



CAHIER DE
L'ENVIRONNEMENT
n° 339

Bruit

Imputation
au trafic routier
des atteintes à
la santé dues
au bruit



Office fédéral de
l'environnement,
des forêts et
du paysage
OFEFP

CAHIER DE
L'ENVIRONNEMENT
n° 339

Bruit

Imputation
au trafic routier
des atteintes à
la santé dues
au bruit

Publié par l'Office fédéral
de l'environnement, des forêts
et du paysage OFEFP
Berne, 2002

Editeur

Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage OFEFP

Auteur

Prof. Dr. Ruedi Müller-Wenk, Institut für Wirtschaft und Ökologie, Universität St. Gallen.

Référence

MÜLLER-WENK, R., 2002: Imputation au trafic routier des atteintes à la santé dues au bruit. Cahier de l'environnement n° 339. Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage, Berne. 70 p.

Conseiller OFEFP

Hans Bögli, division Lutte contre le bruit

Traductions

Pierre Gandjean, Venthône

Graphisme, mise en page

Ursula Nöthiger-Koch, 4813 Uerkheim

Photo Couverture

OFEFP/Docuphot

Remerciements

Cette étude n'aurait pas été possible sans les précieuses suggestions d'un groupe de travail auquel ont participé Hans Bögli (OFEFP, division Lutte contre le bruit), Cornelia Conzelmann (promotion de la santé, Bâle-Ville) et Theo Koller (IHA EPF Zurich).

Les calculs nécessaires ont pu être effectués sur la base du modèle LUK grâce au soutien de Peter Graf et Silvio Grauweiler (Service de la protection contre le bruit du canton de Zurich).

Carl Oliva a réalisé et commenté les analyses requises en se servant des données de l'étude suisse Lärmstudie 90.

Précieuse a été la collaboration de Laszlo Matefi (SUVA Caisse nationale suisse d'assurance en cas d'accidents) dans la conduite de l'étude à laquelle ont participé les médecins de la SUVA.

Enfin, Gabor Doka a effectué une relecture compétente et minutieuse de toute l'étude.

Commande

OFEFP

Documentation

CH-3003 Berne

Fax + 41 (0) 31 324 02 16

E-Mail: docu@buwal.admin.ch

Internet: www.buwalshop.ch

Cette publication est également disponible en allemand et en anglais

Numéro de commande

SRU-339-F

Prix

CHF 10.– (TVA incluse)

© OFEFP 2002

Table des matières

Abstracts	5	5 Analyse des dommages	47
Avant-propos	7	5.1 Le concept DALY	47
1 Introduction	9	5.2 Disability Weights DW pour les perturbations du sommeil et de la communication	48
1.1 Les émissions acoustiques, une atteinte à l'environnement	9	5.3 Résultat et évaluation	49
1.2 Principale méthode actuelle d'évaluation de l'exposition au bruit et de ses conséquences	9	5.4 Valeurs DALY pour 1000 véhicules-kilomètres sur le réseau routier suisse	52
1.3 Evaluation des effets du bruit par des modèles de chaînes cause-effet	11	5.5 Considérations relatives à l'incertitude	54
1.4 Importance du bruit des transports et du trafic routier	12	6 Considérations finales	59
2 Les liens de cause à effet, base d'une meilleure appréciation des dommages dus au bruit	13	6.1 L'importance des atteintes à la santé dues au bruit du trafic routier	59
3 Analyse de propagation et d'exposition	15	6.2 Autres sources de bruit: chemin de fer et trafic aérien	61
3.1 Itinéraire de transport connu	15	6.3 Transposition des résultats au traitement du trafic routier hors de la Suisse	62
3.2 Itinéraire de transport inconnu	18	7 Bibliographie	63
3.2.1 Hypothèse relative à la répartition du trafic pour un itinéraire de transport inconnu	19	Annexe	65
3.2.2 Répartition du trafic effectif sur le réseau routier	20	Information/Questionnaire aux médecins de la SUVA	65
3.2.3 Détermination du DeltaLeq pour le trafic supplémentaire par type de route	22		
3.2.4 Résultat de l'analyse de propagation: DeltaLeq par type de véhicule	26		
3.2.5 Analyse de l'exposition: la population suisse exposée au bruit de la route	28		
4 Analyse des effets	31		
4.1 Aperçu des effets du bruit sur la santé humaine	31		
4.2 Les questions que posent l'analyse des effets dans le cas des perturbations du sommeil et des troubles de la communication	33		
4.3 Dépouillement des données de l'étude suisse «Lärmstudie 90»	34		
4.4 Relation entre analyses de propagation, d'exposition et des effets	40		
4.5 Estimations relatives aux infarctus du myocarde imputables au bruit des transports	42		

Abstracts

Keywords:

Road traffic noise,
health impairment,
dose-effect
characteristic,
disability adjusted life
years (DALY)

The study presents a new computational procedure for the determination of the principal forms of health impairment resulting from noise emissions of road vehicles in Switzerland. The magnitude of health impairment was determined separately for each vehicle category and is expressed per kilometre of distance driven. The calculations show that the overall state of health in Switzerland is to a lesser extent influenced by serious but less frequent diseases such as heart attacks than by the much more frequently occurring, albeit less serious, impairments such as insomnia and communication disturbance. The number of persons subject to specific levels of noise was determined on the basis of a traffic distribution model and by using the road traffic noise model of the Canton of Zurich (LUK). The number of cases of health impairment was determined from a dose-effect characteristic based on data from the Swiss Noise Study 90. An assessment of the severity of the types of health impairment caused by traffic noise was performed by a doctors' panel.

Stichwörter:

Strassenlärm,
Gesundheitsschäden,
Dosis-Wirkungs-
Charakteristik,
Disability Adjusted
Life-Years (DALY)

Die Studie präsentiert ein neues Rechenverfahren zur Bestimmung der hauptsächlichsten Gesundheitsschäden in der Schweiz, welche die Folge der Lärmerzeugung der verschiedenen Kategorien von Strassenverkehrs-Fahrzeugen pro Kilometer Transportdistanz sind. Die Berechnungen zeigen, dass nicht die seltenen Fälle schwerer Erkrankungen wie Herzinfarkte ausschlaggebend sind für den gesamten Gesundheitsschaden, sondern die sehr häufigen leichteren Schlaf- und Kommunikationsstörungen. Die Zahl der Personen, welche von einem bestimmten Pegelbereich des Strassenverkehrs belastet sind, wird mithilfe eines Verkehrs-Verteilungsmodells sowie des Zürcher Strassenlärm-Modells LUK ermittelt. Die Zahl der Fälle von Gesundheitsbeeinträchtigung wird bestimmt mit Hilfe einer Dosis-Wirkungs-Charakteristik auf Basis der Auswertung von Daten der schweizerischen Lärmstudie 90. Die Beurteilung der Schwere der Gesundheitsschäden ist durch ein Panel von Ärzten vorgenommen.

Mots-clés:

bruit de la route,
atteintes à la santé,
caractéristique
dose-effets,
disability adjusted
life-years (DALY)

L'étude présente une nouvelle méthode de calcul permettant de déterminer les principales atteintes à la santé imputables en Suisse au bruit généré par les diverses catégories de véhicules routiers et par kilomètre de distance accomplie. Les calculs montrent que ce ne sont pas les rares cas de maladies graves, tel l'infarctus du myocarde, qui sont déterminants pour l'ensemble des atteintes à la santé, mais bien plus les très fréquentes et plus bénignes perturbations du sommeil et les troubles de la communication. Le nombre de personnes exposées à un niveau de bruit donné dû au trafic routier est déterminé au moyen d'un modèle de répartition des transports ainsi que du modèle zurichois de bruit de la route LUK. Le nombre d'atteintes à la santé est déterminé à l'aide d'une caractéristique dose-effets sur la base de l'évaluation de données issues d'une étude du bruit réalisée en Suisse en 1990 (Lärmstudie 90). L'appréciation de la gravité des atteintes à la santé a été effectuée par un panel de médecins.

Parole chiave:
rumore stradale,
danni alla salute,
relazione dose-effetto,
Disability Adjusted
Life-Years (DALY)

Lo studio presenta un nuovo metodo di calcolo per determinare i principali danni alla salute imputabili in Svizzera al rumore di diverse categorie di veicoli stradali al chilometro di distanza percorsa. I calcoli indicano che non sono i rari casi di malattie gravi, quali gli infarti, a causare tutti i danni alla salute, bensì i più frequenti e meno gravi disturbi del sonno e della comunicazione. Il numero di persone esposte a un determinato livello di rumore dovuto al traffico stradale viene calcolato tramite un modello di distribuzione del traffico e il modello zurighese di rumore stradale (LUK). Il numero di casi di danni alla salute viene stabilito mediante una relazione dose-effetto sulla base della valutazione dei dati dello studio sull'inquinamento fonico realizzato in Svizzera nel 1990. La valutazione della gravità dei danni alla salute viene effettuata da un gruppo di medici.

Avant-propos

Aujourd'hui, le bruit de la circulation est le problème environnemental qui touche le plus directement la population suisse: le trafic routier, le trafic ferroviaire et le trafic aérien exposent une grande partie des habitants à des nuisances qui détériorent considérablement leurs conditions de vie. En outre, rien ne laisse entrevoir une nette amélioration dans un futur proche, surtout en ce qui concerne le bruit du trafic routier.

Bien au contraire, le bruit occupe actuellement une place secondaire dans les procédures d'évaluation des effets sur l'environnement, telles que les études d'impact sur l'environnement ou les écobilans. Cela s'explique notamment par le fait que certains problèmes relatifs à la méthode de recensement du bruit et de ses effets n'ont pas encore été résolus.

Par la présente étude, nous espérons contribuer à combler ces lacunes. Nous entendons démontrer que le simple passage d'un véhicule à moteur peut, par le bruit qu'il provoque, avoir des effets très clairs sur la santé. Même si un seul véhicule n'a qu'un effet minime sur la santé, il est essentiel de le connaître. En effet, le trafic étant très dense, tous ces petits effets s'additionnent et les conséquences pour la santé finissent par être sérieuses.

Cette étude n'analyse pas les troubles de la santé sous leur aspect financier; elle évalue leur nombre. La gravité relative de ces atteintes est estimée selon une procédure élaborée par l'OMS (Organisation mondiale de la santé). Lorsqu'il est souhaitable ou nécessaire de connaître le coût d'une de ces atteintes, on peut alors se fonder sur cette évaluation du nombre de cas ainsi que sur les valeurs guides de l'OMS.

Office fédéral de l'environnement,
des forêts et du paysage

Urs Jörg
Chef de la Division Lutte contre le bruit

1 Introduction

Parallèlement au produit voulu, les processus économiques génèrent des émissions de substances et d'énergie; ils consomment des matières premières et accaparent de l'espace. Ces atteintes à l'environnement peuvent contribuer à la dégradation des biotopes naturels et de la vie dans ces milieux.

1.1 Les émissions acoustiques, une atteinte à l'environnement

Dans le contexte des émissions dégagées dans l'environnement, le «son», qui est une énergie, occupe une place particulière en ce sens que:

- à la différence de nombreuses émissions matérielles, les émissions acoustiques n'ont un effet qu'à proximité de la source qui les émet et décroissent peu de temps après qu'elles aient été produites;
- parce qu'il possède un organe sensitif puissant, l'homme les perçoit même lorsque leur intensité énergétique (acoustique) est faible.

Cela explique pourquoi d'un côté, les émissions acoustiques sont considérées comme des atteintes locales, brèves et, par conséquent, peu importantes par bien des gens, comparativement par exemple aux émissions de gaz à effet de serre, alors que, de l'autre côté, les personnes qui y sont exposées les ressentent comme des dérangements permanents et graves. Il est donc particulièrement difficile de définir des grandeurs de mesure adéquates et généralement acceptées pour décrire les nuisances sonores et leurs effets sur l'être humain ou même sur la vie non humaine. Par conséquent, il est encore plus difficile, dans le cadre de l'évaluation globale des atteintes à l'environnement d'actions alternatives potentielles, de peser les effets des émissions acoustiques comparativement à ceux d'émissions d'autres natures ou à la consommation de matières premières naturelles.

1.2 Principale méthode actuelle d'évaluation de l'exposition au bruit et de ses conséquences

Pour déterminer l'exposition au bruit dans un endroit et à un instant donnés, en général on se sert actuellement de la grandeur de mesure $L_{Aeq,T}$, c'est-à-dire, du niveau de pression acoustique L exprimé en décibels, moyenne énergétique sur une période de temps T relativement longue, et dans lequel les domaines de fréquence sont pondérés en fonction de l'échelle de sensibilité A de l'oreille humaine. Toutefois, cette valeur ne permet pas de circonscrire l'ensemble des propriétés significatives du son, raison pour laquelle il en existe d'autres, qui donnent une «image» complémentaire ou affinée de l'exposition au bruit, suivant la nature de la source sonore et la qualité du son (OMS 2000, p. 3ss., SUVA 1997, p.14/15).

Pour ce qui est de l'exposition au bruit, la présente étude met principalement l'accent sur ses effets sur l'homme, bien que l'on ne puisse exclure que le bruit ait des retombées sur les animaux. Ce sont surtout les sons intempestifs, appelés «bruit» qui perturbent le bien-être de l'homme et peuvent nuire à sa santé. Il existe

un nombre considérable de tels effets (OMS 2000, p. 20ss., SUVA 1997, p. 30ss.) Ces effets vont de exaspération passagère à l'encontre d'une fête bruyante qui bat son plein dans l'appartement voisin aux lésions sévères et permanentes telles que la perte de l'audition ou les maladies cardiaques. Alors que les troubles graves de la santé imputables au bruit sont plutôt rares, les importantes parties de la population exposées à des nuisances sonores de 60 dB et plus (Eurostat 1995, p. 289) montrent qu'un quart environ des habitants de ce continent pourraient souffrir de légers troubles de la santé ayant le bruit pour origine. Si l'on veut se faire une idée des conséquences de l'exposition au bruit sur l'être humain, on ne peut pas simplement ignorer ces cas relativement légers et fréquents, quand bien même un diagnostic médical n'est pas aussi facile à poser que pour des cas graves mais plus rares tels qu'une perte de l'audition ou une défaillance cardiaque.

Parce qu'il est difficile, en présence d'une exposition donnée au bruit, de faire une description causale des atteintes à la santé dans la population concernée, actuellement, on choisit souvent dans la pratique la voie dite du «hedonic pricing» pour évaluer quantitativement les dommages dus au bruit. Dans cette méthode, on admet au départ que le prix du marché d'un appartement ou d'une maison dépend entre autres de la perte de bien-être des résidents du fait du niveau acoustique régnant à cet endroit. Si l'on parvient, en s'aidant de données et de calculs appropriés, à isoler des autres facteurs l'influence du paramètre «niveau de bruit» sur la formation des prix, on peut alors, grâce à cette méthode, exprimer en francs la différence que la diminution d'une unité du niveau acoustique peut avoir sur le loyer ou sur le prix du terrain. Cela est aussi, exprimé en termes pécuniaires, une mesure du dommage hypothétique subi lorsque le niveau acoustique n'est pas réduit. C'est ainsi que, par exemple, le rapport final «Externe Lärmkosten des Verkehrs» (coûts externes du bruit des transports), élaboré sur mandat du Service d'étude des transports du DE-TEC, aboutit au résultat suivant: à partir d'un échantillon de 380 villas familiales ayant changé de propriétaires entre 1995 et 1999 dans le canton de Zurich, on constate que le prix d'achat baisse de 0,66% par décibel(A) supplémentaire d'exposition au bruit des transports, ce qui se situe dans la marge inférieure des études effectuées jusqu'à présent en Suisse (0,8 à 1,2% par dB(A); ECOPLAN 2000, p.32). On trouvera dans (SET 1998, p. 29) un aperçu des résultats des études opérant par la méthode du «hedonic pricing» à propos de la diminution des loyers en fonction de l'augmentation du bruit du trafic routier.

