

ENSP

ECOLE NATIONALE DE
LA SANTE PUBLIQUE

RENNES



Ingénieur du Génie Sanitaire

Date du Jury : 29 Septembre 2005

Simulation de l'exposition des populations à la pollution atmosphérique avant et après la mise en place d'une nouvelle infrastructure de transport en commun

Elève Ingénieur du Génie Sanitaire

Amélie GALARET Ingénieur ENSIL Eau et Environnement

Référent Professionnel

Madame Corinne CABERO
Air Languedoc Roussillon

Référent Pédagogique

Monsieur Denis BARD
ENSP - LERES

Lieu de stage : Air Languedoc Roussillon à Montpellier

Remerciements

Mes remerciements s'adressent aux personnes suivantes :

- Madame Corinne CABERO, Ingénieur d'études à Air Languedoc-Roussillon, pour m'avoir encadrée tout au long de mon mémoire et pour son aide et ses conseils.
- Monsieur Denis BARD, Référent pédagogique, pour m'avoir guidée au cours de ce mémoire.
- Madame Anne FROMAGE-MARIETTE, Responsable du service études de Air Languedoc-Roussillon, pour ses conseils et son aide lors de la rédaction de mon rapport.
- Monsieur Bernard VUILLOT, Directeur de Air Languedoc-Roussillon, pour accueillir les stagiaires dans de très bonnes conditions.
- Toute l'équipe de Air Languedoc-Roussillon pour son accueil.
- Madame Christine RICOUX, Ingénieur du Génie Sanitaire à la CIRE du Languedoc-Roussillon, pour ses conseils sur la méthode à utiliser.
- Benjamin ROCHER et Héloïse HOTTON, stagiaires à Air Languedoc-Roussillon, pour leurs conseils sur l'utilisation de MapInfo et leurs oreilles attentives.

S u m m a r y

Estimation of human exposure to air pollution before and after the installation of a new public transport

Air pollution is a true preoccupation of public health and the population is worried about risks induced by exposure to atmospheric pollution. Air Languedoc-Roussillon wants to estimate human exposure to local emissions of road transport before and after the installation of new public transport (trolley car n°3) in the conurbation of Montpellier.

The chosen method allows to estimate the exposure of the population, living on the study area when it's present on its house, using concentration modelled by the software STREET. Three scenarios : 2005 (reference state), 2012 with and without the trolley car, are compared to assess the evolution of human exposure and the impact of the trolley car. Distribution of the population according to the concentration of exposure to benzene, dioxide of nitrogen, monoxide of carbon, dioxide of sulphur and particles of lower sizes than 10 µm, is studied.

This research project concludes that the installation of the trolley car improves the exposure of the different age groups to air pollution but also that the expected technical evolution of vehicles has a great positives effects on human exposure. However, considering limits and uncertainties, it's necessary to interpret the results with caution and to take into account only the order of magnitude.

Air Languedoc-Roussillon has already been solicited by local authorities or inhabitants' associations to answer their questionings about the exposure of persons living nearby heavy traffic ways. They can now use this method to make comparative surveys.

Key words :

Air pollution, health, human exposure, public transport, modelling

Sommaire

LISTE DES SIGLES UTILISES

INTRODUCTION.....	1
1 GÉNÉRALITÉ SUR LA POLLUTION ATMOSPHERIQUE ET CONTEXTE DU MÉMOIRE.....	3
1.1 Différentes pollutions atmosphériques	3
1.1.1 La pollution planétaire ou le niveau global.....	3
1.1.2 La pollution à l'échelle régionale.....	3
1.1.3 La pollution de proximité ou à l'échelle locale.....	4
1.2 Un problème de santé publique	4
1.3 Surveillance de la qualité de l'air	4
1.4 Contexte du mémoire.....	7
1.5 Le trafic automobile : source de pollution.....	8
1.6 Différents polluants d'origine automobile, leurs effets sur la santé et la réglementation.....	9
1.6.1 Oxydes d'azote (NO _x)	10
1.6.2 Benzène (C ₆ H ₆).....	10
1.6.3 Monoxyde de carbone (CO)	10
1.1.4 Dioxyde de soufre (SO ₂).....	11
1.1.5 Particules de taille inférieure à 10 µm (PM10)	11
1.1.6 Réglementation	12
1.7 Personnes sensibles à la pollution atmosphérique.....	13
1.8 Exposition de la population.....	13
2 MÉTHODE DE CALCUL DE L'EXPOSITION, DONNÉES D'ENTRÉE ET LIMITES.....	15
2.1 Méthode utilisée	15
2.1.1 Calcul des concentrations d'exposition de la population.....	15
2.1.2 Différentes classes d'âge	15
2.1.3 Nombre de personnes concernées.....	16
1.1.4 Différents scénarii.....	16
1.1.5 Indicateurs globaux et concentrations moyennes	16

1.2	Immissions au niveau de la rue	17
1.2.1	Présentation de STREET	17
1.2.2	Test de sensibilité et validation du logiciel STREET	18
1.2.3	Conclusions provisoires de l'étude d'impact sur la qualité de l'air de la ligne 3 du tramway	18
1.3	Population concernée	19
1.3.1	Estimation du nombre de personnes concernées par le projet	19
1.3.2	Budget espace temps	20
1.3.3	Récapitulatif du temps passé au domicile pour les différentes classes d'âge	23
1.4	Limites de la méthode	23
1.4.1	Limites dues aux données d'entrée	23
1.4.2	Limites liées à la méthode	24
3	RÉSULTATS DE L'ÉTUDE, INTERPRÉTATIONS ET DISCUSSION	25
3.1	Résultats et interprétations	25
3.1.1	Exemple d'un calcul	25
3.1.2	Comparaison entre les différents scénarii	25
3.1.3	Etude par classes d'âge	35
3.1.4	Synthèse des résultats et conclusion	40
3.2	Incertitudes	41
3.2.1	Logiciel STREET	41
3.2.2	Calcul de la largeur de la bande d'étude	41
3.2.3	Incertitudes liées aux limites de la méthode	42
3.3	Solutions pour avoir une exposition plus précise	42
	CONCLUSION	43
	Bibliographie	45
	Glossaire	47
	Liste des tableaux	49
	Liste des figures	51
	Liste des annexes	53

Liste des sigles utilisés

AASQA : Association Agréée pour la Surveillance de la Qualité de l'Air

ADEME : Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie

AIRAQ : AASQA de l'Aquitaine

Air LR : AASQA du Languedoc-Roussillon

ASPA : AASQA de l'Alsace

BDQA : Banque nationale des Données de la Qualité de l'Air

BET : Budget Espace Temps

BTX : Benzène, Toluène et Xylène

C₆H₆ : Benzène

CERTU : Centre d'Études sur les Réseaux, les Transports, l'Urbanisme et les constructions publiques

CITEPA : Centre Interprofessionnel Technique d'Études de la Pollution Atmosphérique

CIRC : Centre International de Recherche contre le Cancer

CIRE : Cellule Inter Régionale d'Epidémiologie

CO : Monoxyde de carbone

COV : Composé Organique Volatil

CSP : Catégorie Socio Professionnelle

DDASS : Direction Départementale des Affaires Sanitaires et Sociales

HAP : Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques

INRETS : Institut National de Recherche sur les Transports et leur Sécurité

INSEE : Institut National de la Statistique et des Etudes Economiques

IRSN : Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire

LAURE : Loi sur l'Air et l'Utilisation Rationnelle de l'Énergie

LCPP : Laboratoire Central de la Préfecture de Police

LHVP : Laboratoire d'Hygiène de la Ville de Paris

MEDD : Ministère de l'Écologie et du Développement Durable

NO_x : Oxydes d'azote

NO : Monoxyde d'azote

NO₂ : Dioxyde d'azote

O₃ : Ozone

OMS : Organisation Mondiale de la Santé

OQ : Objectif de Qualité

OQAI : Observatoire de la Qualité de l'Air Intérieur

PAN : Péroxyacetylnitrate

PDU : Plan de Déplacement Urbain

PL : Poids Lourds

P_{xx} : Percentile xx

PM_{2,5} : Particules en suspension de taille inférieure à 2,5 µm

PM₁₀ : Particules en suspension de taille inférieure à 10 µm

SERTA : Service d'Études Techniques des Routes et Autoroutes

SO₂ : Dioxyde de soufre

TAM : réseau de Transport de l'Agglomération de Montpellier

UV : UltraViolet

VLPS : Valeur Limite pour la Protection de la Santé

VUL : Véhicules Utilitaires Légers

INTRODUCTION

La qualité de l'air extérieur fait, depuis de nombreuses années, l'objet d'une surveillance attentive par les Associations Agréées pour la Surveillance de la Qualité de l'Air (AASQA). La pollution atmosphérique, touchant toutes les tranches de la population, est reconnue comme une préoccupation de santé publique.

La loi n°96-1236 du 30 décembre 1996 sur l'air et l'utilisation rationnelle de l'énergie (LAURE) impose une surveillance de la qualité de l'air et de ses effets sur la santé. Pour répondre à ces exigences réglementaires, les AASQA ont mis en place un système de surveillance permanente constitué de stations de mesures fixes. Cependant, ce réseau de surveillance n'étant pas suffisant pour couvrir tout le territoire, une surveillance ponctuelle, constituée de campagnes de mesures ponctuelles ainsi que de différentes modélisations, est utilisée pour obtenir des informations en dehors des zones de mesures des stations fixes. Ces informations permettront aussi de prévoir la qualité de l'air et les dépassements de seuils réglementaires.

La LAURE impose également l'évaluation des impacts des infrastructures routières et des plans de déplacements urbains (PDU) sur la consommation d'énergie, sur la qualité de l'air et sur la santé,

L'AASQA Air Languedoc-Roussillon, en collaboration avec le réseau de transport de l'agglomération de Montpellier (TAM), réalise une étude permettant de connaître l'impact d'une nouvelle ligne de tramway sur la qualité de l'air. Afin de répondre aux exigences de la LAURE, Air LR souhaite connaître les effets de cette nouvelle ligne de tramway sur l'exposition de la population à la pollution atmosphérique, une des étapes de l'évaluation de l'impact sanitaire. Cette évaluation de l'exposition fera l'objet de ce mémoire.

La première partie de ce rapport sera consacrée à quelques généralités sur la pollution atmosphérique : les différentes pollutions, la surveillance de la qualité de l'air, les sources de pollution et notamment le trafic automobile, les polluants issus du trafic automobile, leurs effets sur la santé et la réglementation, les personnes sensibles et l'exposition à la pollution atmosphérique.

Ensuite, la deuxième partie abordera la méthode utilisée pour estimer l'exposition, les données d'entrée disponibles et les limites de la méthode.

Enfin, la troisième partie exposera les résultats de l'étude sur l'agglomération de Montpellier, les incertitudes de la méthode et quelques solutions pour avoir une exposition plus précise de la population.

1 GENERALITE SUR LA POLLUTION ATMOSPHERIQUE ET CONTEXTE DU MEMOIRE

1.1 Différentes pollutions atmosphériques

On peut séparer la pollution atmosphérique en trois catégories ayant des échelles de temps et d'espace différentes :

- la pollution planétaire,
- la pollution régionale,
- la pollution locale.

1.1.1 La pollution planétaire ou le niveau global

L'échelle de temps est de l'ordre des années.

Ce type de pollution a été mis en évidence au cours des années 80 avec les observations des chercheurs sur l'effet de serre et la destruction de l'ozone stratosphérique.

L'effet de serre :

Il est nécessaire à la vie mais certains gaz l'augmentent avec, comme conséquence possible, de graves changements climatiques.

Le trou d'ozone :

Certains polluants entraînent une destruction de la couche d'ozone. Ceci peut provoquer à long terme, des effets néfastes sur la santé de la population notamment des cancers de la peau, dus à l'augmentation du rayonnement UV à la surface de la Terre.

1.1.2 La pollution à l'échelle régionale

L'échelle de temps est de l'ordre des jours.

On l'observe dans des zones situées à quelques dizaines, voire à plusieurs centaines de kilomètres des sources de pollution.

Les principaux effets de cette pollution sont l'acidification, l'eutrophisation et la pollution photochimique

La pollution photochimique (ou smog photochimique) :

Elle provient des polluants secondaires formés suite à d'innombrables réactions chimiques et photochimiques, à partir de polluants primaires principalement émis par les véhicules et l'industrie. Les plus connus sont l'ozone (O₃) et le peroxyacétylnitrate (PAN). On les retrouve dans les zones éloignées des grands axes routiers et des agglomérations à cause de leur cinétique de formation. Cette pollution existe à toutes les saisons mais elle est particulièrement développée en été et dans les régions très ensoleillées.

Les pluies acides :

Ce sont les acides nitrique et sulfurique, formés à partir des oxydes d'azote et de soufre et de la pluie, qui provoquent les pluies acides.

1.1.3 La pollution de proximité ou à l'échelle locale

L'échelle de temps est de l'ordre des heures.

Elle se produit à proximité des sources d'émission de gaz et autres substances indésirables.

Elle affecte en premier lieu la santé des populations par son action directe à court terme mais elle peut exercer une toxicité à plus long terme.

Elle est aussi à l'origine de la pollution sensible qui est révélée par l'odorat et la vision. Ce sont les fumées d'échappement, les odeurs, une perte de transparence de l'air (brumes), les dépôts de poussières dans les logements ou le noircissement des façades. Ces « pollutions sensibles » ne constituent pas une atteinte à la santé publique mais elles sont considérées comme des nuisances.

1.2 Un problème de santé publique

Il n'est pas toujours facile d'établir le lien entre la pollution atmosphérique et la santé. En effet, l'homme est soumis à des expositions multiples et variées qui sont fonction du temps passé à l'intérieur des locaux, à l'extérieur, du tabagisme actif ou passif, des expositions professionnelles. De plus, les concentrations d'exposition peuvent être très faibles et les sources de pollution multiples et les effets sanitaires non spécifiques. Mais les risques sanitaires liés à la pollution atmosphérique sont aujourd'hui bien établis grâce à de nombreuses études expérimentales (animales et humaines) et épidémiologiques.

La pollution atmosphérique est donc, aujourd'hui, considérée comme un problème de santé publique.

Selon l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS), "trois millions de personnes meurent chaque année sous l'effet de la pollution atmosphérique, soit 5% des 55 millions de décès annuels dans le monde. Vu la marge d'incertitude des estimations, le nombre réel des décès annuels pourrait se situer entre 1,4 et 6 millions".

En France, chez de nombreuses personnes, la sensibilité bronchique s'est accrue progressivement depuis une vingtaine d'années :

- 30% de la population présente une allergie respiratoire (rhinite allergique), certaines personnes présentent une sensibilité bronchique accrue, voire une hyper réactivité bronchique,
- 2 millions de personnes souffrent d'asthme,
- 10 à 14% des jeunes de 20 à 24 ans ont déjà fait au moins une crise d'asthme dans leur vie,
- 50 000 personnes sont atteintes d'une insuffisance respiratoire grave [1].

Face à la préoccupation sanitaire concernant la pollution atmosphérique, les pouvoirs publics ont mis en place des politiques de lutte contre la pollution atmosphérique. Ils ont, notamment, adopté, le 30 décembre 1996, la loi sur l'air et l'utilisation rationnelle de l'énergie (LAURE). Cette loi impose, entre autre, à l'État, de « surveiller la qualité de l'air et ses effets sur la santé et sur l'environnement ».

1.3 Surveillance de la qualité de l'air

La surveillance de la qualité de l'air ambiant est assurée, en France, par les AASQA. Elles sont agréées par le ministère de l'écologie et du développement durable (MEDD) lequel est en charge également de la définition des orientations stratégiques de la surveillance. Ces AASQA sont regroupées au sein du dispositif ATMO et elles exercent leurs activités

sur des zones géographiques pouvant s'étendre, selon les cas, de l'agglomération à la région. Leur Conseil d'Administration regroupe divers acteurs impliqués dans la gestion de la qualité de l'air : des services de l'État (MEDD, ADEME), des collectivités locales, des industriels, l'association de protection de l'environnement et des personnalités qualifiées. Cette pluralité de partenaires constitue l'un des garants de l'objectivité et de l'indépendance des associations.

Les missions des AASQA s'inscrivent dans le cadre de la LAURE et comportent, à ce titre, trois étapes qui sont : la concertation, la surveillance et l'information.

Les associations sont chargées, entre autres :

- de mettre en œuvre et de gérer le dispositif technique de mesures : gestion des stations de mesures et des autres moyens techniques de surveillance,
- de collecter, de valider et de traiter des données issues des stations mises en place dans leur zone de compétence,
- d'assurer une large diffusion des informations recueillies,
- de transmettre aux autorités compétentes les informations relatives à la prévision et à la détection des dépassements des seuils préalablement définis,
- de transmettre leurs données à la banque nationale des données de la qualité de l'air (BDQA) gérée par l'ADEME.

Au 1^{er} janvier 2002, quarante associations de surveillance étaient agréées par le MEDD. Parmi ces AASQA, quatre surveillent la qualité de l'air dans les DOM TOM et trente-six en métropole dont Air Languedoc-Roussillon créé en 1973.



Figure 1 : Carte de France présentant les différentes AASQA

Deux types de dispositifs de mesures permettent de surveiller la qualité de l'air : les dispositifs permanents et les dispositifs ponctuels. En ce qui concerne les dispositifs permanents, ce sont essentiellement des stations de mesures fixes que l'on peut distinguer en cinq classes :

Type de station		Renseigne sur	Polluants traditionnellement recherchés
Trafic		les concentrations maximales auxquelles la population située en proximité d'une infrastructure routière est exposée	CO, NOx, PM10, COV
Industrielle		les concentrations maximales auxquelles la population située en proximité d'une source fixe est susceptible d'être exposée par des phénomènes de panache ou d'accumulation	SO ₂ , COV, HAP, métaux lourds et NOx
Urbaine		la pollution de fond dans les agglomérations et les risques pour la santé des populations	NOx, PM10, O ₃ , SO ₂ , COV
Périurbaine		la pollution photochimique -notamment l'ozone et ses précurseurs- et éventuellement les polluants primaires ainsi que le niveau d'exposition moyen de la population à la pollution atmosphérique de fond à la périphérie du centre urbain	NOx, O ₃
Rurale	Rurale régionale	l'exposition des écosystèmes et de la population à la pollution atmosphérique de fond à l'échelle régionale. Elles participent à la surveillance de la qualité de l'air sur l'ensemble du territoire.	NOx, O ₃ retombées sèches ou humides. On peut aussi suivre une pollution locale
	Rurale nationale	la pollution atmosphérique de fond issue des transports de masses d'air à longue distance	NOx, O ₃ et on analyse les retombées sèches ou humides

Tableau 1 : Différentes stations de mesures, leurs fonctions et les polluants mesurés

Dans l'unité urbaine de Montpellier et sur sa périphérie sept stations de mesures fixes automatiques existent (cf. Annexe 1) :

Nom de la station	Commune	Type de la station	Polluants mesurés
Chaptal	Montpellier	Urbaine	SO ₂ , NO ₂ , CO, C ₆ H ₆
Saint-Denis		Trafic	NO ₂ , CO
Cévennes		Urbaine	NO ₂ , O ₃ , C ₆ H ₆
Prés d'Arènes		Urbaine	SO ₂ , NO ₂ , CO, O ₃ , PM10, PM2,5, C ₆ H ₆
Périurbaine Sud	Lattes	Périurbaine	O ₃
Périurbaine Nord	Saint-Gély du Fesc	Périurbaine	O ₃
Lunel-Viel	Lunel-Viel	Industrielle	NO ₂ , PM10, métaux toxiques

Tableau 2 : Stations de mesures fixes automatiques sur Montpellier et sa périphérie

1.4 Contexte du mémoire

En collaboration avec la TAM, Air LR réalise une étude sur l'impact de la future ligne 3 du tramway, sur la qualité de l'air. Air LR souhaite, en outre, connaître l'évolution de l'exposition des populations suite à la mise en place de cette nouvelle infrastructure de transport en commun.

