

Situations de multi-exposition aux bruits routier et ferroviaire : quelles pistes de recherche pour de nouveaux indicateurs ?

Manon Raimbault

INRETS-LTE

Case 24

69675 Bron CEDEX

E-mail : manon.raimbault@inrets.fr

Catherine Lavandier

LMRTE

IUT Cergy

Rue d'Eragny

NEUVILLE SUR OISE

95031 Cergy Pontoise

E-mail : catherine.lavandier@iutc.u-cergy.fr

Cora Cremezi-Charlet

Eva Walker

SNCF-DRT

45, rue de Londres

75379 Paris 08

E-mail : eva.walker@sncf.fr

Les études préalables sur les situations de multi-exposition mettent en avant une ambiguïté dans l'appréciation des caractéristiques temporelles des bruits routiers (continu mais aussi discontinu) versus ferroviaires (irrégulier mais aussi régulier). Afin d'approfondir les connaissances dans ce domaine, une expérimentation en salle d'écoute a été menée sur des séquences sonores de trains au passage (trains grande vitesse, trains conventionnels et trains de fret) mixés à différents types de trafic routier. Du point de vue de la mesure comme des enquêtes, les aspects temporels ressortent plus marqués pour distinguer les bruits de trains. L'activité ferroviaire est en effet représentée par l'identification de source objet associée à une notion de mouvement alors que l'activité routière est décrite au travers des expressions liées à l'espace. La reconnaissance ou pas de bruit de camion est alors un critère de distinction de différents types de trafic. Parallèlement, l'étude des indices acoustiques descriptifs des critères temporels des émergences a révélé l'inadéquation des codages de sources portant sur l'analyse de l'évolution temporelle des LAeq. Il semble alors intéressant de développer des indicateurs (temporels et autres) pour décrire respectivement les phénomènes. Cependant, l'évaluation des attributs temporels fait émerger des variations interindividuelles concernant leur jugement, ce qui est problématique quant à la contribution à l'élaboration d'indicateur de gêne.

Previous studies on combined noise sources show an ambiguity in the evaluation of the temporal characteristics of road traffic noise (continuous but also discontinuous for short periods) versus railway noise (short, abrupt but also recurring for a long period). To pursue this issue further, listening tests were carried out in a semi-anechoic room. Sound stimuli were shaped mixing noises of trains (high speed train, regional and suburban trains, freight) with various road traffic types (with or without truck presence). Both measurements and investigations analyses show that temporal features are more marked in distinguishing train noises. Assessment of railway noise is characterized by the identification of a noise source, related to specific time patterns, whereas road traffic noise is mainly described through expressions related to space. The recognition or not of truck presence is then a second criterion for characterising various categories of traffic. In the same time, the study of acoustic descriptors reveals the inadequacy of the usual codings of noise sources, based on the analysis of the LAeq time pattern. In view of these results, new temporal indicators are needed to describe each phenomenon respectively. However, analysis of the judgements of the time patterns shows variations between subjects, which are problematic for shaping annoyance indicators.

Contexte

Parmi les diverses classifications des sources sonores [1 ; 2], pour des contextes urbains, périurbains et ruraux, les "bruits de moteurs" ou "bruits mécaniques" caractérisent les "bruits de transports en général et bruit de travaux". Cette catégorie sémantique est assimilée aux activités qu'elle représente, «la circulation» et le "trafic", ou, plus précisément, aux objets sources identifiés, comme les "véhicules" et les "voitures". Ces objets sources sont avant tout synonymes de pollution environnementale, qu'elle soit olfactive, visuelle ou sonore, associée à des jugements *a priori* négatifs. Dès lors, le discours se positionne très clairement dans le registre de l'étude de la "gêne sonore" (registre négatif) et non des "phénomènes sonores" (registre neutre) et encore moins du "confort sonore" (registre positif).

L'étude de la gêne sonore procède habituellement par l'évaluation d'un seul objet sonore, en contexte ou non.

Or, dans l'environnement, les personnes sont le plus souvent exposées à une combinaison de bruits. Dans le souci d'étudier des situations plus proches de l'expérience quotidienne de riverain, des recherches sur les situations de multi-exposition aux bruits routier et ferroviaire ont été amorcées dans les années 1980. L'avancée actuelle des recherches sur la multi-exposition fait ressortir plusieurs questionnements.