Parallèlement, on se sert aussi de la méthode appelée «Contingent Valuation», qui consiste, entre autres, à demander aux personnes exposées au bruit combien elles seraient prêtes à payer pour une réduction du bruit à leur lieu de domicile s'il était possible d'acheter une telle réduction. Les résultats d'investigations de cette nature sont présentés dans (UBA 1998, p. 62/63); les auteurs y montrent que les gens seraient prêts à payer entre 15 et 25 DM environ par an, par habitant et par décibel de bruit évité. Si l'on extrapole ces valeurs aux prix d'achat des villas suisses évoqués plus haut en appliquant des moyennes typiques, on constate que les loyers que les ménages allemands sont prêts à payer sont un ordre de grandeur en dessous des chiffres obtenus pour la Suisse.

Ces méthodes, qui mesurent quantitativement, en termes pécuniaires, les dommages infligés à l'environnement présentent des lacunes. Abstraction faite des réticences de principe contre la tendance à vouloir exprimer la valeur de toute chose en unités monétaires et à considérer en plus les marchés comme l'arbitre de la définition des valeurs, l'inconvénient inhérent à ces méthodes est qu'elles ne font que constater des coïncidences statistiques mais qu'elles ne se penchent quasiment pas sur la relation fondamentale entre les processus générateurs d'émissions et leurs effets sur l'environnement naturel. Par ailleurs, ces mesures d'évaluation aboutissent au fait que les dommages n'apparaissant qu'à long terme sont systématiquement sous-estimés parce qu'ils ne sont généralement pas connus des partenaires du marché et parce qu'ils ne peuvent être intégrés dans la démarche que sur la base des connaissances d'experts: quiconque achète ou vend aujourd'hui une maison d'habitation fortement exposée au bruit sait beaucoup moins bien qu'un médecin spécialisé quelles en seront les conséquences à long terme sur la santé des résidents, raison pour laquelle il est quasiment impossible de prendre cet aspect en compte correctement dans la formation du prix.

1.3 Evaluation des effets du bruit par des modèles de chaînes cause-effet

La présente publication se propose de montrer comment il est possible de déterminer quantitativement les effets des émissions sonores sur la santé de l'être humain à l'aide d'une méthode plus analytique et plus proche des relations causales. En l'occurrence, on fait appel au concept de «damage-oriented Impact Assessment», qui prend une place importante dans les tout récents développements des méthodes de détermination des bilans écologiques (voir à ce sujet, par exemple, GOEDKOOP 1999, HOFSTETTER 1998). Dans sa première version, cette méthode de conception modulaire a été publiée en 1999 déjà (MÜLLER-WENK 1999): son premier module modélise l'élévation du niveau acoustique dans les zones d'habitation imputable à l'accroissement de l'activité de transport; le deuxième module calcule le nombre de personnes par plage de niveau acoustique et d'augmentation de celui-ci. Le troisième module associe l'intensité du niveau acoustique et la probabilité des types importants d'atteintes à la santé; enfin, le quatrième module pondère la gravité relative des diverses pathologies. Dans le présent travail, on a essentiellement amélioré les modules 3 et 4 par rapport à la publication de 1999, cela grâce à des investigations supplémentaires.

On dispose ainsi d'une méthode qui, compte tenu de la charge sonore préalable effective, présente quantitativement les conséquences d'activités supplémentaires de transport sur l'état de santé de la population. La méthode a été élaborée pour le cas du bruit du trafic routier, mais elle peut être étendue au bruit du trafic ferroviaire (voir chapitre 6.2). Grâce à la structure modulaire de la méthode, ses différents éléments peuvent en tout temps être adaptés de par l'application de plus récentes connaissances scientifiques.

1.4 Importance du bruit des transports et du trafic routier

Nombreuses sont les sources sonores de natures différentes dont les émissions de bruit sont susceptibles de porter atteinte à la santé de l'être humain. Mais il ne fait aucun doute que le transport en général, et le trafic routier en particulier viennent clairement au premier plan si l'on prend pour référence la part de la population exposée à des niveaux de bruit élevés. Ce fait est confirmé par des données figurant dans (OFEFP 1997, p. 127ss.) pour la Suisse et dans (Eurostat 1995, p. 288/289) pour ce qui concerne l'Europe. C'est la raison pour laquelle la présente publication se concentre sur le traitement des effets du bruit du trafic routier sur la santé. Néanmoins, le chapitre 6 lance des pistes quant aux possibilités d'appliquer au bruit du chemin de fer et de l'aviation la méthode développée ici.

2 Les liens de cause à effet, base d'une meilleure appréciation des dommages dus au bruit

Les méthodes d'écobilan (life-cycle assessment LCA) ont pour objet de présenter et d'évaluer les atteintes d'un processus de production ou de consommation sur l'environnement naturel (comportant la vie humaine, la vie non humaine et l'environnement non vivant). En l'occurrence, on essaie de plus en plus, depuis quelque temps, d'établir, au moyen de la modélisation de chaînes de liens de cause à effet, la relation entre les quantités émises et consommées par un processus et la modification de la qualité de l'environnement naturel qu'elles provoquent. Partant de l'exemple classique des émissions toxicologiques, on peut mettre en évidence les éléments suivants de la chaîne de liens de cause à effet:

- **l'analyse de propagation** (fate analysis) décrit la modification des concentrations de polluants produite par une quantité donnée d'émissions de la substance considérée;
- **l'analyse d'exposition** (exposure analysis) décrit combien de personnes sont touchées par de telles modifications de concentration, et avec quelle ampleur;
- **l'analyse des effets** (effect analysis) décrit les effets que l'on peut escompter sur la santé d'une personne exposée pendant une durée bien précise à une concentration donnée de la matière considérée;
- **l'analyse des dommages** (damage analysis) décrit l'ampleur des dommages auxquels il faut s'attendre lorsqu'une personne souffre pendant une durée bien précise d'une atteinte donnée à sa santé.

Une telle démarche permet, par exemple, d'évaluer quantitativement l'utilisation des moteurs diesel par rapport aux moteurs à essence dans l'optique des conséquences que peuvent avoir sur la santé de l'être humain les spectres de leurs gaz d'échappement respectifs, et cela, avec une part élevée d'objectivité scientifique. De façon similaire, on pourrait évidemment aussi étudier et présenter les retombées sur la vie non humaine.

Il est donc intéressant de calquer sur le même schéma l'étude des effets des émissions sonores sur la santé de l'homme. Cependant, certaines spécificités des émissions acoustiques et de leurs effets entrent en ligne de compte et compliquent quelque peu cette tâche:

- Comparativement aux émissions de substances, une émission acoustique isolée disparaît de manière extrêmement rapide si bien qu'en général, on ne peut pas établir une «concentration d'immissions» quelque peu stable sur l'axe du temps à partir d'émissions sonores: on est contraint de définir des moyennes théoriques appropriées de la pression acoustique, dont la pression acoustique instantanée peut évidemment beaucoup s'écarter;
- La charge sonore perçue par l'être humain comme étant du bruit est beaucoup plus complexe à décrire que la concentration des immissions d'un gaz polluant: outre le contenu énergétique du son, la structure de sa fréquence, sa dynamique temporelle et son contenu informatif ont une incidence quant à ses effets sur l'homme;
- L'existence pour l'homme d'effets imputables au son est moins facile à saisir avec des méthodes de mesure «objectives» que dans le cas des effets dus à des substances.

3 Analyse de propagation et d'exposition

Dans l'analyse de propagation, il s'agit de déterminer comment les niveaux acoustiques $L_{Aeq,T}$ augmentent dans tous les endroits où l'être humain se tient durablement lorsqu'une activité de transport supplémentaire y est effectuée, par exemple le trajet d'un camion de 40 tonnes sur une distance de 180 km. Le résultat de l'analyse d'exposition qui s'ensuit répond à la question de savoir combien de personnes sont touchées par une élévation donnée du niveau acoustique $L_{Aeq,T}$ consécutivement à cette activité de transport supplémentaire.

Une activité de transport a lieu sur des tronçons d'un réseau routier national ou continental donné, chaque tronçon de ce réseau étant déjà lesté d'un trafic effectif (trafic actuel) qui enveloppe la population résidant des deux côtés de la route d'un niveau acoustique effectif (bruit de fond). Ce niveau acoustique effectif est généralement élevé lorsqu'une route présente des fréquences de circulation élevées ainsi qu'une forte proportion de poids lourds, et lorsque la distance entre le lieu où se tiennent les personnes et la route est courte.

Pour pouvoir effectuer une analyse quantitative, il est généralement nécessaire de posséder un certain nombre d'informations:

- a) On doit savoir sur quels tronçons du réseau routier le transport supplémentaire se déroulera ou, à défaut, pouvoir faire une hypothèse réaliste à ce sujet;
- b) On doit connaître les fréquences effectives de la circulation sur les tronçons routiers considérés ainsi que les niveaux acoustiques générés par ces fréquences sur la route et dans les zones d'habitation riveraines;
- c) On doit disposer d'une méthode de calcul permettant de déterminer l'élévation du niveau acoustique consécutive à une élévation de 1 unité-véhicule de la fréquence de la circulation;
- d) On doit savoir combien de personnes vivent aux endroits exposés à l'élévation du niveau acoustique.

3.1 Itinéraire de transport connu

Dans bien des cas, on dispose, à propos du point a), d'une information qui permet de connaître avec précision l'itinéraire suivi par le transport, entre le point de départ et le point de destination, et, partant, la succession des tronçons empruntés sur le réseau routier. Ensuite, s'agissant de la Suisse, les informations de type b) concernant les tronçons routiers empruntés peuvent être très souvent tirées des cadastres cantonaux du bruit de la route, lesquels indiquent, pour chaque tronçon de route traversant des zones urbanisées, les volumes de trafic, les caractéristiques de la route et les niveaux acoustiques régnant sur celle-ci. Quant aux niveaux acoustiques sur les façades des bâtiments, soit ils sont indiqués dans le cadastre soit il faut les déterminer à l'aide de méthodes de calcul de l'atténuation acoustique (OFEP 1991, p. 12ss.). L'information d), qui concerne le nombre d'habitants par unité de surface de la zone urbanisée, peut être trouvée à l'aide de valeurs moyennes par types de zone indiquées dans les plans de zones; des méthodes plus fines calculent le nombre probable d'habitants par bâtiment, et même, dans le cas idéal, font la distinction

entre la nuit et le jour. De cette façon, on connaît pour chaque tronçon emprunté les fréquences actuelles de passage des véhicules et les niveaux acoustiques actuels dans l'agglomération, ainsi que le nombre de personnes résidant dans les endroits exposés à un niveau acoustique donné, compte tenu de l'atténuation acoustique due à la propagation des sons.

Les méthodes de calcul c) permettent ainsi de déterminer, pour chaque tronçon, l'élévation du niveau acoustique Delta-LAeq,T (abrégé par la suite en DeltaLeq) pour les riverains de ces routes, élévation qui résulte de l'augmentation de la moyenne annuelle actuelle du volume horaire du trafic de 1 véhicule pour chaque heure de l'année. A ce sujet, on peut appliquer les règles de calcul découlant de (OFEFP 1991, p. 8ss; voir tableau 1).

Tableau 1:
calcul du LAeq moyen annuel selon (OFEFP 1991).

<p>Données initiales: N1 nombre moyen de véhicules par heure de la catégorie 1 (voitures de tourisme, voitures de livraison, motocycles légers) N2 nombre moyen de véhicules par heure de la catégorie 2 (camions, autobus, tracteurs, motocycles lourds) V1, V2 vitesse moyenne des véhicules en km/h i déclivité de la route en %</p> <p>Hypothèses simplificatrices: N1 + N2 sont supérieurs à 100 véhicules/heure (sera vérifié plus tard) Le revêtement routier est un asphalte normal Le nombre de véhicules est égal dans les deux directions d'une route</p> <p>Calcul du LAeq moyen annuel en un point à +1 mètre de l'axe de la route: $LAeq = 10 \cdot \log(10^{0.1 \cdot LE1} + 10^{0.1 \cdot LE2})$ où: $LE1 = E1 + 10 \cdot \log(N1)$ $LE2 = E2 + 10 \cdot \log(N2)$ $E1 = \max \{ \{12.8 + 19.5 \cdot \log(V1)\}, \{45 + 0.8 \cdot (0.5^i - 2)\} \}$ $E2 = \max \{ \{34 + 13.3 \cdot \log(V2)\}, \{56 + 0.6 \cdot (0.5^i - 1.5)\} \}$</p>

Pour un tronçon isolé sur l'itinéraire connu suivi par le transport, dont on connaît les fréquences de circulation et les caractéristiques routières, on peut calculer une élévation du niveau acoustique correspondant à un véhicule supplémentaire par heure pendant toute l'année en déterminant d'abord le LAeq selon le tableau 1 pour la fréquence de circulation actuelle effective, puis pour cette même fréquence augmentée de 1 unité, puis en formant la différence entre les deux résultats obtenus. Par interpolation linéaire, on peut alors déterminer quelle partie de cette élévation du niveau acoustique est imputable à un passage isolé, unique: un passage isolé unique correspond à 1/8760 de l'augmentation d'une unité de la quantité horaire de véhicules en moyenne sur une année. A noter que les méthodes de calcul de l'atténuation acoustique entre l'axe de la route et l'objet exposé au bruit (OFEFP

1991, p. 12ss.) sont indépendantes de la valeur de l'intensité sonore à l'axe de la route; cela signifie que l'élévation préalablement calculée du niveau acoustique à partir d'un transport supplémentaire est toujours aussi élevée contre les façades du bâtiment exposé qu'à l'axe de la route.

Tableau 2: Exemples de calcul d'élévations du niveau acoustique dues au trafic supplémentaire DE JOUR

Calcul de l'augmentation du Laeq	noise.xls				
	Bümplitz Bernstr	Saignelegier Rte de l'Hop	Soyhieres Rte de Bale	Oberentfelden Aarauerstr	Schwägalp Passhöhe
DONNEES INITIALES					
N1 PW/h DE JOUR	1626	166	232	246	53
N2 LKW/h DE JOUR	153	10	45	14	9
v vitesse km/h	50	60	60	60	60
i déclivité de la route %	2	0	0	0	0
A type de revêtement	0	0	0	0	0
K1 facteur de correction	0	0	0	0	0
VALEURS INTERMEDIARES					
E'1	45.9299151	47.4739494	47.4739494	47.47394938	47.4739494
E"1	44.2	43.4	43.4	43.4	43.4
E1	45.9299151	47.4739494	47.4739494	47.47394938	47.4739494
E'2	56.5963011	57.6494116	57.6494116	57.64941163	57.6494116
E"2	55.7	55.1	55.1	55.1	55.1
E2	56.5963011	57.6494116	57.6494116	57.64941163	57.6494116
LE1	78.0411205	69.6750303	71.1288292	71.38330045	64.7167081
LE2	78.4432154	67.6494116	74.1815368	69.11069199	67.1918367
RESULTATS en dB(A)					
LAeq	81.2571198	71.7895633	75.9283595	73.40428387	69.1385644
LE1 if N1 +1car	78.0437906	69.7011141	71.1475086	71.40091892	64.797887
LE2 if N2 +1truck	78.4715083	68.0633385	74.2769899	69.41032422	67.6494116
Leq if N1 +1car	81.2583933	71.8056113	75.9345543	73.41535513	69.1680661
Leq if N2 +1truck	81.2719436	71.9538227	75.9924335	73.51820093	69.436344
DeltaLeq N1 +1car	0.00127	0.01605	0.00619	0.01107	0.02950
DeltaLeq N2 +1truck	0.01482	0.16426	0.06407	0.11392	0.29778

Le tableau 2 présente des exemples de calcul de niveaux acoustiques DE JOUR sur des tronçons routiers d'après (OFEFP 1991). Les niveaux acoustiques de base résultants LAeq coïncident avec les exemples de calcul correspondants (ligne niveau d'émissions route Leq,e,m) de (OFEFP 1991). A partir du cas de base, DeltaLeq N1 +1car indique l'élévation du niveau acoustique moyen sur une année LAeq pour les 16 heures DE JOUR, générée par une augmentation de 1 véhicule pendant les 16*365 heures DE JOUR de l'ensemble de l'année du volume horaire du trafic N1 des véhicules de la catégorie 1. A noter que l'élévation calculée du niveau acoustique varie fortement suivant les caractéristiques d'un tronçon routier. En général,

elle est d'autant plus faible que le volume du trafic actuel est grand et que le niveau acoustique LAeq actuel est élevé. En revanche, l'élévation du niveau acoustique est importante lorsque le trafic sur le tronçon considéré est faible et que le niveau acoustique actuel est bas. Si une voiture ou un poids lourd supplémentaire ne circule qu'une seule et unique fois sur les tronçons considérés (et non pas à chaque heure DE JOUR de l'année), l'élévation du niveau moyen DeltaLeq doit être divisée par le nombre d'heures DE JOUR annuelles, soit 365×16 conformément aux deux dernières lignes du tableau 2.

