



**MEMOIRE DE FIN D'ETUDES**

**Formation des ingénieurs du  
génie sanitaire**

**2001-2002**

**Le volet bruit d'un VSEI d'infrastructure  
linéaire de transport  
Eléments d'élaboration d'un guide de lecture**

**Présenté par :**

Corinne DESPEYROUX  
3<sup>ème</sup> année de l'E.N.T.P.E.

**Lieu du stage :** D.D.A.S.S. 34

**Accompagnant professionnel :**  
Jeanne CLAUDET

**Référent pédagogique :**  
Michèle LEGEAS

« L'Ecole Nationale de la Santé Publique n'entend donner aucune approbation ou improbation aux opinions émises dans les mémoires : les opinions doivent être considérées comme propres à leurs auteurs »

## REMERCIEMENTS

Ce mémoire est le résultat d'un stage réalisé pendant une période de 4 mois (du 29 Avril 2002 au 30 Août 2002) au pôle Santé, cellule Environnement de la D.D.A.S.S. de l'Hérault.

Ce stage s'est déroulé dans le cadre de la formation Ingénieur du Génie Sanitaire de l'Ecole Nationale de la Santé Publique, en tant que validation de la 3<sup>ème</sup> année de l'Ecole Nationale des Travaux Publics de l'Etat.

J'aimerais remercier :

- Mme Jeanne CLAUDET, Ingénieur du Génie Sanitaire, dont la collaboration et l'orientation ont permis la réalisation de ce travail,
- M André PIQUES, Ingénieur d'Etudes Sanitaires en charge de la mission Bruit,
- Mme Isabelle NICOULET, Médecin Inspecteur de Santé Publique à la Direction Générale de la Santé, dont la proposition de participation au groupe de travail national sur les VSEI-Bruit d'infrastructures linéaires de transport fut très fructueuse,
- Mme Michèle LEGEAS, référent pédagogique au niveau de l'Ecole Nationale de la Santé Publique, qui par sa disponibilité a su me guider dans la réalisation de ce mémoire,
- M Jacques BEAUMONT, directeur du laboratoire transports et environnement de l'INRETS, qui, par son accueil chaleureux, a permis de nombreux contacts et la collecte d'éléments bibliographiques,
- M. Drystan LOTH, membre du Conseil Supérieur d'Hygiène Publique de France dans le domaine du bruit, qui par son écoute et sa disponibilité a permis la concrétisation et la validation d'une bibliographie détaillée sur les effets sanitaires du bruit,
- M Alain MUZET, chercheur au CNRS de Strasbourg, qui m'a précisé divers éléments relatifs au sommeil,
- Tous les membres du pôle santé, cellule Environnement de la D.D.A.S.S.34 pour leur accueil et leur collaboration.

## **RESUME**

Le bruit des transports terrestres a des effets non auditifs sur l'organisme au niveau sanitaire (risque de maladies cardio-vasculaires, troubles du sommeil, modifications de performance) et au niveau de la nuisance. La loi sur l'air de 1996 a rendu obligatoire la considération de tout impact sanitaire, mais la pertinence des études d'impact sur la problématique bruit fait actuellement défaut. Face à une croissance soutenue du trafic routier (34 à 54% entre 1990 et 2010), du trafic poids lourds (38 à 130% entre 1990 et 2010) et du trafic ferroviaire, il paraissait opportun de réfléchir à une meilleure prise en compte de l'impact sanitaire du bruit.

Ainsi, ce mémoire tente de présenter divers éléments indispensables à une analyse pertinente de ces dossiers, et essaie de décliner la démarche d'évaluation des risques au domaine spécifique du « bruit des transports terrestres ».

Les principes fondateurs de cette démarche sont la transparence, la cohérence, et la lisibilité. L'impact sanitaire du bruit ne peut se résumer à une stricte application de la réglementation actuelle, fruit d'un consensus technique, économique, social et environnemental fixant des seuils établis sur l'unique gêne. L'ensemble des impacts sanitaires doit être envisagé au vu des connaissances du moment, et l'exposition sonore réelle doit être évaluée. Certes des limites scientifiques et techniques subsistent encore mais ce guide de lecture essaie de préciser les fondamentaux d'une analyse correcte.

## **ABSTRACT**

Currently, traffic noise exposure is on the increase in the general living environment. For an infrastructure project, the impact study must include an analysis of the health impact since the law about air in 1996, particularly noise exposure. This point requires an acute description of the health effects of noise exposure and a precise measure on noise produced by traffic. Nevertheless, nowadays, the studies are far from being exhaustive because they only use noise legal assumptions, which are based on annoyance.

Actually, in order to assess health risk in a project, it is necessary to know qualitative and quantitative health danger, noise exposure of population bordering the infrastructure, and sensitive population.

There is sufficient evidence that traffic noise exposure can induce ischemic heart disease, sleep disturbance, decreased school performance and annoyance. Moreover, population should be detailed by real noise exposure, namely taking in account of other noise sources, and the use of opened windows.

This report purpose is to describe the risk analysis method for traffic noise exposure and to stress on the basis of an apt analysis in the files about noise.

## SOMMAIRE

|                                                                                                                            |           |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| REMERCIEMENTS .....                                                                                                        | 1         |
| RESUME.....                                                                                                                | 2         |
| ABSTRACT.....                                                                                                              | 2         |
| SOMMAIRE.....                                                                                                              | 3         |
| LISTE DES SIGLES UTILISES .....                                                                                            | 6         |
| INTRODUCTION.....                                                                                                          | 7         |
| <b>CHAPITRE I - LA PRISE EN COMPTE DU BRUIT AU SEIN DES PROJETS D'INFRASTRUCTURES<br/>TERRESTRES : UNE NÉCESSITÉ .....</b> | <b>8</b>  |
| <b>1 NOTION D'ACOUSTIQUE.....</b>                                                                                          | <b>8</b>  |
| 1.1 DÉFINITION DU BRUIT .....                                                                                              | 8         |
| 1.2 MESURE DU BRUIT .....                                                                                                  | 8         |
| <b>2 SPÉCIFICITÉ DU BRUIT DES TRANSPORTS TERRESTRES .....</b>                                                              | <b>9</b>  |
| 2.1 PARTICULARITÉS ACOUSTIQUES.....                                                                                        | 9         |
| 2.1.1 <i>Le bruit routier</i> .....                                                                                        | 9         |
| 2.1.2 <i>Le bruit ferroviaire</i> .....                                                                                    | 10        |
| 2.1.3 <i>Caractéristiques de la propagation</i> .....                                                                      | 11        |
| 2.2 LA MESURE DU BRUIT DES TRANSPORTS TERRESTRES.....                                                                      | 11        |
| <b>3 LA FONDEMENTS DE LA LUTTE CONTRE LE BRUIT DES TRANSPORTS.....</b>                                                     | <b>12</b> |
| 3.1 LA SITUATION ACTUELLE : L'EXPOSITION EN FRANCE ET EN EUROPE .....                                                      | 12        |
| 3.2 LA PERCEPTION DU BRUIT DES TRANSPORTS.....                                                                             | 12        |
| 3.3 LES PERSPECTIVES D'ÉVOLUTION DU TRAFIC TERRESTRE .....                                                                 | 13        |
| 3.4 LA MÉTHODOLOGIE D'ACTION.....                                                                                          | 13        |
| <b>4 LA RÉDUCTION DU BRUIT DES INFRASTRUCTURES NOUVELLES.....</b>                                                          | <b>14</b> |
| 4.1 LES POSSIBILITÉS TECHNIQUES AUX DIFFÉRENTS STADES DES PROJETS.....                                                     | 14        |
| 4.1.1 <i>Les différents stades des projets d'infrastructures</i> .....                                                     | 14        |
| 4.1.2 <i>Les moyens techniques de réduction du bruit</i> .....                                                             | 14        |
| 4.2 LES OBLIGATIONS RÉGLEMENTAIRES.....                                                                                    | 16        |
| 4.2.1 <i>La loi « bruit » et ses décrets d'application</i> .....                                                           | 16        |
| 4.2.2 <i>L'article 19 de la loi sur « l'air » de 1996</i> .....                                                            | 17        |
| 4.2.3 <i>La position européenne</i> .....                                                                                  | 17        |
| 4.3 LA DÉMARCHE D'ÉVALUATION DES RISQUES SANITAIRES.....                                                                   | 17        |
| <b>CHAPITRE II – LES OBJECTIFS DU MÉMOIRE : UN GUIDE DE LECTURE.....</b>                                                   | <b>19</b> |
| <b>1 LES OBJECTIFS DU MÉMOIRE.....</b>                                                                                     | <b>19</b> |
| <b>2 PRINCIPE D'ÉLABORATION DU GUIDE DE LECTURE.....</b>                                                                   | <b>19</b> |
| <b>3 MÉTHODES ET MOYENS .....</b>                                                                                          | <b>20</b> |
| <b>CHAPITRE III : ÉLÉMENTS D'ÉLABORATION D'UN GUIDE DE LECTURE D'UN VSEI – BRUIT<br/>.....</b>                             | <b>21</b> |
| <b>1 PRINCIPES GÉNÉRAUX D'UN VSEI .....</b>                                                                                | <b>21</b> |

|          |                                                                                                                                                   |           |
|----------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>2</b> | <b>IDENTIFICATION DES EFFETS SANITAIRES .....</b>                                                                                                 | <b>22</b> |
| 2.1      | LE RISQUE DE MALADIES CARDIO-VASCULAIRES.....                                                                                                     | 23        |
| 2.1.1    | Effet à court terme .....                                                                                                                         | 23        |
| 2.1.2    | Effet à long terme .....                                                                                                                          | 25        |
| 2.2      | LES TROUBLES DU SOMMEIL .....                                                                                                                     | 26        |
| 2.2.1    | Effet à court terme : les modifications de la structure du sommeil .....                                                                          | 26        |
| 2.2.2    | Effets à moyen et long terme .....                                                                                                                | 27        |
| 2.3      | LES MODIFICATIONS DE PERFORMANCE .....                                                                                                            | 27        |
| 2.3.1    | A court terme : l'altération de la communication .....                                                                                            | 27        |
| 2.3.2    | A long terme : l'altération de la performance.....                                                                                                | 28        |
| 2.4      | LA GÊNE.....                                                                                                                                      | 28        |
| <b>3</b> | <b>COURBES DOSE-RÉPONSE ET RECOMMANDATIONS DE L'OMS .....</b>                                                                                     | <b>29</b> |
| 3.1      | DÉFINITION DE LA DOSE : QUELS INDICATEURS UTILISÉS ?.....                                                                                         | 29        |
| 3.1.1    | Indicateur pertinent pour mesurer l'impact sur le sommeil.....                                                                                    | 29        |
| 3.1.2    | Indicateur pertinent pour mesurer la gêne .....                                                                                                   | 30        |
| 3.2      | COURBES DOSE-RÉPONSE DE L'ORDRE DU DANGER SANITAIRE .....                                                                                         | 31        |
| 3.2.1    | Le risque de maladies cardio-vasculaires .....                                                                                                    | 31        |
| 3.2.2    | Les troubles du sommeil.....                                                                                                                      | 31        |
| 3.2.3    | Les modifications de performance.....                                                                                                             | 32        |
| 3.2.4    | Les recommandations de l'OMS (2000).....                                                                                                          | 33        |
| 3.3      | COURBES DOSE-RÉPONSE RELATIVES À LA NUISANCE .....                                                                                                | 33        |
| <b>4</b> | <b>CARACTÉRISATION DE L'ÉTAT INITIAL.....</b>                                                                                                     | <b>35</b> |
| 4.1      | DU POINT DE VUE ACOUSTIQUE .....                                                                                                                  | 35        |
| 4.1.1    | Le principe des effets cumulés.....                                                                                                               | 35        |
| 4.1.2    | Les éléments indispensables.....                                                                                                                  | 35        |
| 4.2      | DU POINT DE VUE DES POPULATIONS.....                                                                                                              | 36        |
| 4.2.1    | Populations sensibles et expositions spécifiques.....                                                                                             | 36        |
| 4.2.2    | Pertinence de la caractérisation.....                                                                                                             | 38        |
| <b>5</b> | <b>CARACTÉRISATION DE L'EXPOSITION.....</b>                                                                                                       | <b>38</b> |
| 5.1      | DU POINT DE VUE ACOUSTIQUE .....                                                                                                                  | 38        |
| 5.1.1    | Pertinence de la modélisation.....                                                                                                                | 38        |
| 5.1.2    | La forme de la présentation.....                                                                                                                  | 39        |
| 5.2      | DU POINT DE VUE DES POPULATIONS.....                                                                                                              | 39        |
| <b>6</b> | <b>QUANTIFICATION DU RISQUE.....</b>                                                                                                              | <b>39</b> |
| 6.1      | CONCERNANT LE RISQUE SANITAIRE .....                                                                                                              | 39        |
| 6.2      | L'ACCEPTATION DE LA NUISANCE .....                                                                                                                | 39        |
| 6.3      | L'EXPOSITION RÉELLE SUR LE LONG TERME .....                                                                                                       | 40        |
| <b>7</b> | <b>SYNTHÈSE DU VSEI.....</b>                                                                                                                      | <b>40</b> |
|          | <b>CHAPITRE IV – DISCUSSIONS.....</b>                                                                                                             | <b>42</b> |
| <b>1</b> | <b>LES LIMITES DE L'IDENTIFICATION DES EFFETS SANITAIRES - LES RECHERCHES À<br/>POURUIVRE OU PROGRAMMÉES .....</b>                                | <b>42</b> |
| 1.1      | LE RISQUE DE MALADIES CARDIO-VASCULAIRES : DES CONNAISSANCES LIMITÉES.....                                                                        | 42        |
| 1.2      | LES ENFANTS : UNE POPULATION SENSIBLE ENCORE MAL DÉFINIE .....                                                                                    | 42        |
| 1.3      | LA GÊNE : L'INTÉGRATION DÉLICATE DES FACTEURS NON ACOUSTIQUES .....                                                                               | 42        |
| <b>2</b> | <b>LES LIMITES DE LA CARACTÉRISATION DE L'EXPOSITION AU SEIN DES VSEI .....</b>                                                                   | <b>44</b> |
| 2.1      | L'USAGE DES INDICATEURS PERTINENTS.....                                                                                                           | 44        |
| 2.2      | LA CARACTÉRISATION DE L'EXPOSITION RÉELLE : LA PRISE EN COMPTE DES MODES DE VIE .....                                                             | 44        |
| 2.3      | L'ÉVOLUTION SOCIALE DE LA POPULATION EXPOSÉE .....                                                                                                | 44        |
| <b>3</b> | <b>LA CONSÉQUENCE SANITAIRE PRINCIPALE D'UNE INFRASTRUCTURE DE<br/>TRANSPORT NON PRISE EN COMPTE DANS LE VSEI : ÉVOLUTION SOUHAITABLE ? .....</b> | <b>45</b> |

|                                                                                                                                                                    |           |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>4 EFFETS CUMULÉS ET PRISE EN CHARGE FINANCIÈRE DES MESURES<br/>COMPENSATOIRES : QUELLE PART ATTRIBUABLE AU MAÎTRE D'OUVRAGE DE<br/>L'INFRASTRUCTURE ? .....</b> | <b>46</b> |
| <b>CONCLUSION .....</b>                                                                                                                                            | <b>47</b> |
| <b>BIBLIOGRAPHIE.....</b>                                                                                                                                          | <b>48</b> |
| <b>ANNEXE I : COURBES DOSE –RÉPONSE POUR LES TROIS MODES DE TRANSPORT AVEC<br/>LEUR INTERVALLE DE CONFIANCE À 95% .....</b>                                        | <b>50</b> |
| <b>ANNEXE II : PROPOSITIONS SUCCINCTES D'ÉLABORATION D'UN VSEI – BRUIT.....</b>                                                                                    | <b>52</b> |
| <b>ANNEXE III : L'INFLUENCE DES CONDITIONS MÉTÉOROLOGIQUES SUR LA PROPAGATION<br/>DU SON.....</b>                                                                  | <b>58</b> |
| <b>ANNEXE IV : RÉGLEMENTATION RELATIVE AUX ÉTUDES D'IMPACT DES PROJETS<br/>D'INFRASTRUCTURES TERRESTRES .....</b>                                                  | <b>59</b> |
| <b>ANNEXE V : RÉGLEMENTATION RELATIVE AU BRUIT DES PROJETS D'INFRASTRUCTURES<br/>TERRESTRES .....</b>                                                              | <b>61</b> |

## LISTE DES SIGLES UTILISES

|             |                                                                         |
|-------------|-------------------------------------------------------------------------|
| CETE        | Centre d'Etudes Techniques de l'Equipement                              |
| CREDOC      | Centre de Recherche pour l'Etude et l'Observation des Conditions de vie |
| CSHPF       | Conseil Supérieur d'Hygiène Publique de France                          |
| DDASS       | Direction Départementale des Affaires Sanitaires et Sociales            |
| DDE         | Direction Départementale de l'Equipement                                |
| DGS         | Direction Générale de la Santé                                          |
| ENSP        | Ecole Nationale de la Santé Publique                                    |
| ENTPE       | Ecole Nationale des Travaux Publics de l'Etat                           |
| ERS         | Evaluation des Risques Sanitaires                                       |
| ICPE        | Installation Classée pour la Protection de l'Environnement              |
| IES         | Ingénieur d'Etudes Sanitaires                                           |
| IGS         | Ingénieur du Génie Sanitaire                                            |
| INRETS      | Institut National de Recherche sur les Transports et leur Sécurité      |
| INSEE       | Institut National de la Statistique et des Etudes Economiques           |
| InVS        | Institut National de Veille Sanitaire                                   |
| OMS         | Organisation Mondiale de la Santé                                       |
| TNO         | Organisation néerlandaise de recherche scientifique appliquée           |
| VSEI        | Volet Sanitaire des Etudes d'Impact                                     |
|             |                                                                         |
| RR          | Risque Relatif                                                          |
| IC [95%]    | Intervalle de Confiance à 95 %                                          |
|             |                                                                         |
| dB(A)       | Décibel pondéré A                                                       |
| $L_{Aeq,T}$ | Niveau de bruit équivalent sur une période de temps T en dB(A)          |
| $L_{den}$   | Level day-evening-night                                                 |
| $L_{Amax}$  | Niveau de crête en dB(A)                                                |
| SEL         | Sound Equivalent Level (Energie totale d'un événement sonore)           |
|             |                                                                         |
| PL          | Poids lourds                                                            |
| VL          | Véhicule léger                                                          |

## INTRODUCTION

L'article 19 de la loi n°96-1236 du 30 décembre 1996 sur l'air et l'utilisation rationnelle de l'énergie modifie l'article 2 de la loi du 10 juillet 1976 et apporte des compléments aux études d'impact des projets d'aménagement. Aux termes de l'article 19 doivent désormais être étudiés et présentés dans l'étude d'impact, les **effets du projet sur la santé humaine** et les mesures envisagées pour supprimer, réduire ou compenser les conséquences dommageables du projet pour l'environnement et la santé.

La **création ou la modification significative d'une infrastructure terrestre** est soumise dans la plupart des cas à étude d'impact. Néanmoins, mis à part le thème majeur de la sécurité routière ou de la sécurité des passagers dans un train, peu de réflexions sur les conséquences sanitaires d'un aménagement localisé sur une partie du territoire ont été abordées.

C'est ainsi que se mettent en place actuellement des groupes de travail chargés de réfléchir sur l'ensemble des émissions polluantes d'une infrastructure terrestre, leurs propagations et leurs effets sur les populations. Même si l'individu est exposé à un ensemble de facteurs environnementaux et sociaux auxquels il réagit dans leur intégralité, il paraît pour l'instant difficile de pouvoir intégrer dans un système fiable l'ensemble de ces facteurs afin de cerner l'impact prévisionnel sur sa santé.

Dès lors une des méthodes pour arriver à prévoir l'impact sur la santé serait d'envisager les contraintes environnementales séparément. Il en est ainsi pour le bruit.

**Car le bruit des transports peut avoir de nombreuses conséquences sur la santé des populations. Même si toutes font encore l'objet de recherches scientifiques, il n'en reste pas moins vrai que le risque de maladies cardio-vasculaires, les troubles du sommeil, les modifications de performance, et la gêne sont des conséquences avérées de l'exposition au bruit des transports.**

Actuellement, la prise en compte de chacun de ces effets sanitaires au sein des études d'impact manque souvent de pertinence et de précision. C'est pourquoi, **ce mémoire s'attache à présenter des éléments d'élaboration d'un guide de lecture d'un VSEI – volet bruit**. Il essaie d'appliquer la démarche d'évaluation des risques au **domaine spécifique du bruit des transports terrestres** telle qu'elle est présentée dans le « guide pour l'analyse du Volet Sanitaire des Etudes d'Impact » de l'Institut National de Veille Sanitaire (mai 2000).

Après une présentation du contexte national de la lutte contre le bruit des transports terrestres et des méthodes employées, le guide de lecture déclinera la démarche d'évaluation des risques en mettant l'accent à la fois sur l'identification des effets sanitaires du point de vue de la connaissance scientifique et sur les éléments pertinents nécessaires à leur bonne prise en compte. Enfin, certaines limites relatives à la considération sanitaire du bruit au sein des études d'impact seront avancées.

# CHAPITRE I - La prise en compte du bruit au sein des projets d'infrastructures terrestres : une nécessité

## 1 Notion d'acoustique

### 1.1 Définition du bruit

Le bruit est un ensemble de sons produits par un phénomène vibratoire se propageant principalement dans l'air. Il s'agit d'une nuisance très subjective : « Ce qui, dans ce qui est perçu par l'ouïe, n'est pas ressenti comme un son musical » (*Petit Robert*), ou encore « tout phénomène acoustique produisant une sensation généralement considérée comme désagréable ou gênante » (*norme Afnor*).

### 1.2 Mesure du bruit

Les paramètres physiques du son sont au nombre de trois :

- *La fréquence* : nombre de vibrations par seconde exprimées en Hertz (Hz). Le bruit terrestre se caractérise par une prépondérance des fréquences graves,
- *Le niveau* : variations de pression de l'air ambiant exprimé en Pascal (Pa),
- *La durée* : durée de l'émission exprimée en secondes,

Néanmoins ceux-ci doivent être traduits dans des **unités adaptées à la perception auditive** :

- *Le décibel*,

La sensation est proportionnelle au logarithme de la perception (Loi de Fetz). Les niveaux mesurés seront exprimés en décibels à l'aide d'une échelle logarithmique. L'oreille perçoit des sons dont l'intensité peut s'échelonner entre 0 dB (seuil de perception) et plus de 120 dB (seuil de douleur).

Description du niveau de pression acoustique :

$$L_p(t) = 10 \log_{10} [1 / (t_2 - t_1) \int_{[t_1-t_2]} p^2(t) / p_0^2 dt] \quad (\text{dB})$$

Où :  $p_0$  est la pression de référence, égale au seuil d'audibilité absolue :  $2.10^{-5}$  Pa.

En général la durée d'intégration  $t_2 - t_1$  utilisée par les sonomètres est de 125 ms ou de 1s.

- *Le décibel pondéré A*

L'oreille humaine n'est pas sensible aux différentes fréquences de la même manière : elle est plus sensible aux fréquences graves qu'aux fréquences aiguës, et se comporte comme un filtre. Afin de représenter ce que l'oreille perçoit, des pondérations (A, B, C ou D) sont appliquées au fréquence selon le type de bruit afin d'obtenir un chiffre unique et représentatif de ce que l'oreille perçoit.