Comment mieux caractériser d'un point de vue sonore les situations de multi-exposition ? Pour l'instant, les réglementations française et européenne considèrent les sources de bruits de transport de façon séparée, les autres sources de bruit n'étant considérées que par la mesure du bruit existant avant intervention, estimé par le L_{den} [3]. Si la notion de terme correcteur y est présente, les interactions, encore mal connues, entre les différentes sources de bruits combinés, ne sont pas prises en compte. Dans le but de développer de nouveaux indicateurs complémentaires au L_{den} et adaptés

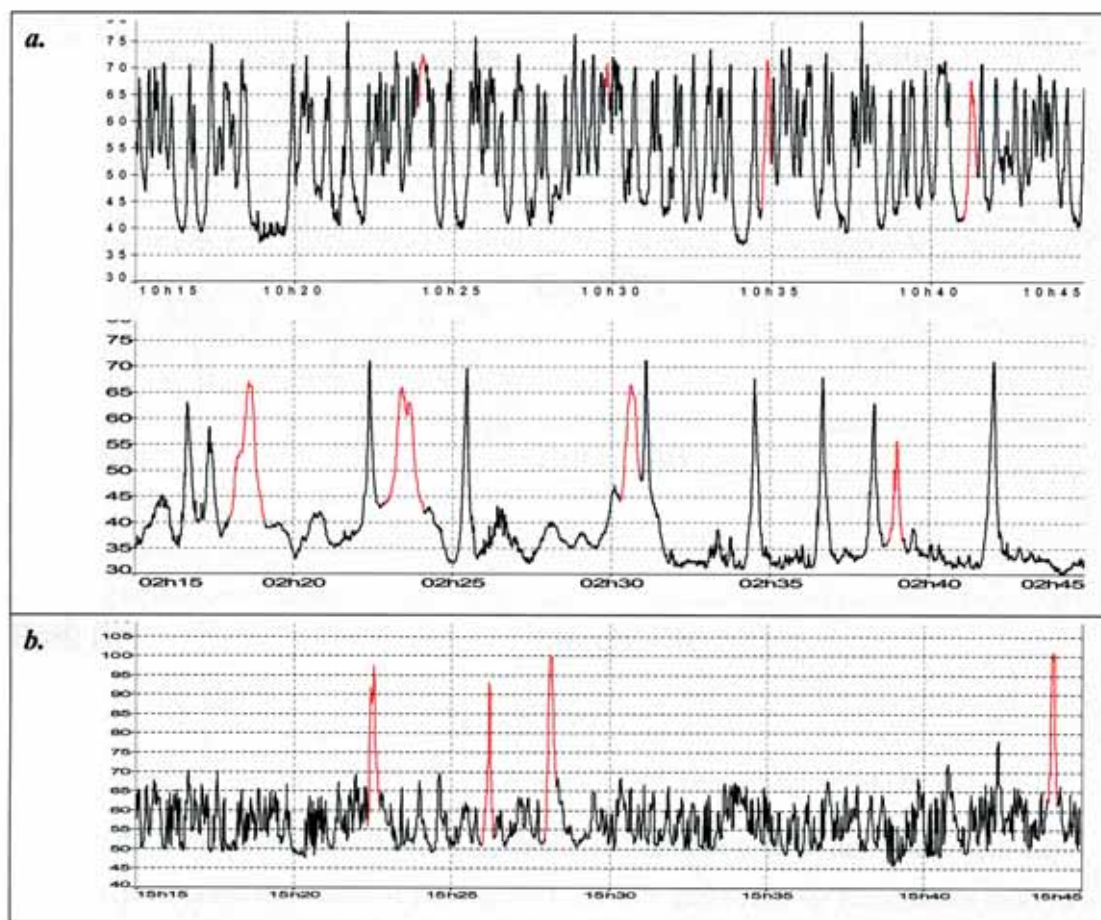


Fig. 1 : Illustration des profils types de dominance routière, respectivement de jour et de nuit (a), et de dominance ferroviaire (b) pour des fragments de 30 minutes. Le signal coloré en rouge indique le passage d'un train.

pour évaluer les sources de bruits combinés, il est dès lors fondamental de spécifier ces *indicateurs* selon des caractéristiques de situations : de lieu (espaces urbains, périurbains et ruraux), de temps (continu/discret) et d'activité (types de sources).

