

# Les effets du bruit des trains sur l'homme : un état des connaissances

Jacques Lambert

INRETS-LTE

25, avenue François Mitterrand

69500 BRON

E-mail : [lambert@inrets.fr](mailto:lambert@inrets.fr)

*Le bruit des trains affecte environ 3 % de la population européenne soit huit fois moins que le bruit routier. Les effets sur l'homme sont principalement la gêne psychologique, les effets sur le sommeil ainsi que les perturbations de l'intelligibilité. On dispose de relations dose-réponse liées à des expositions de long terme qui s'appuient sur des descripteurs acoustiques tels que le Leq ou ses dérivés comme le LDEN. Bien d'autres facteurs (non-acoustiques) interviennent cependant dans la réaction humaine au bruit des trains. De nouvelles questions sont posées depuis quelques années par les situations d'exposition à des sources combinées (rail + route par exemple).*

## Exposition au bruit

Selon les enquêtes permanentes du Centre de recherche pour l'étude et l'observation des conditions de vie (CREDOC) [1], 35 à 40 % de la population française se déclarent gênés par les bruits à leur domicile. Principales sources de gêne : les moyens de transport (55 %) - et plus particulièrement les deux-roues motorisés (19 %), les automobiles (17 %) et les poids lourds (11 %) - ainsi que les voisins (27 %). Mais le bruit des trains ne gêne que 1,5 à 2 % de la population française. Dans l'Union Européenne, compte tenu du nombre de véhicules en circulation, le trafic routier est la principale source de gêne due au bruit. On considère grossièrement qu'il affecte entre 20 et 25 % de la population européenne, alors que le bruit ferroviaire ne gêne qu'entre 2 et 4 % des Européens, soit 6 à 13 fois moins [2].

## Une multiplicité d'effets

Les effets du bruit en général sont nombreux. Pour ce qui concerne le bruit des trains, les principaux sont la gêne psychologique, les effets sur le sommeil ainsi que les perturbations de l'intelligibilité de la parole.

## La gêne psychologique

Parmi l'ensemble des effets du bruit des trains, la gêne est probablement l'effet qui a été le plus étudié (58 enquêtes recensées entre 1969 et 2000), mais aussi le plus utilisé sur le plan opérationnel, en particulier pour

définir des réglementations visant à protéger les riverains du bruit des infrastructures ferroviaires.

### Quelques définitions

On notera la définition de la gêne proposée par l'OMS (Organisation Mondiale de la Santé) [3] : «La gêne peut se définir comme une sensation de désagrément, de déplaisir provoquée par un facteur de l'environnement (le bruit) dont l'individu (ou le groupe) connaît ou imagine le pouvoir d'affecter sa santé». Sa signification varie considérablement selon les experts [4]. On considère néanmoins que la gêne psychologique est la sensation perceptive et affective exprimée par les personnes soumises au bruit, alors que la bruyance n'est qu'une sensation perceptive. Sont souvent associées au concept de gêne, les interférences avec les activités au quotidien (conversation, écoute télévision ou radio, lecture, repos, sommeil...), mais aussi les désagréments et plus généralement l'insatisfaction vis-à-vis des conditions de vie.

Les composantes psychosociologiques de la gêne sont complexes, si bien que l'on peut considérer la gêne due au bruit à la fois comme une réaction émotionnelle mais aussi comme le résultat de perturbations des activités au quotidien et même comme révélateur d'une attitude vis-à-vis de la source de bruit. Dans les situations de terrain, la gêne représente une expression globale témoignant des effets ressentis par les personnes exposées et donc, une indication que le bruit est un problème et que la qualité de vie en est affectée, en témoignent les comportements réactifs volontaires (augmentation du volume sonore

de la TV par exemple) ou involontaires (sursaut, réveils nocturnes...), mais aussi les comportements d'adaptation (fermeture des fenêtres, modification de l'usage du logement, insonorisation, déménagement par exemple) visant à limiter, voire supprimer la gêne ressentie [5].

On distingue actuellement au moins deux types de gêne : la gêne instantanée et la gêne de long terme. Ces deux notions se différencient de par leur dimension temporelle. La gêne instantanée résulte de la perception d'un événement sonore qui vient perturber l'activité d'une personne pendant quelques secondes (passage d'un TGV par exemple), voire quelques minutes (passage d'un train de marchandises, par exemple). La gêne de long terme est, quant à elle, construite à partir du vécu du bruit sur longue période. Elle représente ainsi une réaction psychologique globale et durable liée à la perception du bruit auquel est soumise une personne sur plusieurs mois ; elle constitue ainsi un bon indicateur des effets chroniques du bruit perçus. Il existe évidemment une relation entre gêne instantanée et gêne de long terme, notamment à travers le nombre d'événements perçus comme gênants. Mais cette relation est plus complexe qu'il n'y paraît. Des travaux de recherche seraient nécessaires pour mieux comprendre cette relation.