Toutes les réglementations européennes utilisent la pondération A.

Il découle de ces caractéristiques de **nombreux indicateurs acoustiques**. Dans le cadre des transports terrestres, les principales familles d'indicateurs sont les suivants :

- Niveau de bruit équivalent : (moyenne de l'énergie reçue sur une période de temps T),

$$L_{Aeq}(T) = 10 \log [1/T \int_T p^2(t) / p_0^2 dt] \quad (\text{dB(A)})$$

- Intensité maximale notée  $L_{Amax}$  : elle correspond au niveau de pression acoustique maximal sur une durée d'intégration courte lors d'un événement sonore,
- Sound Equivalent Level noté SEL: il représente l'énergie totale d'un événement sonore (la durée d'intégration correspond à la durée de l'événement sonore).

L'usage (pratique et réglementation) a privilégié **l'utilisation du niveau de bruit équivalent** pour caractériser le bruit des transports terrestres. Les périodes de temps d'intégration peuvent être :

- *Jour* (Exemple : la réglementation française utilise  $T = 6h-22h$  pour caractériser le bruit des transports terrestres)
- *Nuit* (Exemple : la réglementation française utilise  $T = 22h-6h$  pour caractériser le bruit des transports terrestres)
- *Journée entière* (Exemple :  $T = 24$  heures)
- Ou encore des *pondérations* selon la période de la journée. (Exemple : l'indice  $L_{den}$  –Level day evening night- correspond au niveau de bruit équivalent sur la période 24 heures avec des pondération de 5 dB(A) durant la soirée, et de 10 dB(A) durant la nuit)

$$L_{den} = 10 \log \left\{ \frac{1}{24} \left[ 12 * 10^{LD/10} + 4 * 10^{(LE+5)/10} + 8 * 10^{(LN+10)/10} \right] \right\}$$

où :

- LD = LAeq,jour (le jour dure 12 heures)
- LE = LAeq,soirée (la soirée dure 4 heures)
- LN = LAeq,nuit (la nuit dure 8 heures)
- LD, LE, LN sont définis dans la norme ISO 1996-2, 1987.

## 2 Spécificité du bruit des transports terrestres

### 2.1 Particularités acoustiques

#### 2.1.1 Le bruit routier

*Paramètres* : Le niveau du bruit routier, exprimé en  $L_{eq}$ , dépend du nombre total de véhicules, de leur vitesse, du pourcentage de poids lourds et de véhicules en accélération, de la topographie (rampe) et, enfin, du revêtement de chaussée. [1]

*Fréquence* : Les véhicules émettent du bruit à spectre assez large principalement dans la bande 100-2000 Hz. Un bruit routier est souvent assimilé à un bruit blanc.

*Intensité* : A titre indicatif, pour un site dégagé (sans masques susceptibles de s'opposer de façon notable à la propagation sonore), le tableau I ci-dessous donne un ordre de grandeur de la distance, comptée du bord de la route, en deçà de laquelle les niveaux sonores sont susceptibles de dépasser 60 dB(A) en période diurne, pour une autoroute (vitesse 130 km/h) et une route interurbaine (vitesse 90 km/h). [2, p42]

Tableau I : Ordre de grandeur de la distance en deçà de laquelle les niveaux sonores sont susceptibles de dépasser 60 dB(A) en période diurne [2,p42]

| Autoroute (vitesse 130 km/h)              |          | Route (vitesse 90 km/h)                   |          |
|-------------------------------------------|----------|-------------------------------------------|----------|
| Trafic journalier équivalent acoustique * | distance | Trafic journalier équivalent acoustique * | distance |
| 10 000 véh/j                              | 130 m    | 5 000 véh/j                               | 75 m     |
| 20 000 véh/j                              | 200 m    | 10 000 véh/j                              | 100 m    |
| 40 000 véh/j                              | 300 m    | 20 000 véh/j                              | 130 m    |
| 60 000 véh/j                              | 400 m    | 30 000 véh/j                              | 170 m    |
| 100 000 véh/j                             | 500 m    | 40 000 véh/j                              | 200 m    |
| 120 000 véh/j                             | 600 m    |                                           |          |

\* La donnée d'entrée est le trafic moyen journalier compté en équivalent acoustique, c'est-à-dire 1 PL = 4 VL sur autoroute, et 1 PL = 6 VL sur route. (PL signifie poids lourds, et VL véhicule léger)

Ordre de grandeur : (estimation à partir de la bibliographie [3])

sur route (10% PL) : 2 voies - trafic fluide  $\Leftrightarrow$  5 000 - 10 000 véh/j en équivalent acoustique,  
2 voies - trafic saturé  $\Leftrightarrow$  20 000 véh/j en équivalent acoustique,  
sur autoroute (20% PL) : 2 x 2 voies trafic gêné  $\Leftrightarrow$  40 000 véh/j en équivalent acoustique.

## 2.1.2 Le bruit ferroviaire

Le bruit du train est limité à la fois dans le temps (horaires fixes) et dans l'espace (localisé autour des voies ferrées). Sa perception est très spécifique : c'est un «bruit plutôt métallique » lorsqu'on est près de la voie, plus « grave » lorsqu'on s'en éloigne.

Le bruit du train apparaît différent du bruit émis par un véhicule de transport routier aux vues des points suivants [4] :

- La vitesse d'apparition du bruit,
- Une certaine persistance du niveau maximum liée à la longueur du convoi ferroviaire,
- La lente disparition du bruit,
- Le domaine spectral d'émission plus étendu dans les aiguës pour le train que pour le véhicule routier.

A titre indicatif, les tableaux II et III présentent des exemples d'émission de divers trains, pour certaines situations.

Tableau II :  $L_{Amax}$  pour quelques trains en fonction de la vitesse et de la distance à la voie [4,p14]

| Trains       | Vitesse km/h | Lmax en dB(A) |        |
|--------------|--------------|---------------|--------|
|              |              | A 7,5m        | A 25 m |
| Rapides      | 200          | 104           | 97     |
| Express      | 140          | 97            | 92     |
| Messageries  | 100          | 96            | 89     |
| Marchandises | 80           | 93            | 86     |
| TGV          | 270          | 105           | 97     |

Tableau III : Niveaux de bruit diurnes en façade de bâtiments  
aux abords des voies ferrées [1, pII-176]

| Niveaux de bruit en<br>façade $L_{eq,6h-22h}$ | Situations                                                                                                                                                                                                                                      |
|-----------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 75 dB(A)                                      | <ul style="list-style-type: none"> <li>- à 150 m d'une voie où passent 200 Corails à 130 km/h</li> <li>- à 60 m d'une voie où passent 400 trains de marchandises à 60 km/h</li> </ul>                                                           |
| 70 dB(A)                                      | <ul style="list-style-type: none"> <li>- à 30 m d'une voie où passent 500 RER à 70 km/h</li> <li>- à 60 m d'une voie où passent 100 Corails à 130 km/h</li> <li>- à 100 m d'une voie où passent 200 trains de marchandises à 60 km/h</li> </ul> |
| 65 dB(A)                                      | <ul style="list-style-type: none"> <li>- à 60 m d'une voie où passent 300 RER à 80 km/h</li> <li>- à 150 m d'une voie où passent 100 Corails à 130 km/h</li> </ul>                                                                              |
| 60 dB(A)                                      | <ul style="list-style-type: none"> <li>- à 100 m d'une voie où passent 200 RER</li> <li>- à 300 m d'une voie où passent 300 TGV Atlantique à 300 km/h</li> </ul>                                                                                |

### 2.1.3 Caractéristiques de la propagation

#### ➤ La distance

Très schématiquement, dans le cas d'une source linéaire, comme une route ou une voie ferrée, le niveau de pression acoustique sera diminué de 3 dB chaque fois que l'on doublera la distance perpendiculairement à la voie. Des mesures en vraie grandeur montrent cependant que l'atténuation mesurée est souvent plus faible, une partie du son étant réfléchi par des surfaces peu absorbantes. [5,pb6]

#### ➤ Les conditions météorologiques[6]

L'influence des conditions météorologiques (vent et facteurs thermiques) sur la propagation du son devient significative dès que la distance entre la source sonore et le récepteur est supérieure à une centaine de mètres. Par exemple, le laboratoire régional des ponts et chaussées (LRPC) a mis en évidence qu'à 300m d'une source sonore ponctuelle, le niveau de bruit peut varier de plus de 20 dB(A) du seul fait des conditions météorologiques. Certes, ces variations sont moindres si l'on s'intéresse à des niveaux moyens correspondant à des longues durées, une journée par exemple, mais elles restent encore considérables. (Annexe III)

## 2.2 La mesure du bruit des transports terrestres

La mesure du bruit ambiant est normalisée et s'effectue en façade de bâtiments. Elle utilise selon la source prépondérante les normes suivantes (Annexe de la circulaire n°97-110 du 12 décembre 1997):

- La norme NF S 31-085 (« mesurage du bruit dû au trafic routier en vue de sa caractérisation »)
- La norme NF S 31-088 (« mesurage du bruit dû au trafic ferroviaire en vue de sa caractérisation »)
- Dans les autres cas (sources industrielles, naturelles, ou sources multiples), la mesure des niveaux de bruit ambiant sera réalisée conformément à la norme NF S 31-010 (« Caractérisation et mesurages des bruits de l'environnement - méthodes particulières de mesurage »)

### 3 La fondements de la lutte contre le bruit des transports

#### 3.1 La situation actuelle : l'exposition en France et en Europe

La dernière enquête complète sur l'exposition de la population française au bruit des transports terrestres date du milieu des années 80. Il en ressort que près de 7 millions de français (12,3% de la population totale) sont exposés à domicile, à des niveaux de bruit (diurnes et extérieurs) excédant 65 dB(A) (Figure 1). C'est bien sûr en zone urbaine qu'on souffre le plus du bruit. A l'échelle européenne, il semble que la France se situe dans la moyenne.

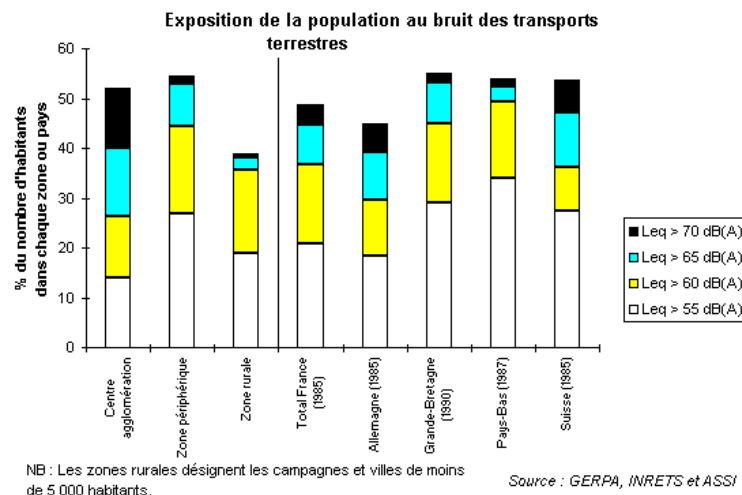


Figure 1 : Exposition de la population au bruit des transports terrestres (1985)

Ainsi, le bruit des transports terrestres - et ceci est valable dans tout secteur d'habitations (rural, périurbain, urbain) – est réellement un enjeu crucial en terme d'aménagement du territoire.

#### 3.2 La perception du bruit des transports

31 % des Européens se plaignent de leur environnement sonore<sup>1</sup> et 37% des Français considèrent le bruit comme une source de stress.<sup>2</sup>

Selon les enquêtes permanentes du CREDOC<sup>3</sup>, 35 à 40% de la population française se déclare gênée par les bruits à domicile. Les principales sources de gêne sont les moyens de transport (55%) avec les deux roues motorisées (19%), les automobiles (17%), les poids lourds (11%), les trains (4%) (Figure 2).

<sup>1</sup> Les européens et l'environnement – Sondage Eurobaromètre pour la Commission Européenne, 1995

<sup>2</sup> Sondage CSA, mars 1996

<sup>3</sup> Source : A. DUFOUR, Perception du cadre de vie et attitudes sur l'environnement

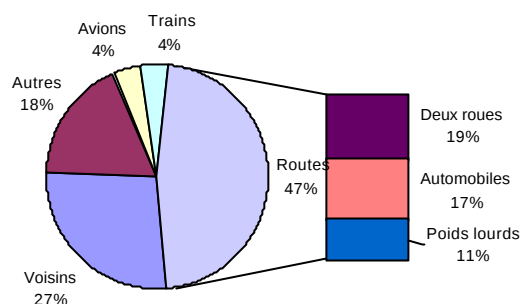


Figure 2 : Sources de gêne dues au bruit en France (Enquête Credoc Automne 1989)

### 3.3 Les perspectives d'évolution du trafic terrestre

Les prévisions disponibles pour le long terme indiquent une croissance très soutenue du trafic automobile. En France, on prévoit entre 1990 et 2010 une croissance du trafic routier de 34 à 54%, plus marquée pour le trafic de poids lourds (+ 38 à 130%) que pour le trafic automobile (+ 33 à 38%) [7]. Compte tenu de ces prévisions, et en absence de politique volontariste de lutte contre le bruit, on s'attend à deux conséquences fondamentales :

- Extension dans l'espace du bruit routier, (zones péri-urbaines et rurales qui étaient encore relativement épargnées),
- Extension dans le temps du bruit routier à cause de l'augmentation du trafic en soirée et la nuit (en particulier à cause du trafic de marchandises).

L'exposition à long terme des populations au bruit ferroviaire sera vraisemblablement directement liée au développement du réseau européen des trains à grande vitesse mais aussi à celui des systèmes de train léger à vocation urbaine et périurbaine, avec le risque majeur pour les populations riveraines de l'élargissement prévisible des trafics ferroviaires à la période nocturne.

Ainsi, la période nocturne risque d'être celle où le trafic routier et ferroviaire va s'étendre le plus. Or c'est aussi le moment de la journée où la population aspire le plus au calme (soirée et nuit).

**Ainsi, dans un souci de développement durable, l'accent doit être mis sur la prise en compte du bruit nocturne.**

### 3.4 La méthodologie d'action

Afin de limiter au maximum l'exposition des populations au bruit des transports terrestres, il existe deux méthodes d'action qui vont de pair :

- **Le traitement des points noirs<sup>4</sup>,**
- **La prévention au niveau des infrastructures en projet.**

Le premier point fait partie d'un vaste programme européen de rattrapage, qui ne sera pas envisagé ici. Le deuxième point représente l'objectif premier de ce mémoire.

En outre, même si on enregistre dans certains pays européens (Allemagne, Pays-Bas, France par exemple) une diminution du nombre de personnes très exposées au bruit, en particulier grâce à la mise en œuvre de ces politiques de résorption des « points noirs », le nombre de personnes habitant les « zones grises » ( $L_{eq,jour} = 55-65 \text{ dB(A)}$ ) ne cesse d'augmenter, et justifie la considération cruciale des émissions sonores des nouvelles infrastructures.

## 4 La réduction du bruit des infrastructures nouvelles

### 4.1 Les possibilités techniques aux différents stades des projets

#### 4.1.1 Les différents stades des projets d'infrastructures

Les phases administratives d'instruction des projets d'infrastructure de transport varient selon le type d'infrastructure et de maître d'ouvrage. Cependant, trois phases techniques peuvent être définies dans le déroulement des études d'un projet d'infrastructure :

- **Les études préliminaires**, qui ont pour objectif de définir les fonctions à satisfaire et le parti d'aménagement de l'axe, et de s'assurer de la faisabilité technique et financière de l'infrastructure projetée,
- **Les études d'avant-projet** avec la comparaison des variantes et l'approfondissement de la variante retenue, qui ont pour objectif de définir avec une précision de quelques centaines de mètres le tracé qui sera soumis à l'enquête préalable à la déclaration d'utilité publique,
- **Les études détaillées** qui ont pour objectif de préciser les caractéristiques et les coûts de la solution retenue.

#### 4.1.2 Les moyens techniques de réduction du bruit

Le principe fondamental de la gestion du bruit est la **réflexion en amont**, bien avant les grandes décisions de choix de tracé. Les divers moyens de réduction du bruit sont présentés ci-après et synthétisés dans le tableau IV :

- *Le parti d'aménagement* (modification de l'existant ou projet neuf),
- *La géométrie du projet* (choix du tracé pour s'éloigner des zones sensibles, action sur le profil en long, sections enterrées, déblais),
- *L'organisation des déplacements et l'exploitation de la voirie* (interdiction de certaines voies à des poids lourds, limitation des vitesses moyennes, fluidité du trafic),

---

<sup>4</sup> Un point noir correspond à une zone où des bâtiments à usage d'habitation, de soins, de repos, d'étude ou de bureaux sont soumis à des niveaux sonores excédant 70 dB(A) en  $L_{eq,8h-20h}$ . (Rapport Lamure, décembre 1998)

- *Les revêtements de chaussée* (le revêtement d'une chaussée ne peut influencer sur le bruit que pour des vitesses supérieures à 50 – 60 km/h. On pourra noter des gains de 3 dB(A) ou plus sur le  $L_{Aeq}$  à proximité de la voie). Mais de part leur vieillissement rapide, les revêtements de chaussée ne peuvent être considérés comme un moyen de protection acoustique à part entière, en outre, le critère sécurité routière les met souvent à défaut,
- *Les protections à la source*. Différents types d'ouvrage existent : buttes de terre, écrans, couvertures partielles qui peuvent se compléter par de la végétation,
- *Les protections de façade* [2-p73]. L'isolement d'une façade « standard » est d'environ 22 dB(A) dans le bâti ancien. La valeur moyenne sur l'ensemble du parc de logements actuel est de l'ordre de 25 dB(A). Pour les logements neufs, la nouvelle réglementation acoustique impose maintenant un isolement minimal de 30 dB(A). A titre indicatif, les valeurs d'isolement d'une pièce d'habitation sont, avec fenêtre ouverte, d'environ 5 dB(A), et avec fenêtre entrouverte, de 10 à 15 dB(A). Les protections de façades présentent une très bonne efficacité acoustique pour un coût souvent inférieur aux protections à la source. Sur un site soumis à plusieurs sources sonores, elles ont également l'intérêt de réduire le bruit provenant de l'ensemble des sources, contrairement aux écrans qui ne réduisent que la contribution de la route. Mais elles présentent l'inconvénient de ne pas protéger les espaces extérieurs (publics ou privés) et de n'être utiles que fenêtres fermées. La nécessité de conserver les fenêtres fermées pour bénéficier de la protection implique que soient résolues certaines difficultés (confort thermique d'été, ventilation, renouvellement d'air...) En outre, elles peuvent devenir un révélateur des défauts d'isolation acoustique entre logements susceptibles de s'avérer à la longue aussi difficiles à supporter que les bruits de l'espace extérieur),
- *La réflexion sur l'aménagement urbain*. Il s'agit d'une réflexion pérenne, globalement bien acceptée par les habitants, et utilisant au mieux les avantages de l'infrastructure, mais elle nécessite une réflexion à long terme et une volonté des acteurs locaux. Par exemple, des secteurs résidentiels fortement exposés ou risquant de le devenir pourraient évoluer en zone artisanale ou industrielle.

Tableau IV : Caractéristiques acoustiques des moyens de réduction du bruit

| LES PROTECTIONS A LA SOURCE |                                                                                | GAIN ACOUSTIQUE MOYEN                                                                                                                                          | CONTEXTE                                                                                                            | CONTRAINTES                                          |
|-----------------------------|--------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|
| Les ouvrages                | Ecrans                                                                         | Cela dépend de la distance à la voie et de la longueur de l'ouvrage.<br>Exemple : 5 dB(A) lorsque l'ouvrage masque un angle de vue de 120° depuis le bâtiment. | Action ponctuelle                                                                                                   | Mauvaise protection des bâtiments en hauteur<br>Coût |
|                             | Spécificité des buttes de terre : Avantage paysager mais consommation d'espace |                                                                                                                                                                |                                                                                                                     |                                                      |
|                             | Couvertures partielles voire couverture « lourde »                             | 12 à 20 dB(A)                                                                                                                                                  | Bâtiment à proximité de la voie, de grande hauteur                                                                  | Economique<br>Gestion des têtes de tunnel            |
| Végétation                  |                                                                                | Quasi inexistant                                                                                                                                               | Complément acoustique utile de par l'insertion paysagère et la création d'un espace sonore agréable de premier plan | Espace                                               |

## 4.2 Les obligations réglementaires

### 4.2.1 La loi « bruit » et ses décrets d'application

La réduction du bruit au droit des nouvelles infrastructures fait l'objet d'une réglementation qui se fonde sur la **loi n°92-1444 du 30 décembre 1992 relative à la lutte contre le bruit**.

Art.1<sup>er</sup> : « Les dispositions de la présente loi ont pour objet (...) de prévenir, supprimer ou limiter l'émission ou la propagation sans nécessité ou par manque de précautions des bruits ou des vibrations de nature à présenter des dangers, à causer un trouble excessif aux personnes, à nuire à leur santé ou à porter atteinte à l'environnement »

Son **décret d'application n°95-22 relatif à la limitation du bruit des aménagements et infrastructures de transports terrestres** indique la considération d'indicateurs « prenant en compte les nuisances sonores sur des périodes représentatives de la gêne des riverains du jour et de la nuit . Pour chacune de ces périodes, des niveaux maximaux admissibles pour la contribution sonore de l'infrastructure sont définis en fonction de la nature des locaux et du type de travaux réalisés.» (Art.4). Ce décret s'applique aux constructions, modifications ou transformations significatives d'infrastructures de transports terrestres.

**L'arrêté du 5 mai 1995 relatif au bruit des infrastructures routières et l'arrêté du 8 novembre 1999 relatif au bruit des infrastructures ferroviaires** fixent les niveaux sonores maximaux admissibles pour la contribution sonore des infrastructures nouvelles en  $L_{eq,6h-22h}$  et  $L_{eq,22h-6h}$  avec généralement une différence de 5 dB(A) entre le jour et la nuit. (Textes intégraux en annexe V)

Tableau V : Niveau sonore maximal admissible selon le type d'infrastructure créée—  
Logements en zone d'ambiance préexistante modérée \*

| TYPE D'INFRASTRUCTURE                                 | $L_{Aeq,6h-22h}$ | $L_{Aeq,22h-6h}$ |
|-------------------------------------------------------|------------------|------------------|
| Infrastructure routière                               | 60 dB(A)         | 55 dB(A)         |
| Infrastructure ferroviaire classique                  | 63 dB(A)         | 58 dB(A)         |
| Ligne nouvelle exclusivement TGV (vitesse > 250 km/h) | 60 dB(A)         | 55 dB(A)         |

\* Une zone est d'ambiance sonore modérée si le niveau de bruit ambiant existant avant la construction de la voie nouvelle, à deux mètres en avant des façades des bâtiments est tel que  $L_{Aeq,6h-22h} < 65$  dB(A) et  $L_{Aeq,22h-6h} < 60$  dB(A). Dans le cas où une zone respecterait le critère d'ambiance sonore modérée seulement pour la période nocturne, c'est le niveau sonore maximal de 55 dB(A) qui s'applique pour cette période.

En ce qui concerne les techniques de réduction du bruit, le décret n°95-22 ainsi que la circulaire du 12 décembre 1997 préconisent de **rechercher en priorité un traitement de la nuisance à la source**, ou, à défaut une solution de type mixte. Notons en outre, que sur le plan réglementaire (Arrêté du 30 mai 1996 relatif aux modalités de classement des infrastructures de transports terrestres et à l'isolement acoustique des bâtiments d'habitation dans les secteurs affectés par le bruit), le renforcement de l'isolement des façades n'est exigé que pour les pièces principales et les cuisines, et ne porte que sur les façades dont le niveau extérieur dépasse l'objectif.