Dans le cas où l'itinéraire du transport est connu, le résultat de l'analyse de propagation et d'exposition se traduit par une nouvelle information: le nombre de personnes à être exposées actuellement à un niveau acoustique LAeq,T donné sur le tronçon routier parcouru de A à B, et l'ampleur de l'évolution de ce niveau acoustique moyen pris sur le long terme du fait du transport supplémentaire. Cette élévation théorique du niveau acoustique est évidemment si faible que personne ne pourrait la percevoir physiquement. Néanmoins, comme nous le verrons plus tard, ce paramètre est une valeur initiale judicieuse pour l'analyse des effets.

On notera que l'acquisition et le traitement des informations b) et d) peut, dans certains cas, représenter un grand volume de travail. Celui-ci peut cependant être réduit dans une certaine mesure si l'on applique la méthode des transports sur des itinéraires inconnus présentée ci-après.

3.2 Itinéraire de transport inconnu

Souvent, on ne sait pas quels tronçons du réseau routier seront empruntés par un transport. Même lorsqu'on en connaît le point de départ et de destination, eu égard à la finesse des mailles du réseau routier, un véhicule pourra emprunter différents itinéraires suivant l'heure du jour, les bouchons, les points de chargement et de déchargement des marchandises, mais aussi les préférences de son chauffeur. De plus, il peut arriver que l'on ne connaisse pas non plus les points de départ et de destination. Ce peut surtout être le cas lorsque le but recherché est d'évaluer le bruit occasionné par des transports, non pas passés, mais futurs. Prenons un exemple: dans le cadre d'un plan d'exploitation triennal, on ne connaît pas encore les emplacements de futurs clients; de même, dans un plan de développement régional, on ignore aujourd'hui entre quels points il faudra, à l'avenir, acheminer des marchandises ou des personnes. En outre, si l'on veut déterminer les atteintes à l'environnement dues à des variantes possibles de produits, il est généralement indispensable de considérer les transports occasionnés par les étapes préliminaires de leur élaboration. A cet effet, on puisera en général des informations dans les banques de données publiques; mais comme elles sont indépendantes des fournisseurs et des lieux, celles-ci ne permettent pas de préciser des itinéraires de transport. Ces cas sont typiques des applications visant à élaborer des écobilans.

Il est donc souhaitable de pouvoir entreprendre l'analyse de propagation et d'exposition relative au bruit généré par un transport routier, même si l'on ne possède que des informations lacunaires sur cette activité, à savoir, par exemple, le poids des marchandises, la distance à parcourir et le moyen de transport, ainsi que des indications générales sur la région géographique (pays, continent) où le transport aura lieu. Pour ce cas général, l'analyse de propagation et d'exposition est traitée en détail dans (MÜLLER-WENK 1999). La démarche qui en découle est présentée dans les pages qui suivent.

3.2.1 Hypothèse relative à la répartition du trafic pour un itinéraire de transport inconnu

Si l'on doit déterminer la charge sonore à laquelle des personnes sont exposées du fait d'un transport routier supplémentaire dont on connaît seulement la distance en kilomètres mais pas l'itinéraire, il est nécessaire de formuler en préambule une hypothèse plausible quant à la façon dont ce transport pourrait se dérouler sur le réseau routier existant. Comme le confirme le tableau 2, les exemples d'élévation du niveau acoustique sur différents tronçons routiers montrent clairement que ce trafic supplémentaire aura des incidences différentes suivant où il se produit.

L'hypothèse fondamentale choisie ici est que le transport supplémentaire est théoriquement réparti sur tout le réseau routier (national ou continental), mais on admet que, sur chaque tronçon du réseau, il est proportionnel au trafic déjà existant. De prime abord, cette hypothèse semble peu réaliste si l'on considère un transport isolé. En effet, on ne peut pas physiquement organiser le trajet d'un seul camion devant parcourir 180 km en Suisse de manière à ce que des fractions d'une unité de véhicule supplémentaire circulent sur chacun des tronçons de quelque 80'000 km du réseau routier de notre pays. En revanche, cette hypothèse est tout à fait plausible lorsqu'on considère le volume global du trafic: en effet, on sait par expérience que la croissance annuelle totale du trafic sur un réseau routier se fait quasi proportionnellement à la charge actuelle du trafic sur les différentes parties de ce réseau: là où le trafic est déjà important, il progressera beaucoup l'an prochain, tandis que sur les artères peu fréquentées, la croissance absolue sera faible. Cela étant posé, le transport isolé devant être examiné quant à ses effets sonores peut être traité comme s'il apportait à l'ensemble du réseau routier une contribution à l'augmentation tendancielle du trafic (et, partant, du niveau acoustique).

Pour la Suisse, des indications sur la répartition de la croissance du trafic sur le réseau routier sont fournies par les données concernant l'évolution du trafic journalier moyen TJM, enregistrées dans plus de 200 stations de mesure automatiques implantées sur le réseau suisse des routes nationales et cantonales (OFROU 1998, tableau 6). On y constate, par exemple, que les volumes du TJM de l'année 1995 ont connu des variations se situant entre 94% et 107% par rapport à l'année 1994, tandis que l'ensemble des stations de mesure évaluables indique pour 1995 un trafic égal à 100,5% du TJM de l'année précédente (OFROU 1998, p. 5). Quand bien même, selon ces chiffres, la croissance relative du trafic est plus grande sur les routes à

grande circulation que sur les routes peu fréquentées (OFROU 1998 p. 5/6), on peut admettre en première approximation que la répartition du trafic supplémentaire futur sera à peu près proportionnelle au trafic actuel sur les différents tronçons routiers.

Compte tenu de ces circonstances, on peut admettre que la charge sonore théorique due à un transport supplémentaire futur dont l'itinéraire est inconnu peut être calculée comme si ce transport pouvait être segmenté en «fractions» de transport et réparti sur l'ensemble du réseau routier, proportionnellement aux fréquences actuelles effectives par tronçon de route. De cette manière, on ne détermine pas l'élévation du niveau acoustique effectivement causée par ce transport, certes, mais l'apport théorique de ce transport à l'élévation du niveau acoustique probable sur l'ensemble du réseau routier suisse selon la croissance tendancielle du trafic. Etant donné que, par hypothèse, on ne sait pas quel itinéraire le transport dont il s'agit de déterminer l'effet du bruit empruntera sur ce réseau, cet apport théorique à l'élévation du niveau acoustique sur l'ensemble du réseau routier est un paramètre de remplacement valable sur la base duquel on peut obtenir une image réaliste du bruit et de ses conséquences.

3.2.2 Répartition du trafic effectif sur le réseau routier

Mais d'où tire-t-on les données représentatives de la distribution du trafic effectif entre les différents tronçons qui forment l'ensemble du réseau routier suisse? Comme on l'a déjà évoqué plus haut, il existe en Suisse des cadastres cantonaux du bruit de la route dans lesquels on peut trouver, pour chaque tronçon routier, la moyenne horaire des quantités de véhicules ainsi qu'une distinction, d'une part, entre voitures de tourisme et poids lourds et, d'autre part, entre jour et nuit. Cependant, actuellement ces données ne sont disponibles que sous une forme qui supposerait un énorme travail si l'on voulait les appliquer dans des calculs couvrant l'ensemble du réseau. On pourrait obtenir plus simplement une image de la distribution des fréquences du trafic sur le réseau routier suisse en dépouillant les données recueillies par les stations de comptage automatiques disséminées sur le réseau routier. Comme ce réseau de stations de comptage n'est pas assez dense pour déterminer avec précision les quantités journalières de véhicules TJM sur chaque tronçon routier, à ce jour on a pu établir une carte routière suisse n'indiquant que les volumes approximatifs du TJM par tronçon (OFS 1995, carte annexée). De plus, seules les routes nationales et cantonales sont prises en considération puisque ce réseau de stations automatiques de comptage se limite à ces routes à grand trafic. La distribution des fréquences pour l'ensemble du réseau routier suisse n'existe donc pas encore et aucune contribution dans ce sens n'a pu être fournie dans le cadre de notre étude.

A titre de remplacement, on a entrepris ici une compartimentation sommaire du réseau routier suisse de 1995 en quatre types de routes, à savoir: autoroute/semi-autoroute, route principale en dehors des localités, route principale à l'intérieur des localités, routes secondaires; cette compartimentation découle des répartitions rela-

tives des prestations kilométriques (OFEFP 1995, annexe A10). A première vue, cette répartition semble trop grossière; mais nous verrons, au chapitre suivant, que la précision des résultats des calculs est néanmoins suffisante.

Tableau 3: Répartition du trafic 1995 entre les différents types de routes et calcul N1, N2

Répartition du trafic 1995 en CH en fonction des prestations kilométriques 1990 selon CdE 255 ann. A10.1						
Catégorie de véhicule	Autoroute/ semi-autor.	RP EX	RP IN	RS IN+EX	noiseZähl.xls3	
					Total	
VT (cat 1) %-ages	31.9	29	15.6	23.5	100.00	%selon p.382
Camionnettes (cat 1) %-ages	35.2	28.1	15.1	21.6	100.00	%selon p.382
Total cat 1 mia vkm	14.9578	13.4888	7.2556	10.8978	46.60	
PL (cat 2) %-ages	46.8	28.7	11.9	12.6	100.00	%selon p.382
Motocycles (cat 2) %-ages	21.2	38.2	15.4	25.2	100.00	%selon p.382
Total cat 2 mia vkm	1.40668	1.26079	0.51583	0.6867	3.87	
Total mia vkm cat1+2	16.36448	14.74959	7.77143	11.5845	50.47	
Longueur réseau km	1876	15367	3790	58967	80000	selon p.382
TJM moyen v/jour	23899	2630	5618	538		
Répartition du TJM						
N1 +N2 JOUR v/h	1390.91	151.99	324.71	31.65		
N1 +N2 NUIT v/h	205.53	24.72	52.81	4.04		
N1 JOUR v/h	1279.64	136.79	292.24	28.48		
N2 JOUR v/h	111.27	15.20	32.47	3.16		
N1 NUIT v/h	195.25	23.48	50.17	3.83		
N2 NUIT v/h	10.28	1.24	2.64	0.20		
vitesse moy. km/h	100	70	45	60		
<ul style="list-style-type: none"> • Répartition du trafic par types de route selon CdE 255 annexe A10.1 p. 382 ainsi que p. 236. • Volumes de trafic en véhicules-kilomètres selon statistique suisse des transports 1995 p. 68,69,74 . • Dans les volumes de trafic des catégories "total" sont également compris les types de véhicules non mentionnés • Longueurs du réseau selon CdE 255, p. 236, avec hypothèse longueur totale du réseau routier suisse = 80000 km. • La longueur des routes communales, env. 59000 km en 1995, se calcule à partir de la statistique T11.2.1.1.1 de l'Annuaire statistique 2001 de la Suisse où l'on augmente et arrondit l'indication de longueur pour 1995 de la croissance sur 10 ans entre 1975 et 1985 • TJM moyen (trafic journalier moyen) à partir du total des vkm cat 1+2, divisé par la longueur du réseau et 365 jours • N1 N2 déterminés selon CdE 15 p.3/4, ce qui aboutit à un écart par rapport aux totaux cat 1 et cat 2 par type de route. Vitesses: valeurs moyennes très approximatives tirées de CdE 255 p.242. 						

Le tableau 3 présente les prestations kilométriques enregistrées statistiquement par catégories de véhicules (46,60 milliards de véhicules-kilomètres pour la catégorie 1, 3,87 milliards de véhicules-kilomètres pour la catégorie 2) réparties entre les 4 types de routes, ce qui est possible par l'application des quotes-parts indiquées dans (OFEFP 1995). Etant donné que l'on peut aussi déterminer la longueur de chacun des types de routes, on obtient les TJM (trafic journalier moyen par 24 heures) en divisant les prestations kilométriques annuelles par la longueur des routes et par le

nombre de jours de l'année. Comme on s'y attendait, ces TJM ont des valeurs élevées pour les autoroutes / semi-autoroutes et faibles pour les routes secondaires. En appliquant les facteurs indiqués dans (OFEFP 1991), on peut en outre déterminer les fréquences horaires des véhicules N1 et N2 pour le JOUR et la NUIT. Ceux-ci sont également très élevés pour les autoroutes le JOUR et très faibles pour les routes secondaires durant la NUIT. Il s'agit en l'occurrence de moyennes par type de route; les fréquences enregistrées par les stations automatiques de comptage (OFROU 1998) montrent que les valeurs des TJM varient considérablement pour un même type de route. Il serait avantageux pour les calculs suivants de disposer d'une distribution du trafic total non pas par types de routes, mais par intervalle de fréquences.

3.2.3 Détermination du DeltaLeq pour le trafic supplémentaire par type de route

Il s'agit maintenant de déterminer le DeltaLeq du niveau acoustique moyen sur une année sur le réseau routier suisse, qui résulte d'un trafic supplémentaire de 1000 véhicules-kilomètres (voitures ou poids lourds) sur des itinéraires inconnus. Comme on l'a déjà vu, on pose comme hypothèse que ce trafic supplémentaire est théoriquement réparti dans les mêmes proportions sur le réseau routier que le volume total effectif du trafic en v/h d'une année de référence appropriée (ici, on applique les chiffres de 1995). Si l'on veut calculer de cette façon le DeltaLeq pour les quatre réseaux partiels (autoroute/semi-autoroute, routes principales à l'extérieur des localités, routes principales à l'intérieur des localités, routes secondaires) du réseau routier suisse, il faut modifier légèrement le mode de calcul des exemples du tableau 2. En effet, il ne s'agit plus maintenant de déterminer l'ampleur de l'élévation du niveau acoustique DeltaLeq pour un trajet supplémentaire à chaque heure du JOUR ou de la NUIT de l'année sur chacun des tronçons des 4 réseaux partiels. Sur chaque réseau partiel, le trafic supplémentaire doit plutôt être proportionnel au volume actuel du trafic sur le réseau considéré. Cela signifie que l'on divise théoriquement le véhicule supplémentaire en train d'accomplir son trajet en fractions de véhicule circulant sur tous les tronçons des quatre réseaux partiels, cette fraction de véhicule étant très petite sur les tronçons de routes à faible trafic et relativement grande sur les tronçons très fréquentés. Certes, les véhicules fractionnés n'ont physiquement aucun sens; mais mathématiquement, on peut très bien opérer avec eux parce que les équations utilisées dans les tableaux 1 et 2 ne présupposent pas que les N1 et N2 soient des nombres entiers. Le tableau 4 illustre les calculs effectués pour déterminer les élévations du niveau acoustique DeltaLeq sur les réseaux partiels et sur le réseau dans son ensemble.

