

# Bruit des transports terrestres : des outils pour la gestion urbaine

## Trafic noise control: some tools

Michel RUMEAU<sup>(1)</sup>

### Introduction

La présence répétée du bruit comme cible de rejet dans les enquêtes d'opinion depuis les années 70 a placé ce thème au-delà des thèmes de réflexion à long terme, et parmi les enjeux opérationnels des pouvoirs publics, administrations centrales et collectivités.

En présence d'un foisonnement d'enquêtes environnementales, d'élaboration d'outils, de supputations, il devenait opportun d'envisager des actions, de prévoir des effets, de bâtir des plans d'action. À cet effet, certains des moyens d'actions prenaient place dans le domaine de l'urbanisme, d'autres parmi la gestion quotidienne des comportements : c'est notamment le cas de la gestion de la circulation automobile, dont la responsabilité à Paris *intra-muros* est partagée entre la ville et la préfecture de police.

L'examen des outils disponibles a fait apparaître des possibilités diverses, mettant en jeu des moyens de gestion, des orientations du plan de circulation avec des objectifs de réduction globale du bruit environnemental. Il en était ainsi, parmi d'autres, des outils suivants – vus au travers de l'objectif de réduction du bruit – même s'ils étaient présentés avec d'autres motifs :

- réduction de vitesse globale (cas des « zones 30 » ou, à Paris, les « zones tranquilles ») ;
- réduction de circulation dans une zone (« journées sans voitures » ou, à Paris, opération « à Paris sans ma voiture ») ;
- fluidification de la circulation (cas des « axes rouges ») ;
- adaptation des moyens d'observation par la mise en place de stations d'observation à long terme.

Venant à la suite de campagnes d'observation des effets du bruit (ainsi l'étude de E. Dumaurier sur l'environnement sonore de classes primaires dans le 17<sup>e</sup> arrondissement, et son influence sur la lecture), des campagnes d'essais ont été conduites successivement ces vingt dernières années dans une perspective d'action contre le bruit, avec un bénéfice inégal. Ces observations viennent montrer à la fois les limites et les conditions d'emploi des moyens énu-

mérés ci-dessus : ils ne sont apparus ni miraculeux, ni à abandonner, mais à l'évidence à coordonner au sein de plans plus complexes.

Le Laboratoire Central de la Préfecture de Police (LCP), en dehors de toute mission opérationnelle dans la gestion effective du bruit de circulation, est intervenu comme appui technique pour étayer les avis quant à l'aspect opérationnel de ces techniques.

### Le bruit objet de mesure

Il n'existe pas de définition unique du bruit : cette dénomination renvoie simultanément à la notion physique de sensation sonore et à l'aspect désagréable ou non désiré. Au-delà du caractère désagréable (parce que non désiré ou par référence à des sensations personnelles), il pourra même être caractérisé comme bruit à défaut d'autre caractérisation, justement lorsqu'il ne laisse apparaître aucune autre caractérisation (bruit dit « rose » par exemple).

Ceci mérite d'être rapproché des enquêtes menées également voici quelques années par le ministère de l'Environnement, d'où il ressortait, de façon confirmée, que le niveau du bruit n'intervenait que pour une fraction de la gêne exprimée à l'encontre du bruit. À cette occasion, on pratique une sorte d'hypothèse « ergodique », selon laquelle le pourcentage de gêne s'exprime autant à partir du nombre de personnes interrogées que sur l'ampleur de la sensation : ceci impliquerait naturellement une possibilité de quantification et une évolution linéaire du phénomène, ce qui reste néanmoins à étudier.

De ce qui précède, on déduit qu'il n'existe pas de descripteur intrinsèque du bruit valable pour toutes les situations, même pas d'un jeu réduit de descripteurs dont les combinaisons suffiraient à l'explication des situations courantes. Les descripteurs du bruit sont jugés pertinents selon que l'on s'attache à la fatigue auditive, à l'irritabilité, à la perception, etc., et qui peuvent être divers et nombreux :

- on utilise pour les effets sur l'audition à la fois le niveau équivalent (rendant compte du contenu énergétique) ainsi que le niveau de crête (afin de cerner les possibilités mécaniques de rupture des cils ou du tympan) ;

(1) Consultant en acoustique

- on utilise le contenu spectral (selon des modalités parfois aux antipodes les unes des autres) afin d'examiner le potentiel perturbateur d'un bruit, et la gêne susceptible d'être infligée dans une situation de repos ou d'activité intellectuelle ;
- on utilise majoritairement le niveau énergétique (sa traduction en termes de moyenne sur une période plus ou moins longue) pour apprécier les effets du bruit d'environnement de long terme autour d'infrastructures de transport (terrestre ou aérien). C'est le cas dans la législation française depuis les années 1970, plus encore depuis la loi de 1992, avec des limites exprimées en  $L_{Aeq}$  (6 h-22 h) par exemple. Ce fut aussi le cas lors des discussions préparatoires à la directive européenne 2002-49, et la diffusion comme support de réflexion de relations « dose-réponse » en termes de LDEN 24 h.

## Approche par le niveau global

On pratique ainsi une double réduction de l'information disponible :

- par une compression du phénomène avec le niveau de bruit (par une échelle logarithmique : le niveau de pression  $L_p$ , pour lequel la valeur de référence est une pression, dont la valeur normalisée est égale à  $2 \times 10^{-5}$  Pascals) ;
- par une globalisation du contenu fréquentiel au travers de la courbe « A » ;
- par une globalisation temporelle au sein de l'entité « niveau équivalent », par intégration illustrée par la formule de définition :

$$L_{eq,T} = 10 \lg \left[ \frac{1}{T} \int_{t_1}^{t_2} \frac{p_t^2}{p_0^2} dt \right]$$

où  $T = t_2 - t_1$ , où  $p_t$  représente la valeur instantanée du signal de pression, et où  $p_0$  est la pression acoustique de référence (20  $\mu$ Pa).