Cette distinction est importante sur le plan opérationnel, notamment réglementaire. Bon nombre d'incompréhensions, voire de conflits entre riverains d'infrastructures ferroviaires et aménageurs proviennent souvent de la confusion entre ces deux notions : les premiers évoquent souvent l'intensité du bruit au passage des trains et donc des niveaux de bruit maximum ( $L_{Amax}$ ) ou des émergences, les deuxièmes évoquent les niveaux réglementaires exprimés en  $L_{Aeq}$  sur longue période qui intègrent de façon « moyennée » l'intensité du bruit au passage des trains et le nombre de trains. En tout état de cause, un effort d'explication est nécessaire dans ce domaine, car pour protéger durablement les riverains du bruit de nouvelles infrastructures ferroviaires, le nombre d'événements est aussi important que l'intensité au passage [5].

**Une grande variété de descripteurs**

Depuis de longues années, une des questions qui a le plus préoccupé la communauté scientifique dans le domaine de la psychologie du bruit a été la recherche des indices acoustiques les plus représentatifs de la gêne (instantanée ou à long terme). Ces indices appelés aussi « descripteurs acoustiques » sont potentiellement nombreux : indices énergétiques ( $L_{Aeq}$  et ses dérivés comme le  $L_{DEN}$ ), indices statistiques ( $L_{10}$ ,  $L_{50}$ ...), indices de crête ( $L_{Amax}$ ), indices d'événement (SEL - Sound Exposure Level - ou NNE - Number of Noise Events). Il est à noter aussi qu'une proportion importante de composantes en basse fréquence peut augmenter considérablement la gêne.

Si la gêne est affectée à la fois par le niveau sonore équivalent, le niveau de bruit le plus élevé et le nombre d'événements, il n'en reste pas moins vrai que depuis quelques années déjà le  $L_{Aeq}$  (indice énergétique équivalent pondéré A) est l'indice acoustique le plus utilisé au plan réglementaire et opérationnel dans le domaine du bruit ferroviaire et cela dans le monde entier. En complément

au  $L_{Aeq}$ , certains pays utilisent le  $L_{Amax}$  (Danemark, Norvège, Suède, Japon par exemple) afin de prendre en compte les effets du bruit des trains sur le sommeil.

Dans sa Directive sur le bruit [6], la Commission Européenne a retenu, pour les bruits de l'ensemble des moyens de transport et donc le bruit des trains, le  $L_{DEN}$  (Leq Day-Evening-Night) pour la période de 24 heures et, de façon plus spécifique, pour la période nocturne, le  $L_{Aeq}$  (8 heures). Le  $L_{DEN}$  est défini comme le niveau énergétique moyen sur la période de 24 heures, divisée en 3 sous-périodes pour lesquelles on applique des « pénalités » (5 dB (A) pour la soirée, 10 dB (A) pour la nuit). Sa formule est la suivante :

$$L_{DEN} = 10 \lg \left[ \left( \frac{12}{24} \right) \cdot 10^{L_{D/10}} + \left( \frac{4}{24} \right) \cdot 10^{(L_{E+5})/10} + \left( \frac{8}{24} \right) \cdot 10^{(L_{N+10})/10} \right] \quad (1)$$

**Les relations dose-réponse**

Les descripteurs acoustiques sont utilisés pour établir des relations dose-réponse, en particulier entre niveau d'exposition au bruit et niveau de gêne de long terme. Ces relations permettent d'estimer, par exemple, le pourcentage de personnes gênées ou très gênées en fonction du niveau sonore [7], soit pour le bruit ferroviaire :

$$\% \text{ Gêné} = 4,538 \cdot 10^{-4} (LDEN-37)^3 + 9,482 \cdot 10^{-3} (LDEN-37)^2 + 0,2129 (LDEN-37) \quad (2)$$

$$\% \text{ Très Gêné} = 7,239 \cdot 10^{-4} (LDEN-42)^3 - 7,851 \cdot 10^{-3} (LDEN-42)^2 + 0,1695 (LDEN-42) \quad (3)$$

Ces relations confirment en particulier la moindre gêne due au bruit ferroviaire par rapport au bruit routier (figure 1) pour un même niveau d'exposition au bruit. Ces différences entre modes s'expliquent non seulement par les facteurs acoustiques, mais aussi par des facteurs non-acoustiques.

