

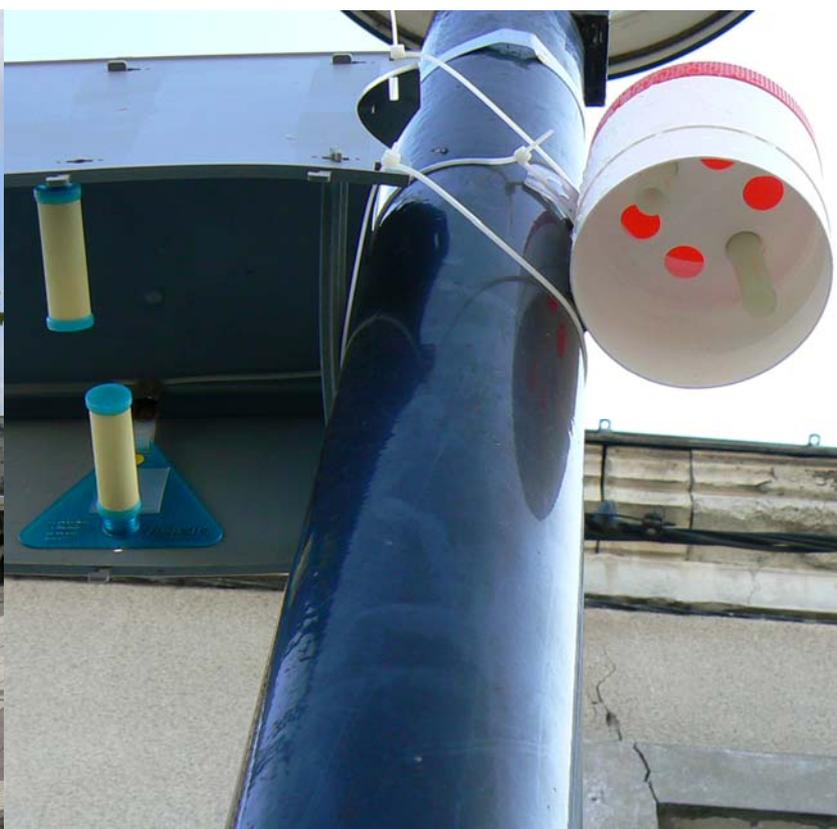
Impact du PDU de l'agglomération angevine



État initial 2008 de la qualité de
l'air dans six rues canyons

rapport de l'état initial

mars 2009



sommaire

synthèse	1
introduction	7
les axes de circulation étudiés	8
les axes susceptibles d'enregistrer une baisse de la pollution.....	8
les axes susceptibles d'enregistrer une hausse de la pollution.....	11
évolution du trafic dans les rues étudiées	12
dispositif de mesure	13
le dispositif mis en œuvre.....	13
des mesures indicatives de benzène par tubes à diffusion passive	14
des mesures indicatives de dioxyde d'azote par tubes à diffusion passive	15
les sites de mesures	16
la période de mesure	18
récapitulatif du dispositif.....	18
les résultats de la campagne de mesure	19
conditions météorologiques durant la période de mesure	19
la pollution en benzène	20
la pollution en dioxyde d'azote	21
la pollution en monoxyde de carbone	24
la pollution par les particules fines	25
la modélisation de la pollution dans les rues "canyon" ..	28
étude d'impact à l'horizon 2010	34
approche mesure.....	34
approche modélisation.....	34
conclusions et perspectives	35
annexes	36
bibliographie	46
glossaire	48
abréviations	48

contributions

Coordination de l'étude - Rédaction : François Ducroz – Florence Guillou, Cartographie : Florence Guillou, Exploitation statistique : Frédéric Penven, Mise en page : Bérangère Poussin, Exploitation du matériel de mesure : Arnaud Tricoire, Photographies : Arnaud Tricoire, Validation : Arnaud Rebours - Luc Lavrilleux.

conditions de diffusion

Air Pays de la Loire est l'organisme agréé 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 de l'environnement, précisé par l'arrêté du 1^{er} août 2007 pris par le Ministère chargé de l'Environnement.

A ce titre et compte tenu de ses statuts, Air Pays de la Loire est garant de la transparence de l'information sur les résultats des mesures et les rapports d'études produits 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 tenu 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.

remerciements

Nous tenons à remercier les services techniques d'Angers Loire Métropole et de la ville d'Angers pour leur collaboration à l'installation de nos appareils de mesure et à la mise en place des comptages début avril.

synthèse

contexte ➤ une demande d'Angers Loire métropole

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.

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.

Dans ce cadre, en 2006, Air Pays de la Loire a réalisé en collaboration avec Angers Loire Métropole, une étude de la qualité de l'air dans les rues « canyons » de l'agglomération angevine. Un des objectifs de cette étude était d'évaluer, par modélisation, l'impact de la mise en œuvre du Plan de Déplacement Urbain sur la qualité de l'air dans 200 rues.

Les résultats de l'étude de modélisation ont montré que la réduction de la pollution sur la période 2002 - 2015 proviendrait 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.

Suite à ces premiers résultats, les élus d'Angers Loire Métropole ont souhaité les préciser et poursuivre l'investigation par la réalisation d'un suivi de la qualité de l'air dans certaines rues.

objectifs ➤ étude de l'évolution de la qualité de l'air de six rues concernées par la mise en place du tramway

L'objectif de cette seconde étude est de caractériser l'évolution de qualité de l'air dans six rues potentiellement influencées par la mise en service du tramway prévue en 2010.

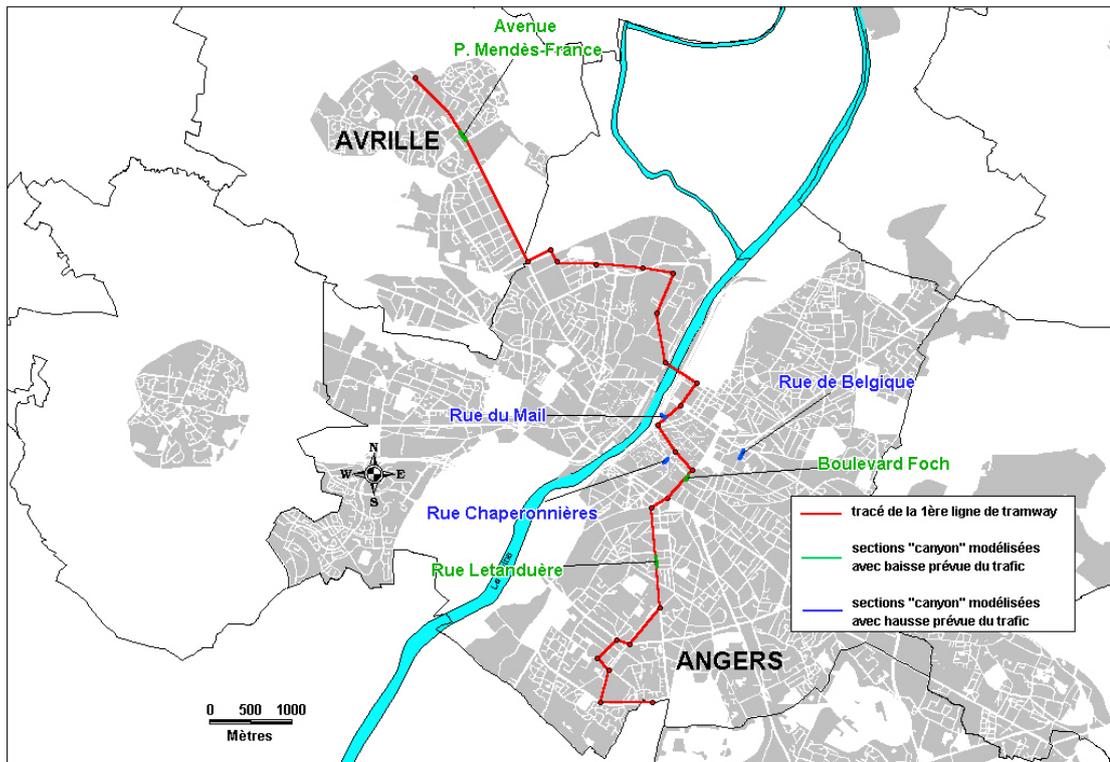
Les résultats de l'état initial, couvrant la période du 3 avril au 5 mai 2008, donc avant le démarrage des travaux, font l'objet du présent rapport.

Un deuxième suivi de la qualité de l'air sera réalisé après la mise en circulation du tramway, selon un protocole de surveillance identique à la phase initiale. Les résultats avant/après seront exploités statistiquement pour évaluer l'impact sur la qualité de l'air des variations de trafic, et notamment pour évaluer la situation en terme de pollution vis-à-vis des seuils réglementaires.

Six axes de circulation ont été sélectionnés :

- 3 axes empruntés par la ligne de tramway susceptibles d'enregistrer une amélioration de la qualité de l'air. Le boulevard Foch, la rue Letanduère à Angers et l'avenue Mendès France à Avrillé ont été les axes retenus par les élus d'Angers Loire Métropole et Air Pays de la Loire en 2007. Plusieurs raisons ont conduit au choix de ces rues : diminution importante de la pollution selon la modélisation (de l'ordre de 15 à 20 %) suite à la mise en œuvre du plan de déplacements urbains, concentrations élevées en polluants en raison des niveaux de trafic et de confinement, voie emblématique du centre ville d'Angers pour le boulevard Foch, forte fréquentation piétonnière et/ou automobile par les habitants de l'agglomération ;
- et parallèlement 3 axes susceptibles d'enregistrer une dégradation de leur qualité de l'air suite à des reports de circulation. Les rues Chaperonnière, du Mail et de Belgique ont été sélectionnées par Air Pays la Loire parce qu'ils seraient concernés, selon la modélisation préliminaire, par une augmentation des concentrations de l'ordre de 10 à 15 % entre 2002 et 2015.

La ville d'Angers a mis en place du 3 au 11 avril 2008 en période hors congés scolaires, des comptages sur les 5 axes angevins.



Localisation des axes de rues sélectionnés

moyens ➔ 2 approches complémentaires

Pour répondre à cet objectif, Air pays de la Loire a proposé deux approches complémentaires :

- une approche mesure ;
- une approche modélisation.

L'étude s'est déroulée en partie pendant des vacances scolaires (12 au 27 avril 2008) et de ponts – jours fériés (1^{er} mai). Durant ces journées, le trafic est plus faible ce qui conduit à une diminution des niveaux de pollution. La période d'étude n'est donc pas représentative d'une année civile. Dans ces conditions, il conviendra de réaliser la phase d'étude après mise en circulation du tramway, dans des conditions de trafic et météorologiques similaires à 2008.

approche mesure : un dispositif de mesure de la pollution d'origine automobile

Le boulevard Foch et la rue Letanduère ont été équipés d'analyseurs automatiques mesurant tous les quarts d'heures les niveaux de pollution en dioxyde d'azote (NO₂), poussières fines (PM₁₀) et monoxyde de carbone (CO), pendant un mois du 3 avril 2008 au 5 mai 2008. En complément des mesures hebdomadaires de benzène par tubes à diffusion passive ont également été réalisées du 3 au 28 avril 2008, dans ces deux rues.

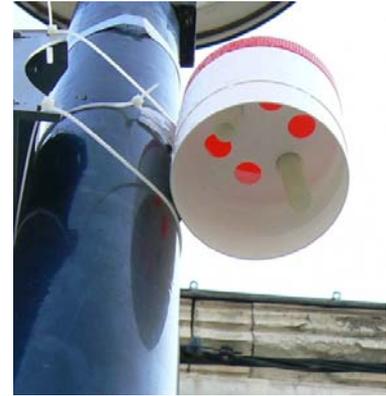
Ce dispositif a été complété par des mesures hebdomadaires de NO₂ et de benzène dans les rues Chaperonnière, du Mail et de Belgique du 3 au 28 avril 2008.



Laboratoire mobile dans le boulevard Foch



Analyseurs automatiques dans la rue Letanduère

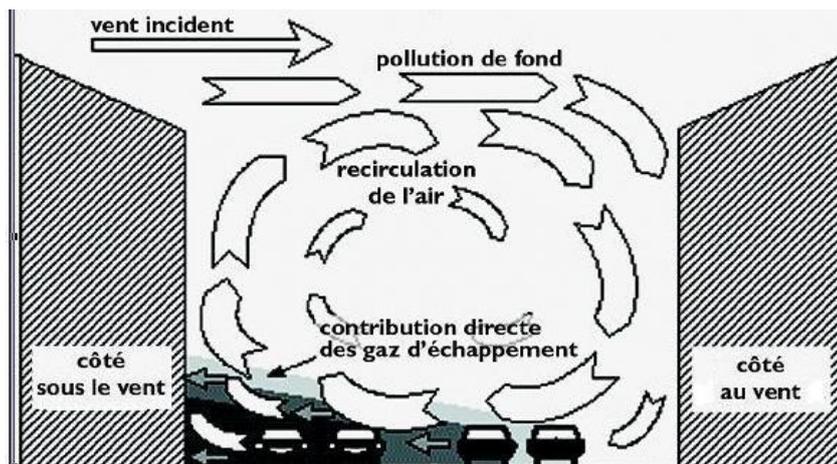


Tubes à diffusion passive mesurant le NO2 dans leur boîte de protection

approche modélisation : le modèle OSPM

C'est le logiciel OSPM (Operational Street Pollution Model) déjà mis en œuvre dans l'étude des 200 rues qui a été retenu. OSPM est un logiciel destiné à la modélisation de la pollution atmosphérique dans les rues de configuration canyon. Il est donc adapté aux rues étudiées. La période modélisée est celle couvrant la campagne de mesures, soit du 3 avril au 5 mai 2008.

OSPM est modèle analytique reposant sur l'analyse physique de l'écoulement dans ce type de rue ainsi que des équations décrivant cet écoulement. La pollution totale modélisée résulte de la somme de la pollution de fond et de la pollution émise par les véhicules circulant dans la rue considérée. La pollution de fond est donnée par les sites urbains de mesure d'Air Pays de la Loire localisés dans l'agglomération. La pollution émise par les véhicules a été calculée à partir des niveaux de trafic mesurés par la ville d'Angers hors période de vacances scolaires et ponts, combinés à un calcul des émissions.



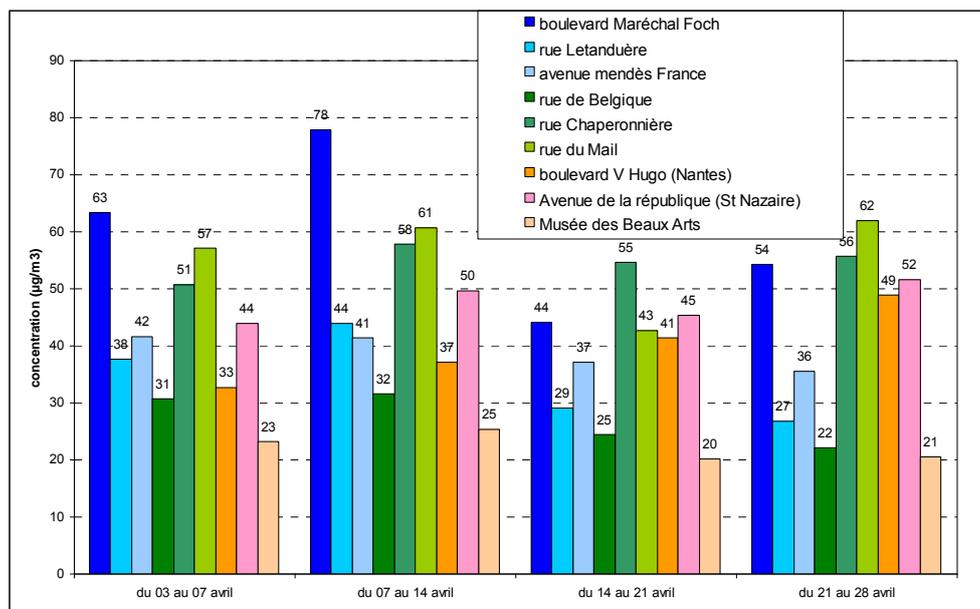
Principe d'entraînement des polluants dans une rue "canyon" par OSPM

résultats des mesures → risque de dépassement de la valeur limite du dioxyde d'azote dans 3 rues

À partir des concentrations en dioxyde d'azote mesurées dans les 6 axes sélectionnés, nous établissons une hiérarchisation de ces rues en fonction de leur niveau décroissant de pollution. Le dioxyde d'azote est choisi car c'est un polluant pour lequel, il existe des risques de dépassement de la valeur limite dans les rues des agglomérations. Cette hiérarchisation établie du 3 au 28 avril est la suivante :

- Le boulevard Foch présente la pollution la plus élevée avec une moyenne de $60 \mu\text{g}/\text{m}^3$ sur cette période. Les concentrations dans les rues du Mail et Chaperonnière sont proches mais légèrement plus faibles (environ $55 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Par comparaison avec l'avenue de la République à Saint-Nazaire qui a bénéficié d'un suivi en continu durant l'année 2008, il existe un risque de dépassement de la valeur limite annuelle 2008 en dioxyde d'azote sur ces 3 axes angevins ;
- La rue Letandière et l'avenue Pierre Mendès France avec des teneurs moyennes respectives de 34 et $39 \mu\text{g}/\text{m}^3$;
- Enfin la rue de Belgique qui présente la pollution moyenne en NO_2 la plus faible des rues sélectionnées ($27 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

La valeur limite annuelle 2008 en dioxyde d'azote devrait être respectée sur ces 3 derniers axes.