Une transposition sans états d'âme est ainsi pratiquée entre une caractéristique quasi instantanée (à l'échelle de la perception) d'un phénomène physique : la pression sonore et les effets susceptibles d'affecter le comportement des individus. Le spectre de la relation linéaire vient là encore s'imposer de façon implicite et toujours en l'absence de fondement en matière de durées de moyen et long termes.

Cette entrée en matière serait incomplète s'il n'était pas rappelé l'origine de cette pratique :

- les études de circulation des années 60, où l'on hésitait encore entre un descripteur unique (le  $L_{Aeq}$ ) et une description plus fine mais plus complexe fondée sur les fractiles ;
- la transposition généralisée (donc abusive) à tous types de bruit, par la norme NF S 31 010 (1987) ;
- d'autres descripteurs usuels du bruit : niveau instantané ou à court terme, échelle de court terme, indicateurs événementiels ( $L_{Amax}$ , BI, NA), avis de 1963, décret de 2006, arrêté ICPE du 23.01.1997,

échelle des effets en fonction des niveaux, fréquence, timbre, n'ont pas trouvé place dans les études de bruit de circulation terrestre menées sur des aires étendues. À ce stade, il n'est pas exclu mais seulement prématuré, au moins pour le transport routier, de les utiliser comme moyen d'observation et de décision à l'échelle de l'agglomération urbaine.

En dépit des lacunes subsistant pour sa généralisation, cet outil (le niveau global moyenné dans le temps) a montré, dans les études des années 80 et 90, son aptitude à être utilisé comme repère global, et à constituer un outil de planification à grande échelle.

## Caractérisation fréquentielle

Le bruit est en général complexe et composé de plusieurs fréquences. Dans la réalité de notre environnement sonore urbain, le bruit perçu comporte une grande partie des fréquences du spectre audible (aux niveaux usuels de l'environnement). On ne le décrit plus par le niveau attaché à une fréquence unique, voire à deux ou à quelques fréquences discrètes, peu nombreuses, mais par bandes de fréquences (par intervalles de fréquences), et par le niveau de pression total dans tout l'intervalle de fréquence audible.

Cette façon de faire, naturellement plus fruste, est plus accessible du fait du nombre réduit de bandes à décrire : six pour une représentation en octaves, une dans la plupart des cas.

À côté de problèmes plus ponctuels perçus essentiellement au niveau du quartier, comme le bruit des deux roues, examiné au sein du pôle de compétence bruit de Paris, ou des crissements de freins évoqués d'une façon générale par les opérateurs des réseaux ferrés, le bruit des transports terrestres apparaît en général peu marqué par des fréquences particulières, et peut relever d'une appréciation globale. L'essentiel de l'observation va donc être conduite en termes de  $L_{Aeq}$  indifférencié, sans tenir compte des aspects plus « fins » qui dotent le bruit de ses caractères nuisants, perturbateurs, et qui déclenchent l'attitude de rejet.

## Les « zones 30 » et les quartiers tranquilles, la limitation de vitesse

Les aires urbaines appelées « zone 30 » existent déjà lors de leur étude comme moyen de gestion du bruit de circulation : il s'agit de zones où la vitesse est limitée à 30 km/h, pour des motifs liés à la gestion de la circulation et à la sécurité.

Les effets de cette limitation se sont naturellement fait sentir dans le domaine du bruit, malgré la proximité des zones dotées seulement de la réglementation commune à 50 km/h, et même malgré les effets pervers (en matière de bruit) des ralentisseurs posés sur la chaussée en limite de zone, qui provoquaient des chocs et des bruits métalliques importants lors du passage de camions, même à vitesse réduite.

En 1998, la possibilité d'utiliser ce genre de gestion (limitation de vitesse renforcée dans certains secteurs limités) semble intéressante au titre de l'environnement sonore, et l'un de ces secteurs est étudié spécifiquement en collaboration avec le service de la ville de Paris chargé de ce type de préoccupations (SPAAS). Le volet acoustique de cette opération a donné lieu à cette occasion à diverses observations :

- des entretiens avec des personnes rencontrées en milieu extérieur, relatifs à la qualité sonore perçue dans cette zone ;
- la mesure par périodes courtes aux emplacements où sont conduits les entretiens pendant la période limitée de l'entretien, afin d'observer l'influence (ou l'absence d'influence) du bruit ambiant sur les réponses formulées ;
- la mesure du niveau équivalent de bruit en un emplacement fixe représentatif du bruit dans la zone, global pondéré A, sur des périodes limitées, ceci afin de disposer de l'évolution des conditions générales de bruit.

Cette enquête a par ailleurs servi de support technique à l'un des volets de la thèse de V. Rozec (2001). L'intérêt de cette expérimentation réside justement dans la possibilité de juger d'une ambiance sonore urbaine par examen direct à un instant donné, en fonction des paramètres de circulation (vitesse, trafic, etc.) plutôt que par comparaison de situations successives au moyen d'un descripteur physique tel que le  $L_{Aeq}$ , qui suppose l'usage d'une seconde étape de validation.

## « À Paris sans ma voiture », regards sur un essai de limitation de la circulation

### L'opportunité des mesures

Par deux fois notamment, en 1998 et 1999, a lieu une opération appelée d'une façon générale « journée sans voitures » et, à Paris, « À Paris sans ma voiture ». Ces deux actions ont été l'occasion de procéder à une expérimentation en vraie grandeur de ce que pourrait être la conséquence d'une réduction systématique du trafic dans certaines conditions d'occurrence.

Une première opération menée en 1998 avait été caractérisée par un important morcellement des zones sans circulation, qui en réduisait considérablement l'intérêt en matière de bruit. En 1999, les secteurs soumis à limitation de circulation ont été regroupés et ont pu donner lieu à une observation, sans « effets de bords » excessifs.

Trois entités ont uni leurs efforts afin de mettre en place une opération concertée donnant lieu à un ensemble de mesures organisé et cohérent :

- la section SPAAS de la Direction de la Protection de l'Environnement de la Ville de Paris ;
- le laboratoire de la RATP ;

- le Laboratoire Central de la Préfecture de Police (LCPP).