Cette étude permettra de répondre plus précisément aux exigences de la LAURE, d'informer la population sur son exposition à la pollution atmosphérique et pourrait aider à la prise de décision quant au trajet du tramway.

La TAM envisage différentes variantes du tracé du tramway :

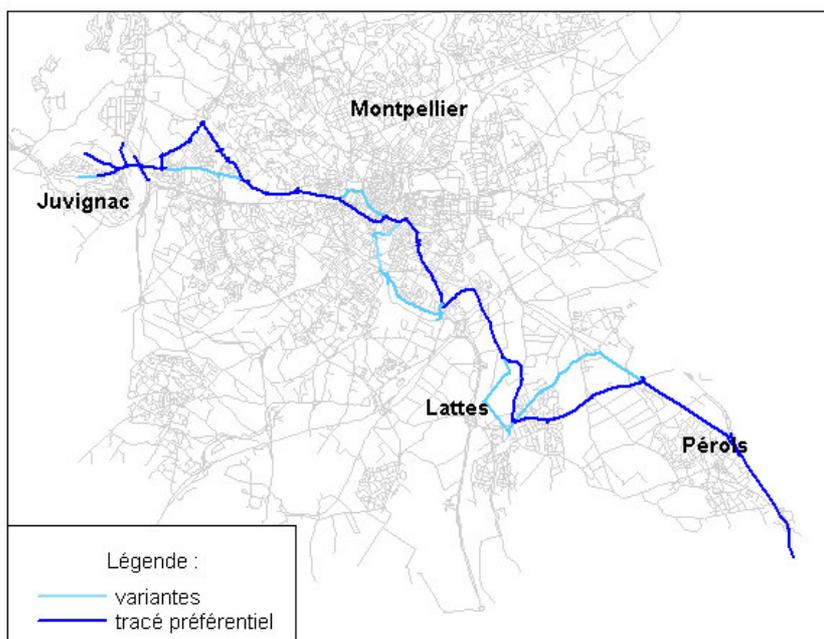


Figure 2 : Trajet du tramway 3 et ses variantes

Cependant, par souci de simplification et étant donné que des informations précises sur le trafic routier sont disponibles seulement pour le tracé passant par le Jeu de Paume, seul le tracé suivant sera étudié dans ce mémoire :

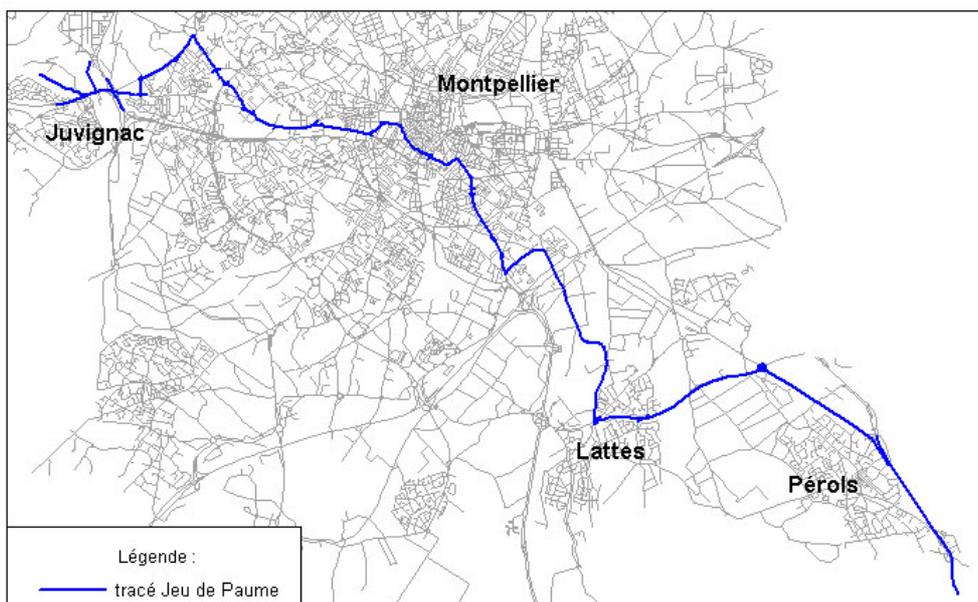


Figure 3 : Tracé du tramway 3 passant par le Jeu de Paume

La mise en place d'une nouvelle ligne de tramway entraîne inévitablement une modification des voies de circulation sur le trajet du tramway et donc des modifications de la circulation sur d'autres voies. Les voies où auront lieu ces modifications ainsi que le trafic moyen journalier annuel (TMJA) ont été identifiés par la TAM à l'aide d'une étude de comptage directionnel et du modèle EMME2.

En plus du tracé passant par Jeu de Paume, les voies subissant des modifications de circulation seront donc étudiées :

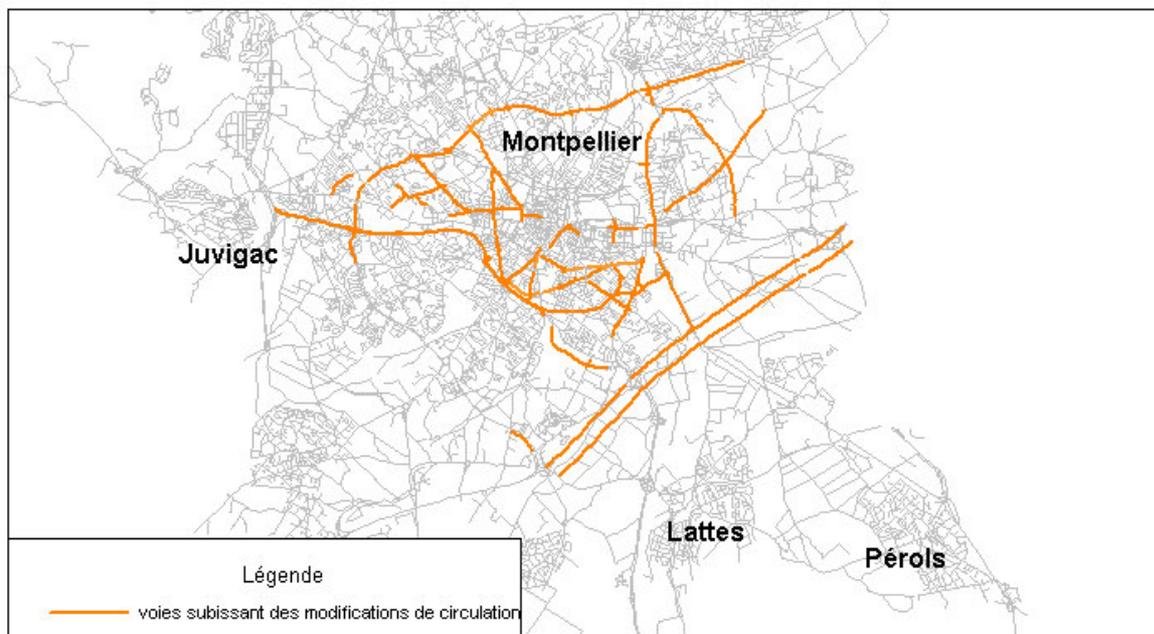


Figure 4 : Voies subissant des modifications de circulation

1.5 Le trafic automobile : source de pollution

Les principales sources de pollution atmosphérique en milieu urbain peuvent être classées en quatre catégories, d'importance variable selon les agglomérations :

- les installations fixes de combustions : centrales thermiques, installations de chauffage collectif ou individuel, chaudières industrielles,
- l'incinération des déchets ménagers et industriels,
- le trafic automobile,
- les procédés industriels et artisanaux spécifiques.

Dans ce mémoire, seule la pollution de fond, c'est à dire la pollution de l'air ambiant quand on n'est pas en proximité des sources vues au-dessus, et la pollution d'origine automobile seront étudiées.

Le trafic routier est une source de pollution diffuse constituée d'une multitude d'émetteurs. Les polluants émis correspondent aux imbrûlés des carburants (hydrocarbures), aux additifs ou impuretés qu'ils contiennent (soufre dans le gazole) et, évidemment, aux produits de combustion (monoxyde de carbone (CO), hydrocarbures imbrûlés, oxydes d'azote (NOx), particules en suspension et suies).

Le trafic routier représente une part plus ou moins importante des émissions, selon le polluant, comme le montre le tableau ci-dessous :

SO ₂	NO _x	CO	C ₆ H ₆	Particules
22%	85%	71%	90%	58%

Tableau 3 : Part du trafic automobile dans l'émission de quelques polluants sur l'agglomération de Montpellier en 2000 [2]

1.6 Différents polluants d'origine automobile, leurs effets sur la santé et la réglementation

Il est important de noter que les gaz d'échappement des véhicules sont constitués essentiellement de dioxyde de carbone, de vapeur d'eau et d'azote et donc sont sans effet direct sur la santé. Les polluants émis et pouvant avoir un effet sur la santé ne représentent que 2 à 4% de la totalité des gaz rejetés [3].

Les effets sur la santé de la pollution atmosphérique sont classés en deux groupes :

- Les effets à court terme, qui peuvent être définis comme des " manifestations " cliniques, fonctionnelles ou biologiques survenant dans des délais brefs (quelques jours, semaines) suite aux variations journalières des niveaux ambiants de pollution atmosphérique. Ces effets concernent essentiellement l'appareil respiratoire : rhinites, toux – voire crise d'asthme –, mais aussi l'appareil cardio-vasculaire. Ces manifestations peuvent résulter d'une toxicité directe des polluants mais aussi d'une fragilisation des mécanismes de défenses de l'organisme vis-à-vis des agressions bactériennes, virales ou allergiques.

Le rôle des épisodes aigus de pollution atmosphérique sur la mortalité a été démontré depuis les années 50. Les causes de mortalité associées à la pollution atmosphérique sont principalement respiratoires et cardiovasculaires.

- Les effets à long terme, qui peuvent être des affections ou pathologies survenant après une exposition chronique à la pollution atmosphérique (plusieurs mois ou années). Ces effets concernent des lésions dégénératives des organes respiratoires et surtout le risque de cancer. Ils sont cependant difficiles à mettre en évidence puisqu'il faut étudier des personnes qui sont très mobiles et donc exposées à de grandes variations de concentration sur une longue période.

A ce jour, les effets à court terme ont été les plus étudiés. La mortalité – toutes causes ou spécifique (respiratoire et cardio-vasculaire) – est l'indicateur le plus souvent employé pour des raisons de disponibilité des données.

Les polluants étudiés ici sont les polluants issus du trafic automobile et ceux intégrés dans le logiciel STREET 5.1 servant à la modélisation. Ce sont le dioxyde d'azote (NO₂), le benzène (C₆H₆), le monoxyde de carbone (CO), le dioxyde de soufre (SO₂) et les particules de taille inférieure à 10 µm (PM10). On ne traitera pas, ici, de l'ozone.

Seuls les effets de chacun de ces polluants pris individuellement sont abordés dans ce paragraphe, bien que dans l'air, ils soient mélangés de façon plus ou moins complexe. Les différents polluants présents dans l'air peuvent avoir des effets synergiques, ce qui rend difficile l'évaluation de la toxicité de ces mélanges.

1.6.1 Oxydes d'azote (NOx)

Origine et caractéristiques des NOx :

Ce terme désigne le monoxyde d'azote (NO) et le dioxyde d'azote (NO₂) qui sont formés par oxydation de l'azote atmosphérique (N₂) lors de combustions à hautes températures de carburant ou de combustible fossile. Ils interviennent dans le processus de formation de l'ozone dans la basse atmosphère. Ce sont des polluants routiers par excellence [4]. En effet, le secteur des transports est responsable de près de 85% des émissions de NOx sur l'agglomération de Montpellier, en 2000 (cf. tableau 3). Bien que les pots catalytiques favorisent une diminution des émissions de NOx, les concentrations dans l'air ne diminuent guère compte tenu de l'âge du parc automobile et de l'augmentation constante du trafic.

Le NO est principalement émis par les véhicules à moteur thermique et se transforme en quelques heures par oxydation en NO₂ qui est un gaz roux, odorant et plus lourd que l'air. Cette réaction est favorisée par les UV. C'est un gaz qui est peu soluble dans l'eau. Il est considéré comme un indicateur de la pollution urbaine d'origine automobile [1].

Effets sur la santé :

Le NO₂ peut pénétrer dans les plus fines ramifications des voies respiratoires et entraîner une altération de la fonction respiratoire et une hyper réactivité bronchique chez l'asthmatique. Chez les enfants, il augmente la sensibilité des bronches aux infections microbiennes.

1.6.2 Benzène (C₆H₆)

Origine et caractéristiques du C₆H₆ :

Il est présent dans le carburant automobile. Il est émis à 90% par le trafic automobile sur l'agglomération montpelliéraine en 2000 (cf. tableau 3).

Effets sur la santé :

Il présente un effet nocif pour la santé humaine [4]. En effet, il est classé comme cancérigène certain pour l'homme par le Centre International de Recherche contre le Cancer (CIRC). Il induit principalement des leucémies et des lymphomes. Certaines populations apparaissent comme plus sensibles, c'est le cas des enfants, des femmes enceintes, des personnes en sur poids et des fumeurs [5]. Le benzène peut aussi conduire à une baisse des globules rouges dans le sang et à une diminution de la réponse immunitaire.

1.6.3 Monoxyde de carbone (CO)

Origine et caractéristiques du CO :

Il résulte de la combustion incomplète des carburants et des combustibles, notamment dans les moteurs et les chauffages individuels. 71% des émissions totales en CO sur l'agglomération de Montpellier, en 2000, proviennent du transport routier (cf. tableau 3).

C'est un gaz inodore, incolore et de densité à peine inférieure à celle de l'air (0,967). Il est insoluble dans l'eau.

Effets sur la santé :

Il diffuse à travers la paroi alvéolaire des poumons, lieu de contact et d'échanges entre air et sang. Puis il se dissout dans le sang et s'associe, à la place de l'oxygène, avec l'hémoglobine pour former la carboxyhémoglobine (COHb). A faible dose (200 à 700 ppm), il y a alors une sous-oxygénation des tissus et il peut provoquer des malaises chez les personnes souffrant de maladies du cœur et des poumons. A forte dose (≥ 1200 ppm), les effets vont porter sur les organes consommant le plus d'oxygène : cerveau, cœur, muscle et fœtus. Il est alors à l'origine d'intoxications oxycarbonées chroniques avec des céphalées, des vertiges, des vomissements, des asthénies ou des anémies. Il peut entraîner la mort ou peut laisser des séquelles neuropsychiques irréversibles si l'exposition à des teneurs élevées est longue. Cependant, de telles teneurs ne sont observées qu'à l'intérieur, cela ne concerne donc pas les valeurs environnementales même en proximité immédiate de trafic automobile.

1.6.4 Dioxyde de soufre (SO₂)

Origine et caractéristiques du SO₂ :

C'est plutôt un indicateur de la pollution industrielle et du chauffage. En effet, il provient essentiellement de la combinaison des impuretés soufrées des combustibles fossiles (fioul, charbon) avec l'oxygène de l'air lors de leur combustion. Cependant, les véhicules diesel ont contribué à amplifier les émissions en SO₂ pendant de nombreuses années. Différents décrets ont donc imposé la réduction du soufre dans les carburants ce qui a permis de réduire les émissions automobiles. La valeur en soufre dans les carburants a été abaissée à 50 mg/kg depuis le 1^{er} janvier 2005 et elle devra être de 10 mg/kg au 1^{er} janvier 2009 [6]. SO₂ n'est pas toujours pris en compte dans les études sur la pollution automobile car la part automobile est faible (22% sur l'agglomération montpelliéraine (cf. tableau 3)) par rapport aux autres sources d'émission. Cependant, il est calculé par STREET.

C'est un gaz incolore à odeur piquante et suffocante.

Variations saisonnières : les concentrations en SO₂ sont plus importantes en hiver qu'en été ceci est dû aux systèmes de chauffage mais aussi au brouillard ou aux inversions de températures plus fréquents en hiver qu'en été.

Effets sur la santé :

Il irrite les muqueuses respiratoires. A court terme, il provoque des toux et des essoufflements, aggrave l'asthme et accroît la morbidité respiratoire. A long terme, il augmenterait les risques de bronchite chronique.

1.6.5 Particules de taille inférieure à 10 µm (PM10)

Origine et caractéristiques du PM10 :

Elles sont émises par certains procédés industriels (sidérurgie, fabrication de ciment, d'engrais...) et par les installations de combustion. Dans le domaine des transports, elles proviennent des résidus de combustion des particules diesel, de l'usure des pièces mécaniques et de la chaussée.

Effets sur la santé :

Selon leur taille, elles vont pénétrer plus ou moins profondément dans les voies respiratoires :

- entre 10 et 5 μm , elles restent au niveau des grosses voies aériennes (trachée, bronches...),
- < 5 μm , elles pénètrent les alvéoles pulmonaires et irritent les voies respiratoires ou altèrent la fonction respiratoire, surtout chez l'enfant.

De plus, elles peuvent transporter des composés toxiques, contribuant, en particulier chez les enfants, à une irritation aiguë ou chronique des muqueuses bronchiques, à une hyper réactivité bronchique, à l'expression de leur sensibilité allergique ou à une exacerbation de leur pathologie respiratoire préexistante. Enfin, certaines substances mutagènes ou cancérigènes comme les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP), peuvent se fixer sur les particules en suspension.

1.6.6 Réglementation

Réglementation européenne :

La directive 99/30/CE du 22 avril 1999 relative à la fixation des valeurs limites pour le SO_2 , le NO_2 , les NO_x , les particules et le plomb dans l'air ambiant.

La directive 00/69/CE du 16 novembre 2000 relative à la fixation des valeurs limites pour le C_6H_6 et le CO .

Réglementation française :

Le décret n°98-360 du 6 mai 1998 relatif à la surveillance de la qualité de l'air et de ses effets sur la santé et sur l'environnement, aux objectifs de qualité, aux seuils d'alerte et aux valeurs limites.

Le décret n°2002-213 du 15 février 2002 transposition en droit français de la directive cadre européenne modifiant le décret 98-360 du 6 mai 1998.

Polluants	Valeur limite pour la protection de la santé	Objectif de qualité (moyenne annuelle)
Benzène	- 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, décroissant linéairement de 2005 à 2010 - 5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en moyenne annuelle en 2010	2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
NO_2	- 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ décroissant linéairement de 2005 à 2012 - 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en moyenne annuelle en 2012	40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
CO	10 mg/m^3 en moyenne glissante sur 8 heures	1 000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ *
SO_2	- P99,2 = 125 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en moyenne journalière	50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
PM10	- 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en moyenne annuelle	30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

Tableau 4 : Valeurs limites pour la protection de la santé et objectifs de qualité pour C_6H_6 , NO_2 , CO , SO_2 et PM10 (cf. Annexe 2)

* En l'absence de seuil annuel français, la valeur de référence 1 000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ a été retenue en référence aux normes allemandes de la qualité de l'air.

