



**HAL**  
open science

## Modèles prédictifs de gêne en situation de multi-exposition à des bruits industriels

Julien Morel, Catherine Marquis-Favre, Stéphanie Viollon, Marion Alayrac

► **To cite this version:**

Julien Morel, Catherine Marquis-Favre, Stéphanie Viollon, Marion Alayrac. Modèles prédictifs de gêne en situation de multi-exposition à des bruits industriels. 10ème Congrès Français d'Acoustique, Apr 2010, Lyon, France. hal-00541369

**HAL Id: hal-00541369**

**<https://hal.science/hal-00541369>**

Submitted on 30 Nov 2010

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

# 10ème Congrès Français d'Acoustique

Lyon, 12-16 Avril 2010

## Modèles prédictifs de gêne en situation de multi-exposition à des bruits industriels

Julien Morel<sup>1,4</sup>, Catherine Marquis-Favre<sup>1</sup>, Stéphanie Viollon<sup>2</sup>, et Marion Alayrac<sup>2,3</sup>

<sup>1</sup>Université de Lyon, ENTPE - CNRS FRE 3237 DGCB, 3, rue Maurice Audin, 69120 Vaulx-en-Velin.

<sup>2</sup>EDF R&D, 1 avenue du Général de Gaulle, 92141 Clamart Cedex

<sup>3</sup>Désormais à EDF DTG, Service Opérationnel Thermique et Mécanique, 21 avenue de l'Europe, 38040 Grenoble Cedex.

<sup>4</sup>[julien.morel@entpe.fr](mailto:julien.morel@entpe.fr)

De précédents travaux de recherche ont, dans un premier temps, permis la construction d'une typologie perceptive de bruits industriels permanents et stables, aux caractéristiques spectrales très variées : bruits à large bande, bruits basses fréquences, bruits à composante tonale, etc. Dans un deuxième temps, 6 catégories qui forment cette typologie perceptive de sources industrielles ont été caractérisées physiquement et perceptivement, et des indicateurs de gêne sonore d'exposition mono-source ont alors été proposés pour chaque catégorie.

Cette communication aborde la gêne sonore due au bruit industriel sous l'angle de la multi-exposition due à deux sources de bruit industrielles. Des bruits à large bande sont combinés soit à des bruits au fort contenu basses fréquences, soit à des bruits ayant une composante tonale principale à 100 Hz. La gêne totale due à ces deux types de combinaison est évaluée en laboratoire. Six modèles de gêne totale, issus de la littérature traitant de la multi-exposition sonore, sont testés et discutés.

## 1 Introduction

Nos concitoyens sont soumis à une multitude de bruits, que ce soit de manière simultanée ou décalée dans le temps. L'exposition au bruit a de multiples effets sur le bien être ou la santé, et l'un des plus étudiés est la gêne sonore.

De nombreuses études et recherches ont eu pour objectif de caractériser l'impact environnemental (en termes de gêne sonore) d'une source de bruit de l'environnement en particulier. Le plus souvent les bruits des transports – trafic routier, ferroviaire ou aérien – sont étudiés (cf. [1, 2]).

Certains chercheurs se sont penchés sur la question de la gêne sonore en situation de multi-exposition, c'est-à-dire lorsque des riverains dans des zones d'habitation sont exposés à plusieurs sources de l'environnement, ces sources étant parfaitement identifiables, tant du point de vue acoustique que visuel [3].

Les premières études se sont focalisées sur les interactions entre une source de bruit « cible » dans un bruit de fond principalement constitué d'une autre source de bruit. Il s'agissait alors d'étudier la gêne due au bruit aérien dans un bruit de fond routier [4, 5, 6] ou d'étudier la gêne due au bruit ferroviaire dans un bruit de fond routier [3, 7]. Les résultats sont disparates mais ont permis de mettre en évidence ce que Powell [8] a appelé les phénomènes d'inhibition<sup>1</sup>.

Certains chercheurs ont également étudié la modélisation de la gêne sonore en situation de multi-exposition. On ne dénombre pas moins de 9 modèles classiques de gêne totale en situation de multi-exposition sonore (cf. [9]). Ces modèles sont dits soit perceptifs (s'ils relient la gêne totale à des données perceptives) soit psychophysiques (s'ils relient la gêne totale à des données acoustiques) [10]. Mais ces modèles ne font pas l'unanimité selon les bruits considérés.

