

10ème Congrès Français d'Acoustique

Lyon, 12-16 Avril 2010

Bruit des transports, influence de la structure temporelle sur la gêne, les performances cognitives et le sommeil (Projet RAPS - coopération Deufrako)

F. Margiocchi¹, P. Tassi², A. Bonnefond², C. Lavandier³, J. Terroir³

¹Direction Innovation & Recherche, 45 rue de Londres, F-75379 Paris Cedex 08, florence.margiocchi@snecf.fr

²LINC, CNRS – Université de Strasbourg, 12, rue Goethe, F-67000 Strasbourg,

³LMRTE, Université de Cergy Pontoise, 5 Mail Gay Lussac, Neuville, F-95031 Cergy Pontoise Cedex

Ce projet a pour but d'améliorer l'état des connaissances concernant l'influence du bruit des transports sur le sommeil, afin de les appliquer au développement de mesures de réduction du bruit. Il se place dans le cadre d'une coopération DEUFRAKO (groupe Bruit) et est subventionné par l'ADEME pour la partie Française. Il réunit quelques spécialistes Français et Allemands majeurs du domaine. Jusqu'à présent, un certain nombre d'études ont déjà été menées concernant le bruit des avions et le bruit routier en relation avec la perturbation du sommeil, très peu concernaient le bruit ferroviaire, et ces dernières s'appuyaient alors sur des scénarios de bruit peu réalistes. Dans ce projet, la SNCF a contribué à l'établissement des scénarios les plus représentatifs de la situation réelle en croisant différents paramètres d'études (temps de montée, durée de passage, nombre de passages, alternance des systèmes de freinage dans un train de fret (fonte et composite)) et conditions de terrain telles que la distance à la voie. La partie Française de ce projet est maintenant finalisée et présentée dans cet article. D'une part, le LINC s'est consacré aux études sur le sommeil. L'analyse des effets des bruits de train nocturnes sur la structure du sommeil et les performances cognitives ainsi que leurs répercussions sur la sphère cardiovasculaire réalisée par le LINC est développé dans cet article. D'autre part, des tests concernant les performances cognitives et la gêne de court terme ont été réalisés par le LMRTE. Les expérimentations liées à la qualité sonore des passages ainsi que les résultats des tests dédiés à l'étude de l'influence des paramètres temporels sur la gêne fonctionnelle sont présentés. Les résultats portant sur le bruit ferroviaire seront comparés aux effets des bruits routier et aérien à la fin du projet en partenariat avec la partie Allemande.

1 Introduction

A ce jour, le domaine des transports fait l'objet de nombreux travaux de recherche en matière de réduction des nuisances sonores. Le déploiement des problématiques environnementales à l'échelle européenne et même mondiale, la création de nouvelles infrastructures et de nouveaux types de moyens de transports impliquent une remise en question régulière des acquis et du traitement des nuisances sonores. Ils posent également la question de leur optimisation ou de leur renouvellement dans certains cas.

Les nuisances produites par les bruits routiers et les bruits aériens sont les principales nuisances citées par les populations consultées. Elles font d'ailleurs l'objet de nombreuses publications et de réglementations. Le bruit ferroviaire est quant à lui peu présent dans les publications et peu cité dans les études de terrain. Cependant, dans le contexte d'un essor des politiques du développement durable au sein des collectivités et de l'Etat, le train, peu polluant, apparaît comme étant le moyen de transport majeur du futur. Aussi, le trafic ferroviaire est amené à s'accroître dans les prochaines années. Afin de prévenir les désagréments et les gênes provoquées par un plus grand nombre de passages de trains ou la construction de nouvelles lignes, de nouvelles études ont été planifiées notamment au sein de ce projet PREDIT.

Le projet PREDIT/DEUFRAKO est un projet de coopération franco-allemand dans le domaine des transports terrestres. Il rassemble des acteurs de l'industrie, des

instituts de recherche ainsi que des établissements de l'enseignement supérieur. Il a été proposé suite à l'appel à projets sur le thème "Bruit et Santé - impacts énergétiques et environnementaux des transports". En 2006 a débuté un travail sur le sujet suivant : "Bruit des transports, influence de la structure temporelle sur la gêne, la performance cognitive et le sommeil". Ce projet piloté par la SNCF pour la partie française regroupe les laboratoires suivants :

- LINC, Strasbourg.
- LMRTE, Cergy-Pontoise.

