVARD AYRAULT_2"	27	1,1	496	19	51
24	"RUE PLANTAGENET_2"	27	1,1	492	19	44
45	"RUE VOLNEY_1"	27	1,1	489	19	47
23	"RUE PLANTAGENET_1"	27	1,1	480	19	42
92	"RUE JEAN BODIN"	27	1,1	482	19	43
33	"RUE DU MAIL_6"	27	1,1	491	19	44
60	"RUE HOCHÉ"	27	1,1	482	19	44
83	"BOULEVARD DESCAZEUX"	27	1,1	484	19	45
25	"RUE PLANTAGENET_3"	27	1,1	479	19	41
80	"BOULEVARD ARNAUD_1"	27	1,1	479	19	42
27	"RUE DE L'OISELLERIE"	26	1,1	478	18	41
93	"RUE LETANDUERE_1"	26	1,1	482	19	43
78	"RUE MICHELET"	26	1,1	485	19	45
158	"RUE BOREAU"	26	1,1	484	19	45
36	"RUE CHAPERONNIERES"	26	1,1	475	18	40
29	"RUE LOUIS DE ROMAIN"	26	1,1	479	19	42
67	"RUE BRESSIGNY_1"	26	1,1	480	19	42
81	"BOULEVARD ARNAUD_2"	26	1,1	479	19	42
70	"RUE DU QUINQUONCE_1"	26	1,1	483	19	44
6	"BOULEVARD AYRAULT_1"	26	1,1	490	19	48
131	"RUE CELESTIN PORT"	26	1,1	480	19	42
140	"RUE DE BELGIQUE"	26	1,1	480	19	42
47	"RUE DE BRISSAC_1"	26	1,1	478	19	41
18	"RUE DE LA POISSONNERIE"	26	1,1	480	19	42
2	"RUE DU MAIL_1"	26	1,1	478	18	41
19	"RUE DE LA PARCHEMINERIE"	26	1,1	477	18	40
14	"RUE MAILLE_3"	26	1,1	480	19	42
35	"RUE TOUSSAINT"	26	1,1	474	18	39
76	"RUE TARIN"	26	1,1	477	18	41
159	"AVENUE TALLET"	26	1,1	477	18	41
38	"RUE VOLTAIRE"	26	1,1	473	18	38
104	"BOULEVARD JOSEPH BEDIER"	26	1,0	459	20	53
3	"RUE DU MAIL_2"	26	1,1	476	18	40

