

La prévision du bruit de trafic en milieu urbain : apport de la modélisation dynamique

Joël Lelong

INRETS
Laboratoire Transport Environnement
25, avenue François Mitterrand
69675 Bron CEDEX
E-mail : jelong@inrets.fr

Ludovic Leclercq, Arnaud Can

ENTPE
Université de Lyon
Laboratoire d'Ingénierie Circulation Transport
rue Maurice Audin
69518 Vaulx en Velin CEDEX

Jérôme Defrance

CSTB
24, rue Joseph Fourier
38400 Saint Martin d'Hères
E-mail : jerome.defrance@cstb.fr

Résumé

Le bruit de trafic urbain se caractérise par une dynamique importante, modulée par des singularités spatio-temporelles spécifiques à la ville. Ces singularités peuvent être spatiales (aménagement urbains tels que les carrefours giratoires, les chicanes ou les ralentisseurs), temporelles (variation du débit de trafic suivant les heures de la journée) ou spatio-temporelles (feux tricolores, véhicules spécifiques dont la vitesse moyenne diffère de celle du flot de trafic, véhicule garé en double file, etc.). Les outils actuellement disponibles, s'ils répondent aux exigences réglementaires actuellement en vigueur, sont tout à fait inadaptés pour évaluer correctement ce type de nuisance. Une approche dynamique d'estimation du bruit permet de répondre à cette problématique. Ce papier décrit le modèle actuellement en cours de développement par les équipes de l'INRETS, de l'ENTPE et du CSTB, sa validation expérimentale, aborde la question de l'adéquation des indicateurs classiques à la dynamique de bruit en milieu urbain et propose quelques pistes de recherches possibles sur la construction de nouveaux indicateurs acoustiques sensibles aux variations du trafic.

Abstract

Urban traffic noise is characterized by great variations of level in time. Those can be short-term variations (due to vehicles pass-by and specific traffic management devices – e.g. traffic signal, roundabouts, etc.) or more long-term variations (e.g. due to rush hour or night-and-day alternations). Time structure and rhythm of noise are important when evaluating perceptively urban noise. Unfortunately, noise descriptors used by legislation and calculated over long periods of time are not sensitive to those variations. Therefore we need to select acoustic descriptors sensitive to noise variations in time. This paper describes the development of a model that dynamically evaluates the noise emitted by urban traffic, its experimental validation and proposes a set of descriptors devoted to capture urban traffic noise dynamics.

E

n 1992, les plans de déplacement urbains (PDU) ont été proposés en France aux collectivités locales afin qu'elles puissent intégrer leurs plans de circulation dans une politique globale de transport et mobilité. La mise en place des PDU vise les objectifs essentiels que sont la protection de l'environnement, avec la diminution des nuisances urbaines principalement liées aux déplacements : bruit, pollution, insécurité routière.

Plus récemment, en juin 2002, le Parlement européen et le Conseil de l'Union européenne ont promulgué une directive [1] relative à l'évaluation et la gestion du bruit dans l'environnement. Selon cette directive, le niveau de bruit ne doit pas dépasser 60 dB(A) en moyenne sur la journée, l'estimation de ce niveau étant fournie par l'indicateur L_{DEN} . Ce niveau moyen seuil cache toutefois de fortes variations de bruit, notamment liées aux variations du volume de trafic observables au cours de la journée. S'agissant de l'évaluation du bruit en milieu urbain, les outils actuellement

disponibles ne peuvent prendre en compte la complexité et la variabilité du comportement du trafic soumis à nombre d'aménagements spécifiques. Il a été établi l'utilité de disposer, dans un futur proche, d'outils capables de surmonter cette difficulté [2].

Un modèle d'estimation dynamique du bruit de trafic, co-développé par l'INRETS/ENTPE et le CSTB, permet de répondre à cette problématique. Il est basé sur la mise en relation d'un modèle d'écoulement de trafic et de lois d'émission de bruit des véhicules constituant ce trafic. Interfacé à un logiciel calculant la propagation du bruit, le modèle global permet une description précise du bruit dans un environnement urbain. L'objet de cet article est de présenter ce modèle et sa validation expérimentale, et, après avoir constaté la limite des indicateurs classiques à caractériser les bruits fluctuants sur des courtes durées, de dégager quelques perspectives de recherche sur la construction de nouveaux indicateurs acoustiques sensibles à la dynamique du bruit de trafic en milieu urbain.

Symubruit : la structure du modèle

La finalité du modèle de prévision dynamique de bruit de trafic Symubruit est d'estimer les niveaux de bruit émis par un trafic s'écoulant sur un réseau (par exemple : une artère principale et la voirie adjacente), en tenant compte des caractéristiques de ce trafic (composition, débit, concentration...), des aménagements spécifiques ou des singularités spatio-temporelles contraignant cet écoulement (feux tricolores, giratoires...) et de la géométrie de l'environnement de ce réseau (habitat). Cette estimation s'effectuant de façon dynamique, une double discrétisation du réseau modélisé est nécessaire :

- une discrétisation spatiale, visant à segmenter le réseau en cellules (portion de voies d'une vingtaine de mètres de longueur) dans lesquelles seront estimées les principales caractéristiques du flux de trafic
- une discrétisation temporelle (de l'ordre de la seconde) visant à évaluer l'évolution de cet écoulement dans le temps.