La limitation de circulation a encore été l'objet de nombreuses dérogations qui atténuent toujours, mais de moindre façon, la portée de l'expérimentation. Toutefois, l'occasion a été saisie d'utiliser ces résultats pour tenter une extrapolation, en comparant les résultats des mesures de bruit avec la modélisation de la propagation du bruit en site urbain dense par un modèle de diffusion [7].

### La question posée

L'application des modèles du guide du bruit aux situations de centre urbain dense rencontrées à Paris conduit à des écarts de plusieurs dBA avec la mesure, supérieurs au domaine d'incertitude admissible avec cette méthode, soit au plus 2 dBA. Cette situation conduit à des ajustements non maîtrisés, notamment par l'intermédiaire d'hypothèses de répartition de vitesse ou de débit. Comment ces écarts sont-ils distribués ?

### Stratégie

Les mesures ont été effectuées dans le périmètre défini, à l'intérieur de la zone à circulation réduite, par :

- au nord : le boulevard St-Martin ;
- au sud : la rue Réaumur ;
- à l'ouest : le boulevard de Sébastopol ;
- à l'est : la rue Volta.

Les points de mesures ont été répartis le long des deux axes suivants :

- axe nord-sud : rue St-Martin ;
- axe est-ouest : rue N-D de Nazareth.

La stratégie spécifique adoptée à Paris en 1999 consistait à ne limiter la circulation que pour certaines catégories de véhicules. De ce fait, les résultats sont moins marqués qu'il n'était attendu lors de la mise en place de l'opération.

Les résultats complets de l'opération, dont les comptages, ont fait l'objet d'un rapport séparé (non publié). Ces résultats sont comparés au niveau qui devrait être mesuré compte-tenu de la réduction de débit, puis comparés aux modèles issus de diverses études antérieures.

### Choix de la période

Il ne s'agissait pas d'une période sans circulation mais d'une période à circulation réduite, ce qu'illustre l'examen des débits (comptages au 259, rue St-Martin). En effet, les débits (en véhicules/heure, soit v/h) étaient réduits seulement de moitié :

- le 15/09 : entre 782 v/h et 1 216 v/h (15 236 véhicules entre 7 h et 21 h) ;
- le 22/09 : entre 409 à 663 v/h (7 478 véhicules entre 7 h et 21 h).

La diminution de débit était compensée par une augmentation de vitesse, vraisemblablement généralisée et génératrice d'une augmentation des niveaux de bruit.

Compte tenu de la stratégie de dérogations à l'égard de nombreux usagers, on s'est attaché à n'examiner que les périodes horaires de cette journée expérimentale marquées par une faible circulation sur les voies à circulation réduite, soit entre 10 h et 15 h. La période la moins circulée a été celle comprise entre 13 h et 15 h. Sur la rue N-D de Nazareth, les débits horaires sur la totalité de la période étaient :

- le 15/09 : 2 032 v/h ;
- le 22/09 : 767 v/h.

#### Durées des mesures

Une durée d'une heure semble constituer un minimum acceptable, bien que la perte d'échantillons qui résulte de la réduction de circulation rende le phénomène statistiquement plus long à converger que lors d'une étude réalisée précédemment à Paris (rapport annuel 1994). Sur les mesures du LCPP lors de cette opération, la convergence sur le  $L_{Aeq}$  est acquise :

- à  $\pm 2$  dB en 1,5 heure en heure de pointe ;
- à  $\pm 0,5$  dB en 0,5 heure en heure creuse.

La baisse du niveau de bruit est surtout sensible entre 9 h et 11 h : on utilise donc dans une première approche les tranches horaires 9 h-10 h et 10 h-11 h.

#### Résultats obtenus

##### lors de la journée expérimentale du 22.09.00

Les résultats de cette journée sont résumés ci-dessous sous forme graphique.

On y constate que :

- le niveau de bruit à la porte St-Martin (circulation autorisée) est significativement et durablement plus élevé que le niveau mesuré le long de la voie, de 2 dBA environ.
- les niveaux de bruit le long de la voie, à 55 m et à 95 m du raccordement, ne sont pas significativement

différents entre eux : le niveau ne décroît plus de façon significative, ce qui peut laisser penser à l'existence de sources à l'intérieur du périmètre de l'étude.

Les niveaux relevés sur la rue Saint-Martin sont supérieurs aux niveaux qui devraient résulter de la baisse du débit (les autres éléments, notamment la vitesse, étant normalement constants, ce qui n'est pas le cas ici où, de l'avis général, la vitesse était plus élevée).

Dans tous les cas, la réduction de niveau attendue de la réduction de débit (entre le 15/09/99 et le 22/09/99) n'est pas atteinte et reste nulle ou bien très inférieure à la diminution attendue, soit 4 dBA. La typologie de la réduction le long des deux axes étudiés se caractérise dans les deux cas (journées circulées et réduites) de la même façon.

#### Comparaison avec divers modèles théoriques

Les résultats des mesures de  $L_{Aeq}$  sont comparés à des modèles théoriques :

- de propagation en ligne droite avec atténuation géométrique ;
- de propagation diffusive ;
- de diffraction.

Pour chacun des deux sites, on a représenté sur un même graphique :

- les niveaux moyens mesurés ;
- les niveaux moyens calculés aux mêmes emplacements à partir du niveau à l'origine du boulevard Saint-Martin selon deux modèles :
  - une loi de décroissance géométrique ;
  - le modèle du guide du bruit du Cetur<sup>(2)</sup>.

Dans les deux cas, la différence est flagrante avec le modèle d'atténuation géométrique :

- L'écart avec la loi de décroissance géométrique est flagrant, et la situation est visiblement celle d'un champ réverbéré, du fait de l'existence d'un niveau de bruit quasi constant le long de la voie.