L'étude de l'impact sonore des bruits industriels en termes de gêne sonore a été moins étendue par rapport aux bruits des transports, et cela encore moins lorsqu'il s'agit de multi-exposition sonore. Selon Miedema [11], cela peut être dû à la grande hétérogénéité des différentes sources de bruit industriel.

EDF, impliqué dans une démarche de développement durable, et l'ENTPE ont développé une approche consistant à explorer, à travers deux études en laboratoire, la gêne totale due à une multi-exposition entre deux bruits industriels dans l'objectif de tester certains modèles classiques prédictifs de la gêne totale. Pour cela, nous nous basons sur une typologie perceptive de 6 catégories de bruits industriels permanents et stables obtenue à partir d'un test de catégorisation libre [12, 13]. Dans ce papier deux types de combinaisons de bruits industriels sont étudiés : (1) des bruits à large bande (notés bruits LB) émis par des tours aéroréfrigérantes combinés à des bruits basses fréquences (notés bruits BF) émis par divers types de sources industrielles et (2) les mêmes bruits à large bande combinés à des bruits comportant une composante spectrale principale à 100Hz (notés bruits CS) émis par des transformateurs ventilés.

Dans un premier temps nous détaillerons le protocole expérimental, puis nous présenterons les différents modèles de multi-exposition testés, ainsi que les résultats obtenus.

## 2 Protocole expérimental

Dans cette section les protocoles expérimentaux mis en place lors de nos des expériences menées en laboratoire sont présentés. Une première sous-section présente les aspects communs. Les deux sous-sections suivantes présentent les spécificités méthodologiques de chaque expérience.

<sup>1</sup> On dit que la gêne due à un bruit est inhibée par la présence d'un autre bruit lorsque la réponse de gêne due au bruit visé est diminuée en présence de l'autre bruit.

## 2.1 Mise en place des tests d'écoute

*Enregistrement et sélection des bruits.* Il est difficile d'enregistrer la contribution d'une source de bruit à un point précis éloigné de la source (par exemple à proximité d'un logement) sans la contribution d'autres sources de bruit déjà présentes dans l'environnement. Les bruits ont donc été enregistrés à proximité de sources industrielles (système ORTF) puis filtrés pour prendre en compte les effets dus à la propagation en un point donné à proximité d'un logement virtuel [12].

La typologie perceptive regroupant des bruits industriels permanents et stables selon leur similarité, est constituée de 6 catégories de bruits présentant les caractéristiques spectrales suivantes : des bruits à large bande (bruits LB), des bruits basses fréquences (notés bruits BF) ou encore des bruits à composante spectrale principale à 100Hz (notés bruits CS) [12].

Pour chaque type de bruits étudié, deux bruits sont sélectionnés (respectivement numérotés s51 et s35 – pour les bruits LB, s33 et s52 – pour les bruits BF, s53(2) et s53(3) – pour les bruits CS). Pour obtenir davantage de détails sur la sélection de ces bruits, le lecteur peut se référer à [14]. La figure 1 présente les spectres 1/3 octave pondérés A de ces 6 bruits pour un niveau de 45 dB(A).

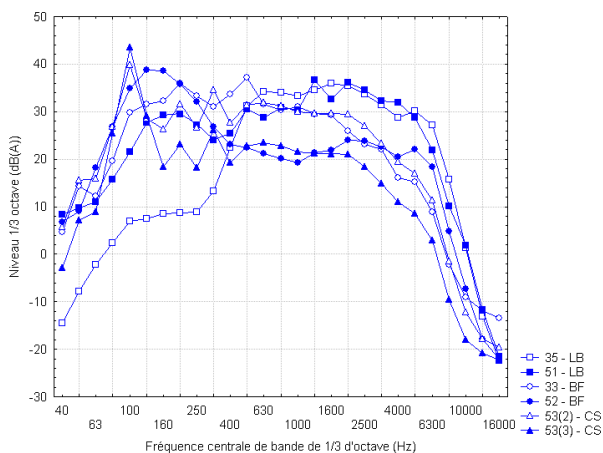


Figure 1 : Spectres 1/3 octave pondérés A.