#### 4.2.2 L'article 19 de la loi sur « l'air » de 1996

L'article 19 de la loi n°96-1236 du 30 décembre 1996 sur l'air et l'utilisation rationnelle de l'énergie modifie l'article 2 de la loi n°76-629 du 10 juillet 1976 relative à la protection de la nature en obligeant le pétitionnaire à inclure dans l'étude d'impact du projet « l'étude des effets sur la santé », et les « mesures envisagées pour supprimer, réduire et, si possible, compenser les conséquences dommageables pour l'environnement et la santé ».

Or, **la santé n'est pas seulement l'absence de maladies, mais un état de complet bien-être physique, mental et social (OMS -1948)**. Cette définition fait de l'exposition au bruit un problème de santé, qui doit dès lors être envisagé en tant que tel dans toute étude d'impact. (L'annexe IV précise la réglementation relative aux études d'impact.)

#### 4.2.3 La position européenne

Suite au livre vert (COM(96)540) de 1996, la commission européenne a développé une nouvelle politique avec entre autres la création d'un comité d'expert bruit dont la mission était de la soutenir. En juillet 2000, une position commune du groupe de travail WG1 sur les indicateurs fut publiée :  $L_{den}$  indicateur de gêne, et  $L_{night}$  pour les troubles du sommeil. Le groupe de travail WG2 sur les relations dose-effet a publié des éléments sur une position commune relative à des courbes dose-effet entre la gêne et le bruit des transports (routier, ferroviaire et aérien). Ces courbes sont présentées au paragraphe III-3.3. De la même manière, des études sont en cours afin de présenter des courbes dose-effet relatives aux troubles du sommeil et au bruit des transports. Les résultats sont attendus pour 2002.

La directive 2002/49/CE du parlement européen et du conseil du 25 juin 2002 relative à l'évaluation et à la gestion du bruit dans l'environnement « vise à établir une approche commune destinée à éviter, prévenir ou réduire en priorité les effets nuisibles, y compris la gêne, de l'exposition au bruit dans l'environnement ». En outre, elle vise « à fournir une base pour mettre au point des mesures communautaires destinées à réduire les émissions sonores provenant des principales sources, en particulier les véhicules et infrastructures routiers et ferroviaires, les aéronefs, les matériels extérieurs et industriels et les engins mobiles. A cette fin, la Commission européenne présente des propositions législatives appropriées au Parlement européen et au Conseil, au plus tard le 18 janvier 2006. » (Art. 1<sup>er</sup>). L'annexe 3 de cette présente directive précise que « les relations dose-effet seront introduites ultérieurement lors de futures révisions » de cette annexe, elles porteront sur :

- « la relation entre la gêne et le  $L_{den}$  pour le bruit résultant du trafic routier, ferroviaire et aérien, ainsi que pour le bruit industriel »,
- « la relation entre les perturbations du sommeil et  $L_{night}$  pour le bruit résultant du trafic routier, ferroviaire et aérien, ainsi que pour le bruit industriel »,

« Si nécessaire, des relations dose-effet spécifiques pourraient être présentées. »

#### 4.3 La démarche d'évaluation des risques sanitaires

La méthode d'analyse adoptée par l'ensemble des acteurs du domaine de la santé est la démarche d'évaluation des risques sanitaires. « Elle constitue la démarche la plus appropriée pour étudier des

risques « à venir » et la plus aboutie pour caractériser des risques "faibles" » [8]. Classiquement, elle se décline en quatre étapes fondamentales présentées ci-après dans le cadre de l'exposition au bruit :

*1. Identification du danger*

Cette étape consiste à identifier l'ensemble des conséquences sanitaires dues à l'exposition au bruit des transports, avec la mise en avant s'il y a lieu de populations et/ou d'exposition sensibles.

*2. Courbe dose-réponse*

Cette étape s'attache à présenter de manière quantitative les résultats les plus récents de la communauté scientifique en terme de relation dose-réponse, où la dose représente l'exposition reçue et la réponse l'effet sanitaire. Une des grandes difficultés en ce qui concerne la réalisation des ces courbes dose-réponse est la juste caractérisation de l'exposition (pertinence de l'indicateur acoustique, difficulté de considérer des facteurs non acoustiques).

*3. Exposition de la population*

Au cours de cette troisième étape, les informations concernant la diffusion ou la propagation du bruit sont utilisées. Les populations impactées par le projet, et tout particulièrement les populations sensibles, sont décrites.

*4. Quantification du risque*

Cette dernière étape utilise l'ensemble des données précédentes et aboutit à la quantification du risque étudié pour la population concernée.

Les mesures compensatoires à envisager s'il y a lieu peuvent découler de cette démarche d'évaluation des risques.

## CHAPITRE II – Les objectifs du mémoire : un guide de lecture

### 1 Les objectifs du mémoire

Ce mémoire fait l'objet d'une demande de la part du service Santé-Environnement de la DDASS de l'Hérault. En effet, ce département constitue un territoire de passage privilégié du Nord de l'Europe vers le Sud. De nombreux projets routiers, autoroutiers et ferroviaires sont en cours d'étude. Au moment de l'enquête publique d'un projet, la DDASS 34 est sollicitée pour émettre un avis motivé sur l'étude d'impact dont la problématique bruit. Or ce domaine étant pour l'instant peu documenté, la DDASS 34 désirent obtenir des éléments permettant une analyse et une critique plus pertinente du volet bruit dans ces études.

**Ainsi, ce mémoire a pour objet l'élaboration d'un guide de lecture du domaine bruit du volet sanitaire des études d'impact des infrastructures linéaires de transport. Ce guide de lecture est à destination des services en charge de la prise en compte de la santé, les DDASS principalement.**

En raison de contraintes de temps et de faisabilité, ce guide de lecture n'abordera que certaines expositions :

- *Sources de bruit :*

**Seules les infrastructures routières et ferroviaires seront envisagées** Par exemple, les transports guidés de type tramway, soumis eux aussi à la loi bruit et son décret d'application n°95-22 ne feront pas l'objet d'une analyse spécifique.

- *Type d'exposition :*

**Les situations sonores particulières** de type carrefour, dos d'ânes, passages privilégiés de bus ou de poids lourds, péages, ou implantation de gares **ne seront pas envisagées** En effet, ces situations particulières ne sont pas toujours soumises à la même réglementation (exemple : l'aménagement ponctuel de voies routières ou de carrefours non-dénivelés n'est pas visé par le décret n°95-22), et exigent des modélisations fines (spectre sonore - caractérisation de l'émission) souvent impossibles au stade de l'enquête publique. Ainsi, ce guide de lecture envisagera principalement des **expositions linéaires** sans ~~no~~nd sonore particulier. Ceci constitue une limite importante de ce guide de lecture car ces situations sont souvent celles sources de plaintes et de forte gêne.

- *La phase chantier ne sera pas envisagée.*

L'exposition à long terme sera privilégiée.

### 2 Principe d'élaboration du guide de lecture

Ce guide de lecture doit s'appuyer sur des considérations sanitaires avérées et pertinentes, pour pouvoir ensuite développer le contenu attendu des dossiers, et particulièrement ce qui peut être exigible par le pétitionnaire.

A ce propos, et parallèlement à la réalisation du mémoire, pour répondre à une demande d'Isabelle NICOULET (DGS) dans le cadre d'un groupe de travail national relatif à la construction d'un guide de lecture et de réalisation d'un VSEI – Infrastructures linéaires de transport, j'ai réalisé une **bibliographie détaillée sur les effets sanitaires du bruit**. Cette revue de la bibliographie n'est pas présentée ici dans son intégralité, mais sert de support à la réflexion sur le contenu optimal d'un VSEI.

### **3 Méthodes et moyens**

La partie bibliographique a été construite sur :

- Une recherche par Internet sur des sites sanitaires spécifiques (Inist – Medline), et des sites plus généraux (OMS – INRETS – Ministères de l'environnement, de la santé, de l'équipement – Europe – etc.),
- Des contacts privilégiés (INRETS – Dr Muzet (CNRS à Strasbourg) – Dr Loth (CSHPF, bruit) – I. Nicoulet (DGS)),
- Un échange de points de vue avec Jeanne FALIU, élève IGS dont le mémoire portait sur la problématique bruit des avions.

La réflexion sur le contenu optimal d'un VSEI s'est fondée principalement sur :

- L'exploitation de dossiers existants disponibles à la DDASS 34 dont principalement le contournement ferroviaire de Nîmes et Montpellier (stade Instruction Mixte à l'Echelon Central),
- Des échanges avec l'IES A. Piques chargé de ce volet bruit et l'IGS J. Claudet,
- Des échanges lors de la participation au groupe de travail,
- Des contacts avec la DDE 34, et le CETE d'Aix-en-Provence,
- Des comparaisons avec des guides méthodologiques existants, en particulier celui relatif aux ICPE [9],
- Des réflexions sur certains principes d'élaboration de tel dossier (Annexe II).

## CHAPITRE III : Eléments d'élaboration d'un guide de lecture d'un VSEI – Bruit

Bien avant toute réalisation concrète d'un projet, la prise en compte de l'impact sanitaire se situe principalement à quatre étapes fondamentales de la vie d'un projet :

- Choix de l'opportunité du projet (choix du mode de transport répondant aux objectifs de congestion, d'évolution du trafic, de sécurité routière, ou de planification),
- Choix du fuseau (études préliminaires),
- Choix de la variante (études d'APS),
- Engagement du maître d'ouvrage (Pertinence des mesures envisagées afin de diminuer, réduire ou compenser les conséquences du projet sur la santé au moment de l'étude d'impact)..

Ce guide de lecture s'attachera uniquement à la prise en compte du bruit en terme de santé au moment de l'étude d'impact, c'est-à-dire lorsque le projet a déjà fait l'objet d'une approbation en terme d'opportunité et de choix de mode de transport par exemple.

A ce stade d'étude, il est très rare de provoquer une reconsidération fondamentale du fuseau et de la variante, l'objectif étant principalement de justifier la pertinence du choix et de décrire les mesures compensatoires à envisager afin de réduire les conséquences dommageables sur l'environnement et la santé. Ces mesures compensatoires doivent être mises en relation avec l'impact qualitatif et quantitatif du projet. Une considération de l'impact sanitaire en amont de l'étude d'impact serait fortement souhaitable mais ne sera donc pas envisagée ici.

**En utilisant la démarche d'évaluation des risques (voir chapitre I- 4.3), ce chapitre III essaiera de décliner les attentes des DDASS par rapport au contenu d'un VSEI – Volet bruit des infrastructures linéaires de transport.**

Tout d'abord, les principes généraux attendus d'un VSEI seront évoqués Puis une synthèse sur les effets sanitaires du bruit mettra en évidence les éléments pertinents utilisables par le pétitionnaire en l'état actuel des connaissances. Ensuite, la caractérisation nécessaire de l'état initial et de l'exposition sera décrite. Enfin, la caractérisation du risque sera discutée en terme de faisabilité, et en fonction des mesures compensatoires envisageables.

### 1 Principes généraux d'un VSEI

L'évaluation des risques sanitaires a pour but de présenter de manière explicite aux différentes parties les éléments d'analyse sur lesquels la prise de décision peut s'appuyer. Elle doit respecter les principes suivants inscrits dans les différents textes dont on peut s'inspirer car implicitement contenus dans la loi de 76 : [9,p6]

- Le **principe de précaution** inscrit dans la loi du 2 février 1995, et mentionné par la circulaire du 17 février 1998 du MEDD relative à l'application de l'article 19 de la loi sur l'air. « Les développements de certains aspects de l'étude trouveront nécessairement leurs limites dans l'état

actuel de la connaissance scientifique, technique ou des avancées méthodologiques (....) L'étude devra alors s'appuyer sur le principe général de précaution. »

- Le **principe de proportionnalité**, présent dans la circulaire du 3 décembre 1993 relative aux sites pollués. Ce principe veille à ce qu'il y ait cohérence entre le degré d'approfondissement de l'étude et l'importance de la pollution et son incidence prévisible.
- Le **principe de spécificité**, présent également dans la circulaire citée ci-dessus, qui consiste à prendre en compte les caractéristiques propres du site.

**L'objectif de transparence** doit être visé : les choix effectués durant l'évaluation des risques doivent être systématiquement présentés et explicités, et leurs conséquences sur la quantification du risque évaluées.

Du point de vue de la forme, il est attendu les principes suivants :

- **Cohérence**,
- **Lisibilité**,
- **Individualisation du volet sanitaire** « Il est souhaitable que ce volet soit individualisé au sein de l'étude d'impact, pour constituer un sixième chapitre de l'étude. » (Circulaire du 17 février 1998)  
Néanmoins, cette position est largement contestée actuellement au ministère de l'écologie et du développement durable (MEDD).

## 2 Identification des effets sanitaires

Le bruit exerce deux sortes d'effets sur la santé : les **effets auditifs** et les **effets non auditifs**.

Les principaux effets auditifs comprennent le traumatisme acoustique (dommage auditif soudain causé par un bruit bref de très forte intensité), l'acouphène (tintement ou bourdonnement dans l'oreille), le déficit auditif temporaire ou permanent.

Les effets auditifs du bruit ont été largement étudiés en situation d'exposition professionnelle, et même s'il n'existe pas de courbes dose-réponse concernant la population générale, la plupart des scientifiques considèrent le risque négligeable pour un niveau inférieur à 75 dB(A) en  $L_{eq,8h}$ . Sur une période d'exposition quotidienne de 24 heures, le risque serait ainsi négligeable en dessous de 70 dB(A)  $L_{eq,24h}$  [10]. La plupart des scientifiques s'accordent à dire que **le risque des effets auditifs est négligeable dans le cadre d'une exposition au bruit des transports terrestres**

**Ainsi, seule l'étude des effets non auditifs est attendue dans un VSEI.**

Les effets non auditifs comprennent deux types d'effet à savoir :

- **Les effets de l'ordre du danger sanitaire** (avènement de pathologies sur l'organisme). Au vu des diverses recherches scientifiques, il y a lieu de distinguer ici le **risque de maladies cardiovasculaires**, les **troubles du sommeil**, et les **modifications de performance** liées à l'altération de la communication.
- **Les effets de l'ordre de la nuisance ou de la gêne** qui dépendent de nombreux facteurs acoustiques et non acoustiques.

### ➤ La notion de stress

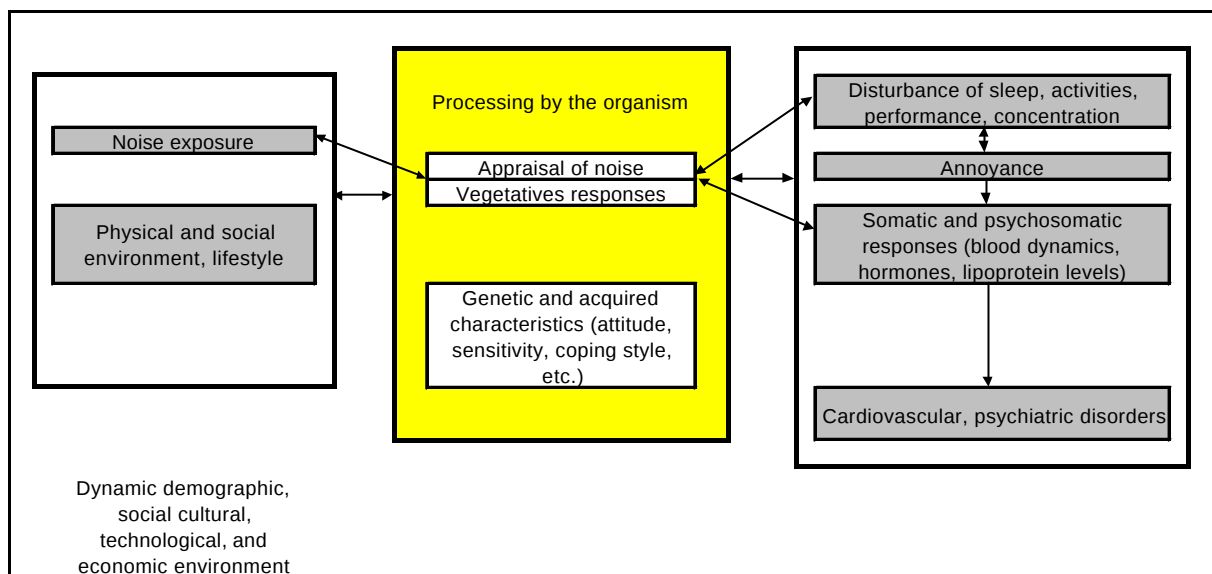
L'audition constitue un système primitif de défense de l'organisme. Un bruit perçu durant les périodes d'éveils ou de sommeil sera « traité » par l'organisme et pourra provoquer des réactions de stress, pouvant induire divers effets. Ces réactions sont d'autant plus fortes que les sons sont inattendus. La notion de « stress » doit être envisagée sous ses divers aspects afin de comprendre la plupart des effets non auditifs. Les réactions à un agent stressant peuvent être de trois ordres [11]:

- **Réactions psychologiques** (sentiment de crainte, dépression, tristesse),
- **Modifications du comportement** (isolation sociale, agression, utilisation excessive d'alcool, de tabac, de nourriture ou de drogues),
- **Réactions somatiques**<sup>5</sup> (maladies cardiovasculaires, gastro-intestinales, respiratoires).

### ➤ **Modèle conceptuel de réaction au bruit explicitant l'ensemble des effets non auditifs**

Actuellement, un des modèles conceptuels les plus utilisés par les scientifiques présente l'exposition au bruit comme un des facteurs extérieurs entraînant une réaction de stress, cette dernière provoquant elle-même diverses réactions (tableau VI).

Tableau VI : Conceptual model of the interaction of noise with humans and the occurrence of effects on health and quality of life [12]



## 2.1 Le risque de maladies cardio-vasculaires

Le risque de maladies cardiovasculaires s'explique par des effets à court terme et des effets à long terme.

### 2.1.1 Effet à court terme

#### ➤ **Modifications de la tension artérielle**

<sup>5</sup> somatique : qui est purement organique, qui provient de causes physiques.

La tension artérielle moyenne s'élève en présence du bruit. Les bruits fluctuants provoquent davantage de modifications de la tension artérielle que les bruits continus (Roverkamp 1953) [13].

La pression artérielle diastolique s'élève en présence du bruit (pour des niveaux de bruit inférieur à 85 dB et aussi supérieur à 90 dB quel que soit le type de bruit (bruit de trafic compris) [13].

### ➤ Modifications de la fréquence cardiaque

Un bruit intense et surtout inattendu entraîne une augmentation transitoire du rythme cardiaque, avec de grandes variations interindividuelles [10]. Les réponses cardiaques dépendent de la nature du bruit, les plus fortes variations étant liées au bruit de trafic routier (Parrot 1992).

### ➤ Sécrétion d'hormones

Quelle que soit l'exposition (type de bruit, durée), diverses études scientifiques de 1975 à 1999, ont montré que la sécrétion moyenne des hormones du stress s'élevait suite à une exposition sonore [14]. (Tableau VII)

Tableau VII : Paramètres biochimiques dans l'urine et le sang induits par le bruit [14]

| Paramètres biochimiques dans l'urine et le sang induits par le bruit |         |                       |                |                           |                            |               |                                 |           |               |          |
|----------------------------------------------------------------------|---------|-----------------------|----------------|---------------------------|----------------------------|---------------|---------------------------------|-----------|---------------|----------|
| Études entre 1975-1999                                               | Période | Source (localisation) | Personnes test | Glucose                   | Cholestérol                | Triglycérides | Fibrinogène                     | Adréaline | Noradrénaline | Cortisol |
| Brown (14)                                                           | jour    | bruit au travail      | 51             | =                         | -                          |               |                                 |           |               |          |
| Manninen (28)                                                        | jour    | bruit au travail      | 292            | -                         | +                          |               |                                 | -         | +             |          |
| Ising (25)                                                           | jour    | bruit au travail      | 46             |                           |                            |               |                                 | =         | +             |          |
| Belli (8)                                                            | jour    | bruit au travail      | 940            | +                         | +                          | +             |                                 |           |               |          |
| Idzior (24)                                                          | jour    | bruit au travail      | 784            |                           | +                          | +             |                                 |           |               |          |
| Polano (38)                                                          | jour    | bruit au travail      | 80             |                           |                            |               | +                               |           |               |          |
| Cavatorta (18)                                                       | jour    | bruit au travail      | 130            |                           |                            |               |                                 | +         | +             | =        |
| Altena (1)                                                           | jour    | rue/bruit             | 863            |                           | =                          |               |                                 |           |               |          |
| Babisch (3)                                                          | jour    | rue/bruit             | 2512           | +                         | +                          | =             | (+)                             |           |               |          |
| Babisch (3)                                                          | jour    | rue/bruit             | 2030           | +                         | (+)                        | +             | =                               |           |               |          |
| Babisch (3)                                                          | jour    | travail/rue           | 255            | =                         | +                          | (+)           | (+)                             |           |               |          |
| Maschke (29)                                                         | nuit    | fuite (labo)          | 40             |                           |                            |               |                                 | +         | +             |          |
| Maschke (30)                                                         | nuit    | fuite (plein air)     | 28             | =                         | =                          | =             |                                 | +         | =             | +        |
| Carter (16)                                                          | nuit    | camion (labo)         | 9              |                           |                            |               |                                 | =         | =             |          |
| Melam (35,36)                                                        | jour    | bruit au travail      | 2145           |                           | +                          | +             |                                 |           |               | +        |
| Sudo (42)                                                            | jour    | bruit au travail      | 75             |                           |                            |               |                                 | +         | +             | +        |
| Braun (12)                                                           | nuit    | rue (plein air)       | 25             |                           |                            |               |                                 | =         | +             | +        |
| Harder (20)                                                          | nuit    | fuite (plein air)     | 16             | =                         | =                          | =             | (+)                             | (+)       | =             | (+) (-)  |
| Pas de différence notable =                                          |         |                       |                | sensiblement plus élevé + | sensiblement moins élevé - |               | pertinent, pas significatif ( ) |           |               |          |

Représentation semi-quantitative des résultats de laboratoire comparés à une situation de contrôle (chez les adultes)

Source: Maschke, C. et al. *The influence of stressors on biochemical reactions – a review of present scientific findings with noise*. In: Int. J. Hyg. Environ. Health, 2000.

Une enquête épidémiologique menée auprès de 195 femmes (30 à 45 ans) dont la chambre et/ou la salle à manger étaient fortement exposées au bruit routier à Berlin [15] s'est intéressée à la sécrétion de catécholamines (adrénaline, noradrénaline).

Cette enquête épidémiologique présente les résultats suivants :

- Augmentation significative ( $p < 0,05$ ) de l'excrétion de noradrénaline par le rein lorsqu'on considère l'exposition de la fenêtre de la chambre à coucher ( $0,81 \mu\text{g/g}$  créatinine pour une augmentation de 10 000 véhicules par jour – association linéaire),
- Pas de relation significative entre le volume du trafic et l'excrétion d'adrénaline par le rein. Ces différences de sécrétion d'adrénaline et de noradrénaline s'expliquent logiquement par la mise en œuvre de différentes réactions selon le caractère habituel du stress (Isnig et al.),
- Il existe une association significative entre les troubles subjectifs (sommeil – communication) et l'augmentation des niveaux de noradrénaline durant la nuit,
- Cependant, l'ensemble de ces résultats n'a pu être mis en évidence que chez les sujets les plus fortement exposés à l'intérieur fenêtres fermées.