(2) Le Cetur, à l'époque, signifiait Centre d'Études des Transports Urbains. Depuis 18 mois, il a été regroupé dans l'IFSTAR.

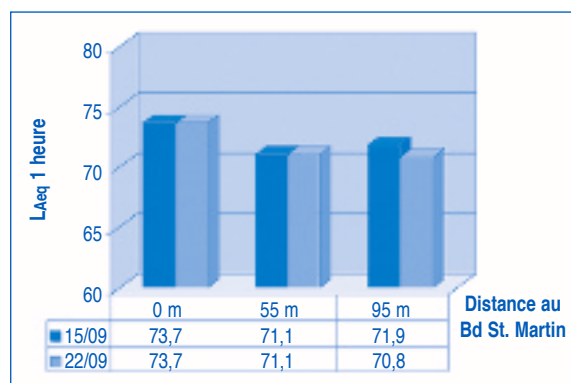


Figure 1.

Comparaison des niveaux de bruit mesurés rue St-Martin les 15/09/99 et 22/09/99, entre 10 h et 15 h.

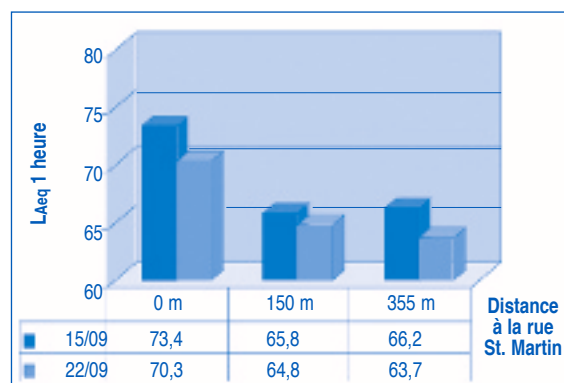


Figure 2.

Comparaison des niveaux de bruit mesurés rue N-D de Nazareth les 15/09/99 et 22/09/99, entre 10 h et 15 h.

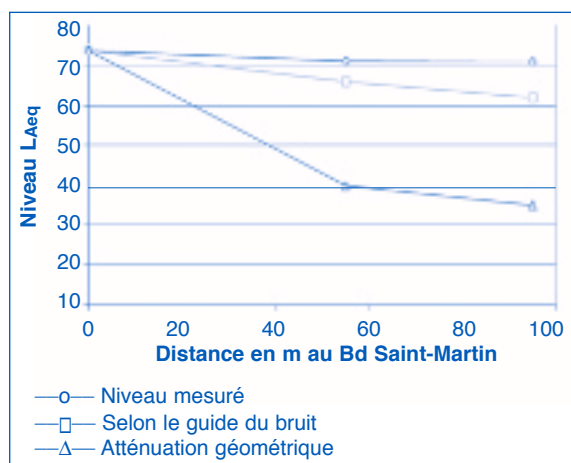


Figure 3.

Comparaison des niveaux de bruit mesurés et calculés rue St-Martin, le 22/09/99, entre 10 h et 15 h.

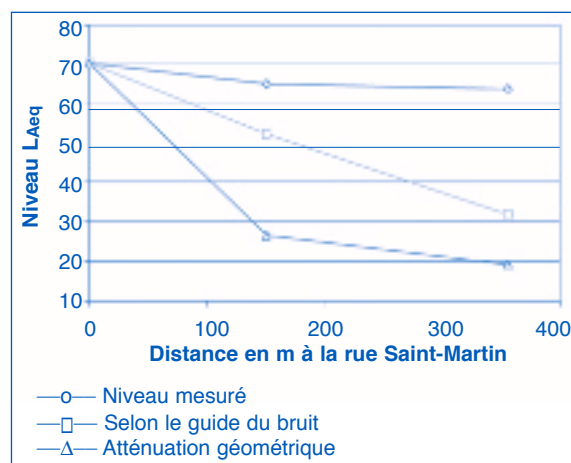


Figure 4.

Comparaison des niveaux de bruit mesurés et calculés rue N-D de Nazareth, le 22/09/99, entre 10 h et 15 h.

• L'écart avec le modèle du guide du bruit du Cetur (en  $\Delta_L = 3 + x / 10$ ) est significatif : il est de l'ordre de 9 dB à 55 m et s'accroît logiquement avec la distance :

- 18 dBA à 150 m ;
- 39 dBA à 355 m.

Les niveaux calculés à partir de ce dernier modèle sont négligeables, aux points de mesure situés au-delà de 60 m le long de la voie. En ces points, il ne subsiste que le niveau dû à la circulation résiduelle.

Une seconde comparaison a été menée avec divers modèles théoriques publiés [1, 4 et 5], l'un d'entre eux [5] proposant une évaluation du champ sonore urbain à partir d'un découpage en cellules rectangulaires.

Dans tous les cas, la réduction annoncée du niveau de bruit est supérieure à 10 dBA, voire davantage : la transposition directe de ces modèles s'avère irréaliste à Paris. Néanmoins, il existe entre eux une convergence qui rendrait utile la reprise des modèles dans des conditions adaptées à Paris.

## Conclusions

Dans les conditions simultanées de circulation limitée et de restrictions peu contraignantes de cette expérimentation, aucun effet notable en matière de bruit n'a été obtenu de façon nette : les conditions de circulation doivent être strictement contrôlées, et l'aire de limitation assez étendue.

Compte tenu de ces difficultés, appelées à disparaître dans une éventuelle utilisation « opérationnelle », ce type de gestion de la circulation ne semble pas, à l'échelle de cette expérimentation, apporter de réelles possibilités. Le facteur le plus limitant semble être la taille de la zone régulée.

## L'état de l'environnement sonore à Paris en 2000

La cartographie du bruit figure depuis sa renaissance opérationnelle en 1980 [2] au nombre des outils de gestion usuels du bruit, avec cette restriction que les cartes de bruit de l'époque, fondées sur des mesures, donc longues, ne permettaient pas des mises à jour régulières, à des échéances rapprochées.