*Procédure et échelle de réponse.* La procédure est basée sur celle employée dans [13]. La méthode de présentation par stimulus unique est retenue. Dans le cadre de cette étude, la gêne sonore est comprise comme l'aspect nuisible du bruit dont les sujets font l'expérience en se projetant dans une situation imaginaire [15]. Les sujets doivent donc noter chaque stimulus sur une échelle continue composée d'indications numériques de 0 à 10 et de 5 labels (de « pas du tout », « légèrement », « moyennement », « beaucoup » à « extrêmement » gênant), en répondant à la question suivante : « Imaginez-vous chez vous en présence de ce bruit 24h/24. Ce bruit vous gênerait-il ? » (cf. recommandations norme ISO 15666 [16]).

*Apparatus.* Le test d'écoute a lieu dans une chambre semi-anéchoïque (bruit de fond inférieur à 19 dB(A)), et le test est informatisé. La restitution des bruits est stéréophonique, via deux haut-parleurs actifs (Dynaudio Acoustics BM5A Actif) et une carte son haute qualité (LynxOne Studio Interface).

*Sujets.* 43 sujets ont participé à l'expérience pilote (20 hommes et 23 femmes, entre 18 et 60 ans) et 44 à l'expérience 2 (24 hommes et 20 femmes, entre 18 et 60

ans). Les sujets étaient différents entre les deux expériences.

## 2.2 Expérience pilote

L'expérience pilote a pour but d'étudier les réponses de gêne totale en liaison avec les réponses de gêne obtenues en situation de mono-exposition à chaque type de bruit étudié.

*Stimuli.* Les bruits sélectionnés servent de base à la construction des combinaisons de bruits présentées aux sujets. Le principe de construction est le suivant. Il y a deux bruits par combinaison (un bruit A et un bruit B) chacun d'un type de bruit (LB, BF ou CS) afin d'étudier deux types de combinaisons : (1) bruits LB combinés aux bruits BF, et (2) bruits LB combinés aux bruits CS. Pour chaque combinaison, un des deux bruits a un niveau sonore fixé à 45 dB(A) et l'autre présente un niveau sonore qui varie entre les combinaisons étudiées (par exemple A diffusé à 45 dB(A) combiné à B diffusé à X dB(A), noté A(45) + B(X)).

Pour chaque type de combinaison envisagé, les stimuli suivants sont étudiés : A(45) + B(X), B(45) + A(X), ainsi que les bruits en mono-exposition A(X) et B(X), pour X valant 45, 48 et 51 dB(A). Pour chaque type de combinaison, 32 stimuli de 5s sont donc diffusés aux sujets.

*Déroulement.* L'expérience pilote est divisée en deux sessions, une pour chaque type de combinaison (les bruits LB combinés aux bruits BF dans une première session, et les bruits LB combinés aux bruits CS dans une deuxième session).

## 2.3 Expérience 2

La deuxième expérience a pour but d'approfondir l'étude des réponses de gêne totale, et de tester des modèles de gêne pour les combinaisons de bruits étudiées.

*Stimuli.* Le même principe de construction des combinaisons est adopté pour l'expérience 2. Pour chaque type de combinaison envisagé, les stimuli suivants sont étudiés : A(45) + B(X) et B(45) + A(X), pour X valant 39, 43, 45, 47, 48, 50, 51 et 52 dB(A).

Deux différences sont à noter par rapport à l'expérience pilote : (1) les bruits composant la multi-exposition ne sont pas présentés en mono-exposition et (2) pour la combinaison des bruits LB avec les bruits CS, seul le bruit s53(3) est conservé.

Pour le premier type de combinaison (bruits LB combinés aux bruits BF), 64 stimuli de 5s sont diffusés aux sujets. Pour le deuxième type de combinaison (bruits LB combinés au bruit CS), 32 stimuli de 5 secondes sont diffusés aux sujets.

Le déroulement est similaire à l'expérience pilote.

## 3 Résultats

Dans cette section les formulations des six modèles de gêne totale que nous avons retenus pour ce travail sont détaillées, puis les résultats relatifs au test de ces modèles sont fournis.

### 3.1 Six modèles prédictifs de la gêne totale en situation de multi-exposition sonore

Dans la suite de cette sous-section les formulations des modèles sont exprimées dans le cas simple où deux bruits composent la multi-exposition. On adopte les notations suivantes :  $A_T$  pour la gêne totale,  $A_i$  pour la gêne due au

bruit  $i$ ,  $L_T$  pour le niveau de bruit total,  $L_i$  pour le niveau de bruit de la source  $i$ .  $L_t$ ,  $L_{ref}$ ,  $A_{ref}$ , et  $k$  sont des notations spécifiques au modèle de Vos [17], respectivement l'indice de bruit global, le niveau sonore du bruit de référence, la gêne due au bruit de référence et un coefficient à fixer pour optimiser le modèle.