1.7 Personnes sensibles à la pollution atmosphérique

Tous les individus ne sont pas égaux face aux effets de la pollution atmosphérique. En effet, la sensibilité peut varier en fonction :

- de l'âge,
- de l'emploi, notamment si la personne est en contact avec des substances chimiques,
- du temps passé à l'extérieur,
- du niveau d'activité, qui augmente la quantité de polluants accédant aux poumons,
- du mode de vie, notamment le tabagisme actif ou passif mais aussi l'alimentation,
- des prédispositions génétiques,
- de l'état de santé général, notamment la présence d'une maladie dont les effets sur la réactivité bronchique sont accentués par la pollution.

Malgré cette grande variabilité individuelle, certaines populations sont plus sensibles que d'autres :

Les enfants qui sont particulièrement sensibles aux irritants car leur appareil respiratoire est immature : après la naissance, le nombre d'alvéoles continue à se multiplier jusqu'à l'âge de trois ans et l'appareil respiratoire poursuit son développement en terme de croissance et de maturation jusqu'à l'âge de huit ans [1]. De plus, les enfants sont, en général, hyper actifs ce qui accentue leur exposition.

Les personnes âgées qui, bien qu'elles soient moins actives et moins exposées à la pollution extérieure car elles se déplacent moins, sont sensibles à la pollution atmosphérique car leurs défenses immunitaires sont diminuées mais aussi parce que leur équilibre respiratoire est plus instable, surtout si la personne a des antécédents de maladie respiratoire.

Les personnes souffrant de problèmes respiratoires : patients asthmatiques, sujets allergiques et insuffisants respiratoires chroniques, car leurs muqueuses respiratoires sont déjà sensibles.

Les femmes enceintes et leur fœtus qui sont particulièrement sensibles au CO.

1.8 Exposition de la population

L'homme est en permanence exposé à des micro-environnements très hétérogènes par leur nature et leur niveau de concentration en polluants : habitat, milieu de travail, transports, air ambiant etc. L'évaluation de l'impact sur la santé de la pollution atmosphérique est donc une tâche difficile, d'autant plus si on considère l'exposition résultant de la fumée de tabac et de l'activité professionnelle. Une des premières étapes à l'évaluation de l'impact sanitaire est la mesure de l'exposition de la population.

Une recherche méthodologique a donc été effectuée afin de trouver une méthode pour estimer l'évolution de l'exposition de la population à la pollution atmosphérique suite à la mise en place d'une nouvelle infrastructure de transport en commun.

On peut distinguer trois types d'exposition :

- l'exposition globale :

C'est un indicateur représentatif d'une exposition collective des populations. On utilise généralement les données du réseau de mesures permanent. Chaque individu pourra alors appréhender son niveau d'exposition en fonction des heures, des saisons et de sa localisation. Pour cela, la ville est découpée en plusieurs zones (urbain, péri-urbain, rural) et on y affecte le niveau de concentration moyen fourni par une station de mesures représentative de cette zone selon la saison (estivale ou hivernale) et la période de la journée (heures ouvrées : 8h-19h ou le complémentaire : 20h-7h).

- l'exposition locale :

C'est un niveau d'exposition plus fin que le précédent. On obtient alors un indice d'exposition annuel par profil de population, en croisant le budget espace temps (BET) de la population et les données sur la qualité de l'air, sur l'année, dans chaque micro environnement fréquenté par la population.

- l'exposition individuelle :

Elle permet de caractériser avec plus de précision l'exposition en sélectionnant un échantillon de la population et en mesurant la pollution à laquelle elle est exposée en utilisant des dispositifs de mesures portables. C'est une méthode coûteuse qui est peu employée.

Dans le cadre de ce mémoire, les données disponibles sur les immissions en polluant, sont des données modélisées à l'échelle de la rue par le logiciel STREET. L'échelle spatiale est donc plus précise que dans le cadre de l'exposition globale. De plus, des données sur le BET des personnes sont disponibles. On peut donc connaître l'exposition locale de la population présente sur le tracé du tramway 3 et les voies subissant une modification de circulation. La méthode utilisée pour évaluer cette exposition ainsi que ses limites sont présentées dans les paragraphes 2.1 et 2.4.

2 METHODE DE CALCUL DE L'EXPOSITION, DONNEES D'ENTREE ET LIMITES

2.1 Méthode utilisée

L'objectif de ce mémoire est d'estimer la variation de l'exposition de la population à la pollution atmosphérique, suite à la mise en place d'une nouvelle infrastructure de transport en commun. Afin de répondre à cet objectif, le travail a été découpé en plusieurs étapes :

2.1.1 Calcul des concentrations d'exposition de la population

L'équation utilisée pour connaître l'exposition des personnes est :

$$E = \sum_{i=1}^n C_i \times T_i$$

avec n le nombre de micro-environnements fréquentés par la personne

C_i la concentration dans le micro-environnement i

T_i le temps passé, par la personne dans le micro-environnement i , sur une journée

Dans notre cas, on ne considère qu'un seul micro-environnement : le tronçon étudié, puisque aucune autre donnée n'est disponible.

La concentration dans ce micro-environnement est alors la concentration d'immission obtenue avec le logiciel STREET. Bien que cette méthode ait été construite avec des données du logiciel STREET, il est possible d'utiliser des données issues d'autres logiciels, comme ISATIS.

Le temps passé par la personne dans le micro-environnement provient de la base de données CIBLEX, qui affecte un budget espace temps (BET) à différentes catégories de personnes (cf. paragraphe 2.3.2).

2.1.2 Différentes classes d'âge

Comme les personnes ont des sensibilités différentes à la pollution atmosphérique selon leur âge et que le BET existe pour différentes classes d'âge, la population étudiée est divisée en cinq catégories :

- enfants en bas âge (0 à 2 ans),
- enfants de 2 à 12 ans,
- adolescents de 12 à 17 ans,
- adultes de 17 à 60 ans,
- adultes de plus de 61 ans.

On va donc obtenir les concentrations auxquelles les différentes classes d'âge sont exposées quand elles sont présentes sur le tronçon étudié.

2.1.3 Nombre de personnes concernées

Afin de mieux apprécier l'impact du tramway sur l'exposition de la population, le nombre de personnes de chaque classe d'âge, concernées par les concentrations d'exposition calculées auparavant, est estimé.

Pour cela, il faut estimer la largeur de bande sur laquelle les concentrations d'immission modélisées sont applicables. La méthode de calcul de la largeur de bande est issue du calcul de l'indice population/pollution (IPP) dans le volet « air » des études d'environnement des projets routiers :

- Pour la pollution particulaire, la bande d'étude a une largeur de 100 m.
- Pour la pollution gazeuse, la largeur de la bande d'étude peut être définie à partir du tableau suivant :

Trafic Moyen Journalier Annuel (TMJA) (véh/j)	Trafic à l'heure de pointe (véh/h)	Largeur minimum de la bande d'étude de part et d'autre de l'axe (m)
> 100 000	> 10 000	300
50 000 < x ≤ 100 000	5 000 < x ≤ 10 000	300
25 000 < x ≤ 50 000	2 500 < x ≤ 5 000	200
10 000 < x ≤ 25 000	1 000 < x ≤ 2 500	150
≤ 10 000	≤ 1 000	100

Tableau 5 : Critères permettant de définir la largeur minimale de la bande d'étude [4]

Ensuite, pour estimer le nombre de personnes, ce sont les données du recensement de 1999 de l'INSEE, sur les IRIS (cf. paragraphe 2.3), qui sont utilisées.

Comme les données de l'INSEE ne concernent que les personnes résident sur l'IRIS, on estime uniquement, dans ce rapport, l'exposition, pendant leur temps de séjour sur leur lieu d'habitation, des personnes domiciliées sur la zone d'étude.

2.1.4 Différents scénarii

Les calculs sont effectués pour trois scénarii :

- 2005 : état de référence,
- 2012 sans la ligne de tramway,
- 2012 avec la ligne de tramway en fonctionnement.

Ce sont les scénarii qui ont été étudiés lors de l'étude d'impact sur la qualité de l'air de la ligne 3 du tramway [10], [11].

Entre chaque scénario, ce sont la circulation journalière, la configuration de la rue pour les tronçons de la ligne de tramway et le parc automobile qui sont modifiés.

2.1.5 Indicateurs globaux et concentrations moyennes

Pour chaque polluant, on a défini, pour chaque classe d'âge j, des indicateurs de la façon

suivante : $I_j = \sum_{i=1}^{255} P_i \times E_i$

où P_i est le nombre de personnes de la classe d'âge étudiée sur le tronçon i
et E_i est la concentration d'exposition de la classe d'âge étudiée sur le tronçon i

Ces différents indicateurs sont ensuite additionnés afin d'obtenir un indicateur global par polluant : $I = \sum_{j=1}^5 I_j$ avec I_j : indicateur de la classe d'âge j .

I et I_j s'expriment en $\mu\text{g}/\text{m}^3 \cdot \text{habitant}$.

Ensuite, par polluant, la concentration d'exposition moyenne est calculée : $\frac{I}{P_{\text{tot}}}$ en $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

avec I : indice global pour un polluant

et P_{tot} : population totale concernée par l'étude pour le scénario étudié (cf. tableau 6)

Pour plus de précision sur le calcul, se reporter à l'Annexe 3

Ces indicateurs globaux et ces concentrations d'exposition moyennes sont extrêmement simplistes. Ils ne seront donc utilisés qu'afin de comparer les différents scénarii entre eux.

2.2 Immissions au niveau de la rue

Le système de surveillance permanente de la qualité de l'air ne permet pas toujours d'évaluer l'impact de la mise en place de nouvelles infrastructures routières, sur la pollution atmosphérique d'origine automobile. On ne dispose donc, en général, que de données sur la circulation automobile. Or, pour un trafic identique, les immissions de polluants au niveau des piétons peuvent varier très fortement en fonction de nombreux paramètres dont l'orientation de la rue, son exposition au vent, sa pente, sa largeur etc. Le logiciel STREET permet de simuler cet impact.

2.2.1 Présentation de STREET

STREET est un logiciel d'évaluation, dans l'air ambiant, des émissions et des immissions liées à la circulation automobile, au niveau de la rue.

Il apparaît comme un outil pouvant répondre rapidement à des interrogations telles que la connaissance de la qualité de l'air sur les voies principales, l'analyse de variantes dans le cadre d'un PDU, l'impact d'un changement de circulation sur une voie, l'approche de l'exposition du citoyen. En plus d'être un support d'aide à la décision, STREET est aussi un outil de communication qui permet d'illustrer facilement la relation existant entre la voiture et la pollution de l'air.

Les bases scientifiques du logiciel STREET ont été élaborées lors d'un programme de recherche initié par le Ministère de l'Environnement du Land Baden Württemberg en Allemagne. Des adaptations ont été prises en compte pour élaborer la version française du logiciel :

- le parc automobile français,
- les facteurs d'émissions spécifiques, basés sur le logiciel IMPACT de l'ADEME.

Les polluants pris en compte sont : le C_6H_6 , le NO_2 , le CO , le SO_2 et les PM_{10} .

STREET calcule les **émissions** (exprimées en $\text{g}/\text{km}/\text{véhicule}$), et les **immissions** (exprimées en $\mu\text{g}/\text{m}^3$), en C_6H_6 , NO_2 , CO , SO_2 et PM_{10} , en **moyennes annuelles** ainsi que les percentiles 50 et 98 pour NO_2 .

Pour plus de précision sur le logiciel STREET (paramètres d'entrée et limites) se reporter à l'Annexe 4.

2.2.2 Test de sensibilité et validation du logiciel STREET

Des tests de sensibilité ont été effectués par Targeting, le distributeur du logiciel en France [7], par le réseau de surveillance de la qualité de l'air en Aquitaine (AIRAQ) [8] et par Air LR [9]. Ils consistent à fixer au départ tous les paramètres d'entrée et à chaque test, à n'en faire varier qu'un et à discuter de son influence sur les résultats finaux. Ces tests ont montré que les paramètres ayant la plus grande influence sur l'exactitude des résultats finaux sont :

- la vitesse du vent,
- la catégorie de la rue,
- le nombre de véhicules,
- la configuration de la rue.

La pente de la rue et la répartition du parc automobile ont une influence moindre.

Quant à l'année de référence et l'orientation du vent, elles ne constituent pas des sources d'erreur.

Validation du logiciel STREET

Le logiciel STREET a été validé par plusieurs AASQA (AIRAQ, ASPA, Air LR), en comparant les résultats obtenus par STREET et les mesures de stations fixes ou les mesures par échantillonnage passif (cf. Annexe 5).

L'incertitude attribuée aux résultats de STREET est de l'ordre de $\pm 25\%$. Cette incertitude est acceptable au vu des incertitudes des données provenant de la surveillance permanente ($\pm 15\%$) et celles provenant de la surveillance ponctuelle ($\pm 20\%$).

Ces écarts entre les calculs et les mesures proviennent d'une part, d'un manque de connaissance de toutes les données à intégrer dans le logiciel mais également de lacunes propres au logiciel (cf. Annexe 4).

2.2.3 Conclusions provisoires de l'étude d'impact sur la qualité de l'air de la ligne 3 du tramway

Pour réaliser l'étude d'impact sur la qualité de l'air de la future ligne 3 du tramway, Air LR [10], [11] a découpé en tronçons le trajet du tramway et les voies pour lesquelles la circulation est susceptible d'être modifiée. Les trois scénarii vus précédemment ont été étudiés :

- 2005 : état de référence,
- 2012 sans la ligne de tramway,
- 2012 avec la ligne de tramway en fonctionnement.

Les données particulières à cette étude sont présentées dans l'Annexe 6.

Pour chacun des tronçons et pour chaque scénario, STREET calcule les émissions et les immissions.

Comme toutes les données trafic ne sont pas encore disponibles, les conclusions de l'étude d'impact sur la qualité de l'air de la future ligne 3 du tramway présentées ci-dessous, sont provisoires.

Lors de cette étude, on observe qu'indépendamment de la mise en service de la ligne 3, il y a une diminution des émissions liées au trafic automobile entre 2005 et 2012, due à une évolution du parc automobile.

La modélisation, par STREET, de la pollution atmosphérique à l'échelle de la rue, montre une faible diminution des immissions entre 2005 et 2012 mais certaines voies, ayant une forte circulation et une configuration particulière (rue étroite), sont toujours soumises, en 2012, à des concentrations dépassant les valeurs limites pour la protection de la santé.

Sur les voies le long du tracé, la mise en service de la nouvelle ligne de tramway a, globalement, un bon impact sur la qualité de l'air. En effet, elle permet une diminution des immissions en NO₂ et PM10. Elle a aussi une légère influence favorable sur les immissions en C₆H₆ et en CO mais n'a aucun effet sur celles en SO₂.

Sur les voies concernées par des modifications de circulation, l'étude conclut que les augmentations de trafic sur ces voies n'entraînent pas d'augmentation significative des immissions des polluants considérés, à l'exception des immissions en NO₂ et en PM10 qui augmentent sur quelques axes à configuration particulière.

2.3 Population concernée

2.3.1 Estimation du nombre de personnes concernées par le projet

Les données sur la population domiciliée sur la zone d'étude sont celles du recensement de 1999 de l'INSEE sur les IRIS de Montpellier, Lattes, Pérols, Juvignac et Castelnau-le-Lez. La répartition par âge et la densité sur chaque IRIS ont été nécessaires.

Ce sont les données de population de 1999 qui sont utilisées pour chaque scénario (pas de projections disponibles pour 2005 et 2012).

Avec la méthode exposée au paragraphe 2.1, le nombre de personnes concernées par la pollution sur chaque tronçon de l'étude est calculé :

	Classes d'âge	2005	2012 sans la ligne	2012 avec la ligne
Pour la pollution gazeuse	[0-2[	3 529	3 571	3 550
	[2-12[	23 904	24 074	23 969
	[12-17[	11 371	11 497	11 426
	[17-60]	160 034	161 998	160 273
	61 et +	46 924	47 706	47 641
	Total des classes	245 761	248 847	246 860
Pour la pollution particulaire	[0-2[	1 861		
	[2-12[	12 484		
	[12-17[	5 926		
	[17-60]	86 167		
	61 et +	25 342		
	Total des classes	131 781		

Tableau 6 : Nombre de personnes, par classe d'âge, concernées par la pollution automobile sur la zone d'étude

2.3.2 Budget espace temps

Le budget espace temps (BET) des personnes provient de la base de données CIBLEX réalisée par l'ADEME et l'Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire (IRSN) en juin 2003, qui a pour objectif de décrire la population française au voisinage d'un site pollué. Deux paramètres ont été pris en compte pour caractériser la population dans la base de données CIBLEX : la répartition par classe d'âge et la catégorie socioprofessionnelle (CSP) pour les individus en âge d'exercer une activité professionnelle :

Catégories	Age (année)	Catégories Socio-Professionnelles
Nourrissons	[0-1[/
Enfants	[1-2[/
	[2-7[/
	[7-12[/
	[12-17[/
Adolescents	[12-17[/
Adultes	[17-60]	exploitants ou ouvriers agricoles
		artisans ou commerçants
		ouvriers
		cadres et professions libérales
		professions intermédiaires
		employés
		étudiants
	inactifs	
	61 ans et plus	/

Tableau 7 : Répartition retenue pour la classification de la population dans la banque de données CIBLEX [12]

Dans la présente étude, seul le temps passé au domicile sera utilisé car on ne dispose pas, au niveau de l'INSEE, de données sur les personnes exerçant leur profession au sein d'un IRIS.

Pour établir les BET, CIBLEX a séparé la population en deux catégories : les individus de moins de 12 ans et les autres :

BET des enfants de moins de 12 ans :

Les données de CIBLEX, pour cette catégorie d'individus, proviennent d'une publication de ROY et al. [13] qui propose les valeurs des BET des individus de 0 à 17 ans. Trois environnements principaux ont été considérés (l'intérieur de l'habitation, l'intérieur d'un autre lieu et l'extérieur) ainsi que trois classes d'âge (0-3 ans, 4-6 ans et 7-17 ans). Les résultats sont des valeurs moyennes établies sur l'année, à l'échelle nationale. Ce sont donc des données très générales : ni les variations des temps d'exposition en fonction du lieu géographique ni celles dues à la saison ne sont prises en compte.

Ces données ont été extrapolées aux classes d'âges de CIBLEX selon les correspondances suivantes :

Classes CIBLEX	Classes initiales
0-1, 1-2 ans ou enfants en bas age	0-3 ans
2-7 ans ou enfants	Moyennes des classes 0-3 ans et 4-6 ans
7-12 ans ou adolescents	7-17 ans

Tableau 8 : Extrapolation de l'étude initiale [13] à la base de données CIBLEX

Les BET, en heures, pour les enfants de moins de 12 ans, au niveau de leur domicile, sont les suivants :

	0-2 ans	2-7 ans	7-12 ans
Sommeil	14	13	10
Temps physiologique	4	3,5	3
Etude (travail à la maison)	-	-	1,67
Jeux, temps libre	1	1,92	3
Total	<u>19</u>	18,42	17,67

Tableau 9 : BET, en heures, des individus de moins de 12 ans, sur leur lieu d'habitation

Pour la présente étude et afin de respecter les classes d'âge définies dans le paragraphe 2.1.2, les classes d'âge [2-7] et [7-12] sont regroupées en une seule classe d'enfants de 2 à 12 ans. Son BET sera la moyenne des BET des deux classes de CIBLEX, soit 18 heures.