L'inventaire du bruit à Paris réalisé par le LCPP en 1999 dans le cadre du pôle de compétence *Bruit de Paris* (auquel participait la ville de Paris), puis renouvelé en 2000, avait été l'occasion de rappeler des recensements anciens, comme une campagne d'observation de l'exposition des carrefours et axes à forte circulation, à Paris (sur la rive gauche) en 1985 (64 emplacements ; mesures en bord de chaussée à 1,80 m ;  $L_{Aeq}$  12 heures/jour ; arrondissements concernés : nos 13, 14, 15, 16, 5, 6 et 7). Elle montrait des niveaux de l'ordre de 74,1 dBA ( $L_{90}$  : 66,4 dBA).

Cette vision statique permettait d'élaborer des plans d'action et des stratégies, mais pas d'en suivre les effets.

Il en va de même des campagnes de mesures ponctuelles comme celles ayant concerné les « axes rouges » à Paris, qui étaient des voies de transit où le stationnement était interdit [6]. Cette mesure, en rendant la circulation plus fluide, pouvait réduire la part du bruit propre aux manœuvres des véhicules isolés, tout en favorisant la vitesse et donc le bruit. Les niveaux relevés (de 68 dBA à 77 dBA) viennent nourrir les bases de données nécessaires à la planification urbaine, mais ne peuvent être utilisés en termes d'effets de la gestion du bruit et des déplacements.

Tableau 1.  
Mesures comparatives des niveaux de bruit à Paris  
(15<sup>e</sup> arrondissement) à 31 ans d'intervalle.  
(L'état du bruit à Paris – données de la ville de Paris).

| Localisation du site de mesure | L <sub>eq</sub> sur 48 h<br>en 1969<br>dB(A) | L <sub>eq</sub> sur 48 h<br>en 2000<br>dB(A) | Baisse<br>constatée<br>en dB(A) |
|--------------------------------|----------------------------------------------|----------------------------------------------|---------------------------------|
| 41, av. de Versailles          | 75,3                                         | 68,2                                         | - 7,1                           |
| 104, rue de Rennes             | 74,7                                         | 69,1                                         | - 5,6                           |
| 91, rue de l'Abbé Groult       | 73,5                                         | 68,0                                         | - 5,5                           |
| 285, rue de Vaugirard          | 73,2                                         | 67,9                                         | - 5,3                           |
| 24, bd des Batignolles         | 71,5                                         | 67,0                                         | - 4,5                           |
| 30 av. de Versailles           | 73,6                                         | 69,2                                         | - 4,4                           |
| 10, bd des Batignolles         | 73,8                                         | 69,7                                         | - 4,1                           |
| 5, rue Émile Duclaux           | 60,9                                         | 57,9                                         | - 3,0                           |
| 60, bd des Batignolles         | 70,4                                         | 68,0                                         | - 2,4                           |
| 207, rue de Vaugirard          | 74,1                                         | 72,4                                         | - 1,7                           |
| 52, bd St-Germain              | 71,7                                         | 70,5                                         | - 1,2                           |
| 30, bd St-Germain              | 71,7                                         | 70,6                                         | - 1,1                           |
| 19, rue de la Convention       | 69,2                                         | 68,7                                         | - 0,5                           |

En effet, des comparaisons sont possibles, mais les écarts relevés en cinq ans, de l'ordre de 1 dB(A), souffrent d'une absence d'homogénéité dans les protocoles de mesure, essentiellement dans le choix des périodes homologues.

À l'opposé, le Centre Scientifique et Technique du Bâtiment, qui avait réalisé en 1969 des mesures de bruit en façades d'immeubles, a été sollicité par l'Observatoire du Bruit de la ville de Paris pour la réalisation des mesures homologues 30 ans après [10]. Une partie de ces mesures est reproduite dans le tableau 1 ci-après.

Des baisses de niveaux sonores moyens, variant de - 0,5 à - 7,1 dB(A) y sont observées. Les motifs recensés peuvent être très divers : diminution de puissance acoustique unitaire des véhicules, remplacement des revêtements et disparition des secteurs pavés, élargissement de la distance entre façades, fluidification de la circulation, etc. sans qu'aucun d'entre eux ne puisse être identifié comme prédominant. Il faudrait d'ailleurs également tenir compte de la contribution liée à l'évolution des méthodes de mesure, qui devrait néanmoins rester marginale.

Il convient d'en déduire à la fois le caractère non négligeable des évolutions, mais aussi l'hétérogénéité des variations et l'absence de prévisibilité.

## L'observation de long terme, la prise en compte de la vitesse

### Le contexte

En 2003, un nouvel outil d'observation du bruit des transports terrestres est proposé par le LCPP,

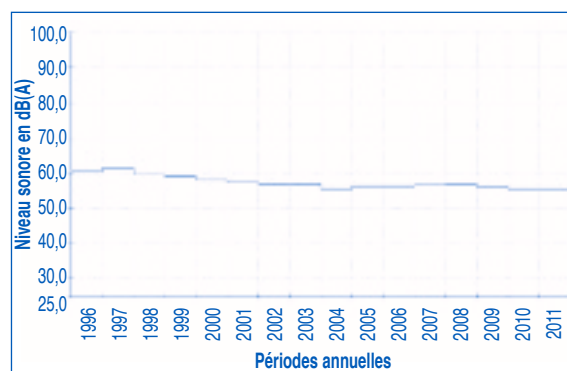


Figure 5.  
Surveillance annuelle du bruit d'environnement par l'IBGE  
(Bruxelles).

dans le contexte de la mise en place des cartes stratégiques du bruit, décidée par la directive européenne 2002/49 : un réseau de 20 stations de surveillance à long terme du bruit de transport terrestre.