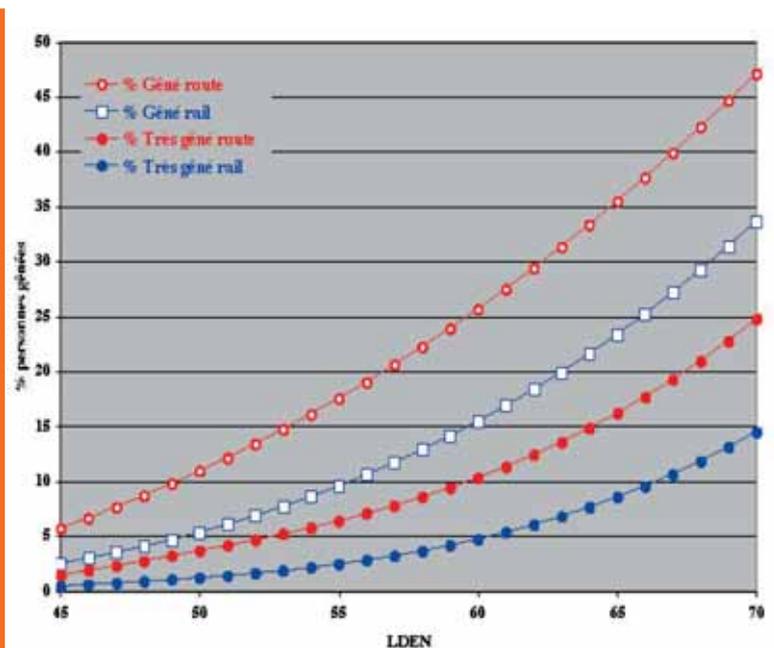


Fig 1 : Relations exposition au bruit – gêne pour le rail et la route

### Les facteurs de modulation de la gêne

Toutes les enquêtes socio-acoustiques ont montré que la gêne n'était déterminée (ou expliquée) que très partiellement par les facteurs acoustiques. En effet, les corrélations entre niveaux d'exposition au bruit et gêne exprimée sont plutôt faibles (généralement  $r^2$  entre 0.1 et 0.3), ce qui signifie que bien d'autres facteurs interviennent de façon prépondérante dans la construction de la gêne. De ce fait, les indices de bruit utilisés («noise metrics»), quels qu'ils soient, ne permettent une prédiction satisfaisante de la gêne qu'au niveau d'une large population, mais pas au niveau individuel. Ce problème renvoie directement à la définition même de la gêne qui est un phénomène psychologique. En conséquence, la compréhension de la relation bruit-gêne nécessite la compréhension des jugements et attitudes individuels par rapport au bruit. Les facteurs non-acoustiques qui viennent moduler la gêne sont nombreux et peuvent être regroupés en 3 catégories : les facteurs de situation (bruit de fond, niveau d'isolation, présence d'une façade au calme par exemple), les facteurs personnels (âge, niveau de formation, dépendance professionnelle vis-à-vis du train, usage du train...), relativement stables dans le temps mais qui varient suivant les individus, et les facteurs sociaux qui concernent des groupes importants de personnes (styles de vie, image du train, attentes vis-à-vis de l'évolution du bruit, confiance (ou méfiance) des individus par rapport à l'attitude et l'action des Pouvoirs Publics...) [8].

### Les effets sur le sommeil

Pour se maintenir en bonne santé, des nuits au calme sont essentielles et représentent un élément important de la qualité de vie individuelle. Le sommeil a en effet une fonction réparatrice de la fatigue physique et mentale. L'expérience montre cependant que le bruit des transports en général, et celui des trains en particulier, peut perturber le sommeil et de diverses façons :

- difficultés d'endormissement (augmentation du temps pour s'endormir, heure de coucher retardée),
- éveils au cours de la nuit,
- raccourcissement de certains stades du sommeil,
- dégradation de la qualité du sommeil par des changements de stade,
- fatigue le matin au lever,
- performances réduites le lendemain lors d'accomplissement de tâches.