La caractérisation même de "la" situation de multi-exposition pose problème. Les spécificités de localisation et d'implantation des voiries ainsi que les périodes considérées (jour, soirée, nuit) permettent-elles de distinguer des situations particulières ? Quels seraient alors les descripteurs pertinents, acoustiques ou non acoustiques, pour décrire ces situations ?

L'analyse de la *gêne* due à des sources de bruits combinées pose inévitablement le problème de la définition de la *gêne totale* (*total annoyance*) : Comment les gens agrègent cette notion de gêne et quelle est l'acceptation de cette dimension sémantique ? De précédents travaux ont montré les difficultés d'évaluation des caractéristiques temporelles de la *gêne* sonore. Les recherches *in situ* ont le plus souvent porté sur la *gêne* sonore de "long terme", c'est-à-dire selon une "dose" dont le dépassement de seuil, associé à des facteurs sociaux (méfiance liée à la source, attentes sociales) et individuels (sensibilité au bruit) détermine la gêne occasionnée par la ou les sources de bruits [4 ; 5]. Parallèlement, les études psycho-acoustiques en salle d'écoute visent à caractériser la *gêne* sonore de "court terme", c'est-

à-dire liée à l'apparition d'un événement sonore dont l'appréciation dépend de variables pas uniquement acoustiques, comme la répétition dans le temps, l'attente d'un événement sonore ainsi que l'identification et la représentation sémantique de l'objet source [6 ; 7]. Toute la question réside dans l'évaluation des interactions entre *gênes* sonores "instantanée" et de "long terme".

Une enquête nationale, effectuée en France en 1997, sur 61 sites multi-exposés, met en avant toute l'ambiguïté des caractéristiques temporelles des sources de bruits combinés de types routiers (*continu* mais aussi *discontinu*) versus ferroviaires (*irrégulier* mais aussi *régulier*) [8]. Afin d'approfondir les connaissances dans ce domaine, une expérimentation en salle d'écoute a été menée sur des séquences sonores de trains au passage (trains grande vitesse ou conventionnels et fret) mixés à différents types de trafic routier.

Diverses situations de multi-exposition aux bruits routier et ferroviaire

L'enquête nationale de 1997 considère les mesures des niveaux sonores équivalents par périodes (évolution des L_{eq} courts de jour, soirée et nuit) pour déterminer les situations multi-exposées de type *dominance routière* ou *ferroviaire* : écart < 5 dB entre chaque source particulière

[8]. Sachant qu'il s'agit bien de «situation» de dominance, c'est-à-dire d'un site pour une période particulière. En effet, un site en *dominance routière* de jour peut s'avérer basculer, dans certains cas, en *dominance ferroviaire* de nuit.

L'observation de l'évolution temporelle des L_{eq} courts par période, pour diverses situations de *dominance*, révèle alors des profils assez caractéristiques. L'analyse de la figure 1 montre trois évolutions temporelles dont les caractéristiques sont visiblement différentes : un profil de dominance routière de jour en «vagues» continues, un profil de dominance routière de nuit avec des émergences sonores discontinues et un profil de dominance ferroviaire de jour avec des émergences caractérisées par le passage d'un train.

Afin de «mesurer» ces différences, nous avons cherché à calculer des descripteurs acoustiques traduisant les caractéristiques du profil d'évolution temporelle du L_{eq} , comme par exemple le nombre, le niveau sonore *particulier* (par rapport à la durée d'apparition) et le pourcentage de temps d'émergence d'une source spécifique.

Par opposition, de récents travaux sur les données de mesures de cette enquête nationale ont mis en avant un problème de définition des situations dites de *non-dominance* [9]. Différents cas de figure peuvent être observés selon la position des voies par rapport à la façade du riverain :

- d'une part, si l'habitation est construite entre les voies routière et ferroviaire ou si celles-ci sont situées du même côté ;
- et d'autre part, de la position relative de la voie routière ou ferroviaire.