La structure générale du modèle global, schématisée figure 1, repose sur l'interfaçage de trois classes de sous-modèles :

- des modèles de trafic décrivant l'écoulement des véhicules sur un réseau urbain ;
- des modèles d'émission de bruit dont l'objectif est de produire l'information utile sur les émissions acoustiques des différentes catégories de véhicules considérées ;
- un modèle propagatif dont la finalité est de calculer le niveau de bruit reçu en façade de bâtiment en prenant en compte tous les paramètres influençant la propagation du son (distance émetteur/récepteur, nature du sol, météorologie...).

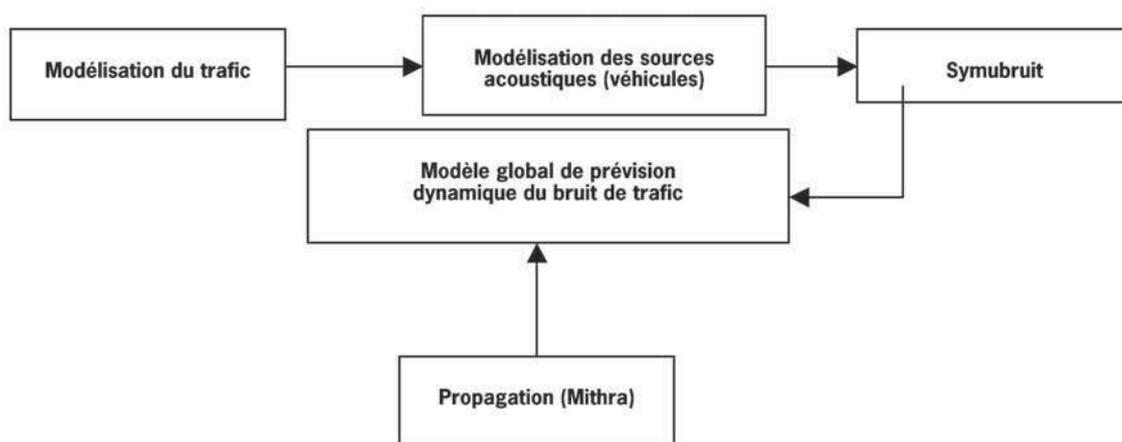


Fig. 1 : Schéma de principe du modèle d'estimation dynamique du bruit de trafic Symubruit

Le modèle de trafic

L'objectif affiché du modèle de trafic est de simuler l'évolution temporelle des principales variables décrivant le trafic s'écoulant sur un réseau donné : densité du trafic, vitesse et accélération du flux, Le modèle de trafic utilisé ici est un modèle macroscopique du 1er ordre, qui décrit le comportement du trafic par analogie à un celui

d'un fluide s'écoulant à l'intérieur d'un tuyau. Le trafic peut alors être caractérisé par trois grandeurs :

- le débit Q (nombre de véhicules passant en un point par unité de temps, exprimé en véh.s⁻¹)
- la densité K (nombre de véhicules situés par unité de longueur, exprimé en véh.m⁻¹)
- la vitesse du flot V (m.s⁻¹), représentant la vitesse du flux de trafic.

Ces trois variables sont reliées par des lois d'écoulement, dont les fondements ont été posés par Lighthill, Whitham [3] et Richards [4] :

$$\begin{cases} \frac{\partial Q(x,t)}{\partial t} + \frac{\partial K(x,t)}{\partial t} = 0 \\ Q(x,t) = K(x,t)V(x,t) \end{cases} \quad (1)$$

Le système étant en permanence à l'équilibre, il existe une relation bijective reliant la vitesse et la concentration :

$$V = V_{eq}[K(x,t)] \quad (2)$$

Cette dernière relation est généralement réexprimée en écrivant la dépendance du débit par rapport à la concentration :

$$Q = KV_{eq}[K(x,t)] = Q_{eq}[K(x,t)] \quad (3)$$

Cette relation peut être schématisée par le diagramme fondamental, illustré par la figure 2, qui peut être calibré à l'aide des paramètres suivants :

- le débit maximum Q_{max} correspondant au flux maximal admissible sur la voie considérée ;
- la concentration critique K_c correspondant à la densité observée lorsque le débit est maximal ;
- la concentration maximale K_{max} qui est la densité observée dans le cas d'une file d'attente arrêtée ;
- la célérité w correspondant à la vitesse de remontée des ondes de trafic lors d'un redémarrage de peloton.

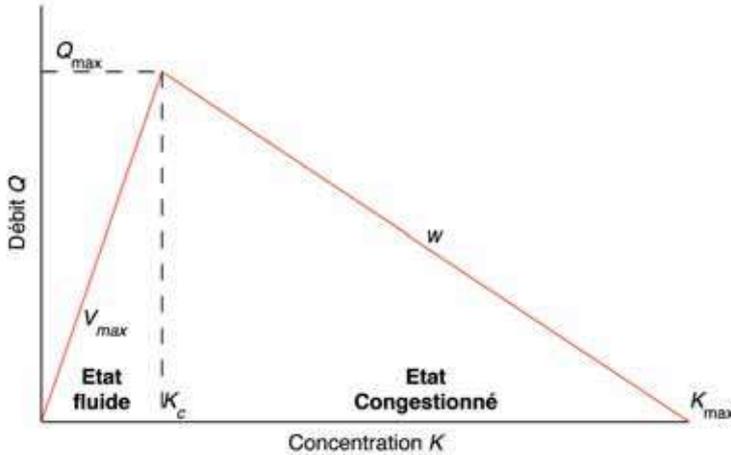


Fig. 2 : Diagramme fondamental illustrant la dépendance existant entre débit de trafic et concentration