Et pour la partie allemande :

- CUE (Catholic University Eichstätt-Ingolstadt),
- Deutsche Bahn, München.
- DLR, Cologne.
- Ifado, Dortmund.

Le but est d'améliorer l'état des connaissances concernant l'influence du bruit des transports sur le sommeil et l'activité journalière afin de les appliquer ultérieurement au développement de mesures de réduction du bruit.

Dans un premier temps, la SNCF a défini les scénarii les plus représentatifs de situations réelles des trafics ferroviaires français et allemands en croisant différents paramètres d'étude préalablement sélectionnés. Dans un deuxième temps l'étude des performances cognitives et de la gêne a été réalisée par le LMRTE et la CUE. Les études sur le sommeil ont quant à elles été traitées par l'Ifado et le LINC qui s'est tout particulièrement intéressé à l'effet du

nombre de passages à travers des expériences en laboratoire.

Les résultats sur le bruit ferroviaire seront comparés aux effets des bruits routier et aérien à la fin du projet

Le projet a démarré en avril 2006 côté français et en janvier 2007 côté allemand.

En résumé, le présent projet de recherche a pour but de répondre à plusieurs questions préliminaires fondamentales sur la nature des perturbations (à la fois sur le plan objectif (sommeil, sphère cardiovasculaire et performances cognitives le lendemain) et sur le plan subjectif (gêne ressentie) provoquées par des bruits de train, selon les caractéristiques physiques du bruit.

2 Développement des scénarios de bruit

Dans un premier temps ont été établis par la SNCF des scénarios bruit les plus représentatifs de la situation réelle le long des lignes ferroviaires françaises en croisant différents paramètres d'études (temps de montée, durée de passage, nombre de passages, alternance des systèmes de freinage dans un train de fret (fonte et composite)) et conditions de terrain telles que la distance à la voie.

3 Influence de la structure temporelle des passages de trains sur la qualité sonore et la gêne fonctionnelle

3.1 Qualité sonore des passages

Dans un premier temps, l'objectif du LMRTE a été de caractériser perceptivement les passages de différents types de trains et de porter une attention particulière aux dimensions perceptives temporelles. La qualité sonore des passages a été étudiée afin d'identifier quelles informations étaient perçues et dans quelle mesure celles-ci avaient une influence sur les choix des sujets.

Méthodologie : Un corpus de 24 stimuli de longueur égale et ne contenant chacun qu'un unique passage a été construit. Lors de l'enregistrement des signaux, deux paramètres variables ont été retenus : le type de train (Corail, Fret, TER, TGV) et la distance de mesure (7.5m, 50m et 100m), les propriétés spectrales et temporelles variant en fonction de ces deux paramètres. Les signaux ont été enregistrés en champ libre. La vitesse des passages est constante et dépendante du type de train (Corail/TGV : 160km/h ; Fret : 100km/h ; TER : 140km/h). Les sites ont été sélectionnés afin de minimiser les effets de l'environnement (effet de sol etc.).

Le niveau étant fortement lié au désagrément [Fastl:90], les 12 stimuli ont été normalisés par rapport au niveau L_{Aeq} . Une variation de niveau faible a ensuite été introduite afin de comparer l'influence celui-ci à celles d'autres effets perceptifs: de nouvelles versions des enregistrements normalisés ont été créées en augmentant le niveau moyen de 2dB, avant d'être intégrées au corpus.

L'évaluation des stimuli a été effectuée via un test perceptif basé sur la méthode des comparaisons par paires utilisée dans de nombreuses études (cf. par exemple

[Parizet:05]) : les sujets devaient estimer la dissimilarité entre les signaux, indiquer leur préférence et expliquer verbalement leur choix.

Pour chaque test, seule une partie du corpus complet était utilisée. Quatre sous-groupes étaient dédiés à une unique catégorie de train pour les 3 distances de mesure. Le cinquième sous-groupe a permis l'étude croisée de toutes les catégories à 50m et 100m. L'étude pour les trains TGV est détaillée au sein des actes de ce congrès [CFA2010/66].