BET des individus de plus de 12 ans :

Les données exploitées pour CIBLEX proviennent d'une étude de l'INSEE de 1999 [14]. Les individus enquêtés remplissent un carnet où ils décrivent, de 10 minutes en 10 minutes, leurs activités sur un jour donné. L'enquête se déroule sur un an pour tenir compte de la saisonnalité de certaines activités. Les jours sont répartis de façon à couvrir toute l'année sauf les deux premières semaines d'août et les vacances de Noël. Les ménages sont interrogés dans leur résidence principale et toutes les personnes de plus de 15 ans sont concernées. Les activités, sur le lieu d'habitation, sont réparties comme suit :

Extérieur	Promenades dans le jardin
	Jardinage
Intérieur	Sommeil
	Salle de bain
	Repas
	Tâches ménagères
	Loisirs

Tableau 10 : Répartition des activités sur le domicile

Les valeurs de BET proposées pour une activité donnée ne représentent pas une moyenne sur l'ensemble de la population, mais uniquement sur les seuls pratiquants. Les valeurs sont donc à considérer comme la somme, pour différentes activités, du temps de pratique de différents individus et non comme la journée type d'un seul individu.

Cela a pour conséquence que si l'activité est largement répandue dans la population, le BET correspondant sera représentatif. Si, au contraire, le pourcentage de pratiquants est faible, il y a lieu de considérer les valeurs avec prudence.

Dans l'étude, les pourcentages de pratiquants sont toujours supérieurs à 65 pour toutes les activités à l'intérieur de la maison sauf pour les adolescents (12-17 ans) pour lesquels l'activité « tâches ménagères » n'est pratiquée que par 49% des personnes. Les activités en extérieur, sur le lieu de domicile, ont un faible pourcentage de pratiquants.

Même si le pourcentage de pratiquants est faible, les temps passés à chaque activité sur le lieu d'habitation sont additionnés afin d'obtenir le temps de présence sur ce lieu. Il est donc important de ne pas prendre ce temps de présence comme un temps exact mais plutôt comme un ordre de grandeur.

BET des adolescents (12-17 ans) :

Les individus de la classe d'âge [12-17] séjournent 16 heures dans leur maison.

BET des adultes (17-60 ans) :

Dans la base de données CIBLEX, la classe 17-60 ans est divisée en huit catégories socio-professionnelles (CSP).

Dans cette étude, on ne différenciera pas les CSP afin de limiter le nombre de données et de n'avoir qu'une seule catégorie : les adultes. De plus, le temps de présence des « Inactifs » sur leur domicile étant très élevé (23 heures), il n'est pas pris en compte dans le calcul du BET des 17-60 ans.

Deux méthodes sont alors envisageables afin de calculer le BET des 17-60 ans :

$$\bullet \text{ BET}_{17-60 \text{ ans}} = \frac{\sum_{i=1}^7 \text{BET}_i \times n_i}{\sum_{i=1}^7 n_i} \quad \text{où } \text{BET}_i \text{ est le BET de la CSP } i$$

et n_i est le nombre d'individus de la CSP i

$$\bullet \text{ BET}_{17-60 \text{ ans}} = \frac{\sum_{i=1}^7 \text{BET}_i}{7} \quad \text{où } \text{BET}_i \text{ est le BET de la CSP } i$$

Les concentrations d'exposition étant sensiblement les mêmes avec les deux méthodes, la moyenne simple (deuxième méthode) a été préférée.

Les individus ayant entre 17 et 60 ans passent donc en moyenne 17 heures sur leur domicile.

BET des plus de 61 ans :

Les individus de plus de 61 ans passent 23,5 heures dans leur lieu d'habitation.

Ce nombre d'heures passées sur le lieu d'habitation paraît surprenant pour cette classe d'âge. En effet, les personnes de plus de 61 ans ne sont pas toutes à la retraite et dans l'incapacité de se déplacer. Cependant, comme aucune autre donnée n'est disponible, c'est ce chiffre qui sera utilisé.

2.3.3 Récapitulatif du temps passé au domicile pour les différentes classes d'âge

	[0-2[	[2-12[	[12-17[	[17-60]	61 ans et plus
BET en heures	19	17	16	17	23,5

Tableau 11 : BET de toutes les classes d'âge en heure

2.4 Limites de la méthode

2.4.1 Limites dues aux données d'entrée

- Les résultats de STREET n'ont pas encore pu être « calés » avec les mesures en NO₂ en cours en 2005.
- Les BET pour les individus de moins de 12 ans sont des données nationales alors que ceux pour les individus de plus de 12 ans sont des données régionales. Il est donc posé comme hypothèse que tous les individus de moins de 12 ans se comportent de la même façon partout en France. Quant aux individus de plus de 12 ans, ils ont le même comportement partout dans la région.

Les temps passés à chacune des activités peuvent donc être sur ou sous-estimés, ce qui provoque une sur ou sous estimation de la concentration d'exposition.

- Les BET utilisés dans ce mémoire sont, parfois, des moyennes de BET de la base de données CIBLEX. On n'a donc pas des BET précis pour les classes d'âge choisies pour l'étude.

Les concentrations d'exposition peuvent alors sur ou sous estimées selon la classe d'âge.

- Les données de l'INSEE sont issues du recensement de 1999 : l'évolution de la population depuis cette date, n'est donc pas prise en compte. Or l'agglomération de Montpellier est en constante extension.

Le nombre de personnes concernées par l'étude est donc sous-estimé.

- Le nombre précis de personnes touchées par la mise en service de la nouvelle ligne de tramway n'est pas connu puisque l'INSEE ne propose pas de données de population au niveau de la rue (ceci pour des raisons de liberté individuelle).
- L'approximation du nombre de personnes concernées par la pollution sur un tronçon de l'étude est réalisée par MapInfo en fonction de la largeur de la bande d'étude et de la densité sur l'IRIS. Le nombre de personnes concernées est ainsi proportionnel à l'aire de la bande d'étude de chaque tronçon. Deux hypothèses sont donc faites :

- les répartitions par âges sur les IRIS sont représentatives de celles au niveau du tronçon,

- la population est répartie uniformément sur tout l'IRIS.

Or, d'après quelques photos aériennes prises en 2001, il existe quelques IRIS sur lesquels la répartition n'est pas uniforme. Il est donc possible que la population concernée par l'étude soit sur ou sous estimée.

Il est donc important de ne pas prendre le nombre de personnes concernées comme un chiffre exact, mais comme un ordre de grandeur.

2.4.2 Limites liées à la méthode

- Toutes les concentrations étudiées dans ce mémoire sont des moyennes annuelles.

On ne connaît donc pas les concentrations maximales auxquelles la population peut être exposée au cours de l'année.

- Il est aussi important de remarquer que, dans ce mémoire, seule l'exposition pendant le temps de présence sur le lieu d'habitation, de la population domiciliée sur la zone d'étude est calculée. En effet, aucune donnée n'est disponible, auprès de l'INSEE, sur les personnes exerçant leur profession au sein d'un IRIS.
- On ne tient pas compte du fait que les teneurs en polluants sont différentes à l'intérieur des bâtiments et à l'extérieur. La qualité de l'air variant d'un micro-environnement à un autre, l'exposition est alors sur ou sous estimée.
- Les concentrations d'exposition proviennent des concentrations d'immission, alors que ce ne sont pas forcément ces concentrations qui vont atteindre l'organe cible. Il serait intéressant de connaître la dose, dans l'organisme, de chaque contaminant qui résulte de l'exposition atmosphérique. Mais cette imprégnation est difficile à appréhender car elle dépend notamment des propriétés du polluant, de l'organe cible, des processus pharmacocinétiques et de l'activité physique des personnes. Ainsi, malgré une exposition plus faible à bicyclette qu'en voiture, l'imprégnation peut être similaire due à l'activité physique qui augmente la ventilation pulmonaire.

3 RESULTATS DE L'ETUDE, INTERPRETATIONS ET DISCUSSION

3.1 Résultats et interprétations

3.1.1 Exemple d'un calcul

Répartition du nombre d'enfants en bas âge, domiciliés sur le tracé du tramway, exposés au NO₂ en 2005 :

Sur le tronçon « rue du Pont de Lattes », situé dans le centre-ville de Montpellier, la concentration d'immission modélisée par STREET est de 28 µg/m³ de NO₂, en 2005. Pour les enfants en bas âge domiciliés sur ce tronçon, qui passent 19 heures sur leur lieu

d'habitation, la concentration d'exposition est donc de : $28 \times \frac{19}{24} = 22 \text{ µg/m}^3$.

Après avoir calculé les concentrations d'exposition pour chaque tronçon (cf. Annexe 7), on calcule avec MapInfo le nombre d'enfants en bas âge domiciliés sur chaque tronçon (cf. Annexe 7). On a alors la répartition des enfants en bas âge selon les concentrations d'exposition en 2005 :

Répartition des enfants en bas âge domiciliés sur le tracé du tramway selon les concentrations d'exposition en NO₂ en 2005

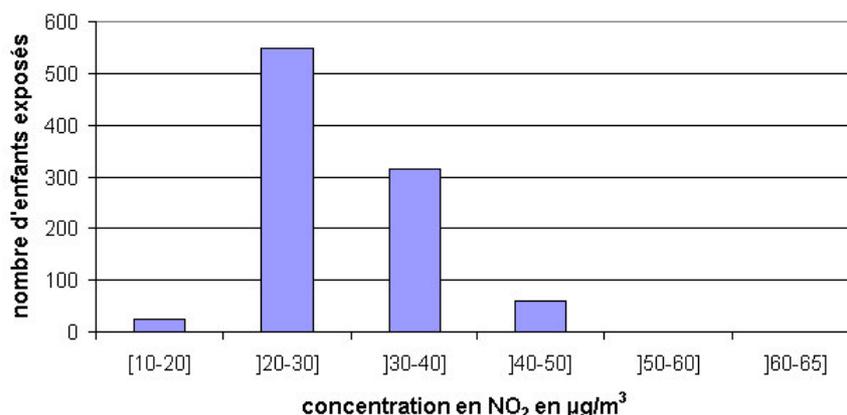


Figure 5 : Répartition des enfants en bas âge domiciliés sur le tracé du tramway selon les concentrations d'exposition en NO₂ en 2005

3.1.2 Comparaison entre les différents scénarii

Afin de connaître l'impact de la ligne 3 de tramway sur l'exposition de la population à la pollution atmosphérique, les trois scénarii suivants sont comparés :

- 2005 : état de référence,
- 2012 sans la ligne de tramway,
- 2012 avec la ligne de tramway en fonctionnement (cf. paragraphe 2.1.4).

○ Exposition de la population au benzène

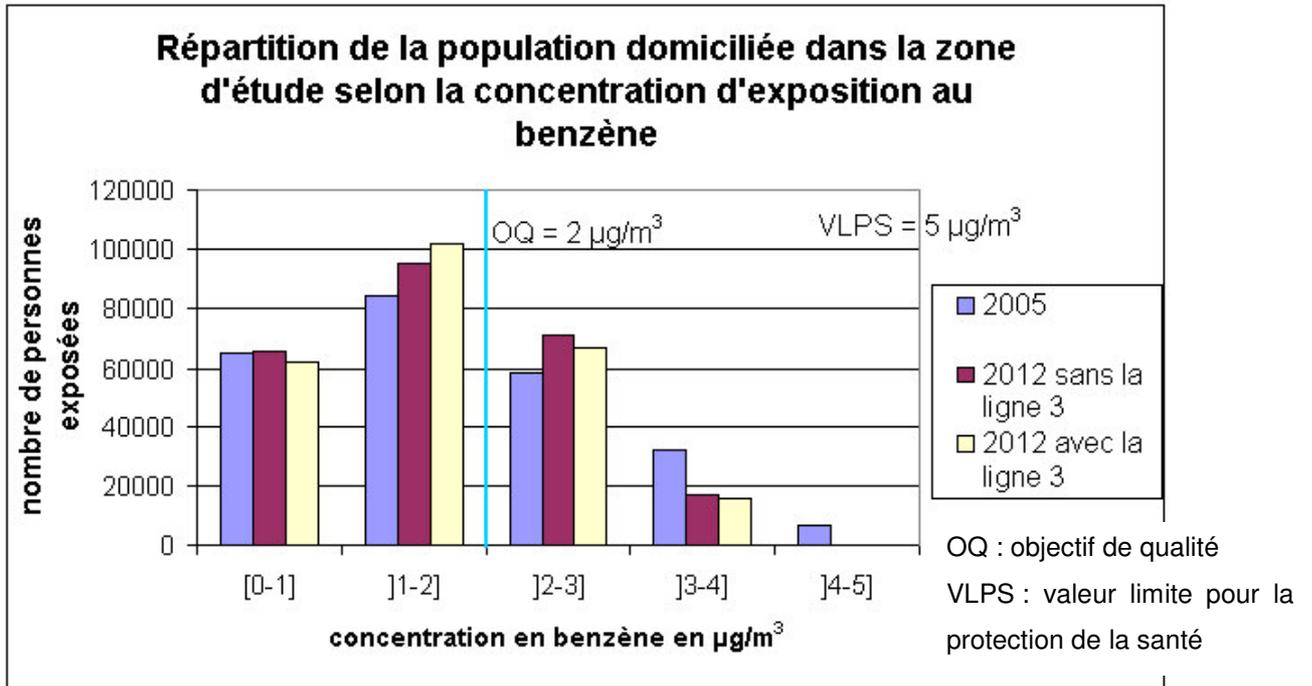


Figure 6 : Comparaison entre les différents scénarii de la répartition de la population domiciliée dans la zone d'étude selon les concentrations d'exposition au benzène

En 2005 comme en 2012, aucune personne domiciliée dans la zone d'étude, n'est exposée à une concentration supérieure à la valeur limite pour la protection de la santé.

- *Indicateur global et concentration d'exposition moyenne*

	2005	2012 sans la ligne 3	2012 avec la ligne 3
indicateur global en µg/m³.habitant	451 855	403 802	393 283
concentration moyenne en µg/m³	1,8	1,6	1,6

Tableau 12 : Indicateur global et concentration d'exposition moyenne pour le benzène

L'évolution du parc automobile a un important effet bénéfique sur l'exposition de la population au benzène (comparaison entre 2005 et 2012 sans la ligne 3 du tramway) : l'indicateur global diminue entre 2005 et 2012 avec ou sans la ligne de tramway.

La mise en service de la ligne 3 du tramway a, quant à elle, très peu d'effet sur l'exposition de la population au benzène. Cet effet peut, cependant, apparaître comme bénéfique puisque l'abattement de l'indice global est de 3% entre « 2012 sans la ligne 3 » et « 2012 avec la ligne 3 » mais la population est toujours, en moyenne, exposée à une concentration en benzène de l'ordre de 1,6 µg/m³, valeur proche de la valeur de l'objectif de qualité.

- *Nombre et pourcentage de personnes exposées à des concentrations dépassant l'objectif de qualité*

nombre de personnes exposées	2005	2012 sans la ligne 3	2012 avec la ligne 3
> 2 µg/m ³	96 590 (39%)	87 863 (35%)	82 472 (33%)

Tableau 13 : Nombre et pourcentage de personnes exposées aux concentrations en benzène supérieures à l'objectif de qualité

33% des personnes habitant près d'un des 255 tronçons étudiés seront encore exposées à une concentration supérieure à 2 µg/m³ (= objectif de qualité) en 2012 quand la ligne 3 sera en service.

Cependant, on peut noter un effet favorable de la ligne 3 puisqu'en 2005, 39% des personnes étudiées sont exposées à une concentration supérieure à 2 µg/m³ et qu'en 2012 sans la ligne, cela concernerait 35% de la population.

- Exposition de la population au NO₂

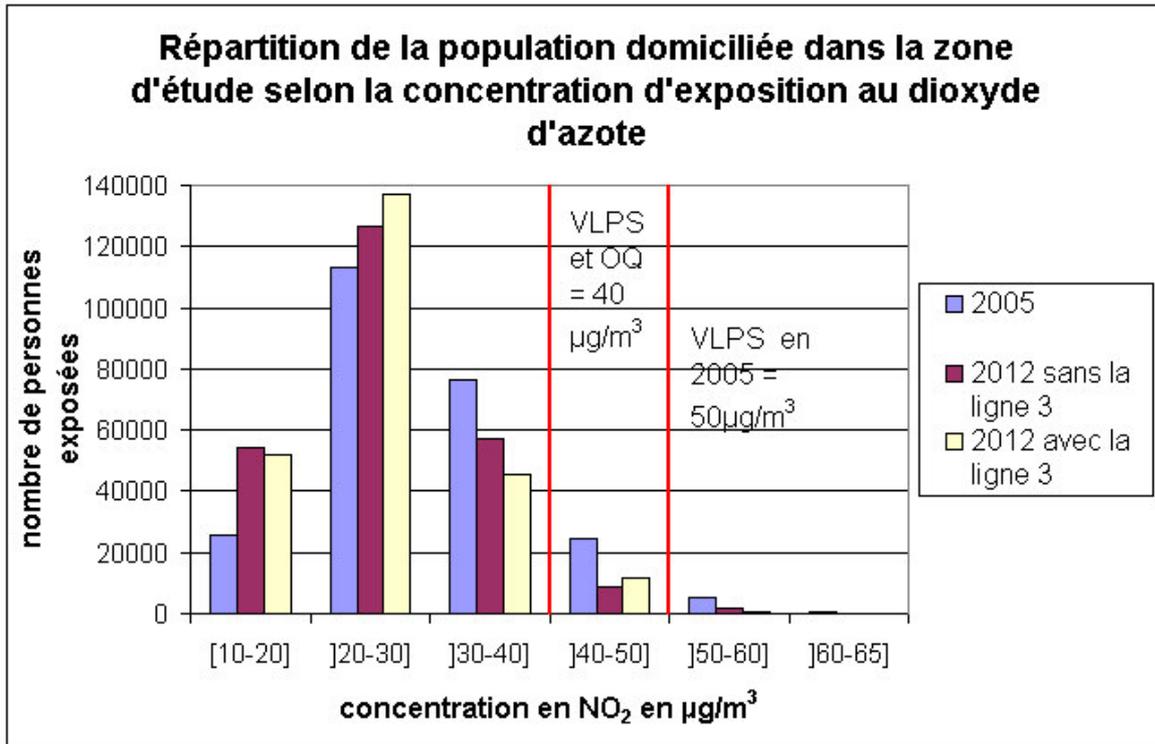


Figure 7 : Comparaison entre les différents scénarii de la répartition de la population domiciliée dans la zone d'étude selon les concentrations d'exposition au NO₂

- Indicateur global et concentration d'exposition moyenne

	2005	2012 sans la ligne 3	2012 avec la ligne 3
indicateur global en µg/m ³ .habitant	7 283 014	6 465 129	6 340 005
concentration moyenne en µg/m ³	29	26	26

Tableau 14 : Indicateur global et concentration d'exposition moyenne pour le NO₂

Comme pour le benzène, c'est l'évolution du parc automobile qui a le plus d'impact sur l'exposition de la population au NO₂ (l'indicateur global diminue entre 2005 et 2012 sans la ligne). Elle permet aussi de diminuer la concentration d'exposition moyenne à 26 µg/m³ en 2012 (contre 29 µg/m³ en 2005).

La mise en service de la ligne 3 du tramway n'a pas d'impact sur la concentration d'exposition moyenne mais elle semble, tout de même, avoir un faible effet bénéfique sur l'exposition puisque l'indicateur global diminue de 2% (comparaison des scénarii « 2012 sans la ligne 3 » et « 2012 avec la ligne 3 »).