### 2.1.2 Effet à long terme

Actuellement, ces effets à court terme ne sont pas directement associés en terme clinique aux effets à long terme à savoir les maladies cardiovasculaires. [15]

Parmi les enquêtes les plus importantes sur les relations entre maladies cardio-vasculaires et bruit de trafic, celles réalisées à Caerphilly et Speedwell doivent être considérées comme majeures. Portant respectivement sur des échantillons de 2512 et 3248 hommes de 45 à 59 ans étudiés pendant 9 ans, ces études avaient pour objet d'évaluer les facteurs de risque de maladies cardio-vasculaires liées au bruit de trafic. [13,p48] Babisch, Ising, Elwood, Sharp et Bainston en 1993, montrait une relation statistiquement significative entre l'exposition au bruit routier ( $L_{eq} > 65 \text{ dB(A)}$ ) et le risque de maladie de cœur de type ischémique<sup>6</sup>.  $RR_{5\text{dB(A)}} = 1,09$  [1,05 - 1,13]. Mais la poursuite de cette enquête publiée en 1999, et qui analysait les résultats sur une période 10 ans, a éliminé cet effet :  $RR_{5\text{dB(A)}} = 0,97$  [0,90-1,04]. Néanmoins, il faut noter que cette enquête épidémiologique n'a pas été construite afin d'étudier spécifiquement le bruit des transports. [16 et 17]

Plus récemment, des chercheurs hollandais du Reasearch for Man and Environment (RIVM) ont réalisé une méta-analyse publiée en mars 2002 [12] sur l'exposition au bruit et la pression sanguine et les maladies de cœur de type ischémique. Cette méta-analyse rassemble 43 enquêtes épidémiologiques publiées entre 1970 et 1999 reliant l'exposition au bruit à divers effets sur la santé, principalement les changements de pression sanguine, et les risques de maladies cardiovasculaires. Ces enquêtes ont étudié principalement la population adulte. L'exposition au bruit a été mesurée en niveau de bruit équivalent  $L_{eq}$ . Le tableau VIII présente les principaux résultats de cette étude concernant l'exposition au bruit routier :

---

<sup>6</sup> Ischémie : Anémie locale, arrêt ou insuffisance de la circulation du sang dans un tissu ou un organe.

Tableau VIII : Estimation de l'association entre l'exposition au bruit routier et l'hypertension et les maladies de cœur de type ischémique, ajusté sur le sexe et l'âge. [12]

| EFFET ETUDIE                                    | RR <sub>5dB(A)</sub> | IC [95%]      | NOMBRE D'ESTIMATIONS | ECHELLE DE MESURE EN L <sub>Aeq,6H-22H</sub> |
|-------------------------------------------------|----------------------|---------------|----------------------|----------------------------------------------|
| Hypertension                                    | 0,95                 | 0,84 - 1,08   | 2                    | < 55-80                                      |
| Utilisation d'antidépresseurs                   | 0,96                 | 0,76 - 1,22   | 2                    | > 50-73                                      |
| Consultation de généralistes ou de spécialistes | 0,91                 | 0,73 - 1,12   | 1                    | 55-70                                        |
| Angine de poitrine                              | 0,99                 | 0,84 - 1,16   | 2                    | 51-70                                        |
| Infarctus du myocarde <sup>1</sup>              | 1,03                 | 0,99 - 1,09   | 3                    | 51-80                                        |
| Maladies cardiaques de type ischémique          | 1,09                 | 1,05 - 1,13 * | 2                    | 51-70                                        |
| <sup>1</sup> only prevalence estimates          |                      |               |                      |                                              |
| * p < 0,05                                      |                      |               |                      |                                              |

Ainsi, le bruit de trafic routier est associé positivement aux maladies cardiaques de type ischémique (statistiquement significatif). Prises séparément, les deux principales maladies cardiaques de type ischémique (infarctus du myocarde et angine de poitrine<sup>7</sup>) n'ont pas une association statistiquement significative. En ce qui concerne l'hypertension artérielle, on observe des tendances d'association mais qui ne sont pas statistiquement significatives. Il est à noter que l'association entre l'hypertension et l'exposition au bruit en environnement de travail est prouvée (RR<sub>5dB(A)</sub> = 1,14 [1,01-1,29] pour une exposition comprise entre 55 et 116 dB(A) en L<sub>Aeq,8h</sub>). [12]

## 2.2 Les troubles du sommeil

### 2.2.1 Effet à court terme : les modifications de la structure du sommeil

Les effets provoqués par le bruit ne sont le plus souvent décelables qu'à l'aide de divers types d'enregistrements pratiqués sur le dormeur dont l'électroencéphalographie. Ces effets immédiats peuvent être [18] :

- Des *modifications des tracés électroencéphalographiques* (EEG) : réduction de la durée du sommeil lent profond, augmentation des réveils au cours de la nuit, altération du sommeil paradoxal (raccourcissement de la latence d'apparition du premier épisode et moindre quantité pendant la nuit) (Vallet et Blanchet), altération de l'éveil (endormissement plus long),
- Des *modifications végétatives* : variations de la fréquence cardiaque, de la fréquence respiratoire ou encore une vasoconstriction se manifestant au niveau des extrémités digitales. (Il existe une corrélation positive entre les niveaux de bruit – L<sub>eq</sub>/min – et la fréquence cardiaque, quels que soient les stades du sommeil),
- Des *modifications motrices* allant du mouvement léger au changement de posture,
- Des *modifications tensionnelles*.

<sup>7</sup> Angine de poitrine : Syndrome caractérisé par des douleurs constrictives dans la région précordiale, accompagnés d'angoisse

## 2.2.2 Effets à moyen et long terme

Ce sont les effets qui sont observés après le réveil du dormeur les jours, les mois voire les années après l'exposition chronique au bruit. Ils sont étudiés à la fois par des questionnaires qui permettent d'apprécier la gêne nocturne, et par des mesures instrumentales (évaluation de la performance, mesures des concentrations hormonales, etc.).

L'altération continue du sommeil peut provoquer les conséquences suivantes :

- *Accoutumance subjective rapide* mais une persistance des modifications de la structure du sommeil ou des réactions cardio-vasculaires qui peut laisser supposer un risque de maladies cardiovasculaires [Metz, Muzet, Jurriens],
- **Absence d'une habitude à long terme.** Une habitude est certes effective pour les réveils au bout d'un certain nombre de nuit d'exposition (une dizaine) mais pas pour les changements de stade (Vallet, Muzet). Même si sur le plan subjectif il existe une habitude, **la réactivité cardio-vasculaire persiste, inchangée** (expérience sur des personnes exposées depuis 5 années à des bruits routiers),
- *Modifications du comportement* (altération de la vigilance ; apparition de névroses, de crainte, d'agressivité ; difficultés d'apprentissage - surtout durant l'enfance ; perturbation de l'efficacité au travail),
- *Dégradation du bien-être psychologique.*

Ainsi, l'ensemble des études scientifiques converge pour mettre en évidence une certitude : **l'exposition chronique au bruit nocturne entraîne des modifications de la structure globale du sommeil, que les personnes concernées se plaignent ou non de cet environnement.**

Ces modifications du sommeil conduisent à une structure du sommeil semblable à celle qui est considérée comme caractéristique de la plupart des **patients dépressifs**.

## 2.3 Les modifications de performance

### 2.3.1 A court terme : l'altération de la communication

Le bruit tend à masquer les échanges verbaux, où la parole joue un rôle prépondérant. Pour que les auditeurs auditivement normaux comprennent parfaitement la parole, la différence entre le niveau de la parole et le niveau sonore du bruit interférent devrait être au moins de 15 dB(A). **Puisque le niveau de pression acoustique du discours normal est environ 50 dB(A), un bruit avec des niveaux sonores de 35 dB(A) ou plus, gêne la compréhension de la parole** dans les plus petites pièces [10]. Lors d'une conversation tranquille, la parole est complètement intelligible avec un bruit de fond de 35 dB(A). Les situations suivantes correspondent à des situations où la compréhension du discours est cruciale : salles de classe, conférence, maisons pour personnes âgées ou pour auditeurs souffrant d'un déficit auditif.<sup>8</sup>

---

<sup>8</sup> Source : Berglund, B. *Traffic noise and health*, troisième conférence ministérielle sur l'environnement et la santé à Londres, RU 16-18 juin 1999.

### 2.3.2 A long terme : l'altération de la performance

Percevoir un discours avec un bruit de fond important demande un effort soutenu pour l'individu. De la même manière, le bruit entraîne des difficultés de concentration. Ceci aboutit à une diminution de la performance lors de travaux intellectuels.

Le bruit dans l'environnement, et plus particulièrement celui des transports, n'a pas d'incidence directe sur la **santé mentale**, mais pourrait accélérer et intensifier le développement de troubles mentaux latents. [7]

## 2.4 La gêne

### ➤ Définition et caractérisation de la gêne

Le bruit a un caractère éminemment subjectif. On qualifie de bruits, des sons qui apparaissent comme indésirables ou qui provoquent une sensation désagréable. Le contexte dans lequel nous évoluons, l'environnement social, culturel, voire le climat affectif, apportent une dimension toute personnelle sur la façon dont chacun perçoit et subit le bruit.

Il n'y a pas de définition officielle de la gêne due au bruit. On notera cependant celle de l'O.M.S.<sup>9</sup> : **« 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 ».**

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 (conversation, écoute, télévision ou radio, lecture, repos, sommeil...) et même comme révélateur d'une attitude vis-à-vis de la source de bruit.

### ➤ Les conséquences de la gêne sur les comportements

Ainsi, la gêne s'exprime à travers des comportements volontaires (augmentation du volume sonore de la télévision 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 la gêne ressentie.

### ➤ Evaluation de la gêne

Un grand nombre d'enquêtes sociales ont été menées depuis 50 ans sur la gêne due au bruit. Elle y est mesurée de différentes façons, en utilisant des échelles verbales mais aussi des échelles numériques. Depuis quelques années existe une volonté d'harmonisation de ces échelles. Ainsi une norme est sortie en avril 2001 sur les techniques d'évaluation de la gêne due au bruit.<sup>10</sup>

---

<sup>9</sup> O.M.S. *Le bruit, critère d'hygiène de l'environnement* n°12, 1980

<sup>10</sup> ISO, *Draft technical specification ISO/DTS 15666 "Acoustics-Assessment of noise annoyance by means of social and socio-acoustic surveys"* April 2001

### 3 Courbes dose-réponse et recommandations de l'OMS

#### 3.1 Définition de la dose : quels indicateurs utilisés ?

Au travers des études scientifiques, on peut constater que les effets sanitaires ne sont pas corrélés aux mêmes indicateurs acoustiques. Aussi, il apparaît pertinent de **raisonner par type d'effet** afin d'établir des caractéristiques quantitatives, puis de comparer les résultats.

La nécessité d'intégrer le temps dans la mesure a pour conséquence la multiplicité des paramètres potentiels à prendre en compte afin de caractériser une exposition : niveau de bruit moyen sur une période, émergence, nombre d'évènements sonores sur une période, spectre en fréquences, et les diverses pondérations possibles.

Les indicateurs devront posséder les caractéristiques suivantes afin de permettre leur utilisation :

- Bonne évaluation des effets recherchés,
- Facilité de mesure et de prévention,
- Facilité de compréhension par l'ensemble des personnes les manipulant (riverains, associations de défense de l'environnement, élus, etc.).

Il est à noter que la directive du Parlement européen du 25 juin 2002 relative à l'évaluation et à la gestion du bruit ambiant se réfère principalement à trois effets : la gêne, les perturbations de la communication, et les troubles du sommeil. Le fondement scientifique et technique est le résultat de divers travaux scientifiques qui ont privilégié l'indicateur  $L_{den}$  pour la gêne, et l'indicateur  $L_{night}$  pour les troubles du sommeil. [19]

##### 3.1.1 Indicateur pertinent pour mesurer l'impact sur le sommeil

Il existe une corrélation hautement significative entre les réveils, le nombre de bruits et les niveaux sonores. Dans tous les cas, la dernière partie de la nuit présente une plus grande susceptibilité aux bruits de relativement faible intensité. [18]

Il existe une relation entre l'importance des perturbations et l'amplitude des paramètres tels que l'intensité du bruit, la différence existant entre le niveau de crête et le niveau médian, la vitesse d'établissement du bruit. A cela se rajoutent les caractéristiques concernant le type de bruit (continu, intermittent ou impulsif), ou encore le nombre de bruits perçus. [18] Il faut également souligner l'importance de la signification du bruit.

D'autre part, les travaux de Mouret et Frustrhorfer ont bien mis en évidence la mémoire que garde l'organisme, pendant son sommeil, de la **dose de bruit qu'il a reçue pendant la journée**, puisque les modifications du sommeil passé en ambiance calme sont du même ordre que celles provoquées par le seul bruit nocturne. Ceci donne de l'intérêt aux seuls indices de bruit non spécifiques de la période de nuit tels les indices  $L_{dn}$ . [13]

Il y a sans doute ainsi lieu de distinguer des indicateurs reliés aux effets « à court terme » c'est-à-dire l'éveil, et d'autres corrélés aux « effets à long terme » c'est-à-dire « les troubles du sommeil ».

- *Effet à court terme*

Ce sont principalement les **bruits isolés** qui permettent d'apprécier les conséquences de l'exposition au bruit sur le sommeil. Dans le domaine des transports terrestres, on entend par bruit isolé :

- Le bruit des trains,
- Le bruit des camions dans un trafic modéré,
- Le bruit de voiture ou des deux roues dans un secteur calme.

Les réveils, les difficultés à l'endormissement et les changements de stade du sommeil dépendent principalement du **niveau de crête des bruits** (Williams).

Ainsi, les indicateurs pertinents semblent être ceux permettant la représentation du nombre et de l'intensité d'événements sonores isolés durant les périodes de sommeil. A ce propos, le **trafic routier doit être distingué du trafic ferroviaire**.

En ce qui concerne le **trafic routier**, la signature du bruit et la difficulté de prévoir le nombre d'événements sonores privilégient l'utilisation d'un **niveau équivalent**, d'autres études pouvant préciser les liens avec l'émergence.

En ce qui concerne le **trafic ferroviaire**, étant donné que la fréquence de trafic et la signature du bruit sont parfaitement prévisibles, il semblerait judicieux d'utiliser **un indicateur évènementiel**, corrélé à un indicateur de niveau équivalent. Les troubles du sommeil liés au train pourraient être mis en parallèle avec ceux liés au bruit des avions en terme de fréquence de passages en particulier. La directive du Parlement européen confirme cette remarque car elle suggère l'utilisation d'indicateurs supplémentaires au  $L_{den}$  et au  $L_{night}$  lors d'exposition spécifique dont par exemple la protection en période nocturne dans le cas de crêtes de bruit élevées. [20, Annexe 1, page 4] Un chercheur hollandais membre du TNO, HME Miedema, a retenu l'indicateur SEL afin de caractériser une probabilité d'éveils calculé sur une période précise (nuit, semaine, année) [21]. (III-3.2.2)

### ➔ *Effet à long terme*

Dans son projet de directive, la commission européenne a retenu pour caractériser les situations à long terme l'indicateur  $L_{night}$  pour « les troubles du sommeil ».

### 3.1.2 Indicateur pertinent pour mesurer la gêne

Le sentiment de gêne est la résultante de divers facteurs acoustiques (intensité, spectre, fréquence, durée) et non acoustiques (sentiment de refus de l'infrastructure, conditions sociales, facteurs individuels, insertion paysagère, etc.) La plupart des enquêtes socio-acoustiques ont montré que la description acoustique ne permettait d'expliquer qu'environ 30 à 40 % de la gêne. Des études plus globales associant le bruit avec par exemple le paysage, « l'effet nouvelle infrastructure », l'effet « multi-nuisance », et la nécessité d'ouverture des fenêtres permettraient une juste prise en compte du phénomène. Celles-ci restent encore à approfondir.

Néanmoins, il existe des courbes dose-réponse assez fiables, qui utilisent la plupart du temps un niveau de bruit moyen.

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 sonores d'une certaine intensité, il n'en reste pas moins vrai que depuis

quelques années déjà le  $L_{Aeq}$  est l'indice acoustique le plus utilisé au plan opérationnel dans le domaine du bruit routier et du bruit ferroviaire et cela dans le monde entier. En outre, il ressort de l'étude des publications concernant le sujet que c'est **l'ensemble du bruit reçu durant les 24 heures qui devrait être considéré** [13].

La commission européenne a retenu dans son projet de directive afin de caractériser les situations à long terme l'utilisation du  $L_{den}$  **en tant qu'indicateur de gêne**.

### 3.2 Courbes dose-réponse de l'ordre du danger sanitaire

#### 3.2.1 Le risque de maladies cardio-vasculaires

Actuellement, aucune courbe dose-réponse concernant le risque de maladies cardio-vasculaires n'a pu être précisée. Néanmoins, les preuves de maladies cardio-vasculaires lors d'une forte exposition existent (III-2.1.2). Divers scientifiques avancent des seuils voisins de 65 – 70 dB(A) en  $L_{eq,jour}$ . Notons par exemple l'avis de Babisch qui suite à diverses études épidémiologiques concluait en 1991 que le bruit de trafic de 66-70 dB(A) en  $L_{eq,6h-22h}$  était un seuil pour les risques de maladies cardio-vasculaires. [13,p48]

Même si actuellement les avancées scientifiques ne permettent pas de conclure à l'existence d'un risque de maladies cardiovasculaires provoquées par une exposition au bruit des transports terrestres voisines de la réglementation française - à savoir dans le cas le plus fréquent  $L_{eq,6h-22h} = 60$  dB(A) et  $L_{eq,22h-6h} = 55$  dB(A) en façade extérieure pour le transport routier, ces seuils d'exposition ne devraient pas être dépassés. En outre, **il serait souhaitable dans un souci de développement durable (croissance du trafic, développement urbain) et par mesure de prévention, de diminuer ces seuils d'exposition**.

#### 3.2.2 Les troubles du sommeil

Il n'existe pas à proprement parler de courbes dose-réponse concernant le sommeil. Comme précédemment, les effets à court et moyen terme seront distingués.

##### ➤ Effets à court terme : éveils

Dans le cas d'une exposition ferroviaire, il serait souhaitable d'estimer le nombre de réveils provoqué par un ou plusieurs passages de trains afin d'arriver à se rendre compte de leur impact réel. Pour ce faire, le chercheur hollandais Miedema a retenu l'indicateur SEL et précisé la relation suivante [21] :

$$\text{Probabilité d'éveil} = 0.0018 (\text{SEL} - 55)$$

où SEL représente l'énergie totale d'un événement sonore en dB(A) (SEL est mesuré en extérieur)

Le scientifique Passchier-Vermeer indique lui aussi un seuil de 55 dB(A) en SEL correspondant à 0% d'éveils [11].

D'autres seuils ont été déterminés par des scientifiques en fonction du  $L_{max}$ . Ils sont présentés dans le tableau IX, et la figure 3.

Tableau IX : Pourcentage de nombre d'éveils par rapport à l'exposition au bruit

| Source                                    | Situation                            | Eveil (1) Lmax dB(A) à l'intérieur de la chambre |                         |                         |                         |                         |
|-------------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
|                                           |                                      | Probabilité d'éveil 0%                           | Probabilité d'éveil 5 % | Probabilité d'éveil 20% | Probabilité d'éveil 30% | Probabilité d'éveil 50% |
| [10]                                      | Bruit de circulation (Hofman - 1994) | 40                                               | 45                      | 60                      | 68                      | 90                      |
|                                           | Modèle Griefahn                      |                                                  | 62                      | 66                      | 82                      | 98                      |
| [13] Berry, Collins, Ludlow, Lukas, Muzet | Tout type de bruit                   | 36                                               | 52                      | 63                      | 70                      | 87                      |

| Source          | Situation   | Eveil Lmax dB(A) à l'intérieur de la chambre |                         |
|-----------------|-------------|----------------------------------------------|-------------------------|
|                 |             | Probabilité d'éveil 0%                       | Probabilité d'éveil 25% |
| [13,p72] Vernet | Voie ferrée | < 52                                         | > 70                    |

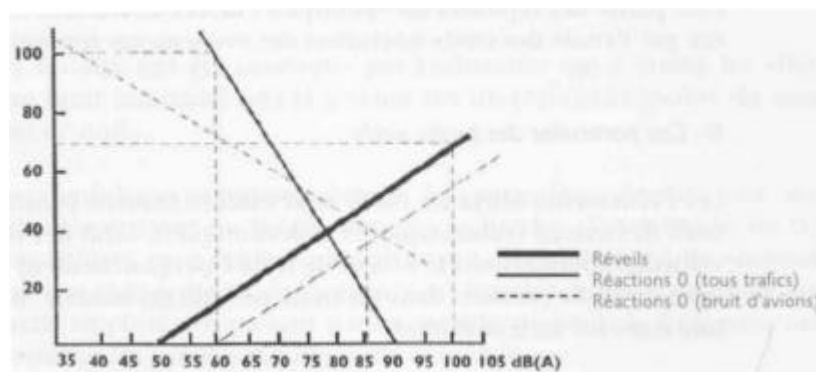


Figure 3 : Nombre de réveils et de réactions en fonction du niveau de crête des bruits [13]

### ➡ Effets à long terme

Là encore, il n'existe apparemment pas de courbe dose-réponse valide.

Mais les recommandations de l'OMS semblent prendre en compte à la fois les effets à court et long terme. (Tableau X, III-2.4)

### 3.2.3 Les modifications de performance

La situation est identique à celles des troubles du sommeil, sachant qu'à court terme les perturbations de la communication peuvent à priori être mises en relation avec des indicateurs de crête ( $L_{max}$ , ou SEL pour Miedema), et qu'à long terme c'est-à-dire lors de l'avènement d'une différence sur les facultés cognitives entre des individus exposés et non exposés, il n'existe apparemment pas de courbe dose-réponse.

Dès lors il semble pertinent de protéger au maximum les situations « à court terme » c'est-à-dire de favoriser la communication et la compréhension. Ceci va dans le sens des recommandations de l'OMS présentées ci-après (Tableau X).