Numéro	Nom de la section	NO2	C6H6	CO	PM10	NOX
51	"RUE DE BEL AIR_2"	26	1,1	476	18	40
69	"RUE HANNELOUP_1"	26	1,1	475	18	40
74	"RUE BRESSIGNY_2"	26	1,1	475	18	40
59	"RUE MARCEAU"	26	1,1	475	18	39
48	"RUE DE BRISSAC_2"	26	1,1	477	18	40
88	"BOULEVARD ARAGO_2"	26	1,1	480	19	42
75	"RUE HANNELOUP_2"	26	1,1	475	18	40
143	"RUE DU MAINE"	26	1,1	476	18	40
49	"RUE DU CHANOINE COLONEL PAGANET"	26	1,1	474	18	39
58	"RUE RENE BREMONT"	25	1,1	475	18	39
144	"BOULEVARD DU MARECHAL JOFFRE"	25	1,1	476	18	40
15	"RUE BOISNET_3"	25	1,1	471	18	37
43	"RUE DE CHATEAUGONTIER"	25	1,1	472	18	38
50	"RUE DE BEL AIR_1"	25	1,1	474	18	39
34	"RUE DU MAIL_7"	25	1,1	471	18	37
124	"RUE DE LA MADELEINE_4"	25	1,1	471	18	37
11	"RUE BOISNET_2"	25	1,1	471	18	37
56	"RUE MAX RICHARD_1"	25	1,1	470	18	37
86	"RUE DE LA CENSERIE"	25	1,1	471	18	37
134	"RUE DU QUINQUONCE_2"	25	1,1	472	18	38
5	"RUE MAILLE_2"	25	1,1	470	18	37
10	"RUE BOISNET_1"	25	1,1	470	18	37
96	"RUE AUDUSSON"	25	1,1	469	18	36
176	"AVENUE DE CONTADES_2"	25	1,1	470	18	36
72	"RUE DESJARDINS_3"	25	1,1	471	18	37
71	"RUE DESJARDINS_2"	25	1,1	470	18	37
94	"RUE DUPETIT THOUARS_1"	25	1,1	469	18	36
57	"RUE MAX RICHARD_2"	25	1,1	469	18	36
110	"RUE DE BRISSAC_3"	25	1,1	464	19	45
13	"RUE THIERS_2"	25	1,1	468	18	36
52	"RUE BOUGERE"	25	1,1	468	18	36
132	"RUE JOACHIM DU BELLAY"	25	1,1	469	18	36
133	"RUE FRANKLIN_1"	25	1,1	469	18	36
54	"RUE DELAAGE_1"	25	1,1	467	18	35
32	"RUE DAVID D'ANGERS"	25	1,1	467	18	35
87	"BOULEVARD ARAGO_1"	25	1,1	471	18	37
89	"RUE SAINT JACQUES_1"	25	1,0	457	19	41
4	"RUE MAILLE_1"	25	1,1	468	18	36
142	"RUE FRANKLIN_3"	25	1,1	468	18	35
137	"RUE ANDRE GARDOT"	24	1,0	456	19	41
62	"RUE DELAAGE_3"	24	1,1	466	18	34
162	"RUE SAINT JACQUES_2"	24	1,1	461	19	43
156	"RUE DES FOURS A CHAUX"	24	1,1	468	19	47
61	"RUE DELAAGE_2"	24	1,1	466	18	34
91	"AVENUE DE CONTADES_1"	24	1,1	464	18	34
150	"RUE VICTOR HUGO_2"	24	1,0	458	19	42
180	"BOULEVARD JACQUES PORTET"	24	1,0	451	19	48
1	"RUE THIERS_1"	24	1,1	465	18	34
117	"RUE SAUMUROISE_2"	24	1,0	458	19	42
155	"RUE DE LA CHALOUERE_1"	24	1,0	457	19	41
90	"AVENUE RENE GASNIER"	24	1,0	460	19	43
153	"RUE FLORENT CORNILLEAU_2"	24	1,0	450	18	38
108	"RUE MIRABEAU"	24	1,0	458	19	42
119	"RUE BOURGONNIER_1"	24	1,0	451	19	38
126	"RUE BOURGONNIER_2"	24	1,0	455	19	40
138	"RUE FRANCOIS BESNARD"	24	1,0	460	19	43
130	"RUE SAINT LEONARD_2"	24	1,0	459	19	42
157	"RUE DE LA CHALOUERE_2"	24	1,0	455	19	40
192	"RUE VICTOR HUGO_LES PONTS-DE-CE_1"	24	1,1	464	20	56
160	"RUE VICTOR HUGO_3"	24	1,0	452	19	38
98	"RUE EVAIN"	24	1,0	450	18	37
136	"RUE FRANKLIN_2"	24	1,0	458	19	42
183	"RUE BERANGER"	24	1,0	457	19	41
102	"BOULEVARD DE STRASBOURG_1"	23	1,0	452	19	39
193	"RUE VICTOR HUGO_LES PONTS-DE-CE_2"	23	1,1	462	20	55
103	"BOULEVARD DE STRASBOURG_2"	23	1,0	451	19	38
152	"RUE FLORENT CORNILLEAU_1"	23	1,0	452	19	38

