

CIRCULATION ROUTIERE ET EVOLUTION DES NUISANCES SONORES

JEAN-PIERRE NICOLAS

Laboratoire d'Economie des Transports
Ecole nationale des Travaux Publics de l'Etat
Rue Maurice Audin, 69518 Vaulx-en-Velin cedex, France
nicolas@entpe.fr

Résumé

Cette communication est une réflexion autour des principaux facteurs qui affectent les évolutions des émissions du trafic routier au niveau d'une agglomération. Quatre paramètres ont été retenus : la hausse continue du trafic routier, la croissance de la congestion, les adaptations du réseau viaire et les évolutions techniques des véhicules et des infrastructures. Plus qu'à une tentative de prévision, ce travail s'attache à analyser le rôle que chacun des paramètres peut jouer dans les évolutions des émissions sonores au cours des 15 années à venir à l'aide d'un modèle d'affectation du trafic couplé à des fonctions d'émissions sonores des véhicules.

INTRODUCTION

Les émissions sonores constituent une des principales nuisances de la circulation routière. Une enquête française a par exemple montré que la gêne à domicile liée au bruit (60% des cas de gêne déclarée) est attribuable au trafic dans la moitié des cas (Maurin et *alii*, 1988). Le Commissariat Général au Plan retient officiellement un coût global des dommages liés au bruit des transports correspondant à 0.3 du PNB. De plus, compte tenu des évolutions attendues du trafic on peut craindre au cours des 15 années qui viennent une augmentation des zones "grises", au sein desquelles les niveaux sonores atteints en façades atteignent entre 65 et 70 dB, ce malgré le traitement des points noirs les plus sensibles et les progrès réalisés en matière de protection phonique sur les nouvelles infrastructures.

Cette communication est une réflexion autour des principaux facteurs qui affectent les évolutions des émissions du trafic routier au niveau d'une agglomération, l'objectif étant de repérer les leviers sur lesquels on peut agir et de mettre en évidence les mécanismes par le biais desquels ils jouent sur les émissions sonores du trafic.

Quatre paramètres ont été retenus. Le premier correspond bien sûr à la *hausse continue du trafic routier* qui conduit à l'amplification des nuisances sonores. Les deux facteurs suivants dérivent du premier. La *croissance de la congestion*, tout d'abord, contribue d'une part à baisser les niveaux d'émissions sonores par véhicule car leur vitesse moyenne diminue et d'autre part à diffuser les flux -et donc le bruit- sur l'ensemble du réseau du fait des réaffectations d'itinéraires. *L'évolution du réseau viaire*, ensuite, est prévue pour prévenir cette dégradation des conditions de circulation. Elle joue donc un rôle inverse sur les émissions sonores (maintien des vitesses et des niveaux d'émissions par véhicule, concentration des flux et des émissions sur les grands axes). Le quatrième facteur correspond aux *évolutions techniques* et concerne aussi bien les efforts sur les véhicules eux-mêmes que sur les contacts entre pneumatiques et chaussées ou sur les protections antibruit en bordure de voie.

MESURER LES EMISSIONS SONORES ?

Pour rendre compte du poids de ces quatre facteurs dans les évolutions des émissions sonores, nous avons utilisé un modèle d'affectation du trafic (le modèle DAVIS développé par l'INRETS) complété d'abaques d'émissions sonores en fonction des vitesses des véhicules (fournies par le *Guide du Bruit*, CETUR, 1982). Ceci a permis d'évaluer les variations des émissions lorsque chacun des paramètres est testé séparément. Notre travail s'appuie sur le cas de l'agglomération lyonnaise et reprend des estimations des déplacements automobiles d'heure de pointe du soir et de l'état du réseau de voirie en 1990, 1994, 2000 et 2010.

Le modèle d'affectation DAVIS

Le modèle d'affectation utilisé est le modèle DAVIS (Distribution, Affectation, VISualisation) développé par l'INRETS. De nombreux enrichissements ont été apportés depuis sa création en 1972 et la version utilisée ici, DAVIS-PLUS 2.3. TRIBUT Equilibre, date de 1991 (Barbier Saint Hilaire, 1992). Ce modèle, notamment utilisé en France par les Centres d'Etudes Techniques de l'Equipement responsables de la gestion et du développement du réseau routier, permet de fournir des résultats d'affectation du trafic routier à un niveau agrégé et statique.

Les modèles de ce type ont pour objectif essentiel d'évaluer des projets d'aménagement du réseau routier d'une agglomération. Ils permettent notamment d'établir une utilité collective globale d'un projet particulier ou de tester sa cohérence avec l'ensemble du réseau (Manheim, 1979). Ils donnent *une image statique* de l'état de la circulation au niveau d'une agglomération : ils établissent un bilan moyen de ce que l'on obtiendrait si on faisait une série d'observations pendant plusieurs jours sur une

même période. Les résultats obtenus ne sont donc pas pertinents à un niveau fin pour un instant précis. Par contre ils sont susceptibles de répondre à des calculs économiques d'évaluation globale de grands projets de modification du réseau. Ils sont *agrégés* dans le sens où chaque déplacement n'est pas considéré isolément. Ils sont au contraire regroupés à partir d'un découpage de l'aire géographique étudiée, permettant de les caractériser par leur zone d'origine et leur zone de destination.

La demande de déplacements est représentée par une matrice dite "origine-destination" reprenant tous les déplacements effectués entre les zones de l'aire d'étude au cours d'une période donnée. Le réseau de voirie est quant à lui représenté de manière simplifiée par un ensemble d'arcs (caractérisés par leur direction, leur longueur et une courbe débit-vitesse) et de noeuds (différenciés selon leurs règles de passage -priorités, feux, rond-point...- qui déterminent un temps d'attente moyen à vide et un seuil de saturation). Ce réseau se superpose à l'aire d'étude et se trouve connecté par des liens fictifs au centre de chaque zone ("centroïdes"), permettant ainsi de mettre en rapport offre viaire et demande de déplacements routiers. Sur la base de ces inputs, la procédure d'affectation consiste à rechercher les itinéraires empruntés pour fournir, en sortie, les flux et les vitesses par arc. Pour une présentation plus fouillée que ces quelques lignes, voir par exemple (Bovy, Stern, 1990).