### 3.2.4 Les recommandations de l'OMS (2000)

Tableau X : Valeurs guides de l'OMS (2000) pour le bruit ambiant  
concernant le bruit des transports [10, pa16]

| <b>Environnement</b>                                                          | <b>Effet(s) critique(s) sur la santé</b>                                             | <b>LAeq (dB(A))</b> | <b>Base temps (en heures)</b> | <b>LAmix (dB)</b> |
|-------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|-------------------------------|-------------------|
| Zone résidentielle, en extérieur                                              | Gêne sérieuse le jour et en soirée                                                   | 55                  | 16                            | —                 |
|                                                                               | Gêne moyenne le jour et en soirée                                                    | 50                  | 16                            | —                 |
| Intérieur d'une habitation                                                    | Intelligibilité d'un discours, gêne moyenne, le jour et en soirée                    | 35                  | 16                            | —                 |
| Chambre à coucher, intérieur                                                  | Troubles du sommeil, la nuit                                                         | 30                  | 8                             | 45                |
| Chambre à coucher, extérieur                                                  | Troubles du sommeil, fenêtre ouverte (valeurs à l'extérieur)                         | 45                  | 8                             | 60                |
| Salles de classe à l'école et à la garderie, à l'intérieur                    | Intelligibilité du discours, perception et communication de l'information perturbées | 35                  | Pendant les cours             | —                 |
| Chambres dans une garderie, à l'intérieur                                     | Troubles du sommeil                                                                  | 30                  | Temps de sommeil              |                   |
| Ecole, terrain de jeu extérieur                                               | Gêne (source extérieure)                                                             | 30                  | Pendant les jeux              |                   |
| Hôpital, salle commune                                                        | Troubles du sommeil, la nuit                                                         | 30                  | 8                             | 40                |
| Chambre à coucher, intérieur                                                  | Troubles du sommeil, le jour et en soirée                                            | 30                  | 16                            | —                 |
| Hôpital, salle de soins, à l'intérieur                                        | Perturbation du repos et de la récupération (1)                                      |                     |                               |                   |
| Zone de circulation ou de commerce, zone industrielle, intérieur et extérieur | Troubles de l'audition                                                               | 70                  | 24                            | 110               |

(1) Aussi faible que possible

### 3.3 Courbes dose-réponse relatives à la nuisance

Actuellement, la courbe dose-effet la plus aboutie, et validée scientifiquement, semble être celle issue du groupe de travail de la Commission européenne. En effet, un groupe de travail Dose/effet WG2 a été formé en 1998 par la Commission européenne avec l'objectif de fournir en 2002 des relations dose-effet pertinentes relatives au bruit de l'environnement [22]. A ce titre, Miedema et Oudshoorn (TNO Prévention et santé) ont publié en juillet 2000 l'étude « elements for a position paper on relationships between transport noise and annoyance » qui présente des courbes dose-réponse reliant une exposition en  $L_{den}$  selon le mode de transport (avion, route ou train) et la gêne (incommodés, gênés ou très gênés). Ceci s'est fondé sur l'exploitation d'un grand nombre d'enquêtes psychosociologiques. (Figure 4) (Annexe I)

| L <sub>den</sub> | Bruit routier |             | Bruit ferroviaire |             |
|------------------|---------------|-------------|-------------------|-------------|
|                  | % gêné        | % très gêné | % gêné            | % très gêné |
| 45               | 6             | 1           | 3                 | 0           |
| 50               | 11            | 4           | 5                 | 1           |
| 55               | 18            | 6           | 10                | 2           |
| 60               | 26            | 10          | 15                | 5           |
| 65               | 35            | 16          | 23                | 9           |
| 70               | 47            | 25          | 34                | 14          |
| 75               | 61            | 37          | 47                | 23          |

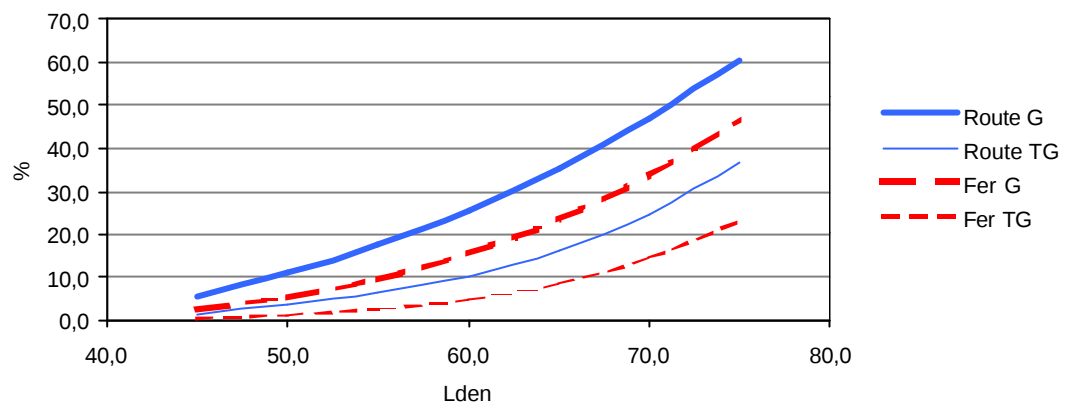


Figure 4 : Pourcentage de personnes gênées et très gênées en fonction du L<sub>den</sub> et selon le mode de transport [23]

En ce qui concerne le bruit routier et le bruit ferroviaire, les relations entre L<sub>den</sub> et le pourcentage de personnes gênées et très gênées suivent une distribution normale, et sont les suivantes [23] :

*Bruit routier :*

$$\% G = \% \text{gêné} = 1.795 \cdot 10^{-3} (L_{\text{den}} - 37)^3 + 2.110 \cdot 10^{-2} (L_{\text{den}} - 37)^2 + 0.5353 (L_{\text{den}} - 37)$$

$$\%TG = \% \text{Très gêné} = 9.868 \cdot 10^{-4} (L_{\text{den}} - 42)^3 + 1.436 \cdot 10^{-2} (L_{\text{den}} - 42)^2 + 0.5118 (L_{\text{den}} - 42)$$

*Bruit ferroviaire :*

$$\% G = \% \text{gêné} = 4.538 \cdot 10^{-4} (L_{\text{den}} - 37)^3 + 9.482 \cdot 10^{-2} (L_{\text{den}} - 37)^2 + 0.22129 (L_{\text{den}} - 37)$$

$$\%TG = \% \text{Très gêné} = 7.239 \cdot 10^{-4} (L_{\text{den}} - 42)^3 + 7.851 \cdot 10^{-3} (L_{\text{den}} - 42)^2 + 0.1695 (L_{\text{den}} - 42)$$

#### Exploitation possible de ces courbes :

Ces courbes permettent de calculer le nombre de personnes gênées ou très gênées selon leur exposition pour le bruit routier ou le bruit ferroviaire, et ceci uniquement pour l'estimation des situations stables à long terme. En outre, ces courbes ne sont pas applicables lors de situations locales de plainte ou pour l'estimation des effets à court terme suite à un changement de paysage sonore. Elles ne sont pas recommandées dans le cas de sources spécifiques (exemple : bruit de gare).

### Précision sur la mesure du $L_{den}$ :

C'est le **son incident qui est pris en considération**, ce qui signifie qu'il n'est pas tenu compte du son réfléchi sur la façade du bâtiment concerné (en règle générale, cela concerne une correction de 3 dB lorsqu'on procède à une mesure).

Si mesure en champ libre,  $L_{den \text{ mesuré}} = L_{den \text{ incident}}$

Si mesure en façade d'habitation,  $L_{den \text{ mesuré}} - 3 \text{ dB(A)} = L_{den \text{ incident}}$

La hauteur du point d'évaluation de  $L_{den}$  doit toujours être précisée, généralement entre 1,50m et 4m au-dessus du sol [20, Annexe 1, page 3].

## 4 Caractérisation de l'état initial

### 4.1 Du point de vue acoustique

#### 4.1.1 Le principe des effets cumulés

L'oreille humaine perçoit l'ensemble des bruits issus des sources qui l'entourent : le bruit des transports (routes, voies ferrées, avions), le bruit industriel ou encore le bruit de voisinage. Certes l'individu distingue un bruit «plaisant » (exemple : musique de son choix) d'un bruit «dérangeant » (exemple : un marteau piqueur), mais il y réagit dans leur intégralité.

Dans la démarche d'évaluation des risques, « les autres sources d'exposition et le bruit de fond » doivent être pris en compte [8,p23], c'est-à-dire **que l'ensemble du bruit perçu par l'individu doit être considéré**. Néanmoins, il n'existe pas à l'heure actuelle de consensus sur un modèle de la gêne totale due à une combinaison des sources de bruit dans l'environnement. [Directives de l'OMS]

Il est dès lors **attendu une caractérisation acoustique fine de l'état initial de telle sorte que les émissions sonores des diverses sources de bruit existantes puissent être ajoutées à celles de la nouvelle infrastructure**. Par souci de cohérence, les émissions des sources de même type (transport routier par exemple) seront ajoutées. La non prise en compte des émissions sonores des sources diverses (installations industrielles par exemple) devra être précisée.

#### 4.1.2 Les éléments indispensables

Une **aire d'étude acoustique** doit être justifiée, et précisée au niveau géographique. Deux impacts différents seront distingués : l'impact sonore lié au projet, et celui lié aux infrastructures existantes qui du fait de la nouvelle infrastructure vont voir leur trafic fortement modifié (augmentation ou diminution). La description de chaque impact permettra la justification de l'aire d'étude acoustique. Les éléments suivants devront être clairement précisés :

#### ➤ Impact sonore lié au projet lui même

- Hypothèses de trafic à un horizon d'étude spécifié (en général 20 ans – Circulaire n°97-110),
- Topographie du site,
- Justification et description de la bande d'étude,

- Identification des principales sources de bruit (infrastructures de transport terrestres, couloir aériens, installations industrielles, etc.) présentées sous forme de secteurs géographiques homogènes sur un fond de carte,
- Métrologie sur ces secteurs identifiés (le quadrillage des mesures effectuées devra être justifié), l'objectif n'étant pas uniquement de décrire si le projet passe en zone d'ambiance sonore modérée ou pas mais de pouvoir sommer les émissions sonores. Les méthodes de mesure et les incertitudes seront spécifiées,
- Modélisation (description du modèle, précision des incertitudes).

#### ➤ **Impact sonore lié au trafic induit**

- Hypothèses de trafic induit sur les axes routiers existants,
- Choix des infrastructures existantes où l'émission sonore sera « sensiblement » modifiée, le terme « sensiblement » étant à justifier du point de vue sanitaire,
- Description des émissions sonores des infrastructures sélectionnées (classement sonores et métrologie),
- Modélisation de l'émission sonore des infrastructures sélectionnées afin de caractériser la population exposée. Méthodes et incertitudes seront précisées.

## **4.2 Du point de vue des populations**

### **4.2.1 Populations sensibles et expositions spécifiques**

Par rapport au danger sanitaire, des populations spécifiques et des types d'exposition concernant les troubles du sommeil et les modifications de la performance sont à distinguer. Concernant le risque de maladies cardio-vasculaires, l'état actuel des connaissances ne permet pas de privilégier une population.

Par rapport à la gêne, des études scientifiques distinguent diverses expositions.

#### ➤ *Les troubles du sommeil*

**La période d'exposition à considérer est naturellement celle du sommeil**, à savoir la nuit pour la population générale, mais aussi le jour. Or, le niveau et la fréquence des bruits sont plus importants le jour que la nuit, et quel que soit le moment de la journée, les scientifiques estiment que la réactivité cardio-vasculaire du dormeur est constante [24]. La prise en compte du sommeil diurne devient ainsi primordiale. Les populations concernées sont :

- **Les jeunes enfants** (sieste, lieu d'exposition privilégié : crèche) [25],
- **Les populations salariées en horaires postés ou de nuit** (17% des salariés des pays de l'Union européenne sont des travailleurs en horaires postés en 2000. [26])
- **Les personnes âgées** (sieste et mode de vie)
- **Les malades, et personnes fatiguées nerveusement** (lieu d'exposition privilégié : hôpital, maison de retraite),

En outre, ces populations, spécifiques par leur exposition, constituent des populations sensibles :

- Les **personnes âgées** sont plus sensibles à leur environnement sonore nocturne car il provoque des éveils plus fréquents et des temps d'endormissement plus longs que chez la population générale. [27]
- **L'enfant** réagit peu aux perturbations sonores une fois endormi et se plaint rarement d'avoir mal dormi en raison du bruit ambiant. Cette **sensibilité réduite au niveau électroencéphalographique et au niveau subjectif contraste** toutefois avec une réactivité cardiovasculaire qui est identique à celle que l'on peut observer chez l'adulte. [27] La réactivité cardiovasculaire apparaît dès 50 dB(A) pour les enfants, 55 dB(A) pour les personnes âgées, et 60 dB(A) pour les personnes d'âge moyen. (mesurés à l'intérieur) [13]
- **Les personnes postées** ont un sommeil fragile à cause de la modification permanente de leur rythme circadien.

Enfin s'ajoutent à cela des expositions spécifiques liées aux **conditions climatiques** du lieu. La nécessité de rafraîchir les chambres dans certaines régions (Sud de la France) et durant une période relativement importante (environ trois mois de l'année) impose soit l'ouverture des fenêtres, soit l'utilisation d'une ventilation. Lors de l'ouverture des fenêtres, l'exposition au bruit est plus forte. Ceci est sans doute à mettre en relation avec les moyennes de température suivant les mois.

Ainsi, les lieux d'exposition spécifiques, à traiter en priorité seraient au minimum les suivants :

- Hôpital,
- Maison de retraite,
- Crèche,
- Secteur résidentiel,
- Secteur où l'ouverture des fenêtres est une priorité.

### ➤ *Les modifications de performance*

Mis à part les conséquences d'un sommeil non-récupérateur sur les facultés mentales, certains lieux d'exposition sont à considérer du fait de la nécessité d'une concentration ou d'une compréhension correcte du discours. Il y a lieu de distinguer :

- **le milieu scolaire,**

Cette exposition spécifique fait l'objet de recherches approfondies notamment au sein de groupes de travail de la commission européenne, car « il existe une corrélation évidente entre les différentes recherches sur le fait que l'exposition chronique à un environnement bruyant amène à affaiblir les fonctions cognitives et la santé des enfants » [28]

- **les secteurs de bureau,**
- **les secteurs où la vigilance doit être accrue pour des raisons de sécurité** (exemple : travailleurs manipulant des éléments dangereux),
- **les jardins d'enfants** semblent être un lieu d'exposition spécifique [29].

### ➤ La gêne

La gêne s'explique en partie par des facteurs acoustiques (environ 30 à 40 %) et des facteurs non acoustiques. Les facteurs suivants peuvent intervenir dans l'explication de la gêne :

- Type de la source (ferroviaire ou routière),
- Sentiment de prise en compte du bruit,
- Utilité du projet au regard de l'individu,
- Sentiment de privation de son bien privé (modification de l'utilisation de l'habitation, modification de l'usage des espaces extérieurs, modification des pratiques d'ouverture des fenêtres),
- Confort attendu,
- Insertion paysagère du projet.

Actuellement, il n'existe pas de systèmes valides permettant la prise en compte de tels facteurs.

## 4.2.2 Pertinence de la caractérisation

Il est attendu la caractérisation quantitative, qualitative, et géographique de chacune de ces populations ou expositions spécifiques, ou une justification de leur « non-considération ».

## 5 Caractérisation de l'exposition

La présentation de l'exposition des populations est un élément crucial permettant l'analyse du dossier. L'exposition sonore de la population n'est pas liée à la réglementation, celle-ci n'étant que le résultat d'un consensus lié aux aspirations et aux contraintes technico-économiques d'une époque. Ainsi le critère **d'homogénéité des représentations** est indispensable.

### 5.1 Du point de vue acoustique

#### 5.1.1 Pertinence de la modélisation

Est attendue une modélisation de l'émission sonore de la nouvelle infrastructure et des infrastructures existantes impactées. Il y a lieu de disposer au minimum des éléments suivants :

- Justification du choix du ou des indicateurs pertinents corrélé(s) à l'effet sanitaire considéré,
- Présentation du modèle (nom, caractéristiques générales),
- Description des données utilisées : caractérisation de l'état initial acoustique, conditions météorologiques (Voir Art.6 de l'arrêté du 5 mai 1995), hypothèses de trafic\*, hypothèse de croissance, débit spécifique de poids lourds, fréquence de passage de trains, précision de la géométrie du tracé utilisée et des relevés topographiques,
- Précision des incertitudes inhérentes au modèle,
- Justification de scénarios d'exposition (exemple : conditions météorologiques favorables à la propagation des ondes sonores),
- Présentation de la modélisation à l'horizon étudié AVEC et SANS protection

\* « Si une réduction de trafic est prévisible, suite à la création d'une autre infrastructure par exemple, c'est le trafic maximum prévu sur la période qui sera pris en compte » (Circulaire n°97-10 du 12

décembre 1997 relative à la prise en compte du bruit dans la construction de routes nouvelles ou l'aménagement de routes existantes du réseau national)

### 5.1.2 La forme de la présentation

La forme de la présentation servira à la bonne compréhension des expositions. Il serait souhaitable de présenter les divers résultats sur des fonds de carte à l'échelle utilisée dans l'ensemble du projet (1/25000 en général). La modélisation AVEC et SANS protection acoustique à l'horizon étudié doit être présentée.

## 5.2 Du point de vue des populations

Les éléments suivants devront au minimum être présentés :

- Nombre d'habitations exposées et nombre d'individus correspondants (caractérisation acoustique et géographique),
- Hypothèses de croissance locale liées à la démographie et aux perspectives d'urbanisation,
- Nombre d'habitations sensibles dans l'aire d'étude avec leur caractérisation acoustique (traduction en nombre d'individus),
- Précision des modes de vie spécifiques liés à la climatologie.

## 6 Quantification du risque

### 6.1 Concernant le risque sanitaire

Les connaissances scientifiques actuelles ne permettent pas d'établir des courbes dose-réponse au sens de l'évaluateur de risques pour les effets « risque de maladies cardio-vasculaires », « troubles du sommeil », « modifications de la performance » ; dès lors la quantification du risque en tant que tel ne peut se faire.

➤ Pour le risque de maladies cardio-vasculaires

Par souci de prudence, le **seuil de 65 dB(A) en  $L_{eq,jour}$**  avancé par certains scientifiques ne devrait jamais être dépassé. Dès lors il serait même souhaitable d'envisager des mesures compensatoires dans les situations où l'état initial dépasse ce seuil.

➤ Pour les troubles du sommeil et les troubles de la performance

La **comparaison entre l'exposition sonore due au projet et les recommandations de l'OMS** permettraient de justifier du point de vue sanitaire des mesures compensatoires particulières à mettre en œuvre. Même si les conséquences sanitaires à long terme ne sont pas encore à proprement parler quantifiables, cette comparaison apparaît nécessaire en ce qui concerne l'exposition des populations sensibles.

### 6.2 L'acceptation de la nuisance

En ce qui concerne la gêne, quand bien même des courbes dose-réponse valides existent, le terme « risque » pour la santé semble être inadapté.

Les courbes dose-réponse (III-3.3) spécifiques d'un mode de transport expriment globalement la gêne à long terme liée au projet. Le confort et le bien-être sont un droit des populations qu'il convient de respecter au maximum dans les limites des contraintes économiques et technologiques du moment. Aussi, avant d'envisager des mesures compensatoires liées à la gêne, il convient d'appliquer ces courbes dose-réponse au projet. Il est souhaitable de **caractériser la population en fonction du sentiment « gêné » et/ou « très gêné »** et de produire ces résultats sous forme :

- De niveau acoustique (exposition exprimée en  $L_{den}$ ),
- D'appréciation qualitative (gêné, très gêné) ;
- D'évaluation quantitative (nombre de populations impactées avec leur intervalle de confiance à 95 %),
- De représentation géographique. (Exemple : production d'« d'iso gêne »).

A partir de cette caractérisation de la gêne, des mesures compensatoires pourraient être envisagées au vu de la confrontation des deux termes suivants :

#### **% de personnes gênées et densité de population du secteur**

**En outre, les effets cumulés en terme de santé sont là aussi à envisager. Il serait souhaitable de mettre en parallèle l'ensemble des effets sanitaires (gêne et troubles du sommeil principalement) au niveau des populations.**

### **6.3 L'exposition réelle sur le long terme**

Force est de constater que de nombreux points noirs existent actuellement au droit des infrastructures. Diverses raisons peuvent expliquer leur prolifération : réglementation antérieure moins stricte, création de zones urbanisées proches d'infrastructures, mauvaise appréciation du trafic attendu et de la proportion de poids lourds par exemple. Or ce dernier point peut faire l'objet des engagements du Maître d'Ouvrage au moment de l'enquête publique. Il pourrait être envisagé l'installation d'un suivi de l'émission sonore de l'infrastructure existante, et des dispositions envisageant le dépassement des objectifs fixés. Notons que le « respect des niveaux sonores maximaux admissibles est obligatoire sur toute la durée de vie de l'infrastructure » sur le réseau national. (Circ. Equip. (DR) – Env. (DPPR) n°97-110 du 12 décembre 1997 relative à la prise en compte du bruit dans la construction de routes nouvelles ou l'aménagement de routes existantes du réseau)

## **7 Synthèse du VSEI**

Le guide pour l'analyse du volet sanitaire des études d'impact [8,p15] préconise une synthèse de l'ensemble des effets sanitaires du projet, à savoir pour les infrastructures de transport au stade chantier et au stade exploitation :

- Bruit,
- Pollution atmosphérique,
- Pollution chronique des eaux,
- Pollution chronique des sols,
- Risque de pollutions accidentelles.

La distinction **impact local** et **impact global** pourrait être effectuée permettant d'apprécier l'intérêt général en terme de santé du projet.

Cette synthèse pourrait être utilement complétée par l'utilisation des méthodes d'évaluation des coûts collectifs et des avantages induits pour la collectivité qui sont exigées pour les infrastructures de transport (Art. 19 – Loi sur l'air). En ce qui concerne le bruit des transports, ceci pourrait être utilement complété par le rapport du commissariat Général au Plan sur les « choix des investissements et coût des nuisances » -(Rapport Boiteux – juin 2001)

## CHAPITRE IV – Discussions

Ce chapitre s'attachera à présenter les deux principales limites inhérentes au guide de lecture présenté au chapitre III :

- limites de la connaissance scientifique actuelle et des méthodes utilisées ou utilisables,
- limites de méthode de construction du guide.

Enfin, une réflexion sera menée sur la prise en compte de la sécurité routière au sein des VSEI, et des considérations financières inhérentes à la prise en compte des expositions cumulées.

### 1 Les limites de l'identification des effets sanitaires - Les recherches à poursuivre ou programmées

#### 1.1 Le risque de maladies cardio-vasculaires : des connaissances limitées

La connaissance des effets sanitaires est encore insuffisante en ce qui concerne principalement le **risque de maladies cardio-vasculaires**. Cette relation de causalité n'est actuellement validée de manière statistique qu'avec les maladies cardiaques de type ischémique (III-2.1.2.). Pour l'hypertension artérielle, on observe des tendances d'association mais qui ne sont pas statistiquement significatives. Dès lors une grande enquête épidémiologique serait à mener afin de préciser ces résultats. Sa construction s'attacherait en particulier à la correcte définition de la taille de la population, et permettrait de palier à la principale limite de ces études à savoir le manque de puissance.

#### 1.2 Les enfants : une population sensible encore mal définie

La population sensible que constituent les **enfants** fait actuellement l'objet de recherches approfondies. Stansfeld et Haines (2002) précisent qu'il n'existe pas à l'heure actuelle de relations dose-effet solides concernant les enfants [28]. Cette question fera partie du projet RANCH (Road traffic and Aircraft Noise exposure and Children's cognition and Health : relations dose effets, et effets combinés) créé par la commission européenne ([www.ranchproject.org](http://www.ranchproject.org)). Ce dernier comporte :

- quatre enquêtes épidémiologiques sur l'exposition chronique au bruit routier et aérien conduites aux Pays-Bas, l'Espagne, la Suède, et le Royaume Uni,
- deux études psychologiques quasi-expérimentales conduites en Suède et au Royaume Uni,
- deux études biomédicales en laboratoire conduites en Suède et au Royaume Uni.

Ce projet RANCH n'en est encore qu'à ses débuts. Commencé au 01/01/2001, les résultats sont attendus au 31/12/2003.

#### 1.3 La gêne : l'intégration délicate des facteurs non acoustiques

Enfin, la **gêne** fait actuellement l'objet de nombreuses recherches, celles-ci étant orientées vers l'intégration de **facteurs non acoustiques** qui entrent en jeu de manière fondamentale dans son expression. En effet, la plupart des enquêtes socio-acoustiques ont montré que la gêne n'était

déterminée (ou expliquée) que très partiellement par les facteurs acoustiques (environ 30 à 40 %). Or les courbes dose-effet de Miedema n'intègrent aucun de ces facteurs non acoustiques.