Numéro	Nom de la section	NO2	C6H6	CO	PM10	NOX
120	"RUE VOLNEY_2"	23	1,0	454	19	39
101	"RUE LETANDUERE_3"	23	1,0	449	18	37
116	"RUE SAUMUROISE_1"	23	1,0	453	19	39
128	"RUE DE LA DEVANSAYE"	23	1,0	455	19	40
177	"RUE DUPETIT THOUARS_2"	23	1,0	449	18	37
135	"RUE DU QUINQUONCE_3"	23	1,0	447	18	36
97	"RUE LETANDUERE_2"	23	1,0	444	18	34
127	"RUE SAINT LEONARD_1"	23	1,0	453	19	39
147	"RUE LUTIN"	23	1,0	446	18	35
178	"RUE EBLE"	23	1,0	446	18	35
111	"RUE DE BRISSAC_4"	23	1,0	451	19	38
109	"RUE CESAR GEOFFRAY"	23	1,0	449	18	37
161	"RUE VICTOR HUGO_4"	23	1,0	446	18	35
191	"RUE DE GENERAL DE GAULLE_LES PONTS-DE-CE"	23	1,0	456	19	51
113	"RUE CHEVRE"	23	1,0	448	18	36
141	"RUE DE RIVOLI"	23	1,0	446	18	35
148	"AVENUE PASTEUR"	23	1,0	445	18	35
112	"RUE CUBAIN"	23	1,0	446	18	35
114	"RUE BLAISE PASCAL_1"	23	1,0	445	18	35
149	"RUE VICTOR HUGO_1"	23	1,0	447	18	35
99	"AVENUE CHANZY"	23	1,0	444	18	34
84	"RUE LIONNAISE"	23	1,0	443	18	34
187	"AVENUE PIERRE MENDES-FRANCE_AVRILLE_2"	22	1,0	447	19	46
122	"RUE DE LA MADELEINE_2"	22	1,0	445	18	34
123	"RUE DE LA MADELEINE_3"	22	1,0	442	18	33
115	"RUE BLAISE PASCAL_2"	22	1,0	443	18	34
154	"RUE LOUIS BLANC"	22	1,0	444	18	34
139	"AVENUE MONTAIGNE"	22	1,0	453	19	39
146	"RUE DU PRE-PIGEON"	22	1,0	441	18	32
171	"RUE SAUMUROISE_3"	22	1,0	447	19	47
129	"RUE DES NOYERS"	22	1,0	443	18	33
100	"AVENUE VAUBAN"	22	1,0	441	18	32
118	"RUE DE LA MADELEINE_1"	22	1,0	441	18	32
164	"AVENUE PATTON"	22	1,0	433	19	38
105	"RUE AUGUSTE BLANDEAU"	22	1,0	442	18	33
151	"AVENUE DU GENERAL FOY"	22	1,0	439	18	31
95	"RUE DE TERRE NOIRE"	22	1,0	438	18	30
107	"RUE PIERRE CURIE_2"	22	1,0	439	18	31
181	"RUE D'ANTIOCHE_1"	22	1,0	441	18	32
182	"RUE D'ANTIOCHE_2"	22	1,0	440	18	32
121	"RUE BERNIER"	22	1,0	438	18	30
106	"RUE PIERRE CURIE_1"	22	1,0	437	18	30
163	"RUE MONTESQUIEU"	22	1,0	436	19	40
63	"BOULEVARD MARC LECLERC"	22	1,0	439	18	31
125	"RUE D'ASSAS"	22	1,0	437	18	30
190	"RUE NATIONALE_PELLOUAILLES"	22	1,0	441	19	43
188	"RUE VICTOR HUGO_MONTREUIL-JUIGNE"	21	1,0	445	19	45
196	"RUE JEAN JAURES_TRELAZE_2"	21	1,0	435	19	39
172	"RUE SAUMUROISE_4"	21	1,0	431	19	37
170	"ROUTE DE LA PYRAMIDE_2"	21	1,0	430	19	37
197	"RUE JEAN JAURES_TRELAZE_3"	21	1,0	433	19	38
194	"RUE JEAN JAURES_TRELAZE_1"	21	1,0	428	19	36
198	"RUE PASTEUR_TRELAZE"	21	1,0	430	19	37
174	"RUE DE PISE MORTIERS_2"	20	1,0	430	19	37
173	"RUE DE PISE MORTIERS_1"	20	1,0	428	19	36
184	"RUE MAURICE GESLIN"	20	1,0	422	18	33
179	"RUE DES PREVOYANTS DE L'AVENIR"	20	1,0	422	18	32
186	"AVENUE PIERRE MENDES-FRANCE_AVRILLE_1"	20	1,0	425	18	34
168	"RUE PARMENTIER"	20	1,0	424	18	33
169	"RUE JEAN JAURES_1"	20	1,0	424	18	34
185	"RUE DE L'EGLISE_ST LAMBERT"	20	1,0	422	18	32
167	"ROUTE DE LA PYRAMIDE_1"	20	1,0	423	18	33
189	"RUE D'ANGERS_CANTENAY-EPINARD"	19	1,0	418	18	30
175	"RUE JEAN JAURES_2"	19	1,0	418	18	30
165	"RUE EUGENIE MANSION"	19	0,9	414	18	28
195	"RUE WALDECK ROUSSEAU_LES PONTS-DE-CE"	19	0,9	416	18	29
166	"BOULEVARD CHARLES DETRICH"	19	0,9	412	18	27

concentrations en 2015 (scénario de projet PDU – hypothèse majorante)