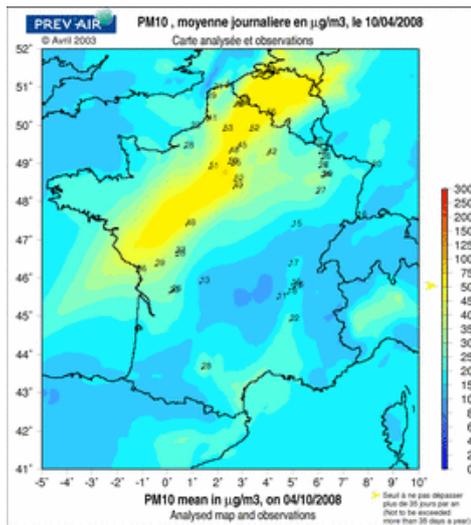


Concentrations hebdomadaires en dioxyde d'azote mesurées du 03 avril au 28 avril 2008

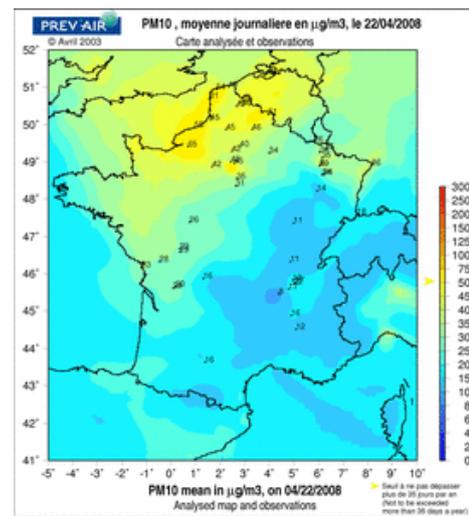
La pollution en monoxyde de carbone mesurée dans le boulevard Foch et la rue Letandière est restée faible durant la période d'étude, comme dans le reste des rues de la région. La valeur limite de $10\,000 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en moyenne sur huit heures a largement été respectée ; la valeur 8-horaire maximale ($1291 \mu\text{g}/\text{m}^3$ sur le boulevard Foch) étant inférieure d'un facteur 7 à cette valeur limite.

La pollution en poussières fines (PM_{10}) a été modérée dans le boulevard Foch et la rue Letandière. Le seuil d'information et de recommandation de $80 \mu\text{g}/\text{m}^3/24$ heures n'a pas été franchi dans ces deux rues. Deux hausses de poussières sont néanmoins détectées les 10 et 22 avril 2008.

Ces épisodes de pollution particulaire sont dus à la conjonction d'émissions locales liées au trafic automobile avec un phénomène de pollution de plus grande échelle qui a touché le Nord de la France. L'ensemble des Pays de la Loire a donc été exposé à ce phénomène.



Carte : moyenne journalière en PM10 le 10/04/08



Carte : moyenne journalière en PM10 le 22/04/08

résultats de la modélisation → une comparaison mesure modèle conforme aux préconisations réglementaires

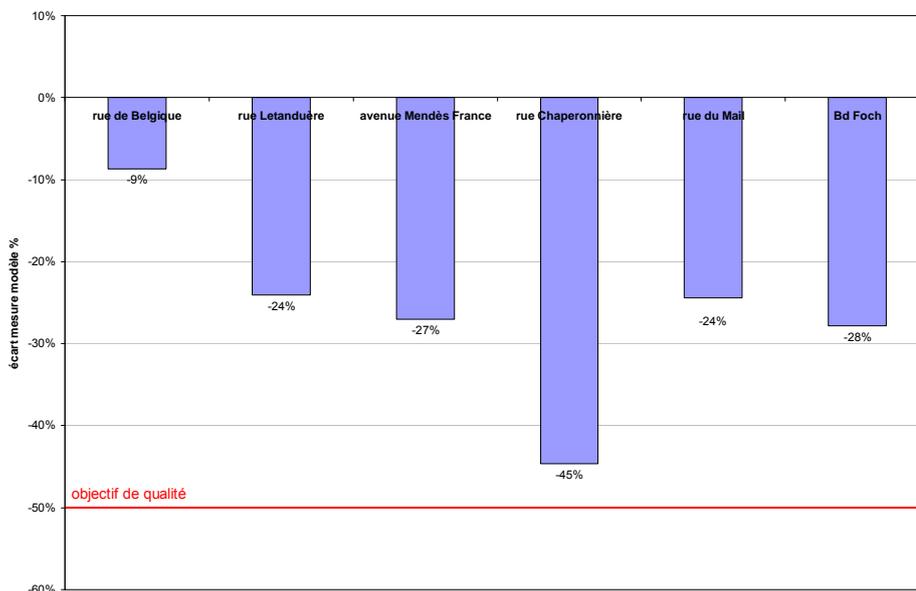
Le principal intérêt de l'approche par modélisation 2008 repose sur l'utilisation de nombreuses données mesurées pour alimenter les calculs, en particulier les mesures de trafic réalisées par la ville d'Angers au début de la campagne. Toutefois, en l'absence de données permanentes dans le centre ville, les estimations de trafic pour les période de congés scolaires ont été établies à partir de profils de circulation routière de la ville de Nantes, ce qui concourt à augmenter l'incertitude des résultats du modèle.

La directive 2008/50/CE précise les objectifs de qualité des données modélisées pour l'évaluation de la qualité de l'air ambiant. L'incertitude pour la modélisation est définie comme l'écart maximal des niveaux de concentration mesurés et calculés.

En l'absence d'objectifs de qualité mensuels, ce sont les critères pour les concentrations annuelles, les plus exigeants, qui ont été retenus.

L'accord mesure modèle, en moyenne sur la période, est conforme à ces objectifs de qualité (écart de 30 % pour le dioxyde d'azote et de 50 % pour le benzène et les particules PM10), excepté pour le dioxyde d'azote rue Chaperonnière et rue du Mail.

Le modèle a tendance à sous estimer les mesures sauf pour les particules PM₁₀. Voici les résultats pour le benzène :



graphique : écart entre les niveaux moyens en benzène modélisés par OSPM du 3 au 28 avril 2008 et les niveaux mesurés durant cette même période sur les 6 rues sélectionnées

Compte tenu de ces résultats, les moyens de modélisation pourront être utilisés pour évaluer l'impact du PDU.

conclusions et perspectives une seconde campagne de mesure proposée en avril 2010

Cette campagne de mesure a permis de qualifier, avant la mise en service la première ligne de tramway, les niveaux des principaux polluants d'origine automobile dans les 6 rues sélectionnées. Elle a également permis de valider les résultats de la modélisation.

Logiquement, les concentrations en polluants dans ces rues sont supérieures au niveau de fond urbain. En particulier, il existe des risques de dépassement de la valeur limite annuelle 2008 pour le dioxyde d'azote dans le boulevard Foch et dans les rues du Mail et Chaperonnière. Les concentrations en benzène sont proches de l'objectif de qualité de $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ sur un an. Concernant les particules, des dépassements du seuil journalier de $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ont été relevés boulevard Foch. La pollution au monoxyde de carbone est faible.

En 2010, après la mise en service du tramway une campagne devra être menée durant une période analogue en termes de conditions climatiques et de trafic automobile avec comme en 2008 une partie des mesures effectuées en période de vacances scolaires. Nous proposons donc de réaliser la future campagne de mesure 2010 du 1^{er} avril au 5 mai 2010.

L'objectif de l'étude d'impact est d'évaluer l'écart de concentrations avant et après la mise en circulation du tramway.

Les mesures de pollution atmosphérique seront comparées à l'aide de traitements statistiques qui permettront de distinguer l'« effet tramway » d'autres variables influençant les niveaux de pollution entre les 2 horizons (météorologie, parc automobile,...). Ainsi, la station permanente du jardin des Beaux Arts servira de référence.

Par principe de construction, les outils de modélisation permettent de s'affranchir des paramètres extérieurs au PDU. Il sera donc possible d'étudier spécifiquement l'impact entre les 2 horizons des variations de pollution dues aux véhicules en circulation.

introduction

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.

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.

Dans ce cadre, en 2006, Air Pays de la Loire a réalisé en collaboration avec Angers Loire Métropole, une étude de la qualité de l'air dans les rues « canyons » de l'agglomération angevine. Un des objectifs de cette étude était d'évaluer, par modélisation, l'impact de la mise en œuvre du Plan de Déplacement Urbain sur la qualité de l'air dans 200 rues.

Les résultats de l'étude de modélisation ont montré que la réduction de la pollution sur la période 2002 - 2015 proviendrait 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.

Suite à ces premiers résultats, les élus d'Angers Loire Métropole ont souhaité les préciser et poursuivre l'investigation par la réalisation d'un suivi de la qualité de l'air dans certaines rues.

- 3 axes de circulation empruntés par le tramway et susceptibles d'enregistrer une amélioration de la qualité de l'air via une baisse de trafic routier. Ce sont le boulevard Maréchal Foch, la rue Letanduère à Angers et la rue Mendès France à Avrillé.

- 3 axes susceptibles d'enregistrer une dégradation de leur qualité de l'air suite à des reports de circulation. Ce sont la rue de Belgique, la rue du Mail et la rue Chaperonnières à Angers.

Pour répondre cet l'objectif, Air pays de la Loire a proposé deux approches complémentaires (une approche mesure et une approche modélisation) à deux horizons d'étude :

avant la mise en place de la première ligne de tramway

et une seconde période après la mise en service du tramway prévue en 2010.

Ce rapport présente les résultats de la caractérisation de l'état initial menée en du 3 avril au 5 mai 2008.

les axes de circulation étudiés

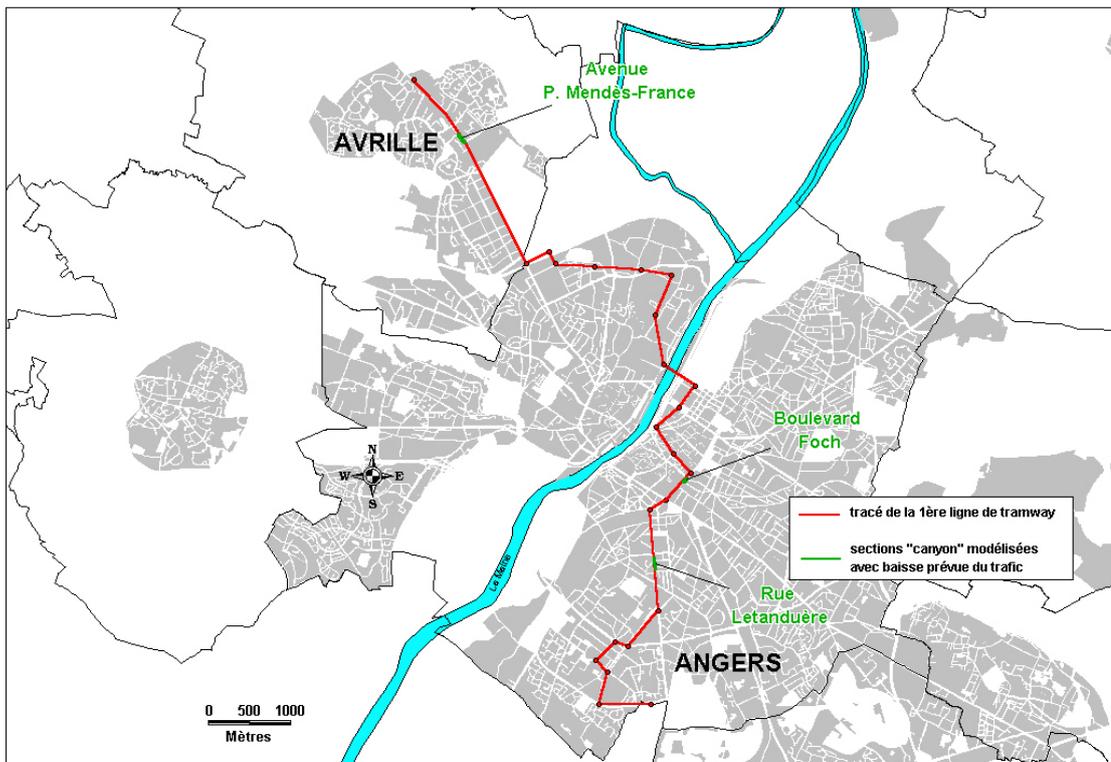
6 axes de circulation ont été considérés :

3 axes de circulation susceptibles d'enregistrer une amélioration de la qualité de l'air suite à la mise en oeuvre de la première ligne de tramway.

3 axes susceptibles d'enregistrer une dégradation de leur qualité de l'air suite à des reports de circulation.

les axes susceptibles d'enregistrer une baisse de la pollution

Durant l'étude de modélisation de 2006, 15 sections de rues « canyons parcourues par la ligne de tramway entre Avrillé et le sud d'Angers ont été prises en compte par Air Pays de la Loire [11].



Carte 1 : localisation des 3 sections « canyons » modélisées sur la première ligne de tramway Avrillé – Angers-sud

Parmi ces 15 sections, 13 tronçons de rues sont concernés par un impact positif de la mise en service du tramway. Ils se situent dans l'avenue Mendès France à Avrillé, dans les rues de la Roë, Letanduière et dans le boulevard Foch à Angers.

- les 3 tronçons sélectionnés en lien avec une baisse attendue de la pollution sont le boulevard Maréchal Foch entre la rue Saint Haubin et la rue Saint Julien, la rue Letandière entre l'avenue de Chanzy et la rue du général Bizot et l'avenue Mendès France entre la rue de la gare et l'avenue de la petite Garde (cf. carte ci-dessus). Ces tronçons de rues ont été retenus par les élus d'Angers Loire Métropole et Air Pays de la Loire en 2007. Plusieurs raisons ont conduit au choix de ces rues : diminution importante de la pollution selon la modélisation (de l'ordre de 15 à 20 %) suite à la mise en œuvre du plan de déplacements urbains, concentrations élevées en polluants en raison des niveaux de trafic et de confinement, voie emblématique du centre ville d'Angers pour le boulevard Foch, forte fréquentation piétonnière et/ou automobile par les habitants de l'agglomération.

Le tableau suivant récapitule les principales caractéristiques de ces tronçons de circulation :

nom de la voie	trafic automobile actuel et futur						environnement actuel de la voie de circulation			
	TMJA modélisé 2002 (nb veh/jour)	TMJA mesuré 2008 (nb. Veh/jour)	TMJA modélisé 2015 avec projet de ligne de tramway (nb veh/jour)	écart 2015 avec tramway 2002	écart 2015 sans tramway 2002	écart 2015 avec tramway -2008	nombre de voie de circulation	Largeur moyenne de la rue L (m)	Hauteur moyenne du bâti de chaque coté de la rue H (m)	caractère encaissé de la rue (H/L)
Boulevard Foch (Angers)	20000	17545	13000	-35%	25%	-26%	2x3	35,6	21,6	0,61
rue Letandière(Angers)	4000	5464	1000	-75%	25%	-82%	1+1 (bus)	13,1	7,9	0,6
Avenue Pierre Mendès France (Avrillé)	14000	16230	7000	-50%	0%	-57%	2x1	12,4	6,0	0,49

tableau 1 : caractéristiques des voies de circulation étudiées

Les 3 figures suivantes représentent en coupe transversale les projets d'aménagement des 3 axes étudiés.