- *Nombre et pourcentage de personnes exposées à des concentrations dépassant les seuils réglementaires*

nombre de personnes exposées	2005	2012 sans la ligne 3	2012 avec la ligne 3
> 40 µg/m ³ (objectif de qualité)	30 317 (12%)	10 549 (4%)	12 369 (5%)
> 50 µg/m ³ (valeur limite pour la protection de la santé)	5 841 (2%)	1 756 (1%)	592 (0,2%)

Tableau 15 : Nombre et pourcentage de personnes exposées aux concentrations en NO₂ supérieures à l'objectif de qualité et à la valeur limite pour la protection de la santé

Malgré les améliorations du parc automobile et la mise en place de la nouvelle ligne de tramway, 0,2% de la population étudiée continuera, en 2012 quand la ligne sera en service, à être exposée à une concentration en NO₂ supérieure à la valeur limite pour la protection de la santé (50 µg/m³). Le nombre de personnes exposées à ces concentrations diminue néanmoins grâce à la mise en service de la nouvelle ligne de tramway (comparaison de 0,2% et 1%).

Suite à la mise en service de la ligne 3 du tramway, le nombre de personnes exposées à des concentrations en NO₂ supérieures à 40 µg/m³ (objectif de qualité) augmente légèrement. Cela résulte de l'augmentation de trafic sur certains tronçons, y entraînant une hausse des émissions (cf. paragraphe 3.1.3).

○ Exposition de la population au CO

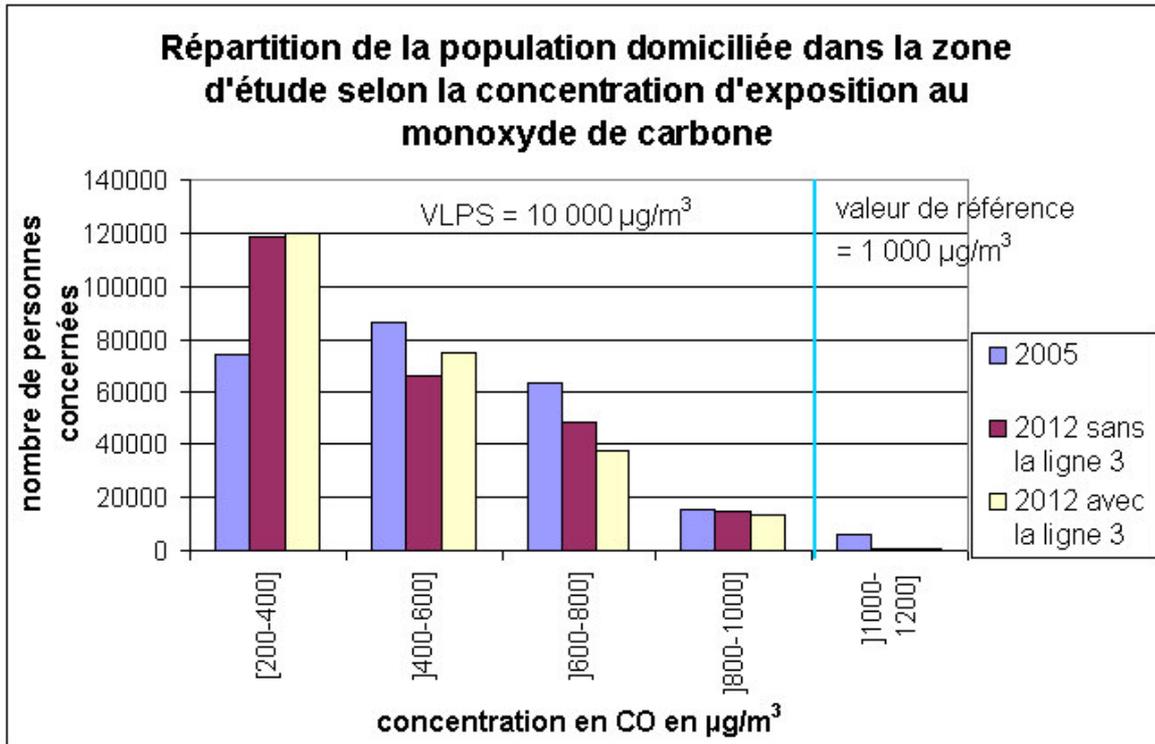


Figure 8 : Comparaison entre les différents scénarii de la répartition de la population domiciliée dans la zone d'étude selon les concentrations d'exposition au CO

Dans aucun des scénarii il n'y a de population exposée à une concentration supérieure à la valeur limite pour la protection de la santé.

- *Indicateur global et concentration d'exposition moyenne*

	2005	2012 sans la ligne 3	2012 avec la ligne 3
indicateur global en $\mu\text{g}/\text{m}^3$.habitant	131 192 538	117 988 725	115 438 550
concentration moyenne en $\mu\text{g}/\text{m}^3$	534	474	468

Tableau 16 : Indicateur global et concentration d'exposition moyenne pour le CO

Comme pour les polluants précédents, c'est l'évolution du parc automobile qui permet de diminuer le plus significativement l'exposition de la population.

La mise en place de la ligne 3 a un très faible effet bénéfique puisqu'elle permet, notamment, de diminuer la concentration d'exposition moyenne à $468 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (contre $474 \mu\text{g}/\text{m}^3$ si la ligne ne fonctionne pas).

- *Nombre et pourcentage de personnes exposées à des concentrations dépassant le seuil de référence (valeur allemande : 1 000 µg/m³)*

nombre de personnes exposées	2005	2012 sans la ligne 3	2012 avec la ligne 3
> 1 000 µg/m ³	5 766 (2%)	981 (0,4%)	635 (0,3%)

Tableau 17 : Nombre et pourcentage de personnes exposées aux concentrations en CO supérieures à la valeur de référence

Seulement 0,3% de la population étudiée sera exposée à une concentration supérieure à la valeur de référence en 2012 si la ligne de tramway fonctionne, contre 2% en 2005.

○ Exposition de la population aux PM10

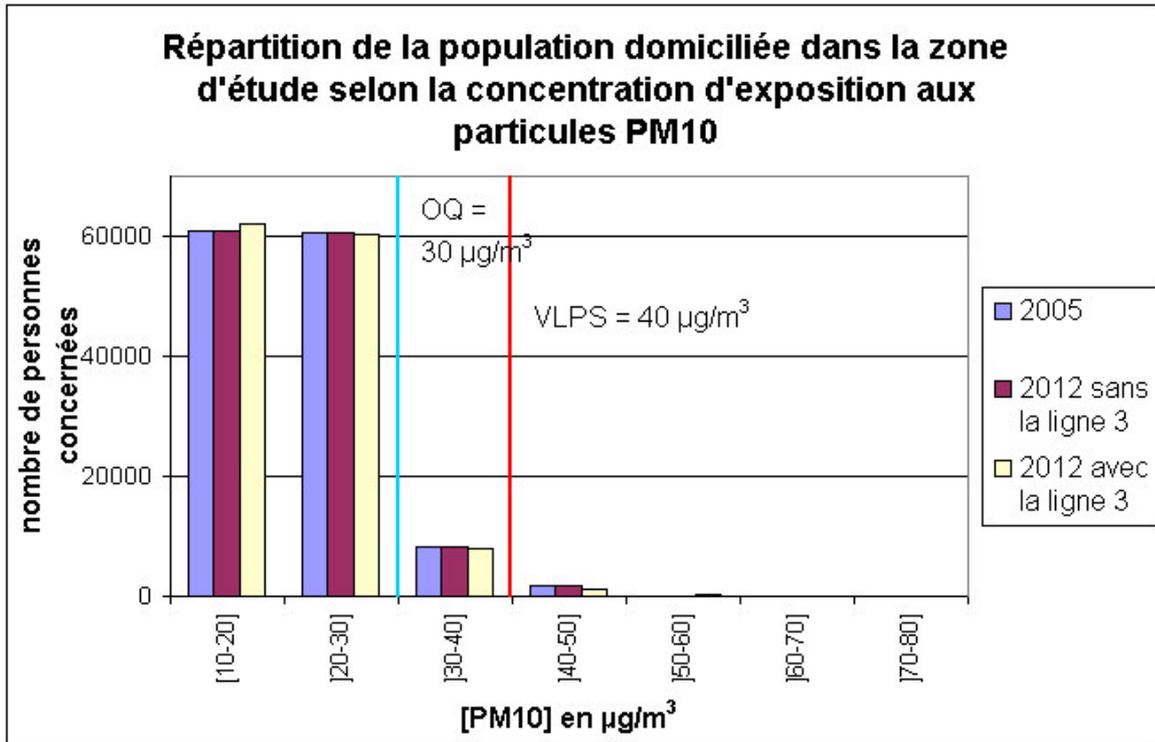


Figure 9 : Comparaison entre les différents scénarii de la répartition de la population domiciliée dans la zone d'étude selon les concentrations d'exposition aux PM10

- *Indicateur global et concentration d'exposition moyenne*

	2005	2012 sans la ligne 3	2012 avec la ligne 3
indicateur global en µg/m³.habitant	3 006 098	2 910 208	2 860 171
concentration moyenne en µg/m³	23	22	22

Tableau 18 : Indicateur global et concentration d'exposition moyenne pour les PM10

Les immissions en PM10 varient peu entre les différents scénarii. En effet, la concentration d'exposition moyenne ne varie pas et l'indicateur global ne diminue que de 2% entre les scénarii 2012 sans la ligne et avec la ligne et de 3% entre 2005 et « 2012 sans la ligne ». Cette faible variation est due à une faible évolution des immissions sur les voies subissant une modification de la circulation.

- *Nombre et pourcentage de personnes exposées à des concentrations dépassant les seuils réglementaires*

nombre de personnes exposées	2005	2012 sans la ligne 3	2012 avec la ligne 3
> 30 µg/m ³ (objectif de qualité)	13 490 (10,2%)	10 141 (7,7%)	9 529 (7,2%)
> 40 µg/m ³ (valeur limite pour la protection de la santé)	2 154 (1,6%)	1 904 (1,4%)	1 631 (1,2%)

Tableau 19 : Nombre et pourcentage de personnes exposées aux concentrations en PM10 supérieures à l'objectif de qualité et à la valeur limite pour la protection de la santé

La mise en service du tramway permet de diminuer sensiblement le nombre de personnes exposées à des concentrations en PM10 supérieures à l'objectif de qualité.

Néanmoins, 1,2% de la population sera encore, en 2012 lorsque la ligne sera en service, exposée à une concentration en PM10 supérieure à 40 µg/m³ (valeur limite pour la protection de la santé), contre 1,4% en 2012 sans la ligne 3.

- Exposition de la population au SO₂

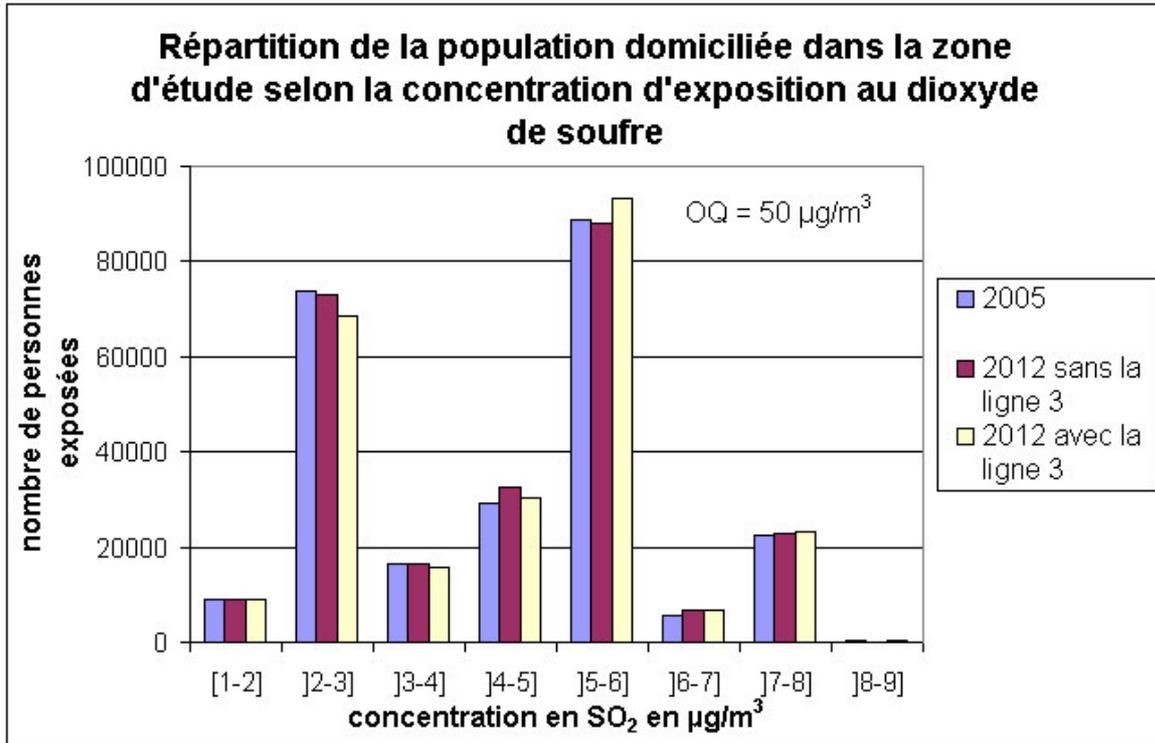


Figure 10 : Comparaison entre les différents scénarii de la répartition de la population domiciliée dans la zone d'étude selon les concentrations d'exposition au SO₂

Le nombre de personnes exposées au SO₂ varie peu entre les différents scénarii. Par ailleurs, quel que soit le scénario, les valeurs d'exposition au SO₂ respectent toujours l'objectif de qualité.

- *Indicateur global et concentration d'exposition moyenne*

	2005	2012 sans la ligne 3	2012 avec la ligne 3
indicateur global en µg/m ³ .habitant	1 064 623	1 081 767	1 084 771
concentration moyenne en µg/m ³	4	4	4

Tableau 20 : Indicateur global et concentration d'exposition moyenne pour le SO₂

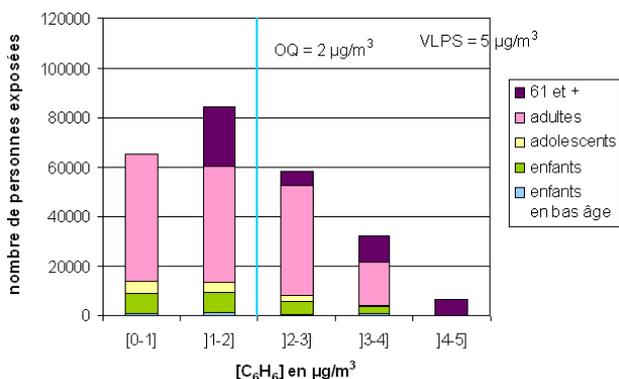
Les concentrations d'exposition en SO₂ ne varient pas entre les différents scénarii car, dans cette étude, on s'intéresse à l'impact du seul trafic automobile, qui n'émet pratiquement plus de SO₂ (cf. paragraphes 1.5 et 1.6.4). Les concentrations en SO₂ observées ici, correspondent, en fait, à la pollution de fond.

3.1.3 Etude par classes d'âge

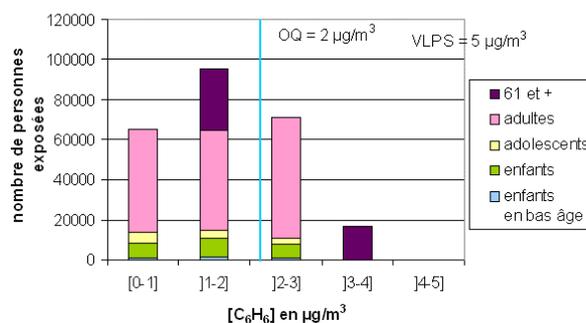
Le SO₂ ne sera pas étudié dans cette partie car les concentrations d'exposition de ce polluant respectent toujours l'objectif de qualité et la valeur limite pour la protection de la santé.

- Pollution au C₆H₆

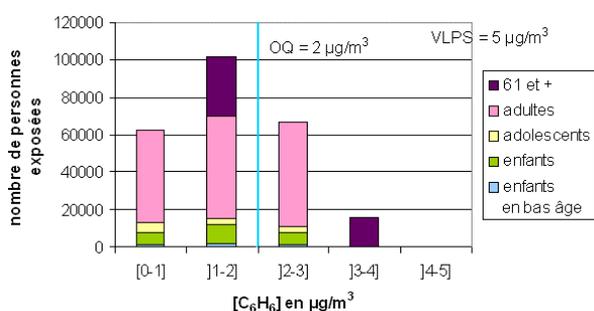
Répartition des différentes classes d'âge en fonction de la concentration en C₆H₆ en 2005



Répartition des différentes classes d'âge en fonction de la concentration en C₆H₆ en 2012 sans la ligne 3



Répartition des différentes classes d'âge en fonction de la concentration en C₆H₆ en 2012 avec la ligne 3 en fonctionnement



OQ : Objectif de qualité

VLPS : Valeur Limite pour la Protection de la Santé

Figure 11: Répartition de la population par classes d'âge selon les concentrations d'exposition au benzène

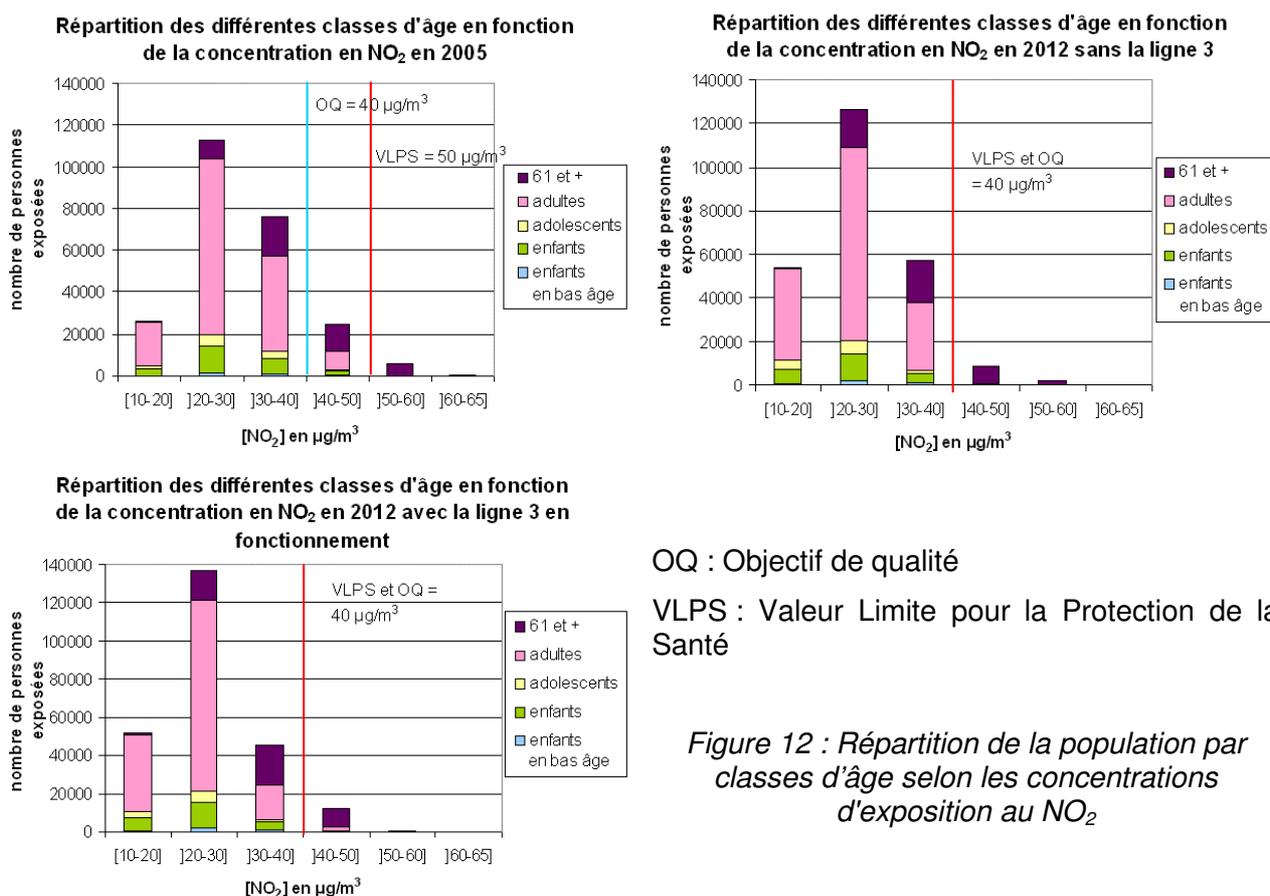
Nombre de personnes exposées	2005	2012 sans la ligne 3	2012 avec la ligne 3
enfants bas âge	1 232 (35%)	1 098 (31%)	1 048 (29%)
enfants	7 455 (31%)	6 976 (29%)	6 683 (28%)
adolescents	3 115 (27%)	2 962 (16%)	2 826 (15%)
adultes	62 092 (39%)	60 259 (37%)	56 185 (35%)
61 ans et +	22 696 (48%)	16 568 (35%)	15 730 (33%)

Tableau 21 : Nombre et pourcentage de personnes, par classes d'âge, exposées aux concentrations en C₆H₆ supérieures à l'objectif de qualité (2 µg/m³)

L'évolution du parc automobile et la mise en service de la ligne 3 ont un impact bénéfique sur l'exposition de toutes les classes d'âge au benzène.