		<div style="display: flex; justify-content: space-between; font-size: small;"> dépassement de la valeur limite dépassement de l'objectif de qualité - valeur limite non atteinte respect de l'objectif de qualité </div>				
Numéro	Nom de la section	NO2	C6H6	CO	PM10	NOX
8	"BOULEVARD AYRAULT_3"	30	1,2	511	20	59
65	"BOULEVARD FOCH_3"	30	1,1	494	19	50
66	"BOULEVARD FOCH_4"	30	1,1	496	19	51
9	"BOULEVARD CARNOT"	29	1,2	506	19	56
42	"RUE PAUL BERT"	29	1,1	498	19	52
64	"BOULEVARD FOCH_2"	29	1,1	498	19	52
44	"RUE DESJARDINS_1"	29	1,1	502	19	55
20	"RUE DU MAIL_4"	29	1,1	497	19	52
73	"RUE DESJARDINS_4"	29	1,1	499	19	53
33	"RUE DU MAIL_6"	28	1,1	508	19	51
21	"RUE DU MAIL_5"	28	1,1	501	19	48
79	"RUE BEAUREPAIRE_1"	28	1,1	493	19	50
41	"BOULEVARD FOCH_1"	28	1,1	491	19	48
39	"BOULEVARD DU ROI RENE_1"	28	1,1	492	19	49
24	"RUE PLANTAGENET_2"	28	1,1	502	19	49
82	"RUE BEAUREPAIRE_2"	28	1,1	492	19	49
23	"RUE PLANTAGENET_1"	28	1,1	486	19	46
36	"RUE CHAPERONNIERES"	28	1,1	484	19	45
40	"BOULEVARD DU ROI RENE_2"	28	1,1	494	19	50
53	"AVENUE TURPIN DE CRUISSE"	28	1,1	491	19	48
12	"RUE DU MAIL_3"	28	1,1	489	19	47
16	"PLACE MOLIERE"	28	1,1	497	19	51
140	"RUE DE BELGIQUE"	28	1,1	495	19	51
25	"RUE PLANTAGENET_3"	27	1,1	484	19	45
80	"BOULEVARD ARNAUD_1"	27	1,1	484	19	45
2	"RUE DU MAIL_1"	27	1,1	488	19	46
77	"RUE PAUL LANGEVIN"	27	1,1	488	19	47
35	"RUE TOUSSAINT"	27	1,1	482	19	44
60	"RUE HOCHE"	27	1,1	485	19	45
81	"BOULEVARD ARNAUD_2"	27	1,1	484	19	44
19	"RUE DE LA PARCHEMINERIE"	27	1,1	483	19	44
46	"RUE RABELAIS"	27	1,1	486	19	46
7	"BOULEVARD AYRAULT_2"	27	1,1	492	19	49
47	"RUE DE BRISSAC_1"	27	1,1	484	19	45
30	"RUE SAINT JULIEN"	27	1,1	491	19	42
34	"RUE DU MAIL_7"	26	1,1	480	19	42
3	"RUE DU MAIL_2"	26	1,1	482	19	43
131	"RUE CELESTIN PORT"	26	1,1	483	19	44
18	"RUE DE LA POISSONNERIE"	26	1,1	483	19	44
158	"RUE BOREAU"	26	1,1	484	19	45
17	"RUE DE LA ROE_1"	26	1,1	480	19	42
68	"RUE DES ARENES"	26	1,1	480	19	42
48	"RUE DE BRISSAC_2"	26	1,1	482	19	43
76	"RUE TARIN"	26	1,1	480	19	42
78	"RUE MICHELET"	26	1,1	483	19	44
86	"RUE DE LA CENSERIE"	26	1,1	480	19	42
75	"RUE HANNELOUP_2"	26	1,1	479	19	42
91	"AVENUE DE CONTADES_1"	26	1,1	476	18	40
43	"RUE DE CHATEAUGONTIER"	26	1,1	477	18	41
45	"RUE VOLNEY_1"	26	1,1	480	19	42
145	"BOULEVARD SAINT MICHEL"	26	1,1	476	18	40
83	"BOULEVARD DESCAZEUX"	26	1,1	478	18	41
176	"AVENUE DE CONTADES_2"	26	1,1	477	18	40
70	"RUE DU QUINQUONCE_1"	26	1,1	481	19	43
88	"BOULEVARD ARAGO_2"	26	1,1	482	19	44
56	"RUE MAX RICHARD_1"	26	1,1	473	18	39
159	"AVENUE TALLET"	26	1,1	477	18	41
13	"RUE THIERS_2"	26	1,1	475	18	39
67	"RUE BRESSIGNY_1"	26	1,1	476	18	40
51	"RUE DE BEL AIR_2"	26	1,1	476	18	40
74	"RUE BRESSIGNY_2"	26	1,1	475	18	40
85	"RUE SAINT LAZARE"	26	1,1	469	19	48
143	"RUE DU MAINE"	26	1,1	476	18	40
6	"BOULEVARD AYRAULT_1"	26	1,1	483	19	44