Conclusions : Après analyse des résultats (INDSCAL, corrélation, étude linguistique, échelle de préférence etc.), il en ressort que : (1) la dimension perceptive la plus importante est liée aux fluctuations dues au passage des différents wagons. Elle explique les différences entendues entre les sons enregistrés à 7m50 et les autres; (2) les variations de niveau sonore sont bien perçues (même si de fortes fluctuations peuvent les rendre moins évidentes) mais ne masquent pas les autres effets temporels ou spectraux; (3) il peut y avoir confusion entre variations de niveau et variations temporelles (temps de passage, soudaineté de l'arrivée) ou spectrales, les sujets pouvant assimiler l'une à l'autre; (4) aucun consensus n'apparaît lorsqu'il s'agit de déterminer si la longueur est préférée à la soudaineté (et inversement). Certains sujets qualifient un passage de "rapide" (adjectif positif) alors que d'autres le définissent comme "brutal" (négatif). De la même manière, certains focaliseront sur le côté "progressif" (adjectif positif) tandis que d'autres sur l'aspect "lent" (négatif); (5) l'étude du désagrément sonore montre que l'aspect spectral demeure secondaire par rapport à la force sonore ou aux aspects temporels.

3.2 Impact des effets temporels sur la gêne fonctionnelle

Dans un second temps, l'impact de la répétition des passages de train sur la gêne fonctionnelle en période de soirée et fenêtres entrouvertes a été étudié.

Méthodologie : Afin de se placer dans un contexte sonore réaliste, chaque scénario d'une heure est constitué d'un bruit de fond routier continu et de différents passages de trains (issus des enregistrements utilisés pour les tests de qualité sonore). Les sujets sont alors dans une situation de multi-exposition. Pour la construction de ces scénarios, trois paramètres variables ont été retenus : nombre de passages, distance et état de dominance. Pour les mêmes raisons que précédemment, les scénarios ont été normalisés par rapport au niveau L_{Aeq} .

Une étude sur le trafic ferroviaire français en soirée a permis de détailler le nombre de passages moyen pour chaque catégorie de train sur la période 18h–22h [Cremezy:07]. Rapportées à une heure, deux densités de trafic ont été retenues : 10 événements par heure (6 Corail + 2 Fret + 1 TER + 1 TGV) ou 20 (12 Corail + 4 Fret + 2 TER + 2 TGV).

Les enregistrements à 7.5m étant fortement distincts des autres distances (cf. paragraphe 3.1), seuls les passages capturés à 50m et 100m ont été conservés: l'effet de la soudaineté de l'arrivée peut être perçu, alors que les fluctuations dues aux passages des wagons sont moindres. La distance va également influencer sur la longueur du passage et la répartition de l'énergie en fréquence.

L'aspect « perturbateur » des passages pouvant être corrélé à la gêne [Beaumont:05], l'émergence des passages

par rapport au bruit de fond a été incluse comme troisième paramètre variable. La dominance du trafic ferroviaire par rapport au trafic routier [Champelovier:03] a donc été prise en compte. En situation de dominance, on a alors : $L_{Aeq}^{Trains} = L_{Aeq}^{Bruit\ de\ fond} + 6\ dB(A)$; en situation de non-dominance : $L_{Aeq}^{Trains} = L_{Aeq}^{Bruit\ de\ fond} + 3\ dB(A)$.

Durant les tests, les sujets étaient mis en situation de repos et invités à effectuer une activité de lecture dans une salle pseudo-anéchoïque. A l'issue de la séance, les participants devaient évaluer la gêne due à l'environnement sonore pour effectuer leur lecture. Cette évaluation a été faite selon deux échelles : une échelle relative d'estimation de grandeur (« Dans quelle mesure avez-vous été gêné par l'environnement sonore ? Deux fois plus ? Trois fois plus ? Etc. ») et une échelle absolue des catégories allant de 0 (pas du tout gêné) à 50 (extrêmement gêné). Seule l'échelle des catégories a permis d'obtenir des résultats significatifs pour les 8 séquences construites.