Tableau 4:

Calcul de l'élévation du niveau acoustique DeltaLeq pour des réseau partiels et l'ensemble du réseau

Calculs de l'élévation du niveau acoustique dû au trafic supplémentaire distribué sur l'ensemble du réseau								
noise-tra.xls (deltaleq-new)	Autoroute/ semi- autoroute	Route princ. hors localités	Route princ. dans localités	Routes second- aires	Autoroute/ semi- autoroute	Route princ. hors localités	Route princ. dans localités	Routes second- aires
DONNEES INITIALES	DE JOUR	DE JOUR	DE JOUR	DE JOUR	DE NUIT	DE NUIT	DE NUIT	NACHT
à partir de noiseZähl.xls(3)								
Longueur du réseau	1876	15367	3790	58967	1876	15367	3790	58967
N1 [PW/h]	1279.64	136.79	292.24	28.48	195.25	23.48	50.17	3.83
N2 [LKW/h]	111.27	15.20	32.47	3.16	10.28	1.24	2.64	0.20
v vitesse moyenne [km/h]	100	70	45	60	100	70	45	60
i déclivité de la route %	0	0	0	0	0	0	0	0
A type de revêtement	0	0	0	0	0	0	0	0
K1 facteur de correction	0	0	0	0	0	0	0	0
VALEURS INTERMEDIAIRES								
E'1	51.8000	48.7794	45.0376	47.4739	51.8000	48.7794	45.0376	47.4739
E"1	43.4000	43.4000	43.4000	43.4000	43.4000	43.4000	43.4000	43.4000
E1	51.8000	48.7794	45.0376	47.4739	51.8000	48.7794	45.0376	47.4739
E'2	60.6000	58.5398	55.9877	57.6494	60.6000	58.5398	55.9877	57.6494
E"2	55.1000	55.1000	55.1000	55.1000	55.1000	55.1000	55.1000	55.1000
E2	60.6000	58.5398	55.9877	57.6494	60.6000	58.5398	55.9877	57.6494
LE1	82.8709	70.1400	69.6950	62.0193	74.7059	62.4864	62.0421	53.3059
LE2	81.0638	70.3582	71.1025	62.6463	70.7199	59.4740	60.2038	50.6597
RESULTATS en dB(A)								
Leq	85.0710	73.2608	73.4659	65.3544	76.1653	64.2466	64.2298	55.1916
LE1 if N1 +0.01car	82.8709	70.1403	69.6952	62.0209	74.7061	62.4882	62.0430	53.3173
LE2 if N2 +0.01 truck	81.0642	70.3611	71.1039	62.6600	70.7242	59.5089	60.2202	50.8716
Leq if N1 +0.01car	85.0710	73.2609	73.4659	65.3551	76.1655	64.2478	64.2303	55.1990
Leq if N2 +0.01 truck	85.0711	73.2622	73.4666	65.3618	76.1665	64.2583	64.2363	55.2674
DeltaLeq N1 +0.01car	0.000020	0.000155	0.000062	0.000707	0.000159	0.001233	0.000523	0.007339
DeltaLeq N2 +0.01 truck	0.000155	0.001464	0.000776	0.007361	0.001206	0.011655	0.006505	0.075817
Si le trafic supplémentaire est proportionnel au trafic actuel:								
Augmentation de N1 [nombre de véhicules]:	0.737	0.079	0.168	0.016	0.716	0.086	0.184	0.014
DeltaLeq correspondant provoqué par [véh.-km]	0.001506	0.001219	0.001049	0.001160	0.011379	0.010616	0.009622	0.010307
DeltaLeq moyen provoqué par au total [véh.-km]	8070421	7066738	3723526	5645788	3921695	3863110	2035791	2418008
DeltaLeq par 1000 VT-km	0.001234				0.010481			
	24506472				12238605			
	5.03E-08				8.56E-07			
Augmentation de N2 [nombre de véhicules]	0.69	0.09	0.20	0.02	0.72	0.09	0.18	0.01
DeltaLeq correspondant provoqué par [véh.-km]	0.010648	0.013730	0.015546	0.014349	0.086304	0.100644	0.119592	0.105595
DeltaLeq moyen provoqué par au total [véh.-km]	7520397	8415163	4433547	6713144	3921519	3874710	2034565	2398101
DeltaLeq par 1000 VT-km	0.013568				0.103034			
	27082250				12228895			
	5.01E-07				8.43E-06			

Dans sa partie supérieure, le tableau 4 présente des calculs du même genre que ceux du tableau 2. La seule différence est qu'ici, on ne considère plus des tronçons routiers isolés, mais des réseaux partiels entiers, et l'on a repris les volumes horaires de trafic durant le JOUR et la NUIT du tableau 3. Par ailleurs, on calcule les élévations du niveau acoustique DeltaLeq non pas pour le cas de 1,0 véhicule supplémentaire à chaque heure du JOUR ou de la NUIT pendant toute l'année, mais pour 0,01 véhicule. Cela s'explique par le fait que, dans le tableau 4, le calcul se fait parfois avec de très faibles fréquences horaires de véhicules comparativement aux cas du tableau 2. Seulement, on constate que la valeur de DeltaLeq augmente de manière quasi-linéaire dans l'intervalle entre N1 et N1 +1 VT/h ou entre N2 et N2 +1 PL/h, aussi longtemps que N1 et N2 sont supérieurs à 1 véhicule/heure. En revanche, lorsque N1 ou N2 est plus petit ou égal à 1 véhicule par heure, on quitte le domaine de la quasi-linéarité. Cela signifie que l'on obtiendra des valeurs un peu trop petites pour le DeltaLeq si l'on effectue le calcul avec des pas de +1 véhicule/heure, ce qui est particulièrement vrai pour les PL circulant pendant la NUIT sur des routes secondaires. C'est donc pour éliminer cette erreur que l'on a calculé les élévations du niveau acoustique sur la base d'une augmentation de fréquence de 0,01 véhicule/heure dans le tableau 4. On peut montrer que ce mode opératoire permet néanmoins de préserver l'exigence selon laquelle en présence de faibles variations autour d'une fréquence donnée de véhicules, les DeltaLeq devraient se comporter de manière linéaire par rapport à la variation de la fréquence des véhicules.

Les élévations du niveau acoustique DeltaLeq dans la partie médiane du tableau 4 montrent la même image que dans le tableau 2: elles sont faibles sur les routes très fréquentées et aux heures de pointe et grandes sur les routes secondaires et aux heures creuses; l'écart est d'environ deux ordres de grandeur.

Dans la partie inférieure du tableau 4, on a calculé les élévations du niveau acoustique sur les réseaux partiels lorsque circule non pas 0,01 véhicule supplémentaire par heure sur l'ensemble du réseau considéré, mais une fraction de véhicule proportionnelle au trafic actuel effectif. Cette fraction de véhicule est indiquée à la ligne «Augmentation de N1 (resp. N2)», distinction étant faite entre le JOUR et la NUIT ainsi qu'entre les VT et les PL. Le «DeltaLeq correspondant» indiqué à la ligne suivante représente l'élévation du niveau acoustique produite par cette fraction de trafic supplémentaire; il est le produit de la multiplication du DeltaLeq pour +0,01 véhicule indiqué dans la partie médiane du tableau 4 par la valeur correspondante de la fraction de véhicule. La multiplication n'est rien d'autre qu'une interpolation linéaire du DeltaLeq local autour des fréquences N1 et N2: celle-ci est admissible du fait des hypothèses formulées plus haut.

Seulement, à première vue, il est extrêmement étonnant que le «DeltaLeq correspondant» ne présente, dans chacun des groupes de cas considérés – à savoir VT/JOUR, VT/NUIT, PL/JOUR, PL/NUIT – que des variations vraiment insignifiantes autour des moyennes respectives. (Il suffit de comparer ces fluctuations avec le «DeltaLeq N1+0,01car» et le «DeltaLeq N2+0,01truck» de la partie médiane du tableau 4, beaucoup plus variables!). Certes, ce n'est pas un hasard si les «DeltaLeq

correspondant» sont à peu près identiques à l'intérieur d'un groupe de cas lorsqu'on fait abstraction de l'incidence des différentes vitesses de déplacement. De fait, en faisant varier N1 et N2 dans la feuille de calcul, on peut constater que, à vitesses v identiques, les valeurs de «DeltaLeq N1 +0,01car» et de «DeltaLeq N2 +0,01truck» sont presque inversement proportionnelle à N1 et à N2. Dans ces conditions, il est clair que les «DeltaLeq correspondant» doivent être à peu près identiques dans chaque groupe de cas puisqu'ils sont le produit d'une valeur proportionnelle à N et d'une variable proportionnelle à 1/N.

Cette loi peut être justifiée mathématiquement si l'on considère que la fonction DeltaLeq est la dérivée première par N de la fonction Leq. Si pour simplifier, on ne tient pas compte des interactions complexes entre les niveaux acoustiques partiels des VT et des PL, on obtient alors, selon le tableau 1

$$\text{DeltaLeq } N1+1 \text{ car} \approx (\text{LE1})' = (E1 + 10 \cdot \log(N1))' = 10 \cdot 1/[N1 \cdot \ln(10)]$$

où (..) ' est la dérivée première par la variable N1 et ln le logarithme naturel. Mais si, maintenant, «DeltaLeq N1+0,01car» est proportionnel à 1/N1 et que cette élévation du niveau acoustique est multipliée, comme ci-dessus, par un trafic supplémentaire proportionnel à N1, le résultat doit alors être indépendant de N1.

Les écarts dans les valeurs des «DeltaLeq correspondant» pour chaque groupe de cas, résultent cependant des vitesses différentes v des véhicules et des déclivités i inégales des routes. On peut néanmoins montrer, en faisant varier ces valeurs dans la feuille de calcul du tableau 4, que l'image globale des «DeltaLeq correspondant» restant identiques à l'intérieur des groupes de cas varie dans des limites étroites d'environ $\pm 20\%$, aussi longtemps que les vitesses moyennes v varient dans le domaine significatif situé entre 45 et 100 km/h, et aussi longtemps que les déclivités se situent entre 0 et 5%.

Le fait que les «DeltaLeq correspondant» soient à peu près identiques dans les groupes de cas VT/JOUR, VT/NUIT, PL/JOUR et PL/NUIT est un résultat somme toute très élégant. En effet, cela signifie que la population riveraine des différents types de routes est exposée à une élévation à peu près identique du niveau acoustique pour autant que le trafic supplémentaire puisse être admis sur tous les tronçons routiers comme étant proportionnel au trafic total actuel. Le DeltaLeq moyen calculé à partir des 4 «DeltaLeq correspondant» d'un groupe de cas est donc considéré comme le niveau acoustique supplémentaire approximatif pour toute la population du pays, et l'on n'a pas à se soucier de savoir quelles parties de la population résident à proximité de routes à fort ou à moins fort trafic.

Dans ces conditions, il est relativement simple de déterminer un DeltaLeq moyen valable sur l'ensemble du réseau routier pour les 4 groupes de cas VT/JOUR, VT/NUIT, PL/JOUR et PL/NUIT. A cet effet, on a déterminé dans le tableau 4, aux quatrième et dixième lignes avant la fin, les véhicules-kilomètres nécessaires pour atteindre, sur toute la longueur d'un réseau partiel, l'augmentation de la fréquence

horaire des véhicules appliquée aux deux lignes qui précèdent. Cette valeur exprimée en vkm/a est le produit du facteur de fraction, de la longueur du réseau partiel et du nombre d'heures de JOUR ou de NUIT d'une année. Si l'on divise la valeur moyenne du «DeltaLeq correspondant» par le total des vkm, on obtient, pour chacun des 4 groupes de cas, le DeltaLeq moyen recherché par 1000 vkm. Cette élévation moyenne du niveau acoustique est celle à laquelle l'ensemble de la population résidente est exposée dans la zone du réseau routier total considéré, c'est-à-dire, dans le cas présent, l'ensemble de la population de la Suisse.

On pourrait répliquer ici que les habitants de la Suisse ne résident pas tous le long d'une route, mais dans des bâtiments situés à des distances variables de l'axe des routes. Il s'ensuit que le niveau acoustique contre les façades extérieures des bâtiments s'atténue lorsque la distance à la route augmente et que des obstacles s'érigent entre les deux. Seulement, on sait que toutes les déductions propres à atténuer le niveau sonore selon (OFEFP 1991, p. 12ss) dépendent uniquement de paramètres géométriques et non pas de la valeur du niveau acoustique de la source de bruit. Cela signifie que la hauteur de DeltaLeq ne subira aucune réduction si une personne exposée au bruit augmente sa distance à l'axe de la route. Par conséquent, les DeltaLeq calculés valent pour tous les habitants de la Suisse, et pas seulement pour ceux qui vivent à proximité de l'axe d'une route. (Indépendamment de cela, une augmentation donnée du niveau acoustique DeltaLeq aura bien sûr des effets différents suivant la hauteur du niveau sonore de fond au point d'immission. Le chapitre consacré à l'analyse des effets prendra cependant en compte ce phénomène).

3.2.4 Résultat de l'analyse de propagation: DeltaLeq par type de véhicule

Le tableau 4 montre que les quantités horaires de véhicules N1+N2 se situent parfois dans un domaine qui ne correspond pas à la condition aux limites $N1+N2 > 100$ véhicules/h fixée au tableau 1. En fait, dans le tableau 4, les fréquences horaires peuvent être nettement inférieures à 100 véhicules/h pendant les heures de nuit et sur les routes secondaires. Dans ce cas, la méthode de calcul selon (OFEFP 1991) prévoit que le niveau acoustique calculé doit être réduit d'un facteur de correction K1 égal à -5 dB lorsque le nombre de véhicules/h est inférieur à 31,6 et à $10 \cdot \log((N1+N2)/100)$ lorsque ce nombre est situé entre 31,6 et 100 véhicules/h. Par conséquent, la question suivante se pose: les calculs effectués avec $K1=0$ dans le tableau 4 nécessitent-ils des compléments?

La réponse est non. En effet, la correction de niveau K1 *ne* provoque pas d'adaptation sur le plan du niveau d'émission LAeq, mais constitue la transition entre le niveau d'émission LAeq et le niveau d'évaluation Lr (OFEFP 1991, p.11/12; ici, LAeq est appelé L_E). Tandis que le niveau d'émission est une grandeur physique, mesurable au moyen d'un instrument acoustique, le niveau d'évaluation, lui, est un paramètre qui «mesure» l'effet du son; il tient compte du fait qu'un niveau acoustique, par exemple, de 50 dB(A) a pour l'être humain, comme le montre l'expérience, des effets nuisibles qui divergent suivant la nature du son (OFEFP

2002, p.90). La correction de niveau K1 doit être appliquée lorsqu'on veut vérifier si un niveau acoustique mesuré ou calculé dépasse ou non une valeur limite d'exposition, puisque les valeurs limites d'exposition sont fixées en relation avec les niveaux d'évaluation Lr (OFEFP 2002, p.35). En revanche, dans cette étude, la production des sons et les effets nuisibles sont des domaines clairement distincts l'un de l'autre: au chapitre 3, l'analyse de propagation détermine l'élévation théorique du niveau acoustique DeltaLeq à partir du trafic routier supplémentaire, autrement dit du niveau d'émission en principe mesurable avec un instrument. La question de l'effet nuisible d'un niveau acoustique d'une intensité donnée est traitée au chapitre 4 de notre étude. L'application de valeurs K1 différentes de zéro ici déjà, au chapitre 3, reviendrait donc à tenir compte doublement de l'effet du bruit en fonction de sa nature.

Le résultat de l'analyse de propagation pour un itinéraire de transport inconnu ressort donc directement du tableau 4 et est récapitulé ci-après au tableau 5, les valeurs ayant été arrondies à deux chiffres significatifs étant donné qu'il s'agit d'une estimation sommaire (le lecteur trouvera au chapitre 5.5 des considérations plus poussées à propos de l'incertitude affectant les chiffres calculés):

Tableau 5: Elévation théorique du niveau acoustique moyen sur une année, sur l'ensemble du réseau routier de la Suisse pour un trajet supplémentaire de 1000 km sur un tronçon inconnu.

Prestation supplémentaire de transport	Elévation du niveau acoustique DeltaLeq en Micro-dB(A)
1000 km véhicules cat. 1 (VT, voitures de livraison, motocycles légers) DE JOUR	0,050
1000 km véhicules cat. 1 (VT, etc.) DE NUIT	0,86
1000 km véhicules cat. 2 (PL, autobus, tracteurs, motocycles lourds) DE JOUR	0,50
1000 km véhicules cat. 2 (PL, etc.) DE NUIT	8,4

Les valeurs figurant dans le tableau 5 sont nettement inférieures aux valeurs correspondantes de (MÜLLER-WENK 1999, p.35). La différence est due, d'une part, à l'affinement de la méthode et, d'autre part, au fait que (MÜLLER-WENK 1999) considérait, pour le calcul de la moyenne sur les réseaux partiels, des chiffres de population trop élevés.