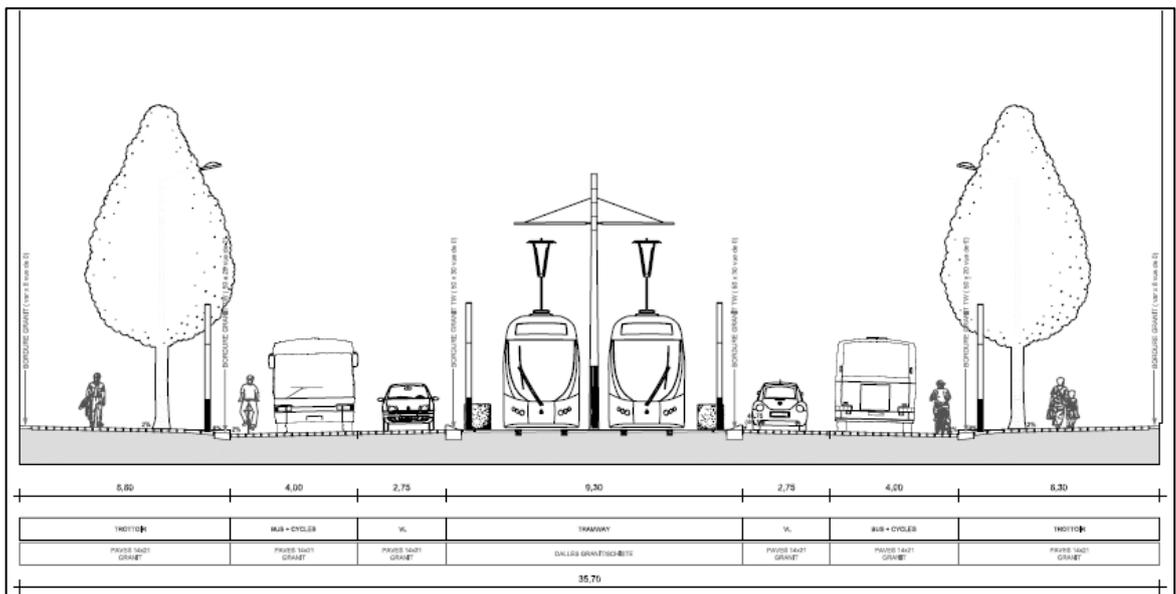


Figure 1 : coupe transversale du projet d'aménagement du boulevard Foch (source Angers Loire Métropole)

Le futur aménagement du boulevard Foch prévoit un élargissement des trottoirs. Le trafic automobile ne se fera que sur 2 voies de circulation les deux autres voies étant réservées aux bus. Le centre de la chaussée sera dédié à la ligne de tramway.

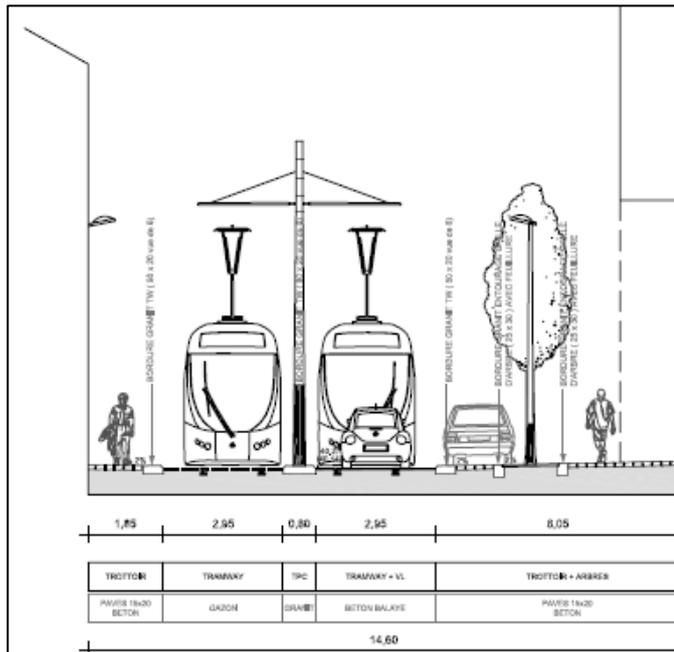


Figure 2 : coupe transversale du projet d'aménagement de la rue Letandière (source Angers Loire Métropole)

Dans la rue Letandière, après la mise en oeuvre de la ligne de tramway, les voitures ne circuleront que sur une voie partagée avec le tramway ; la seconde voie étant réservée au tramway. Les bus ne circuleront plus dans ce tronçon.

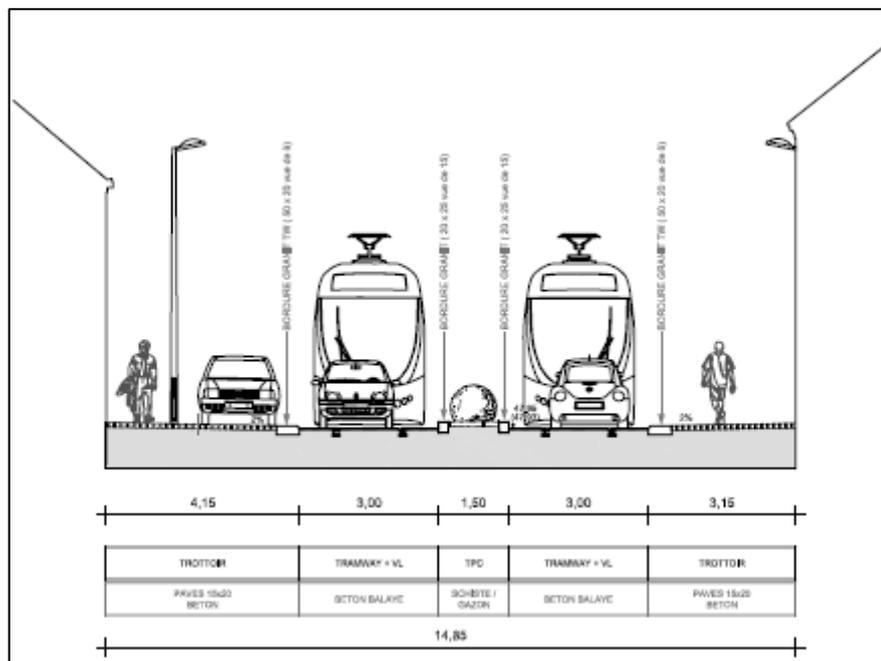
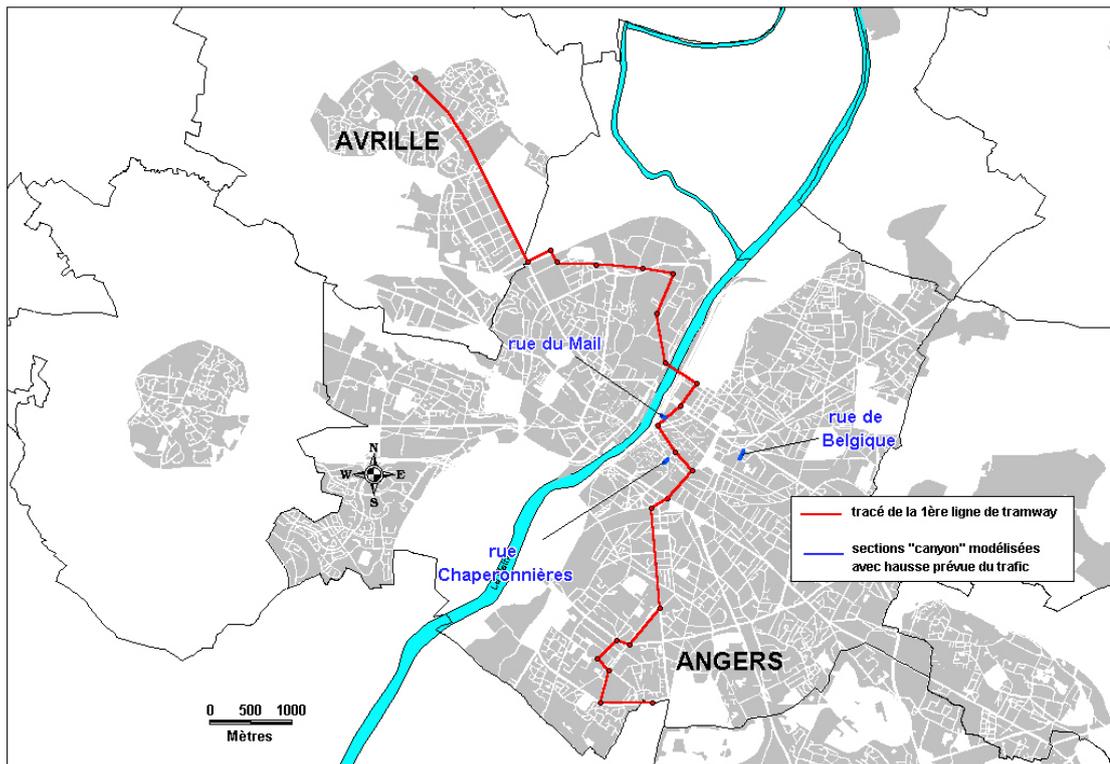


Figure 3 : coupe transversale du projet d'aménagement de l'avenue Mendès France (source Angers Loire Métropole)

Dans la rue Mendès France, les deux voies de circulation seront empruntées à la fois par les automobiles et le tramway.

les axes susceptibles d'enregistrer une hausse de la pollution

Le choix de ces rues est basé sur la prise en compte, en raison de reports de trafic, d'une augmentation significative du trafic automobile entre 2002 et 2015 selon les simulations des modèles mis en oeuvre par la société ISIS pour le compte d'Angers Loire Métropole, d'une part, et sur le caractère canyon minimal de ces rues de nature à empêcher la dispersion de la pollution, d'autre part. Les rues Chaperonnières, du Mail et de Belgique ont été sélectionnées par Air Pays la Loire (cf. carte suivante). Selon la modélisation préliminaire, une augmentation des concentrations de l'ordre de 10 à 15 % entre 2002 et 2015 y est attendue.



Carte 2 : localisation des rues Chaperonnières, du Mail et de Belgique

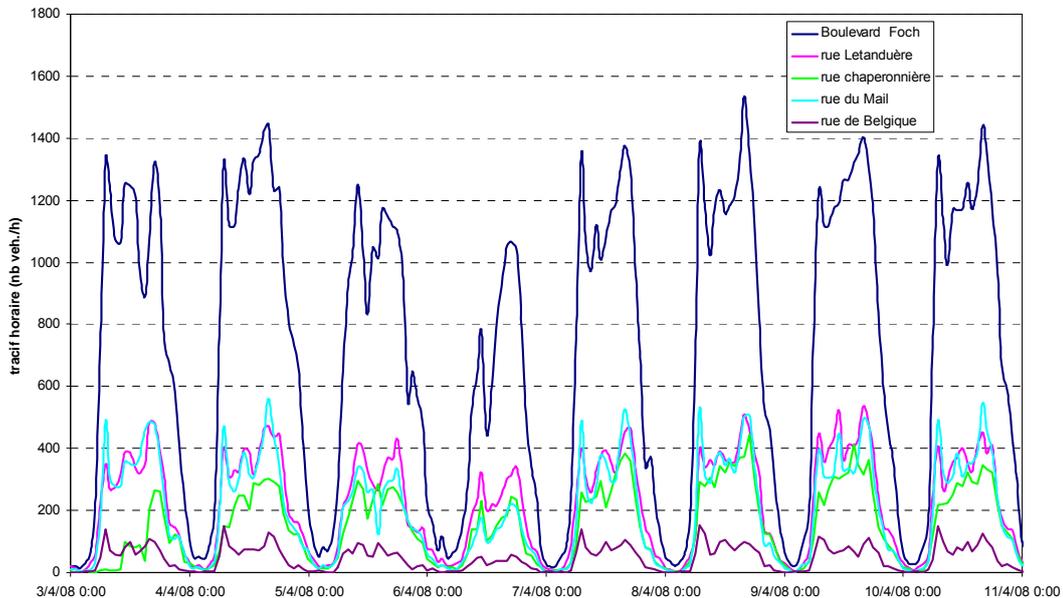
Le tableau ci-après résume les différentes caractéristiques de ces rues en termes de trafic automobile présent et futur et présente l'environnement actuel de la rue.

nom de la voie	trafic automobile actuel et futur						environnement actuel de la voie de circulation			
	TMJA modélisé 2002 (nb veh/jour)	TMJA mesuré 2008 (nb. Veh/jour)	TMJA modélisé 2015 avec projet de ligne de tramway (nb veh/jour)	écart 2015 avec tramway 2002	écart 2015 sans tramway 2002	écart 2015 avec tramway -2008	nombre de voie de circulation	Largeur moyenne de la rue L (m)	Hauteur moyenne du bâti de chaque coté de la rue H (m)	caractère encaissé de la rue (H/L)
Rue du Mail	2000	4906	7000	250%	100%	43%	1	9,7	11,0	1,13
rue Chaperonnières	3000	3911	7000	133%	33%	79%	1	17,5	17,8	1,01
Rue de Belgique	3000	1127	10000	233%	67%	787%	1	9,6	8,0	0,83

tableau 2: caractéristique des voies de circulation susceptibles d'enregistrer une hausse de la pollution

évolution du trafic dans les rues étudiées

Dans le cadre de cette étude, des comptages ont été effectués par les services techniques de la Ville d'Angers dans le boulevard Foch, les rues Letandière, du Mail et de Belgique du 3 au 11 avril 2008 en période hors congés scolaires. Le graphique suivant montre l'évolution horaire du trafic routier dans les 5 axes étudiés.



Graphique 1 : évolution horaire du trafic routier sur les différents axes de circulation

Avec un trafic moyen journalier de 17 500 véhicules, la circulation dans le boulevard Foch est respectivement 3 à 4 fois plus élevée que celles des rues Letandière, Chaperonnières, et du Mail et 15 plus élevée que dans la rue de Belgique.

Sur l'ensemble des sites nous observons la même évolution temporelle avec :

- au sein de la journée de pics de circulation le matin et en soirée,
- une circulation sensiblement identique du lundi et vendredi,
- une circulation le week-end inférieur d'un facteur 1.3 à 1.7 selon les rues par rapport aux autres jours de la semaine, notamment le dimanche où la circulation est 2 fois plus faible que celle enregistrée du lundi au vendredi (cf. tableau suivant).

	Boulevard Foch	Rue Letandière	Rue Chaperonnières	Rue du Mail	Rue de Belgique
Rapport moyen entre le trafic enregistré du lundi au vendredi et celui du week end	1.4	1.3	1.4	1.7	1.6
Rapport moyen entre le trafic enregistré du lundi au vendredi et celui du dimanche	1.7	1.6	1.9	2.5	2.2

Tableau 3 : Rapport entre les trafics routiers enregistrés le week-end, le dimanche et les autres jours de la semaine

Ces données ont notamment permis d'alimenter l'étude de modélisation. Toutefois, en l'absence de comptages permanents dans le centre ville, les estimations de trafic pour les période de congés scolaires ont été établies à partir de profils de circulation routière de la ville de Nantes, ce qui concourt à augmenter l'incertitude des résultats du modèle.

dispositif de mesure

le dispositif mis en œuvre

les principaux polluants d'origine automobile

Des mesures horaires d'oxydes d'azote, de poussières fines (PM₁₀), de monoxyde de carbone ont été réalisées à l'aide d'analyseurs automatiques sur 2 axes étudiés (boulevard Foch et rue Letandrière). Elles ont été complétées par des mesures hebdomadaires par tubes à diffusion passive, de benzène sur l'ensemble des 6 rues sélectionnées et de dioxyde d'azote dans les rues Chaperonnières, de Belgique, du Mail et l'avenue Mendès France.

des mesures de NO_x, CO, PM₁₀, en continu

Les oxydes d'azote (NO_x) sont mesurés selon la norme NFX 43.018 ; le monoxyde de carbone selon la norme EN 14626. Les poussières fines de diamètre inférieur à 10 µm (PM₁₀) sont mesurées en utilisant la méthode gravimétrique TEOM (pesées à fibration de fréquence).

NB : depuis le 1^{er} janvier 2007, les mesures de poussières PM₁₀ – TEOM sont ajustées à partir de sites de référence. Un module additionnel, le FDMS¹ développé par le concepteur du TEOM, permet d'estimer en temps réel la quantité de poussières volatiles et donc de disposer de mesures automatiques équivalentes à la méthode de référence. La solution retenue en France pour ajuster les mesures de l'ensemble des analyseurs TEOM, a été de mettre en place dans une cinquantaine de sites de référence répartis sur le territoire national, un couple d'appareils TEOM, l'un équipé avec un module FDMS et l'autre sans. L'écart entre les résultats de mesure des deux appareils est calculé en permanence puis ajouté aux résultats de tous les autres sites de mesure de la région, en partant du principe que les épisodes de pollution par les poussières volatiles sont des épisodes de grande ampleur géographique.

Dans les Pays de la Loire, deux sites de référence de surveillance des poussières PM₁₀ ont été installés pour accueillir un module FDMS. Ils permettent depuis le 1^{er} janvier 2007 d'ajuster en temps réel les mesures des autres sites de mesure et notamment les mesures effectuées à l'aide de moyens mobiles.

En résumé conformément aux préconisations nationales, les teneurs en poussières fines enregistrées dans cette étude ont été ajustées pour tenir compte de la fraction volatile de l'aérosol.