Conclusions : La distribution des réponses ainsi que des analyses de variances ont été effectuées afin d'étudier les réponses des sujets. Il apparaît alors que : (1) plus il y a de passages, moins les sujets sont gênés. Ceci peut s'expliquer par le fait que, le niveau global étant maintenu constant, les valeurs de niveau de pics sont moins élevées lorsqu'il y a un trafic plus dense ; (2) les situations de non-dominances sont généralement préférées. Les sujets rejettent les trains lorsqu'ils deviennent éléments perturbateur du continuum sonore ; (3) il existe une interaction entre la dominance et les autres variables. Les sujets vont alors adopter des stratégies distinctes en fonction de celle-ci.

En situation de dominance, l'aspect soudain et événementiel du passage va impliquer une augmentation de la gêne en dépit d'un temps de passage réduit. Ainsi, à niveau global constant, plus les participants sont proches des voies, plus ils sont gênés. En situation de non-dominance, la longueur des passages va influencer la gêne : l'émergence étant réduite, les trains sont plus facilement associés au bruit de fond. Ce dernier va ainsi devenir plus perturbant et la gêne augmenter avec l'éloignement des voies (à niveau global constant).

L'opposition soudaineté/longueur apparaît à nouveau. Nous retrouvons ici les différentes stratégies d'écoute déjà observées lors de l'évaluation de la qualité sonore (paragraphe 3.1). Certains sujets focalisent leur attention sur la soudaineté de l'arrivée, tandis que d'autres se concentrent sur la longueur du passage. La mise en situation sonore avec plusieurs contextes d'écoute permet alors de mieux comprendre sur quel(s) aspect(s) temporel(s) les participants se basent pour évaluer leur niveau de gêne fonctionnelle.

3.3 Discussion

Dans cette étude, l'utilisation de stimuli enregistrés in situ implique une limitation directement due à la corrélation naturelle entre les diverses caractéristiques des signaux (distance par rapport aux voies, soudaineté de l'arrivée, durée du passage, spectre etc.). Il serait intéressant de poursuivre ce travail en utilisant des stimuli de synthèse. Les différentes propriétés pourraient être décorréées et leur impact être évalué de manière indépendante. Nous pourrions alors associer un seul aspect perceptif à une seule grandeur acoustique.

Durant cette étude, nous avons été confrontés au manque de pertinence de certains outils psychoacoustiques quant à la caractérisation de phénomènes temporellement variables. Il est donc nécessaire de persévérer dans le développement d'outils visant à la caractérisation de ces phénomènes afin de définir, par exemple, un indicateur robuste et représentatif du rythme associé au passage des wagons.

Enfin, afin d'accroître la significativité statistique de l'étude, il serait judicieux de construire des tests où chaque sujet écouterait toutes les séquences sonores. On limiterait ainsi la variabilité interindividuelle, mais on introduirait également un effet d'habituation au test. De plus, il serait possible de mesurer l'effet de l'environnement sonore sur la performance, non pas en termes de nombre de réponses correctes (qui semble être indépendant de la charge sonore), mais en terme de temps de réponses (ou de lecture). En effet, un ralentissement pourrait apparaître sous l'effet des passages, comme suggéré par certains sujets (« Le passage des trains m'a fait sortir de la lecture et m'a déconcentré » ; « L'oreille est attiré par les bruits de train et de ce fait, la concentration s'en trouve gênée », etc.).

4 Perturbations du sommeil liées au bruit de transport

De façon générale, cette dernière partie menée par le LINC a montré que les bruits de trains nocturnes lorsqu'ils sont administrés de façon ponctuelle, ont peu d'effet sur la structure du sommeil et les performances cognitives le lendemain, mais que l'exposition permanente au bruit de train nocturne produit des effets délétères sur les performances cognitives.

4.1 Matériel et Méthodes

L'étude a porté sur 2 groupes de 20 sujets (hommes et femmes) répartis selon leur âge : un groupe de sujets jeunes (20-30 ans : 26.2 ans $\pm$ 3.6 ans) appelé Groupe Junior, et un groupe de sujets d'âge moyen (45-60 ans : 56.2 ans $\pm$ 4.2 ans) appelé Groupe Senior. Chacun de ces groupes était à son tour divisé en deux sous-groupes, habitant soit à proximité d'une voie ferrée (environnement bruyant) soit dans une zone calme (environnement calme). Le recrutement des sujets en zone bruyante s'est fait grâce à la SNCF pour sélectionner les portions de voies présentant un trafic ferroviaire nocturne moyen de 25 à 30 trains de fret par nuit.