Mesurer les perturbations du sommeil n'est pas chose facile. On distingue deux approches très différentes :

- celle qui recourt à l'enregistrement de paramètres physiologiques (approche objective) : enregistrement du sommeil par mesure de l'activité électrique du cerveau (EEG), des yeux (EOG) et des muscles (EMG), mais aussi mesure des réactions végétatives comme la pression sanguine, la vasoconstriction, le rythme cardiaque ainsi que les mouvements du corps (actimétrie) ;
- celle qui recourt à l'enquête in situ par questionnaire ; il s'agit ainsi de recueillir les sentiments des personnes par rapport aux perturbations du sommeil perçues (approche subjective).

La première approche traite le plus souvent des perturbations instantanées ou de court terme du sommeil et utilise généralement comme indice acoustique le  $L_{Amax}$ , alors que la deuxième approche traite des perturbations ressenties à long terme et utilise des indices d'exposition comme le  $L_{Aeq}$  nuit.

On ne dispose cependant pas pour l'instant de relations exposition-perturbations du sommeil pour le bruit de train qui s'appuient sur des paramètres objectifs. En revanche on dispose depuis peu de relations (figure 2) qui s'appuient sur les perturbations du sommeil ressenties [9], soit pour le rail :

$$\% \text{ Perturbé la nuit} = 12,5 - 0,66 \text{ Leq} + 0,01121 \text{ Leq}^2 \quad (4)$$

$$\% \text{ Très perturbé la nuit} = 11,3 - 0,55 \text{ Leq} + 0,00759 \text{ Leq}^2 \quad (5)$$

Ces relations confirment de nouveau la moindre perturbation (ressentie) du sommeil due au bruit ferroviaire par rapport au bruit routier (figure 2) pour un même niveau d'exposition au bruit.

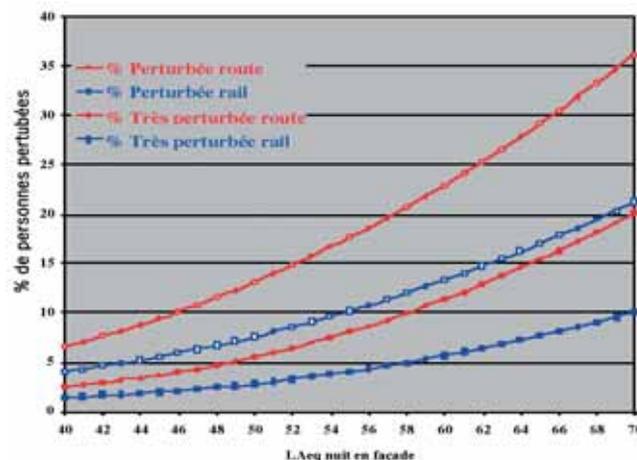


Fig. 2 : Relations exposition au bruit - perturbations du sommeil pour le rail et la route

### Les effets sur la communication parlée

Les effets du bruit des trains sur la communication parlée sont assez bien connus, en particulier au regard des activités les plus sensibles comme les conversations (intérieur et extérieur au logement), l'écoute de la radio ou de la télévision et l'usage du téléphone.

Ces effets se manifestent par un phénomène de masquage et de dégradation de l'intelligibilité de la parole. Ils sont particulièrement marqués lors de passages de trains de marchandises dont on connaît la durée de la signature acoustique. Le bruit des trains masque ainsi davantage la parole que le bruit routier et c'est pour cette raison qu'un « malus-rail » est observé dans les enquêtes. En effet, en cas de bruits fluctuants, l'effet de masque

est d'autant plus important que la durée moyenne de chaque événement est plus longue. Des bruits courts et nombreux sont moins gênants à Leq et niveau maximum égal que des bruits longs et peu nombreux.

### Les situations de multi-exposition

L'exposition combinée aux bruits provenant à la fois d'infrastructures routières et ferroviaires (situations de multi-exposition) conduit à des interactions entre la gêne due au bruit routier et la gêne due au bruit ferroviaire. Les travaux menés récemment par la SNCF et l'INRETS [10] ont montré que :

- lorsque le bruit total reste modéré, la gêne due à une source de bruit spécifique semble liée au niveau sonore de la source elle-même plus qu'à la situation d'exposition (dominance - non-dominance) ou qu'à la combinaison des deux bruits ;

- en revanche, dans des situations de forte exposition, des phénomènes, tels que le masquage du bruit routier par le bruit ferroviaire ou la «contamination» du bruit ferroviaire par le bruit routier apparaissent.

L'analyse de la gêne totale résultant de l'exposition aux deux sources de bruit confirme l'intérêt du modèle de source dominante : la gêne totale dépend du bruit de la source dominante. Cependant, dans des situations de non-dominance, la gêne totale évolue de façon complexe avec les niveaux sonores. Elle dépend soit du niveau d'une des sources pour les faibles et forts niveaux globaux, soit de la différence entre les niveaux des 2 sources pour des niveaux globaux intermédiaires.