Ce sont les personnes de plus de 61 ans qui bénéficient le plus de la mise en place du tramway 3 et de l'évolution du parc automobile. En effet, en 2005, 48% des plus de 61 ans étudiés sont exposés à une concentration supérieure à l'objectif de qualité contre 33% pour 2012 avec la ligne, soit 6 966 personnes de plus de 61 ans qui ne sont plus exposées à des concentrations supérieures à l'objectif de qualité en 2012 avec la ligne 3 du tramway.

- Pollution au NO₂



OQ : Objectif de qualité

VLPS : Valeur Limite pour la Protection de la Santé

Figure 12 : Répartition de la population par classes d'âge selon les concentrations d'exposition au NO₂

nombre de personnes exposées	2005	2012 sans la ligne 3	2012 avec la ligne 3
enfants bas âge	507 (12%)	117 (3%)	57 (2%)
enfants	1 404 (6%)	0	255 (1%)
adolescents	329 (3%)	0	0
adultes	9 099 (6%)	0	1 944 (1%)
61 ans et +	18 978 (40%)	10 432 (22%)	10 113 (21%)

Tableau 22 : Nombre et pourcentage de personnes, par classes d'âge, exposées aux concentrations en NO₂ supérieures à l'objectif de qualité

L'évolution du parc automobile permet une nette diminution du nombre d'individus exposés à des concentrations en NO₂ supérieures à l'objectif de qualité, notamment pour les enfants, les adolescents et les adultes qui, en 2012 sans la ligne 3, ne sont plus exposés à ces concentrations.

La mise en service de la ligne 3 a, quant à elle, des effets différents selon la classe d'âge :

- Les adolescents (12-17 ans) : Le tramway n'a aucun effet sur leur exposition aux concentrations en NO₂ supérieures à l'objectif de qualité. En effet, en 2012, quel que

soit le scénario, ils ne sont jamais exposés à une concentration d'exposition supérieure à l'objectif de qualité. Ceci s'explique par le fait qu'il passent peu de temps sur leur domicile (16 heures).

- Les enfants en bas âge (0-2 ans) : ils perçoivent des effets bénéfiques de la mise en service du tramway. En effet, on note une diminution du nombre d'individus exposés à une concentration en NO₂ supérieure à l'objectif de qualité (40 µg/m³) de 51%.
- Les personnes de plus de 61 ans : Le tramway a un effet bénéfique mais il est moins important que pour les enfants en bas âge (diminution de 3% du nombre de plus de 61 ans exposés à une concentration en NO₂ supérieure à l'objectif de qualité).
- Les enfants (2-12 ans) et les adultes (17-60 ans) : On observe une augmentation du nombre d'individus de ces classes d'âge exposés à des teneurs supérieures à l'objectif de qualité suite à la mise en service du tramway. Cela est dû à des immissions en NO₂ supérieures en « 2012 avec la ligne » à celles de « 2012 sans la ligne » sur certains tronçons :
 - Rue Pitot,
 - Justice-5,
 - Intersection Alco-Lodève.

Les deux tronçons (rue Pitot et Justice-5) ne sont pas sur le tracé du tramway, ce sont des voies subissant une augmentation de trafic suite à la mise en service de la ligne 3. L'intersection entre la rue d'Alco et la route de Lodève est un tronçon particulier puisqu'il fait partie du tracé du tramway tout en subissant des reports de circulation. Il voit donc aussi son trafic augmenter.

- Pollution au CO

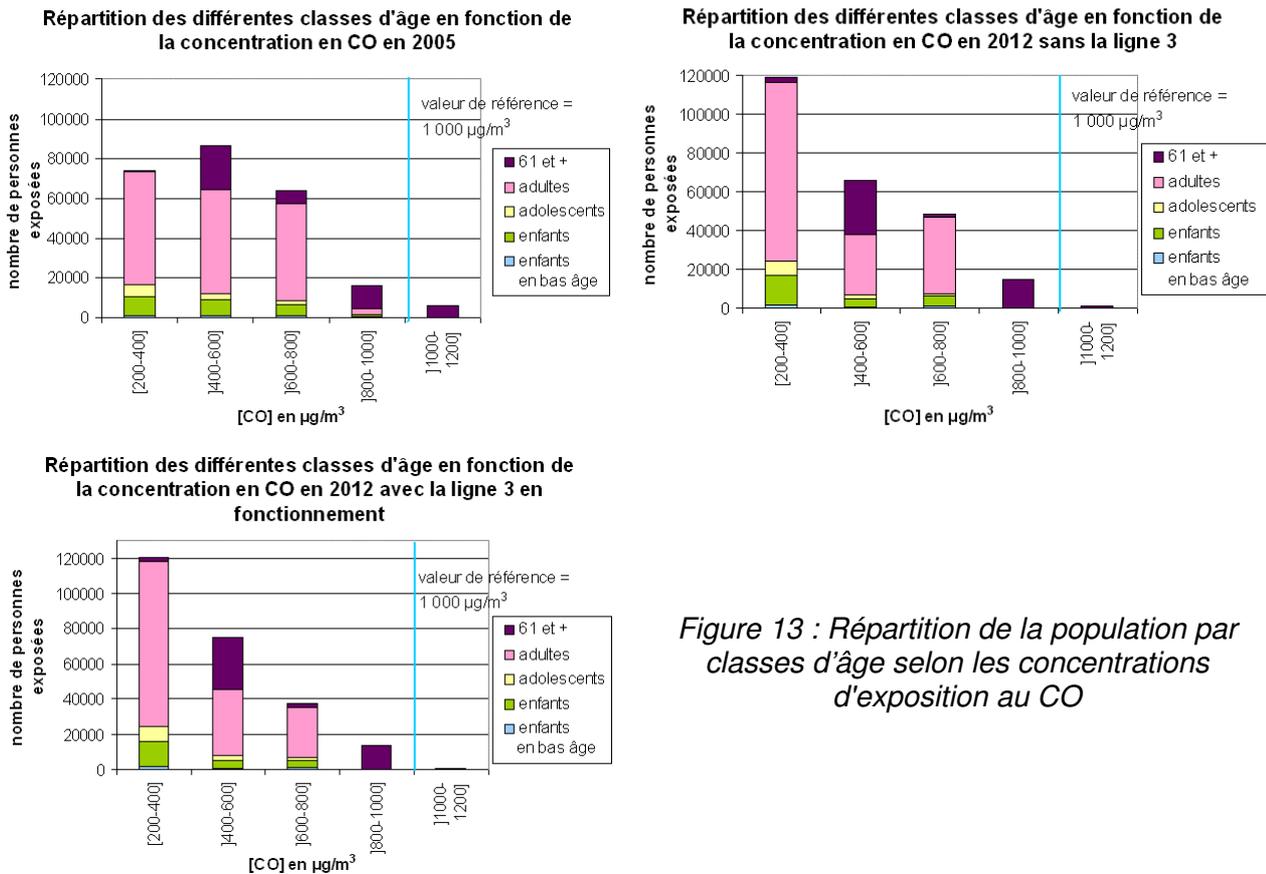


Figure 13 : Répartition de la population par classes d'âge selon les concentrations d'exposition au CO

Seule une partie des plus de 61 ans sont exposés à une pollution en CO supérieure à la valeur de référence (1 000 µg/m³). Ceci est dû au fait que, par hypothèse, ils passent 23,5 heures sur leur domicile.

nombre de personnes exposées	2005	2012 sans la ligne 3	2012 avec la ligne 3
61 ans et +	5 766 (12%)	981 (2%)	635 (0,2%)

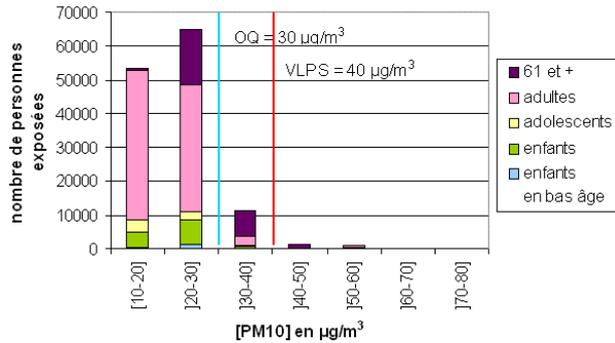
Tableau 23 : Nombre et pourcentage de plus de 61 ans exposés aux concentrations en CO supérieures à la valeur de référence

L'évolution du parc automobile permet une forte diminution du nombre de personnes de plus de 61 ans exposées à des concentrations en CO supérieures à la valeur de référence. En effet, en 2005, 12% sont exposés à une concentration supérieure à 1 000 µg/m³ contre 2% en 2012 sans la ligne 3.

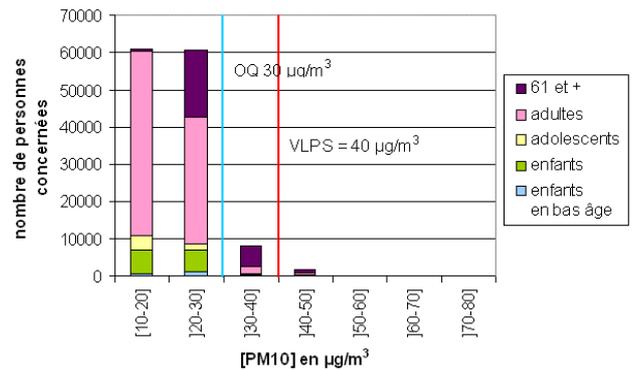
La mise en place de la ligne 3 du tramway a, elle aussi, un effet bénéfique sur l'exposition au CO des plus de 61 ans puisque, quand la ligne sera en service, seulement 0,2% des 61 ans et plus seront exposés à une concentration supérieure à la valeur de référence.

- Pollution aux PM10

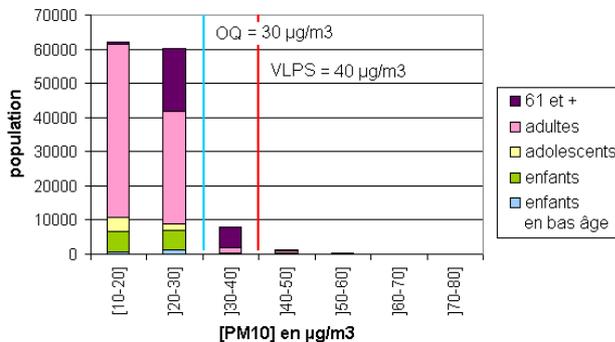
Répartition des différentes classes d'âge en fonction de la concentration en PM10 en 2005



Répartition des différentes classes d'âge en fonction de la concentration en PM10 en 2012 sans la ligne 3



répartition des différentes classes d'âge en fonction de la concentration en PM10 en 2012 avec la ligne 3 en fonctionnement



OQ : Objectif de qualité

VLPS : Valeur Limite pour la Protection de la Santé

Figure 14 : Répartition de la population par classes d'âge selon les concentrations d'exposition aux PM10

nombre de personnes exposées	2005	2012 sans la ligne 3	2012 avec la ligne 3
enfants bas âge	146 (8%)	206 (11%)	170 (9%)
enfants	636 (5%)	376 (3%)	320 (3%)
adolescents	227 (4%)	139 (2%)	139 (2%)
adultes	3 929 (5%)	2 758 (3%)	2 322 (3%)
61 ans et +	8 551 (34%)	6 662 (26%)	6 577 (26%)

Tableau 24: Nombre et pourcentage de personnes, par classes d'âge, exposées aux concentrations en PM10 supérieures à l'objectif de qualité

Grâce à l'évolution du parc automobile, on peut noter une légère diminution de l'exposition de toutes les classes d'âge à des concentrations en PM10 supérieures à l'objectif de qualité.

La mise en service de la ligne de tramway n'a, ici, qu'un effet très léger.

3.1.4 Synthèse des résultats et conclusion

Classes de population	C ₆ H ₆			NO ₂		
	2005	2012 sans L3	2012 avec L3	2005	2012 sans L3	2012 avec L3
[0-2[	1 232 (35%)	1 098 (31%)	1 048 (29%)	507 (12%)	117 (3%)	57 (2%)
[2-12[	7 455 (31%)	6 976 (29%)	6 683 (28%)	1 404 (6%)	0	255 (1%)
[12-17[	3 115 (27%)	2 962 (16%)	2 826 (15%)	329 (3%)	0	0
[17-60]	62 092 (39%)	60 259 (37%)	56 185 (35%)	9 099 (6%)	0	1 944 (1%)
61 et +	22 696 (48%)	16 568 (35%)	15 730 (33%)	18 978 (40%)	10 432 (22%)	10 113 (21%)
Toutes classes d'âge	96 590 (39%)	87 863 (35%)	82 472 (33%)	30 317 (12%)	10 549 (4%)	12 369 (5%)

Classes de population	CO			PM10		
	2005	2012 sans L3	2012 avec L3	2005	2012 sans L3	2012 avec L3
[0-2[	0	0	0	146 (8%)	206 (11%)	170 (9%)
[2-12[	0	0	0	636 (5%)	376 (3%)	320 (3%)
[12-17[	0	0	0	227 (4%)	139 (2%)	139 (2%)
[17-60]	0	0	0	3 929 (5%)	2 758 (3%)	2 322 (3%)
61 et +	5 766 (12%)	981 (2%)	635 (0,2%)	8 551 (34%)	6 662 (26%)	6 577 (26%)
Toutes classes d'âge	5 766 (2%)	981 (0%)	635 (0%)	13 490 (10%)	10 141 (8%)	9 529 (7%)

Tableau 25 : Nombre et pourcentage de personnes des différentes classes d'âge exposées à une concentration supérieure à l'objectif de qualité ou à la valeur de référence

Il faut lire le tableau de la façon suivante : première ligne, première colonne : 35% des enfants en bas âge (0-2 ans) – soit 1 232 individus – habitant sur un des 255 tronçons étudiés, sont exposés, en 2005, à une concentration en benzène supérieure à l'objectif de qualité.

On peut remarquer que, d'une manière générale, c'est l'évolution du parc automobile (scénario « 2012 sans la ligne 3 ») qui permet de diminuer de façon importante le nombre de personnes exposées aux fortes concentrations.

La mise en service de la ligne 3 du tramway a, elle aussi, un impact favorable sur le nombre de personnes exposées aux fortes concentrations sauf pour le NO₂. En effet, le nombre d'individus exposés aux concentrations en NO₂ supérieures à l'objectif de qualité augmente légèrement entre les deux scénarii de 2012 en raison d'une augmentation du trafic induite par la mise en service du tramway sur trois tronçons (cf. page 37).

On remarque que pour tous les polluants, ce sont les personnes qui passent le plus de temps dans leur domicile (61 ans et plus) qui sont le plus exposées aux fortes concentrations en polluants et notamment aux concentrations supérieures aux objectifs de qualité ou à la valeur de référence. Ceci semble principalement dû au fait qu'elles

passent beaucoup de temps sur leur domicile (23,5 heures). Cependant, si seul ce paramètre intervenait, on pourrait classer, pour tous les polluants, les différentes catégories d'individus dans l'ordre croissant d'exposition suivant :

- adolescents,
- adultes et enfants,
- enfants en bas âge,
- 61 ans et plus.

Cela est vrai pour tous les polluants sauf pour le benzène. En effet, pour ce dernier polluant, quel que soit le scénario, il y a plus d'adultes exposés aux concentrations supérieures à l'objectif de qualité que d'enfants en bas âge.

D'autres paramètres interviennent donc pour expliquer les différences d'exposition entre les différentes catégories d'individus : c'est le cas, par exemple, de la répartition, différente par classe d'âge, du nombre de personnes sur les tronçons.

A l'exception du benzène, les enfants en bas âge, très sensibles à la pollution atmosphérique, sont, pour la grande majorité, exposés à des concentrations inférieures aux valeurs de l'objectif de qualité (cf. Tableau 25). En effet, très peu de tronçons sont soumis à des concentrations d'immission entraînant une concentration d'exposition supérieure à l'objectif de qualité.

Il est aussi important de noter que les adolescents, personnes passant le moins de temps au domicile (d'après la base de données CIBLEX), peuvent aussi être concernés par des concentrations dépassant les objectifs de qualité même après la mise en service du tramway 3.

3.2 Incertitudes

Dans cette étude, les sources d'incertitudes sont nombreuses. En effet, le calcul d'exposition repose sur de nombreux paramètres théoriques. Ce grand nombre de paramètres exclut que l'incertitude soit évaluée pour chacun d'entre eux, ce qui aurait permis une évaluation globale. Il s'agit donc, ici, d'identifier les principales sources d'incertitude.

3.2.1 Logiciel STREET

Les incertitudes de cette évaluation de l'exposition de la population sont principalement dues aux limites du logiciel (cf. Annexe 3).

Ces incertitudes des résultats modélisés par STREET sont estimées à $\pm 25\%$.

3.2.2 Calcul de la largeur de la bande d'étude

La première étape du calcul de l'exposition consiste à déterminer la largeur de la bande d'étude. Cette largeur de bande dépend du TMJA ou du trafic à l'heure de pointe. Ces données ont été obtenues auprès de la TAM. Pour 2005, ce sont les résultats d'une étude de comptage directionnel réalisée par Transitec en septembre 2004 et en mai 2005 qui sont utilisés et pour 2012, ce sont les résultats du modèle EMME2.

Les données pour 2005 sont relativement fiables, mais par manque d'information sur certains tronçons de l'étude, les valeurs du TMJA y ont été approximées. En revanche,

les données utilisées pour 2012 semblent moins fiables mais aucune donnée sur l'incertitude du logiciel utilisé n'a été fournie.