L'étude a été effectuée en 2 temps : une étude sur le terrain comprenant 3 nuits consécutives d'enregistrement actigraphique (et des questionnaires subjectifs : gêne liée aux nuisances sonores, perception subjective et somnolence, ...), et une étude en laboratoire comprenant 4 nuits non consécutives espacées d'environ une semaine chacune (nuit d'habituation, nuit de contrôle, nuit à faible densité (30 trains/nuit), nuit à forte densité (60 trains/nuit)). Les nuits au laboratoire étaient toutes suivies d'une journée complète dédiée à la réalisation itérative de différentes tâches cognitives accompagnée de mesures subjectives. Les mêmes sujets ont participé aux deux temps de cette étude.

Des enregistrements électrophysiologiques ont été réalisés durant les nuits expérimentales (EEG, EOG, EMG, ECG). Et ensuite chaque session de tests des performances cognitives comprenait, outre les questionnaires subjectifs (déjà utilisés dans la première phase à domicile), trois tâches attentionnelles très sensibles aux effets d'une privation, même partielle de sommeil :

- l'ANT (Attentional Network task) (Fan et al., 2002)
- la PVT (Psychomotor Vigilance Task) (Dinges & Powell, 1985)



Figure 2 : Etude en laboratoire

4.2 Analyse des résultats

Les bruits de train nocturnes engendrent une augmentation des éveils et méveils proportionnelle à la densité du trafic. Les sujets décrivent une impression de mauvaise qualité de la nuit qui s'exprime sur le plan subjectif par une augmentation des plaintes en matière de stress et de nuit difficile. C'est essentiellement sur le plan cardiovasculaire que les effets de la nuisance sonore se font ressentir, avec en particulier une augmentation du pourcentage de réponse cardiovasculaire et de l'amplitude de ces réponses. Néanmoins, il semblerait que le facteur important ne soit pas tant la densité du trafic, et donc la fréquence des passages de train, que l'intensité sonore des trains comme en atteste l'effet plus délétère de la nuit à faible trafic (mais à intensité sonore supérieure par train) par rapport à la nuit à trafic élevé.

Cette étude a également montré que l'âge en soi se traduisait, comme beaucoup d'autres études l'ont montré, par une détérioration de la qualité du sommeil avec en particulier un allègement de celui-ci marqué par une augmentation des stades les plus légers et une diminution des stades de sommeil lent profond, une augmentation de sa fragmentation et de son instabilité en terme de nombre de changements de stade. En revanche, contrairement à la majorité des études, les performances cognitives le lendemain n'étaient pas très déficitaires chez les seniors. Mais ceci pourrait être le résultat non de meilleures performances dans ce groupe de senior particulier, que de moins bonnes performances des sujets jeunes. En effet, l'évaluation objective de la pression diurne de sommeil par l'EEG de veille a montré clairement que les sujets jeunes présentaient des densités spectrales de puissance supérieures aux seniors, ce qui traduit une somnolence plus importante, et donc une plus grande sensibilité des sujets jeunes aux nuisances sonores nocturnes.

Toutefois, le résultat le plus marquant de cette étude provient de la différence observée entre les sujets vivant à proximité d'une voie ferrée par rapport à ceux vivant en

zone calme. Il apparaît que ces sujets, quel que soit leur âge, présentent de façon générale, des performances déficitaires essentiellement au niveau des temps de réaction et donc de la rapidité du traitement de l'information.

Ceci pourrait être le signe d'un déficit chronique de sommeil. Or, l'examen de leur structure du sommeil fait clairement apparaître que lorsqu'ils sont évalués en laboratoire, les sujets vivant normalement à proximité d'une voie ferrée ont un sommeil plus profond que ceux qui vivent en zone calme ce qui traduit vraisemblablement un phénomène de compensation lié à une dette chronique de sommeil associée à une habitude comportementale au bruit se traduisant par une forme de désensibilisation.