Numéro	Nom de la section	NO2	C6H6	CO	PM10	NOX
37	"RUE DES LICES"	26	1,1	473	18	38
49	"RUE DU CHANOINE COLONEL PAGANET"	26	1,1	474	18	39
134	"RUE DU QUINQUONCE_2"	25	1,1	475	18	39
92	"RUE JEAN BODIN"	25	1,1	472	18	38
15	"RUE BOISNET_3"	25	1,1	471	18	37
26	"RUE BAUDRIERE"	25	1,1	476	18	38
50	"RUE DE BEL AIR_1"	25	1,1	474	18	39
57	"RUE MAX RICHARD_2"	25	1,1	473	18	38
72	"RUE DESJARDINS_3"	25	1,1	474	18	39
124	"RUE DE LA MADELEINE_4"	25	1,1	471	18	37
11	"RUE BOISNET_2"	25	1,1	471	18	37
144	"BOULEVARD DU MARECHAL JOFFRE"	25	1,1	473	18	39
137	"RUE ANDRE GARDOT"	25	1,1	461	19	43
55	"RUE DU HARAS"	25	1,1	469	18	36
69	"RUE HANNELOUP_1"	25	1,1	471	18	37
87	"BOULEVARD ARAGO_1"	25	1,1	478	19	41
10	"RUE BOISNET_1"	25	1,1	470	18	37
133	"RUE FRANKLIN_1"	25	1,1	472	18	38
1	"RUE THIERS_1"	25	1,1	471	18	37
27	"RUE DE L'OISELLERIE"	25	1,1	469	18	36
96	"RUE AUDUSSON"	25	1,1	469	18	36
29	"RUE LOUIS DE ROMAIN"	25	1,1	469	18	36
71	"RUE DESJARDINS_2"	25	1,1	470	18	37
93	"RUE LETANDUERE_1"	25	1,1	469	18	36
142	"RUE FRANKLIN_3"	25	1,1	471	18	37
59	"RUE MARCEAU"	25	1,1	468	18	36
14	"RUE MAILLE_3"	25	1,1	470	18	36
132	"RUE JOACHIM DU BELLAY"	25	1,1	469	18	36
58	"RUE RENE BREMONT"	25	1,1	468	18	36
54	"RUE DELAAGE_1"	25	1,1	467	18	35
156	"RUE DES FOURS A CHAUX"	25	1,1	471	19	49
110	"RUE DE BRISSAC_3"	25	1,1	461	19	44
62	"RUE DELAAGE_3"	24	1,1	466	18	34
5	"RUE MAILLE_2"	24	1,1	466	18	34
104	"BOULEVARD JOSEPH BEDIER"	24	1,0	448	19	47
61	"RUE DELAAGE_2"	24	1,1	466	18	34
153	"RUE FLORENT CORNILLEAU_2"	24	1,0	453	19	39
94	"RUE DUPETIT THOUARS_1"	24	1,1	465	18	34
119	"RUE BOURGONNIER_1"	24	1,0	454	19	40
52	"RUE BOUGERE"	24	1,1	465	18	34
126	"RUE BOURGONNIER_2"	24	1,0	458	19	42
4	"RUE MAILLE_1"	24	1,1	465	18	34
89	"RUE SAINT JACQUES_1"	24	1,0	453	19	39
136	"RUE FRANKLIN_2"	24	1,1	464	19	45
157	"RUE DE LA CHALOUERE_2"	24	1,0	457	19	41
155	"RUE DE LA CHALOUERE_1"	24	1,0	457	19	41
150	"RUE VICTOR HUGO_2"	24	1,0	456	19	41
98	"RUE EVAIN"	24	1,0	453	19	39
162	"RUE SAINT JACQUES_2"	24	1,0	454	19	40
102	"BOULEVARD DE STRASBOURG_1"	24	1,0	455	19	40
152	"RUE FLORENT CORNILLEAU_1"	24	1,0	455	19	40
160	"RUE VICTOR HUGO_3"	24	1,0	452	19	38
130	"RUE SAINT LEONARD_2"	24	1,0	457	19	41
32	"RUE DAVID D'ANGERS"	24	1,1	461	18	32
22	"RUE DE LA ROE_2"	24	1,1	461	18	32
183	"RUE BERANGER"	24	1,0	457	19	41
192	"RUE VICTOR HUGO_LES PONTS-DE-CE_1"	24	1,0	462	20	54
38	"RUE VOLTAIRE"	24	1,1	461	18	32
31	"RUE D'ALSACE"	24	1,1	461	18	32
28	"RUE CHAUSSEE SAINT PIERRE"	24	1,1	461	18	32
103	"BOULEVARD DE STRASBOURG_2"	23	1,0	451	19	38
90	"AVENUE RENE GASNIER"	23	1,0	454	19	40
108	"RUE MIRABEAU"	23	1,0	453	19	39
99	"AVENUE CHANZY"	23	1,0	449	18	37
135	"RUE DU QUINQUONCE_3"	23	1,0	450	18	37
193	"RUE VICTOR HUGO_LES PONTS-DE-CE_2"	23	1,0	460	20	54
141	"RUE DE RIVOLI"	23	1,0	449	18	37