Cette démarche n'était pas une réponse de détail aux exigences réglementaires, pour lesquelles existent des outils techniques déjà mis au point ou en cours de mise au point (cartographie du bruit, classement des voies, observatoires départementaux des points noirs, etc.). Il s'agissait d'une démarche complémentaire visant à :

- donner une information sur l'évolution qualitative et quantitative des sources sonores, dont la circulation automobile (trafic, vitesse, parc...) ;
- permettre d'apprécier la qualité de l'environnement et d'en prévoir les retombées à long terme sur la santé à partir de descripteurs de nature acoustique (tels que dynamique du bruit ou autres), complémentaires du L<sub>eq</sub>.

Elle vise principalement à permettre :

- la hiérarchisation des sources présentes, et leur contribution à l'ambiance sonore ;
- la surveillance à long terme de l'évolution de l'environnement sonore à Paris et en Ile-de-France, et la prévisibilité sans recours systématique à la mesure localisée.

Ce projet de réseau connaîtra un début de mise en place sous forme d'une préfiguration ne dépassant pas deux stations.

Une observation de longue durée est déjà pratiquée par la région de Bruxelles-capitale en centre urbain. Déjà en 2003, les données accumulées permettaient de constater [11], selon les stations et les périodes, des évolutions comme ci-dessous :

- de 0,1 à 0,25 dBA/an pour le L<sub>Aeq</sub> jour,
  - de 1 à 1,2 dBA/an pour le bruit de fond nocturne,
- ce qui n'était déjà plus négligeable. Cette application d'une surveillance de long terme sur l'un des sites bruxellois instrumenté depuis plusieurs années par l'IBGE est accessible par Internet [9]. Elle permet d'accéder par exemple au schéma ci-dessus (figure 5),

avec le niveau équivalent de long terme (ici : la valeur annuelle), illustrant les possibilités de cette observation.

La représentation peut naturellement, selon le besoin, être effectuée pour des périodes homologues (par exemple : l'heure de pointe du soir en semaine) sans pour autant intégrer la totalité des périodes de mesure.

### Mise à jour des cartes : une difficulté conceptuelle

En centre urbain dense, les arcs ne sont souvent pas assez longs pour que la circulation y soit établie et modélisable facilement. C'est également le cas pour tous les sites comme les grandes places avec giratoires, ou les quais avec de fortes dénivellations. La définition de la vitesse du flot de véhicules reste difficile à concevoir, ce qui rend nécessaires de nombreux ajustements.

L'opération « Paris 30 ans après » déjà citée plus haut, venait de montrer la difficulté à mener des études comparables, du fait notamment de l'évolution importante, d'une part, du parc de véhicules en circulation et, d'autre part, de la voirie.

Ces évaluations à long terme font intervenir par nature des paramètres inconnus ou difficiles à connaître, tels que les évolutions suivantes :

- celles des infrastructures de transport, notamment terrestres, avec :
  - l'urbanisation (densité de l'environnement immédiat, position des façades),
  - le schéma public de transport (l'augmentation du réseau de voirie, position et nombre des voies, développement du réseau ferré) ;
- celles du trafic :
  - densification du trafic,
  - évolution du parc (l'augmentation de vitesse des flux de véhicules),
  - évolution des comportements : comportement routier, choix et reports des trajets, choix des moyens de transport...

toutes conditions non modélisables, sauf au prix d'hypothèses hasardeuses (notamment du fait de l'hétérogénéité des évolutions) et coûteuses à valider.

En outre, la prise en compte des exigences de la directive 2002/49 CE (cartographie à long terme, de nature à permettre des choix stratégiques et à les éclairer) nécessite également l'utilisation de données d'origine documentaire, relatives à la composition du parc, qui ne sont pas publiées plus fréquemment qu'à intervalle de plusieurs années (cinq ans voire dix ans), qui ne sont pas ajustées aux conditions locales et qui, au total, altèreraient la validité générale d'une transposition.

### Le cas de la vitesse

Quelle que soit la période représentée, l'une des principales grandeurs physiquement reliées à la pro-

duction du bruit, celle qui devrait logiquement être prise en compte dans un modèle, est la vitesse instantanée.

L'actualisation des cartes comporte l'actualisation des paramètres du trafic, donc de la vitesse de circulation, au demeurant d'un coût pouvant être élevé pour l'ensemble d'une aire de circulation même limitée. Il conviendrait de définir quel paramètre de vitesse doit être employé, ce qui est loin d'être uniforme : la vitesse prise en compte dans les modèles classiques de calcul du bruit de transport terrestre, ainsi que par les logiciels du marché qui les utilisent, est souvent une vitesse de transit (appréciée par une vitesse de flux). C'est celle qui a été utilisée dans les études et – *a priori* – c'est celle qui doit être utilisée dans les mesures d'actualisation. Néanmoins, si cette méthodologie ne semble pas devoir poser de problème en régime établi, sur des voies de transit ou des voies rapides, elle est beaucoup moins évidente dès que la dispersion s'accroît, ou lorsque le régime de circulation est brisé constamment par des feux de régulation, et lorsque les accélérations tendent à devenir le régime dominant, comme en zones périurbaines ou en centre urbain.

De façon non exceptionnelle, les vitesses sont évaluées ou même calculées à partir de la vitesse maximale autorisée. Il en résulte une représentation totalement conventionnelle où la vitesse, la présence et l'emplacement des réflecteurs, la nature du revêtement, reflètent des conditions éloignées du niveau de bruit perçu.

Les écarts peuvent être de l'ordre de grandeur des évolutions constatées annuellement – par exemple 1 dBA – et annuler toute appréciation d'une politique de gestion du bruit. Les différences constatées entre le calcul et la mesure peuvent même être de l'ordre de quelques décibels (de 2 à 5 environ) soit une quantité nettement suffisante pour faire passer un emplacement de mesure d'une classe d'isolement à une autre, la largeur des classes issues de la directive étant de 5 dBA.

Par exemple, comment acquérir et valider la grandeur  $V_{50}$  (ou  $V_{10}$ , ou encore  $V_{50} + \sigma$ , citée à titre alternatif par la recommandation de juillet 2003 de la commission européenne) autrement qu'à l'aide de mesures de longue durée qui en établissent, d'une part, la stabilité, d'autre part, la représentativité par rapport aux conditions spécifiques de circulation de la période étudiée ? Comment la représentativité peut-elle être annoncée sans une notion de convergence des résultats, et donc sans mesures de longue durée ? Pour quelles aires de circulation, pour quels arcs une mesure de vitesse est-elle représentative ?