- La modélisation des restrictions de capacité mobile [8] pour représenter les véhicules ayant des comportements cinématiques spécifiques (par ex. transports en commun) par rapport au reste de la circulation ;
- La modélisation différenciée des voies de circulation avec la gestion associée des changements de voie [9], [10] ;
- La représentation simplifiée des carrefours par affectation des véhicules en sortie des tronçons amont en entrée des tronçons aval au moyen de coefficients directionnels.

Des recherches sont en cours pour intégrer la description des carrefours complexes en intégrant la description des conflits entre flux antagonistes.

Sachant que la relation (3) est en permanence vérifiée, le modèle LWR se réduit à une seule équation de la variable K (4) :

$$\frac{\partial K}{\partial t} + \frac{\partial Q_{eq}(K)}{\partial x} = 0 \quad (4)$$

Les premiers développements du modèle Symubruit utilisaient une résolution macroscopique de ce modèle, en estimant la densité de véhicules présents à chaque incrémentation temporelle dans les cellules du réseau. Des avancées récentes [5], [6], [7] ont permis de développer une méthode de résolution plus performante et mieux adaptée à un couplage avec des lois d'émission acoustique.

Il s'agit d'une résolution lagrangienne représentant les positions des véhicules sur le réseau à chaque instant de simulation tout en gardant une loi de comportement macroscopique garante de la bonne représentation de la physique de l'écoulement. La résolution de l'équation (1) conduit à l'expression de la position du ième véhicule à l'instant t :

$$x_i^{t+\Delta t} = \min \left[x_i^t + \min \left(v_{max}, v_i^t + A\Delta t \right) \Delta t; x_{i-1}^t - s_{min} \right] \quad (5)$$

avec :

$\Delta t = 1/(wK_{max})$ représentant le pas de discrétisation temporel

- v_{max} : vitesse maximale possible lorsque le trafic est fluide
- v_i^t : vitesse du véhicule i à l'instant t
- $s_{min} = 1/K_{max}$: inverse de la concentration maximale (cas d'une file arrêtée)
- A : accélération maximale.

Ce modèle a été complété par un certain nombre d'extensions permettant :

L'émission des classes de véhicules et la représentation des sources de bruit

Le calcul des émissions acoustiques par cellule s'effectue comme suit :

- Le modèle de trafic détermine, pour la cellule n°j et l'instant t, les paramètres suivants :
 - Le nombre de véhicules légers et de véhicules de transports en commun présents dans la cellule. Les véhicules légers sont supposés être identiques du point de vue acoustique (véhicule « moyen »), ce qui est rendu nécessaire par la représentation macroscopique du trafic. L'émission du véhicule « moyen » résulte d'une synthèse des émissions mesurées sur un panel représentatif du parc automobile actuel [11] :
 - Leurs paramètres cinématiques : vitesse, allure (accélérée / décélérée / stabilisée).
 - La connaissance de ces paramètres associés aux lois d'émission correspondantes permet de calculer la puissance acoustique totale émise par la cellule à l'instant t :

$$L_{wT,j}(t) = \left[\frac{n}{\Delta x}(t) L_{wVL,j} \right] \oplus \left[\sum_{\oplus i} L_{wTC,i,j}(t) \right] \quad (6)$$

(somme au sens énergétique des puissances acoustiques émises par les VL – la concentration K prend en compte le nombre de véhicules présents dans la cellule à l'instant t – et des autobus)

La cellule est assimilée à une ligne source. A un point d'observation donné, la cellule n°j est alors « vue » sous l'angle d'exposition α_j (fig. 3) Le L_{Aeq1s} s'écrit, pour l'ensemble des cellules :

$$L_{Aeq1s}(t) = 10 \log \left(\sum_j \alpha_j L_{wT,j} \right) \quad (7)$$

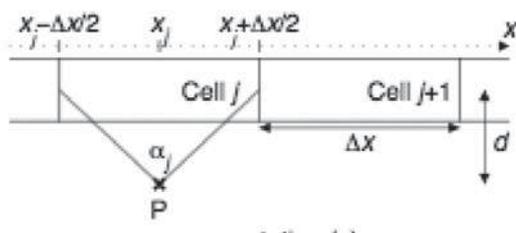


Fig. 3 : Modèle Symubruit : représentation des sources de bruit

La prise en compte de la propagation : le modèle global

Elle est réalisée par le couplage entre les données fournies en sortie de modèle dynamique d'émission (Symubruit) et le modèle propagatif implémenté dans le logiciel Mithra développé par le CSTB. Rappelons que ce modèle est basé sur la méthode NMPB, qui est la méthode normalisée en vigueur pour la prévision du bruit de trafic routier. Cette méthode prend en compte les effets combinés de la

divergence géométrique, de l'absorption atmosphérique, des réflexions sur le sol et sur les façades des bâtiments et de la diffraction par les obstacles présents. Les principes de ce couplage, présentés en détail dans [12], reposent sur la définition de deux grilles fixes de sources et de récepteurs. La grille de sources est formée par les cellules discrétisant le réseau considéré, et dans lesquelles les véhicules sont « agrégés » sous la forme d'une ligne source donnant l'émission moyenne, ceci à chaque pas de temps de la simulation.