Les valeurs du tableau 5 se rapportent à des véhicules qui, du fait de leur équipement technique et de leur mode de conduite, génèrent des émissions sonores moyennes par rapport à l'ensemble des véhicules de leur catégorie (état fondé sur les données disponibles au moment de la rédaction du rapport (OFEFP 1991)). Si les véhicules intervenant dans un processus de transport à analyser dans l'optique des émissions sonores produites s'écartent sensiblement de ces moyennes théoriques, on pourrait adapter les valeurs de ce tableau 5.

3.2.5 Analyse de l'exposition: la population suisse exposée au bruit de la route

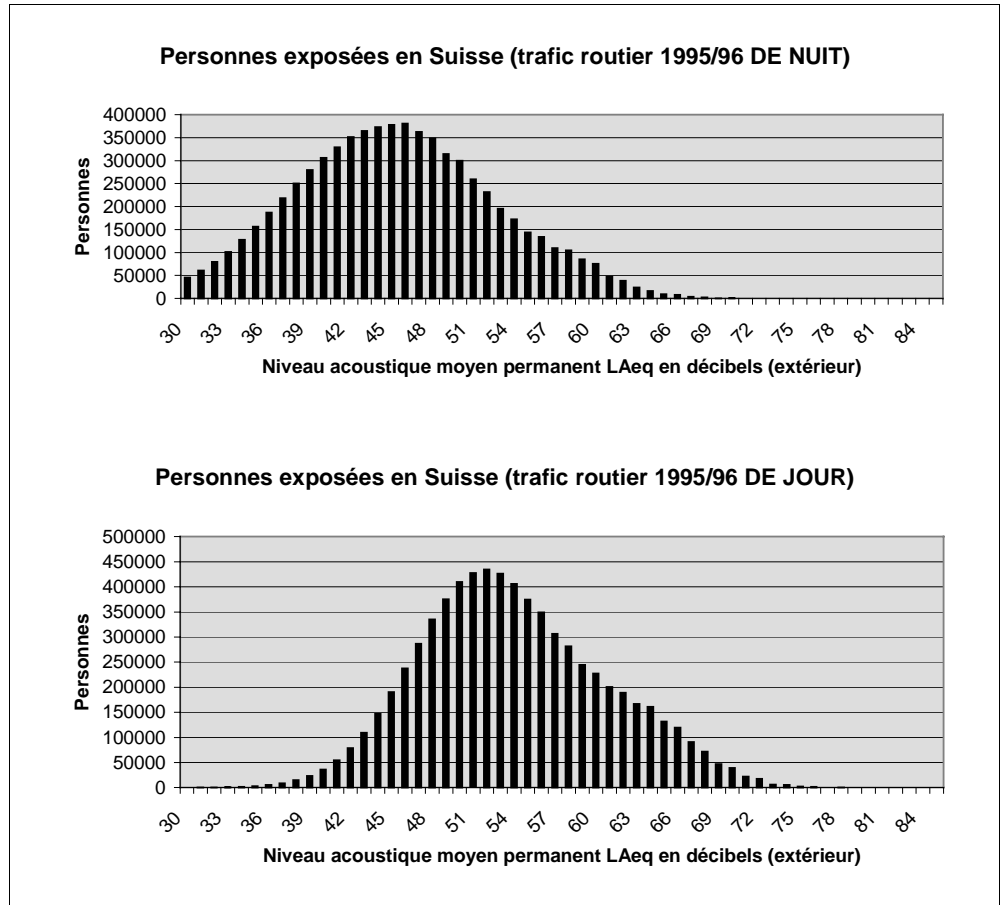
L'exposition au bruit a des effets sur l'état de santé d'une personne. L'effet d'une élévation donnée du niveau acoustique DeltaLeq moyen sur un an dépend néanmoins de la valeur du niveau acoustique régnant déjà antérieurement. Ces effets sont traités aux chapitres 4 et 5. Mais on peut d'ores et déjà dire à cet endroit qu'une élévation du niveau acoustique n'a pas de conséquences notables sur le bien-être humain lorsque le niveau acoustique résultant LAeq dépasse 50 dB DE JOUR et 45 dB DE NUIT contre les façades extérieures d'un bâtiment (OMS 2000, chapitre 4.3.1). Si donc un trajet effectué DE JOUR par un camion n'occasionnait son élévation théorique du niveau acoustique DeltaLeq que pour un réseau routier dont le LAeq DE JOUR est partout inférieur à 50 dB, ce trajet demeurerait sans conséquences notables pour le bien-être humain.

Pour pouvoir déterminer l'effet du DeltaLeq sur la santé humaine, il serait nécessaire en préambule, de réunir les données se rapportant à la distribution actuelle des fréquences de la population dans les différentes plages de niveaux acoustiques («exposition de base»). Comme on l'a vu au chapitre 3.1, pour le réseau routier suisse, cette distribution de fréquences peut être déterminée en principe par la combinaison de cadastres du bruit de la route et de données puisées dans les plans de zone. Mais comme il s'agit là d'un travail considérable pour un calcul à l'échelon du pays, on ne dispose pas de ces résultats actuellement.

Certes, il existe des données concernant la répartition relative en pour-cent de la population suisse en fonction des niveaux acoustiques de base dus au bruit de la route (OFEFP 1997, p. 129/130), mais ces données sont relativement anciennes (1985), et leur détermination ne correspond pas tout à fait aux idées actuelles. Dans notre étude, nous avons pu obtenir un résultat plus fiable de l'analyse d'exposition par une autre voie. En ce qui concerne le territoire du canton de Zurich (sans la ville de Zurich et Winterthur), les données du cadastre du bruit de la route et les superficies urbanisées existent sous une forme qui permet de calculer par ordinateur la distribution recherchée. Les résultats ont été publiés sous la forme d'un cadastre général du bruit (en allemand Lärm-Uebersichts-Kataster, LUK) pour les 125'000 bâtiments à usage sensible au bruit (habitation et travail) de l'ensemble de la région étudiée (JB Zurich 2001, p. 66). Etant donné que 10,5% de la population suisse réside dans cette région, il a semblé plausible de déterminer, dans le cadre du LUK, les répartitions des niveaux acoustiques DE JOUR et DE NUIT pour les 298'000 logements abritant 744'000 personnes, et d'extrapoler les résultats à l'ensemble de la Suisse. Les répartitions correspondantes de la population suisse dans les différents domaines de niveaux acoustiques ont été publiés dans (MÜLLER-WENK 1999, p. 40/41). Le tableau 6 présente graphiquement la répartition de la population suisse dans les différents domaines de niveaux acoustiques permanents dus au bruit de la route:

Tableau 6:

Personnes exposées au bruit de la route en Suisse, extrapolation à partir des données du LUK Zurich (MÜLLER-WENK 1999). Ici, les niveaux acoustiques s'entendent toujours sur les façades extérieures des bâtiments.



Le résultat de l'analyse de propagation et d'exposition est le suivant: du fait des faibles élévations du niveau acoustique DeltaLeq dues au trafic supplémentaire selon le tableau 5, l'exposition de l'ensemble de la population se trouve légèrement déplacée vers la droite par rapport au niveau acoustique de base du tableau 6. Il résulte de chaque «colonne de décibels» un «trop-plein» débordant sur la plus proche colonne de décibels vers le haut. Comme on peut admettre que la population est répartie régulièrement à l'intérieur d'une colonne de décibels, le «trop-plein» passant d'une colonne à la prochaine déclenché par 1 micro-dB équivaut à un millionième du nombre de personnes contenues dans cette colonne selon le tableau 6.

Répetons ici que les niveaux acoustiques de base susmentionnés se rapportent aux façades extérieures des bâtiments. A l'intérieur de ceux-ci, les niveaux acoustiques sont d'environ 30 dB plus faibles lorsque les fenêtres sont fermées (UBA 2000, p. 15); cette atténuation est néanmoins très liée au mode de construction des bâtiments. Lorsque les fenêtres sont ouvertes, mais qu'elles n'occupent pas plus de 10% de la surface de la façade extérieure, la réduction du niveau acoustique de l'extérieur vers l'intérieur oscille aux alentours de 10 dB au maximum (OMS 2000, chapitre 2.6).

4 Analyse des effets

Quelles sont les conséquences pour la santé humaine, c'est-à-dire pour le bien-être physique et psychique, lorsque le niveau acoustique dû au trafic routier et perçu comme un bruit atteint une valeur donnée ou augmente d'une très faible valeur par rapport à celle-ci?

4.1 Aperçu des effets du bruit sur la santé humaine

L'état actuel des connaissances sur les atteintes à la santé dues au bruit est présenté dans (OMS 2000, chapitre 3). On peut le résumer de la manière suivante:

- Des lésions des organes de l'audition sont improbables aussi longtemps que le niveau acoustique permanent pendant 24 heures ne dépasse pas 70 dB près de l'oreille de la personne exposée. Bien que le tableau 6 affiche des niveaux supérieurs (à l'extérieur), le bruit du trafic routier n'engendre quasiment pas de lésions auditives parce que personne ne séjourne dehors 24 heures par jour et que, par conséquent, les organes auditifs seront de temps à autre protégés du fait de l'atténuation acoustique générée par l'enveloppe des bâtiments.
- Les troubles de la communication (pendant une conversation ou lorsqu'on écoute de la musique; on peut aussi les comparer aux dérangements causés pendant des travaux intellectuellement exigeants) peuvent se produire à partir de niveaux acoustiques de 35 dB. Selon le tableau 6, ce niveau est dépassé dans une large mesure pendant la journée (06.00–22.00 heures) dans les locaux dont les fenêtres sont fermées (atténuation moyenne admise entre la face extérieure et la face intérieure du bâtiment: 30 dB).
- Les perturbations du sommeil sont fortement influencées par le niveau acoustique maximal d'événements isolés. Cependant, dans la mesure où la situation du bruit est exprimée par le niveau acoustique permanent moyen LAeq, des perturbations du sommeil sont possibles au-dessus de 30 dB dans une chambre à coucher. Les données du tableau 6 montrent que, du fait du bruit du trafic routier, cette limite est généralement dépassée lorsque les fenêtres sont ouvertes (atténuation théorique 10 dB), mais moins fréquemment lorsque les fenêtres sont fermées (atténuation théorique 30 dB).
- Des effets cardio-vasculaires et physiologiques peuvent être une conséquence d'une exposition prolongée au bruit, pour autant, semble-t-il que le niveau acoustique permanent moyen pendant 24 heures par jour soit supérieur à un seuil de 65–70 dB (à l'extérieur du bâtiment). Selon le tableau 6, ces valeurs sont parfois dépassées par le bruit du trafic routier. Cependant, force est de constater que ce rapport entre le bruit et les maladies cardiaques n'est pas encore démontré avec certitude à ce jour.
- Des troubles psychiques de diverses natures peuvent apparaître à la suite d'une exposition importante au bruit. Néanmoins, on ne cite pas de seuils pour ces effets, et le lien entre le bruit et les effets n'est pas encore démontré avec certitude à ce jour.
- La gêne (annoyance) est considérée séparément des effets sur la santé indiqués ci-dessus; la frontière est cependant floue. La gêne produite par le bruit se traduit par des réactions telles que l'agressivité, la dépression ou l'irritation. Le rapport entre le niveau de bruit et le degré de gêne ressentie est défini de manière caractéristique au moyen de sondages représentatifs (social surveys), c'est-à-dire par

l'enregistrement de l'appréciation propre des personnes dérangées. Sur la base d'un grand nombre de telles études, on a déterminé des courbes dose-effets décrivant la relation entre le niveau de bruit et un degré élevé de gêne (% of highly annoyed persons in a population). Ces courbes révèlent une augmentation notable de la proportion des «personnes fortement perturbées», dès que le LAeq JOUR et le LAeq NUIT augmenté de 10 dB dépassent la valeur de 42 dB (MIEDEMA 1998). Le tableau 6 montre que cette condition est remplie pour le bruit du trafic routier.

Dans le cadre de cette étude, nous avons traité plus en détail deux cas inscrits dans la liste des troubles de la santé de l'OMS, à savoir les «perturbations du sommeil» et les «troubles de la communication». Les autres cas ont été abandonnés pour le moment du fait qu'ils ne sont quasiment pas significatifs du bruit du trafic routier (lésions des organes de l'audition) ou parce que leurs liens de cause à effet avec le bruit ne semblent pas avoir été suffisamment étudiés à ce jour (effets cardio-vasculaires et troubles psychiques). Cela dit, cette étude a entrepris, à propos des effets cardio-vasculaires, de faire une estimation de l'étendue des cas d'infarctus imputables au bruit du trafic routier en Suisse (voir chapitre 4.5). La gêne (annoyance) due au bruit n'est pas traitée ici comme une atteinte spécifique à la santé car, du point de vue du médecin, l'effet d'une forte gêne («highly annoyed») présenté dans les courbes usuelles dose-effets n'est pas une pathologie qui pourrait être évaluée par sa gravité, c'est-à-dire comparativement à des pathologies usuelles (voir chapitre 5 de la présente étude).

Le fait de se concentrer sur les perturbations du sommeil et les troubles de la communication équivaut à observer une certaine retenue dans l'évaluation de l'ensemble des nuisances infligées à la santé humaine par le bruit du trafic routier.

D'un autre côté, il nous faut revenir ici sur la remarque souvent entendue selon laquelle les perturbations du sommeil et les troubles de la communication ne seraient pas de «véritables» troubles de la santé comme le sont, par exemple, l'asthme, le diabète ou le daltonisme (achromatopsie). De toute évidence, ce reproche ne tient pas dans le cas des perturbations du sommeil car il n'y a pas de différences fondamentales entre les dysfonctionnements du sommeil, de la respiration, de la régulation du taux de sucre sanguin et de la vision. Pour ce qui est des troubles de la communication, c'est-à-dire de la perturbation, causée par le bruit, de la compréhension du langage verbal, de l'écoute de musique ou de la perception d'autres signaux acoustiques, on peut, bien sûr, estimer qu'il ne s'agit pas d'une altération de la fonction auditive organique, mais seulement d'une diminution temporaire de son efficacité du fait de la superposition externe d'un signal parasite sur un signal utile. Néanmoins, force est de constater que, pour la personne qui ne peut se soustraire à l'influence du bruit, les conséquences sont les mêmes, qu'elle ne puisse comprendre une conversation à cause d'une lésion médicalement diagnosticable de son appareil auditif ou à cause d'un niveau acoustique trop élevé. Dans ce sens, le trouble de la communication doit être considéré au moins comme équivalent à une lésion de l'appareil auditif, raison pour laquelle, nous traiterons par la suite les troubles de la communication comme un trouble de la santé.

4.2 Les questions que posent l'analyse des effets dans le cas des perturbations du sommeil et des troubles de la communication

Ce qui est recherché, c'est une information quantitative sur l'augmentation des perturbations du sommeil ou des troubles de la communication lorsque les niveaux acoustiques de base dus au trafic routier auxquels la population suisse est exposée augmentent d'un ΔL_{eq} selon le tableau 5 en raison d'une activité supplémentaire de transport par rapport à la situation décrite dans le tableau 6. A priori, on s'attend à une augmentation des effets de deux ordres: d'une part, une élévation du niveau acoustique va engendrer des cas supplémentaires de perturbations du sommeil et de la communication, et d'autre part, elle peut aggraver les symptômes dans les cas déjà recensés; en d'autres termes, il est possible qu'une personne souffrant déjà de perturbations du sommeil dorme encore moins bien. Nous nous en tenons à l'approche usuelle en statistique médico-sociale, qui consiste à ordonner les états d'une nuisance en fixant d'abord les limites supérieure et inférieure des variables d'état, puis en traitant tous les cas de la même façon entre ces deux limites. Cela signifie que, dans l'analyse des effets, nous définissons l'état de la perturbation du sommeil ou de la communication par une délimitation appropriée et que, ensuite, nous ne nous interrogeons plus que sur le nombre de cas de cette perturbation auxquels il faut s'attendre si 1000 personnes sont exposées durablement à un niveau acoustique de 50 dB, 51 dB..... 80 dB.