3.2.3 Incertitudes liées aux limites de la méthode

Certaines limites de la méthode utilisée engendrent des incertitudes :

- les BET sont des données nationales pour les individus de moins de 12 ans et des données régionales pour les autres,
- les répartitions par âge sur les IRIS sont représentatives de celles au niveau du tronçon et la population est répartie uniformément sur tout l'IRIS.

3.3 Solutions pour avoir une exposition plus précise

Dans ce mémoire, l'exposition des personnes à la pollution sur leur lieu d'habitation a été estimée. Or la plupart des personnes se déplacent sur et en dehors de la zone d'étude. L'exposition individuelle a donc été sur ou sous estimée selon que les individus se déplacent sur ou en dehors de la zone d'étude dans des lieux plus ou moins exposés à la pollution atmosphérique.

Pour avoir une exposition plus précise, différentes solutions peuvent être proposées :

- Il faudrait connaître les concentrations dans chaque micro-environnement côtoyé par chaque profil de personne. Pour cela, différentes données peuvent être utilisées :
 - des campagnes de mesure dans des micro-environnements types comme les bureaux, les supermarchés, les transports ou les restaurants, pourraient être organisées.
 - les transferts de pollution de l'extérieur vers l'intérieur pourraient être estimés. Ceci passe par une connaissance des systèmes de ventilation, de la configuration des bâtiments mais aussi du temps moyen d'ouverture des fenêtres dans la région [15] et des BET de la population.
 - Les données sur la qualité de l'air à l'intérieur des bâtiments fournies par l'Observatoire de la Qualité de l'Air Intérieur (OQAI) pourraient aussi être utilisées.
- Afin de mieux connaître le temps passé dans chaque micro-environnement par chaque classe d'âge choisie pour l'étude, une enquête sur leur BET pourrait être réalisée sur l'agglomération de Montpellier.
- Il pourrait aussi être intéressant de tenir compte de l'évolution de la population entre 1999, 2005 et 2012 pour avoir un nombre de personnes concernées plus précis.
- On ne tient compte ici que des personnes résidentes sur la zone d'étude. Or il y a de nombreuses personnes qui peuvent être de passage sur le tronçon : les automobilistes, les piétons, les cyclistes ou les usagers des transports en commun et les personnes exerçant leur activité professionnelle sur le tronçon.

Des mesures dans les transports en commun et dans les voitures peuvent aussi être envisagées pour obtenir les concentrations d'exposition pendant les transports.

CONCLUSION

Afin de répondre aux exigences de la LAURE et aux inquiétudes de la population et des pouvoirs publics face à la pollution atmosphérique, Air Languedoc-Roussillon a souhaité mettre au point une méthode afin d'estimer l'exposition de la population avant et après la mise en place de nouvelle ligne de tramway 3. Cette méthode permet de connaître l'exposition de la population, habitant près des voies du tracé de la ligne de tramway ou près des voies subissant des modifications de circulation suite à la mise en place du tramway, quand elle est sur son lieu d'habitation.

Il ressort de cette étude que la mise en place de la ligne de tramway améliore l'exposition des différentes classes d'âge à la pollution atmosphérique mais aussi que l'évolution du parc automobile a un très fort effet bénéfique sur l'exposition de la population.

La méthode utilisée connaît cependant de nombreuses limites comme le fait que l'on ne tient pas compte de la variation des concentrations entre l'intérieur et l'extérieur des bâtiments. En raison de ces limites et des incertitudes de la méthode, il est nécessaire d'interpréter les résultats avec précaution en tenant compte d'avantage de l'ordre de grandeur que de la valeur brute. Cette méthode ne doit donc pas être utilisée pour obtenir une exposition « absolue » de la population mais plutôt pour effectuer, par exemple, des études comparatives à visées décisionnelles pour les politiques publiques de transport (PDU).

Air LR a déjà été sollicité afin de répondre aux interrogations de certaines collectivités locales ou d'associations de résidents face à l'exposition des personnes habitant en proximité de voies de circulation très passagère. Cette méthode pourrait alors être utilisée afin de comparer l'état de référence à un état où la circulation serait diminuée d'un pourcentage déterminé.

Bibliographie

- [1] DDASS de l'Ile-de-France. *Informations générales - Effets sur la santé de la population de la pollution*. [en ligne]. [consultation mai 2005]. Disponible sur Internet : <http://ile-de-france.sante.gouv.fr/santenv/index_se.htm>
- [2] Air LR. *Inventaire d'émissions dans l'atmosphère de substances polluantes de la zone du PPA de Montpellier, année 2000*, juillet 2004. 43 p.
- [3] ADEME, INRETS. *La pollution automobile et ses effets sur la santé, Interrogations et propositions*. Rapport de synthèse du Groupe de Travail mis en place à la demande de l'ADEME, février 1995, imprimerie TAG. 45 p.
- [4] CERTU, SERTA, ADEME, MINISTÈRE DE L'ÉQUIPEMENT, DES TRANSPORTS ET DU LOGEMENT, *Les études d'environnement dans les projets routiers « volet air », Annexe technique à la note méthodologique sur les études d'environnement dans les projets routiers « volet air »*, juin 2001. 219 p.
- [5] BESSIX A. Des prélèvements passifs pour une meilleure approche de l'exposition humaine, *Environnement et technique*, septembre 1999, n°189
- [6] Directive 2003-17 du 03 mars 2003 du PARLEMENT EUROPEEN et du CONSEIL modifiant la directive 98/70/CE concernant la qualité de l'essence et des carburants diesels
- [7] PETIT C., DE JERPHANION M., BROU M. Analyse de sensibilité d'un logiciel d'évaluation des immissions liées au trafic automobile, au niveau de la rue – Le cas de STREET 3.1. *In Les Actes du IX^{ème} Colloque international « transports et pollution de l'air »*, Avignon, juin 2000, n°70. Arcueil : Inrets éd. pp. 369-374
- [8] AIRAQ, *Modélisation de la pollution de proximité automobile sur Périgueux*. Rapport ET/MO/01/01. 13 septembre 2001. 46p.
- [9] TENAILLEAU A. *Modélisation de la qualité de l'air au niveau de la rue*. Rapport de stage effectué à Air LR pour la maîtrise Génie de l'Environnement : Université Denis Diderot Paris 7, septembre 2002, 59 p.
- [10] ROCHER B. *Modélisation de la qualité de l'air à l'échelle de la rue dans le cadre de la troisième ligne de tramway de l'agglomération de Montpellier*. Rapport de stage pour la maîtrise Génie de l'Environnement : Université Paris 7, septembre 2005. 46 p.

[11] ROCHER B. *Modélisation de la qualité de l'air à l'échelle de la rue dans le cadre de la troisième ligne de tramway de l'agglomération de Montpellier*. Rapport Air Languedoc-Roussillon, juillet 2005. 66 p.

[12] ADEME et IRSN. banque de données CIBLEX, juin 2003, version 0

[13] ROY, MALARBET, COURTAY. Débits respiratoires et activités quotidiennes paramètres de l'exposition aux substances inhalées. *Radioprotection*, Vol. 28, n°3, 1993

[14] INSEE. *Enquête Emploi du temps 1998-1999*. Paris, INSEE, 1999, Division Condition de vie des ménages

[15] AirParif. *Résultats, surveillance de la qualité de l'air en Ile-de-France*. Rapport d'activité, 1999, 119p.

[16] MINISTERE DE L'AMENAGEMENT DU TERRITOIRE ET DE L'ENVIRONNEMENT. Décret n°98-360 du 6 mai 1998 portant transposition des directives 1999/30/CE du Conseil du 22 avril 1999 et 2000/69/CE du Parlement européen et du Conseil du 16 novembre 2000 et modifiant le décret n° 98-360 du 6 mai 1998 relatif à la surveillance de la qualité de l'air et de ses effets sur la santé et sur l'environnement, aux objectifs de qualité de l'air, aux seuils d'alerte et aux valeurs limites

[17] AIRAQ. *Evolution à l'horizon 2008 de la qualité de l'air sur les grands axes de l'agglomération bordelaise*. Rapport d'études n°ET/MO/03/01, avril 2003, 47p.

[18] Air LR. *Etude théorique réseau de Montpellier 2001*. Mars 2002, 42 p.

[19] ROCHER B. *Etude de la validité des résultats STREET 5 par rapport aux mesures en NO₂ de 2004*. Note interne Air LR, avril 2005. 8 p.

[20] CERTU. *Pollutions atmosphériques et circulation routière, données de base*. Dossier du CERU n°74, novembre 1997,84 p.

Glossaire

Asthénies : Affaiblissement particulier d'un organe, d'un système ou d'une fonction de l'organisme.

Budget espace temps : il consiste en l'emploi du temps de chaque personne : durée, lieu et activité

Émission : Désigne un rejet dans un milieu, à partir d'une source, de substances solides, liquides ou gazeuses, de rayonnements, d'énergies. Désigne aussi la concentration mesurée à la sortie d'une source.

Les émissions de polluants sur une infrastructure sont directement proportionnelles au flux du trafic, à la composition des parcs automobiles, aux émissions unitaires des véhicules et dépendent fortement de la vitesse moyenne sur le parcours.

Immission : Concentrations de polluants dans l'atmosphère telles qu'elles sont inhalées. Les immissions résultent de la dispersion, de la transformation et du transport des polluants émis. En traitement de l'air : désigne la pollution atmosphérique à l'endroit où elle déploie ses effets sur les humains, les animaux, les plantes, le sol et les biens matériels. Les immissions sont mesurées par prise d'échantillon dans l'air.

IRIS : Ce sont des regroupements d'îlots. La France en compte environ 50 800 (50 100 en métropole et 700 dans les DOM).

L'IRIS correspond à :

- l'IRIS-2000 pour toutes les communes urbaines d'au moins 10 000 habitants et la plupart des communes de 5 000 à 10 000 (16 000 IRIS-2000 en France, dont 15 400 en métropole) ;
- la commune pour les petites communes non découpées (34 800 communes).

Percentile : Chacune des valeurs qui partagent un ensemble statistique ordonné en cent parties d'effectif égal.

Objectif de qualité : il correspond a un niveau de concentration de substances polluantes dans l'atmosphère, fixé sur la base des connaissances scientifiques, dans le but d'éviter, de prévenir ou de réduire les effets nocifs de ces substances pour la santé humaine ou pour l'environnement, à atteindre dans une période donnée [16].

Seuil d'alerte : il correspond à un niveau de concentration de substances polluantes dans l'atmosphère au-delà duquel une exposition de courte durée présente un risque pour la santé humaine ou de dégradation de l'environnement à partir duquel des mesures d'urgences doivent être prises [16].

Valeur limite : elle correspond a un niveau maximal de concentration de substances polluantes dans l'atmosphère, fixé sur la base des connaissances scientifiques, dans le but d'éviter, de prévenir ou de réduire les effets nocifs de ces substances pour la santé humaine ou pour l'environnement [16].

Liste des tableaux

Tableau 1 : Différentes stations de mesures, leurs fonctions et les polluants mesurés	6
Tableau 2 : Stations de mesures fixes automatiques sur Montpellier et sa périphérie.....	6
Tableau 3 : Part du trafic automobile dans l'émission de quelques polluants sur l'agglomération de Montpellier en 2000 [2].....	9
Tableau 4 : Valeurs limites pour la protection de la santé et objectifs de qualité pour C ₆ H ₆ , NO ₂ , CO, SO ₂ et PM10 (cf. Annexe 2)	12
Tableau 5 : Critères permettant de définir la largeur minimale de la bande d'étude [4]	16
Tableau 6 : Nombre de personnes, par classe d'âge, concernées par la pollution automobile sur la zone d'étude	19
Tableau 7 : Répartition retenue pour la classification de la population dans la banque de données CIBLEX [12].....	20
Tableau 8 : Extrapolation de l'étude initiale [13] à la base de données CIBLEX.....	21
Tableau 9 : BET, en heure, des individus de moins de 12 ans, sur leur lieu d'habitation..	21
Tableau 10 : Répartition des activités sur le domicile.....	21
Tableau 11 : BET de toutes les classes d'âge en heure.....	23
Tableau 12 : Indicateur global et concentration d'exposition moyenne pour le benzène ..	26
Tableau 13 : Nombre et pourcentage de personnes exposées aux concentrations en benzène supérieures à l'objectif de qualité	27
Tableau 14 : Indicateur global et concentration d'exposition moyenne pour le NO ₂	28
Tableau 15 : Nombre et pourcentage de personnes exposées aux concentrations en NO ₂ supérieures à l'objectif de qualité et à la valeur limite pour la protection de la santé.	29
Tableau 16 : Indicateur global et concentration d'exposition moyenne pour le CO.....	30
Tableau 17 : Nombre et pourcentage de personnes exposées aux concentrations en CO supérieures à la valeur de référence.....	31
Tableau 18 : Indicateur global et concentration d'exposition moyenne pour les PM10.....	32
Tableau 19 : Nombre et pourcentage de personnes exposées aux concentrations en PM10 supérieures à l'objectif de qualité et à la valeur limite pour la protection de la santé.....	33
Tableau 20 : Indicateur global et concentration d'exposition moyenne pour le SO ₂	34
Tableau 21 : Nombre et pourcentage de personnes, par classes d'âge, exposées aux concentrations en C ₆ H ₆ supérieures à l'objectif de qualité (2 µg/m ³)	35
Tableau 22 : Nombre et pourcentage de personnes, par classes d'âge, exposées aux concentrations en NO ₂ supérieures à l'objectif de qualité	36

<i>Tableau 23 : Nombre et pourcentage de plus de 61 ans exposés aux concentrations en CO supérieures à la valeur de référence.....</i>	<i>38</i>
<i>Tableau 24: Nombre et pourcentage de personnes, par classes d'âge, exposées aux concentrations en PM10 supérieures à l'objectif de qualité</i>	<i>39</i>
<i>Tableau 25 : Nombre et pourcentage de personnes des différentes classes d'âge exposées à une concentration supérieure à l'objectif de qualité ou à la valeur de référence.....</i>	<i>40</i>

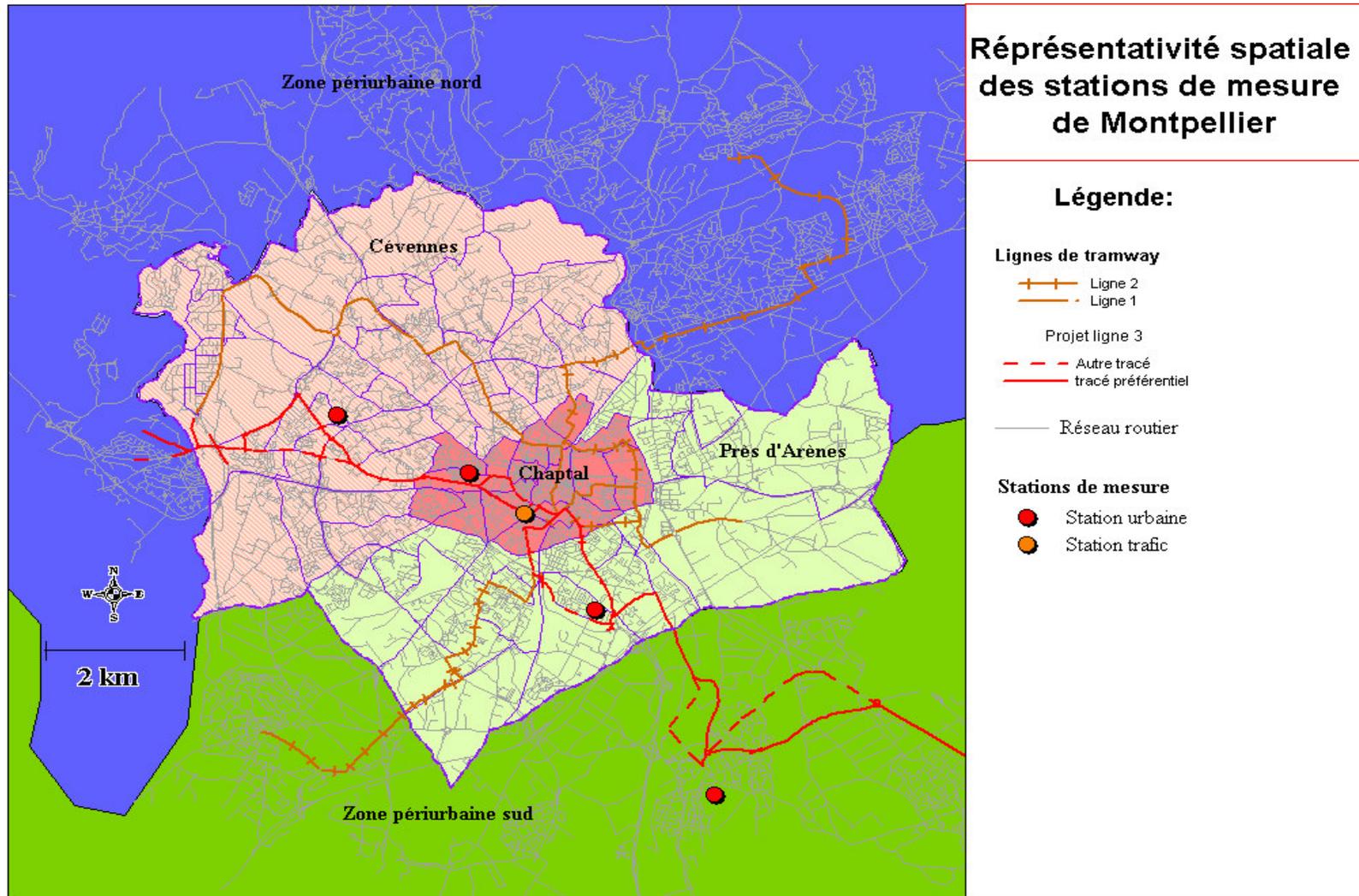
Liste des figures

<i>Figure 1 : Carte de France présentant les différentes AASQA</i>	<i>5</i>
<i>Figure 2 : Trajet du tramway 3 et ses variantes.....</i>	<i>7</i>
<i>Figure 3 : Tracé du tramway 3 passant par le Jeu de Paume</i>	<i>7</i>
<i>Figure 4 : Voies subissant des modifications de circulation.....</i>	<i>8</i>
<i>Figure 5 : Répartition des enfants en bas âge domiciliés sur le tracé du tramway selon les concentrations d'exposition en NO₂ en 2005.....</i>	<i>25</i>
<i>Figure 6 : Comparaison entre les différents scénarii de la répartition de la population domiciliée dans la zone d'étude selon les concentrations d'exposition au benzène ..</i>	<i>26</i>
<i>Figure 7 : Comparaison entre les différents scénarii de la répartition de la population domiciliée dans la zone d'étude selon les concentrations d'exposition au NO₂</i>	<i>28</i>
<i>Figure 8 : Comparaison entre les différents scénarii de la répartition de la population domiciliée dans la zone d'étude selon les concentrations d'exposition au CO.....</i>	<i>30</i>
<i>Figure 9 : Comparaison entre les différents scénarii de la répartition de la population domiciliée dans la zone d'étude selon les concentrations d'exposition aux PM10.....</i>	<i>32</i>
<i>Figure 10 : Comparaison entre les différents scénarii de la répartition de la population domiciliée dans la zone d'étude selon les concentrations d'exposition au SO₂.....</i>	<i>34</i>
<i>Figure 11: Répartition de la population par classes d'âge selon les concentrations d'exposition au benzène</i>	<i>35</i>
<i>Figure 12 : Répartition de la population par classes d'âge selon les concentrations d'exposition au NO₂.....</i>	<i>36</i>
<i>Figure 13 : Répartition de la population par classes d'âge selon les concentrations d'exposition au CO</i>	<i>38</i>
<i>Figure 14 : Répartition de la population par classes d'âge selon les concentrations d'exposition aux PM10.....</i>	<i>39</i>