La grille de récepteurs, également fixe, est formée par les points disposés en façade de bâtiments pour lesquels on souhaite connaître l'exposition au bruit. Le fait de disposer de deux grilles fixes est particulièrement intéressant dans le cadre d'un calcul dynamique, car il n'est nécessaire, au

Validation expérimentale : étude d'un cas réel

niveau des récepteurs, de mener le calcul de la propagation qu'une seule fois à partir d'un niveau de référence (sous l'hypothèse que les conditions de propagation restent invariantes sur la durée de la simulation envisagée), ce qui réduit considérablement les temps de calcul.

Une validation expérimentale de ce modèle est actuellement en cours dans le cadre du projet PREDIT «EDBCMU» (Evaluation Dynamique du Bruit de Circulation en Milieu Urbain) associant l'INRETS, l'ENTPE, le CSTB, Acoucity, le CETE de Lyon et le Grand Lyon, sur un projet de réaménagement du cours Lafayette, une importante artère lyonnaise. Cette artère est constituée de trois voies de circulation en sens unique (trafic courant et plusieurs lignes de bus - essentiellement trolleybus en site partagé), et une voie en contre sens (site propre réservé à la circulation des transports en commun). L'expérimentation a concerné une portion restreinte de l'artère (environ 600 m) (Fig. 4).



Fig 4 : Site retenu pour la validation expérimentale de Symubruit

Le protocole expérimental a consisté à réaliser des mesures synchronisées du trafic observé et du bruit résultant. Les mesures ont été réalisées durant 4 demi-journées sur des plages de 2h30 (7h30 à 9h30 et 15h30 à 18h), ce qui a permis de prendre en compte des débits de trafic contrastés (alternance d'heures de « pointe » et d'heures « creuses »). Quatre situations de trafic distinctes ont été identifiées sur la portion d'artère étudiée :

- Environnement d'un feu
- Environnement d'un arrêt de bus
- Trafic homogène (point situé entre deux carrefours successifs lorsque les véhicules ont atteint leur vitesse de croisière)
- Point calme situé à l'écart de l'artère principale.

Les mesures de trafic permettent de calibrer le module de simulation dynamique intégré à Symubruit. Elles ont consisté à relever :

- Les débits aux différentes entrées du réseau
- Les mouvements directionnels aux différents carrefours
- La chronologie des cycles de feux
- Les trajectoires des véhicules de transport en commun

Les mesures acoustiques ont servi à la validation du modèle proprement dite. 14 points de mesure acoustiques ont été répartis le long de l'artère afin de couvrir ces situations de trafic (Fig 4). Pour l'ensemble des points de mesure, les niveaux globaux L_{Aeq15} ont été recueillis, certains points ont fait l'objet d'enregistrements spectraux. Le lecteur intéressé par la description détaillée de cette campagne expérimentale se reportera à [13]. La visualisation des résultats de simulation fournis par le modèle global fait l'objet de la figure 5 .

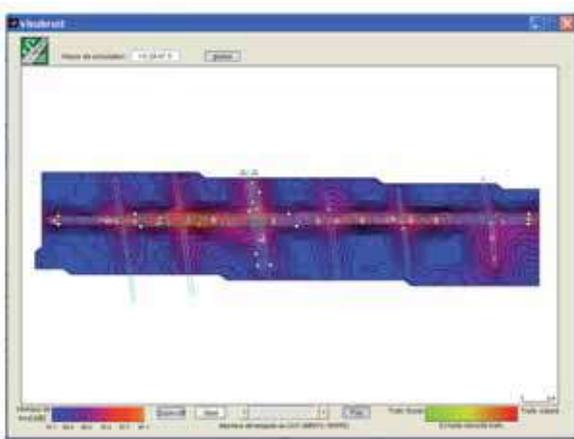


Fig. 5 : Illustration des résultats de simulation du modèle global - cartographie dynamique du bruit reçu dans les environs du cours Lafayette

Le tableau 1 présente les comparaisons mesures/simulations effectuées sur un jeu d'indicateurs acoustiques calculés sur une période de deux heures (entre 15h30 et 17h30) pour différents points d'observation. Ces premiers résultats sont très encourageants sur la qualité des estimations fournies par le modèle. Les écarts mesures/simulations plus importants concernant le point calme peuvent être expliqués par des sources de bruit présentes dans le secteur considéré et non reliées à la circulation. La validation globale du modèle est en cours d'achèvement.

La dynamique du bruit de trafic en milieu urbain : la limite des indicateurs classiques et le recours à des indicateurs spécifiques

Les informations acoustiques obtenues en sortie de modèle global sont des niveaux L_{Aeq15} . Il est illusoire d'exploiter ces résultats sous leur forme brute, il convient dès lors d'agréger ces résultats. Les indicateurs agrégés classiques utilisés aujourd'hui pour quantifier un environnement sonore sont basés soit sur un cumul ou une moyenne énergétique ou sur une distribution des niveaux de bruit observés (indicateurs statistiques). Le plus connu est le L_{AeqT} .