De plus, ces sujets se distinguent également sur le plan cardiovasculaire. La réactivité cardiovasculaire est très nettement diminuée chez les seniors vivant en zone bruyante par rapport aux seniors vivant en zone calme. Au contraire, parmi les juniors, ceux vivant en zone bruyante présentent une réactivité cardiovasculaire très supérieure à ceux vivant en zone calme. Tout se passe donc comme si à court terme, l'exposition chronique au bruit produisait une hypersensibilisation du système végétatif au bruit, alors qu'avec le temps, et contrairement à ce qui avait été suggéré par de précédentes études, on assiste à une habitude se traduisant par une réactivité extrêmement diminuée. En effet, même s'il est connu que la réactivité cardiovasculaire diminue considérablement avec l'âge en raison probablement du vieillissement des artères, ceci n'expliquerait pas pourquoi il existe une différence aussi nette entre les deux groupes de seniors.

4.3 Conclusion

Les résultats obtenus dans cette étude montrent que, les bruits de train ont des répercussions à la fois sur la structure du sommeil et la sphère cardiovasculaire. Pourtant, pour de multiples raisons, à la fois économiques et écologiques, le fret ferroviaire semble recueillir la faveur non seulement des pouvoirs publics, mais également de l'opinion pour le remplacement progressif du transport de marchandises par voie routière. Il est certain qu'au moins du point de vue de la qualité de l'air et de la dangerosité liée à l'accidentologie, le trafic ferroviaire présente de nombreux avantages comparé au trafic routier.

4 Conclusion générale

Le LMRTE a étudié la qualité sonore des passages de trains et leur influence sur la gêne fonctionnelle. Le LINC a quant à lui analysé l'effet des bruits de trains nocturnes sur la structure du sommeil et les performances cognitives, ainsi que leurs répercussions sur la sphère cardiovasculaire. La SNCF a fourni les données de trafic pour définir les scénarii les plus représentatifs de situations réelles actuelles et futurs (trafic doublé), a apporté son expertise ferroviaire dans la mise en place des méthodologies et a contribué aux discussions sur l'analyse des résultats.

En ce qui concerne la qualité sonore, les fluctuations (le rythme) apparaissent comme la dimension perceptive la plus importante. Celles-ci sont essentiellement présentes pour les enregistrements à 7.5m des voies, qui reste au demeurant une configuration peu représentative de la réalité

des riverains. A 50 et 100m des voies, les fluctuations étant faibles, la longueur et la soudaineté deviennent des aspects discriminatoires, l'aspect spectral apparaissant systématiquement secondaire comparé à la force sonore ou aux aspects temporels. L'étude sur la gêne fonctionnelle a montré que le niveau de pic avait une influence significative sur celle-ci. Et surtout que la dominance (ou son absence) des passages avait une influence sur les stratégies de perception des sujets. Ainsi, en situation de dominance, l'aspect brutal et événementiel va être directement lié à la gêne rapportée (et ce, en dépit d'un temps de passage réduit). En situation de non-dominance, les passages longs vont donner l'impression d'amplifier le bruit de fond continu et par conséquent accentuer la gêne. L'émergence apparaît donc comme critique dans le ressenti de la gêne liée aux passages de trains. Ces travaux, dans une perspective post projet, nécessiteraient d'être approfondis notamment en décorrélant les caractéristiques du signal (utilisation de signaux synthétisés).

Le LINC a quant à lui travaillé sur les bruits de train nocturnes et montré que lorsqu'ils sont administrés de façon ponctuelle, ils ont peu d'effet sur la structure du sommeil et les performances cognitives le lendemain. Il reste cependant chez les sujets une impression de mauvaise qualité de la nuit qui s'exprime sur le plan subjectif par une augmentation des plaintes en matière de stress et de nuit difficile.

C'est essentiellement sur le plan cardiovasculaire que les effets de la nuisance sonore se font ressentir avec principalement un effet de l'intensité sonore des trains (nuit à faible trafic / nuit à trafic élevé).