*Le modèle de source dominante.* Ce modèle stipule que la gêne totale est égale à la gêne maximale des bruits composant la multi-exposition (cf. équation (1)) :

$$A_T = \max(A_1, A_2) \quad (1)$$

Ce modèle a souvent été cité comme étant le plus performant, pour divers cas de multi-exposition [18, 19].

*Le modèle des effets indépendants.* Ce modèle stipule que la gêne totale est une fonction des niveaux sonores des bruits composant la multi-exposition (cf. équation (2)) :

$$A_T = aL_1 + bL_2 + c \quad (2)$$

Ce modèle introduit par Taylor [20] repose sur l'hypothèse que les gens sont capables d'évaluer les bruits séparément puis de les intégrer en additionnant leurs contributions respectives. Il s'est avéré performant dans certains travaux [20, 21], mais peu dans d'autres [17].

*Le modèle de sommation énergétique.* Il stipule que la gêne totale est simplement une fonction du niveau de bruit total de la multi-exposition (cf. équation (3)) :

$$A_T = aL_T + b \quad (3)$$

Ce modèle a souvent été rejeté tant sur le plan théorique qu'expérimental dans des travaux traitant de divers multi-expositions sonores [11, 18, 20, 21]. Pourtant Izumi [7] estime qu'on ne peut le rejeter puisque les autres modèles n'apportent pas d'améliorations significatives.

*Le modèle de différence énergétique.* Il stipule que la gêne totale est une fonction du niveau de bruit total de la multi-exposition ainsi que de la valeur absolue de la différence entre les niveaux sonores des bruits composant la multi-exposition (cf. équation (4)) :

$$A_T = aL_T + b|L_1 - L_2| + c \quad (4)$$

Ce modèle est une amélioration du modèle de sommation énergétique, et a pour originalité de faire apparaître un terme permettant de prendre en compte la possible influence des différences entre les niveaux sonores des bruits combinés sur la gêne totale [20]. Selon Miedema [22] ce modèle est théoriquement inacceptable, et du point de vue des performances, les résultats sont assez disparates. Si Taylor [20] montre qu'il offre les meilleures performances, d'autres études ont montré l'inverse [18, 21].

*Le modèle quantitatif de Vos [17].* Il stipule que la gêne totale est une fonction de l'indice de bruit global, incluant le calcul de  $P_2$ , une pénalité dépendant du niveau sonore, pour prendre en compte les différences entre les gênes induites par les différents bruits de la multi-exposition. Le calcul de  $P_2$  implique le choix d'un bruit de référence (cf. équations (5)-(9)) :

$$A_T = aL_t + b \quad (5)$$

Où

$$L_t = k \log \left( 10^{\frac{L_{ref}}{k}} + 10^{\frac{L_2 + P_2}{k}} \right) \quad (6)$$

$$P_2 = \frac{a_2 - a + (b_2 - b)L_2}{b} \quad (7)$$

Avec

$$A_{ref} = a + bL_{ref} \quad (8)$$

$$A_2 = a_2 + b_2L_2 \quad (9)$$

Ce modèle à la base empirique a été validé théoriquement par Miedema dans une approche similaire [11] (cf. le modèle de gêne équivalente). Notons qu'il implique le choix d'un bruit de référence. Ses performances ont été supérieures à d'autres modèles classiques dans certains travaux [17,21], mais Ronnebaum *et al.* [18] estiment que le modèle de source dominante lui est supérieur.

*Le modèle de sommation vectorielle.* Il stipule que la gêne totale dérive d'une addition vectorielle des gênes des bruits composant la multi-exposition (cf. équation (10)) :

$$A_T = a \left( A_1^2 + A_2^2 + 2A_1A_2 \cos \alpha_{12} \right)^{1/2} + b \quad (10)$$

Ce modèle fait également intervenir un terme d'interaction  $\alpha_{12}$ . Certains travaux suggèrent également de le fixer à  $90^\circ$  [19, 23]. Ces mêmes travaux montrent que ce modèle tend à surestimer la gêne totale [19, 23]. Ronnebaum *et al.* soulignent que ses performances sont en retrait par rapport à d'autres modèles classiques [18]. En revanche Berglund et Nilsson montrent que ce problème de surestimation de la gêne totale peut être évité [24].