Ces indicateurs, s'ils sont pertinents pour évaluer un niveau de long terme [14],[15], présentent de graves inconvénients lorsqu'il s'agit d'évaluer un niveau sonore sur des périodes de courte durée. Le L_{AeqT} , en particulier, est extrêmement sensible aux émergences [16], comme l'illustre la figure 6. Si l'on considère des périodes d'observation beaucoup plus courtes, de l'ordre de l'heure, ces indicateurs sont très peu sensibles à la dynamique propre au trafic urbain. La figure 7 où sont reportées les valeurs fournies par ces indicateurs et l'évolution temporelle du L_{Aeq15} mesurée dans le cadre de la validation expérimentale exposée ci-dessus, reflète particulièrement ce propos.

	PM2 arrêt bus	PM3 milieu cours	PM6 amont feu	PM 7 aval feu 1	PM 7 aval feu 2	PM 10 point calme
Simulation						
L_{Aeq}	72,8	71,3	72,5	71,1	72,2	64,4
$L_{<80}$	70,6	70,9	71,0	69,5	71,2	64,4
L_{10}	75,0	74,9	74,9	73,5	75,3	66,9
L_{50}	68,3	68,8	69,3	67,6	69,2	62,3
L_{90}	61,2	63,7	64,1	60,8	60,7	56,1
Mesures						
L_{Aeq}	73,2	73,5	71,2	71,1	71,2	67,8
$L_{<80}$	71,3	71,3	70,4	70,3	70,6	67,6
L_{10}	74,6	74,9	73,8	75,0	74,3	70,0
L_{50}	70,0	69,7	68,5	68,6	68,9	66,5
L_{90}	62,8	63,4	63,6	62,0	60,8	63,7
Ecart						
L_{Aeq}	-0,4	-2,2	1,3	0,0	1,0	-3,3
$L_{<80}$	-0,7	-0,4	0,7	-0,8	0,7	-3,2
L_{10}	0,4	0,0	1,1	-1,5	1,0	-3,1
L_{50}	-1,7	-0,9	0,8	-1,0	0,3	-4,2
L_{90}	-1,6	0,3	0,5	-1,2	-0,1	-7,6