Les mesures, au travers des descripteurs acoustiques cités, permettent-elles de distinguer les situations de *non-dominance* ? Des études sont en cours pour évaluer les différences entre descripteurs acoustiques pour l'ensemble de ces diverses situations de multi-exposition, de *dominance* et *non-dominance*. La prise en compte des critères spatio-temporels, de localisation et de période, apparaît dès lors primordiale dans l'évaluation environnementale des situations multi-exposées aux bruits routier et ferroviaire. Cela nous amène à poser la question suivante : un unique indicateur, en l'occurrence le L_{eq} , comme c'est jusqu'à présent le cas, suffit-il pour caractériser des situations de multi-exposition ?

Caractéristiques temporelles des situations de multi-exposition aux bruits routier et ferroviaire

L'étude des caractéristiques temporelles pouvant intervenir dans l'évaluation de sources sonores combinées permet de progresser dans le domaine de connaissance de la gêne sonore de «court terme» et à terme la connaissance de la gêne due aux situations de multi-exposition. Afin d'évaluer les critères temporels des bruits routier et ferroviaire, nous avons mené des expérimentations en salle d'écoute semi-anéchoïque.

Expérimentations en salle d'écoute

Stimuli

Les expérimentations en salle d'écoute ont nécessité la constitution de stimuli sonores. Les 9 bandes son de 30 secondes, présentées tableau 1, sont composées de séquences sonores de trains au passage (TGV, Fret, Corail) mixés à différents types de trafic routier (avec ou sans camion). Chaque source (routière ou ferroviaire) a été enregistrée séparément à 30 mètres de distance des voies, avec un système d'acquisition Bformat (DAT 4 pistes, microphone *Soundfield*®). Les enregistrements ont ensuite été transcodés en format stéréophonique. Après mixage, tous les stimuli ont été égalisés dans la salle d'écoute en sonie dépassée 10 % du temps (N10). Afin de calculer des descripteurs acoustiques spécifiques à chaque source de bruit mixée, les signaux acoustiques ont été codés manuellement sur l'évolution temporelle des L_{Aeq} courts des stimuli sonores (comme le montre la figure 2) : après avoir codé le passage du «train», les émergences relatives au-dessus d'un seuil pour le reste du signal (équivalent à 5 dB au-dessus du bruit résiduel L_{90} et selon une identification à l'écoute) sont codées «émergences routes».

Équipement

Les sujets répondent aux questions via une interface informatique de questionnement dans une salle semi-anéchoïque. Le système stéréophonique est alors ajusté en considération de la disposition du sujet et des haut-parleurs, illustrée figure 3.

Protocole

Les sujets répondent assis face à l'interface de questionnement, à deux mètres de distance de chaque

Stimuli	Types de train au passage	Types de trafic routier	Termes figure 4
1	train régional (TER)	Route nationale avec camions	TERRN
2	TGV «duplex», 300 km/h	Autoroute avec camions	D300A6
3	train de fret	Route nationale sans camion	FRETRN
4	TGV «Atlantique», 300 km/h	Route nationale avec camions	A300RN
5	TGV «duplex», 350 km/h	Route nationale sans camion	D350RN
6	train régional (Corail)	Autoroute avec camions	Corail A6
7	train régional (TER)	Route nationale avec camions	TERRN2
8	train de marchandise	Route nationale sans camions	MarchRN
9	train de banlieue	Route nationale sans camions	BanRN

Table. 1 : Description des types de trains au passage et des trafics routiers composant les stimuli.