### 3.2 Test de 6 modèles de gêne totale

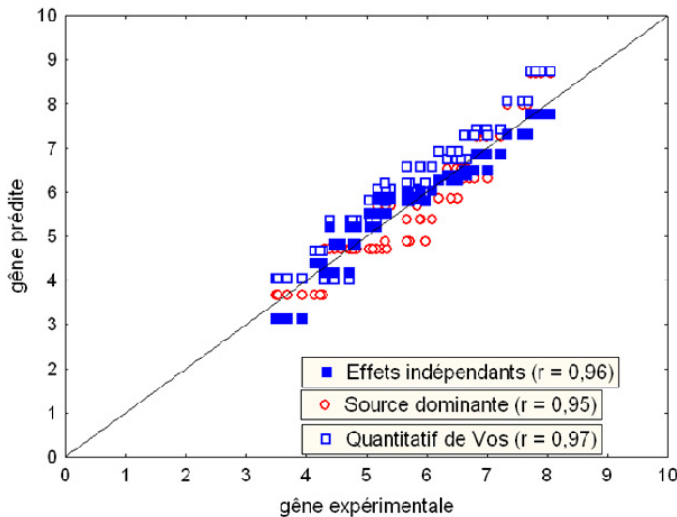
Usuellement les modèles classiques de gêne totale sont évalués et comparés sur la base du coefficient de détermination ( $R^2$ ) et de l'erreur type de l'estimation (std. err.) résultant de l'analyse de la régression linéaire entre la gêne totale et le(s) terme(s) des modèles décrits en 3.1. Plus un modèle est performant, plus son  $R^2$  est élevé et son erreur type de l'estimation faible.

Pour le test des modèles, en ce qui concerne les  $A_i$  (gêne due au bruit  $i$ ) les données proviennent de l'expérience pilote. Pour la gêne totale  $A_T$ , les données proviennent de l'expérience 2.

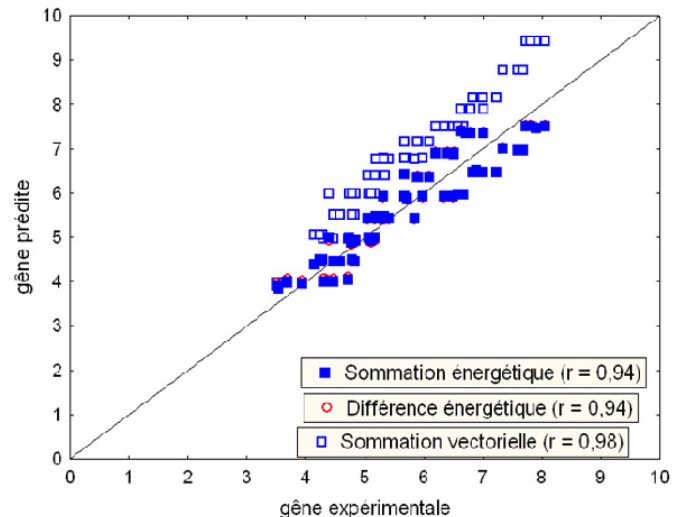
Le tableau 1 récapitule les valeurs du  $R^2$  et de l'erreur type de l'estimation pour chacun des modèles pour les deux types de combinaison envisagés dans ce papier (bruits LB combinés aux bruits LF, bruits LB combinés aux bruits CS).

modèle	LB + LF	$R^2$ ( $p < 0.001$ )	Std. err.
	LB + CS		
Source dominante	0.90	0.39	0.46
	0.86		
Effets indépendants	0.93	0.33	0.34
	0.92		
Sommation énergétique	0.88	0.43	0.37
	0.91		
Différences énergétiques	0.88	0.43	0.40
	0.90		
Quantitatif de Vos (LB bruit de référence, $k = 10$ )	0.95	0.29	0.25
	0.96		
Sommation vectorielle	0.96	0.24	0.26
	0.95		

**Tableau 1: Coefficient de détermination ( $R^2$ ) et erreur standard d'estimation (std. err.) pour les 6**



**modèles de gène totale testés.**



**Figure 2 : Relation entre la gène expérimentale et la gène prédite pour les 6 modèles testés pour la combinaison bruits LB + bruits BF.**

En complément, il est utile de calculer la corrélation entre la gène totale mesurée et la gène totale prédite par le modèle, et de représenter le nuage de points associé.