Le suivi du bon fonctionnement des analyseurs est périodiquement réalisé, notamment lors d'opérations de vérification ou d'étalonnage. Ces opérations peuvent être manuelles ou automatiques, réalisées sur site ou télécommandées.

Les opérations d'étalonnage sont effectuées avec des étalons de transfert raccordés au laboratoire d'étalonnage de niveau 2 d'Air Pays de la Loire (airpl.lab). Ce laboratoire est accrédité Cofrac 17025 dans le domaine " chimie et matériaux de référence – mélanges de gaz " depuis le 1^{er} août 2004.

¹ filter dynamics measurement system



Photo 1: analyseur d'oxydes d'azote

des mesures indicatives de benzène par tubes à diffusion passive

Des mesures de benzène par tubes à diffusion passive ont également été réalisées. La méthode de mesure par tubes à diffusion passive est basée sur le transport par diffusion moléculaire du benzène de l'air extérieur vers une zone de piégeage (surface adsorbante) constituée d'un adsorbant spécifique. Le benzène est ainsi retenu et s'accumule sur cette surface. Dans la pratique, le tube à diffusion passive est exposé dans l'air ambiant puis envoyé en laboratoire pour l'analyse du benzène piégé sur la cartouche adsorbante (CEN 14662-4).

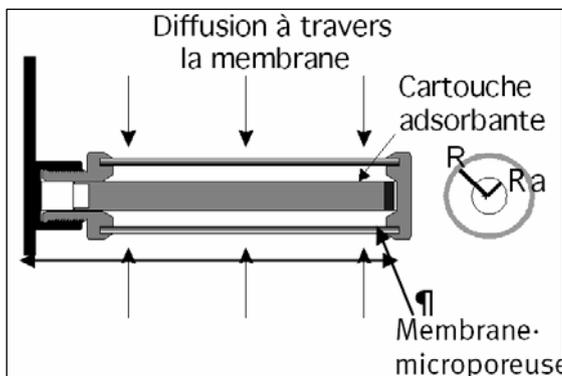


Figure 4 : Principe de mesure du tube Radiello mesurant le benzène



Photo 2 : tubes à diffusion passive Radiello mesurant le benzène installés dans leur boîte de protection

Les tubes utilisés dans cette étude sont commercialisés par la société Radiello® et analysés au laboratoire d'Airparif (Lasair). Ils font l'objet de plusieurs études de validation en chambre d'exposition [1], [2], [3], [4] et en conditions réelles [5]. Cette méthode de mesure est considérée comme une mesure indicative (incertitude inférieure à 30 %) au sens de la directive 2008/50/CE du 21 mai 2008.

Cette méthode a l'avantage de ne pas nécessiter d'alimentation électrique, d'être peu onéreuse et facile à mettre en oeuvre. En revanche, des mesures à des pas de temps très courts (du quart-d'heure ou de l'heure) comme celles effectuées à l'aide des analyseurs automatiques ne peuvent être réalisées. En effet, les tubes à diffusion passive doivent être exposés plusieurs jours sur le terrain. Pour la mesure du benzène, les tubes ont été exposés sur sites durant 7 jours. Les concentrations obtenues correspondent donc à des **teneurs moyennes sur 7 jours**. Pour cette étude chaque site de mesure était doté de deux tubes à diffusion (doublons). L'écart de concentration entre ces 2 mesures permet d'évaluer la répétabilité de la technique de mesure. Sur la totalité des doublons mis en place l'écart relatif moyen entre deux tubes ne dépasse pas 10 % (9.4 %) ; l'écart absolu maximal en $\mu\text{g}/\text{m}^3$ demeurant inférieur à $0.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de benzène. Ceci confirme la bonne répétabilité de la méthode diffusive pour la mesure du benzène. La moyenne des doublons a donc été considérée dans l'étude.

des mesures indicatives de dioxyde d'azote par tubes à diffusion passive

Le principe de mesure est identique à celui du benzène par tubes à diffusion c'est-à-dire une diffusion moléculaire du dioxyde d'azote présent dans l'air vers une surface adsorbante recouverte d'une adsorbant spécifique au NO₂. Comme pour le benzène, les tubes sont exposés 7 jours. Les concentrations mesurées correspondent donc à des teneurs moyennes sur 7 jours. Les tubes utilisés dans cette étude sont commercialisés par la société Passam® et analysés par le laboratoire d'Airparif (Lasair). Ils ont fait l'objet de plusieurs études de validation [6, 7, 8, 9]. Ces mesures sont considérées comme indicatives (incertitudes inférieures à 25 %) au sens de la directive 2008/50/ CE du 21 mai 2008.

Pour cette étude, chaque site de mesure était doté de deux tubes à diffusion (doublons). L'écart de concentration entre ces 2 mesures permet d'évaluer la répétabilité de la technique de mesure. Sur la totalité des doublons mis en place l'écart relatif moyen entre deux tubes est de 5 % ; l'écart absolu maximal en µg/m³ demeurant inférieur à 6 µg/m³ de dioxyde d'azote. Ceci confirme la bonne répétabilité de cette méthode. La moyenne des doublons a donc été considérée dans l'étude.

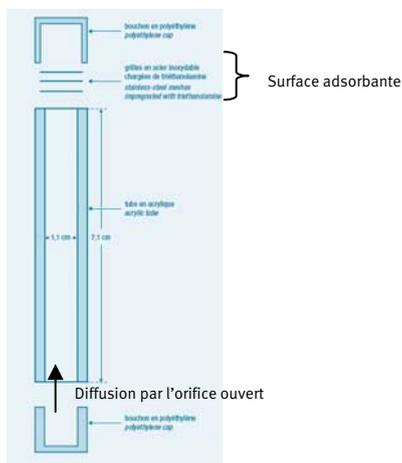


Figure 5 : Schéma d'un tube Passam

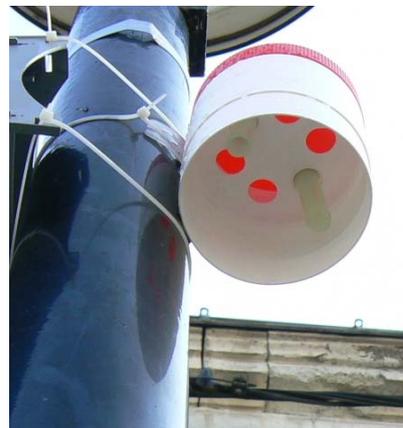


Photo 3 : Tubes Passam dans sa boîte de protection

les sites de mesures

Le boulevard Maréchal Foch a été instrumenté d'un laboratoire mobile qui mesure les oxydes d'azote, les poussières fines (PM10) et le monoxyde de carbone. Des mesures de benzène par tubes à diffusion passive ont été également effectuées. La localisation du site a été validée avec Angers Loire Métropole et la ville d'Angers lors d'une visite sur site le 10 octobre 2007. Le laboratoire mobile a installé au droit du Magasin Eurodif (cf. photo ci-après).



Photo 4 : Laboratoire mobile au niveau du 23 boulevard Foch

La rue Letanduère a été instrumentée de deux armoires abritant des analyseurs automatiques d'oxydes d'azote, de poussières fines (PM10) et de monoxyde de carbone. Ces mesures horaires sont également complétées par des mesures hebdomadaires de benzène par tubes à diffusion passive. Les armoires ont été installées au droit du 90 rue Letanduère (localisation validée avec Angers Loire Métropole et la ville d'Angers ; cf. photo suivante).



Photo 5 : Armoires accueillant les appareils automatiques au droit du 90 Letanduère.

L'avenue Mendès France à Avrillé a été équipée de tubes à diffusion passive mesurant le dioxyde d'azote et le benzène. Les tubes à diffusion ont été installés sur un lampadaire au droit du 56 avenue Mendès France (cf. photo suivante).



Photo 6 : Tubes à diffusion passive mesurant le benzène et le NO₂ au 56 avenue Mendès France

Les rues de Belgique, du Mail et Chaperonnière ont été pourvues chacune de tubes à diffusion passive mesurant la teneur hebdomadaire en benzène et dioxyde d'azote (cf. photos suivantes).



Photo 7 : Tubes à diffusion dans la rue Chaperonnière



Photo 8 : Tubes à diffusion passive dans la rue du mail



Photo 9 : Tubes à diffusion passive dans la rue de Belgique

la période de mesure

Cette première phase d'étude s'est déroulée du 3 avril au 5 mai 2008. Durant cette période, les analyseurs automatiques installés boulevard Foch et rue Letanduère ont fonctionné en continu.

Parallèlement 4 séquences de mesure de NO₂ et benzène ont été effectuées à l'aide des tubes à diffusion (cf. tableau suivant) du 3 au 28 avril 2008.

période
du 03 au 07 avril
du 07 au 14 avril
du 14 au 21 avril
du 21 au 28 avril

Tableau 4 : séquence de mesure du benzène et du dioxyde d'azote par tubes à diffusion passive

L'étude s'est déroulée en partie pendant des vacances scolaires (12 au 27 avril 2008) et de ponts – jours fériés (1^{er} mai). Durant ces journées, le trafic est plus faible ce qui conduit à une diminution des niveaux de pollution. La période d'étude n'est donc pas représentative d'une année civile. Dans ces conditions, il conviendra de réaliser la phase d'étude après mise en circulation du tramway, dans des conditions de trafic et météorologiques similaires à 2008.

récapitulatif du dispositif

Le tableau suivant résume le dispositif mis en place.

Site de mesure	Polluants mesurés	Appareillage mis en oeuvre	Périodes de mesure
Boulevard Maréchal Foch	NO _x , PM ₁₀ , CO, benzène	Laboratoire mobile Tubes à diffusion passive	03/04/ au 05/05/08 03/04 au 28/04/08
Rue Letanduère	NO _x , PM ₁₀ , CO, benzène	Analyseurs automatiques Tubes à diffusion passive	03/04/ au 05/05/08 03/04 au 28/04/08
Avenue Mendès France (Avrillé)	NO ₂ , benzène	Tubes à diffusion passive	03/04 au 28/04/08
rue Chaperonnière	NO ₂ , benzène	Tubes à diffusion passive	03/04 au 28/04/08
rue du Mail	NO ₂ , benzène	Tubes à diffusion passive	03/04 au 28/04/08
rue de Belgique	NO ₂ , benzène	Tubes à diffusion passive	03/04 au 28/04/08

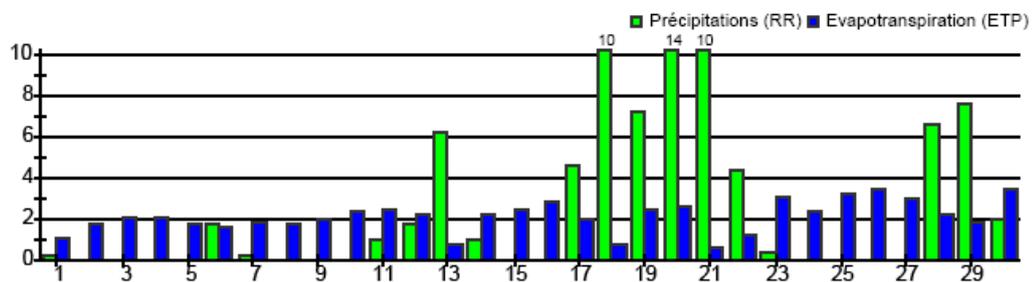
Tableau 5 : dispositif mis en place

les résultats de la campagne de mesure

conditions météorologiques durant la période de mesure

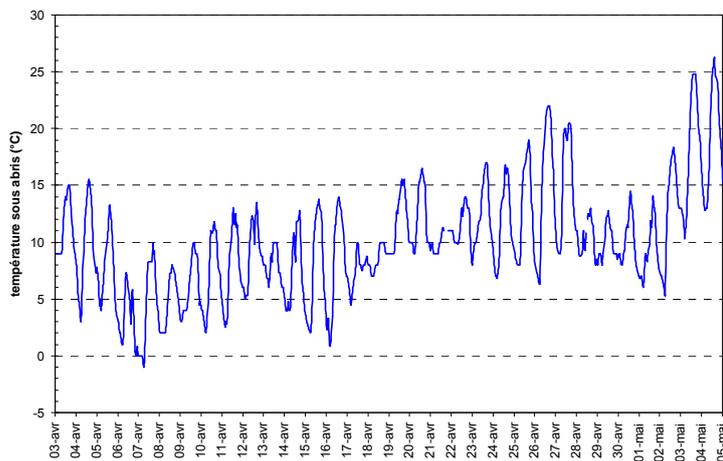
Selon Météo France, le mois d'avril 2008 a été particulièrement pluvieux avec 79.4 mm de pluie soit 54 % de plus que la normale (51.4 mm). Les pluies se sont concentrées du 13 au 22 avril puis du 28 au 30 avril (cf. graphique suivant)

PRECIPITATIONS et EVAPOTRANSPIRATION (mm)



Graphique 2 : Précipitation et évapotranspiration (mm H₂O) durant le mois d'avril 2008 enregistrées à la station MétéoFrance de Beaucouzé (source Météo France).

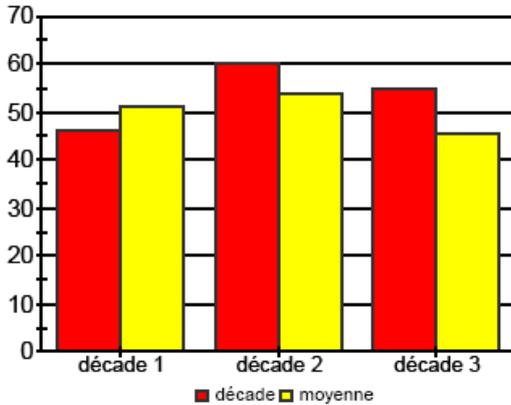
La température moyenne sous abri (10.2 °C) est conforme à la normale (10.2 °C) mais cela cache des disparités. La fin de mois (2 jours à plus de 20°C) et début mai tandis ont été doux tandis que des températures froides pour la saison étaient enregistrées jusqu'au 18 avec même une gelée sous abri le 7 avril (-1°C).



Graphique 3 : évolution de la température horaire sous abri (°C) enregistrée à la station Météo France de Beaucouzé (source Météo France).

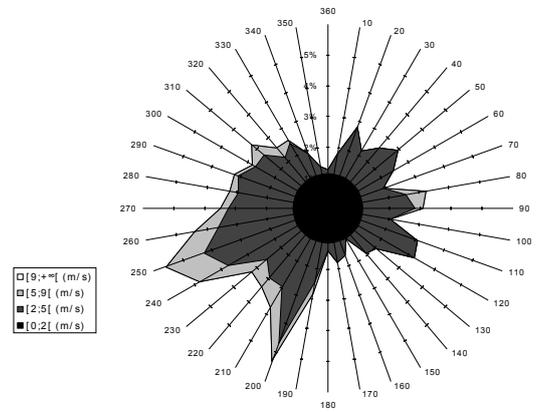
Le soleil a brillé un peu plus que la moyenne (+7%). Les vents ont soufflé majoritairement du Sud-Ouest avec des rafales supérieures à 60km/h les 29 et 30 (cf. graphiques suivants).

INSOLATION (heures)



Durée totale : 161h06
normale : 150h38

Graphique 4 : Durée totale d'insolation (heure) enregistrées à la station Météo France de Beaucouzé (source Météo France).

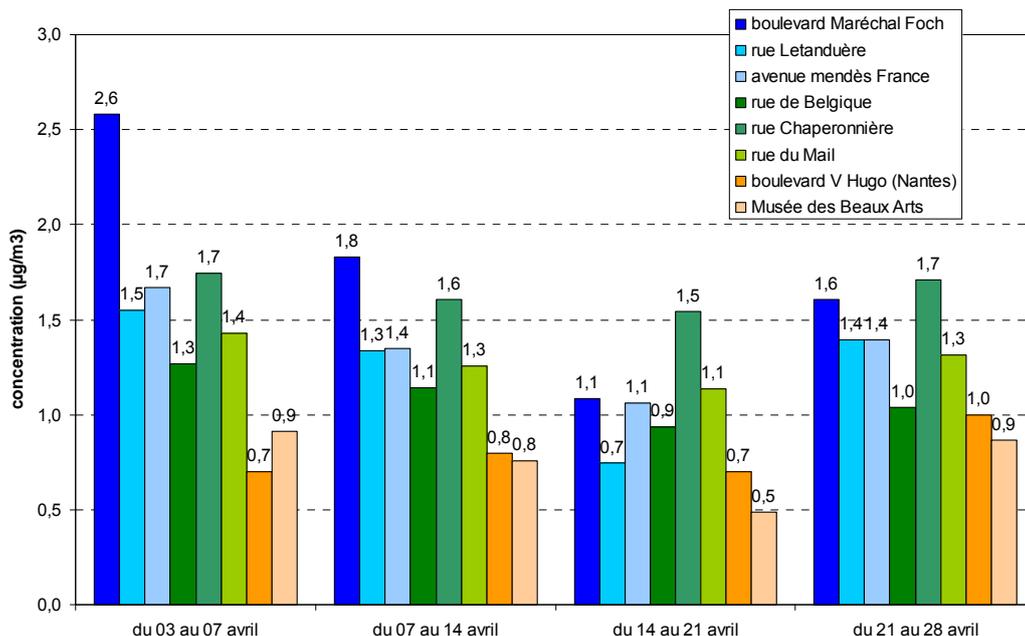


Graphique 5 : Rose des vents enregistrée à la station Météo France de Beaucouzé (source Météo France).