La conséquence en est la nécessité de procéder à des interpolations, au prix d'hypothèses qui, en toute rigueur, devraient être vérifiées, la plupart du temps par des mesures. On voit là comment ce processus réduit progressivement les avantages financiers (ou en termes de durée) attendus du calcul.

## L'utilisation des données de long terme

Peut-on faire autrement ?

Au-delà de la réponse triviale mais onéreuse à ce besoin d'ajustement, consistant à passer régulièrement de nouveaux marchés de mesure identiques aux précédents et nécessitant comme pour l'état initial de nombreuses mesures de validation, il est possible d'imaginer des solutions d'ajustement continu, valables pour une aire de circulation donnée, à partir de mesures en un nombre réduit d'emplacements, où sont prises en compte de façon automatique les motifs de variation du bruit sur le long terme.

La prépondérance des bruits de transports terrestres ayant été vérifiée lors de la validation du point de mesure afférent à une aire de circulation choisie, il est permis d'estimer que tous les motifs d'évolution de ce bruit de transport sont pris en compte (évolution du parc circulant, évolution de la vitesse, évolution des stratégies de conduite locales consécutives à une éventuelle modification du réseau routier, etc.). L'observation sur le long terme des niveaux de bruit en ce point permet donc de constater l'influence sur le niveau de bruit de circulation, pour toute l'aire d'influence examinée, avec l'importance relative réelle (pour cette aire) de chaque paramètre de circulation.

Les réajustements peuvent alors être opérés globalement pour une aire de circulation : ils consistent en premier lieu à opérer les mêmes évolutions en tout point de l'aire étudiée, au moins sur tous les niveaux excédant largement (soit de plus de 20 dBA) le niveau de bruit résiduel vrai. Ils sont effectués à l'aide des outils de cartographie habituels.

Dans ce cadre, l'aspect « réseau » intervient, à la différence d'une juxtaposition de stations indépendantes, d'abord parce qu'une exploitation des données peut être pertinente pour certains paramètres de circulation avec des échelles de distances différentes, avec la mise en commun des résultats pour l'analyse de tendances générales, et ensuite pour l'examen à plus petite échelle des effets de bord entre zones limitrophes.

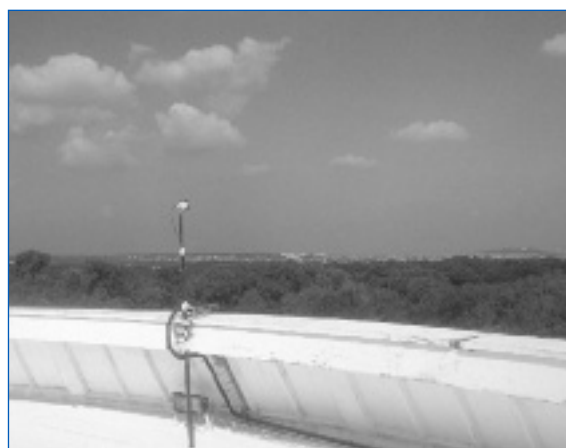
### Dispositif technique

La propagation est tabulée de façon classique autour des autoroutes jusqu'à 500 m, voire 1 km [3] : c'est cette taille approximative qui a été prévue dans un premier temps pour dimensionner les aires de production de bruit homogènes, correspondant à un emplacement de mesure.

### Implantation

Les emplacements recherchés en premier lieu sont naturellement ceux qui sont particulièrement exposés aux mutations possibles :

- soit situés à proximité des axes supportant une circulation importante ;
- soit situés en centre urbain peu dense, ouvert sur des grandes artères, soumis à l'émission directe des sources, et de ce fait sensibles à l'augmentation du nombre des véhicules, à l'évolution de la nature et de



Photographie 1.  
Vue de la station implantée au sommet de la tour solaire (bâtiment 14) de l'observatoire de Meudon (Hauts-de-Seine).

la puissance des sources (rénovation du parc circulant), ainsi qu'à l'évolution des stratégies de déplacement locales, et à l'évolution globale des modes de conduite des véhicules.

On privilégie donc les sites situés dans un rayon de 1 km d'une infrastructure de transport, n'apportant pas une atténuation géométrique supérieure à 30 dBA, et situés autant que possible en vue directe des infrastructures.

Les emplacements de mesure ont été installés en hauteur, de façon à :

- rester sensible aux évolutions du bruit de circulation terrestre de toute une zone, en restant quasiment « à vue » des voies de circulation, ainsi que l'illustre la photographie 1 ci-dessus (station implantée sur la tour solaire de l'observatoire de Meudon) ;
- échapper aux bruits urbains courants, de faible puissance et sensibles à proximité mais ne propageant plus de façon perturbante au-delà de quelques dizaines de mètres, de sorte que le bruit mesuré était essentiellement le bruit des infrastructures de transport terrestre proches, et éviter d'avoir à intervenir sur la saisie des données par des tris quotidiens.

Selon ces considérations, les deux stations réalisées ont été implantées :

- sur la tour solaire mise à disposition par l'observatoire de Paris-Meudon (5 place Jules Janssen, 92 Meudon), exposée au bruit des axes N 186, N 118 et N 306, des voies ferrées (lignes RER C et Montparnasse), éventuellement des plates-formes aéroportuaires (Vélizy, Orly, Roissy départ face à l'ouest), ce qui s'exprime par une dynamique usuelle de 40 dBA environ ;
- sur la terrasse de l'hôtel Pullmann, à Paris 15<sup>e</sup> (8-12, rue Louis Armand), exposée notamment au bruit du périphérique sud, du boulevard des Maréchaux ainsi que de l'échangeur d'arrivée de l'autoroute de l'Ouest.