Précisons également que le modèle DAVIS permet de prendre en compte les problèmes de congestion soit par une recherche du plus court chemin de type "tout ou rien" incrémenté ou par une recherche d'équilibre selon le premier principe de Wardrop. C'est essentiellement cette seconde procédure qui a été utilisée, selon laquelle en cherchant individuellement à optimiser leur itinéraire, les automobilistes aboutissent à une situation d'équilibre où aucun usager ne peut diminuer son temps de parcours en modifiant unilatéralement son itinéraire (« no user can improve his travel time by unilaterally changing routes » : Daganzo, Sheffi, 1977). Ce raisonnement permet de retenir éventuellement plusieurs trajets alternatifs s'ils correspondent à des temps de parcours identiques. Il devient plus réaliste que l'affectation en tout ou rien lorsque des trafics importants conditionnent fortement les vitesses sur les arcs et poussent de nombreux automobilistes à rechercher des itinéraires alternatifs pour une même origine destination. La version de DAVIS utilisée dispose également d'un modèle d'écoulement simplifié qui permet de prendre en compte les situations pour lesquelles les capacités d'un arc se trouvent dépassées, avec ses répercussions en amont du fait de la création de files d'attente.

Nos évaluations ont été établies à partir de données fournies par le CETE de Lyon. Elles concernent les déplacements routiers pour une heure de pointe du soir au sein de l'agglomération lyonnaise en 1990, 1994, 2000 et 2010. Le volume de trafic pris en compte varie de 155 000 déplacements en 1990 à 228 000 en 2010, ce qui donne en terme de distance totale parcourue une fourchette de 1.33 à 2.28 millions de véhicules kilomètres.

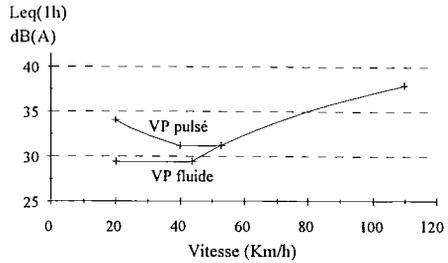
La mesure du bruit

En sortie, le logiciel DAVIS apporte une estimation du nombre de véhicules/heure et de la vitesse moyenne sur chaque arc représenté.

Le *Guide du Bruit* (CETUR, 1982), qui sert de référence officielle en France pour calculer *a priori* des niveaux d'émissions sonores, fournit des émissions unitaires par type de véhicule en fonction de sa vitesse et de l'état fluide ou pulsé de la circulation. Les niveaux sonores sont établis en dB(A) sur un isophone dit "de référence" situé à 30 mètres de la voirie hors contexte bâti et topographique. Nous n'avons repris ici que les données concernant les véhicules légers. De plus, une distinction fluide/pulsée a grossièrement été rétablie en croisant vitesses et type de voirie (voir Nicolas, 1996).

Tableau 1 : Etat de la circulation en fonction de la vitesse et du type de voirie

| Etat de la circulation | pulsée | fluide |
|------------------------|--------------|--------------|
| Autoroute | - | ∇ la vitesse |
| Rase Campagne | ≤ 42 km/h | > 42 km/h |
| Réseau secondaire | " | " |
| VRU | " | " |
| Rocade | " | " |
| Pénétrante | " | " |
| Centre Ville | ∇ la vitesse | - |



A partir du Guide du Bruit, CETUR, 1982.

Graphique 1 : Emissions sonores d'un VL suivant l'état de la circulation

Les émissions sonores sur chaque arc ont ensuite été calculées en fonction du trafic horaire établi par DAVIS, puis les arcs d'un même tronçon mais en sens opposé ont été regroupés. L'indicateur obtenu correspond dès lors au niveau sonore moyen sur l'isophone de référence émis sur chaque tronçon par les véhicules légers ayant circulé pendant une heure de pointe du soir. Il s'exprime en dB(A), moyenné sur une période d'une heure (L_{Aeq} 1h).

Enfin, pour donner une image globale et synthétique de la situation sonore de l'agglomération, les tronçons ont été regroupés en classes de niveaux sonores, <60dB, [60;70dB], ≥70dB, avec souvent une distinction entre [60;65dB] et [65;70dB] pour des analyses plus fines. Pour comparer les résultats obtenus suivant les différents scénarios retenus, on a pu alors observer la manière dont variaient les kilométrages de voirie à l'intérieur de ces classes.

Pris en tant que tel, cet indicateur ne présente guère d'intérêt puisqu'il ne s'attache qu'à un type particulier de véhicules, ne prend pas en compte les questions de diffusion des émissions et ne fournit qu'une image de la période particulière de l'heure de pointe du soir. Par contre il reste tout à fait pertinent pour montrer de manière simple et synthétique la manière dont les niveaux sonores varient suivant les situations envisagées. C'est donc à l'aide de cet outil que l'impact du trafic routier sur le bruit est analysé ici.

Mettre en place des scénarios différenciés

Pour rendre compte du rôle spécifique de chacun des 4 facteurs évoqués précédemment (niveau de trafic, conditions de circulation, adaptation du réseau et évolutions technologiques), ce travail a été organisé autour de plusieurs scénarios aux caractéristiques différenciées tant au niveau des hypothèses de trafic que d'émissions unitaires des véhicules.

Une première série de calculs a consisté à mesurer les effets d'une hausse du nombre de déplacements, toutes autres choses égales par ailleurs (notamment sans que les conditions de circulation ne soient modifiées). Les résultats obtenus sur cette base très simplifiée ont servi ensuite de référence pour comprendre comment joue l'effet "congestion" sur le bruit, lorsque l'on simule une hausse identique du nombre de déplacements mais que les problèmes de contraintes de capacité de la voirie et d'adaptations des itinéraires par les automobilistes sont pris en compte par le modèle d'affectation.

On peut également s'interroger sur l'impact à long terme de la hausse du trafic. En effet, sur la base des prévisions d'évolution de l'agglomération et de la mobilité automobile, les acteurs responsables du réseau de voirie développent de nouvelles infrastructures. Par rapport aux situations précédentes, de nouveaux éléments entrent en jeu : non seulement le nombre mais aussi la structure des déplacements se modifient, les adaptations du réseau évitent une dégradation trop forte des conditions de circulation et les flux par tronçon évoluent différemment.

Enfin les progrès technologiques jouent également un rôle très important en matière d'évolution des nuisances sonores du trafic routier. Le rythme de leur apparition et de leur prise en compte à l'intérieur du système de transports reste par contre difficile à maîtriser. Nous avons dès lors évité d'évaluer l'impact d'un scénario trop précis et préféré tester plusieurs simulations pour mettre en évidence laquelle se rapproche le plus d'un objectif fixé *a priori*, en l'occurrence un maintien du niveau global des émissions sur l'agglomération.