De façon générale, les températures froides associées à des vents faibles favorisent les émissions et la stagnation des polluants dans les basses couches de l'atmosphère, tandis qu'une pluviométrie importante favorise le lessivage des polluants atmosphériques. Par ailleurs, le rayonnement solaire favorise la formation d'ozone.

la pollution en benzène

Le graphique suivant présente les teneurs hebdomadaires en benzène mesurées par tubes à diffusion passive dans les 6 axes sélectionnés. Les concentrations en benzène enregistrées par tubes à diffusion passive sur le site urbain du musée des Beaux-Arts à Angers et par analyseur automatique sur le site de trafic du boulevard Victor-Hugo à Nantes sont également reportées à titre indicatif.



Graphique 6 : concentrations hebdomadaires en benzène mesurées du 3 avril au 28 avril 2008

Si l'on classe les différentes rues en fonction des niveaux décroissants de pollution en benzène nous retrouvons la hiérarchisation suivante :

Le boulevard Foch qui présente les niveaux de benzène les plus élevés ($1.8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en moyenne sur la période d'étude).

La rue Chaperonnière avec une teneur moyenne de $1.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Les rues Letandière, du Mail et l'avenue Mendès France avec des concentrations moyennes sensiblement équivalents de $1.3 - 1.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Enfin, la rue de Belgique qui présente les niveaux les plus faibles ($1.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

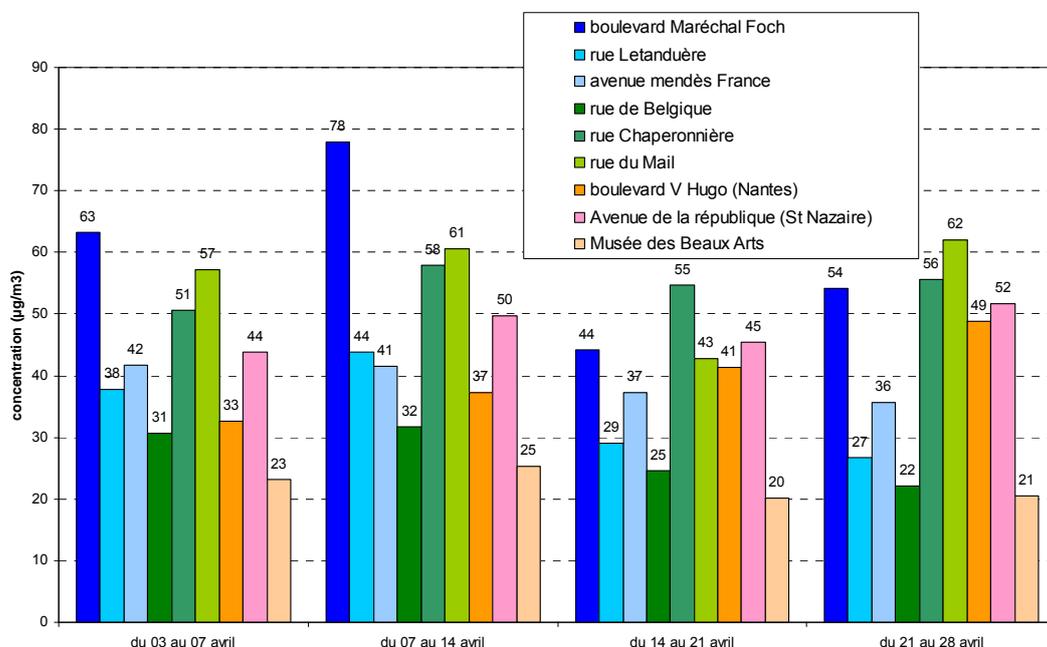
Il est à noter que la pollution en benzène dans le boulevard Victor-Hugo à Nantes est particulièrement faible durant la période d'étude et comparable à celle mesurée sur le site urbain du Musée des Beaux-Arts à Angers.

À titre informatif, l'objectif de qualité est fixé par le décret du 15 février 2002 à $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en moyenne sur un an. Les valeurs mesurées lors de la présente campagne sont proches de cet objectif de qualité. Les risques de dépassement de la valeur limite annuelle 2008 sont très faibles.

L'évolution temporelle des concentrations est cohérente entre les différentes rues avec notamment les teneurs les plus faibles mesurées durant la semaine du 14 au 21 avril 2008. Des conditions météorologiques propices à la dispersion des polluants notamment par la présence de pluies abondantes couplées avec un trafic automobile moindre lié aux vacances scolaires expliquent cette évolution.

la pollution en dioxyde d'azote

Le graphique suivant montre l'évolution temporelle des concentrations hebdomadaires en dioxyde d'azote mesurées dans les 6 rues.



Graphique 7 : concentrations hebdomadaires en dioxyde d'azote mesurées du 03 avril au 28 avril 2008

Le classement des différentes rues en fonction des niveaux décroissants de dioxyde d'azote s'établit comme suit :

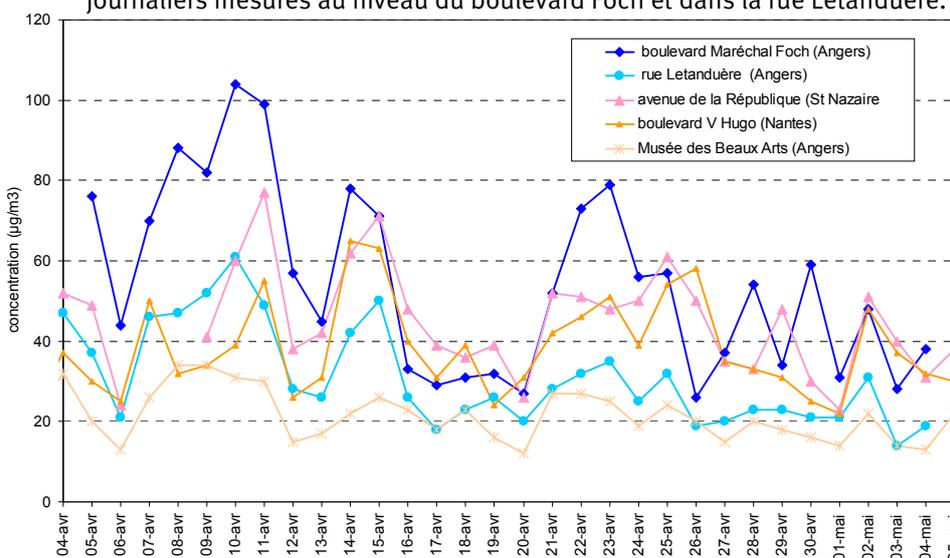
- le boulevard Foch présente la pollution la plus élevée avec une moyenne de $60 \mu\text{g}/\text{m}^3$ sur cette période. Les concentrations dans les rues du Mail et Chaperonnières sont proches mais légèrement plus faibles (environ $55 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Par comparaison avec l'avenue de la République à Saint-Nazaire qui a bénéficié d'un suivi en continu durant l'année 2008, il existe un risque de dépassement de la valeur limite annuelle 2008 en dioxyde d'azote sur ces 3 axes angevins,
- la rue Letandière et l'avenue Pierre Mendès France avec des teneurs moyennes respectives de 34 et $39 \mu\text{g}/\text{m}^3$,
- enfin la rue de Belgique qui présente la pollution moyenne en NO_2 la plus faible des rues sélectionnées ($27 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

La valeur limite annuelle 2008 en dioxyde d'azote devrait être respectée sur ces 3 derniers axes.

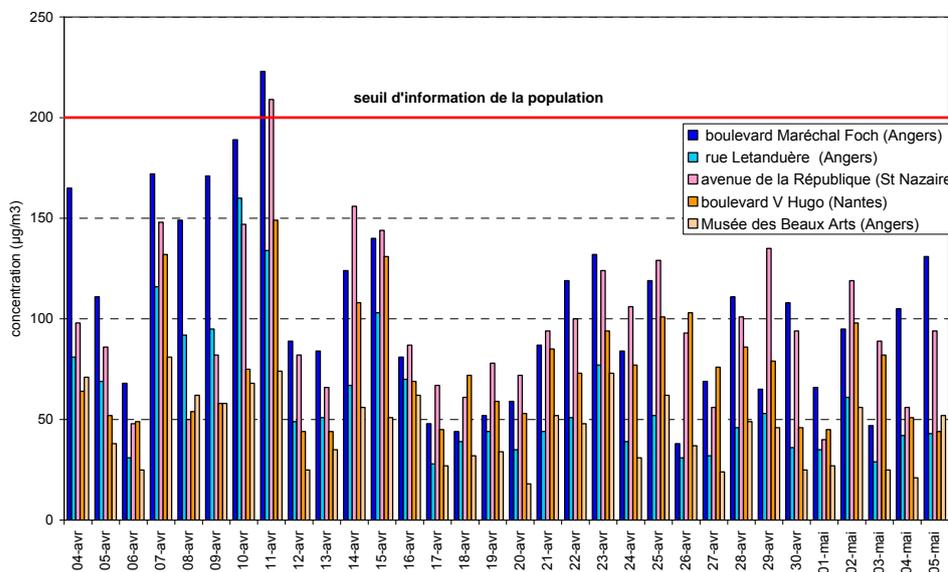
Cette classification des rues en fonction des niveaux de pollution en NO_2 est proche de celle établie pour le benzène avec une nuance pour la rue du Mail qui présente des niveaux en NO_2 proportionnellement plus élevés.

L'évolution temporelle des concentrations se traduit par des niveaux plus faibles lors de la troisième semaine de mesure en lien avec les conditions météorologiques et un trafic automobile moindre en période scolaire.

Les deux graphiques suivants montrent l'évolution des teneurs journalières et des maxima horaires journaliers mesurés au niveau du boulevard Foch et dans la rue Letandière.



Graphique 8 : évolution des concentrations journalières en dioxyde d'azote du 04 avril au 5 mai 2008



Graphique 9 : évolution des maxima horaires journaliers en dioxyde d'azote du 4 avril au 5 mai 2008

Les teneurs journalières et les maxima horaires les plus élevés sont enregistrés du 4 au 12 avril. Un seul dépassement du seuil d'information de la population a été constaté sur le boulevard Foch le 11 avril à 8 heures légales (maximum horaire de $223 \mu\text{g}/\text{m}^3$) en lien avec la hausse de trafic à cette période de la journée et des conditions météorologique peu dispersives. Rappelons ici que, les procédures d'information et d'alerte ne sont déclenchées que lorsque le seuil réglementaire est dépassé sur 2 sites (dont 1 site urbain obligatoirement).²

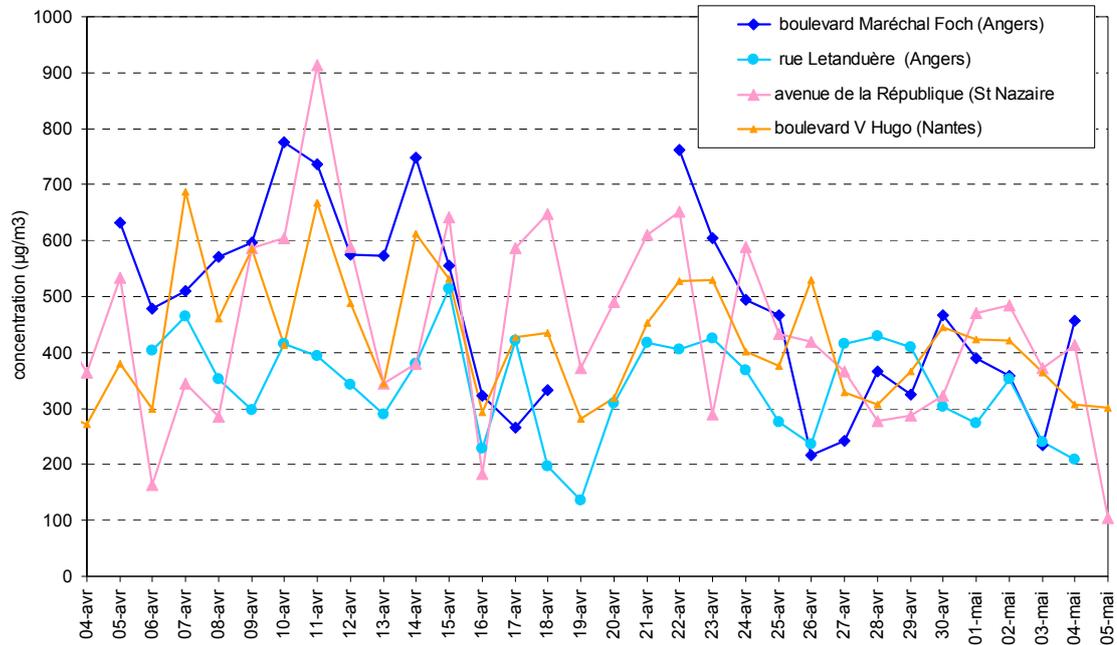
Aucun dépassement du seuil d'information n'a été détecté dans la rue Letanduère ; le maximum horaire atteignant $160 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

À partir du 12 avril les niveaux moyens et maxima deviennent plus faibles en lien avec le trafic automobile moindre en période de vacances scolaires (12 avril - 27 avril). Les niveaux les plus faibles sont enregistrés du 17 au 20 avril lors des épisodes de fortes précipitations.

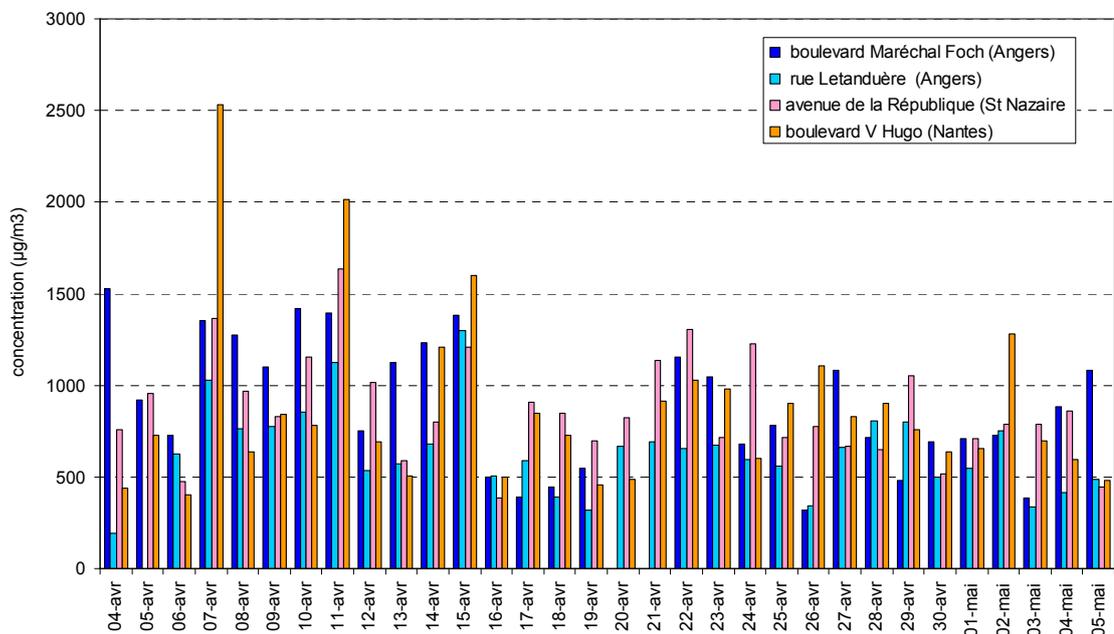
² Air Pays de la Loire, 2008 : les modalités pratiques d'information du public en cas d'épisode de pollution atmosphérique, avril 2008

la pollution en monoxyde de carbone

Les deux graphiques suivants montrent l'évolution temporelle des moyennes journalières et des maxima horaires en monoxyde de carbone mesurés dans le boulevard Foch et dans la rue Letanduère.