Les facteurs non acoustiques pouvant entrer en jeu sont [30] :

- **Facteurs de situation**, c'est-à-dire des facteurs qui viennent moduler l'exposition individuelle au bruit : bruit de fond, niveau d'isolation du logement (double vitrage), mais aussi la présence d'une façade calme, etc,
- **Facteurs individuels** : facteurs socio-démographiques (sexe, âge, niveau de formation, statut d'occupation du logement, dépendance professionnelle vis-à-vis de la source de bruit, usage de la source...), et facteurs d'attitude (sensibilité au bruit, peur de la source, capacité à surmonter, à faire face au bruit, ...),
- **Facteurs sociaux** qui eux relèvent la plupart du temps des attitudes de groupes sociaux et non plus des attitudes individuelles. On en dénombre au moins 4: les *styles de vie*, l'image de la *source de bruit*, les *attentes vis-à-vis de l'évolution du bruit*, la *confiance* (ou *méfiance*) des individus par rapport à l'attitude et l'action des pouvoirs publics,
- **Facteurs liés à la source de bruit** : l'effet « nouvelle infrastructure », l'effet « multi-exposition », etc.

Notons par exemple l'effet « nouvelle infrastructure » étudié par l'INRETS : lors d'une exposition acoustique comparable, la gêne exprimée est plus forte dans le cas d'une nouvelle infrastructure par rapport à une situation existante (Figure 5).

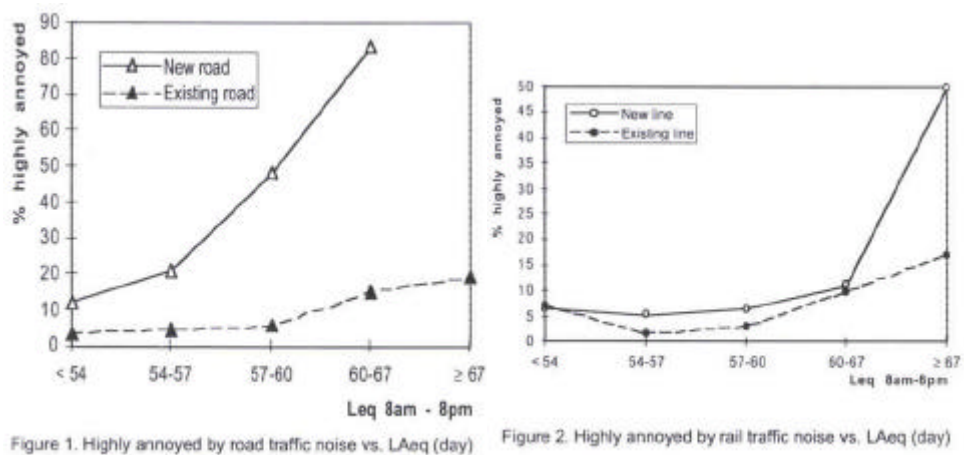


Figure 5 : L'effet « nouvelle infrastructure »: présentation des recherches de l'INRETS [31]

L'exposition à différents types de source de bruit de l'environnement fait elle aussi l'objet de recherches approfondies. Elles devraient permettre de mieux appréhender la nuisance engendrée par une « exposition cumulée » au bruit. Par exemple, l'INRETS a publié en 2002 une étude sur la « gêne en situation de **multi-exposition** au bruit ferroviaire et au bruit routier » [32]. Cette enquête concerne 700 personnes interrogées réparties sur 63 sites en France exposées à du trafic ferroviaire et routier. Cette enquête concluait à une meilleure acceptation du bruit ferroviaire, et à l'existence d'interaction entre les sources ferroviaires et routières, ce dernier point restant à approfondir.

## 2 Les limites de la caractérisation de l'exposition au sein des VSEI

### 2.1 L'usage des indicateurs pertinents

La caractérisation des populations exposées au droit du projet présuppose l'utilisation des **indicateurs** pertinents directement reliés à l'effet sanitaire. Les recherches du groupe de travail à l'initiative de la commission européenne ont mis en avant le  $L_{den}$  pour la gêne, et le  $L_{night}$  pour les troubles du sommeil. Néanmoins, par souci de clarté et de précision, il serait sans doute souhaitable d'utiliser un indicateur évènementiel ( $L_{max}$  ou SEL) lors d'une exposition ferroviaire (III-3.2.2).

En outre, actuellement, le choix des indicateurs à utiliser dans les études d'impact ( $L_{eq,6h-22h}$  et  $L_{eq,22h-6h}$ ) est conditionné par la réglementation qui s'est fondée uniquement sur la gêne (Arrêté du 5 mai 1995 relatif au bruit des infrastructures routières – Arrêté du 8 novembre 1999 relatif au bruit des infrastructures ferroviaires). Il serait souhaitable :

- D'utiliser l'indicateur  $L_{den}$  afin d'appliquer les courbes dose-réponse présentées en III-3.3,
- De comparer des niveaux de bruit équivalents à des niveaux de crête dans des expositions existantes (routier ou ferroviaire),
- De réfléchir à l'intégration d'un indicateur évènementiel pour le trafic ferroviaire,
- De modéliser les événements sonores isolés pour le trafic routier en fonction du type de voie, de sa fonction et de sa capacité).

### 2.2 La caractérisation de l'exposition réelle : la prise en compte des modes de vie

Malgré le manque d'études spécifiques sur les facteurs « fenêtres ouvertes » et sur l'exposition en extérieur, il serait souhaitable d'envisager de les caractériser localement afin de justifier l'utilisation de pondérations. En effet, ces facteurs ont des conséquences sur **l'exposition réelle** et donc sur la gravité de l'ensemble des effets sanitaires.

Il pourrait être envisagé une **caractérisation du style de vie de la population** en fonction entre autres de l'usage des espaces extérieurs, et de la fréquence d'ouverture naturelle des fenêtres. Ceci pourrait s'effectuer à partir d'une enquête sociologique au niveau national caractérisant les modes de vie selon des secteurs géographiques. Tout projet local se situant dans un secteur, l'intégration locale des modes de vie pourrait être effectuée. Ceci permettrait la description de l'exposition réelle de la population riveraine.

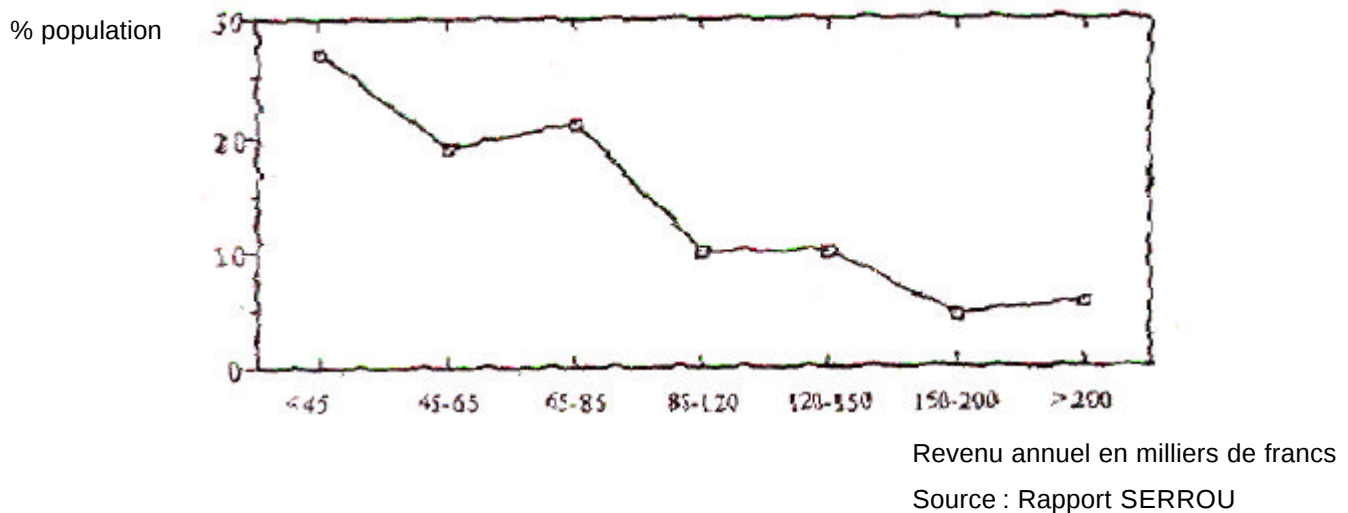
A défaut d'une telle enquête initiée par les pouvoirs publics, des enquêtes sociologiques locales au droit des projets pourraient permettre la prise en compte de ces facteurs. Une attention toute particulière serait alors à exiger concernant la définition des questionnaires. En effet, l'arrivée d'une route est souvent mal perçue par les futurs riverains qui pourraient modifier leurs réponses, ceci pouvant constituer un biais important de l'enquête.

### 2.3 L'évolution sociale de la population exposée

La caractérisation de l'exposition envisage peu actuellement l'impact sur les caractéristiques sociales de la population qui occupera à terme les secteurs fortement exposés au bruit.

Car **le bruit a des conséquences sociales**. Comme le montre le rapport SERROU, « tout se passe comme si une équation « mauvais environnement sonore = environnement social défavorable » pouvait être formulée » [1,pII-24] (Figure 6).

Figure 6 : Exposition au bruit et niveau de revenu [1, page II-24]



Ainsi, les populations exposées risquent d'être à terme des populations globalement plus précaires que la population générale, et ayant moins accès au système de soins.

Dès lors, il apparaîtrait pertinent de lancer une étude permettant de caractériser les effets sanitaires sur les populations défavorisées socialement (spécificité de courbes dose-réponse, spécificité possible d'effets sanitaires particuliers). Ensuite, ces caractéristiques pourraient être intégrées sous forme de solution maximalisant l'impact sanitaire du bruit au sein des VSEI.

### 3 La conséquence sanitaire principale d'une infrastructure de transport non prise en compte dans le VSEI : évolution souhaitable ?

En effet, la **sécurité routière** représente à elle seule plus de 8000 morts sur les routes par an en France. Une déviation, un transport collectif (tramway, métro), ou encore une ligne de fret constituent des choix d'aménagement présentant un impact sanitaire très positif du point de vue de la sécurité routière.

Mais, dans la logique des VSEI, même si l'ensemble des conséquences sanitaires positives et négatives doit être mis en perspective, elles ne concernent généralement pas les utilisateurs du projet. Si on effectuait un parallèle avec les ICPE, la prise en compte de la sécurité routière correspondrait à la notice « hygiène et sécurité du travail », l'exposition « à la circulation » correspondant à une exposition « au travail ». **Dans cette même logique, il n'est donc pas souhaitable que la sécurité de l'infrastructure fasse partie d'un VSEI en tant que tel.**

En revanche, elle constitue une priorité en terme d'intérêt général. Ceci est entre autre pris en compte dans l'évaluation des coûts collectifs des infrastructures de transport. (Art.19 Loi sur l'air). Cette partie

que l'on pourrait appeler « **économie de la santé** » permet de mettre en perspective les conséquences sanitaires et environnementales (pollution atmosphérique, effet de serre, nuisances sonores), la sécurité de l'infrastructure, et les avantages induits par la collectivité. Ces méthodes (présentées notamment dans le rapport Boiteux de 2001) pourront permettre à terme de mieux intégrer les coûts externes liés à un projet d'aménagement du territoire, et de faire valoir des solutions dans une logique de développement durable.

#### **4 Effets cumulés et prise en charge financière des mesures compensatoires : quelle part attribuable au maître d'ouvrage de l'infrastructure ?**

Il est bien évident qu'un frein majeur à la considération de l'exposition cumulée est la prise en charge financière des mesures compensatoires à mettre en œuvre. Actuellement, la réglementation précise des limites maximales admissibles, non pas en terme d'exposition, mais en terme de contribution de l'infrastructure. Or un individu réagit à l'ensemble de la « dose » de bruit reçue, quelle que soit sa source.

D'un point de vue sanitaire, il est fondamental d'envisager l'intégralité de l'exposition. Afin de financer les coûts engendrés par la limitation sanitaire de l'exposition, il serait souhaitable de définir des cadres de répartition financière entre les différents maîtres d'ouvrage des différentes sources selon la contribution sonore par exemple.

## CONCLUSION

Ce guide de lecture ne prétend pas être exhaustif, mais essaie avant tout de mettre l'accent sur les éléments indispensables permettant une juste analyse des dossiers. La forme des éléments a été peu envisagée, car toute la réflexion sur la gestion de l'information face à des riverains, des associations ou des élus n'a pas été menée. Pour des contraintes de temps, les outils permettant la modélisation ont été globalement peu étudiés. La caractérisation de l'exposition sonore a été principalement traduite en terme d'objectifs qui apparaissent dans la plupart des cas techniquement faisables.

Ce mémoire précise que **le bruit des transports terrestres a des conséquences sanitaires justifiant sa prise en compte au sein des études d'impact**. Même si les scientifiques essaient de préciser l'influence de divers facteurs, ou de réactions spécifiques sur certaines populations, des études expérimentales et épidémiologiques ont clairement montré l'existence de risque de maladies cardiovasculaires, de troubles du sommeil ou de modifications de performance. Malgré le manque actuel de courbes dose-effet dans l'ensemble de ces domaines, les valeurs guides de l'OMS pour le bruit ambiant [10] permettent à priori une juste protection de la population, l'exposition devant être envisagée à la fois en niveau de bruit moyen et en niveau de crête, fenêtres ouvertes et fermées. En ce qui concerne la gêne, les courbes dose-effet de Miedema [33] présentent le pourcentage de personnes gênées et très gênées en fonction de leur exposition mesurée en  $L_{den}$  et invitent à leur utilisation dans les dossiers.

Néanmoins, la considération sanitaire du bruit à ce stade des projets, indispensable pour justifier des mesures compensatoires, ne constitue pas le moyen le plus efficace de lutte contre l'expansion du bruit sur le territoire. L'intégration des contraintes acoustiques en amont des grandes décisions permet d'envisager les véritables « coûts » du bruit (économiques, environnementaux, sanitaires, et sociaux), et de modifier les choix modaux de transport, de variantes, ou encore de solutions techniques. Cette démarche a été initiée par la loi sur l'air de 1996 avec l'obligation de Plans de Déplacements Urbains (Art.14) pour les villes de plus de 100 000 habitants, et il serait souhaitable de la poursuivre à d'autres échelles (régional, national, européen). L'économie de la santé concernant entre autres le bruit et la pollution atmosphérique devrait avoir un rôle à jouer dans les grandes décisions d'aménagement du territoire.

## BIBLIOGRAPHIE

- [1] GUALEZZI J-P. Le bruit dans la ville - Avis et rapports du Conseil Economique et Social - Les éditions des journaux officiels, 1998, 308 p.
- [2] SETRA / CERTU Bruit et études routières – Manuel du chef de projet , Octobre 2001, 235 p.
- [3] FAURE M. Les cours de l'ENTPE Routes tome 1, Aleas éditeur, 1997, 258 p.
- [4] PACHIAUDI G. et VERNET M. Le bruit des trains, aspects physiques et psychosociologiques - Note d'information n°33 de l'INRETS - Décembre 1984, 65 p.
- [5] OMS La mesure acoustique n° 37 – Collectivités locales, environnement et santé, 2000, 24 p.
- [6] BESNARD F., SOULAGE D. (1997) La nouvelle méthode de prévision du bruit routier avec prise en compte des conditions météorologiques *Echo-Bruit* n°83-84, pages 8-13
- [7] LAMBERT J. Le bruit en Europe - Colloque du Conseil National du Bruit Paris, 12-13 Décembre 2000, <http://www.inrets.fr/ur/lte/publications/publications-pdf/Lambert-publi/CIDB-2000.pdf>
- [8] INSTITUT NATIONAL DE VEILLE SANITAIRE Guide pour l'analyse du volet sanitaire des études d'impact – mai 2000, 49 p.
- [9] INERIS - Evaluation des risques sanitaires liés aux substances chimiques dans l'étude d'impact des ICPE – Version projet 2.4, 2000
- [10] OMS Bruit et santé n° 36 – Collectivités locales, environnement et santé, 2000, 28 p.
- [11] PASSCHIER-VERMEER W., PASSCHIER W.F. (2000) Noise exposure and public health , *Environmental health perspectives* 108 (suppl) : 123-131
- [12] KEMPEN, KRUIZE, BOSHUIZEN, AMELING, STAATSEN, HOLLANDER (2002) The Association between Noise Exposure and Blood Pressure and Ischemic Heart Disease : A Meta-analysis – *Environmental health perspectives*, vol.110, n°3, pp.307-317
- [13] MOURET J., VALLET M. Les effets du bruit sur la santé - Ministère de l'emploi et de la solidarité, édition 1998, 127 p.
- [14] MASCHKE C., RUPP T., HECHT K. (1999) The influence of stressors on biochemical reactions are view of present scientific findings withs noise – *Int. J. Hyg. Environ. Health* 203, 45-53
- [15] BABISCH, FROMME, BEYER, ISING (2001) Increased catecholamine levels in urine in subjects exposed to road traffic noise – The role of stress hormones in noise research - *Environmental health perspectives* 26, 475-481
- [16] BABISCH, ISING, GALLACHER, SHARP, BAKER (1993) Traffic noise and cardiovascular risk : the Speedwell study, first phase. Outdoor noise levels and risk factors.. - *Arch. Environ. Health*, 48 :401-405
- [17] BABISCH, ISING, GALLACHER, SHARP, BAINTON (1993) Traffic noise and cardiovascular risk : the Caerphilly and Speedwell studies, second phase. Risk estimation, prevalence, and incidence of ischemic heart disease. - *Arch. Environ. Health*, 48 :406-413
- [18] MUZET A. (1989) Les effets du bruit sur le sommeil – C.R.Soc. Biol., 183, 437-442

- [19] DIRECTIVE 2002/49/CE du Parlement européen et du Conseil du 25 juin 2002 relative à l'évaluation et à la gestion du bruit dans l'environnement. (JO des Communautés européennes du 18 juillet 2002)
- [20] POSITION COMMUNE arrêtée par le conseil du 7 juin 2001 en vue de l'adoption de la directive du parlement européen et du Conseil relative à l'évaluation et à la gestion du bruit dans l'environnement » (JO C 297 du 23.10.2001 et Bull. 6-2001 <http://europa.eu.int/abc/doc/off/bull/fr/200205/p104044.htm>)
- [21] MIEDEMA Assessment of noisepeaks in urban areas – TNO prevention and health [http://www.health.tno.nl/en/about\\_tno/organisation/divisions/publihealth/peckniveau/reken\\_en.html#stapen](http://www.health.tno.nl/en/about_tno/organisation/divisions/publihealth/peckniveau/reken_en.html#stapen)
- [22] LAMBERT J. (2001) Europäische Lärmpolitik – Brichte aus den Arbeitsgruppen « Immissionen » Jahresbericht 2001 der Arbeitsgruppe 2 « Dosis/wirkung » [http://www.dalaerm.de/materialien/eu\\_wg2\\_0112.pdf](http://www.dalaerm.de/materialien/eu_wg2_0112.pdf)
- [23] MIEDEMA HME Annoyance from transportation noise : relationships with exposure metrics  $L_{dn}$  and  $L_{den}$ , and their confidence intervals – TNO prevention and health [http://www.health.tno.nl/en/about\\_tno/organisation/divisions/publichealth/environment/transportation\\_annoyance\\_en.html](http://www.health.tno.nl/en/about_tno/organisation/divisions/publichealth/environment/transportation_annoyance_en.html)
- [24] STANSFELD (1er trimestre 2002) Les effets non auditifs de l'exposition au bruit sur la santé - *Acoustique & techniques n°28 Spécial « Bruit et Santé »* p. 5-12
- [25] PASSCHIER-VERMEER W. (Septembre 2000) Noise and health of children TNO report PG/VGZ/2000.042 TNO prevention and health [http://www.health.tno.nl/wie\\_we\\_zijn/organisatie/divisies/volksgezondheid/milieufolder/noise\\_and\\_children.pdf](http://www.health.tno.nl/wie_we_zijn/organisatie/divisies/volksgezondheid/milieufolder/noise_and_children.pdf)
- [26] BOISARD P., CARTRON D., GOLLAC M., VALEYRE A. Contraintes de temps dans le travail et risques pour la santé en Europe - Centre d'études de l'emploi <http://www.dcartron.free.fr/textes/CEE4pages47.pdf>
- [27] MUZET A. (1er trimestre 2002) Les effets du bruit sur le sommeil Les effets du bruit sur le sommeil - *Acoustique & techniques n°28 Spécial « Bruit et Santé »* p. 13-19
- [28] HAINES M.M., STANSFELD S.A. (1er trimestre 2002) Les effets du bruit en milieu scolaire sur les enfants : présentation des études en cours - *Acoustique & techniques n°28 Spécial « Bruit et Santé »* p. 34-39
- [29] REGECOVA, KELLEROVA (1995) Effects of urban noise pollution on blood pressure and heart rate in preschool children – *J Hypertens* 1995 Apr ;13(4) :405-12
- [30] LAMBERT J. (2001) Caractérisation, mesures et descripteurs acoustiques de la gêne due au bruit routier - Journées d'étude, bruit du trafic routier 22-23 Novembre 2001 <http://www.inrets.fr/ur/lte/publications/publications-pdf/Lambert-publi/Nantes-2001.pdf>
- [31] LAMBERT, CHAMPELOVIER, VERNET (1998) » Assessing the railway bonus : the need to examine the « new infrastructure » effect - Inter noise 98, Christchurch-New Zealand, 16 – 18 Novembre 1998 <http://www.inrets.fr/ur/lte/publications/publications-pdf/Lambert-publi/Internoise98.pdf>
- [32] CREMEZI, GAUTIER, LAMBERT, CHAMPELOVIER (2002) Gêne en situation de multi-exposition au bruit ferroviaire et routier <http://www.inrets.fr/ur/lte/publications/publications-pdf/Lambert-publi/CFA-2002.pdf>
- [33] MIEDEMA HME, VOS H. (1998) Exposure-response relationships for transportation noise – *J. Acoust. Soc. Am.* 104 (6), December 1998 : 3432 - 3445
- [34] EIONET (2000) Noise Newsletter 6 European Environment Agency, Copenhagen, N°3, January 2000 <http://reports.eea.eu.int/NNL03/en/ianuar2000.pdf>

## **Annexe I : Courbes dose –réponse pour les trois modes de transport avec leur intervalle de confiance à 95%**

---

### **1. Méthode utilisée**

Miedema et Vos, membres du TNO prevention and health, ont publié en 1998 un article « Exposure-response relationships for transportation noise » [33] présentant leur conclusion sur l'exploitation d'une multitude d'études reliant la gêne à une exposition à des bruits d'avion (20 études), de route (26 études), ou de train (9 études).

#### ➤ L'exposition

Afin de caractériser l'exposition, ils ont utilisé un unique indicateur : le  $L_{dn}$  (pénalité de 10 dB durant 7 heures de nuit par rapport au  $L_{Aeq}$  correspondant). Les niveaux extrêmes d'exposition ( $L_{dn} < 45$  dB(A) et  $L_{dn} > 75$  dB(A)) ont été exclu de l'analyse.