La figure 2 représente le nuage de points relatif au calcul de la corrélation entre la gène prédite par les modèles et la gène obtenue expérimentalement, pour la combinaison LB + BF. Des résultats similaires sont obtenus pour la combinaison LB + CS.

A l'observation du tableau 1, le modèle de sommation vectorielle, et le modèle quantitatif de Vos permettent de maximiser la valeur du coefficient de détermination et de minimiser la valeur de l'erreur type de l'estimation. Ces deux modèles semblent donc être plus performants pour prédire la gène totale que les 4 autres testés.

Il est intéressant de noter que la qualité d'ajustement obtenue pour le modèle de sommation énergétique et de différence énergétique est similaire. Cela a déjà été observé dans d'autres travaux [21]. Notons également que dans [20, 21] le coefficient de régression pour la différence absolue n'est pas significatif. En d'autres termes, le terme de différence absolue semble avoir, sur la gène totale, un effet moindre devant le niveau sonore total. Pourtant, dans [14], Morel a montré que les différences entre les niveaux sonores ces bruits industriels combinés entraînent des réponses différentes de gène totale.

Le modèle de source dominante figure parmi les modèles affichant la moins bonne prédiction de la gène totale. Une raison pourrait être due à la différence des propriétés d'inhibition (cf. [8]) des bruits combinés, l'un par rapport à l'autre. En effet, une différence entre les propriétés d'inhiber la gène a été observée en référence [14] pour les bruits étudiés dans cette communication. Berglund et Nilsson [10] invoquent d'ailleurs le manque de prise en compte des asymétries entre propriétés (par exemple de masquage) des bruits combinés pour expliquer l'absence de consensus autour d'un modèle de gène totale.

L'observation de la figure 2 nous donne plus d'éléments de comparaison. Par exemple, on observe que le modèle de sommation vectorielle, comme cela a été montré dans de précédents travaux [19, 23] a tendance à surestimer la gène totale. Le modèle quantitatif de Vos surestime également la

gène totale mais de manière moins prononcée que le modèle de sommation vectorielle.

La figure 2 confirme également que pour nos données, des résultats similaires sont obtenus pour le modèle de sommation énergétique et pour le modèle de différence énergétique, les nuages de points étant quasiment confondus.

## 4 Conclusion

Le but de ce papier était de présenter au travers de deux expériences en laboratoire le test de 6 modèles de gène totale due à la multi-exposition sonore à des bruits industriels. Les deux expériences avaient pour objectif d'étudier différentes combinaisons de bruits industriels : (1) des bruits à large bande émis par des tours aéroréfrigérantes étaient combinés à des bruits au contenu basses fréquences émis par diverses sources industrielles et (2) les mêmes bruits à large bande étaient combinés à des bruits comportant une composante spectrale principale à 100Hz émis par des transformateurs ventilés.

Le test des modèles de multi-exposition a fait ressortir le modèle quantitatif de Vos. Le modèle de source dominante n'apparaît pas comme le meilleur modèle et ce peut-être en raison d'une différence de propriétés d'inhibition de la gène constatée pour les bruits combinés. Le modèle de différence énergétique a l'avantage de faire apparaître un terme permettant de prendre en compte l'effet des différences de niveau sonore entre les bruits combinés sur la gène totale. Cependant dans sa formulation actuelle, cet effet n'est pas suffisamment pris en compte.

Il reste donc un travail important à faire tant du point de vue des modèles que du point de vue méthodologique dans la conduite d'expérience en laboratoire ou d'enquêtes *in situ* afin de prédire la gène totale occasionnée par une combinaison de deux sources de bruit industrielles.

## Remerciements

Les auteurs remercient l'AFSSET (Agence Française de Sécurité Sanitaire de l'Environnement et du Travail) pour le

financement du projet de recherche auquel est associé ce travail.