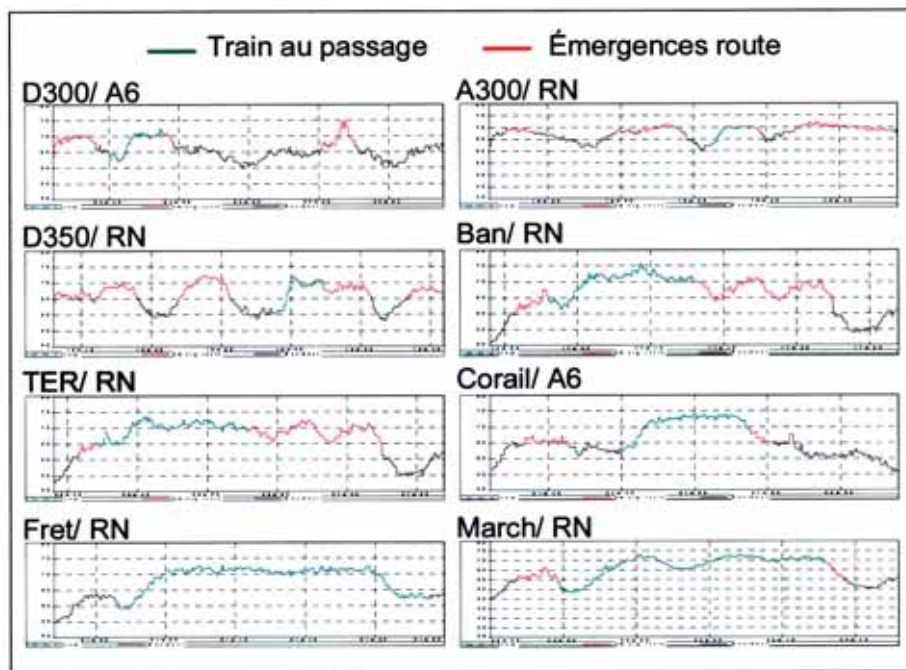


Fig. 2 : Evolution temporelle des LAeq courts de 8 stimuli sonores de 30 secondes.
Le codage vert en pointillé indique le passage du train et le trait rouge les émergences sonores des véhicules routiers au dessus d'un seuil relatif

haut-parleur. Tout d'abord, les sujets suivent une courte phase d'apprentissage pour se familiariser avec l'interface de questionnement. Chaque sujet répond ensuite seul dans la salle d'écoute. L'expérimentation se déroule en deux parties. Pour chaque partie du test d'écoute, les stimuli sonores sont présentés dans un ordre aléatoire. La première partie est constituée de questions ouvertes concernant le choix puis la description d'une séquence sonore parmi trois (stimuli 1, 2 et 3). Dans la seconde partie, les sujets répondent à diverses questions sur des critères spécifiques (pour l'ensemble des autres stimuli) : identification et labellisation de la séquence, évaluation d'échelle catégorielle sur six attributs temporels (*bref, brusque, continu, homogène, irrégulier, répétitif*) et leur appréciation relative. L'ordre de présentation des attributs temporels varie aussi de manière aléatoire. Les échelles verbales sont : pour l'évaluation *pas du tout, un peu, moyennement, assez, très* et, pour l'appréciation *insupportable, très désagréable, désagréable, supportable* ou bien *indifférent*.

Après le test d'écoute, les sujets remplissent un formulaire de renseignement sur leur propre sensibilité au bruit, la qualification de leur environnement sonore quotidien et la proximité éventuelle de leur habitation à des voies routières ou ferroviaires.

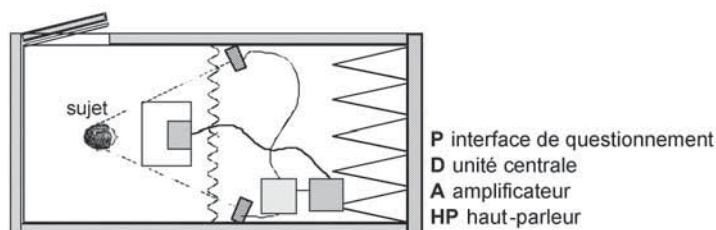


Fig. 3 : Position du sujet et description de l'équipement dans la salle d'écoute semi-anéchoïque

Sujets
37 sujets ont participé aux tests : 17 femmes et 20 hommes, âgés entre 18 et 55 ans (moyenne 30 ans). 59 % des participants se sentent concernés par les bruits quotidiens de leur environnement et très peu pratiquent des activités qui impliquent une forte exposition au bruit. 49 % pensent être exposés aux bruits chez eux, comme par exemple les bruits de transports (voiture, camion, train ou avion) ou les bruits de voisinage. L'ensemble des participants résident en banlieue parisienne : 51 % habitent ou ont habité à proximité d'une voie ferroviaire et 38 % à proximité d'une voie routière.

Résultats

Analyse acoustique des stimuli

Les descripteurs acoustiques testés sont de trois ordres : indices globaux (L_{eq} , L_{90} , écart type, barycentre spectral, acuité) et indices spécifiques (L_{eq} partiel, L_{10} spécifique, SEL, écart type, nombre, pourcentage de temps) pour les sources codées "train" ainsi que les "émergences route".