Numéro	Nom de la section	NO2	C6H6	CO	PM10	NOX
112	"RUE CUBAIN"	23	1,0	450	18	37
114	"RUE BLAISE PASCAL_1"	23	1,0	448	18	36
128	"RUE DE LA DEVANSAYE"	23	1,0	455	19	40
138	"RUE FRANCOIS BESNARD"	23	1,0	451	19	38
117	"RUE SAUMUROISE_2"	23	1,0	448	18	36
111	"RUE DE BRISSAC_4"	23	1,0	451	19	38
161	"RUE VICTOR HUGO_4"	23	1,0	446	18	35
113	"RUE CHEVRE"	23	1,0	448	18	36
127	"RUE SAINT LEONARD_1"	23	1,0	450	18	37
115	"RUE BLAISE PASCAL_2"	23	1,0	446	18	35
146	"RUE DU PRE-PIGEON"	23	1,0	444	18	34
149	"RUE VICTOR HUGO_1"	23	1,0	447	18	35
191	"RUE DE GENERAL DE GAULLE_LES PONTS-DE-CE"	23	1,0	454	19	50
84	"RUE LIONNAISE"	23	1,0	443	18	34
120	"RUE VOLNEY_2"	23	1,0	446	18	35
100	"AVENUE VAUBAN"	23	1,0	444	18	34
147	"RUE LUTIN"	23	1,0	443	18	34
180	"BOULEVARD JACQUES PORTET"	23	1,0	437	19	41
129	"RUE DES NOYERS"	22	1,0	446	18	35
109	"RUE CESAR GEOFFRAY"	22	1,0	445	18	35
122	"RUE DE LA MADELEINE_2"	22	1,0	445	18	34
178	"RUE EBLE"	22	1,0	443	18	33
123	"RUE DE LA MADELEINE_3"	22	1,0	442	18	33
116	"RUE SAUMUROISE_1"	22	1,0	445	18	35
95	"RUE DE TERRE NOIRE"	22	1,0	441	18	32
154	"RUE LOUIS BLANC"	22	1,0	444	18	34
97	"RUE LETANDUERE_2"	22	1,0	439	18	31
151	"AVENUE DU GENERAL FOY"	22	1,0	442	18	33
118	"RUE DE LA MADELEINE_1"	22	1,0	441	18	32
105	"RUE AUGUSTE BLANDEAU"	22	1,0	445	18	34
177	"RUE DUPETIT THOUARS_2"	22	1,0	441	18	32
148	"AVENUE PASTEUR"	22	1,0	440	18	32
139	"AVENUE MONTAIGNE"	22	1,0	445	18	35
107	"RUE PIERRE CURIE_2"	22	1,0	439	18	31
125	"RUE D'ASSAS"	22	1,0	440	18	32
181	"RUE D'ANTIOCHE_1"	22	1,0	441	18	32
101	"RUE LETANDUERE_3"	22	1,0	437	18	30
182	"RUE D'ANTIOCHE_2"	22	1,0	440	18	32
121	"RUE BERNIER"	22	1,0	438	18	30
106	"RUE PIERRE CURIE_1"	22	1,0	437	18	30
163	"RUE MONTESQUIEU"	22	1,0	436	19	40
63	"BOULEVARD MARC LECLERC"	22	1,0	439	18	31
190	"RUE NATIONALE_PELLOUAILLES"	21	1,0	439	19	42
171	"RUE SAUMUROISE_3"	21	1,0	436	19	40
196	"RUE JEAN JAURES_TRELAZE_2"	21	1,0	433	19	38
188	"RUE VICTOR HUGO_MONTREUIL-JUIGNE"	21	1,0	441	19	43
187	"AVENUE PIERRE MENDES-FRANCE_AVRILLE_2"	21	1,0	430	19	37
170	"ROUTE DE LA PYRAMIDE_2"	21	1,0	426	19	35
198	"RUE PASTEUR_TRELAZE"	21	1,0	430	19	37
197	"RUE JEAN JAURES_TRELAZE_3"	21	1,0	431	19	38
164	"AVENUE PATTON"	21	1,0	422	18	32
194	"RUE JEAN JAURES_TRELAZE_1"	20	1,0	426	19	34
174	"RUE DE PISE MORTIERS_2"	20	1,0	427	19	35
173	"RUE DE PISE MORTIERS_1"	20	1,0	426	19	35
172	"RUE SAUMUROISE_4"	20	1,0	422	18	32
184	"RUE MAURICE GESLIN"	20	1,0	422	18	33
185	"RUE DE L'EGLISE_ST LAMBERT"	20	1,0	424	18	34
179	"RUE DES PREVOYANTS DE L'AVENIR"	20	1,0	419	18	31
169	"RUE JEAN JAURES_1"	20	1,0	422	18	32
168	"RUE PARMENTIER"	20	1,0	419	18	31
189	"RUE D'ANGERS_CANTENAY-EPINARD"	19	1,0	418	18	30
175	"RUE JEAN JAURES_2"	19	1,0	418	18	30
167	"ROUTE DE LA PYRAMIDE_1"	19	1,0	417	18	30
186	"AVENUE PIERRE MENDES-FRANCE_AVRILLE_1"	19	0,9	415	18	28
195	"RUE WALDECK ROUSSEAU_LES PONTS-DE-CE"	19	0,9	416	18	29
165	"RUE EUGENIE MANSION"	19	0,9	413	18	27
166	"BOULEVARD CHARLES DETRICH"	19	0,9	410	18	26