La réponse à cette question se présente sous la forme d'une relation dose-effet. Celle-ci décrit le nombre de cas de perturbations du sommeil ou de troubles de la communication en fonction de l'accroissement de la dose acoustique, c'est-à-dire du niveau acoustique. Etant donné que, dans ce travail, la relation dose-effet doit relier les résultats de l'analyse de propagation et d'exposition (chapitre 3) à ceux de l'analyse des dommages (chapitre 5), un certain nombre d'adaptations sont indispensables. Cela signifie en particulier que, dans la relation dose-effet, le niveau acoustique est exprimé dans la même unité que dans l'analyse de propagation, à savoir, sous la forme du niveau acoustique permanent L_{Aeq} en moyenne sur une année. Cela signifie encore que les effets doivent être décrits de la même manière qu'ils ont été formulés pour l'analyse des dommages dans le cadre de l'évaluation effectuée par le panel de médecins.

Ces conditions ont pu être remplies par une nouvelle évaluation des données de l'étude du bruit effectuée en Suisse et intitulée «Lärmstudie 90» (OLIVA 1998). Pour des raisons de représentativité, il aurait cependant été souhaitable de pouvoir utiliser la relation dose-effet de (MIEDEMA 1998), qui est la synthèse des résultats de 26 études isolées. Mais cela n'a pas été possible parce que MIEDEMA n'exprime les effets du bruit que sous la forme de «percentage of highly annoyed persons», forme qui ne convient pas comme donnée initiale pour l'analyse médicale des dommages. Cela dit, on a pu vérifier que les résultats de l'étude «Lärmstudie 90» se situent à peu près dans le cadre des 26 études considérées par (MIEDEMA 1998), tout au moins en ce qui concerne le paramètre clé que constitue le «percentage of highly annoyed persons».

4.3 Dépouillement des données de l'étude suisse «Lärmstudie 90»

En 1991, quelque 2000 personnes des régions zurichoïse et genevoise ont été interrogées sur leur exposition à des facteurs environnementaux à leur domicile, sur la base d'un questionnaire écrit. Ce dernier était structuré de telle sorte que les personnes interrogées ne puissent se rendre compte qu'il s'agissait en réalité d'une étude sur les effets du bruit. Les personnes ont été choisies de manière à ce qu'on obtienne une représentation équitable des classes d'âge et des sexes et de toutes les combinaisons possibles d'exposition – élevée/moyenne/ faible – des logements au bruit de la route et de l'aviation. Les résultats de cette étude ont été publiés dans (OLIVA 1998). Celle-ci présente un résultat fort intéressant dans le contexte qui nous intéresse ici (OLIVA 1998, p.122): «Les personnes interrogées perçoivent le bruit du trafic routier et le bruit du trafic aérien comme des éléments complètement indépendants l'un de l'autre». Cela signifie que les niveaux acoustiques rapportés au trafic routier et les réponses données quant aux effets ressentis du trafic routier peuvent constituer la base d'une relation dose-effet du bruit du trafic routier, sans que les niveaux acoustiques différents du trafic aérien n'interfèrent sur elle.

Dans le cadre du présent travail, on a procédé en 2000 à un nouveau dépouillement des données informatisées extraites des 2052 questionnaires ainsi que des mesures correspondantes du LAeq JOUR dû au trafic routier (voir OLIVA 1998, p.33/34). Dans cette nouvelle évaluation, on a mis en évidence la relation entre le LAeq JOUR calculé/mesuré contre la façade des bâtiments et les réponses aux questions suivantes du questionnaire:

Tableau 7:
Questions centrales portant sur l'effet du bruit de la route selon le questionnaire de la «Lärmstudie 90»

Question 22a:

Indiquez-moi, s'il vous plaît, avec quelle fréquence (au moins une fois par jour / une fois tous les quelques jours / une fois toutes les quelques semaines / pas du tout) il arrive que le bruit de la route

FR22A_2 vous perturbe pendant votre sommeil ou au moment de vous endormir?

FR22A_3 vous dérange alors que vous écoutez la radio, de la musique ou que vous regardez la télévision?

FR22A_5 vous dérange pendant une conversation ou au téléphone?

FR22A_6 vous distraie de votre travail à la maison (lecture, réflexion, concentration)?

FR22A_7 trouble la tranquillité de vos soirées et vous empêche de vous détendre (dans votre logement)?

FR22A_8 vous procure des maux de tête?

FR22A_9 vous rend nerveux/se et irritable?

Question 20e:

Admettons qu'il existe un thermomètre au moyen duquel on pourrait mesurer l'ampleur du dérangement que cause le bruit dans votre logement. Le chiffre 10 signifie que le bruit vous est insupportable; le chiffre 0 signifie que le bruit ne vous dérange quasiment pas ou pas du tout. Veuillez, à l'aide de l'échelle de 0 à 10 de ce thermomètre, préciser FR20E_2 dans quelle mesure le bruit de la route vous dérange.

Pour évaluer les données du sondage, on est parti des hypothèses suivantes:

- On peut admettre qu'il y a *perturbation du sommeil* lorsqu'une personne interrogée a répondu par «au moins une fois par jour» ou «une fois tous les quelques jours» à la question FR22A_2. Lorsque le bruit de la route n'est ressenti comme dérangeant que «une fois toutes les quelques semaines» pendant le sommeil ou au moment de s'endormir, on ne peut pas considérer cela comme une véritable perturbation du sommeil.
- On admet qu'il y a *trouble de la communication* dû au bruit de la route lorsqu'une personne interrogée a répondu par «au moins une fois par jour» ou «une fois tous les quelques jours» à *au moins une* des questions FR22A_3, FR22A_5, FR22A_6, FR22A_7, FR22A_8, FR22A_9. Il ne fait aucun doute que les questions FR22A_3 et FR22A_5 ont trait à des troubles de la communication. En revanche, les autres questions FR22A_6 à FR22A_9 ne se rapportent pas à des altérations de la perception auditive d'informations souhaitées consécutivement à des nuisances sonores indésirables en provenance du voisinage; par conséquent, on ne peut pas parler de troubles de la communication au sens strict. Il n'en demeure pas moins qu'il s'agit de perturbations qui ne sauraient être simplement rejetées comme étant insignifiantes, mais présentent un intérêt dans le contexte de l'appréciation globale des effets du bruit sur la santé humaine. C'est pourquoi nous considérons les troubles de la concentration survenant quotidiennement ou une fois tous les quelques jours durant le travail (A_6), les dérangements survenant pendant les moments de détente (A_7), les maux de tête (A_8) et l'irritabilité ou la nervosité (A_9) comme des états de fait qui, dans l'optique de la santé, peuvent être assimilés à des troubles de la communication au sens propre du terme. Cette assimilation est certainement une simplification, mais elle donne une image plus réaliste des troubles de la santé imputables au bruit que si l'on avait tout simplement ignoré les réponses positives à ces quatre questions. Cela dit, l'erreur possible découlant de cette équivalence des perturbations selon A_6 à A_9 avec les véritables troubles de la communication peut être qualifiée de relativement minime: Dans les données contenues dans la «Lärmstudie 90», en effet, le nombre des personnes interrogées ayant déclaré n'être pas soumises fréquemment aux perturbations décrites aux questions A_3 et A_5, mais ayant répondu par l'affirmative à au moins une des questions A_6 à A_9, est faible. Cela est mis en évidence dans les tableaux 8 et 9. Nous considérons donc comme judicieux de traiter les perturbations décrites aux questions A_6 à A_9 comme équivalentes aux troubles de la communication au sens strict du terme (A_3 et A_5).

Tant pour les perturbations du sommeil que pour les troubles de la communication, nous considérons comme nécessairement restrictif pour la réalité d'un dérangement le fait que, outre la *fréquence* élevée de sa survenance (au moins une fois tous les quelques jours), la perturbation doit avoir une *intensité* que la personne interrogée qualifie d'élevée. Cela signifie que la réponse à la question supplémentaire FR20E_2 doit se situer entre 8 et 10 («highly annoyed») sur l'échelle proposée. En d'autres termes, les personnes interrogées doivent avoir ressenti la perturbation comme «insupportable» ou presque insupportable.

Bien que les modes de vie des gens ne soient pas uniformes, on admet ici, pour simplifier, que les activités liées aux troubles de la communication se situent pendant la journée entre 06.00 et 22.00 heures, tandis que le sommeil occupe la nuit, de 22.00 à 06.00 heures. De cette hypothèse découle que les troubles de la communication sont mis en relation avec le niveau acoustique dû au bruit de la route LAeq DE JOUR contre la façade extérieure des bâtiments. Quant aux troubles du sommeil, ils sont reliés au LAeq DE NUIT également contre la façade des bâtiments. Dans le cadre de l'étude «Lärmstudie 90», seul le premier niveau acoustique mentionné a été mesuré ou calculé; selon une prise de position écrite de C. OLIVA et d'après l'expérience générale, on peut admettre que le LAeq DE NUIT correspondant est inférieur de 8 à 10 dB à tous les endroits. Cela correspond aux données du canton de Zurich qui sont à la base des graphiques du tableau 6.

Tableau 8:

Evaluation des données de l'étude «Lärmstudie 90»: nombre de cas de perturbations du sommeil et de la communication. Seuls sont considérées les personnes «fréquemment dérangées», pour lesquelles l'intensité de la perturbation est également qualifiée de «highly annoyed». Les cas sont additionnés par intervalle de niveau acoustique LAeq DE JOUR ou DE NUIT (on admet que le niveau acoustique DE NUIT est 9 dB(A) plus bas que celui DE JOUR). Les niveaux acoustiques indiqués se rapportent aux façades extérieures des bâtiments.

«Personnes fréquemment» dérangées (chaque jour ou tous les quelques jours une fois)				
LAeq pour le trafic routier DE JOUR dB(A)	<55	55–59	60–64	>=65
LAeq correspondants pour le trafic routier DE NUIT dB(A)	<46	46–50	51–55	>=56
Personnes interrogées	957	422	432	241
dont «highly annoyed»	73	98	115	113
% «highly annoyed»	7.6	23.2	26.6	46.9
«Fréquemment» dérangées HighlyAnnoyed DE NUIT	38	54	60	72
% HighlyAnn ET «fréquemment» dérangées DE NUIT (perturb.sommeil)	4.0	12.8	13.9	29.9
«Fréquemment» dérangées HighlyAnnoyed JOUR	42	70	92	102
% HighlyAnn ET «fréquemment» dérangées JOUR (troubles de communication)	4.4	16.6	21.3	42.3
Highly Annoyed «fréquemment» dérangées JOUR à cause de A_3 ou A_5	32	55	78	86
% Highly Ann ET «fréquemment» dérangées JOUR à cause A_3 ou A_5	3.3	13.0	18.1	35.7

Les principaux résultats de la nouvelle évaluation des données de l'étude «Lärmstudie 90» sont récapitulés dans le tableau 8 ci-dessous:

Le tableau 8 indique à la ligne 3 le nombre de personnes interrogées, groupées par groupes de niveaux acoustiques; les niveaux acoustiques DE NUIT n'ont pas été mesurés, mais posés comme étant 9 dB en dessous des niveaux acoustiques DE JOUR. Les lignes 6 à 9 indiquent les nombres de personnes qui ressentent l'exposition au bruit comme particulièrement élevée en ce qui concerne tant la fréquence des perturbations («fréquemment» dérangées) que leur intensité («highly annoyed»). On constate, par exemple, que cela concerne, pendant la nuit, 38 personnes sur 957 exposées à un niveau acoustique <46 dB DE NUIT, soit 4,0%, mais

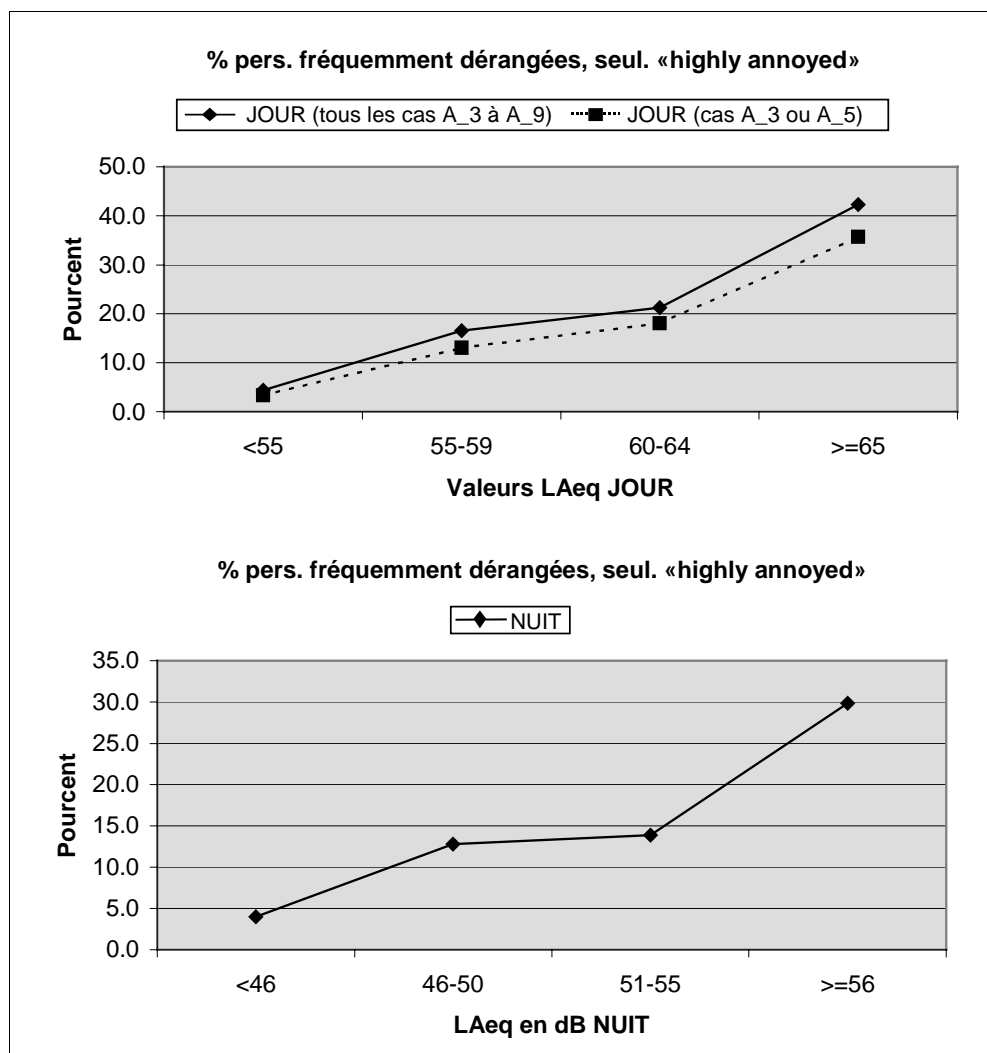
aussi, durant la journée, 42 personnes sur 957 exposées à un niveau acoustique <55 dB DE JOUR, soit 4,4%. Le tableau 8 montre que ces pourcentages augmentent de manière indiscutable lorsque les niveaux acoustiques croissent: alors même que les personnes interrogées ignoraient les valeurs des niveaux acoustiques dus au bruit de la route déterminés contre les façades extérieures de leurs maisons, leurs réactions lors du sondage sont indiscutablement liées à la valeur de ces niveaux acoustiques. Cela est un indice qui montre que les personnes interrogées n'ont pas simplement fait des déclarations aléatoires.

Bien sûr, d'autres facteurs que le bruit de la route peuvent être à l'origine des perturbations intenses et perçues «fréquemment». Mais on peut admettre que l'*accroissement* du pourcentage des personnes fréquemment dérangées avec l'élévation du niveau acoustique est principalement dû à ce niveau acoustique. Cette augmentation du nombre de personnes fréquemment dérangées est plus marquée DE JOUR que DE NUIT; cela pourrait être lié au fait que les chambres à coucher sont souvent placées du côté plus calme du bâtiment ou que le sommeil est influencé par des somnifères ou des tampons auriculaires.

Le fait que la relation exprimée dans le tableau 8 entre le niveau acoustique et le pourcentage des personnes se sentant fréquemment et intensément dérangées indiqué dans l'étude «Lärmstudie 90» n'est pas irréaliste, est étayé par une comparaison avec les OMS Guidelines for Community Noise (OMS 2000, chapitre 4.3.1), qui postulent, pour les bâtiments d'habitation, un non-dépassement du niveau LAeq contre les façades extérieures de 55 dB DE JOUR et 45 dB DE NUIT.