Une analyse multidimensionnelle (ACP) a été faite sur l'ensemble des descripteurs pour observer quels sont ceux qui caractérisent le plus les stimuli. La répartition des descripteurs acoustiques mesurés différencie majoritairement les séquences selon les types de trains : TGV, trains conventionnels et fret (figure 4). Ces différences sont essentiellement dues au fait du codage exclusif de différentes sources (train OU trafic routier) qui limite l'analyse des émergences du signal à deux dimensions et au type de séquences sonores testées (présentant un seul passage de train sur 30 secondes).

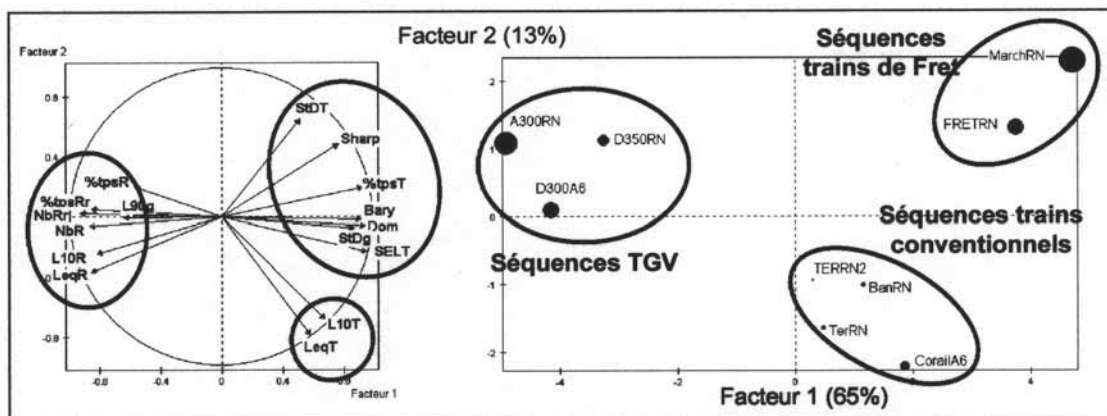


Fig. 4 : Répartition des descripteurs acoustiques sur le cercle de corrélation des facteurs 1 et 2 de l'ACP et représentation des individus sur le plan factoriel correspondant.

Analyse verbale des réponses ouvertes

Les analyses psycholinguistiques révèlent une absence de consensus : les sujets répondent autant «la plus agréable» ou «la moins agréable», «la plus bruyante» ou «la moins bruyante» pour justifier leur choix de décrire de telle ou telle séquence. Dans la diversité des commentaires, le caractère habituel *versus* inhabituel semble en revanche distinguer les séquences TER et Fret (*familiales, facile à décrire*) et la séquence TGV (*originale*). Concernant les questions d'identification et de reconnaissance, une grande majorité de sujet dit reconnaître et identifier ce qu'ils entendent. S'il n'y a pas de consensus pour s'accorder sur l'appréciation des séquences, les sujets ont majoritairement décrit des 'situations sonores : un événement (en citant plusieurs sources : *voiture, train* et même *avion*), un lieu (*quai de gare, autoroute*), à un moment donné (*passage, qui passe*). À l'écoute de stimuli constitués de sources de bruits combinés, les sujets distinguent donc chaque source de part leur énumération. Les sujets décrivent néanmoins les bruits de manière distincte : « *bruit du train qui passe à côté de la route* », « *passage du TGV près de l'autoroute* ». Le bruit ferroviaire est relaté au travers

de l'identification d'un objet sonore en mouvement alors que le bruit routier est décrit comme une caractéristique spatiale dans l'environnement. Ces deux modes de descriptions renvoient alors à des spécificités temporelles de moment et de durée différentes.

Analyses statistiques

L'analyse statistique des réponses aux questions fermées sur les attributs temporels montre une instabilité des réponses pour le jugement d'appréciation, selon l'ordre de passage de la séquence ou de l'attribut, alors que le profil de réponse pour leur évaluation reste similaire. Le jugement d'appréciation associé à l'évaluation d'un attribut varie fortement, dans un sens négatif ou positif suivant l'ordre et la séquence (se reporter figure 5). Il apparaît donc que le jugement est relatif à ce qui a été entendu avant l'évaluation de la séquence. Nous pouvons dès lors observer si une séquence est plus ou moins *brusque* mais il est délicat d'affirmer si cela est *désagréable* ou pas. Ce résultat recoupe l'absence de consensus observée en 0, traduisant la variabilité interindividuelle. Parallèlement, l'analyse des relations entre évaluation et jugement d'appréciation d'un attribut permet d'observer des