Tabl. 1 : Validation expérimentale du modèle global



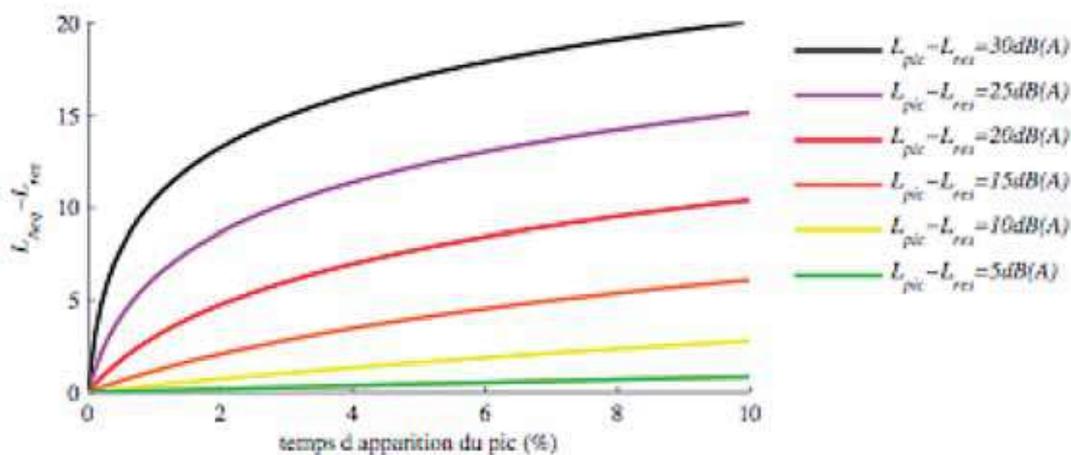


Fig. 6 : Influence des émergences sur le L_{Aeq}

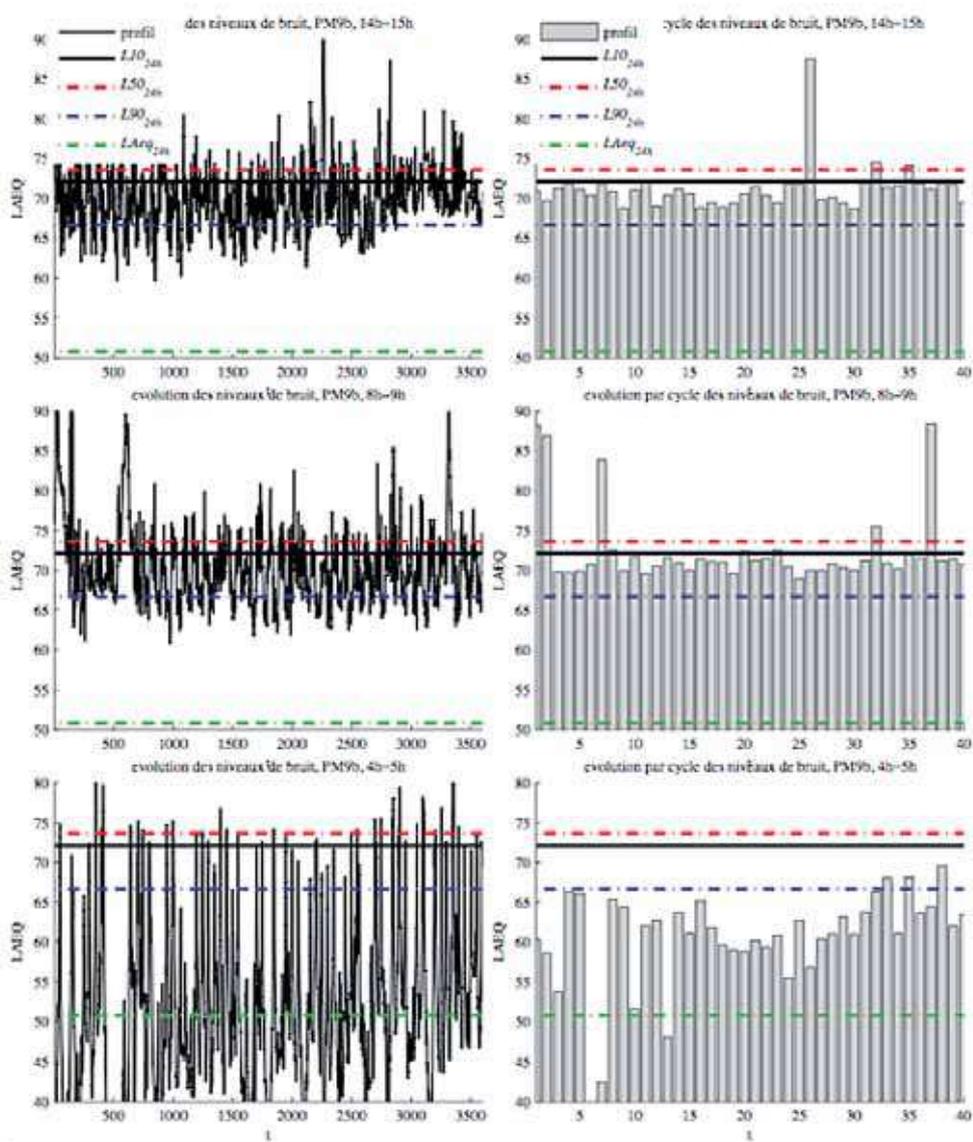


Fig. 7 : Indicateurs classiques et évolution temporelle du $L_{Aeq_{15}}$

Afin de pallier la carence des indicateurs classiques à traduire les variations de trafic en terme de niveaux de bruit, il convient de construire des indicateurs dynamiques spécifiques permettant de quantifier

certaines caractéristiques temporelles propres au bruit urbain, telles que la répartition des niveaux de bruit, l'étalement et le rythme.

Répartition des niveaux de bruit

La description physique des niveaux de bruit mesurés à proximité d'un signal tricolore montre que la répartition des niveaux L_{Aeq1s} présente deux modes correspondant aux phases de rouge et de vert. Ceci est illustré par la figure 8, sur la base des résultats obtenus lors de la validation expérimentale précédemment évoquée. Il est possible dans un tel cas d'assimiler la répartition statistique des niveaux à une double gaussienne de la forme ([16]) :

$$f(x) = \frac{A_1}{\sigma_1 \sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{(x-\bar{x}_1)^2}{\sigma_1^2 \sqrt{2\pi}}\right] + \frac{A_2}{\sigma_2 \sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{(x-\bar{x}_2)^2}{\sigma_2^2 \sqrt{2\pi}}\right] \quad (8)$$

où \bar{x}_i désigne le mode i , σ_i et A_i désignant respectivement l'écart-type et l'amplitude de ce mode.

Les caractéristiques de la gaussienne fournissent des informations intéressantes sur la structure du bruit :

- Le niveau moyen

$$\bar{x}_i$$

de chaque mode correspond au niveau de bruit le plus fréquemment observé lors de chaque alternance rouge/vert
 - La différence

$$\bar{x}_2 - \bar{x}_1$$

quantifie la dynamique de bruit observable à chaque alternance rouge/vert ;

- L'amplitude et l'aire permettent de déterminer quel est le mode dominant du point de vue acoustique ;

- Les écarts types σ_{rouge} et σ_{vert} quantifient la variation de bruit pour une alternance donnée. Notons qu'une même valeur de s qualifie un cycle donné ou des cycles distincts. Il est toutefois possible de lever cette ambiguïté [21].

Étalement

L'étalement du bruit est particulièrement lié à la forme de la distribution statistique des L_{Aeq1s} . Cette forme peut être caractérisée par la largeur et l'homogénéité de l'étalement.