Graphique 10 : évolution des concentrations journalières en monoxyde de carbone du 04 avril au 5 mai 2008

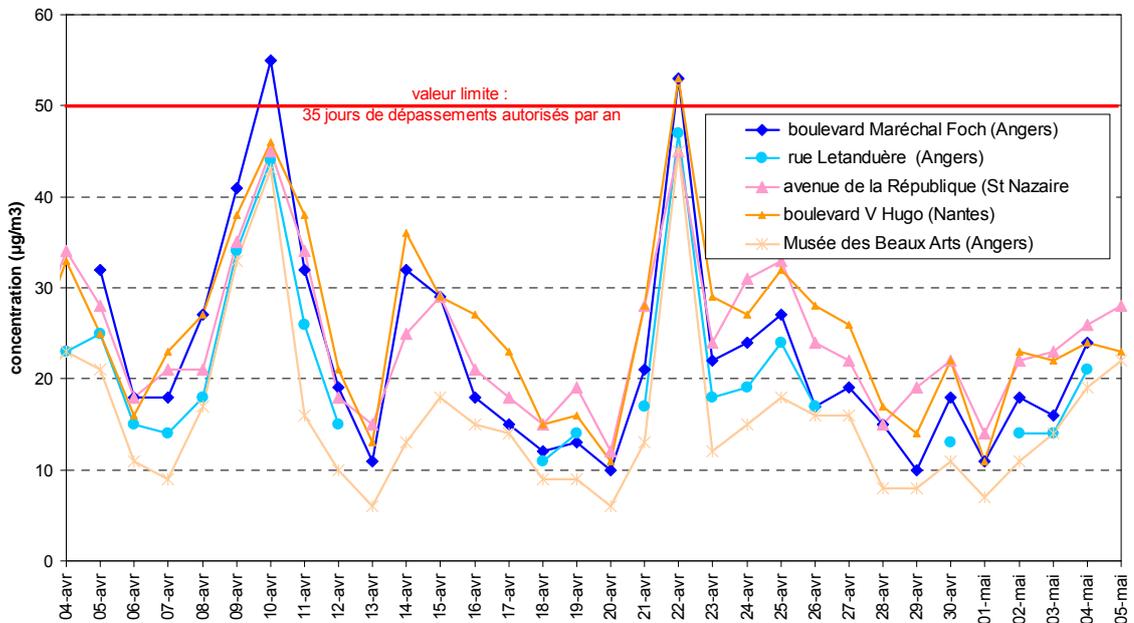


Graphique 11 : évolution des maxima horaires journaliers en monoxyde de carbone du 4 avril au 5 mai 2008

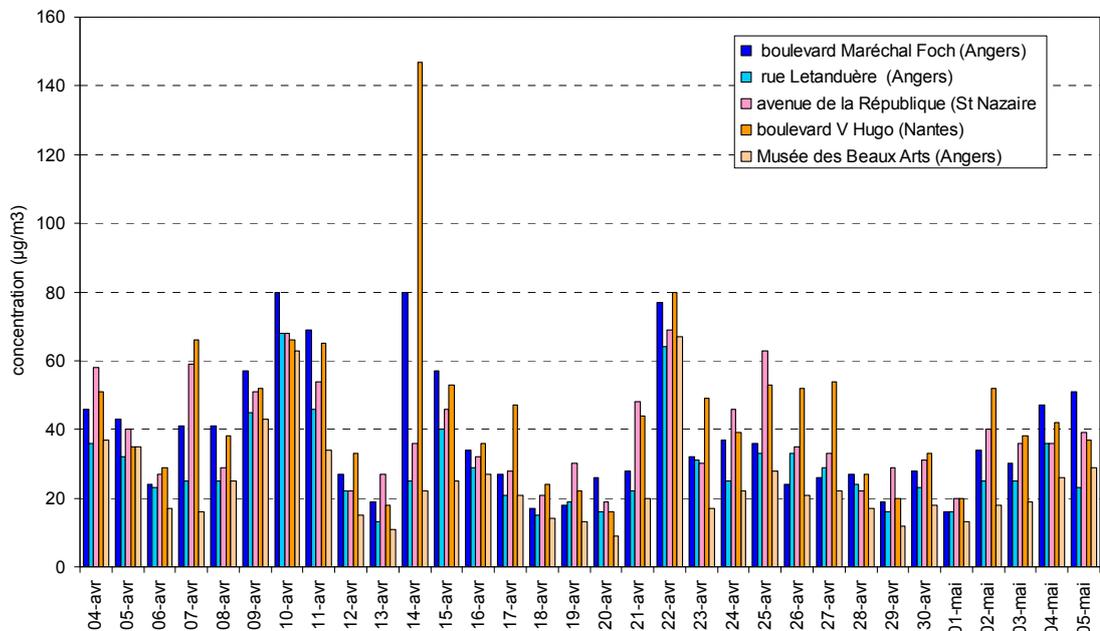
La pollution par le monoxyde de carbone au niveau de boulevard Foch et dans la rue Letanduère demeure faible comme dans le reste des Pays de la Loire. La valeur limite de $10\,000\ \mu\text{g}/\text{m}^3$ en moyenne sur huit heures a largement été respectée puisque la valeur 8-horaire maximale ($1291\ \mu\text{g}/\text{m}^3$ sur le boulevard Foch) est restée inférieure d'un facteur 7 à cette valeur limite. Comme pour le dioxyde d'azote les niveaux les plus faibles sont enregistrés durant la période de vacance scolaire et notamment lors des fortes pluies du 17 au 20 avril 2008.

la pollution par les particules fines

Rappel sur la méthode de mesure : conformément aux préconisations nationales, les teneurs en poussières fines enregistrées dans cette étude ont été ajustées pour tenir compte de la fraction volatile de l'aérosol à partir de 2 sites permanents d'Air Pays de la Loire mesurant la partie volatile des particules.



Graphique 12 : évolution des concentrations journalières en particules fines du 04 avril au 5 mai 2008

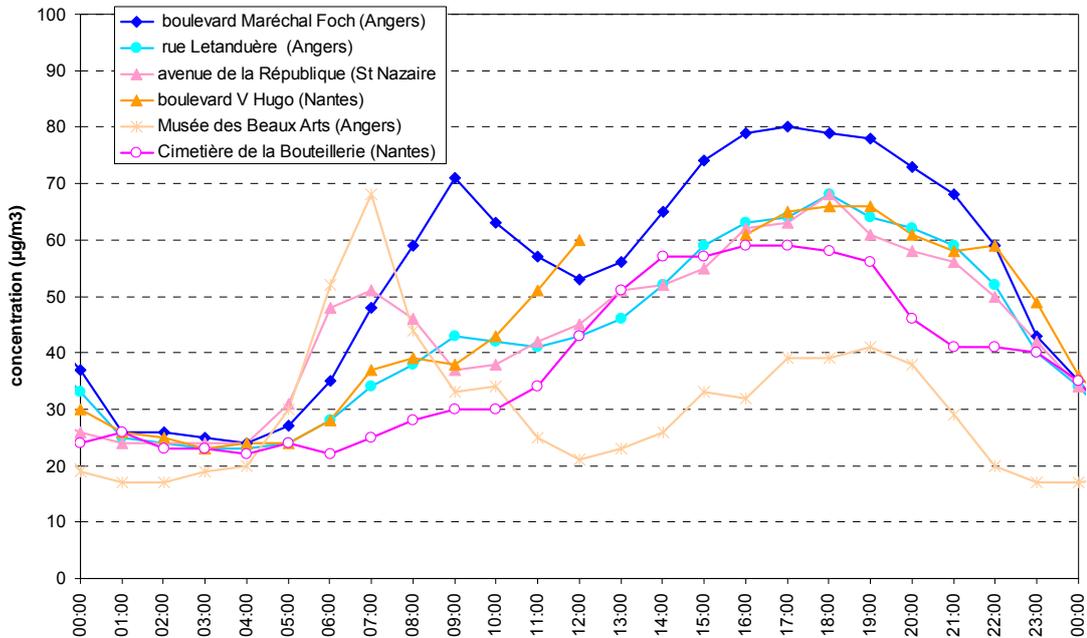


Graphique 13 : évolution des maxima horaires journaliers en particules fines du 4 avril au 5 mai 2008

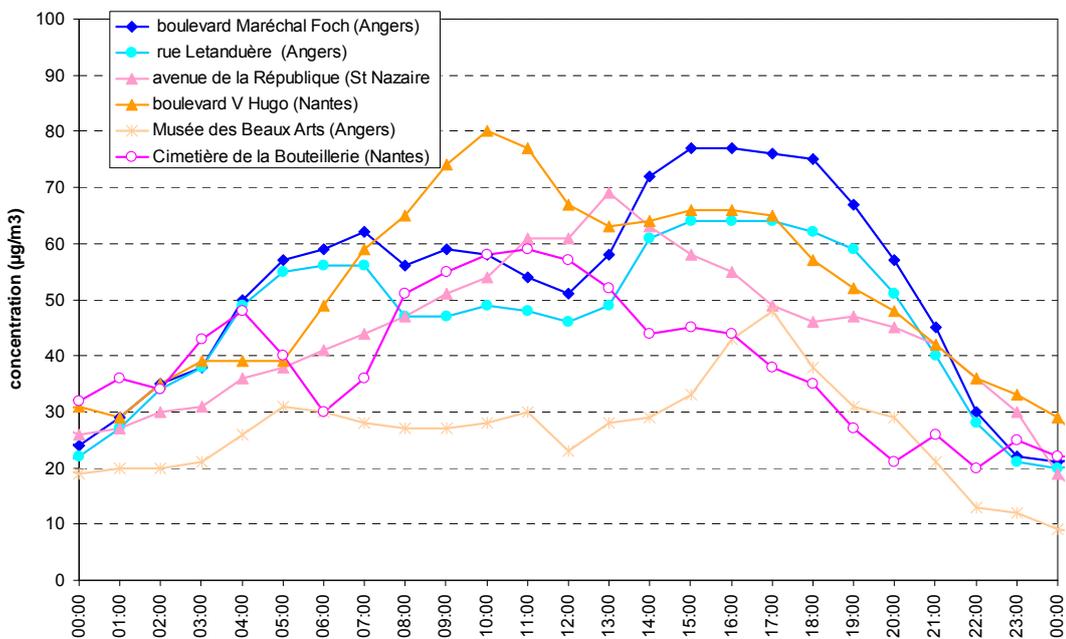
Nous observons une évolution temporelle synchrone entre les différents sites. Deux hausses de poussières sont détectées sur l'ensemble des sites les 10 et 22 avril 2008. Au cours de ces épisodes la moyenne journalière a dépassé $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ sur le site du boulevard Foch (concentration de la valeur limite à ne pas dépasser plus de 35 jours par an).

Le seuil d'information et de recommandation de $80 \mu\text{g}/\text{m}^3/24$ heures n'a pas été franchi.

Ces épisodes de pollution particulaire sont dus à la conjonction d'émissions locales liées au trafic automobile et de phénomènes de pollution de plus grande échelle. En effet, la moyenne horaire maximale est proche de $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$ lors des deux épisodes (cf. graphiques suivants) soit une valeur 40 à 50% supérieure à celle enregistrée sur le site urbain du musée des Beaux-Arts représentatif de la pollution de fond. Il est à noter qu'à Nantes la pollution de fond est plus élevée puisque les teneurs horaires en poussières atteignent $60 \mu\text{g}/\text{m}^3$ durant ces deux épisodes.

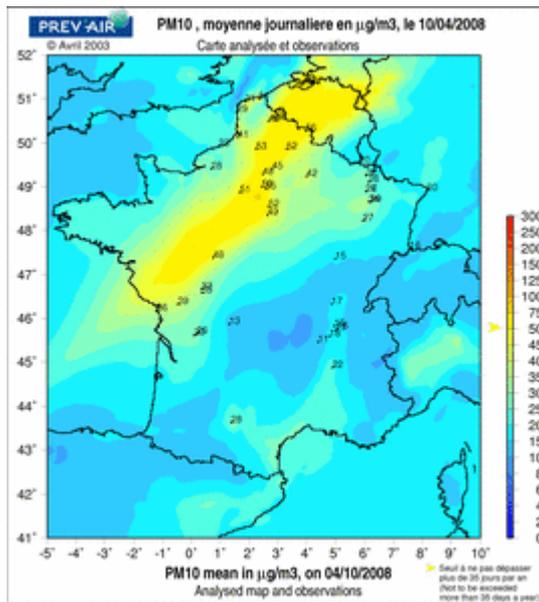


Graphique 14 : évolution horaire des concentrations en PM10 lors de la journée du 10 avril 2008

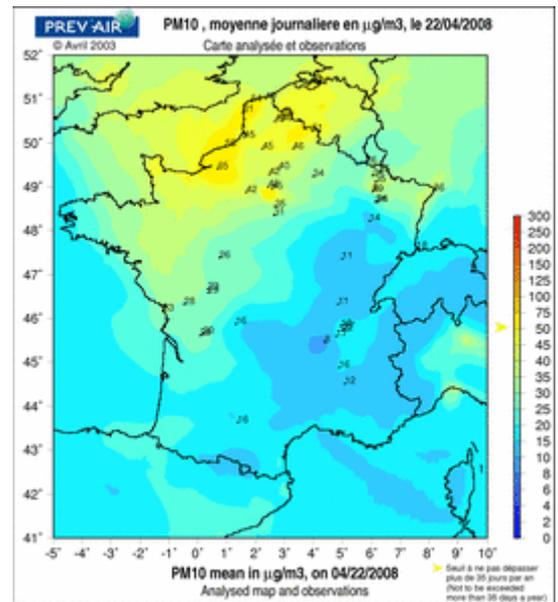


Graphique 15 : évolution horaire des concentrations en PM10 lors de la journée du 22 avril 2008

Les deux cartes suivantes issues de la plateforme de modélisation Prév’Air illustre les phénomènes de pollution particulaire de grande échelle, survenus les 10 et 22 avril 2008 sur le Nord de la France.



Carte 3 : moyenne journalière en PM10 le 10/04/08



Carte 4 : moyenne journalière en PM10 le 22/04/08

la modélisation de la pollution dans les rues "canyon"

La campagne d'évaluation de la qualité de l'air menée du 3 avril au 5 mai 2008 avant la mise en service du tramway dans les 6 rues "canyons" sélectionnées a été complétée par une étude de modélisation de la pollution sur la même période.

Pour chacune de ces rues, le modèle OSPM a permis le calcul des concentrations en dioxyde d'azote, en particules fines PM₁₀, en monoxyde de carbone, et en benzène à partir de données de configuration du bâti, de comptage de trafic routier, de pollution de fond et de météorologie.

Une comparaison mesure - modèle a finalement été réalisée.

les rues "canyon"

Une rue "canyon" est bordée de bâtiments élevés et présente de ce fait une configuration encaissée. Elle est caractérisée par le rapport de la hauteur H des bâtiments sur la largeur L de la rue. Le régime d'écoulement de l'air dans la voie dépend de ce rapport. L'annexe 6 décrit en détail ces régimes [10].

le modèle OSPM : un outil adapté au calcul de la pollution dans les rues "canyon"

principe général

OSPM (Operational Street Pollution Model) est un logiciel destiné à la modélisation de la pollution atmosphérique dans les rues de configuration canyon. Il est donc adapté aux rues étudiées. Il s'agit d'un modèle analytique reposant sur l'analyse physique de l'écoulement dans ce type de rue ainsi que des équations décrivant cet écoulement. La pollution totale modélisée résulte de la somme de la pollution de fond et de la pollution émise par les véhicules circulant dans la rue considérée (contribution directe issue des gaz d'échappement et contribution due à la re-circulation de l'air). Une description détaillée des hypothèses de modélisation prises en compte par OSPM est proposée en annexe 6.

Selon le NERI (National Environmental Research Institute – Danemark), OSPM a été testé et validé pour des rapports hauteur/largeur compris entre 0,5 et 2.

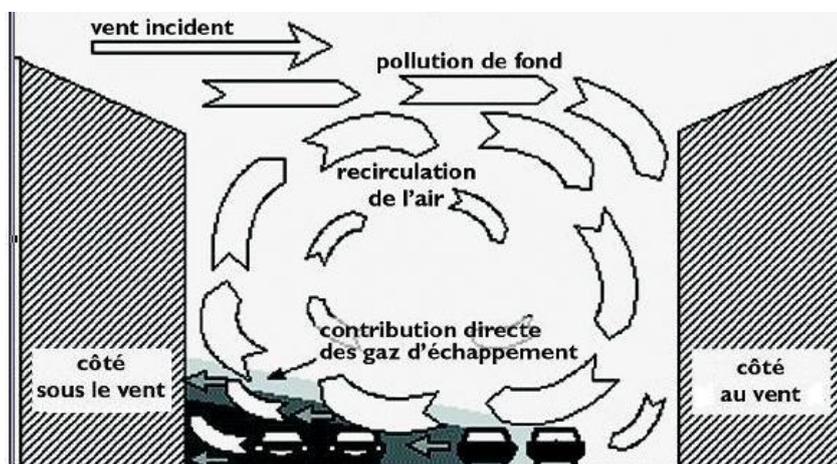


Figure 6 : principe d'entraînement des polluants dans une rue "canyon" par OSPM

les données d'entrée du modèle

OSPM est alimenté en données explicatives de la pollution : pollution ambiante de l'agglomération, météorologie, configuration de la rue et trafic routier.