bibliographie

- [1] Evaluation de la qualité de l'air à proximité de la voie des Berges à Angers – Air Pays de la Loire - avril 2006
- [2] Rouil L. – Evaluation et contraintes d'application des modèles de rue – LCSQA/INERIS (Laboratoire Central de Surveillance de la Qualité de l'Air/ Institut National de l'Environnement Industriel et des Risques) – novembre 2004
- [3] Modélisation de l'exposition à l'échelle de la rue – Laboratoire Central de Surveillance de la Qualité de l'air – Convention 42/2000 – décembre 2001
- [4] Berkowicz R., Ketzell M., Vachon G., Louka P., Rosant J-M., Mestayer P.G. and Sini J-F. – Examination of traffic pollution distribution in a street canyon using the Nantes'99 experimental data and comparison with model results – Water, Air and Soil Pollution : Focus 2, 311-324 – 2002
- [5] Vardoulakis S., Gonzalez-Flesca N., Fisher B.E.A. – Assessment of traffic-related air pollution in two street canyons in Paris : implications for exposure studies – Atmospheric Environment – 36, 1025-1039 – 2002
- [6] Plans de Déplacements Urbains – prise en compte de la pollution de l'air, du bruit et de la consommation d'énergie – co-édition CERTU-ADEME – 1999
- [7] Pierre R. (Ecole Centrale de Nantes) - Cartographie de la pollution dans les principales rues du centre ville de Nantes – rapport de stage pour Air Pays de la Loire – août 2003
- [8] Ho W. (Ecole des Mines de Nantes) – Projet de cartographie dans les rues canyons de l'agglomération angevine – rapport de stage PM_{3E} pour Air Pays de la Loire – juillet 2006
- [9] Optimisation des sorties de modèle de trafic – Nantes – Centre d'Etudes Techniques de l'Equipement de l'Ouest – janvier 2000
- [10] Ntziachristos L., Samaras Z. – COPERT III (computer programme to calculate emissions from road transport) – European Environment Agency – Technical report 49 – novembre 2000
- [11] Transport routier – parc, usage et émissions des véhicules en France de 1970 à 2025 - INRETS – RAPPORT LTE N° 0420 – 2004
- [12] Etat initial de la pollution de fond et de proximité sur la Communauté d'Agglomération de Niort dans le cadre de son PDU – Atmo Poitou-Charentes – juillet 2003
- [13] Rouleau-Tiraoui L. - Les hypothèses des études prospectives à l'horizon 2015 des trafics sur l'agglomération angevine – Note de la Direction Transports – Voiries – Déplacements d'Angers Loire Métropole – août 2006
- [14] Impact de l'évolution des émissions dues au trafic routier sur la qualité de l'air à l'horizon 2010 dans l'agglomération nantaise – Air Pays de la Loire – juillet 2001
- [15] Etude de modélisation du dioxyde d'azote sur l'est de la région des Pays de la Loire – Air Pays de la Loire – décembre 2003
- [16] Modélisation de l'ozone pendant la canicule de l'été 2003 – validation du modèle SAMAA pendant une période de forte pollution – Air Pays de la Loire – décembre 2004
- [17] Gaboriaud L., Noppe J., Odent P., Vinot J-P. – Impact sur la qualité de l'air d'un Plan de Déplacements Urbains : application à l'agglomération de Saint Etienne – Pollution Atmosphérique – n°175 – juillet-septembre 2002
- [18] Evolution à l'horizon 2008 de la qualité de l'air sur les grands axes de l'agglomération bordelaise – AIRAQ – avril 2003
- [19] Mise en œuvre et validation de WinSOPM (Operational Street Pollution Model) sur trois rues de Nantes – Air Pays de la Loire – Janvier 2003