Ce sont ces différentes séries de tests qui vont maintenant être présentées avec leur résultats.

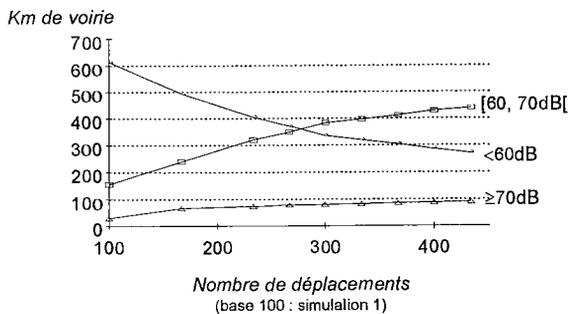
SI LE TRAFIC EVOLUAIT SANS CONTRAINTE DE CAPACITE DE VOIRIE...

Dans un premier temps, on peut imaginer une hausse continue du trafic, toutes autres choses égales par ailleurs et sans que les conditions de circulation ne soient affectées. Ce scénario n'est bien sûr pas réaliste mais ses résultats constituent une situation de référence pour analyser des situations plus complexes. Pour envisager cette croissance continue du trafic, la matrice origine-destination initiale de 1990 a été reprise et pondérée de manière croissante. Seuls les nombres de déplacements ont été modifiés, à structure spatiale des flux inchangée. Neufs simulations ont ainsi été effectuées :

Tableau 2 : Croissance du nombre de déplacements entre les 9 simulations effectuées

| Simulation | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
|----------------------|--------|--------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| nombre de déplt's | 46 350 | 77 260 | 108 160 | 123 610 | 139 060 | 154 510 | 169 960 | 185 420 | 200 870 |
| Coef. multiplicateur | 0.3 | 0.5 | 0.7 | 0.8 | 0.9 | 1 | 1.1 | 1.2 | 1.3 |

Avec la croissance du nombre de déplacements, toutes autres choses égales par ailleurs, on observe une chute de 56% des kilomètres de voirie à moins de 60 dB. Les deux autres classes figurées sur le graphique ci-dessous progressent respectivement de 181 et 210% entre les deux simulations extrêmes. Une analyse plus approfondie montre que la progression de la voirie à 60-65 dB se tasse rapidement au profit de niveaux sonores plus élevés à 65-70 dB : la progression de ces deux sous-classes est respectivement de +155% et +235%.



Graphique 2 : Evolution des émissions sonores lorsque les déplacements augmentent

LA CROISSANCE DU TRAFIC LORSQUE LA CONGESTION S'EN MELE

Cette première simulation ne présente évidemment d'intérêt que lorsqu'elle est comparée avec des situations au sein desquelles d'autres facteurs sont pris en compte. Le premier élément à introduire concerne la manière dont la hausse des déplacements modifie les conditions de circulation et entraîne des réaffectations du trafic sur l'ensemble du réseau. A cet effet, une croissance des

déplacements identique au cas précédent a été considérée, mais en prenant en compte des contraintes de capacité lors de leur affectation sur le réseau.

Les options de calcul retenues sous DAVIS correspondent à une recherche d'équilibre des temps de parcours pour une même origine destination respectant le premier principe de Wardrop jusqu'à concurrence de 6 itinéraires alternatifs équivalents. Le module d'écoulement du trafic, qui traite les problèmes de file d'attente et de répercussion de la congestion en amont, a également été utilisé lors de ces calculs.

On peut alors analyser la manière dont les conditions de circulation sont modifiées et les itinéraires se réajustent avant de s'interroger sur l'évolution des émissions sonores.

Quels sont les effets de la congestion sur le trafic ?

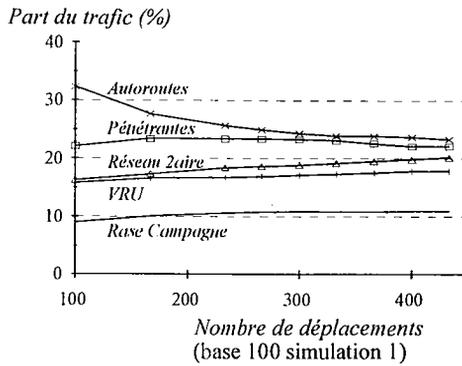
Observons tout d'abord la manière dont évoluent les caractéristiques des déplacements. Leur vitesse moyenne baisse progressivement, avec une hausse significative de leur durée mais aussi, du fait d'une réadaptation des itinéraires, une baisse sensible des distances moyennes parcourues (-16% entre les scénarios 1 et 9). Ces résultats correspondent également à une baisse totale de 12% des véh.km entre les situations avec et sans prise en compte de la congestion pour la matrice des déplacements initiale (simulation 6).

Tableau 3 : évolution des caractéristiques des déplacements suivant les 9 simulations

| Résultats moyens par déplacement | Sim. 1 | Sim. 2 | Sim. 3 | Sim. 4 | Sim. 5 | Sim. 6 | Sim. 7 | Sim. 8 | Sim. 9 |
|----------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Vitesse (km/h) | 62 | 54 | 45 | 41 | 36 | 31 | 27 | 23 | 20 |
| Durée (mn) | 9.5 | 10.1 | 11.8 | 12.9 | 14.5 | 16.6 | 18.9 | 21.8 | 24.1 |
| Longueur (km) | 9.8 | 9.1 | 8.8 | 8.8 | 8.7 | 8.6 | 8.5 | 8.4 | 8.2 |

Le mécanisme qui pousse à la réduction des distances par déplacement est relativement simple : en situation de circulation fluide, il est intéressant de faire un détour pour rejoindre les grands axes sur lesquels la vitesse est plus élevée. Lorsque le nombre de déplacements augmente, ces axes lourds se trouvent de ce fait parmi les premiers touchés par la congestion. Un nombre croissant de déplacements voient leur itinéraire se rectifier du fait d'une remise en cause de leur détour initial : la distance moyenne par déplacement a tendance à baisser.