#### ➤ L'effet : la gêne

La gêne a été évaluée à travers des questionnaires. Afin d'obtenir des mesures de gêne comparables entre les études, toutes les données ont été transformé sur une échelle de 0 à 100. Dans la définition de la gêne, trois échelles ont été évalué :

- 72% correspond aux personnes « très gênées »
- 50% correspond aux personnes « gênées »
- 28% correspond aux personnes « incommodées »

L'exploitation de ces résultats au niveau européen ont nécessité la transformation du  $L_{dn}$  en  $L_{den}$ .

### **2. Résultats**

La figure 7 présente les résultats de cette étude avec en grisé l'intervalle de confiance à 95% de cette estimation par rapport aux données empiriques.

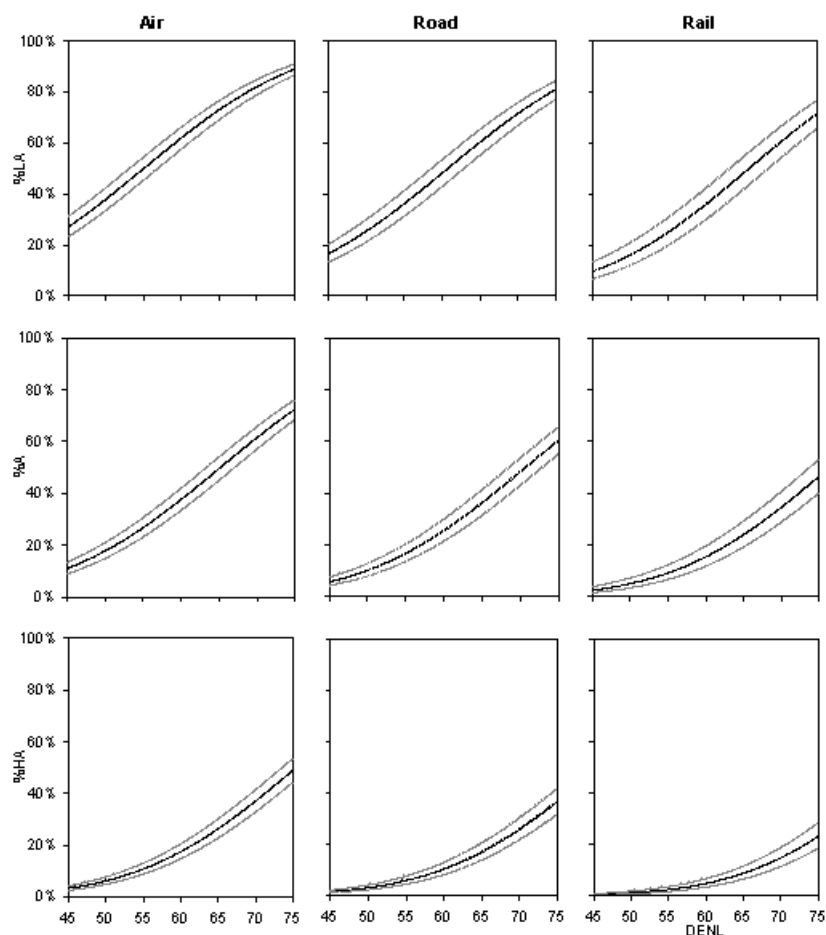


Figure 7 : Estimation de la gêne en fonction de l'exposition mesurée en  $L_{den}$  selon les trois modes de transport. [23]

### 3. Limites dans leur utilisation

Ces courbes correspondent à des situations stables d'exposition correspondant à l'estimation de la gêne à long terme. Elles ne sont pas utilisables dans le cas de sources spécifiques (exemple : bruit de gare, carrefour), et en situations de plaintes.

Précision sur l'indicateur  $L_{den}$  :

| AVANTAGES                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | INCONVENIENTS                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>- considération de la totalité du bruit perçu en 24 heures</li> <li>- pondération du bruit de soirée et de nuit qui est le plus gênant</li> <li>- courbes dose-effet lisibles</li> <li>- facilement adaptables aux outils réglementaires caractérisant l'exposition en Europe</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- adaptation au train ? En effet l'indice <math>L_{den}</math> n'intègre pas directement les intensités maximales et le nombre d'évènements sonores</li> <li>- difficulté de communication dû à l'utilisation de niveaux moyens</li> <li>- n'intègre pas l'émergence</li> </ul> |

## Annexe II : Propositions succinctes d'élaboration d'un VSEI – Bruit

---

Suite à diverses discussions, et à diverses réflexions menées afin concevoir le guide de lecture, des propositions succinctes d'élaboration sont apparues. Cette annexe tente de les préciser.

### 1. Appréciation globale de l'impact sanitaire dans le choix des variantes

#### a) *Constat*

L'impact sanitaire d'une infrastructure, positif ou négatif, peut être résumé par l'impact sur les domaines suivants :

- la sécurité des usagers,
- les émissions des gaz à effet de serre,
- les commodités de voisinage (bruit, vibrations, odeurs, émissions lumineuses),
- l'impact sur l'alimentation en eau potable (existant : captages, ou à venir : aquifères à préserver),
- le risque de pollutions accidentelles (air, eau, sol).

Actuellement, la prise en compte de chacun de ces effets fait l'objet d'analyse séparée. Ainsi, la sécurité des usagers est principalement pris en compte dans le dossier « Evaluation économique et sociale » si le projet y est soumis (Loi LOTI de 1982), et les autres impacts dans « l'impact sur l'environnement humain » et « l'hydrologie », ou encore dans l'analyse des coûts collectifs des pollutions et nuisances des avantages induits pour la collectivité (Art.19 loi sur l'air)

#### b) *Principe*

Au moment de l'étude d'impact doit être présenté entre autres « les *raisons* pour lesquelles, notamment du point de vue des préoccupations d'environnement, parmi les partis envisagés, *le projet présenté a été retenu* » (Décret n° 77-1141 du 12 octobre 1977) Dès lors, par souci de **cohérence** avec la loi sur l'air de 1996 pourraient être présentés les raisons sanitaires du choix du projet.

« C'est à ce stade de comparaison des variantes qu'il est le plus aisé d'intégrer dans la conception de l'infrastructure toutes les dispositions propres à minimiser les nuisances sonores, tant concernant le tracé en plan de la route que son profil en long (pentes et rampes) et son profil en travers (déblais, remblais) » [2,p83]

Par contre, l'estimation de l'impact sur la sécurité routière trouve son principal intérêt dans l'appréciation de l'intérêt général du projet, au travers des choix de modes de transport, ou de type d'itinéraire (2, 3 ou 4 voies), et ne peut que difficilement permettre de comparer des variantes utilisant les mêmes critères de construction.

#### c) *Propositions*

Ainsi, par souci de **lisibilité**, une **agrégation des impacts sanitaires** pourrait être présentée au sein du tableau multi-critère permettant le choix de la variante, même si ce dernier n'envisage plus à cette étape le choix modal effectué. L'évaluation en terme de contraintes qualitatives (moyennes, fortes à

très fortes) découle principalement de l'estimation de l'**exposition** de la population. Le tableau XI présente les principales données indispensables afin de prendre en compte l'impact sanitaire.

Tableau XI : Faisabilité de la comparaison des impacts sanitaires selon les variantes

| Domaine                                                                                               | Données nécessaires à l'appréciation de l'impact sanitaire                                                                                                                                |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Sécurité des usagers                                                                                  | Estimation de la sécurité de l'infrastructure au vu de sa conception et du trafic attendu.                                                                                                |
| Les émissions des gaz à effet de serre                                                                | Nombre de populations voisines de la variante avec l'estimation sommaire des bâtiments sensibles.                                                                                         |
| Les commodités de voisinage (bruit, vibrations, odeurs, émissions lumineuses)                         | Nombre de populations voisines de la variante avec l'estimation sommaire des bâtiments sensibles.<br>Description du type d'habitations.                                                   |
| L'impact sur l'alimentation en eau potable (existant : captages, ou à venir : aquifères à préserver), | Recensement des principaux aquifères, et des captages d'alimentation en eau potable au droit des variantes.                                                                               |
| Le risque de pollutions accidentelles (air, eau, sol).                                                | Nombre de populations voisines de la variante avec l'estimation sommaire des bâtiments sensibles.<br>Recensement des principaux aquifères, et des captages d'alimentation en eau potable. |
| Impact sanitaire                                                                                      | Appréciation globale de l'impact sanitaire.                                                                                                                                               |

La présentation au sein de l'étude d'impact pourrait par exemple distinguer les étapes suivantes :

- *Présentation des données quantitatives* :
  - estimation de la population au droit de chaque variante (exemple : bande fine de 100m, bande de 300m, et bande large de 1000m afin de prendre en compte les effets résiduels sur la santé) avec l'identification des bâtiments sensibles (école, maison de retraite, hôpital, logements...)
  - estimation du nombre de périmètres de protection immédiats, rapprochés et éloignés impactés par le projet avec le nombre de populations desservies en eau potable.
- *Hiérarchisation qualitative* de chaque contrainte sanitaire selon les variantes (à définir en accord avec les services chargés des missions santé)
- *Globalisation de l'impact sanitaire* au sein de l'analyse multi-critère considérant l'ensemble des impacts.

## 2. Définition de l'aire d'étude

### a) Principe

L'aire d'étude doit être définie en fonction de l'impact sonore à considérer au regard des effets sanitaires, et des populations potentiellement exposées. Les effets directs et indirects doivent être considérés.

Effet direct : émission sonore de l'infrastructure nouvelle, ou modifiée.

Effet indirect : émission sonore du trafic induit par le projet sur des infrastructures existantes.

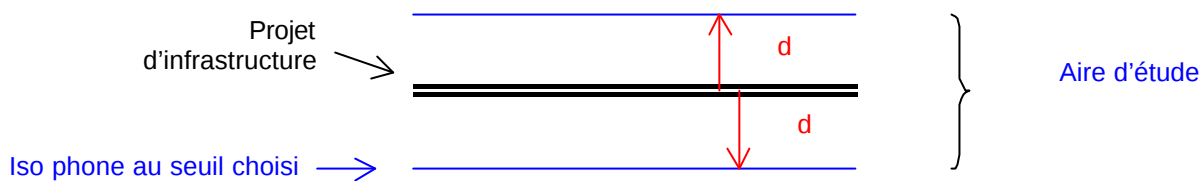
### b) Propositions d'élaboration

#### ➤ Effet direct

Une première approximation de **l'émission sonore** d'une infrastructure peut être effectuée à partir de quelques caractéristiques à savoir :

- pour la route : le type d'infrastructure et le trafic (étude à l'horizon étudié - en général 20 ans, proportion de poids lourds),
- pour le train : les caractéristiques sonores du trafic ferroviaire projeté et leur fréquence journalière.

Ensuite, selon le lieu de **propagation** (urbain, périurbain, rural), des distances peuvent être estimées en fonction des iso phones recherchées. Une méthode plus fine consisterait à prendre en compte globalement la topographie du terrain, ce qui est pertinent en milieu rural et périurbain principalement. Dès lors, l'estimation d'un **seuil sonore** correspondant à un effet sanitaire potentiel délivre une distance, cette **distance** caractérisant l'aire d'étude principale.



#### Choix du seuil :

Ce seuil devrait être choisi sur des fondements sanitaires. Le niveau sonore pourrait dépendre du milieu traversé permettant de choisir un seuil plus faible lors d'une forte concentration en population. Néanmoins étant donné que la gêne semble être plus forte lors d'un environnement sonore préalable calme, cela ne sera pas distingué ici.

Ainsi par exemple :

| Seuil visé de personnes gênées afin de déterminer l'aire d'étude | L <sub>den</sub> en dB(A) correspondant (courbe dose-effet de Miedema) |     | Estimation du L <sub>A,6h-22h</sub> correspondant au L <sub>den</sub> |       |
|------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|-----|-----------------------------------------------------------------------|-------|
|                                                                  | Route                                                                  | Fer | Route                                                                 | Fer   |
| 10 %                                                             | 50                                                                     | 55  | 45-50                                                                 | 50-55 |

#### ➤ Effet indirect (uniquement pour le bruit routier) :

Si l'oreille humaine peut généralement différencier deux bruits différents de façon fine, la variation du niveau sonore d'un bruit déterminé n'est perçue que si elle dépasse 2 dB(A). De même, deux situations d'exposition à un bruit routier n'engendrent une variation significative de la perception que si leur niveau sonore diffère de plus de 2 dB(A) (Francis BESNARD, SETRA). Dès lors, les infrastructures existantes à considérer sont celles dont le trafic induit provoque une modification d'émission de 2 dB(A) mesurée en L<sub>den</sub> ou bien en L<sub>Aeq,6h-22h</sub> / L<sub>Aeq,22h-6h</sub>, cette modification pouvant être positive ou négative.

Remarque : une augmentation de 2 dB(A) correspond à une multiplication d'environ 1,6 du trafic. Ces infrastructures existantes sont alors à inclure dans l'aire d'étude.

### 3. Caractérisation de l'état initial

#### a) Principe

La caractérisation de l'état initial doit permettre la prise en compte ultérieure des « **effets cumulés** » dus à des sources de bruit clairement identifiées, et du **bruit de fond**.

#### b) Propositions d'élaboration

##### ⇒ Etat initial acoustique

L'état initial acoustique peut se caractériser de deux manières différentes : la métrologie et la modélisation.

Une des démarches pourrait être la suivante :

- Identification des **sources sonores majeures** (transport terrestre – vols d'avion – industries) au sein de l'aire d'étude à l'aide des documents d'urbanisme et de relevés sur le terrain.
- **Modélisation** et **mesures** pertinentes de leurs émissions sonores. Pour une infrastructure terrestre, les cartes sonores pourront être utilisées, pour les industries la modélisation de l'émission sonore effectuée lors de l'étude d'impact pourra servir de guide pour les mesures vérificatrices. Les mesures s'appuient selon le cas sur les normes NF S 31-085 (infrastructures routières), NF S 31-088 (infrastructures ferroviaires), ou NF S 31-011 (autres cas).
- Représentation des « **ambiances sonores** » sous forme de secteur homogène sur des cartes dont l'échelle sera adaptée. Des secteurs identifiés tels « zone calme, moyennement calme, bruyante ou insupportable » pourraient être présentés avec la production d'iso phone succincte lorsque cela s'avèrerait utile et faisable (cas d'une infrastructure de transport existante). Les iso phone devront préciser la hauteur par rapport au sol.
- Choix de l'indicateur, ce choix devant s'effectuer par rapport à la corrélation sanitaire. Il pourrait être envisagé : pour la route  $L_{den}$ , pour le train  $L_{den}$  et SEL.
- Objectif : la prise en compte des effets cumulés

La description de l'état initial acoustique devrait pouvoir permettre ultérieurement de prendre en compte les effets cumulés au moment de la caractérisation de l'exposition.

##### ⇒ Etat initial des populations

Il est attendu une caractérisation pertinente de la population au sein de l'aire d'étude qui réponde entre autres aux exigences d'une évaluation de l'impact sanitaire en matière de bruit. En ce qui concerne la gêne sonore, il y a lieu de distinguer ce qui est réellement lié au bruit

| Objectif                         | Méthode envisagée                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
|----------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Caractérisation de la population | <ul style="list-style-type: none"><li>- Analyse fine des documents d'urbanisme afin de représenter des secteurs homogènes sensibles en terme de densité de population</li><li>- Dénombrement du nombre de population en fonction de la distance au projet (source INSEE, et documents d'urbanisme)</li><li>- Distinction des populations résidentes, et des populations estivales,</li><li>- Dénombrement et localisation des habitations dites sensibles (école, hôpital, maison de retraite, crèche) avec la précision du nombre de personnes impactées</li></ul> |

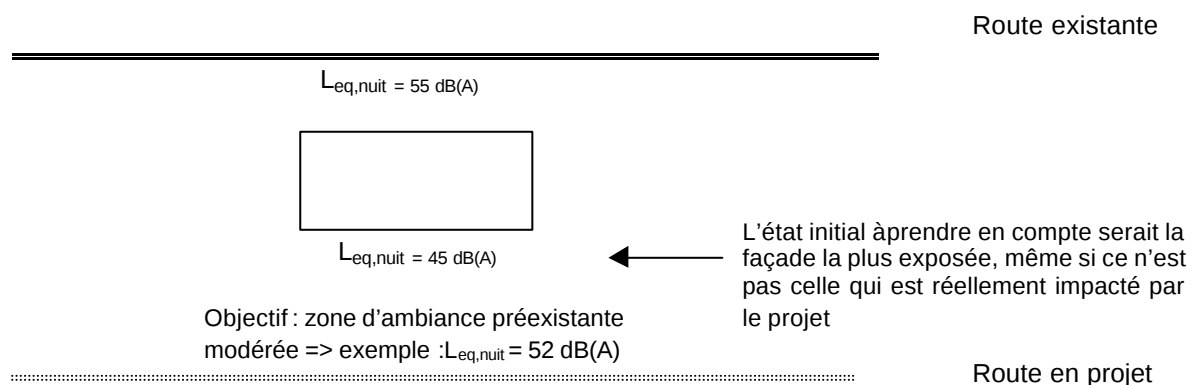
|                                             |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
|---------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                             | - Identification de secteurs où certaines catégories de populations sont majoritaires (personnes âgées, enfants, personnes avec un travail posté)                                                                                                                                                                                                                              |
| Caractérisation du mode de vie              | - Utilisation de jardins privatifs (enquête d'opinion au droit du projet ou réflexion sur les documents d'urbanisme)<br>- Analyse des contraintes estivales (adéquation de la température extérieure avec l'utilisation courante des fenêtres durant une certaine période de l'année) (exemple de méthode : enquête d'opinion à l'échelle nationale à appliquer au plan local) |
| Caractérisation de l'habitat                | - Analyse du bâti (collectif, individuel)<br>- Présence d'une façade calme*<br>- Hauteur des habitations **                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| Localisation de secteurs calmes à préserver | - à mettre en relation avec des habitations protégées au niveau architectural, ou des secteurs présentant un caractère environnemental type ZNIEFF                                                                                                                                                                                                                             |
| Acceptation du projet                       | En ce qui concerne la gêne, le sentiment d'acceptation du projet est important. On pourra essayer de distinguer ici :<br>- l'utilité du projet au niveau local (dessertes, etc.)<br>- le sentiment de considération de la population riveraine                                                                                                                                 |

*\* Présence d'une façade calme*

En effet, l'impact sanitaire est sans doute plus fort si deux façades sont exposées par rapport à une seule. La prise en compte de la présence d'une façade calme permet sans doute de considérer le fait de devenir « cerné » par le bruit. En effet, comme le souligne l'INRETS [2-page 26], la présence d'une façade calme est bénéfique sinon le sentiment de privation est plus fort.

Exemple de situation :

- façade au Nord fortement exposée (état initial)
- projet passe au Sud de l'habitation (zone rurale par exemple):



*\*\* Hauteur des habitations*

En effet, les écrans anti-bruit ou les écrans de façade ne protègent pas les logements trop élevés. Dans le cadre du VSEI, il faut envisager la population exposée au bruit. Il sera donc décrit les habitations avec leur hauteur (exemple : mise en avant des zones où l'habitat est haut.) (*Echo Bruit spécial routes février 1994*)

## 4. Caractérisation de l'exposition

### a) *Principe*

Ces populations identifiées devront être caractérisées de manière acoustique.

### b) *Propositions d'élaboration*

#### ➤ *Modélisation acoustique*

La modélisation devra utiliser les indicateurs choisis et présenter sous forme d'iso phone l'exposition de la population en considérant les effets cumulés.

Le modèle unique étudié au Pays-Bas sur la prise en compte de l'ensemble des sources de bruit relié à la gêne pourrait être exploiter. [34]

#### ➤ *Exposition des populations*

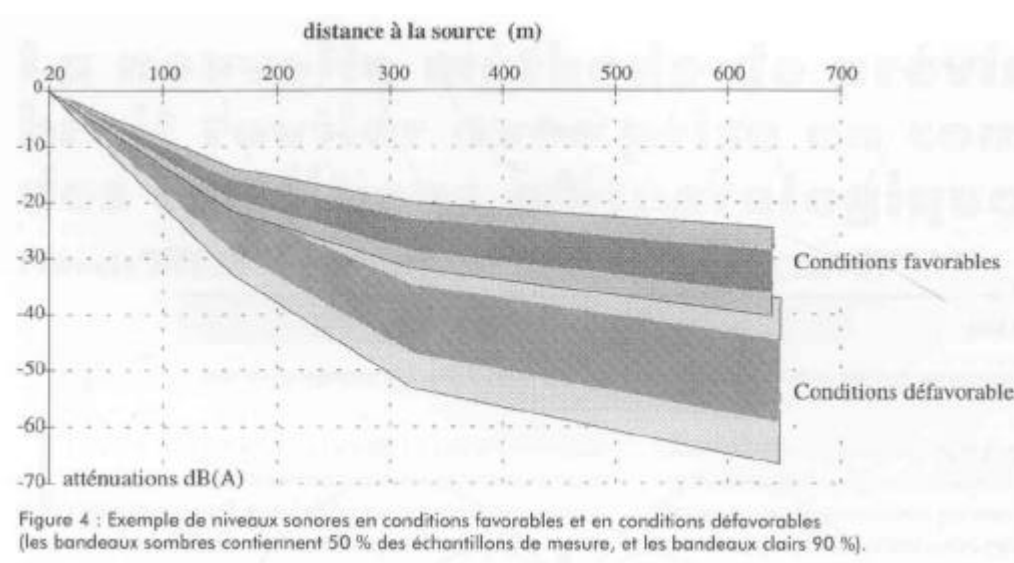
Il y a lieu de distinguer la population générale et la population «sensible » identifiée au niveau de l'état initial. Cette partie doit s'attacher à présenter de manière **lisible et compréhensible** l'exposition des populations de manière qualitative et quantitative en nombre de populations impactées essentiellement.

### Annexe III : L'influence des conditions météorologiques sur la propagation du son

L'influence des conditions météorologiques sur la propagation du son devient significative dès que la distance entre la source sonore et le récepteur est supérieure à une centaine de mètres. Cette modification du bruit perçu selon la présence ou l'absence des conditions météorologiques croît avec la distance.

Il existe principalement deux facteurs météorologiques principaux : le **vent** et les **facteurs thermiques**, ces derniers étant prépondérants. En effet, la vitesse de propagation du son dans l'air augmente avec sa température, et suit les gradients thermiques. Lors d'une nuit, ciel dégagé, le sol se refroidit plus vite que les basses couches de l'atmosphère. Cela constitue des conditions favorables à la propagation du son. C'est donc dans les périodes de la journée dites les plus sensibles au niveau de la perception du bruit (soirée et nuit) que les facteurs thermiques augmentent le plus les niveaux sonores. La figure 8 présente l'influence des conditions météorologiques sur la mesure des niveaux sonores en fonction de la distance à la source.