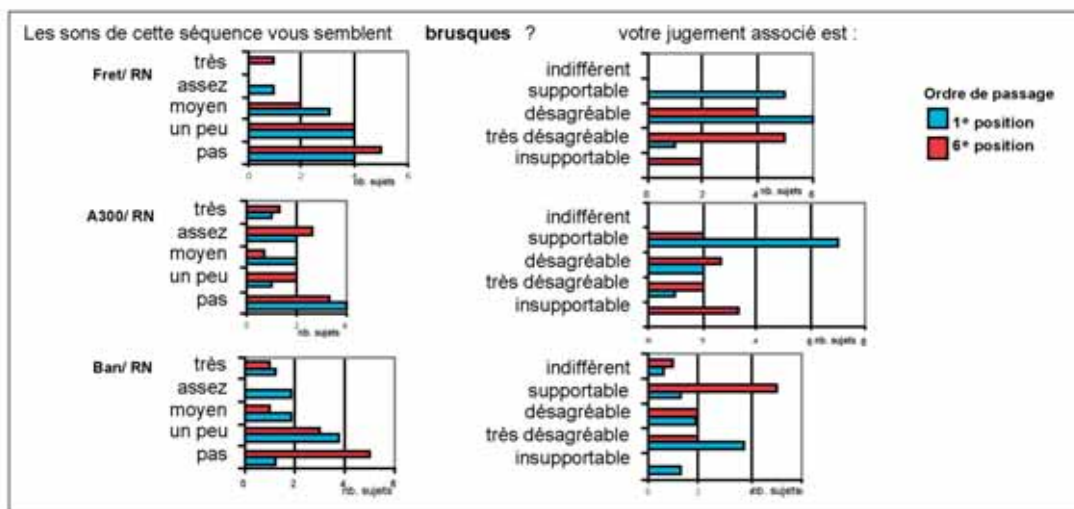


Fig. 5 : Comparaison de l'évaluation et du jugement d'appréciation de l'attribut brusque selon l'ordre de passage des stimuli pour les séquences (Fret/RN, A300/RN et Ban/RN) pour l'ensemble des sujets

divergences entre attributs décrivant des caractéristiques physiques similaires, comme par exemple *bref* versus *brusque* : la lecture de la figure 6 montre que plus c'est *bref* plus c'est *supportable* alors que plus c'est *brusque*, moins c'est *supportable*.

Enfin, les résultats des analyses multidimensionnelles sur tous les attributs montrent que les sujets distinguent les séquences majoritairement par rapport aux types de train : les séquences 4 et 5 (*pas continu*) s'opposent à l'ensemble des autres stimuli (*très continus* mais aussi *pas bref* et *pas brusque*). Compte tenu de la durée de passage des TGV pour les séquences 4 et 5, l'évaluation des sujets porte probablement sur la route, le passage du train ne devenant qu'une émergence de plus. De façon moins marquée, les séquences sont aussi différenciées selon la présence de camion ou non : les stimuli 3, 5 et 9 (sans camion) sont regroupés car jugés *peu brusque* et *peu irrégulier*.

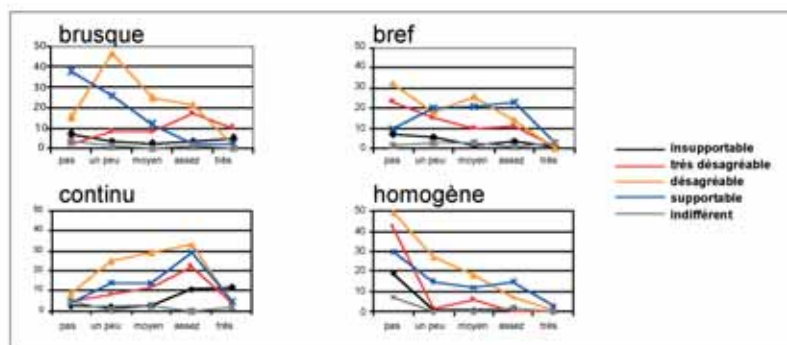


Fig. 6 : Relation entre évaluation et jugement d'attributs décrivant des caractéristiques physiques similaires.