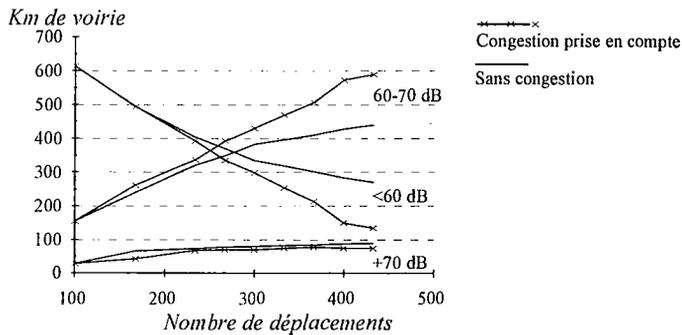
Cette redistribution d'une partie des flux des axes rapides vers les autres voies peut être illustrée par le graphique suivant qui reprend l'évolution de la structure des trafics par type de voirie. Les autoroutes ont une importance relative décroissante et leur part dans le trafic total passe de 32 à 23% entre les deux simulations extrêmes (soit une baisse de 30% de leur poids relatif). Les voiries de type "pénétrante" qui correspondent à la continuation logique de ces axes vers le centre ville subissent moins fortement ce mécanisme de transfert : elles commencent tout d'abord à gagner quelques parts de trafic pour le reperdre ensuite ; de ce fait leur part relative dans le trafic est identique pour les simulations 1 et 9, soit 22%. Enfin, tous les autres types de voirie bénéficient des surplus de trafics qui ne peuvent s'écouler sur les autoroutes et gagnent entre 13 (voies rapides urbaines) et 22-24% (rase campagne et réseau secondaire) de part relative du trafic.



Graphique 3 : Reports de trafic liés à la congestion suivant le type de voirie

Quels sont les effets de la congestion sur les émissions sonores ?

L'augmentation progressive du nombre de déplacements sur le réseau viaire se traduit essentiellement par un large transfert des tronçons de la classe <60 dB vers la classe 60-70 dB. Par contre les tronçons exposés à un niveau de bruit *a priori* très élevé (>70 dB avec le trafic VL) restent relativement peu nombreux. Ils augmentent rapidement au début (multipliés par 2.5 entre les trois premières simulations) pour se stabiliser ensuite.



Graphique 4 : Evolution des émissions sonores en fonction du nombre de déplacements

De la comparaison des résultats avec et sans prise en compte de la congestion, 3 grandes observations peuvent être tirées :

- Tout d'abord, les chiffres obtenus sont quasiment identiques pour les premières simulations et l'écart entre les courbes ne se creuse qu'à partir des simulations 3 et 4. La congestion ne commence donc à faire sentir ses effets que lorsque le nombre de déplacements atteint un niveau équivalent à 70-80% de celui de la matrice originelle d'heure de pointe du soir.
- Pour les simulations suivantes on s'aperçoit que la prise en compte de la congestion génère un transfert beaucoup plus important des classes à faible niveau sonore vers les classes moyennes.
- Les tronçons "fortement exposés" (≥ 70 dB) sont par contre légèrement moins nombreux et, surtout, lorsqu'on analyse les résultats plus finement, on s'aperçoit que ces tronçons subiraient des niveaux sonores encore plus élevés si le phénomène de congestion n'existait pas. Dans le cas extrême de la simulation 9, pour 89 kilomètres de tronçons fortement exposés, 53 connaissent des niveaux d'émissions supérieurs à 75dB alors qu'avec la prise en compte de la congestion, ce niveau n'est jamais atteint.

Si le phénomène de congestion n'existait pas, les itinéraires initiaux ne seraient pas modifiés. Ils resteraient fixés en fonction des seules vitesses *a priori* des arcs et concentrés sur les voiries les plus rapides. Dans cette hypothèse une hausse uniforme des trafics, toutes autres choses égales par ailleurs, conduit à un basculement général des voiries faiblement exposées vers les voiries soumises à un niveau moyen compris entre 60 et 70 dB. Mais, surtout, les niveaux d'exposition se renforcent sur les axes rapides où vitesse élevée et flux relativement importants se combinent pour générer très rapidement des niveaux sonores supérieurs à 70 dB.

La réintroduction du phénomène de congestion vient modifier ce premier schéma en affectant tout d'abord les vitesses puis en se répercutant sur les flux par arc. On assiste alors à des réaffectation massives d'itinéraires et les flux qui se concentraient sur quelques tronçons privilégiés à vitesse rapide se redistribuent sur l'ensemble du réseau. Cette augmentation du nombre de véhicules sur le réseau secondaire conduit alors à un transfert important et plus rapide qu'en l'absence de congestion des tronçons peu exposés vers ceux qui le sont moyennement. Par contre les tronçons les plus exposés voient rapidement leur situation se stabiliser du fait même de leur saturation - absolue ou relative. Ainsi les émissions sonores générées par les véhicules légers restent toujours inférieures à 75 dB lorsque la congestion est prise en compte.

La congestion, par la redistribution spatiale des itinéraires qu'elle entraîne, conduit donc à une nette détérioration dans des zones non conçues pour un trafic important comme les zones résidentielles par exemple. Elle contribue par contre à atténuer les émissions sonores le long des axes de transit. La congestion évite ainsi la création de quelques points noirs catastrophiques, mais au prix d'un étalement de la nuisance sonore sur l'ensemble du territoire couvert par le réseau considéré.

PREVISIONS DE CROISSANCE DU TRAFIC ET ADAPTATIONS DU RESEAU VIAIRE

A court terme la congestion tend donc à atténuer et à diffuser les émissions sonores du trafic routier. A moyen et long terme d'autres éléments interviennent. Tout d'abord les individus adaptent leurs comportements en modifiant leurs schémas d'activités dans le temps et dans l'espace (étalement des heures de pointe par exemple).

A plus long terme ces adaptations vont également avoir un impact sur l'urbanisme. Lorsque le coût généralisé des déplacements s'élève, l'optimisation de l'usage de l'espace peut conduire à une plus forte concentration des activités avec une ségrégation possible des fonctions urbaines entre centre et périphérie (Fujita, 1989). A l'inverse, l'apparition de goulots d'étranglement ainsi que les prévisions de la hausse de trafic conduisent les acteurs responsables du réseau routier à le développer.

Entre ces deux tendances opposées de long terme, c'est la logique extensive qui prédomine nettement en France. Par exemple entre 1970 et 1990 les distances parcourues ont augmenté d'environ 75% alors que le temps consacré à se déplacer est resté inchangé (Bieber et *alii*, 1993). Nous avons donc choisi d'observer l'impact du développement du réseau lyonnais prévu pour répondre à la croissance attendue du trafic.