## Références

- [1] Schultz T.J. "Synthesis of social surveys on noise annoyance", *J. Acoust. Soc. Am.*, 64(2), 377-405 (1978).
- [2] Miedema, H.M.E. "Exposure-response relationships for transportation noise", *J. Acoust. Soc. Am.*, 104(6), 3432-3445 (1998).
- [3] Champelovier P., Cremezi-Charlet C., et Lambert J. "Evaluation de la gêne due à l'exposition combinée aux bruits routiers et ferroviaires", INRETS, rapport de recherche n°242, septembre 2003. 150p.
- [4] Bottom C.G. "A social survey into annoyance caused by the interaction of aircraft noise and traffic noise", *J. Sound. Vib.*, 19(4), 473-476 (1971).
- [5] Powell C.A. et Rice C.G. "Judgments of aircraft noise in a traffic noise background", *J. Sound. Vib.*, 38(1), 39-50 (1975).
- [6] Lim C., Kim J., Hong J., et Lee S. "Effect of background noise levels on community annoyance from aircraft noise", *J. Acoust. Soc. Am.*, 123(2), 766-771 (2008).
- [7] Izumi K. "Annoyance due to mixed source noises – a laboratory study and field survey on the annoyance of road traffic and railway noise", *J. Sound. Vib.*, 127(3), 485-489 (1988).
- [8] Powell C.A. "A summation and inhibition model of annoyance response to multiple community noise sources", NASA Technical Paper 1479 (1979).
- [9] Marquis-Favre C., Premat E., et Aubrée D. "Noise and its effects – a review on qualitative aspects of sound. Part II : noise and annoyance", *Acta Acust.*, 91(4), 626-642 (2005).
- [10] Berglund B. et Nilsson M.E. "Total annoyance models for community noise explicated", *Proceedings of InterNoise 1998*, 4p.
- [11] Miedema H.M.E. "Relationship between exposure to multiple noise sources and noise annoyance", *J. Acoust. Soc. Am.*, 116(2), 949-957 (2004).
- [12] Le Nost G. « Contribution à l'étude de l'impact environnemental sonore des sites industriels : une typologie perceptive de sources de bruit », thèse de doctorat, Institut National des Sciences Appliquées, Lyon, 247 p.
- [13] Alayrac M., Marquis-Favre C. Viollon S., Morel J., et Le Nost G. "Annoyance from industrial noise: indicators for a wide variety of industrial sources", *J. Acoust. Soc. Am.*, accepté pour publication en février 2010.
- [14] Morel J. "Etude de la robustesse d'indicateurs caractéristiques de la gêne en situation de mono-exposition et étude de la multi-exposition à différentes sources de bruit industriel", master de recherche MEGA, Université de Lyon, 2008. 136 p.
- [15] Berglund B., Berglund U., et Lindvall T. "Scaling loudness, noisiness and annoyance of aircraft noise", *J. Acoust. Soc. Am.*, 57(4), 930-934 (1975).
- [16] ISO 15666 "Acoustics – Assessment of noise annoyance by means of social and socio-acoustical surveys", ISO/TS 15666:2003, Geneva, International Standards Organization (2003).
- [17] Vos J. "Annoyance caused by simultaneous impulse, road-traffic and aircraft sounds: a quantitative model", *J. Acoust. Soc. Am.*, 91(6), 930-934 (1975).
- [18] Ronnebaum T., Schulte-Fortkamp B., et Weber R. "Synergetic effects of noise from different sources: a literature study", *Proceedings of InterNoise 1996*, 5p.
- [19] Berglund B., Berglund U., Goldstein M., et Lindvall T. "Loudness (or annoyance) summation of combined community noises", *J. Acoust. Soc. Am.*, 70(6), 1628-1634 (1981).
- [20] Taylor S.M. "A comparison of models to predict annoyance reactions to noise from mixed sources", *J. Sound. Vib.*, 81(1), 123-138 (1982).
- [21] Kaku J., Kato T., Kuwano S., et Namba S. "Predicting overall reaction to multiple noise sources", *Proceedings of Forum Acusticum & ASA joint meeting 1999*, 4p.
- [22] Miedema H.M.E. "Annoyance caused by two noise sources", *J. Sound. Vib.*, 98(4), 592-595 (1985).
- [23] Botteldooren D., et Verkeyn A. "Fuzzy models for accumulation of reported community noise annoyance from combined sources", *J. Acoust. Soc. Am.*, 112(4), 1496-1508 (2002).
- [24] Berglund B., et Nilsson M.E. "Loudness of combined noises derived from singular and concurrent community noises", *Proceedings of International Congress on Acoustics 1998*, 2p.