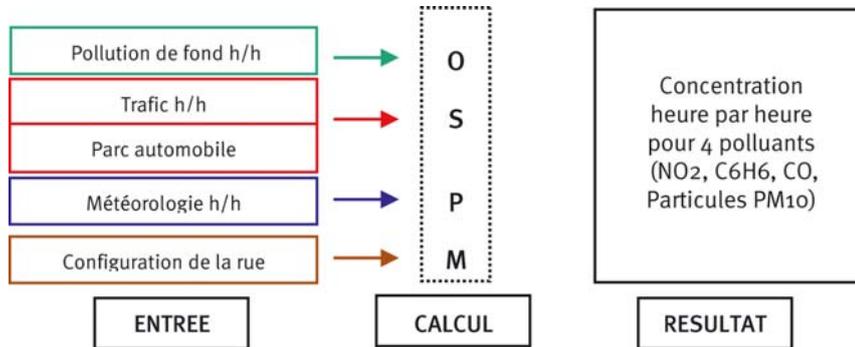


Figure 7 : entrées et sorties du modèle OSPM

OSPM fournit en sortie les concentrations horaires en dioxyde d'azote, benzène, monoxyde de carbone et particules fines PM₁₀.

L'ozone, bien qu'il soit 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 configuration du bâti

6 des 198 sections de rues de l'agglomération angevine modélisées par Air Pays de la Loire [11] ont fait l'objet de cette étude.

Ces rues ont été sectionnées en différents tronçons présentant des caractéristiques homogènes en termes 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 a conduit à sectionner la rue. Ces valeurs sont basées sur une étude de sensibilité d'OSPM aux valeurs d'entrée du modèle [12]. Les rues ont par ailleurs été sectionnées si elles contiennent un espace important (place, grande intersection,...) ou des valeurs sensiblement différentes de la hauteur des bâtiments.

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 ;
- orientation de la rue ;
- longueur totale de la rue.

Les valeurs de ces paramètres pour chacune des rues sélectionnées sont présentées dans la première partie de ce document.

le trafic routier

Lors de l'étude de modélisation des 198 sections "canyons", les données de trafic utilisées résultaient d'une modélisation du trafic réalisée par la société ISIS pour le compte d'Angers Loire Métropole. Dans cette étude, et c'est l'intérêt par rapport aux précédents travaux, les données horaires de trafic routier utilisées en entrée du modèle pour les 5 rues du centre ville d'Angers sont issues de comptages effectués du 3 au 11 avril 2008 par la ville d'Angers. 7 profils journaliers caractéristiques d'un type de jour ont été recomposés pour alimenter OSPM : lundi à mercredi, jeudi, vendredi, samedi, dimanche, jour de vacances et jour férié. Toutefois, en l'absence de comptages permanents dans le centre ville, ce dernier profil de trafic horaire résulte d'une modélisation basée sur la connaissance du Trafic Moyen Journalier Annuel (TMJA) 2008 et de sa décomposition horaire à partir de données de comptages routiers effectués sur la ville de Nantes [13]. Ces données ont par ailleurs alimenté les simulations pour l'avenue Pierre Mendès France à Avrillé, dans l'hypothèse d'une croissance annuelle de 3% du TMJA 2002 issue du modèle de trafic [14].

les vitesses des véhicules

La vitesse prise en compte par le modèle de calcul de la pollution est la vitesse à vide, à 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 les villes d'Angers et Avrillé.

les émissions des véhicules

Les émissions des véhicules empruntant l'axe de circulation considéré s'ajoutent à la pollution de fond urbaine pour fournir la pollution globale dans la rue. Ces émissions sont évaluées à partir du parc roulant et des facteurs d'émission.

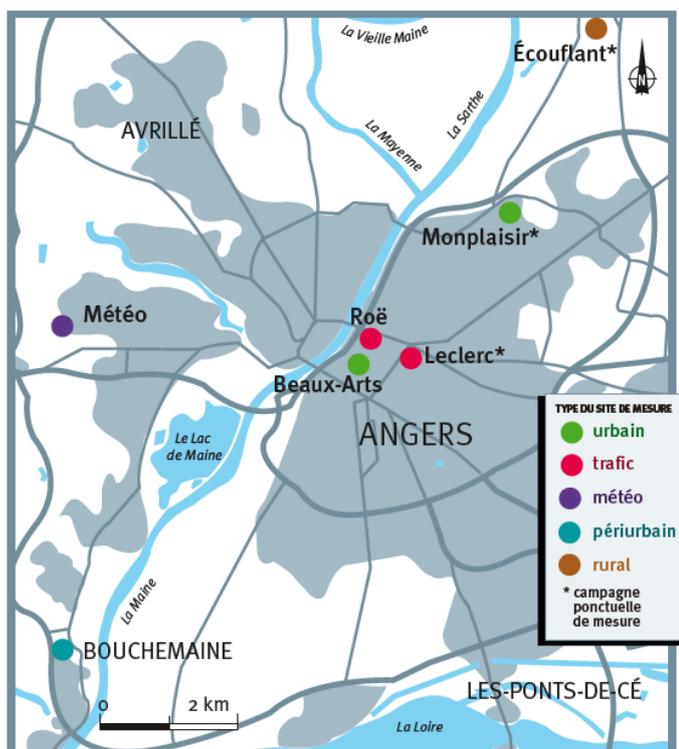
Les facteurs d'émission expriment la quantité de polluants émis par un véhicule par kilomètre parcouru. Les facteurs utilisés dans cette étude ont été élaborés par le NERI afin de compenser la sous-estimation des émissions de la méthodologie COPERT III [15].

Le parc national urbain roulant 2008 alimentant OSPM résulte des travaux de l'INRETS en 2004 et repris dans le modèle IMPACT II de l'ADEME [16]. Il fournit une description des caractéristiques des véhicules en France et leur distribution relative : type de véhicule (automobiles, utilitaires, poids lourds, bus), technologie de maîtrise des émissions de polluants (programme PRE-ECE, EURO I, II, III, IV...), carburant et puissance du moteur.

la pollution urbaine de fond

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

À la pollution de proximité de trafic modélisée dans les tronçons du centre ville d'Angers s'ajoute la pollution de fond mesurée par la station des Beaux-Arts. Dans le cas de l'avenue Pierre Mendès France, les données enregistrées à la station Monplaisir sont considérées comme représentatives de la pollution de fond à Avrillé.



Carte 5 : Réseau de surveillance de l'agglomération angevine en 2007

la météorologie

L'ensemble des données horaires de température, rayonnement global, vitesse et direction du vent, renseigné dans OSPM, a été enregistré sur la station météorologique Météo France de Beaucouzé, située à 5 km à l'ouest du centre ville d'Angers.

les résultats

la nature des résultats

Les concentrations de polluants calculées par OSPM sont données à une hauteur de 2 mètres au centre de la rue, sur le côté où sont installés les appareils de mesure. Du fait de l'intégration de paramètres moyens du bâti en entrée du modèle, la pollution est considérée comme homogène sur un même côté de rue.

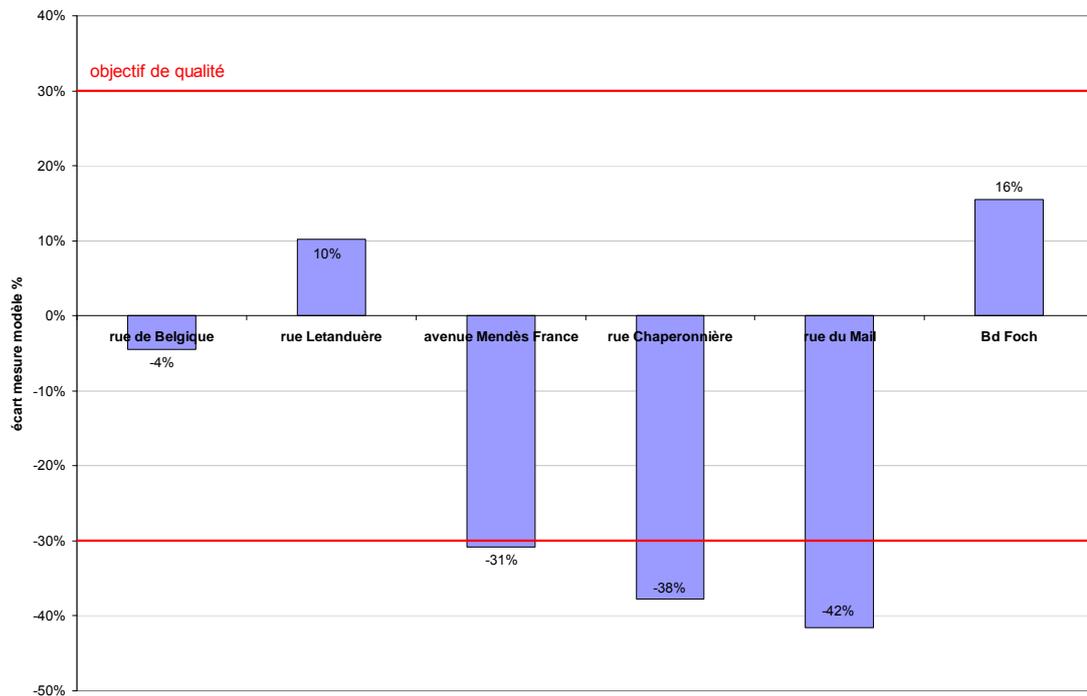
l'accord mesure - modèle

La directive 2008/50/CE précise les objectifs de qualité des données modélisées pour l'évaluation de la qualité de l'air ambiant. L'incertitude pour la modélisation est définie comme l'écart maximal des niveaux de concentration mesurés et calculés.

En l'absence d'objectifs de qualité mensuels, ce sont les critères pour les concentrations annuelles, les plus exigeants, qui ont été retenus (30% pour le dioxyde d'azote et 50% pour le benzène et les particules PM₁₀).

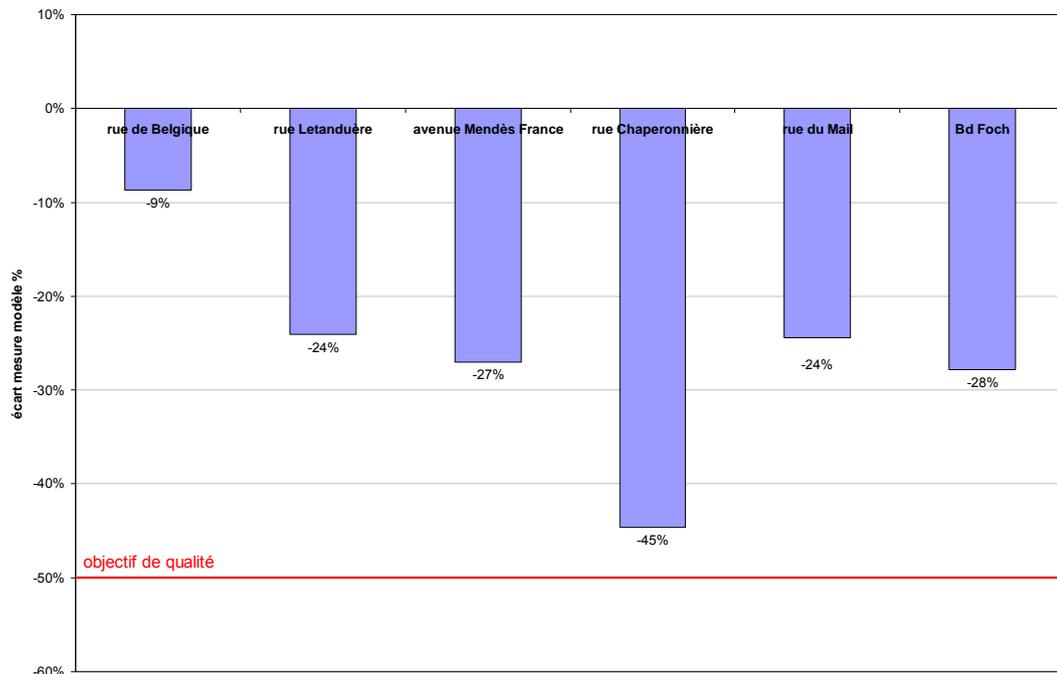
Le graphique ci-dessous représente l'écart relatif entre la moyenne en dioxyde d'azote modélisée du 3 au 28 avril 2008 dans les 6 rues sélectionnées et la moyenne mesurée durant cette même période.

L'objectif de qualité applicable au modèle est respecté pour les rues de Belgique, Letandière et boulevard Foch. L'écart mesure – modèle constaté avenue Pierre Mendès France approche l'objectif de qualité. Enfin, le modèle sous estime significativement les niveaux en dioxyde d'azote rue Chaperonnière et rue du Mail. Le dépassement constaté implique une augmentation de l'incertitude sur l'évaluation de la qualité de l'air pour le dioxyde d'azote pour ces deux voies.



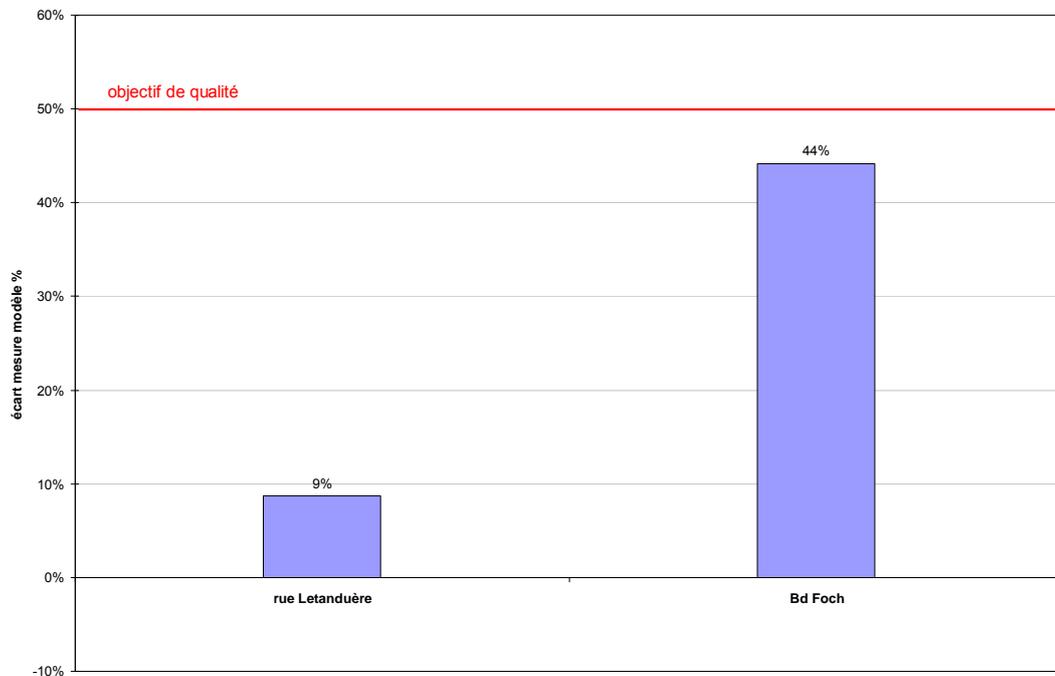
Graphique 16 : écart relatif entre les niveaux moyens en dioxyde d'azote modélisés par OSPM et les niveaux moyens mesurés du 3 au 28 avril 2008 durant cette même période sur les 6 rues sélectionnées

Dans le cas du benzène, le modèle sous-estime systématiquement les niveaux. L'objectif de qualité applicable au modèle est largement respecté et l'écart mesure – modèle implique de faibles valeurs. En effet, les écarts entre les niveaux moyens en benzène mesurés et modélisés représentés sur le graphique ci-dessous sont des valeurs relatives. L'écart mesure – modèle maximal constaté concerne la rue Chaperonnières avec 45%, mais ne représente en réalité que 0,8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.



Graphique 17 : écart entre les niveaux moyens en benzène modélisés par OSPM du 3 au 28 avril 2008 et les niveaux mesurés durant cette même période sur les 6 rues sélectionnées

Les moyennes en particules PM₁₀ mesurées durant la campagne de mesure ont été comparées aux moyennes modélisées durant cette même période. Le modèle a tendance à sur-estimer les mesures mais l'objectif de qualité applicable au modèle est respecté rue Letandière et Boulevard Foch.