Dans la partie supérieure du tableau 8, on admet qu'il y a perturbation de la communication lorsqu'une personne, DE JOUR, se déclare «fréquemment» dérangée tout au moins en ce qui concerne *une* des questions A_3 à A_9. Seulement, plus haut, nous avons relevé que l'on pourrait mettre en doute dans les questions A_6 à A_9 l'existence d'un lien direct avec la perturbation de la communication. Pour cette raison, on indique encore dans la partie inférieure du tableau 8 combien de cas de personnes «highly annoyed» et «fréquemment dérangées» il y aurait si l'on se référait uniquement aux réponses données aux questions A_3 et A_5, tout en ignorant les réponses aux questions A_6 à A_9. Il apparaît alors que dans cette acception étroite de la notion de «troubles de la communication», le nombre de cas serait environ 20% inférieur à ce qu'il est dans la partie supérieure du tableau 8. Mais cet écart n'est pas déterminant parce que, pour les calculs suivants (voir chapitre 4.4, troisième alinéa), c'est *la pente* de la courbe qui est primordiale et non pas le pourcentage des personnes dérangées lorsque le niveau acoustique a une valeur donnée. Le profil de la relation dose-effet sur la base des chiffres du tableau 8 est présenté sous forme de graphique dans le tableau 9 de la page suivante, qui fait apparaître nettement les rapports de progression.

Tableau 9:
Relation dose-effet: pourcentages de troubles de la communication DE JOUR et de perturbations du sommeil DE NUIT dans la population, en fonction du niveau LAeq contre les façades extérieures des bâtiments, sur la base des chiffres tirés de l'étude «Lärmstudie 90» (tableau 8).



Le tableau 9 montre clairement que la pente de la courbe exprimant la relation dose-effet DE JOUR (nombre supplémentaire de personnes dérangées lorsque le niveau acoustique augmente de 5 dB) ne change pas sensiblement lorsqu'on tient compte ou non des réponses aux questions A_6 à A_9. Ici, nous avons opté pour la variante «prise en compte» parce que le «disability weight» développé au chapitre 5 pour les troubles de la communication est une meilleure valeur estimative des dérangements selon A_6 à A_9 que le «disability weight» pour la santé considérée comme un tout.

Dans l'interprétation des graphiques du tableau 9, il faut considérer que les domaines extrêmes des niveaux acoustiques sont ouverts: dans la classe <55 dB DE JOUR, on compte non seulement les bâtiments pour lesquels on mesure 50–54 dB, mais encore ceux où le niveau acoustique est plus bas; de même, dans la classe ≥ 65 dB DE JOUR, on trouve les bâtiments exposés à un niveau acoustique compris entre 65 et 69 dB ou plus élevé. Nous pouvons admettre que le pourcentage de personnes dérangées en dessous de 50 dB DE JOUR ne diminue pas sensiblement étant

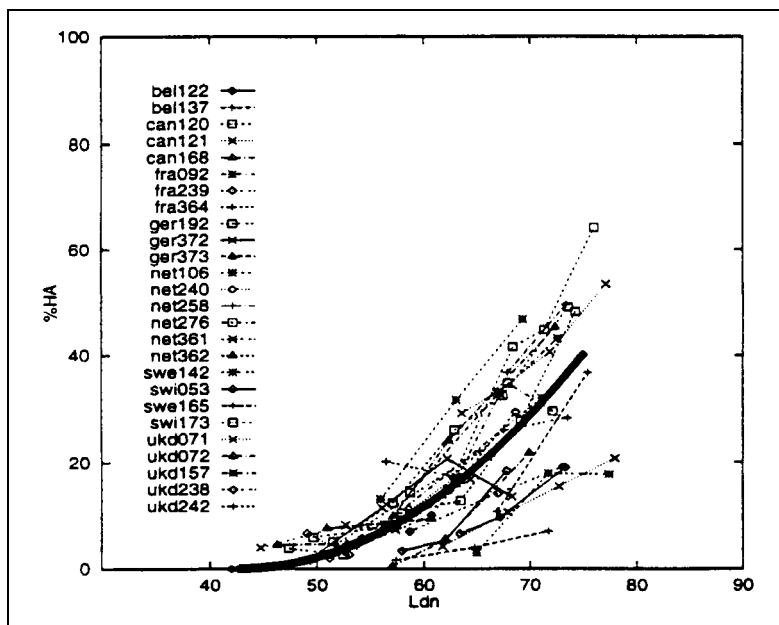
donné que, comme le montre l'expérience, même en présence de niveaux acoustiques très faibles, il y a toujours quelques pour-cent de la population qui se déclarent dérangés. Par conséquent, les 4,4% de personnes dérangées valent non seulement pour la classe ouverte <55 dB, mais encore pour la classe fermée 50–54 dB; au surplus, nous admettons que ce «bloc» de personnes dérangées indépendamment du niveau de bruit effectif se retrouve également dans toutes les classes de niveaux de bruit supérieures à 54 dB. C'est la raison pour laquelle, nous considérons dans toutes les classes d'exposition au bruit un bloc de 4,4% indépendant du bruit. Par ailleurs, il faut admettre que le pourcentage des personnes dérangées à des niveaux acoustiques supérieurs à la classe 65–69 dB DE JOUR suit une courbe ascendante. Cela signifie que les pourcentages des personnes dérangées dans la classe 65–69 dB sont un peu moins élevés que les valeurs reportées dans le tableau 9 pour la classe ouverte ≥ 65 dB DE JOUR; a contrario, on peut s'attendre à une proportion encore plus élevée de personnes dérangées dans la classe 70–74 dB. Seulement, il ressort des données de la «Lärmstudie 90» que, dans la classe ouverte ≥ 65 dB DE JOUR, les cas où le niveau acoustique est de 65–69 dB sont majoritaires, si bien que les pourcentages indiqués dans le tableau 9 valent aussi approximativement pour la classe fermée 65–69 dB. S'agissant du domaine 70–74 dB DE JOUR, on peut en revanche admettre que la tendance illustrée dans le tableau 9 se poursuit. Des considérations analogues s'appliquent aussi à la relation dose-effet DE NUIT présentée dans le graphique inférieur du tableau 9.

On peut se demander ce que signifie dans le tableau 9 le fléchissement de la pente entre 55–59 dB et 60–64 dB DE JOUR. Comme on ne possède pas d'explication satisfaisante sur le fait que l'augmentation du nombre de personnes dérangées est plus faible dans ce domaine qu'au-dessous ou au-dessus, nous considérons cette singularité comme un artefact de la formation des classes de niveaux acoustiques.

Si l'on compare relation dose-effet du tableau 9 avec la «exposure-response relationship» pour le bruit de la route synthétisée dans MIEDEMA à partir des 26 études isolées et présentée au tableau 10, l'information tirée du tableau 9 entre tout à fait dans ce cadre plus étendu, même si l'on a à prendre en compte que MIEDEMA n'indique que les pourcentages des «highly annoyed», alors que dans le tableau 9, les raisons principales probables de cette «high annoyance» sont explicitement prises en considération.

Tableau 10:

Exposure-response relationship pour le bruit de la route synthétisée à partir de 26 études (MIEDEMA 1998, p. 3442, fig. 2 milieu). %HA est le pourcentage de personnes «highly annoyed», Ldn est le niveau acoustique en dB en moyenne sur une année, les valeurs du niveau acoustique étant augmentées de 10 dB pour la NUIT. Les traits fins représentent les résultats des différentes études. La courbe en gras est la relation dose-effet calculée à partir des 26 études.



4.4 Relation entre analyses de propagation, d'exposition et des effets

Nous savons, grâce au tableau 5 de quelle valeur DeltaLeq le niveau acoustique augmente pour l'ensemble de la population suisse pendant la durée d'un an lorsque 1000 véhicules-kilomètres supplémentaires sont accomplis si l'on admet, selon le modèle, une répartition de ces kilomètres proportionnelle à l'ensemble du trafic sur tout le réseau routier suisse. D'après le tableau 6, nous savons en outre à quelles valeurs se situent les niveaux acoustiques de base du trafic routier pour la population suisse. A cela vient maintenant s'ajouter l'information du tableau 9, qui exprime quel pourcentage des personnes touchées subissent en plus une atteinte sérieuse (highly annoyed) sous la forme de perturbations «fréquentes» du sommeil ou de la communication, lorsque le niveau acoustique LAeq dû au trafic routier augmente de 5 dB (ou de fractions de cela sous la forme de DeltaLeq) à partir d'une valeur de seuil de 55 dB DE JOUR ou de 46 dB DE NUIT.

On pourrait dès lors, dans la relation dose-effet du tableau 9, calculer la pente de la courbe pour chaque valeur dB isolée, c'est-à-dire l'augmentation du pourcentage des personnes dérangées dans leur sommeil ou dans leurs communications pour chaque élévation de 1 micro-décibel du niveau acoustique. On pourrait ensuite multiplier ces augmentations de pourcentage par les nombres de personnes par plage d'un micro-décibel sur la base des colonnes du tableau 6. Si l'on somrait ensuite les résultats séparément pour le JOUR et la NUIT, il en résulterait le nombre des cas supplémentaires de personnes dérangées dans leurs communications ou dans leur sommeil lorsque le niveau acoustique s'élève d'un micro-décibel sur l'ensemble du réseau routier suisse. Si l'on multipliait enfin ce chiffre des person-

nes supplémentaires dérangées dans leurs communications (respectivement des personnes supplémentaires perturbées dans leur sommeil) par les valeurs en micro-décibels pour 1000 véhicules-kilomètres DE JOUR (resp. DE NUIT) du tableau 5, on obtiendrait 4 chiffres exprimant le nombre de personnes supplémentaires dérangées par 1000 véhicules-kilomètres pour chacun des 4 cas: VT DE JOUR, PL DE JOUR, VT DE NUIT, PL DE NUIT.

Néanmoins, nous optons ici pour un calcul simplifié afin d'éviter une interprétation excessive de la relation dose-effet du tableau 9, qu'il ne faut considérer que comme une approximation sommaire. A cet égard, nous concentrons l'information des tableaux 8 et 9 dans les thèses suivantes qui reviennent à une évaluation plutôt prudente et réservée des effets:

- Les troubles de la communication indiqués par les personnes interrogées, nous les considérons, jusqu'à concurrence de 4,4% pour toutes les classes de niveaux acoustiques comme indépendants du bruit. En dessous d'un niveau de 55 dB DE JOUR, on admet donc que le nombre des troubles de la communication pouvant être attribués au bruit du trafic routier est égal à zéro. Au-dessus, pour chaque décibel supplémentaire, ce nombre augmente en moyenne de $(42,3\% - 4,4\%) / 15 \text{ dB} = 2,5$ pour cent par dB d'élévation du niveau acoustique. Cela correspond à 2,5 cas supplémentaires de troubles de la communication par 100 millions de personnes touchées par une élévation du niveau acoustique d'un micro-décibel DE JOUR. On admet que ce profil est linéaire jusqu'à l'extrémité supérieure du domaine significatif dans la réalité selon le tableau 6 (75 dB DE JOUR).
- Les perturbations du sommeil dont ont fait état les personnes interrogées, nous les considérons comme indépendantes du bruit jusqu'à concurrence de 4,0% dans toutes les classes de niveaux acoustiques. En dessous d'un niveau de 46 dB DE NUIT, on admet donc que le nombre des perturbations du sommeil pouvant être attribuées au bruit est égal à zéro. Au-dessus, ce nombre augmente de $(29,9\% - 4,0\%) / 15 \text{ dB} = 1,7$ pour cent par dB. Cela correspond à 1,7 cas supplémentaire de perturbations du sommeil par 100 millions de personnes touchées par une élévation du niveau acoustique d'un micro-décibel DE NUIT. On admet que ce profil est linéaire jusqu'à l'extrémité supérieure du domaine significatif dans la réalité selon le tableau 6 (66 dB DE NUIT).

Ces deux thèses simplifient considérablement le calcul du nombre supplémentaire de personnes résidant en Suisse et subissant des perturbations du sommeil occasionnées par 1000 kilomètres de VT ou de PL accomplis DE NUIT (le calcul des cas supplémentaires de troubles de la communication par 1000 véhicules-kilomètres effectués DE JOUR est analogue):

Tout d'abord, on détermine, sur la base des données du tableau 6, la partie de la population suisse qui, DE NUIT, est exposée à un niveau acoustique LAeq de 46 dB ou plus dû au bruit; ce groupe réunit 3,36 millions de personnes. Si, pour toutes ces personnes, le niveau acoustique était augmenté d'un micro-décibel DE NUIT, il résulterait alors 1,7 cas supplémentaire de perturbations du sommeil pour 100 millions de personnes, soit 0,057 cas pour 3,36 millions de personnes. Etant donné que,

d'après le tableau 5, 1000 VT-km DE NUIT élèvent le LAeq dans l'ensemble de la Suisse de $\Delta\text{LAeq} = 0,86$ micro-décibel, et que 1000 PL-km DE NUIT l'augmentent de $\Delta\text{LAeq} = 8,4$ micro-décibel, on peut calculer que 1000 VT-km DE NUIT provoquent $0,86 \cdot 0,057$, soit 0,049 cas supplémentaire de perturbations du sommeil. De même 1000 PL-km DE NUIT génèrent $8,4 \cdot 0,057$, soit 0,48 cas supplémentaire de perturbations du sommeil. Comme le LAeq est théoriquement augmenté pendant une année entière par les 1000 km supplémentaires parcourus, la durée théorique de ces perturbations du sommeil est également d'une année.

Les données initiales et les résultats des calculs sont récapitulés dans le tableau 11 ci-dessous.

Tableau 11:
Calcul des cas supplémentaires de troubles de la communication et du sommeil en Suisse pour 1000 véhicules-kilomètres

	DE JOUR Catégorie 1 VT etc.	DE JOUR Catégorie 2 PL etc.	DE NUIT Catégorie 1 VT etc.	DE NUIT Catégorie 2 PL etc.
DeltaLeq en micro-dB pour 1000 véhicules-km selon tableau 5	0,050	0,50	0,86	8,4
Mio. de personnes en Suisse exposées à un LAeq de 55 dB et plus DE JOUR	3,05	3,05		
Mio. de personnes en Suisse exposés à un LAeq de 46 dB et plus DE NUIT			3,36	3,36
Cas supplémentaires de dérangements par 100 mio. de personnes, pour DeltaLeq 1 micro-dB	2,5	2,5	1,7	1,7
Cas supplémentaires de troubles de la communication par 1000 véhicules-km DE JOUR	0,0038	0,038		
Cas supplémentaires de perturbations du sommeil par 1000 véhicules-km DE NUIT			0,049	0,48

Si les nombres de cas supplémentaires indiqués dans le tableau 11 sont inférieurs aux chiffres cités dans (MÜLLER-WENK 1999, p. 46), c'est surtout parce que les DeltaLeq du tableau 5 de notre étude sont admis plus faibles et parce que le seuil des troubles de la communication a été fixé à 55 dB au lieu de 50, ce qui réduit de 2 millions le nombre des personnes touchées.

4.5 Estimations relatives aux infarctus du myocarde imputables au bruit des transports

Etant un cas particulier important dans la palette des effets du bruit sur la santé de l'appareil cardio-vasculaire, il s'agit ici de faire une estimation de l'augmentation du risque d'infarctus du myocarde en cas de bruit supplémentaire consécutif à l'augmentation du volume du trafic routier.

H. ISING, chercheur reconnu dans ce domaine, résume comme il suit les connaissances actuelles en la matière (ISING 2000):

- Il est fondé de craindre que les expositions au bruit du trafic routier d'un niveau moyen de plus de 65 dB(A) le jour et 55 dB(A) la nuit à l'extérieur des fenêtres d'habitations génèrent un accroissement de 20% environ du risque d'infarctus.
- Néanmoins, il n'existe pas encore de preuve établie selon des critères scientifiques rigoureux d'un lien de causalité entre cette exposition au bruit et le risque cardio-vasculaire.
- Le soupçon évoqué plus haut est cependant suffisamment étayé pour déclencher une action de l'Etat en vertu du principe de prévention.