Discussion

Du point de vue de la mesure comme des enquêtes, les aspects temporels ressortent plus marqués pour distinguer les bruits de trains. L'activité ferroviaire est en effet représentée par l'identification de source "objet" associée à une notion de mouvement alors que l'activité routière est décrite au travers des expressions liées à l'espace. La reconnaissance ou pas de bruit de camion est alors un critère de distinction de différents types de trafic. Il semble alors intéressant de développer des descripteurs (temporels et autres) pour décrire respectivement les phénomènes. Mais, l'étude des indices acoustiques descriptifs des critères temporels des émergences a révélé l'inadéquation des codages de sources portant sur l'analyse de l'évolution temporelle des L_{Aeq} . Dès lors, les descripteurs étudiés sont limités et/ou imprécis du fait même de ce codage exclusif. Enfin, l'évaluation des attributs temporels fait émerger des variations interindividuelles concernant leur jugement, ce qui est problématique quant à la contribution à l'élaboration d'indicateurs de gêne.

Conclusion

Tout d'abord, il est essentiel de rappeler les limites du codage temporel de source tel qu'il est utilisé actuellement, pour l'étude de signaux composés de sources sonores

combinées. En effet, l'évolution temporelle est codée de manière exclusive, sans possibilité d'analyse des phénomènes de masquage par exemple, ou autres interactions. Or, l'analyse d'enquête montre l'importance de la spécificité des émergences pour des sources de bruits combinés. D'autres systèmes de codage doivent être envisagés afin de mieux évaluer, du point de vue de la mesure, un "événement" sonore par rapport à un autre. Si la mesure d'émergence signifie les niveaux dépassant des seuils (fixes ou relatifs), nous devrions rechercher d'autres appellations pour caractériser les "différences" ou "dissimilarités" d'un continuum sonore et qui traduisent l'identification d'événement ou de source sonore.

Enfin, si l'aspect temporel est différemment évalué pour les bruits routier et ferroviaire, il semble alors pertinent de développer des indicateurs distincts pour chaque type de source, comme par exemple un descripteur de temps de passage (ou de présence) pour le train et un autre de répétitivité des émergences pour les bruits routiers. L'usage de deux indicateurs distincts pose-t-il problème quand à leur intégration sur le plan opérationnel ? En terme d'aménagement, cette proposition va à l'encontre du point de vue réglementaire, qui vise une uniformisation des indicateurs afin de faire aisément et de manière systématique le parallèle entre l'impact environnemental de diverses infrastructures de transport.

Références bibliographiques

- [1] A. Léobon A. Moch, État des lieux des recherches sur l'environnement, Paris, CNRS, 1993.
- [2] M.R. Schafer, The Soundscape. Our Sonic Environments and the Tuning of the World, Rochester VT, 1994.
- [3] HME. Miedema, CGM Oudshoorn, Element for a position paper on relationships between transportation noise and annoyance, TNO report PG/VGZ/00.052, Netherlands, 2000.
- [4] U. Moehler, M. Liepert, R. Schuemer, B. Griefahn, "Differences between railway and road traffic noise", Journal of Sound and Vibration, 231 (3) : 853-864, 2000.
- [5] R. Guski, U. Flesher-Suhr, R. Schuemer, "The concept of noise annoyance : how international experts see it", Journal of Sound and Vibration, 223 (4) : 513-527, 1999.
- [6] S. Kuwano, S. Namba, T. Kato, J. Hellbrueck, "Memory of loudness of sounds and its relation o overall impression", in : Forum Acusticum, Sevilla, Spain 2002.
- [7] S. Namba, S. Kuwano, T. Kato, "Relation between the image of long term noise and the perception of short term noise", in : Inter-Noise, Seogwipo, Korea 2003.
- [8] P. Champelovier, C. Cremezi-Charlet, J. Lambert, Évaluation de la gêne due à l'exposition combinée aux bruits routier et ferroviaire, Rapport de recherche INRETS n° 242, Paris, septembre 2003.
- [9] E. Walker, Gêne en situation de multi-exposition : caractéristiques temporelles du signal sonore, Univ. Pierre et Marie Curie/SNCF-DRT, Paris, Rapport de stage, septembre 2003.