L'exercice a consisté à raisonner sur trois états différents au cours du temps des déplacements et du réseau routier lyonnais, en 1994, 2000 et 2010, toutes autres choses égales par ailleurs. Pour repérer le rôle de la structure de ces 3 états du réseau sur les flux et les émissions sonores nous avons, pour chacun d'entre eux, comparé les résultats obtenus avec l'affectation des 3 états de la matrice des déplacements. Ce sont les constantes repérées au cours de ces 3 tests successifs sur chaque réseau que nous avons tenté de mettre en évidence.

Les évolutions prévues des déplacements et du réseau lyonnais

Les trois états du réseau routier envisagés sur le Grand Lyon pour 1994, 2000 et 2010 ont été définis par le CETE de Lyon. Ce travail a été mené dans le cadre de la mise en oeuvre du Dossier de Voiries d'Agglomération (1993) :

- L'état du réseau en 1994 sert de référence par rapport aux deux suivants. Il est très proche de celui de 1990 présenté en première partie.
- Les changements envisagés entre 1994 et 2000 correspondent à des opérations programmées et déjà engagées avec notamment l'ouverture du Tunnel Nord Périphérique (gratuit dans ces simulations) et du Boulevard Urbain Sud ainsi que le doublement de l'autoroute rejoignant St Etienne avec l'A45.
- Le réseau considéré pour 2010 relève quant à lui plus d'une vision idéale de planification, sachant que certains projets seront sans doute modifiés, repoussés ou ne verrons jamais le jour. Il considère notamment une ceinture éloignée composée de la Rcade Est actuelle, du Tunnel Nord Périphérique et du Boulevard Urbain Sud en construction, et bouclée par le projet du Tunnel Ouest Périphérique. De plus un grand Contournement Est passant par l'aéroport de Satolas est envisagé.

Les matrices de déplacements correspondant à ces trois dates, 1994, 2000 et 2010, ont également été établies par le CETE de Lyon. Elles ne reposent plus sur l'hypothèse d'école de la partie précédente d'une croissance homogène du nombre de déplacements. Les déplacements périphériques croissent plus rapidement du fait d'une hypothèse de stabilité de la mobilité automobile des résidents du centre de l'agglomération (Lyon et Villeurbanne) contre une croissance annuelle de 5% pour les résidents de la périphérie. Ceci débouche globalement sur une croissance de 39% du nombre total de déplacements entre 1994 et 2010, avec une augmentation limitée à 33% des déplacements internes à l'agglomération et des progressions beaucoup plus rapides des déplacements liés aux échanges (+60%) et au transit (+67%).

Les hypothèses de croissance de la mobilité automobile : disparition des zones calmes mais stabilité des points noirs

L'impact de la croissance attendue des déplacements automobiles à réseau constant renvoie aux mêmes mécanismes que ceux mis en évidence dans la partie précédente, à ceci près qu'entre les 3 matrices de 1994, 2000 et 2010, non seulement le nombre de déplacements change mais la structure même des origines et des destinations évolue du fait notamment de la tendance à l'étalement urbain.

Ce point ne modifie cependant pas la logique des résultats. L'affectation successive des trois matrices sur une version donnée du réseau routier entraîne une dégradation progressive des conditions de circulation. Les itinéraires utilisés sont modifiés et les trafics sur la voirie secondaire augmentent relativement plus vite que sur les axes lourds qui, étant empruntés en priorité du fait de leur rapidité, sont aussi les premiers à subir une altération de leur qualité de service. Ce phénomène a une triple répercussion au niveau des émissions sonores :

- Les zones les plus calmes, où le trafic était peu élevé, disparaissent progressivement. Suivant le réseau utilisé, la longueur de voirie à moins de 60 dB connaît une baisse qui varie entre 40 et 60% et sa part au sein du total de la voirie passe d'environ 35% à 15-20%.
- La part de la voirie la plus bruyante n'augmente pas de manière symétrique et reste au contraire très stable : la longueur de la voirie à plus de 70 dB représente 10-11% du total, quel que soit le réseau concerné et la matrice affectée.
- Ce sont donc les classes de 60-65 dB et 65-70 dB qui augmentent le plus du fait des adaptations d'itinéraires. La croissance la plus nette est celle de la longueur de la voirie à 65-70 dB qui double entre les réseaux 1994 et 2000.

Ces résultats montrent donc qu'à travers les hypothèses d'évolution de la mobilité automobile, ce sont essentiellement la croissance prévue du nombre de déplacements et la réaffectation des trafics qu'elle provoque qui ont un impact sur l'évolution des émissions sonores. L'étalement urbain et l'évolution envisagée des localisations des activités restent invisibles ici.

Les adaptations du réseau routier

L'effet de l'adaptation du réseau face à la croissance des déplacements est déjà nettement perceptible : la part de la voirie à moins de 60 dB est toujours supérieure sur la version 2000 du réseau routier que sur celle de 1994, sans que des transferts de trafic ne rendent le reste de la voirie plus bruyant ; par contre en 2010 les gains en voirie silencieuse (15% de la voirie est à moins de 60 dB après affectation de la matrice 2010 sur le réseau 1994, 22% sur sa version 2010) se font au prix d'un allongement et d'une concentration du trafic sur les axes lourds (11% de la voirie est à plus de 70 dB sur le réseau 2010 quelle que soit la matrice, pour seulement 10% sur le réseau 1994, soit une différence de 10% entre les parts relatives mais de 30% en terme de kilomètres de voirie car le réseau de 2010 est plus étoffé).

Pour évaluer plus en détail l'impact de la configuration de chacune de ces trois versions du réseau lyonnais, on peut se pencher sur leurs effets sur les flux routiers avant de revenir sur les émissions elles-mêmes.

Une amélioration du réseau qui ne suffit pas à absorber les flux

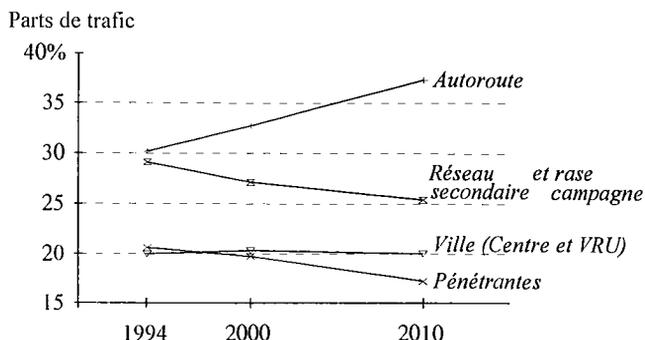
On assiste à une détérioration continue des conditions de circulation malgré les efforts fournis en matière de voirie : de 1994 à 2010, la vitesse moyenne sur le réseau baisse fortement alors que les longueurs augmentent légèrement, se traduisant par une progression de presque 1/3 de la durée moyenne d'un déplacement.