Une différence est observée entre les sujets vivant à proximité d'une voie ferrée par rapport à ceux vivant en zone calme. Il apparaît que ces sujets, quel que soit leur âge, présentent de façon générale, des performances déficitaires essentiellement au niveau des temps de réaction et donc de la rapidité du traitement de l'information.

De façon générale, l'étude a permis de montrer que les bruits de train, tout en étant généralement considérés comme inoffensifs ou relativement écologiques, présentent malgré tout des effets dont il conviendra de tenir compte si l'on souhaite développer davantage le fret ferroviaire.

En particulier, à long terme, l'exposition permanente à des bruits de train nocturnes semble occasionner un certain nombre de modifications sur le plan cognitif, mais également au niveau de la réactivité cardiovasculaire au bruit. Ces modifications psychophysiologiques pourraient entraîner à leur tour, des effets délétères à étudier par la suite.

On préconise alors la mise en place des dispositifs anti-bruit adéquats (réduction à la source et réduction de la propagation) pour limiter les nuisances psychophysiologiques pointées dans cette étude et continuer à conforter ce mode de transport comme celui qui présente le « bonus » majeur sur le plan de la santé comme sur celui de l'économie ou de l'écologie.

Enfin, les prochains échanges prévus avec les équipes allemandes du projet compléteront et enrichiront les analyses et conclusions présentées ici. En effet, les travaux réalisés par les équipes françaises ne concernent que le mode de transport ferroviaire, opposant un environnement calme à un environnement en bordure de voie ferrée. Les laboratoires allemands travaillent sur l'ensemble des bruits

de transports : bruit routier, aérien et ferroviaire. Leurs travaux permettront de comparer et mettre en perspective les effets relatifs à chaque mode de transports. De plus l'ensemble des résultats reposera sur un panel de riverains d'infrastructures de transports plus important et dans des situations plus variées. Le recul technique par rapport à l'ensemble des résultats sera d'autant plus riche d'enseignements. Une étude d'une telle envergure n'avait jamais été menée jusqu'à présent sur le bruit ferroviaire, en partenariat avec des exploitants ferroviaires. L'ensemble des expérimentations réalisées dans ce projet a permis d'acquérir une quantité de données très importante, d'autres méthodes de dépouillement et d'analyse pourront par la suite être mises en oeuvre.

Remerciements

Ce projet bénéficie du cadre d'une coopération DEUFRAKO (groupe Bruit) et est subventionné par l'ADEME pour la partie Française. On remerciera tout particulièrement l'ensemble des partenaires du projet et les sujets qui ont participé aux expérimentations et qui ont permis la réalisation de ces études.

Références

[Champelovier:03] Champelovier P., Cremezy-Charlet C., Lambert J., "Evaluation de la gêne due à l'exposition combinée aux bruits routier et ferroviaire", *Les Collections de L'INRETS* (2003).

[Cremezy:07] Cremezy-Charlet C., "Projet DEUFRAKO : Bruit des transports, influence de la structure temporelle sur la gêne, la performance cognitive et le sommeil. Trafics en période de soirée", *Rapport interne SNCF* (2007).

[Fastl:90] Fastl H., Widmann U., "Technical note: Subjective and physical evaluation of aircraft noise", *Noise Control Engineering Journal*, 35(2), 61–63 (1990).

[Parizet:05] Parizet E. et al., "Comparison of some listening test methods : a case study", *Acta Acustica* 91(2), 356–364, (2005).

[CFA2010/66] Terroir J., Lavandier C., "Qualité sonore des trains TGV : influence des facteurs perceptifs – analyse multidimensionnelle et préférentielle", *CFA 2010, Lyon* (2010)

[Beaumont:05] Beaumont J., Semidor C., "Eventdescriptors for qualifying the urban sound environment", EAA European Acoustics Association: Forum Acusticum, Budapest, Hungary (2005).

Dinges, D.F., Powell, J.W., 1985. Microcomputer analysis of performance on a portable, simple visual RT task during sustained operations. *Behav Res Meth Instr Comp* 17, 652-655.

Fan, J., McCandliss, B.D., Sommer, T., Raz, A., Posner, M.I., 2002. Testing the efficiency and independance of attentional networks. *Journal of Cognitive Neuroscience* 14(3), 340-347.