Graphique 18 : écart entre les niveaux moyens en particules PM₁₀ modélisés par OSPM du 3 au 28 avril 2008 et les niveaux mesurés durant cette même période sur les 6 rues sélectionnées écart.

Le monoxyde de carbone n'est pas pris en compte dans l'étude car aucune station de fond ne fonctionnait durant la campagne de mesure.

conclusion

L'accord mesure modèle, en moyenne sur la période, est conforme aux objectifs de qualité de la directive européenne, excepté pour le dioxyde d'azote rue Chaperonnière et rue du Mail.

Le modèle a tendance à sous-estimer les mesures sauf pour les particules PM₁₀.

Les données de modélisation pourront être utilisées pour réaliser l'étude d'impact. L'incertitude de l'évaluation de la qualité de l'air pourra toutefois être plus élevée dans certains cas, pour le dioxyde d'azote notamment, rue Chaperonnière et rue du Mail.

étude d'impact à l'horizon 2010

L'objectif de l'étude d'impact est d'évaluer l'écart de concentrations avant et après la mise en circulation du tramway et de qualifier ainsi l'influence de ce projet sur la pollution atmosphérique.

approche mesure

Afin de pouvoir comparer les niveaux de pollution entre les 2 horizons, la future campagne de mesure doit être réalisée selon un protocole proche de celui mis en œuvre durant l'état initial : sites de mesure identiques durant une période proche en termes de conditions climatiques et en termes de trafic automobile avec comme en 2008 une partie des mesures effectuées en période de vacances scolaires.

Nous proposons donc de réaliser la future campagne de mesure 2010 du 1^{er} avril au 5 mai 2010.

Les comparaisons statistiques (test variance ANOVA, tests paramétriques de Student et du Chi-deux et test de Kolmogorov-Smirnov) des mesures horaires enregistrées respectivement en 2008 et 2010 dans la rue Letanduère et boulevard Foch devront permettre d'évaluer l'impact de la mise en service de la ligne de tramway sur les niveaux de pollution dans ces 2 voies de circulation. Afin de s'affranchir de l'influence des conditions environnementales comme la météorologie, il est envisagé de réaliser également cette comparaison sur la différence des concentrations entre les 2 sites de mesure et celles mesurées sur la station permanente Beaux-Arts. Parallèlement un modèle statistique de prédiction des concentrations dans la rue Letanduère et le boulevard Foch en s'appuyant sur les variables d'influence disponibles simultanément avec les mesures (température, vitesse et direction du vent, pluviométrie,...) sera élaboré à partir des concentrations mesurées en 2008. Ce modèle sera appliqué sur la période 2010 de manière à estimer les concentrations qui auraient été observées en l'absence de la ligne de tramway. La comparaison de ces résultats 2010 sans ligne de tramway avec les mesures réelles permettra d'avoir des informations complémentaires sur l'impact du tramway sur les niveaux de pollutions dans la rue Letanduère et le boulevard Foch.

approche modélisation

Après la mise en service du tramway, les concentrations en polluants pourront à nouveau être calculées par OSPM, à partir des données de trafic 2010, du parc roulant 2010, des données de pollution de fond et des conditions météorologiques mesurées durant la campagne de mesure d'avril 2010, puis comparées aux résultats issus de la campagne de mesure réalisée durant cette même période afin de confirmer l'accord mesure – modèle.

La modélisation permettra de distinguer l'évolution des niveaux de polluants liée à la baisse prévisionnelle des émissions des véhicules (nouvelles normes, renouvellement du parc) de l'impact du plan de déplacement urbain, sur le trafic routier notamment. Il sera ainsi possible de s'affranchir des paramètres externes au projet (météorologie, parc roulant, pollution de fond).

conclusions et perspectives

Cette étude a permis de qualifier, avant la mise en service la première ligne de tramway, les niveaux des principaux polluants d'origine automobile dans les 6 rues sélectionnées. Elle a également permis de valider les résultats de la modélisation.

Logiquement, les concentrations en polluants dans ces rues sont supérieures au niveau de fond urbain. En particulier, il existe des risques de dépassement de la valeur limite annuelle 2008 pour le dioxyde d'azote dans le boulevard Foch et dans les rues du Mail et Chaperonnière. Les concentrations en benzène sont proches de l'objectif de qualité de $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ sur un an. Concernant les particules, des dépassements du seuil journalier de $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ont été relevés boulevard Foch. La pollution au monoxyde de carbone est faible.

Les résultats de la modélisation ont également été validés, les écarts mesures-modèles respectant globalement les objectifs de qualité de la Directive Européenne du 21/05/08. Les données de modélisation pourront être utilisées pour réaliser l'étude d'impact. L'incertitude de l'évaluation de la qualité de l'air pourra toutefois être plus élevée dans certains cas, pour le dioxyde d'azote notamment, rue Chaperonnière et rue du Mail.

En 2010, après la mise en service du tramway une campagne devra être menée durant une période analogue en termes de conditions climatiques et de trafic automobile avec comme en 2008 une partie des mesures effectuées en période de vacances scolaires. Nous proposons donc de réaliser la future campagne de mesure 2010 du 1^{er} avril au 5 mai 2010.

L'objectif de l'étude d'impact est d'évaluer l'écart de concentrations avant et après la mise en circulation du tramway.

Les mesures de pollution atmosphérique seront comparées à l'aide de traitements statistiques qui permettront de distinguer l'« effet tramway » d'autres variables influençant les niveaux de pollution entre les 2 horizons (météorologie, parc automobile,...). Ainsi, la station permanente du jardin des Beaux-Arts servira de référence.

Par principe de construction, les outils de modélisation permettent de s'affranchir des paramètres extérieurs au PDU. Il sera donc possible d'étudier spécifiquement l'impact entre les 2 horizons des variations de pollution dues aux véhicules en circulation.

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 2008
- annexe 6 : description technique de la modélisation des rues "canyons »
- annexe 7 : méthodologie de récupération des données géométriques des rues "canyons"

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, de l'Énergie, du Développement Durable et de l'Aménagement du Territoire 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 quarantaine 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

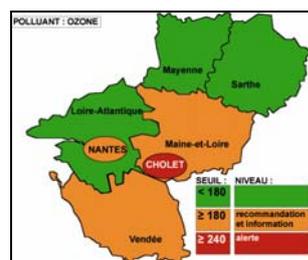
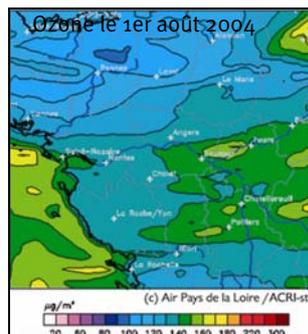
Les mesures de qualité de l'air consistent le plus souvent à détecter de très faibles traces de polluants. Elles nécessitent donc le respect de protocoles très précis. Pour assurer la qualité de ces mesures, Air Pays de la Loire dispose d'un laboratoire d'étalonnage, airpl.lab accrédité par le Cofrac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



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

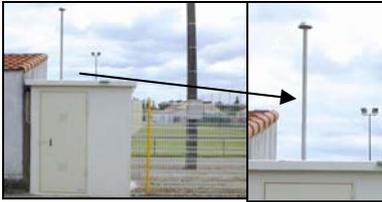
Le site Internet www.airpl.org donne accès à de très nombreuses informations sur la qualité de l'air des Pays de la Loire. Elles sont actualisées plusieurs fois par jour. On y trouve les cartes de pollution et de vigilance, les communiqués d'alerte, les indices de qualité de l'air, les mesures de pollution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

des publications largement diffusées

Tous les deux 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

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 laboratoires mobiles

La région des Pays de la Loire est dotée de deux laboratoires mobiles de surveillance de la qualité de l'air. Ces systèmes, équipés d'analyseurs spécifiques (NO_x, SO₂, O₃, PM₁₀, CO) comme les sites fixes, permettent d'établir un diagnostic de la qualité de l'air dans des secteurs non couverts par le réseau permanent. Les applications sont diverses : impact industriel ou urbain, validation de futurs sites fixes, communication...



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 et de façon à ne pas être soumis à une source déterminée de pollution ; ils caractérisent 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

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. Les particules plus fines, appelées PM_{2,5} (diamètre inférieur à 2,5 µm) pénètrent plus profondément dans les poumons. Celles-ci peuvent rester en suspension pendant des jours, voire pendant plusieurs semaines et parcourir de longues distances.

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 2008

TYPE DE SEUIL (µg/m ³)	DONNÉE DE BASE	POLLUANT							
		Ozone décrets 2002-213 du 15/02/02, 2003-1085 du 12/11/03 et 2007-1479 du 12/10/07	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 et circulaire du 12/10/07	Plomb décret 2002-213 du 15/02/02 et 2007-1479 du 12/10/07	Benzène décret 2002-213 du 15/02/02	Monoxyde de carbone décret 2002-213 du 15/02/02	Dioxyde de soufre décret 2002-213 du 15/02/02
valeurs limites	moyenne annuelle	-	40 ⁽¹⁾	30 ⁽²⁾	40	0,5	5 ⁽³⁾	-	20 ⁽⁴⁾
	moyenne hivernale	-	-	-	-	-	-	-	20 ⁽⁴⁾
	moyenne journalière	-	-	-	50 ⁽⁵⁾	-	-	-	125 ⁽⁶⁾
	moyenne 8-horaire maximale du jour	-	-	-	-	-	-	10 000	-
	moyenne horaire	-	200 ⁽⁷⁾ 200 ⁽⁸⁾	-	-	-	-	-	350 ⁽⁹⁾
seuils d'alerte	moyenne horaire	1 ^{er} seuil : 240 ⁽¹⁰⁾ 2 ^e seuil : 300 ⁽¹⁰⁾ 3 ^e seuil : 360	400 200 ⁽¹¹⁾	-	-	-	-	-	500 ⁽¹⁰⁾
	moyenne 24-horaire	-	-	-	125	-	-	-	-
seuils de recommandation et d'information	moyenne horaire	180	200	-	-	-	-	-	300
	moyenne 24-horaire	-	-	-	80	-	-	-	-
objectifs de qualité	moyenne annuelle	-	40	-	30	0,25	2	-	50
	moyenne journalière	65 ⁽¹²⁾	-	-	-	-	-	-	-
	moyenne 8-horaire maximale du jour	120	-	-	-	-	-	-	-
	moyenne horaire	200 ⁽¹²⁾	-	-	-	-	-	-	-
	AOT 40	6000 ⁽¹²⁾	-	-	-	-	-	-	-

(1) valeur applicable à compter du 01/01/2010 (marge de tolérance applicable en 2008 : 4)

(2) pour la protection de la végétation

(3) valeur applicable à compter du 01/01/2010 (marge de tolérance applicable en 2008 : 2)

(4) pour la protection des écosystèmes

(5) à ne pas dépasser plus de 35j par an (percentile 90,4 annuel)

(6) à ne pas dépasser plus de 3j par an (percentile 99,2 annuel)

(7) à ne pas dépasser plus de 175h par an (percentile 98 annuel) – valeur applicable jusqu'au 31/12/2009

(8) 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 2008 : 20)

(9) à ne pas dépasser plus de 24h par an (percentile 99,7 annuel)

(10) à ne pas dépasser plus de 3h consécutives

(11) 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

(12) pour la protection de la végétation : calculé à partir des valeurs enregistrées sur 1 heure de mai à juillet

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 "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.

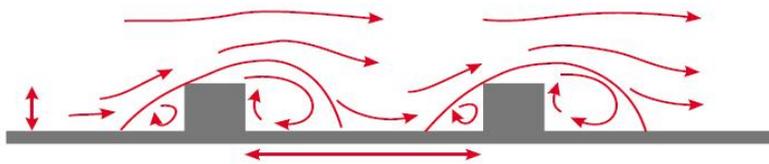
Les régimes d'écoulement généralement considérés à l'intérieur du canyon dépendent du rapport H/L [10].

« 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 ($H/L < 0.2$) ;

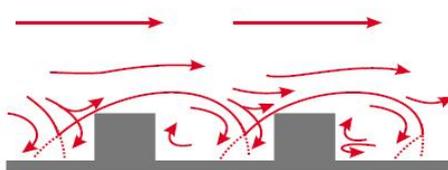
« Skimming flow » : quand un seul vortex se développe dans la rue supposée très étroite ($H/W > 0.65$). Dans ce cas le tourbillon agit à l'intérieur de la rue et peu d'échanges avec l'extérieur ont lieu ;

« 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.

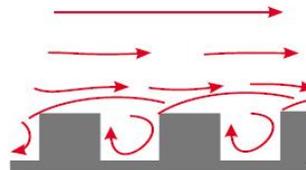
(a) *Isolated roughness flow*



(b) *Wake interference flow*



(c) *Skimming flow*



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 "canyon" 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 côté 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 côté 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.

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

Les tronçons des rues "canyon" 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.

bibliographie

- [1] Plaisance Hervé, Pennequin-Cardinal Anne, Locoge Nadine, **2003** : Programme d'évaluation du tube Radiello pour la mesure des BTEX ; étude n°11, rapport LCSQA décembre 2003, 34 pages.
- [2] Plaisance Hervé, Pennequin-Cardinal Anne, Leonardis Thierry, Locoge Nadine, **2004** : Programme d'évaluation du tube Radiello pour la mesure des BTEX ; étude n°7, rapport LCSQA décembre 2004 , 30 pages.
- [3] Pennequin-Cardinal A, Plaisance H, Locoge N., Ramalho O., kirchner S., Galloo J.C.; **2005**, : Dependence on sampling rates of Radiello diffusion sampler for BTEX measurements with the concentration level and exposure; **Talanta**, **65**, **1233-1240**.
- [4] Pennequin-Cardinal A, Plaisance H, Locoge N., Ramalho O., kirchner S., Galloo J.C.;**2005**, Performances of the Radiello diffusive sampler for BTEX measurements : influence of environmental conditions and determination of modelled sampling rates ; Atmospheric Environment, 39: 2535-2544.
- [5] Zdanevitch Isabelle., 2003 : Mesure des BTEX par tubes passifs, étude sur site et mesure en chambre d'exposition ; étude n°10, rapport LCSQA, 33 pages
- [6] Plaisance, étude des performances en chambre d'exposition des tubes a diffusion NO₂, 26 pages
- [7] Gerboles, M. et L. Amantini, 1993 Validation of measurement by NO₂ passive sampler- A comparison with chemiluminescent monitor. *Note technique TN I/93/107*, ERLAP, Ispra (1993).
- [8] Plaisance H., 1999 Etablissement d'un protocole d'utilisation des tubes à diffusion: Intercomparaison de tubes à diffusion NO₂ et tests de méthodes géostatistiques d'interpolation . Rapport LCSQA 1999/1, Ecole des Mines de Douai (1999).
- [9] ADEME, Fédération ATMO, LCSQA, 2005 échantillonneurs passifs pour le dioxyde d'azote, guide de recommandations pour la mesure du NO₂ par tubes diffusion passive, 148 pages
- [10] 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
- [11] Air Pays de la Loire, 2006, rues « canyons » de l'agglomération angevine qualité de l'air 2002 et 2015 impact du Plan de Déplacement Urbain, des projets routiers et des transports collectifs, rapport d'étude 75 pages
- [12] 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

[13] Optimisation des sorties de modèle de trafic – Nantes – Centre d'Etudes Techniques de l'Equipement de l'Ouest – janvier 2000

[14] 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

[15] Ntziachristos L., Samaras Z. – COPERT III (computer programme to calculate emissions from road transport) – European Environment Agency – Technical report 49 – novembre 2000

[16] Transport routier – parc, usage et émissions des véhicules en France de 1970 à 2025 - INRETS – RAPPORT LTE N° 0420 – 2004

glossaire

abréviations

Aasqa	Association agréée de surveillance de la qualité de l'air
BTX	benzène, toluène, xylènes
C ₆ H ₆	benzène
CO	monoxyde de carbone
COV	composés organiques volatils
CSHPPF	Conseil supérieur d'hygiène publique de France
ng	nanogramme (= 1 milliardième de gramme)
NO	monoxyde d'azote
NO ₂	dioxyde d'azote
NOx	oxydes d'azote (= dioxyde d'azote + monoxyde d'azote)
PM ₁₀	particules en suspension de diamètre aérodynamique inférieur à 10 µm
	temps universel
TU	microgramme (= 1 millionième de gramme)
µg	

airpays de la loire

7, allée Pierre de Fermat – CS 70709 – 44307 Nantes cedex 3

Tél + 33 (0)2 28 22 02 02

Fax + 33 (0)2 40 68 95 29

contact@airpl.org