Tableau 4 : Evolutions des caractéristiques moyennes d'un déplacement entre 1994 et 2010

| | Vitesse | Longueur | Durée |
|------|---------|----------|-------|
| 1994 | 34.4 | 9.6 | 16.7 |
| 2000 | 29.9 | 9.5 | 19.0 |
| 2010 | 28.3 | 10.0 | 21.2 |

Les adaptations du réseau jouent un rôle important dans ces évolutions. En effet, lorsqu'on affecte la matrice des déplacements de 1994 sur les réseaux de 1994 puis de 2000 et 2010, on constate une nette amélioration des conditions de circulation avec une vitesse moyenne qui gagne 18% entre le réseau de 1994 à celui de 2010. Par contre la distance moyenne du parcours augmente de 11% ce qui compense l'amélioration des vitesses et conduit à une baisse de la durée moyenne des déplacements plus faible que ce que l'on pourrait attendre (-6%). Ce constat peut être reconduit lorsqu'on affecte les matrices 2000 et 2010 sur chacun des trois états du réseau lyonnais (respectivement +36% et +43% pour la vitesse, +0.5% et +5% pour la distance ainsi que -26.2% et -26.5% pour la durée).

L'amélioration des vitesses peut être en grande partie expliquée par l'évolution de la répartition des trafics sur les différents types de voirie. Le développement du réseau autoroutier (+40% sur 15 ans) conduit à une hausse de 71% du trafic sur ce type de voirie alors qu'au contraire le réseau secondaire et de rase campagne stagne (+4.6% d'infrastructure en plus) et parvient mal à accueillir le trafic supplémentaire (+21% pour une hausse générale du trafic de 39%).



Graphique 5 : évolution des parts de trafic suivant les types de voirie

Enfin, quelle que soit la matrice utilisée, la version 2000 du réseau routier lyonnais a surtout tendance à soulager le réseau secondaire et dans une moindre mesure les pénétrantes en concentrant les flux sur les voies rapides urbaines. Les trafics sur autoroute restent globalement stables avec cependant des transferts importants entre les axes, notamment au profit du contournement Est. Pour 2010 le phénomène se poursuit avec une très forte concentration des flux sur un réseau autoroutier en plein développement.

Des bilans sonores différents suivant le réseau

En terme d'émissions sonores la concentration des trafics sur les axes rapides que favorise le développement du réseau routier tend tout à la fois à élargir les zones calmes desservies par le réseau secondaire et à développer les points noirs situés en proximité d'axes lourds. Quelle que soit la matrice utilisée, lorsqu'on l'affecte successivement sur les réseaux de 1994, 2000 et 2010, la longueur des tronçons très silencieux (<50 dB sur notre échelle, toute relative) a tendance à diminuer. Par contre les kilomètres de voirie pour lesquelles le niveau sonore est compris entre 50 et 55 dB progressent de 65 à 165% suivant la matrice retenue. A l'autre extrême, aucun point noir supérieur à 75 dB n'apparaît et les progressions s'enregistrent sur le créneau des 70-75 dB (de +18 à +30% suivant la matrice de déplacements).

Les classes intermédiaires de 60-65 dB et 65-70 dB varient elles-aussi avec l'évolution du réseau et représentent entre 50 et 75% de la voirie suivant les cas. Une ligne de démarcation s'établit cependant entre ces deux classes, très nette avec les matrices de déplacements de 2000 et 2010. La classe des 60-65 dB a tendance à bénéficier des reports d'itinéraires et croît légèrement avec le développement du réseau. Par contre celle des 65-70 dB se réduit nettement, tant du fait de certains tronçons dont le trafic s'allège et qui basculent en 60-65 dB que du fait de ceux dont le trafic s'accroît et pour lesquels le niveau sonore augmente.

Si l'on cherche maintenant à souligner plus précisément l'impact de chaque version du réseau routier lyonnais, on peut d'abord constater que celle de 2000, en réduisant les distances parcourues, permet d'augmenter le nombre de tronçons peu bruyants sans transfert vers les classes à niveau sonore élevé. La situation s'améliore donc nettement entre les réseaux de 1994 et 2000 à matrice de déplacements constante, notamment pour celles de 2000 et 2010.

Le bilan du développement autoroutier de 2010 est plus mitigé car si il permet de soulager le réseau secondaire, l'allongement des distances moyennes parcourues ainsi que la forte concentration des trafics sur certains axes rapides conduisent à une augmentation nette de la longueur de voirie à plus de 70 dB. La lutte contre le bruit est sans doute plus facile sur ces quelques axes lourds que sur l'ensemble de la voirie. Par contre les effets de gêne et de coupure dont le bruit témoigne restent quant à eux importants malgré un changement de nature, plus concentrés, moins diffus.

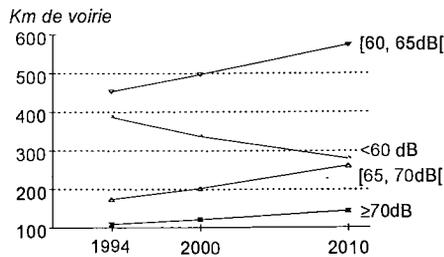
Tableau 5 : Effets de l'évolution du réseau routier sur les émissions sonores.

| <i>Matrice de déplacements de 1994</i> | | | | <i>Matrice de déplacements de 2000</i> | | | | | |
|--|------|-------|-------|--|----------|------|-------|-------|------------|
| Réseau : | 1994 | 1994 | 2000 | 2010 | Réseau : | 1994 | 1994 | 2000 | 2010 |
| | (Km) | | | (base 100) | | (Km) | | | (base 100) |
| L<60 | 387 | 100.0 | 110.8 | 114.2 | L<60 | 245 | 100.0 | 137.5 | 153.0 |
| 60≤L<65 | 453 | 100.0 | 102.5 | 107.1 | 60≤L<65 | 513 | 100.0 | 96.8 | 103.5 |
| 65≤L<70 | 174 | 100.0 | 81.2 | 109.1 | 65≤L<70 | 246 | 100.0 | 82.1 | 85.8 |
| L>70 | 109 | 100.0 | 111.3 | 129.4 | L>70 | 120 | 100.0 | 101.3 | 118.0 |

| <i>Matrice de déplacements de 2010</i> | | | | |
|--|------|-------|-------|------------|
| Réseau : | 1994 | 1994 | 2000 | 2010 |
| | (Km) | | | (base 100) |
| L<60 | 165 | 100.0 | 124.6 | 169.1 |
| 60≤L<65 | 507 | 100.0 | 103.8 | 113.2 |
| 65≤L<70 | 340 | 100.0 | 91.7 | 76.7 |
| L>70 | 111 | 100.0 | 101.4 | 129.5 |

LES PROGRES TECHNOLOGIQUES SERONT ILS SUFFISANTS POUR EVITER TOUT DERAPAGE ?