Figure 8 : Exemple de niveaux sonores en conditions favorables et défavorables [6,p10]



## **Annexe IV : Réglementation relative aux études d'impact des projets d'infrastructures terrestres**

---

### **1. Textes réglementaires**

Les études d'impact sont régies par :

- Loi n° 76-629 du 10 juillet 1976 relative à la protection de la nature modifiée ;
- Décret n° 77-1141 du 12 octobre 1977 modifié, notamment par le décret n° 93-245 du 25 février 1993 qui a intégré la directive communautaire n° 85-337 du 27 juin 1985 (JOCE no L 75, 5 juill.) ;
- Loi n°83-630 du 12 juillet 1983 relative à la démocratisation des enquêtes publiques et à la protection de l'environnement et son décret d'application n°85-453 du 23 avril 1985
- Décret n° 95-22, 9 janv. 1995, art. 7-1 relatif à la limitation du bruit des aménagements et infrastructures de transports terrestres
- Loi n° 96-1236, 30 déc. 1996, art. 19 (loi sur l'air) et la circulaire n° 98-36 du 17 février 1998 (BO min. Équip. no 98/5) relative à l'application de son article 19
- Circulaire n° 93-73 du 27 septembre 1993 (BO min. Équip. no 93/30) ;
- Circulaire n° 98-21 du 11 février 1998 (BO min. Équip. no 98/4) clarifiant le rôle et les missions de l'administration centrale et des services déconcentrés du ministère de l'Environnement dans le processus d'élaboration des projets d'infrastructure ;
- Circulaire DGS n°2001-185 du 11 avril 2001 relative à l'analyse des effets sur la santé des études d'impact

### **2. Contenu de l'étude d'impact (Décret n° 77-1141 du 12 octobre 1977)**

L'étude d'impact présente successivement :

**0- Résumé non technique joint à l'étude d'impact** (directive du 27 juin 1985)

**1-** une *analyse de l'état initial du site et de son environnement*, portant notamment sur les richesses naturelles et les espaces naturels agricoles, forestiers, maritimes ou de loisirs, affectés par les aménagements ou ouvrages ;

**2-** une *analyse des effets directs et indirects, temporaires et permanents du projet* sur l'environnement, et en particulier sur la faune et la flore, les sites et paysages, le sol, l'eau, l'air, le climat, les milieux naturels et les équilibres biologiques, sur la protection des biens et du patrimoine culturel et, le cas échéant, sur la commodité du voisinage (bruits, vibrations, odeurs, émissions lumineuses) ou sur l'hygiène, la sécurité et la salubrité publique;

**3-** les *raisons* pour lesquelles, notamment du point de vue des préoccupations d'environnement, parmi les partis envisagés, *le projet présenté a été retenu* ;

**4-** les *mesures envisagées* par le maître de l'ouvrage ou le pétitionnaire pour supprimer, réduire et, si possible, compenser les conséquences dommageables du projet sur l'environnement, ainsi que l'estimation des dépenses correspondantes ;

5- une *analyse des méthodes utilisées* pour évaluer les effets du projet sur l'environnement mentionnant les difficultés éventuelles de nature technique ou scientifique rencontrées pour établir cette évaluation ;

6- *l'étude des effets du projet sur la santé*. La circulaire n° 98-36 du 17 février 1998 préconise que ce volet spécifique de l'étude d'impact soit individualisé au sein de celle-ci pour constituer un sixième chapitre de l'étude, même si cette partie reprend des éléments de l'analyse des effets du projet ou des éléments de la présentation des mesures envisagées pour limiter les effets du projet.

Lorsque la totalité des travaux prévus au programme est réalisée de manière simultanée, l'étude d'impact doit porter sur l'ensemble du programme. Lorsque la réalisation est échelonnée dans le temps, l'étude d'impact de chacune des phases de l'opération doit comporter une appréciation **des impacts de l'ensemble du programme**.

Des arrêtés interministériels peuvent préciser pour certaines catégories d'ouvrages le contenu des dispositions qui précèdent.

#### **Particularités des infrastructures de transport**

Depuis le 1er août 1997, outre les éléments visés ci-dessus, l'étude d'impact comprise dans le dossier d'enquête préalable à la déclaration d'utilité publique d'une infrastructure de transports terrestres nouvelle et d'une modification ou transformation significative d'une infrastructure existante comprend : une *analyse des coûts collectifs des pollutions et nuisances et des avantages induits pour la collectivité* ;

- une évaluation des consommations énergétiques résultant de l'exploitation du projet, notamment du fait des déplacements qu'elle entraîne ou permet d'éviter ;
- les hypothèses de trafic et de conditions de circulation retenues pour déterminer les nuisances sonores potentielles de l'infrastructure ;
- les méthodes de calcul utilisées ;
- les principes des mesures de protection contre les nuisances sonores qui seront mis en œuvre par les applications locales des dispositions du décret n° 95-22 du 9 janvier 1995 relatif à la limitation du bruit des aménagements et infrastructures de transports terrestres.

## Annexe V : Réglementation relative au bruit des projets d'infrastructures terrestres

---

### 1. Principaux textes réglementaires

Les infrastructures terrestres sont soumis aux textes suivants :

- Loi n°92-1444 du 31 décembre 1992 relative à la lutte contre le bruit (JO du 1er janvier 1993)
- Décret n°95-22 du 9 janvier 1995 relatif à la limitation du bruit des aménagements et infrastructures de transports terrestres (JO du 10 janvier 1995)
- Arrêté du 5 mai 1995 relatif au bruit des infrastructures routières (JO du 10 mai 1995)
- Arrêté du 8 novembre 1999 relatif au bruit des infrastructures ferroviaires (JO du 10 novembre 1999)
- Circulaire Equipement (DR) – Environnement (DPPR) n°97-110 du 12 décembre 1997 relative à la prise en compte du bruit dans la construction de routes nouvelles ou l'aménagement de routes existantes du réseau national (BO Equipement n°98/7 du 25 avril 1998)

### 2. Textes intégraux

**Arrêté du 8 novembre 1999 relatif au bruit des infrastructures ferroviaires**  
(JO du 10 novembre 1999 NOR : ATEP9980383A).

Le ministre de l'intérieur,  
Le ministre de l'équipement, des transports et du logement,  
La ministre de l'aménagement du territoire et de l'environnement,  
et le secrétaire d'Etat au logement

Vu la loi n° 92-1444 du 31 décembre 1992 relative à la lutte contre le bruit,  
Vu le décret n° 95-22 du 9 janvier 1995 relatif à la limitation du bruit des aménagements et infrastructures de transports terrestres,

arrêtent :

#### Article 1er

Les indicateurs de gêne due au bruit d'une infrastructure ferroviaire, mentionnés à l'article 4 du décret susvisé relatif à la limitation du bruit des aménagements et infrastructures de transports terrestres, sont fondés :

- pour la période diurne, sur le niveau de pression acoustique continu équivalent

pondéré A pendant la période de 6 heures à 22 heures, noté  $L_{Aeq}$  (6h-22h), correspondant à la contribution sonore de l'infrastructure concernée ;

- pour la période nocturne, sur le niveau de pression acoustique continu équivalent pondéré A pendant la période de 22 heures à 6 heures, noté  $L_{Aeq}$  (22h-6h), correspondant à la contribution sonore de l'infrastructure concernée ;

La définition du  $L_{Aeq}$  est donnée dans la norme NF S 31-110 "Caractérisation et mesurage des bruits de l'environnement - Grandeurs fondamentales et méthodes générales d'évaluation".

Les niveaux  $L_{Aeq}$  sont évalués à deux mètres en avant de la façade des bâtiments, fenêtres fermées. Leurs valeurs sont supérieures de 3 dB(A) à celles qui seraient mesurées en champ libre ou en façade, dans le plan d'une fenêtre ouverte, dans les mêmes conditions de trafic, à un emplacement comparable. Il convient de tenir compte de cet écart pour toute comparaison avec d'autres réglementations qui sont basées sur des niveaux sonores maximaux admissibles en champ libre ou mesurés devant des fenêtres ouvertes.

Conformément à l'article 4 du décret susvisé relatif à la limitation du bruit des aménagements et infrastructures de transports terrestres, le présent arrêté fixe les niveaux sonores maximaux admissibles pour la contribution sonore de l'infrastructure en tenant compte de l'usage et de la nature des locaux concernés, et des caractéristiques du bruit des modes de transport ferroviaire, dans les conditions des articles 2 et 3 du présent arrêté.

## Article 2

Les niveaux maximaux admissibles pour les indicateurs de gêne due au bruit d'une infrastructure ferroviaire nouvelle, sont fixés aux valeurs suivantes :

| Usage et nature des locaux                                                                 | $I_{f,jour}$    | $I_{f,nuit}$ |
|--------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|--------------|
| Etablissements de santé, de soins et d'action sociale                                      | 60 dB(A)<br>(1) | 55 dB(A)     |
| Etablissements d'enseignement (à l'exclusion des ateliers bruyants et des locaux sportifs) | 60 dB(A)        |              |
| Logements en zone d'ambiance sonore préexistante modérée                                   | 60 dB(A)        | 55 dB(A)     |
| Autres logements                                                                           | 65 dB(A)        | 60 dB(A)     |
| Locaux à usage de bureaux en zone d'ambiance sonore préexistante modérée                   | 65 dB(A)        |              |

(1) Pour les salles de soins et les salles réservées au séjour de malades, cette valeur est abaissée à 57 dB(A).

Les indicateurs de gêne ferroviaire sont définis par :

$$I_{f,jour} = L_{Aeq}(6h-22h) - 3 \text{ dB(A)}$$

$$I_{f,nuit} = L_{Aeq}(22h-6h) - 3 \text{ dB(A)}$$

où  $L_{Aeq}(6h-22h)$  et  $L_{Aeq}(22h-6h)$  correspondent à la contribution sonore de l'infrastructure considérée, et -3 dB(A) est un terme correcteur traduisant les caractéristiques du bruit des transports ferroviaires et qui permet d'établir une équivalence avec la gêne due au bruit routier.

Une zone est dite d'ambiance sonore modérée si le niveau de bruit ambiant existant avant la construction de la voie nouvelle, à deux mètres en avant des façades des bâtiments, est tel que  $L_{Aeq}(6h-22h)$  est inférieur à 65 dB(A) et  $L_{Aeq}(22h-6h)$  est inférieur à 60 dB(A).

Dans le cas où une zone respecte le critère d'ambiance sonore modérée seulement pour la période nocturne, c'est la valeur

maximale de 55 dB(A) qui s'applique pour cette période.

Pour les lignes nouvelles parcourues exclusivement par des T.G.V. à des vitesses supérieures à 250 km/h, les valeurs du tableau ci-dessus fixant les niveaux sonores maximaux admissibles pour les indicateurs de gêne ferroviaire sont diminuées de 3 dB(A).

## Article 3

Lors d'une modification ou transformation significative d'une infrastructure existante au sens des articles 2 et 3 du décret susvisé relatif à la limitation du bruit des aménagements et infrastructures de transports terrestres, l'indicateur de gêne acoustique ferroviaire devra respecter les prescriptions suivantes :

- si la valeur des indicateurs de gêne ferroviaire,  $I_f$ , avant travaux, est inférieure aux valeurs prévues dans le tableau de l'article 2 du présent arrêté, elle ne pourra excéder ces valeurs après travaux ;

- dans le cas contraire, la valeur de ces indicateurs de gêne,  $I_f$ , ne doit pas dépasser, après travaux, la valeur existant avant travaux, sans pouvoir excéder 65 dB(A) en période diurne et 60 dB(A) en période nocturne.

Pour les lignes parcourues exclusivement par des T.G.V. à des vitesses supérieures à 250 km/h, les valeurs maximales admissibles fixées aux alinéas 2 et 3 du présent article sont diminuées de 3 dB(A).

## Article 4

Dans les cas nécessitant un traitement du bâti mentionnés à l'article 5 du décret susvisé relatif à la limitation du bruit des aménagements et infrastructures de transports terrestres, l'isolement acoustique standardisé pondéré contre les bruits extérieurs,  $D_{nT,A,tr}$ , sera tel que :

$$D_{nT,A,tr} \geq I_f - Obj + 25$$

$I_f$  est l'indicateur de gêne due au bruit d'une infrastructure ferroviaire, défini à l'article 1, et Obj la valeur maximale admissible de l'indicateur de gêne ferroviaire définie aux articles 2 et 3 du présent arrêté.  $D_{nT,A,tr}$  défini à l'article 5 du présent arrêté, est l'isolement acoustique standardisé pondéré contre les bruits extérieurs, vis à vis du spectre

du bruit routier défini dans les normes en vigueur, exprimé en décibels. Cet isolement est déterminé pour une durée de réverbération égale à 0,5 seconde. Ce calcul sera effectué s'il y a lieu pour les deux périodes, et la valeur d'isolement la plus élevée sera retenue.

Quand l'application de cette règle conduit à procéder effectivement à des travaux d'isolation de façade, l'isolement résultant ne devra pas être inférieur à 30 dB.

Pour les locaux d'habitation, la valeur de cet isolement devra être respectée dans les pièces principales et les cuisines.

Lorsqu'un traitement du bâti est nécessaire, il convient de prendre en compte les exigences de pureté de l'air et de confort thermique en saison chaude à l'intérieur des bâtiments.

#### Article 5

Des mesures sur le site peuvent être effectuées :

- en façade des bâtiments pour s'assurer du respect des objectifs fixés aux articles 2 et 3 du présent arrêté ;
- pour évaluer le critère de zone d'ambiance sonore préexistante modérée mentionné à l'article 2 du présent arrêté.

Les méthodes de contrôle in situ sont basées sur la méthode d'évaluation des niveaux sonores de long terme définie par la norme NF S 31-088 "Caractérisation et mesurage du bruit dû au trafic ferroviaire".

Une estimation de l'influence des paramètres météorologiques sur le site étudié est fournie s'il y a lieu, afin de déterminer l'écart éventuel entre la mesure réalisée et les valeurs qui seraient mesurées dans d'autres conditions météorologiques rencontrées habituellement sur le site, ou le cas échéant, les valeurs résultant des calculs prévisionnels effectués selon les modalités définies à l'article 6 du présent arrêté.

Pour l'application de l'article 4 du présent arrêté, les mesures sont effectuées suivant la norme NF S 31-057 "Vérification de la qualité acoustique des bâtiments".

L'isolement acoustique standardisé pondéré,  $D_{nT,A,tr}$ , est évalué conformément à la norme NF EN ISO 717-1 (classement français NF S 31-032-1) comme étant égal à la

somme de l'isolement acoustique standardisé pondéré  $D_{nT,w}$  et du terme d'adaptation  $C_{tr}$ .

#### Article 6

Les indicateurs de gêne ferroviaire,  $I_g$ , visés à l'article 1 du présent arrêté sont évalués pour des conditions de circulation moyennes représentatives de l'ensemble de l'année, pour chacune des périodes diurne et nocturne.

Les modèles et hypothèses utilisés pour les évaluations doivent être clairement explicités dans les études. Ils sont conformes aux normes en vigueur ou règles de l'art.

Pour les évaluations et prévisions des niveaux sonores à longue distance, c'est à dire supérieure à deux cents cinquante mètres, l'influence des conditions météorologiques sur la propagation des sons, comme le vent et la température, est prise en compte.

Les calculs sont réalisés :

- soit dans des conditions météorologiques particulières qui correspondent aux conditions favorables à la propagation des sons, en faisant appel à une convention de calcul s'inspirant des principes décrits dans la norme ISO 9613 "Atténuation du son lors de sa propagation à l'air libre - Partie 2 : Méthode générale de calcul" et en prenant en compte la fréquence de cette situation sur le site.

- soit dans les conditions météorologiques observables sur le site, en utilisant des méthodes qui prennent en compte ces conditions.

L'application de ces méthodes ne peut cependant conduire à des valeurs inférieures à la situation sans vent et à température constante.

#### Article 7

Le directeur des libertés publiques et des affaires juridiques, le directeur des transports terrestres, le directeur de la prévention des pollutions et des risques, le directeur général de l'urbanisme, de l'habitat et de la construction, sont chargés, chacun en ce qui le concerne, de l'exécution du présent arrêté, qui sera publié au Journal Officiel de la République française.

Fait à Paris, le 8 novembre 1999.

**Arrêté du 5 mai 1995 relatif au bruit des infrastructures routières**  
(JO du 10 mai 1995) NOR : ENVP9540148A

Vu la loi n° 92-1444 du 31 décembre 1992 relative à la lutte contre le bruit;  
Vu le décret n° 95-22 du 9 janvier 1995 relatif à la limitation du bruit des aménagements et infrastructures de transports terrestres,

arrêtent :

**Article 1er**

Les indicateurs de gêne dûe au bruit d'une infrastructure routière, mentionnés à l'article 4 du décret susvisé relatif à la limitation du bruit des aménagements et infrastructures de transports terrestres, sont :

- pour la période diurne, le niveau de pression acoustique continu équivalent pondéré A pendant la période de 6 heures à 22 heures, noté LAeq (6 h-22 h), correspondant à la contribution sonore de l'infrastructure concernée;
- pour la période nocturne, le niveau de pression acoustique continu équivalent pondéré A pendant la période de 22 heures à 6 heures, noté LAeq (22 h-6 h), correspondant à la contribution sonore de l'infrastructure concernée.

La définition du LAeq est donnée dans la norme NF S 31-110 "Caractérisation et mesurage des bruits de l'environnement. - Grandeurs fondamentales et méthodes générales d'évaluation".

Ces niveaux sont évalués à deux mètres en avant de la façade des bâtiments, fenêtres fermées.

**Article 2**

Les niveaux maximaux admissibles pour la contribution sonore d'une infrastructure nouvelle, mentionnés à l'article 4 du décret relatif à la limitation du bruit des aménagements et infrastructures de transports terrestres, sont fixés aux valeurs suivantes :

| Usage et nature des locaux                                                                 | LAeq (6h-22h) (1) | LAeq (22h-6h) (1) |
|--------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------|-------------------|
| Etablissements de santé, de soins et d'action sociale (2)                                  | 60 dB(A)          | 55 dB(A)          |
| Etablissements d'enseignement (à l'exclusion des ateliers bruyants et des locaux sportifs) | 60 dB(A)          |                   |
| Logements en zone d'ambiance sonore préexistante modérée                                   | 60 dB(A)          | 55 dB(A)          |
| Autres logements                                                                           | 65 dB(A)          | 60 dB(A)          |
| Locaux à usage de bureaux en zone d'ambiance sonore préexistante modérée                   | 65 dB(A)          |                   |

(1) Ces valeurs sont supérieures de 3 dB (A) à celles qui seraient mesurées en champ libre ou en façade, dans le plan d'une fenêtre ouverte, dans les mêmes conditions de trafic, à un emplacement comparable. Il convient de tenir compte de cet écart pour toute comparaison avec d'autres réglementations qui sont basées sur des niveaux sonores maximaux admissibles en champ libre ou mesurés devant des fenêtres ouvertes.

(2) Pour les salles de soins et les salles réservées au séjour de malades, ce niveau est abaissé à 57 dB (A).

Une zone est d'ambiance sonore modérée si le niveau de bruit ambiant existant avant la construction de la voie nouvelle, à deux mètres en avant des façades des bâtiments est tel que LAeq (6 h-22 h) est inférieur à 65 dB(A) et LAeq (22 h-6 h) est inférieur à 60 dB(A).

Dans le cas où une zone respecte le critère d'ambiance sonore modérée seulement pour la période nocturne, c'est le niveau sonore maximal de 55 dB(A) qui s'applique pour cette période.

**Article 3**

Lors d'une modification ou transformation significative d'une infrastructure existante au sens des articles 2 et 3 du décret susvisé relatif à la limitation du bruit des aménagements et infrastructures de transports terrestres, le niveau sonore résultant devra respecter les prescriptions suivantes :

- si la contribution sonore de l'infrastructure avant travaux est inférieure aux valeurs prévues à l'article 2 du présent arrêté, elle ne pourra excéder ces valeurs après travaux;
- dans le cas contraire, la contribution sonore, après travaux, ne doit pas dépasser la valeur existant avant travaux, sans pouvoir excéder 65 dB(A) en période diurne et 60 dB(A) en période nocturne.

**Article 4**

Dans les cas nécessitant un traitement du bâti mentionnés à l'article 5 du décret relatif à la limitation du bruit des aménagements et infrastructures de transports terrestres, l'isolement acoustique contre les bruits extérieurs DnAT, vis-à-vis du spectre du bruit routier défini dans les normes en vigueur, exprimé en décibels (A), sera tel que :

$$DnAT \geq LAeq - Obj + 25,$$

L<sub>Aeq</sub> est la contribution sonore de l'infrastructure, définie à l'article 1er, et Obj la contribution sonore maximale admissible définie aux articles 2 et 3 du présent arrêté. D<sub>nAT</sub> est l'isolement acoustique contre les bruits extérieurs, défini à l'article 5. Cet isolement est déterminé pour une durée de réverbération égale à 0,5 seconde. Ce calcul sera effectué s'il y a lieu pour les deux périodes, et la valeur d'isolement la plus élevée sera retenue.

Quand l'application de cette règle conduit à procéder effectivement à des travaux d'isolation de façade, l'isolement résultant ne devra pas être inférieur à 30 dB(A).

Pour les locaux d'habitation, la valeur de cet isolement devra être respectée dans les pièces principales et les cuisines.

Lorsqu'un traitement du bâti est nécessaire, il convient de prendre en compte les exigences de pureté de l'air et de confort thermique en saison chaude à l'intérieur des bâtiments.

#### Article 5

Des mesures sur le site peuvent être effectuées :

- en façade des bâtiments pour s'assurer du respect des objectifs fixés aux articles 2 et 3 du présent arrêté;
- pour évaluer le critère de zone d'ambiance sonore préexistante modérée mentionné à l'article 2.

Les méthodes de contrôle in situ sont conformes à la méthode d'évaluation des niveaux sonores de long terme définie par la norme NF S 31-085 "Caractérisation et mesurage du bruit dû au trafic routier". Afin de garantir une bonne reproductibilité, ces mesures sont effectuées dans les conditions météorologiques définies dans les classes atmosphériques "a" ou "e" de cette norme.

Une estimation de l'influence des paramètres météorologiques sur le site étudié est fournie s'il y a lieu, afin de déterminer l'écart éventuel entre la mesure réalisée et les valeurs qui seraient mesurées dans d'autres conditions météorologiques rencontrées habituellement sur le site, ou le cas échéant, les valeurs résultant des calculs prévisionnels effectués selon les modalités définies à l'article 6.

L'isolement acoustique contre les bruits extérieurs D<sub>nAT</sub> est défini et mesuré conformément à la norme NF S 31-057 "Vérification de la qualité acoustique des bâtiments".

#### Article 6

Les niveaux sonores L<sub>Aeq</sub> visés à l'article 1er du présent arrêté sont évalués pour des conditions de circulation moyennes représentatives de l'ensemble de l'année, pour chacune des périodes diurne et nocturne.

Les modèles et hypothèses utilisés pour les évaluations doivent être clairement explicités dans les études. Ils sont conformes aux normes en vigueur ou règles de l'art.

Pour les évaluations et prévisions des niveaux sonores à longue distance, c'est-à-dire supérieure à deux cent cinquante mètres, l'influence des conditions météorologiques sur la propagation des sons, comme le vent et la température, est prise en compte.

Les calculs sont réalisés :

- soit dans des conditions météorologiques particulières qui correspondent aux conditions favorables à la propagation des sons, en faisant appel à une convention de calcul s'inspirant des principes décrits dans la norme ISO 9613 « Atténuation du son lors de sa propagation à l'air libre, partie 2 : méthode générale de calcul » et en prenant en compte la fréquence de cette situation sur le site;
- soit dans les conditions météorologiques observables sur le site, en utilisant une méthode qui prend en compte ces conditions.

L'application de ces méthodes ne peut cependant conduire à des valeurs inférieures à la situation sans vent et température constante.

#### Article 7

Le directeur des libertés publiques et des affaires juridiques, le directeur des routes, le directeur de la prévention des pollutions et des risques, le directeur de l'habitat et de la construction et le directeur général des collectivités locales sont chargés, chacun en ce qui le concerne, de l'exécution du présent arrêté, qui sera publié au Journal Officiel de la République française.

Fait à Paris, le 5 mai 1995