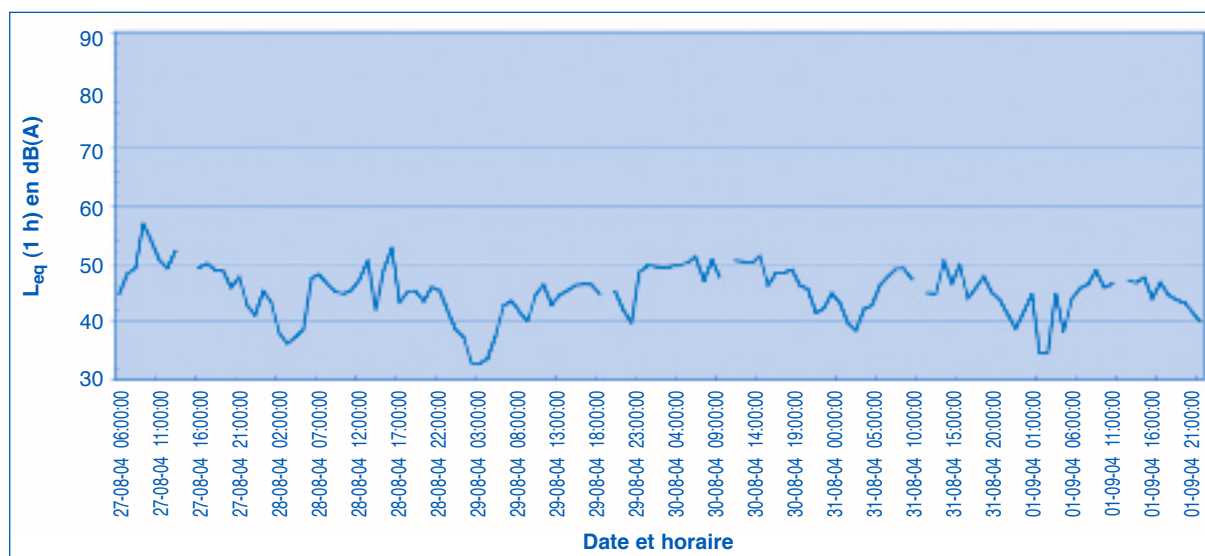


Figure 6.

Mesures de bruit en haut de la tour solaire de l'observatoire de Meudon.

L'objectif principal étant la surveillance des évolutions, il n'y a pas de nécessité stricte d'adoption de la recommandation d'août 2003 de la commission européenne, notamment en termes de hauteur de mesure (la commission européenne recommande d'établir une cartographie à 4 m pour l'établissement des cartographies du bruit).

#### Validation des sites de mesure

La sensibilité aux variations de niveaux de bruit a été validée pendant l'été 2004 pour la tour solaire de l'OBSPM. Les résultats de cette validation (voir ci-dessus le profil des niveaux de bruit quotidiens) conservés au LCPP montrent également que le bruit résiduel minimal nocturne au mois d'août restait supérieur à la limite de détection, soit 27 dBA, et que la dynamique du bruit – une vingtaine de dBA – suffit à attester la sensibilité de l'emplacement au bruit routier.

Un second type de validation a été engagé après installation sur le site du 15<sup>e</sup> arrondissement de Paris (Hôtel Pullmann) juste avant la fin de l'expérimentation, par l'observation de la corrélation entre les niveaux de bruit et les débits sur des portions de voirie successivement de plus en plus éloignées. Il visait à cerner l'aire d'influence sur le point de mesure

(pendant une durée d'une semaine au moins, choisie de préférence hors période de congés), et les influences respectives des divers axes de circulation : les résultats de cette observation sont consignés dans les archives du LCPP, mais n'ont donné lieu à aucune publication.

#### Perspectives

Les expérimentations relatées ici, concernant la limitation de circulation, sont apparues limitées en ce qu'elles montraient la nécessité d'une application à grande échelle, donc un manque de souplesse.

La plus récente, le réseau de suivi à long terme, n'a pas connu de véritable application avec cet objectif, puisqu'elle a cessé au moment où elle pouvait devenir opérationnelle. L'intérêt de cette application avait été montré antérieurement par les travaux de l'observatoire de la région de Bruxelles [9]. Il restait à l'appliquer à la région parisienne.

Son principal intérêt réside dans la limitation des emplacements de mesure lors de la surveillance à long terme, et dans la possibilité de pouvoir disposer d'un outil de prévision fondé sur l'observation de tendances.

### Bibliographie

- [1] Wiener F., Malme C., Creighton G., Sound propagation in urban areas – *JASA* 1965, 37 (4) : 738-747.
- [2] Mériel B., « Le bruit dans une ville moyenne : le cas de Blois » – *AGHTM Techniques et sciences municipales* 1980.
- [3] Migneron, Acoustique urbaine, Masson, 1980.
- [4] Shaw-Olson, "Theory of steady state urban noise for an ideal homogeneous city", *JASA* 1972 ; 51 (6) : 1781-93.
- [5] Davies et Lyon, *JASA* 1973 ; 54 (6) : 1565-70/équation 17 page 1787.
- [6] Rapport du service des pollutions du Laboratoire Central de la Préfecture de Police – 1990.
- [7] Picaut J., *Bulletin des laboratoires des ponts et chaussées* 1999 ; 222, (4250) : 57-70. Thèse de l'université du Maine 30/03/98.
- [8] Rozec V., *Perception et évaluation du confort sonore en zone 30*, thèse soutenue à l'université Paris X-Nanterre, octobre 2001.
- [9] Comptes-rendus de l'observatoire de la région de Bruxelles par l'IBGE (<http://app.bruxellesenvironnement.be:8080/WebNoise/Graph>)
- [10] « L'état du bruit à Paris en 2000 », pôle de compétence « bruit » de Paris d'après les mesures du CSTB.
- [11] Conférence de présentation du projet de réseau devant le conseil régional d'Ile-de-France le 22 janvier 2003.