Lorsqu'on observe les effets conjoints de l'évolution prévue du trafic et des adaptations du réseau, on constate que si aucun progrès n'est réalisé en matière d'émissions sonores du trafic automobile, la situation dérape nettement entre les scénarios de 1994, 2000 et 2010. En effet, dans une telle hypothèse, on enregistre d'un côté une baisse de 28% de la longueur de voirie à moins de 60 dB et de l'autre une augmentation de 32% de celle à plus de 70 dB, les classes intermédiaires augmentant également nettement avec +27% pour la voirie à 60-65 dB et surtout +50% pour celle à 65-70 dB. La croissance du nombre de déplacements automobile entraîne donc une dégradation générale de l'environnement sonore lié au trafic routier, tant du fait des concentrations de flux sur les axes lourds, qui conduit à l'augmentation de la voirie à niveaux de bruit élevé (sachant que les contraintes de capacité, en limitant les vitesses et en évinçant une certaine part de trafic, évite à ces axes de connaître des situations encore plus dégradées) que du fait de la diffusion du trafic sur le réseau secondaire, qui réduit la part des zones calmes.



Graphique 6 : Evolution des émissions sonores entre 1994, 2000 et 2010 (à ém. unitaires cstes)

Quels progrès technologiques ?...

Il est difficile d'évaluer la manière dont peuvent évoluer les émissions sonores des véhicules sur les 16 années qui séparent 1994 et 2010. Dès lors, plutôt que de bâtir un scénario d'évolution technologique, nous avons préféré nous interroger sur les progrès qui seraient nécessaires pour que la situation initiale ne se dégrade pas malgré la croissance du trafic et les modifications du réseau.

L'indicateur retenu correspond comme précédemment aux nombres de kilomètres de voirie exposée à moins de 60 dB(A), 60-65 dB(A), 65-70 dB(A) et plus de 70 dB(A), mesurés en Leq(1h) - d'heure de pointe du soir - sur l'isophone de référence. Comme le nombre total de kilomètres de voirie augmente de 13% entre les deux versions 1994 et 2010 du réseau routier lyonnais à notre disposition, il est impossible d'obtenir une situation stable à l'intérieur de ces quatre classes de niveaux sonores. Nous avons donc recherché la situation pour laquelle les classes de bruit les plus élevées restent stables, les classes de bruit plus faibles (<60, 60-65 dB) absorbant l'équivalent de la progression kilométrique du réseau routier.

Cet objectif étant posé, il reste ensuite à s'interroger sur la manière d'envisager l'évolution des émissions sonores. Celles-ci sont liées à deux facteurs principaux, à savoir l'automobile elle-même et le contact entre les pneumatiques et la chaussée. Le premier est prédominant en vitesse lente (moins de 53 km/h pour reprendre les abaques du CETUR que nous utilisons comme référence de calcul) et pourrait notamment s'améliorer grâce à des progrès au niveau des moteurs (encapsulage plus systématique) et de l'échappement. Le second, qui croît de manière exponentielle avec la vitesse, devient rapidement la seule source de bruit perceptible au delà de cette limite des 50 km/h. Les progrès possibles, apparemment nettement plus sensibles que dans le premier cas, portent sur des améliorations des pneumatiques (structure, matériaux) et surtout sur les matériaux utilisés pour la chaussée (enrobés drainants notamment).

Nous avons donc envisagé deux types d'améliorations technologiques correspondant plus ou moins à celles évoquées ci-dessus et affectant les niveaux de bruit des véhicules de manière différente selon la vitesse moyenne du trafic établie sur une arc donné. En dessous de 53 km/h, nous avons affecté de manière uniforme la baisse de niveau sonore envisagée. Au delà de 53 km/h, une baisse du niveau sonore a été fixée pour une vitesse de 100 km/h puis nous avons réajusté la courbe établie entre 53 et 130 km/h de telle sorte qu'il n'y ait pas de saut de valeur à 53 km/h et qu'elle passe au point choisi pour 100 km/h. Sur ce principe, quatre scénarios ont été bâtis progressivement, qui permettent d'éclairer les résultats de la solution finale répondant à l'objectif retenu : tout d'abord -1 dB pour $v < 53$ km/h et -3 dB pour $v = 100$ km/h ; puis respectivement : -1 et -4 dB ; -2 et -3 dB ; -2 et -6 dB.

... Pour quels effets ?

Une hypothèse moyenne de réduction à la source des émissions sonores, envisageant un gain de 1 dB à faibles vitesses et de 3 dB à 100 km/h entre 1994 et 2010, permet de contenir cette dérive en stabilisant les résultats des classes extrêmes à moins de 60 et plus de 70 dB. Par contre les classes médianes progressent avec +22% pour la classe de 60-65 dB et +29% pour celle de 65-70 dB.

Si l'on envisage une amélioration supplémentaire des émissions sonores à vitesse élevée de 1 dB par rapport à ce dernier scénario (donc un gain en 2010 de 4 dB à 100 km/h par rapport à 1994), ce sont uniquement les classes de niveau sonore élevé qui sont affectées : la moitié de la voirie à plus de 70 dB passe dans la classe de 65-70 dB, qui augmente de 59%. La progression des classes de 60-65 et <60 dB reste par contre identique à celle du scénario précédent.

Toujours par rapport à ce scénario d'un gain de 1 à 3 dB suivant la vitesse, une amélioration supplémentaire de 1 dB à vitesses lentes (soit un gain en 2010 de 2 dB à moins de 53 km/h par rapport à 1994) permet une amélioration beaucoup plus nette sur les classes de bruit faible (+22% pour celle de moins de 60 dB, +11% à 60-65 dB). De plus la progression des classes élevées est également bien contenue avec une légère baisse de la voirie à plus de 70 dB (-10%) et une faible augmentation (+6.5%) de celle à 65-70 dB. Ce sont donc les hypothèses de ce scénario qui permettraient de répondre au mieux à un objectif de stabilisation des émissions sonores entre 1994 et 2010 malgré l'évolution du trafic et compte tenu de l'accroissement de la longueur du réseau. Ainsi, par rapport à l'hypothèse d'une amélioration des émissions sonores à grande vitesse qui permet uniquement des gains sur les niveaux de bruit élevé, une hypothèse d'amélioration des émissions à

vitesse "urbaines" permet tout à la fois de contenir les dérapages sur les classes de bruit sensibles et d'observer une croissance nette des zones à faible niveau d'émissions sonores liées au trafic routier.