La largeur de l'étalement, notée DL, est calculée à partir de la distribution statistique, dB, par dB, des L_{Aeq1s} arrondis au dB (notés $L_{Aeq,i}$ pour chaque classe i), mais en ne conservant dans la distribution que les classes i dont le nombre correspondant de $L_{Aeq,i}$ est supérieur ou égal à 5% du nombre d'échantillons de L_{Aeq} sur l'ensemble de la distribution. La valeur de l'étalement est alors égale à la « distance » entre les classes i extrêmes ainsi déterminées et s'écrit :

$$\Delta L = \max(i) - \min(i) \quad (9)$$

L'indice de largeur d'étalement, ILE, est alors calculé en référant la valeur de DL à une valeur forfaitaire de 30 dB (considérée comme une valeur élevée de l'étalement sonore). Quand ILE tend vers 0, l'étalement devient faible reflétant un niveau de bruit très constant. Autour de la valeur 1, l'ILE est élevé, ce qui traduit une large plage de niveaux sonores sur la période étudiée. Au delà de 1, le bruit devient très étalé ce qui est généralement le cas pour une distribution statistique du L_{Aeq} sur une longue période (alternance d'une phase calme et d'une phase plus bruyante).

Rythme sonore

Le rythme du bruit est particulièrement lié à l'alternance de séquences bruyantes et silencieuses induites pour l'essentiel par la présence de feux aux différents carrefours. Il s'agit d'une description de la forme que revêt l'évolution du L_{Aeq1s} en fonction du temps, c'est-à-dire à la fois son caractère sinusoïdal et son caractère périodique. Le rythme s'évalue à partir du calcul du spectre de modulation du L_{Aeq1s} noté LM (pour Level Modulation) et défini par :

$$LM = FFT(L_{Aeq1s}) \quad (10)$$

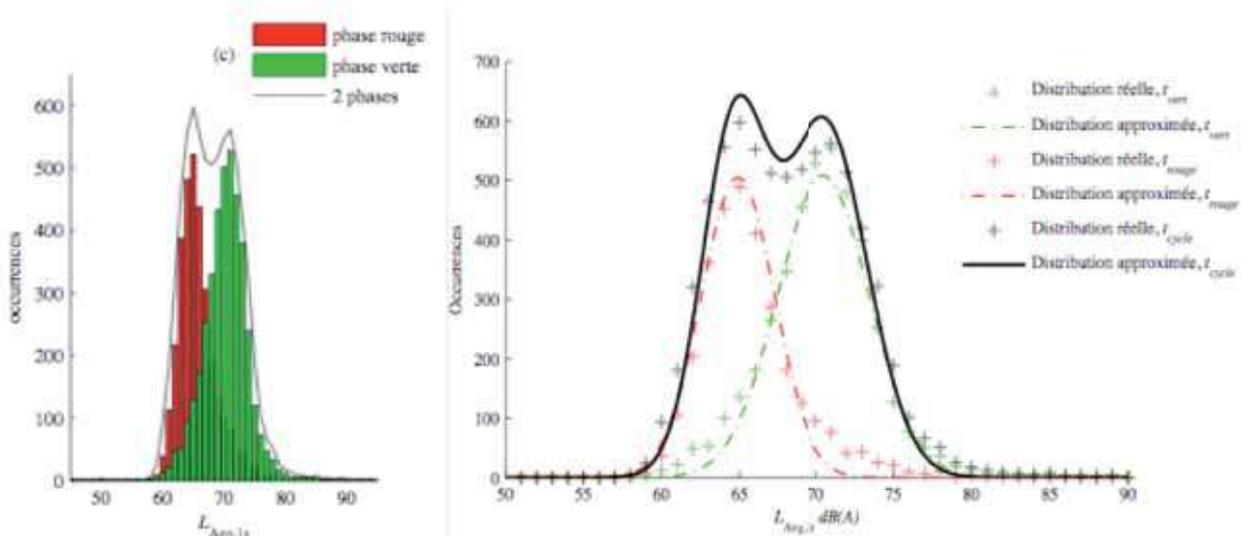


Fig 8 : Distributions des niveaux sonores observables à proximité d'un signal tricolore

Le rythme sera considéré comme pur quand la quasi-totalité de l'énergie spectrale est concentrée en un pic autour d'une valeur déterminée. C'est ce qu'illustre la figure 9, qui représente le spectre de modulation des L_{Aeq1s} mesurés à proximité d'un signal tricolore. Le rythme sera harmonique quand la quasi-totalité de l'énergie spectrale est répartie sur deux pics distincts, ou chaotique quand aucun pic n'apparaît sur le spectre ou que l'énergie spectrale est suffisamment répartie sur la plage des périodes.

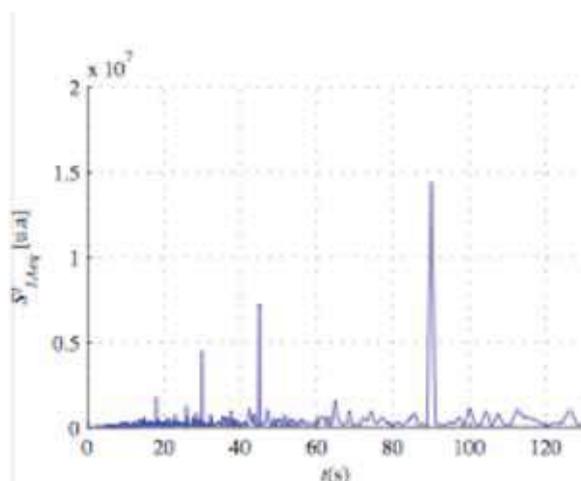


Fig. 9 : Spectre de modulation des L_{Aeq1s} mesurés à proximité d'un signal tricolore

A partir du LM, il est possible de définir deux indicateurs de rythme quantifiant respectivement sa pureté (IPR1) et son harmonicité (IPR2). IPR1, adimensionnel, quantifie l'émergence relative du pic principal, c'est-à-dire le maximum des valeurs de LM sur la période d'évaluation ramené à la moyenne du résiduel (moyenne calculée sur les autres valeurs de LM). Il s'écrit donc :

$$IPR_1 = \frac{\max(LM) - \overline{LM^*}}{\max(LM)} \quad (11)$$

LM^* désignant le vecteur LM sans la valeur $\max(LM)$. Le rythme du bruit est d'autant plus pur que IPR1 est proche de 1, et, a contrario, chaotique lorsque IPR1 EST PROCHE DE 0.