La gêne totale sur 24 heures est très proche de la plus élevée des gênes relatives aux deux sources de bruit, ce qui valide le modèle de gêne maxi. Si on tient compte des différentes périodes (journée, soir, nuit), la gêne totale sur 24 heures dépend, à parts égales, de la gêne routière de jour et de la gêne ferroviaire de soirée ; la gêne nocturne ne contribuant que très faiblement au niveau de gêne sur 24 heures.

À la lumière d'autres travaux récents, il ne semble cependant pas y avoir actuellement de consensus sur un modèle permettant d'évaluer la gêne totale due à la combinaison de plusieurs sources de bruit. Certains modèles proposés relèvent de la psychophysique et évaluent la gêne totale en fonction de variables acoustiques, d'autres modèles évaluent la gêne totale en fonction de variables de perception. Selon certains auteurs [11-12], ces modèles ne s'appuient pas ou de façon insuffisante sur la connaissance des processus psychologiques (perceptuel et cognitif) participant à la formation de la gêne, mais sont plutôt des constructions mathématiques de la gêne totale. Ils ne tiennent pas compte non plus des combinaisons temporelles (time patterns) des différentes sources de bruit (nombre d'événements sonores - degré de superposition des bruits). De ce fait, ces modèles ne sont pas en accord avec les réactions subjectives mesurées dans des environnements sonores multi-sources.

### Perspectives de recherche

Bien que les recherches visant à connaître les effets du bruit des trains aient produit des résultats utilisables pour la décision, il reste encore un certain nombre de questions pour l'instant sans réponse satisfaisante. À la lumière des propositions faites par le Groupe de travail «Health & Socio Economic Aspects» de la Commission européenne au réseau CALM, il est possible d'identifier les aspects suivants en relation avec la mise en œuvre de la Directive européenne :

- Améliorer les relations dose-réponse disponibles ( $L_{DEN}$  -  $L_{night}$ ) :
  - effets du niveau d'insonorisation
  - effets d'une façade au calme
  - différences culturelles
  - effets sur le sommeil/éveils
  - effets des mesures de réduction du bruit (mesure des changements)
  - mutiexposition/effets combinés
- Proposer des indices acoustiques supplémentaires :
  - effet du nombre d'événements sonores
  - effet du  $L_{max}$
  - effet des basses fréquences

### Références bibliographiques

- [1] A. Dufour, Perception du cadre de vie et attitudes sur l'environnement. Rapport CREDOC n° 86, octobre 1990.
- [2] J. Lambert, M. Vallet et al., Study related to the preparation of a communication on a future EC noise policy. INRETS-LEN report 9 420 prepared for CEC-DG XI, December 1994.
- [3] OMS, Le bruit, critère d'hygiène de l'environnement, N° 12 Genève, 1980.
- [4] R. Guski, I. Felscher-Suhr, R. Schuemer, The concept of noise annoyance : How international experts see it. Journal of Sound and Vibration (1999) 1 123 (4), 513-527.
- [5] J. Lambert et al., Impact du bruit sur les riverains du TGV Atlantique. Rapport INRETS n° 196, février 1995.
- [6] CCE, Directive du Parlement Européen et du Conseil relative à l'évaluation et à la gestion du bruit dans l'environnement (2002/49/CE), 25 juin 2002.
- [7] European Commission, Position paper on dose response relationships between transportation noise and annoyance, 20 February 2002.
- [8] R. Guski, Personal and social variables as co-determinants of noise annoyance. Noise & Health, Volume III, April-June 1999.
- [9] H. Miedema, W. Passchier-Vermeer, H. Vos, Elements for a position paper on night-time transportation noise and sleep disturbance. TNO-Inro report 2002-59, January 2003.
- [10] P. Champelovier, C. Cremezi-Charlet, J. Lambert, Evaluation de la gêne due à l'exposition combinée aux bruits routier et ferroviaire. Rapport de recherche INRETS n° 242, septembre 2003.
- [11] S. Job & J. Hatfield, Factors contributing to reported reaction to combined noise sources Proceedings Inter Noise 2000, Volume VI, Nice, 27 - 30 August 2000.
- [12] M.E. Nilsson & B. Berglund, Effects of noise from combinations of traffic sources. Archives of the Center for Sensory Research, Stockholm University and Karolinska Institutet, Volume VI, Issue 1, 2001.