glossaire

abréviations

AASQA	Association agréée de surveillance de la qualité de l'air
ADEME	Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie
BTX	benzène, toluène, xylènes
C ₆ H ₆	benzène
CERTU	Centre d'études sur les réseaux de transport et l'urbanisme
CETE	Centre d'Etudes Techniques de l'Equipement
CO	monoxyde de carbone
COPERT	Computer programme to calculate emissions from road transport
COV	composés organiques volatils
DDE	Direction Départementale de l'Equipement
IGN	Institut Géographique National
INERIS	Institut National de l'environnement industriel et des risques
INRETS	Institut National de recherche sur les transports et leur sécurité
ISIS	société d'ingénierie spécialisée dans les métiers du trafic
LAURE	Loi sur l'air et l'utilisation rationnelle de l'énergie
LCSQA	Laboratoire Central de Surveillance de la Qualité de l'Air
NERI	National Environmental Research Institute (Danemark)
NO	monoxyde d'azote
NO ₂	dioxyde d'azote
NOx	oxydes d'azote (= dioxyde d'azote + monoxyde d'azote)
O ₃	ozone
OSPM	Operational Street Pollution Model
PDU	Plan de Déplacements Urbains
PM ₁₀	particules en suspension de diamètre aérodynamique inférieur à 10 µm
PM _{2,5}	particules en suspension de diamètre aérodynamique inférieur à 2,5 µm
PRQA	Plan Régional pour la Qualité de l'Air
PSQA	Programme de Surveillance de la Qualité de l'Air
PTU	Périmètre des Transports Urbains
Samaa	système de modélisation déterministe de la pollution atmosphérique d'Air Pays de la Loire
TMJA	Trafic Moyen Journalier Annuel
TRAPOS	Optimisation of modelling methods for traffic pollution in streets
µg	microgramme (= 1 millionième de gramme)

définitions

année civile	période allant du 1er janvier au 31 décembre
AOT ₄₀	somme des différences entre les moyennes horaires supérieures à 80 µg/m ³ et 80 µg/m ³ , calculée sur l'ensemble des moyennes horaires mesurées entre 8 h et 20 h de mai à juillet
heure TU	heure exprimée en Temps Universel (= heure solaire)
hiver	période allant du 1er octobre au 31 mars
moyenne 8-horaire	moyenne sur 8 heures
percentile x	niveau de pollution respecté par x % des données de la série statistique considérée
taux de représentativité	pourcentage de données valides sur une période considérée
valeur cible	niveau de pollution fixé dans le but d'éviter à long terme des effets nocifs sur la santé humaine et/ou l'environnement, à atteindre là où c'est possible sur une période donnée

précisions sur les calculs statistiques

Sauf indication contraire, les données de base utilisées dans les calculs statistiques sont bimensuelles pour les BTX, journalières pour les fumées noires et horaires pour les autres paramètres mesurés. Les calculs statistiques annuels sont validés seulement si au moins 75% des données sont valides sur l'année et s'il n'existe aucune période sans donnée de plus de 720 heures consécutives dans l'année. Pour le calcul de l'AOT₄₀, 90% de données valides sont exigées.

air pays de la loire

2, rue Alfred-Kastler – BP 30723 – 44307 Nantes cedex 3

Tél + 33 (0)2 51 85 80 80

Fax + 33 (0)2 40 18 02 18

contact@airpl.org