Liste des annexes

Annexe 1 : Représentativité spatiale des stations de mesures de Montpellier [18].....	I
Annexe 2 : Valeur limite pour la protection de la santé, objectif de qualité, seuil d'information et de recommandation et seuil d'alerte pour C ₆ H ₆ , NO ₂ , CO, SO ₂ et PM10.....	III
Annexe 3 : Exemple de calculs d'un indicateur global et d'une concentration d'exposition moyenne.....	VII
Annexe 4 : Paramètres d'entrée de STREET et les limites du logiciel.....	IX
Annexe 5 : Validation du logiciel STREET	XI
Annexe 6 : Données d'entrée particulières à l'étude d'impact sur la qualité de l'air de la future ligne 3 du tramway.....	XIII
Annexe 7 : Exemple d'un calcul : répartition des enfants en bas âge domiciliés sur le tracé du tramway selon les concentrations d'exposition au NO ₂ en 2005	XV
Annexe 8 : Carte des lignes de tramway de Montpellier.....	XVII

Annexe 1 : Représentativité spatiale des stations de mesures de Montpellier [18]



**Annexe 2 : Valeur limite pour la protection de la santé,
objectif de qualité, seuil d'information et de
recommandation et seuil d'alerte pour C₆H₆, NO₂, CO, SO₂
et PM10**

Benzène C₆H₆

Texte réglementaire	Période	Valeur limite pour la protection de la santé humaine (moyenne annuelle)	Marge de dépassements autorisés	Date ou la valeur limite doit être respectée	Objectif qualité (moyenne annuelle)
Décret 2002-213 du 15 février 2002	Année civile	5 µg/m ³	<i>10 µg/m³ le 13/12/2000 diminuant le 01/01/2006 et ensuite tous les ans de 1 µg/m³ pour atteindre 5µg/ m³ le 01/01/2010</i>	01/01/2010	2 µg/m ³

Dioxyde d'azote NO₂

Texte réglementaire	Période	Valeur limite pour la protection de la santé humaine	Nombre de dépassements autorisés	Date ou la valeur limite doit être respectée	Objectif qualité (moyenne annuelle)	Seuil de recommandation et d'information (moyenne horaire)	Seuil d'alerte (moyenne horaire)
Décret n°2002-213 du 15 février 2002	1 heure	Horaire : 200 µg/m ³ NO ₂	175 fois pas année civile	Jusqu'au 31/12/2009	NO ₂ moyen : 40 µg/m ³	200 µg/m ³	- 400 µg/m ³
	1 heure	Horaire : 200 µg/m ³ NO ₂	18 fois pas année civile	01/01/2010			- 200 µg/m ³ si la procédure d'information et de recommandation pour le dioxyde d'azote a été déclenchée la veille et le jour même et que les prévisions font craindre un nouveau risque de déclenchement pour le lendemain.
	année civile	40 µg/m ³ NO ₂	En 2001, la valeur limite est de 58 µg/m ³ et elle diminue tous les ans de 2 µg/m ³ jusqu'à atteindre 40 µg/m ³ le 01/01/2010	01/01/2010			

Monoxyde de carbone CO

Texte réglementaire	Période	Valeur limite pour la protection de la santé humaine	Date ou la valeur limite doit être respectée	Objectif qualité (moyenne annuelle)
Décret 2002-213 du 15 février 2002	8 heures	10 mg/m ³	01/01/2005	1000 µg/m ³ (référence allemande)

Dioxyde de soufre SO₂

Texte réglementaire	Période	Valeur limite pour la protection de la santé humaine	Nombre de dépassements autorisés	Date ou la valeur limite doit être respectée	Objectif qualité (moyenne annuelle)	Seuil de recommandation et d'information (moyenne horaire)	Seuil d'alerte (moyenne horaire)
Décret n°2002-213 du 15 février 2002	1 heure	horaire 350 µg/m ³	24 fois par année civile	01/01/2005	50 µg/m ³	300 µg/m ³	500 µg/m ³ dépassé pendant trois heures consécutives
Décret n°98-360 du 6 mai 1998	24 heures	journalière 125 µg/m ³	3 fois par année civile	01/01/2005			

Particules PM₁₀

Texte réglementaire	Période	Valeur limite pour la protection de la santé humaine	Nombre de dépassements autorisés	Date ou la valeur limite doit être respectée	Objectif qualité (moyenne annuelle)
Décret 2002-213 du 15 février 2002	Année civile	Journalière :50 µg/m ³	35 fois par année civile	01/01/2005	30 µg/m ³
		40 µg/m ³	/	01/01/2005	

Annexe 3 : Exemple de calculs d'un indicateur global et d'une concentration d'exposition moyenne

Indicateur global pour le benzène en 2005

- Enfants en bas âge (EBA)

	Nombre d'enfants en bas âge : P	Concentration d'exposition : E	Indicateur : I = PTE
Tronçon 1	7	2,6	18,2
Tronçon 2	10	2,6	26

$$I_{EBA} = 18,2 + 26 = 44,2$$

- Enfants (E)

	Nombre d'enfants : P	Concentration d'exposition : E	Indicateur : I = PTE
Tronçon 1	52	2,4	124,8
Tronçon 2	70	2,4	168

$$I_E = 124,8 + 168 = 292,8$$

- Adolescents (Ado)

	Nombre d'adolescents : P	Concentration d'exposition : E	Indicateur : I = PTE
Tronçon 1	17	2,2	37,4
Tronçon 2	21	2,2	46,2

$$I_{Ado} = 37,4 + 46,2 = 83,6$$

- Adultes (A)

	Nombre d'adultes : P	Concentration d'exposition : E	Indicateur : I = PTE
Tronçon 1	435	2,3	1 000,5
Tronçon 2	570	2,3	1 311

$$I_A = 1 000,5 + 1 311 = 2 311,5$$

- 61 ans et + (61 et +)

	Nombre de 61 ans et + : P	Concentration d'exposition : E	Indicateur : I = P*E
Tronçon 1	130	3,3	429
Tronçon 2	165	3,2	528

$$I_{61 \text{ et } +} = 429 + 528 = 957$$

L'indicateur global pour le benzène est alors :

$$I = I_{\text{EBA}} + I_{\text{E}} + I_{\text{Ado}} + I_{\text{A}} + I_{61 \text{ et } +} = 3\,689,1$$

Concentration d'exposition moyenne pour le benzène en 2005

$$C = I / P_{\text{tot}}$$

$$P_{\text{tot}} = 1\,477$$

$$C = 3\,689,1 / 1\,477 = 2,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$$

Annexe 4 : Paramètres d'entrée de STREET et les limites du logiciel

Les paramètres d'entrée à fournir sont :

- les données sur la configuration de la rue :
 - l'orientation de la rue par rapport au Nord,
 - la pente de la rue,
 - l'affectation des voies dans la typologie proposée (quatre vingt dix-huit catégories de rues sont répertoriées dans le logiciel différenciées selon le type de voie, la disposition des bâtiments, le rapport hauteur du bâti/largeur de la rue, la distance rue/bâtiment, la continuité des façades).
- les valeurs de pollution de fond :

Elles proviennent des données de la surveillance permanente mais aussi ponctuelle.

Pollution de fond en NO₂: Avec les valeurs en NO_{2(P98)} des stations de mesures et deux équations par défaut, STREET calcule les valeurs de pollution de fond en NO_{2moy} et NO_{2(P50)}. Les deux équations par défaut sont :

$$\text{NO}_{2\text{moy}} = 0,8 * \text{NO}_{2(\text{P98})} - 30$$
$$\text{NO}_{2(\text{P50})} = 1 * \text{NO}_{2\text{moy}} - 5$$
- les valeurs guides et objectifs de qualité :

Ils correspondent aux valeurs issues du décret n°2002-213 du 15 février 2002 (cf. Annexe 2).
- les données trafic :
 - le comptage journalier (trafic moyen journalier annuel)
 - la répartition du parc automobile (% Véhicules Utilitaires Légers (VUL), % Poids Lourds (PL), % Bus, % deux-roues)
 - le taux d'encombrements,
 - la catégorie de circulation (selon la vitesse moyenne sur le tronçon).
- les données météorologiques :

Elles correspondent à la direction et vitesse du vent et proviennent de Météo France

Les limites du logiciel

Les données météorologiques :

STREET ne tient compte que de la direction du vent parmi toutes les données météorologiques ce qui est restrictif car si le temps a été pluvieux toute l'année les niveaux de pollution seront faibles à cause du lessivage de l'atmosphère. De plus, la variabilité météorologique n'apparaît pas.

Dans le logiciel, la vitesse du vent varie de 2 à 4 m/s. Il est donc impossible de calculer la concentration en polluants dans une rue où la vitesse moyenne annuelle du vent est en dehors de cet intervalle. Cependant, à Montpellier, la vitesse moyenne annuelle du vent se trouve majoritairement dans cet intervalle.

Il n'est donc pas possible avec STREET de rentrer des conditions climatiques extrêmes.

La configuration de la rue :

Malgré les quatre-vingt-dix-huit configurations de rue proposées par STREET, il est très rare que la rue à modéliser ait exactement le même profil qu'une des configurations. De plus, parmi ces configurations, il n'existe pas de rue à sens unique ni de rues à trois voies.

Ensuite, le rapport hauteur des bâtiments / largeur de la rue permet de préciser la configuration de la rue mais sur une même rue ce rapport peut varier et les bases de données sur ce paramètre sont rares.

La configuration de la rue est donc un paramètre difficile à déterminer de façon exacte.

La pollution de fond :

Si la ville étudiée ne dispose pas d'un réseau de stations de mesures permanentes, les campagnes de mesures seront réalisées sur de courtes durées. L'incertitude sur ces valeurs sera donc plus importante.

De même, si les stations n'effectuent pas les mesures sur tous les polluants utilisés pour la modélisation, les résultats seront moins précis.

Les données trafic :

La répartition du parc automobile, le nombre de véhicules circulant sur le tronçon, la vitesse moyenne de circulation et le pourcentage de bouchons sont ici des données estimées et non des données mesurées. Ainsi, suivant la nature des estimations, les valeurs retenues auront différents degrés de fiabilité.

De plus, STREET assimile le trafic automobile à une source émettrice fixe linéaire alors que, comme on l'a vu dans le paragraphe 1.5, c'est une source de pollution diffuse constituée de plusieurs émetteurs.

Toutes ces limites, développées dans l'étude d'impact sur la qualité de l'air de la troisième ligne de tramway [10], [11], vont conduire à des écarts entre les mesures des stations et les valeurs obtenues avec STREET.

Annexe 5 : Validation du logiciel STREET

AIRAQ : Les mesures en NO₂, PM10 et CO des trois stations trafic dans Bordeaux ont été comparées aux valeurs d'immission obtenues avec STREET, ceci sur trois ans. Pour tous les polluants confondus, les écarts sont compris entre -26,4 et +13,5%. On remarque aussi que STREET sous estime les teneurs en NO₂ et sur estime celles en CO [17].

ASPA : Pour valider STREET, ils ont aussi utilisé cinq stations de proximité automobile sur l'Alsace. Les écarts entre les mesures effectuées sur les stations et les résultats de STREET varient de -12% à +25%. En tenant compte de l'incertitude de $\pm 15\%$ sur les données provenant des stations, ils ont noté que seuls 3 résultats de STREET sur les 30 trouvés sont situés en dehors de cet intervalle d'incertitude [8].

Air LR : Une étude [9] a validé le logiciel en comparant les mesures réalisées par échantillonnage passif de NO₂ après la mise en place du tramway 1 avec les calculs d'immissions effectués par STREET. Seules les valeurs de NO₂ ont été comparées car aucune campagne de mesures n'a été menée sur les autres polluants. Les écarts entre les mesures effectuées et les résultats de STREET varient de -52% à +59%. Ces écarts semblent importants mais il faut tenir compte de l'incertitude de $\pm 20\%$ sur les données des tubes passifs ainsi que de l'incertitude de $\pm 20\%$ liée à la moyenne annuelle reconstituée sur les données des tubes passifs. De plus, de tels écarts sont exceptionnels parmi les résultats. En effet, seulement 14,3% des résultats de STREET sont en dehors de l'intervalle [mesure du tube $\pm 20\%$]. Dans cette étude, il est aussi remarqué que les valeurs en NO₂ de STREET sont sous-estimées.

Annexe 6 : Données d'entrée particulières à l'étude d'impact sur la qualité de l'air de la future ligne 3 du tramway

La pollution de fond :

Air LR dispose de cinq stations de mesures fixes urbaines et périurbaines sur Montpellier. Afin d'identifier quelle valeur de pollution de fond utiliser sur chacun des tronçons, la zone d'étude a été séparée en cinq zones correspondant aux zones de représentativité spatiale de chacune des stations de Montpellier établies dans une étude de Air LR en 2001 [18] (cf. Annexe 1).

Pour les tronçons situés dans les zones de représentativité spatiale des stations de mesures urbaines (cf. Annexe 1), la pollution de fond pour SO₂, CO et C₆H₆ correspond donc aux concentrations moyennes annuelles issues des données de ces stations. En ce qui concerne la pollution de fond en PM10, seule la station Près d'Arènes réalise les mesures. C'est donc la valeur moyenne annuelle de cette station qui est utilisée comme pollution de fond pour tous ces tronçons.

Pour les tronçons situés dans les zones de représentativité spatiale des stations périurbaines sud et nord, comme seules des mesures d'ozone sont effectuées dans ces stations, les valeurs de pollution de fond sont les valeurs standards proposées par STREET dans un milieu rural pour C₆H₆, SO₂, CO et PM10.

Pollution de fond en NO₂: les valeurs de pollution de fond en NO_{2(P98)} sont obtenues à partir d'une extrapolation d'une modélisation avec le logiciel ISATIS. Cette modélisation est issue d'une étude réalisée en 2004 sur l'impact de la nouvelle autoroute. Ces données sont relativement précises aux abords de l'autoroute qui sera située au sud-est de Montpellier mais elles le sont moins au nord et au centre de Montpellier. Afin d'ajuster ces données d'entrée, une étude sur le tracé du tramway a débuté cet été (juillet – août 2005) avec des tubes mesurant NO₂. Ces mêmes mesures seront effectuées en hiver, ce qui permettra d'obtenir une moyenne annuelle. Cette moyenne annuelle permettra aussi de vérifier la cohérence des résultats de la modélisation avec STREET.

De plus, afin de mieux approximer les valeurs en NO₂ avec le logiciel STREET 5.1, ROCHER B. a réalisé une étude [19] sur les équations par défaut de STREET (cf. Annexe 6). Pour cela, les données de pollution de fond en NO_{2moy}, NO_{2(P98)} et en NO_{2(P50)} de quatre stations sur cinq ans (1997-2003) ont été utilisées. Trois autres paires d'équations ont donc été obtenues par régression linéaire :

- une prenant en compte toutes les données,
- une ne prenant en compte que la station trafic qui a des valeurs très élevées par rapport aux autres,
- la dernière prenant en compte toutes les données sauf celles issues de la station trafic.

Les valeurs en NO_{2moy} obtenues avec les échantillonneurs passifs en 2004 sont comparées aux résultats d'immission de STREET en utilisant chacune des équations. Les résultats de STREET se rapprochant le plus des valeurs mesurées sont ceux obtenus avec l'équation prenant en compte toutes les données :

$$NO_{2moy} = 0,3989 * NO_{2(P98)} - 1,9454$$

$$NO_{2(P50)} = 0,9478 * NO_{2moy} - 3,1802$$

Ce sont ces équations qui seront utilisées lors de la modélisation des concentrations sur le trajet du tramway et sur les voies subissant une modification de la circulation en 2005 et en 2012.

- les données trafic :

Toutes les données trafic proviennent de modélisations réalisées par la TAM et elles vont varier selon le trajet du tramway étudié ainsi que selon les scénarios.

Annexe 7 : Exemple d'un calcul : répartition des enfants en bas âge domiciliés sur le tracé du tramway selon les concentrations d'exposition au NO₂ en 2005

ID	Rue	[NO ₂] brute en µg/m ³	[NO ₂] exposition en µg/m ³	nombre d'enfants en bas âge
1	Pont_Lattes	29	23	7
2	rue Jules Ferry	29	23	10
3	place Gare	23	19	8
4	rue de la République	31	25	14
5	Place laissac	34	27	18
11	bd Jeu de Paume_1	56	45	28
13	bd Jeu de Paume_2	53	42	18
14	place Giral	45	36	9
15	rue Clapiers	47	37	6
16	Place Pierre Flotte	38	30	4
17	rue Auguste Comte	46	37	7
18	place Leroy-Beaulieu	46	36	21
19	av de Lodève_1	44	35	26
20	av de Lodève_2	36	28	33
21	int-BMilhaud_Ldève	41	33	19
22	av de Lodève_4	31	25	8
23	int_Taillade-Lodève	36	28	7
24	av de Lodève_5,2	31	25	8
25	int-Alco_Lodève	59	47	13
26	rue d' Alco_1	34	27	24
27	rue d' Alco_2	31	25	69
28	int_Rimbaud-Alco	36	28	72
29	rue d' Alco_3	27	22	38
30	RP d'Alco	32	26	17
31	av des moulins	27	22	14
32	RP Moulins -giono	31	24	17
33	rue du Pilory	32	26	13
34	RP Pilory-Leizer	28	22	9
35	int_Leizer-Lodève	41	33	24
36	Rue Leizer Zamenhof	26	20	13
40	int ALco Bringuier	47	37	68
44	Route de Lodève_2	27	22	15
45	intersect_Lodève-Lib	49	39	33

46	Mosson	20	16	5
47	Juvignac salle poly	20	15	1
48	Lodève-Juvignac1	32	25	6
49	Lodève-Juvignac2	28	22	1
50	R Lodève_6 Juvignac	24	19	1
62	rue du Pont de Latte	28	22	11
63	int-Strasbourg-Latte	29	23	16
64	av de Palavas_1	36	29	17
65	int_Orient_Palavas	34	27	17
67	int_Bazille_Palavas	42	33	18
68	av de Palavas_2	42	33	18
69	av de Palavas_3	32	26	15
70	int-Centrarargues_P	34	27	15
71	int_Palavas-Moulares	48	38	20
72	RP Près d'Arènes	48	38	16
74	r de Saint Hilaire_1	43	34	5
75	r de Saint Hilaire_2	42	33	6
76	deversoir Complexe C	35	28	4
77	rue de la Rauze	35	28	4
78	La seconde écluse	35	28	0
79	Le Lez	29	23	0
80	route de l'Agau	32	25	0
81	av de l'Agau_1	31	24	3
82	av de l'Agau_2	28	22	7
83	RP Agau-Europe	32	25	6
88	av de l'Europe	22	17	10
89	RP Europe-Lironde	25	20	8
90	Route de Mauguio	28	22	4
91	RP Mauguio-D21Carnon	34	27	0
97	D21-route Carnon	31	25	2
98	RP Carnon-Lédaves	44	35	7
99	route_carnon_voie_ra	42	33	12
100	fin ligne 3	27	21	1

Annexe 8 : Carte des lignes de tramway de Montpellier