Une simulation envisageant un progrès particulièrement sensible à vitesses élevées (-6 dB à 100 km/h) pour une amélioration de 2 dB à moins de 53 km/h permet de confirmer ce résultat. Par rapport au scénario précédent l'évolution des classes à faible niveau sonore reste similaire (<60 dB : +30% pour une croissance de 22% précédemment ; 60-65 dB : +5% pour +11%). Tout le bénéfice de l'amélioration envisagée profite aux classes de bruit élevé, avec une quasi disparition de la voirie à plus de 70 dB (-85%) qui bascule sur les classes de 65-70 dB (+52%).

L'évolution des émissions sonores liées au trafic routier dépend donc fortement du type de progrès enregistré. Un large effort en matière de bruit émis lors du contact entre pneumatiques et chaussée peut permettre de très nettes améliorations sur les axes lourds à fort trafic. Par contre il n'empêche pas une détérioration de la situation sur le réseau secondaire où les vitesses sont moins élevées et les émissions sonores plus directement liées aux bruits des véhicules eux-mêmes. La croissance de la circulation et sa diffusion prévisible sur ce type de voirie obligent également à porter attention aux améliorations sur les émissions propres aux véhicules car se sont elles qui éviteront une dégradation des zones calmes et à vitesse limitée.

CONCLUSION

Cantonné à des trafics moyens sur une heure de pointe du soir, pour des véhicules légers et sans référence à l'environnement des infrastructures, notre travail ne peut en aucun cas prétendre fournir une image fidèle des émissions sonores de la circulation routière en milieu urbain. Par contre, comparés entre eux dans le cadre de plusieurs scénarios aux hypothèses différenciées, nos résultats rendent compte des variations des niveaux de bruit et permettent alors d'analyser l'impact de diverses composantes du système routier sur les émissions sonores.

On peut ainsi montrer que la croissance attendue de la mobilité automobile ne générera pas forcément des points noirs extrêmes du fait de l'effet temporisateur de la congestion sur les émissions. Elle devrait par contre contribuer à une diffusion des flux (et donc du bruit) sur l'ensemble du réseau, dans des zones résidentielles par exemple, où la gêne créée pourrait alors être importante.

Le renforcement du réseau d'axes lourds permet de reconcentrer les flux sur des infrastructures précises où, à la limite, une politique d'esprit "travaux publics" peut être envisagée avec la mise en place de murs antibruit et le recouvrement de la voirie par des enrobés drainants. Cependant, dans le cadre lyonnais qui nous a servi d'exemple, les investissements en matière de voirie semblent bien devoir être insuffisants pour canaliser les flux et éviter que le reste de l'agglomération ne soit envahi par la circulation. C'est donc également au niveau de toute la voirie secondaire qu'il faudrait diminuer les émissions des véhicules, notamment en renforçant les normes sur leurs émissions sonores intrinsèques. Ce constat peut bien sûr se généraliser puisqu'aujourd'hui l'espace à dédier aux transports se raréfie dans l'ensemble des agglomérations européennes et la mise en oeuvre de grosses infrastructures nécessite des investissements de plus en plus lourds dans un espace budgétaire contraint.

Cette augmentation et cette diffusion des trafics et de leurs émissions sonores à l'intérieur de l'espace urbain rend également compte des autres nuisances de proximité liées aux transports, comme les questions de pollutions atmosphériques ou les problèmes d'effets de coupure et d'insécurité pour des modes plus doux comme le deux-roues ou la marche à pied qui se trouvent alors évincés. Les réponses technologiques pour limiter les émissions sonores du trafic routier sont à mettre en oeuvre et à développer. Elles risquent cependant d'être insuffisantes et ne doivent pas

conduire à justifier l'omniprésence d'un mode au détriment des autres. La préservation et l'amélioration du cadre de vie urbain passe aussi par leur développement harmonieux.

BIBLIOGRAPHIE

Barbier Saint Hilaire F. (1992) **Manuel de référence, Davis-plus Equilibre et Tribut version 2.3**. INRETS, Centre Informatique Recherche (CIR), France, Arcueil.

Bieber, A., Massot, M.H., Orfeuill, J.P. (1993) Questions vives pour une prospective de la mobilité quotidienne. **Synthèse INRETS n°19**, France, Arcueil.

Bovy P.H.L. and Stern E. (1990) **Route Choice : Wayfinding in Transport Networks**. Kluwer Academic Publishers, Netherlands, Dordrecht.

CETUR (1980) **Guide du bruit des transports terrestres - Prévision des niveaux sonores**. Ministère de l'environnement et du cadre de vie, Ministère des transports (Direction Générale des Transports Intérieurs), France, Bagnaux.

Commissariat Général du Plan (ed) (1994) **Transports : pour un meilleur choix des investissements**. La Documentation Française, France, Paris.

Communauté Urbaine de Lyon, Conseil Général du Rhône, DDE 69 (1993) **Schéma de grandes voiries de l'agglomération lyonnaise - document technique de synthèse**. DDE du Rhône, France, Lyon.

Daganzo C.F., Sheffi Y. (1977) On stochastic models of traffic assignment. **Transportation Science** 11:3.

Fujita, M. (ed) (1990), **Urban Economic Theory - Land Use and City Size**. Cambridge University Press, Massachusetts, Cambridge.

Manheim M. L. (1979) **Fundamentals of Transportation Systems Analysis, Vol. 1, Basic Concepts**. MIT Press, Massachusetts, Cambridge.

Maurin M., Lambert J., Alauzet A. (1988) Enquête Nationale sur le bruit des transports en France. **Rapport INRETS n°71**, France, Bron.

Nicolas J.P. (1996) **Ville, transports et environnement. Contributions relatives des paramètres du trafic routier affectant le pollution sonore et atmosphérique en milieu urbain**. Thèse de doctorat de sciences économiques, Université Lumière Lyon 2, France Lyon,.