L'harmonicité du rythme peut être évaluée en considérant le fondamental et le premier harmonique de LM. Il s'agit alors d'évaluer simultanément l'émergence des deux pics par rapport au résiduel. Cet indicateur, noté IPR2, s'écrit :

$$IPR_2 = \left[\frac{\max(LM) - \overline{LM^{**}}}{\max(LM)} \right] \times \left[\frac{\max(LM^*) - \overline{LM^{**}}}{\max(LM^*)} \right] \quad (12)$$

LM^{**} désigne ici le vecteur LM^* débarrassé de la valeur $\max(LM^*)$. Le rythme du bruit est d'autant plus harmonique que la valeur IPR2 est proche de 1. Au voisinage de 0, le rythme du bruit perd son harmonicité mais peut cependant être pur.

Conclusion : la modélisation dynamique du bruit de trafic urbain, un outil au service des collectivités pour l'optimisation environnementale des PDU

Le développement d'un outil tel que le modèle global décrit dans cet article, permettant de décrire finement l'évolution du bruit de trafic urbain sur des périodes de courte durée, a été en partie effectué pour étudier l'impact de ce dernier et préciser la réglementation actuelle. Diagnostiquer en détail les impacts environnementaux d'un aménagement de voirie existant ou à l'état de projet, prévoir les éventuels reports de trafic et leur implication acoustique sont les objectifs ultimes du modèle développé. Grâce à cet outil de simulation, les collectivités pourront évaluer des stratégies de régulation du trafic ou de plans de circulation à l'échelle d'un quartier.

Références bibliographiques

- [1] Directive européenne 2002/49/CE relative à l'évaluation et à la gestion du bruit dans l'environnement. Journal Officiel des Communautés Européennes, 1. 189/12, 2002
- [2] Steele C. A critical review of some traffic noise models. Applied Acoustics, 2001, 62, pp 271-287
- [3] Lighthill M.J. Whitham J.B. On kinematics waves II. A theory of traffic flow in long crowded roads. Proc. Roy. Soc. A1955 ;229 ;pp281-287
- [4] Richards P.I. Shockwaves on the highway. Operat Res 1956 ;4 :pp 42-51
- [5] Newell G. A simplified car-following theory : a lower order model. Transp Res Part B 2002 ;36 : 195-205
- [6] Daganzo C. F. A variational formulation of kinematic waves : basic theory and complex boundary conditions. Transp Res Part B 2005 ; 39 : 187-96
- [7] Leclercq L., Laval J. et Chevallier E. The Lagrangian coordinates and what it means for first order traffic flow models. In: Allsop, R.E., Bell, M.G.H., Heydecker, B.G. (Eds) Proceedings of the 17th International Symposium on Transportation and Traffic Theory. London: Elsevier, 2007, p. 735-753
- [8] Lelong J, Leclercq L. Dynamic evaluation of the noise emitted by a bimodal (passenger cars/buses) traffic flow. Actes du 32ème congrès InterNoise, Seogwipo, Corée du Sud, 2003
- [9] Laval J.-A, Daganzo C.F. Lane-changing in traffic streams. Transportation Research, Part B, 40(3), 251-264, 2006
- [10] Laval J et Leclercq L. Microscopic modeling of the relaxation phenomenon using a macroscopic lane-changing model. Transportation Research part B, accepté pour publication
- [11] Besnard F et al. The procedure for updating the vehicle noise emissions values of the French « Guide du Bruit des transports Terrestres » Acte du Congrès Euronoise Naples, 2003
- [12] Defrance J, Leclercq L, Lelong J. Etude de faisabilité pour l'évaluation dynamique du bruit de trafic urbain Rapport CSTB 2004-08/INRETS LTE 0309, 2004
- [13] Leclercq L and al. Estimation dynamique du bruit de circulation en milieu urbain : étude d'un cas réel. Rapport INsRETS/LICIT n° 0703, 2007
- [14] Schultz TMJ Synthesis of social surveys on noise annoyance. J Acoust Soc Am 1978 ; 64 (2) : 377-405
- [15] Miedema HME, Vos H. Exposure-response relationships for transportation noise J Acoust Soc Am 1998 ; 104 (2) 3432-3445
- [16] Can A, Leclercq L, Lelong J et Defrance J : Réflexion sur la définition d'indicateurs acoustiques pour une caractérisation de la dynamique du bruit de trafic en milieu urbain. Rapport INRETS/LICIT 0704, 2007
- [17] Can A, Leclercq L, Lelong J, Defrance J : Capturing urban traffic noise through relevant descriptors, Appl Acous (2007), doi:10.1016/j.apacoust.2007.09.006