C'est dans ce contexte que (ISING 2000) entreprend une évaluation quantitative des cas de décès consécutifs à des infarctus du myocarde générés par le bruit du trafic routier en Allemagne pour l'année 1997. ISING part de l'idée que, dans ce pays, 16% de la population est soumise à un niveau moyen de 65 dB le jour et 55 dB la nuit. Il admet, pour cette tranche de la population, que le risque de décéder d'un infarctus (code de diagnostic 410, désormais selon ICD-10 I21) est supérieur de 20% à celui que court la population non exposée au bruit. En fonction de cela, ISING calcule qu'il y a eu, en 1997 en Allemagne, 1800 infarctus du myocarde fatals imputables au bruit de la route. Il constate en l'occurrence que ce nombre est, certes, faible en regard des 61'400 décès dus aux poussières fines PM10 et aux 10'000 décès dus au tabagisme passif, mais pas négligeable.

L'hypothèse de ISING, selon laquelle le risque supplémentaire d'infarctus dû au bruit de la route serait égal à zéro jusqu'au seuil de 65 dB DE JOUR ou 55 dB DE NUIT, et serait constant à 20% pour tous les niveaux au-dessus de cette valeur de seuil, correspond à une relation dose-effet qui ferait un seul palier à partir, respectivement, de 66 et 56 dB, ce qui est une caractéristique plutôt improbable. En effet, si l'on prend le tableau 6, seules seraient touchées par l'augmentation du risque dû au bruit les personnes qui, en raison du bruit supplémentaire DeltaLeq, «sauteraient» de la colonne 65 dB (ou 55 dB) dans la colonne de décibels plus élevée la plus proche. Pour toutes les autres personnes, une augmentation du bruit ne générerait aucune augmentation du risque d'infarctus. Comme on peut le démontrer, une telle interprétation aboutirait à une sous-estimation de l'effet du bruit.

Bien que, selon (ISING 2000) «il n'existe aucun modèle de relation dose-effet» décrivant la relation entre niveau moyen et risque supplémentaire d'infarctus, nous proposons ici l'introduction d'une relation dose-effet un peu plus plausible (comparativement à des courbes en escalier avec un seul palier à 66/56 dB) selon le modèle suivant:

- L'effet (infarctus supplémentaires dus au bruit du trafic routier) est admis égal à zéro jusqu'à des valeurs de seuil du LAeq de 65 dB DE JOUR et 55 dB DE NUIT.
- A partir de ce seuil, on admet une augmentation linéaire du risque supplémentaire d'infarctus avec l'élévation du LAeq. D'après le tableau 6, cette hypothèse de linéarité, comme dans le cas des perturbations du sommeil et de la communication, n'est appliquée que jusqu'à une limite supérieure de 75 dB DE JOUR et 66 dB DE NUIT. Eu égard à l'étroitesse du champ de validité, cette hypothèse

apparaît acceptable, même si la relation dose-effet réelle inconnue pourrait être non-linéaire.

- Ainsi, pour déterminer la relation dose-effet, il suffit encore de fixer la pente. On peut l'effectuer en déterminant, dans l'optique de (ISING 2000), le nombre annuel des infarctus imputables au bruit de la route sur le territoire de la Suisse. La pente des droites exprimant la relation dose-effet doit alors être telle que, en appliquant les fréquences du tableau 6, il en résulte précisément le nombre annuel total des infarctus dus au bruit de la route en Suisse déterminé selon ISING.

Compte tenu de cette adaptation, la détermination des décès annuels consécutifs à des infarctus imputables au bruit de la route pour la Suisse selon (ISING 2000) se fait de la manière suivante:

- Selon renseignement fourni par l'Office fédéral de la statistique (OFS 2001), 3656 personnes sont décédées d'un infarctus du myocarde (code de diagnostic I21) en 1998.
- D'après les chiffres du tableau 6, 8% de la population suisse est exposée à un LAeq imputable au trafic routier de 65 dB ou plus DE JOUR, et 11,4% à un LAeq de 55 dB ou plus DE NUIT. En lieu et place de ces deux chiffres, nous admettons pour simplifier qu'une part de 11% de la population suisse est exposée, tant DE JOUR que DE NUIT, à un bruit de la route supérieur au seuil à partir duquel le risque d'infarctus est accru. D'après ISING, le risque relatif que court cette tranche de la population de décéder d'un infarctus s'accroît de 20%.
- En l'état actuel de l'exposition au bruit, le nombre de décès consécutifs à un infarctus du myocarde imputable au bruit de la route en Suisse est donc, selon le mode de calcul de ISING: $3656 \text{ décès} * 11\% * 20\% / (1 + 11\% * 20\%) = 79 \text{ décès}$ par infarctus dus au bruit de la route

On peut maintenant calculer la pente que doit avoir une caractéristique dose-effet admise comme étant linéaire si elle doit exprimer un effet nul à 55 dB DE NUIT et augmenter linéairement jusqu'à 66 dB DE NUIT avec une pente telle que pour la totalité des personnes situées dans la zone 56–66 dB DE NUIT, il résulte le nombre annuel de 79 décès dus à un infarctus imputable au bruit calculé plus haut: le calcul effectué à l'aide des chiffres du tableau 6 montre que, cette fois, le nombre des décès supplémentaires annuels par infarctus dus au bruit doit augmenter de 31 cas par million de personnes touchées pour 1 dB supplémentaire, à partir de zéro cas pour 55 dB DE NUIT. Comme, selon le tableau 6, 650'000 personnes en Suisse sont exposées à un bruit de la route supérieur à 55 dB DE NUIT, cela signifie que le nombre des décès annuels supplémentaires par infarctus dus au bruit de la route verrait s'ajouter $0,650 * 31$, soit 20 cas aux 79 cas actuels, si pour toutes ces personnes, la valeur du LAeq augmentait de 1 dB. Ce nombre serait de 0,000020 cas pour un DeltaLeq de 1 micro-décibel.

Forts de cette information, nous pouvons donc calculer, comme dans le tableau 11, le nombre de cas de décès supplémentaires dus à un infarctus que l'on pourrait attendre en Suisse consécutivement à l'exposition supplémentaire de la population au bruit de 1000 véhicules-kilomètres:

Tableau 12:
Décès supplémentaires
annuels par infarctus en
Suisse par 1000 véhicu-
les-kilomètres

	DE JOUR Catégorie 1 VT etc.	DE JOUR Catégorie 2 PL etc.	DE NUIT Catégorie 1 VT etc.	DE NUIT Catégorie 2 PL etc.
DeltaLeq en micro-dB par 1000 véhicules-km selon tableau 5	0,050	0,50	0,86	8,4
Mio de personnes en Suisse exposés à plus de 55 dB DE NUIT	0,65	0,65	0,65	0,65
Décès supplémentaires annuels par infarctus en Suisse, si tous les LAeq croissent d'1 micro-dB	0,000020	0,000020	0,000020	0,000020
Décès supplémentaires annuels par infarctus en Suisse par 1000 véhicules- kilomètres	0,000001	0,000010	0,000017	0,000168

Pour pouvoir intégrer les chiffres de la dernière ligne du tableau 12 dans l'analyse ci-après des dommages, il faut encore considérer les informations suivantes:

- Selon la statistique suisse de la mortalité, un cas de décès par infarctus du myocarde représente une perte potentielle de 10 années de vie (OFS 2001).
- On admet que, dans le cas des infarctus, la mortalité est généralement de 30% durant la première heure (en dehors d'un hôpital) ainsi que de 10–12% après l'arrivée du patient à l'hôpital (THIEME 1999, p. 1108). Cela signifie que près de 60% des patients survivent.
- Selon la statistique médicale suisse des établissements hospitaliers, 4972 personnes ont été transportées à l'hôpital à cause d'un infarctus en 1998. La durée moyenne des séjours a été de 11 jours (OFS 2001). Etant donné la répartition ci-dessus de la mortalité, on peut admettre que 900 environ des patients transportés à l'hôpital pour un infarctus y sont décédés (18% de 4972), tandis que les autres 4100 patients ont survécu et ont ensuite fait un séjour de 30 jours dans une clinique de rééducation après avoir passé 11 jours à l'hôpital. Les quelque 900 personnes décédées à l'hôpital du fait d'un infarctus sont une partie des 3656 personnes décédées de cette pathologie en Suisse en 1998. Nous pouvons donc admettre que les «hospitalisations supplémentaires de personnes ayant fait un infarctus avec des suites non fatales pour 1000 véhicules-kilomètres» sont supérieures d'un facteur F aux décès selon la dernière ligne du tableau 12; ce facteur F est égal au rapport entre les hospitalisations dues à un infarctus non fatal et le nombre total annuel des décès dus à l'infarctus, c'est-à-dire à $4100/3656 = 1,12$.

5 Analyse des dommages

De l'avis général, on ne peut pas considérer sur un même pied d'égalité les dommages causés au patrimoine nommé «santé humaine» suivant qu'il s'agit d'une personne qui souffre de perturbations du sommeil ou de cécité pendant une année de sa vie ou perd cette année de vie en décédant prématurément suite à un infarctus du myocarde. Il ressort des dernières lignes des tableaux 11 et 12 que les décès par infarctus par 1000 véhicules-kilomètres sont environ 3000–4000 fois moins nombreux que les perturbations du sommeil persistant pendant un an. Si, à partir de la fréquence des atteintes de diverses natures à la santé, on voulait se faire une image générale des atteintes à la santé d'une population, il faudrait en plus avoir une idée de la gravité relative des différentes pathologies et des années de vie perdues suite à des décès prématurés. Existe-t-il à cet effet, outre l'appréciation purement subjective d'une seule personne, quelque chose qui ressemblerait à une échelle quasi-objective de notre société?

5.1 Le concept DALY

À l'échelon de l'OMS, on a développé dans cette optique le concept baptisé «Disability Adjusted Life-Years», en abrégé «DALY» (MURRAY 1996). Celui-ci trouve surtout son application dans l'appréciation globale de l'état de santé de la population d'un pays et de ses changements suite aux projets soutenus par l'OMS. En l'occurrence, à l'aide du DALY, on détermine le nombre d'années de vie perdues dans un pays, actuellement ou lors de la réalisation de projets à caractère sanitaire, d'une part, en raison de décès prématurés et, d'autre part, du fait d'atteintes à la santé ayant un effet invalidant et, partant, réduisant la qualité de la vie. Ces incapacités (disability) sont comparées à l'état de parfaite santé et exprimées par ce qu'on appelle des «disability weights» (DW), consignés dans des tableaux en fonction du diagnostic de la gravité des atteintes par type de maladie. Les tableaux des «disability weights» de l'OMS s'appliquent au monde entier, raison pour laquelle ils sont fortement centrés sur les maladies survenant hors des pays industrialisés développés. C'est aussi pourquoi, récemment, des études ont été effectuées en Hollande (STOUTHARD 1997) et en Australie (VGDHS 1999), afin de permettre de compléter les tableaux de l'OMS par les pathologies plutôt caractéristiques des pays développés. Des exemples de tels «disability weights» figurent au point 2 de l'annexe (Information/questionnaire aux médecins de la SUVA). Ce tableau met en évidence le fait que l'on attribue un «disability weight» (DW) de 1 à une année de vie vécue en parfaite santé, tandis qu'une année de vie marquée par une maladie aura un DW de 0,93 s'il s'agit d'un diabète sans complications, voire de 0,16 dans le cas d'une tétraplégie. Cela signifie qu'une personne souffrant d'un diabète sans complications peut accomplir les activités courantes de la vie humaine presque comme une personne en bonne santé, alors que l'état physique d'une personne tétraplégique lui interdit l'exercice autonome de presque toutes les fonctions (à noter qu'on ne considère pas ici le cas d'une personne tétraplégique munie d'instruments de transport, de communication et de soins corporels hautement sophistiqués, mais la situation d'une telle personne dépourvue de ces appareils). Les valeurs de ces «disability weights» résultent des appréciations faites par de vastes panels internationaux

d'experts médicaux. (Signalons au passage que les $DW_{\text{Pays-Bas}} = 1 - DW_{\text{OMS}}$. Cela signifie que pour l'OMS, un DW de 0 caractérise un état de parfaite santé tandis qu'un DW de 1 signifie la mort, alors que dans les tabelles hollandaises, c'est le contraire: un DW de 0 signifie la mort et un DW de 1 la parfaite santé. Néanmoins, après conversion, les valeurs des deux sources se chevauchent).

5.2 Disability Weights DW pour les perturbations du sommeil et de la communication

Les tableaux publiés à ce jour renferment les «disability weights» de plusieurs centaines de pathologies couvrant tout l'éventail des possibilités, depuis les handicaps les plus lourds jusqu'aux légères atteintes de l'état santé actuel comme, par exemple, les inflammations des gencives (gingivite). Indépendamment du grand nombre d'états de santé évalués, il existe évidemment de considérables lacunes: à ce jour, il n'existe pas de DW pour tous les états de santé. C'est notamment vrai pour les cas importants de perturbation du sommeil et de la communication dont il est question dans notre étude. C'est ce qui nous a incités à effectuer des investigations complémentaires dans le but de déterminer les DW correspondant à ces deux cas de figure.

La méthode appliquée pour déterminer les DW recherchés comporte les étapes suivantes:

- Tout d'abord, nous avons décrit avec la plus grande précision possible les états «perturbations du sommeil» et «troubles de la communication» de manière à ce que différentes personnes puissent y donner le même sens. Afin d'assurer que les résultats de l'analyse des effets puissent être mis en relation avec ceux de l'analyse des dommages, les descriptions ont été étroitement calquées sur le langage utilisé dans les entretiens structurés de l'étude «Lärmstudie 90».
- Ensuite, nous avons créé une base de données afin de pouvoir incorporer par interpolation dans la structure des $DW_{\text{Pays-Bas}}$ («disability weights» selon la notation néerlandaise) déjà disponibles les $DW_{\text{Pays-Bas}}$ caractérisant les états «perturbations du sommeil» et «troubles de la communication». A cet effet, on a opéré dans les tabelles des $DW_{\text{Pays-Bas}}$ existants une sélection d'états de santé invalidants bien connus, que l'on a triés par DW croissants. Dans cet échantillonnage, on a veillé à couvrir toute la plage des DW, de 0 à 1, avec une graduation particulièrement fine dans la plage des atteintes de faible gravité ($DW_{\text{Pays-Bas}}$ de 0,85 à 0,99), dans laquelle on estimait, selon une étude préliminaire, que devaient se situer les perturbations du sommeil et de la communication. Cet extrait des DW disponibles est de nature à permettre l'incorporation des états «perturbations du sommeil» et «troubles de la communication» non encore chiffrés par des DW à un rang logique du classement des états de santé, sur la base de l'appréciation de leurs gravités relatives. A partir de cette classification, on obtient alors les limites inférieure et supérieure du DW recherché, ce qui permet ensuite de fixer, à l'intérieur de ces marges, la valeur cherchée par une interpolation sommaire.
- Cette classification et l'interpolation subséquente ont été effectuées par des médecins. Il y a deux raisons à cela: d'une part, les travaux fondamentaux de

MURRAY (MURRAY 1996) ont eux aussi été effectués par des groupes de médecins; cela permet donc de satisfaire une condition méthodologique préliminaire: les DW déjà disponibles doivent être comparables aux nouveaux DW à établir; d'autre part, les personnes ayant une formation médicale et pratiquant la médecine sont les mieux à même de comprendre la description de différents états de santé et de les comparer entre eux quant à leurs gravités relatives. A contrario, ce sont les personnes directement atteintes dans leur santé qui sont les plus compétentes pour apprécier la gravité avec laquelle elles ressentent elles-mêmes leur état de santé; cela dit, il est particulièrement difficile pour elles de comparer «objectivement» cet état avec d'autres états qu'elles ne vivent pas elles-mêmes.

Une première étude préliminaire en vue de déterminer les DW correspondant aux états considérés ici, à savoir les «perturbations du sommeil» et les «troubles de la communication», a été menée avec un petit panel composé de 2 spécialistes de la médecine sociale, 2 médecins ayant un cabinet de médecins généralistes et 2 médecins d'hôpital, et décrite dans (MÜLLER-WENK 1999, p. 47–50). En 2000, il a été possible d'améliorer la forme de la procédure de détermination des DW recherchés, en procédant à un sondage auprès de 64 collaborateurs médicaux de la SUVA, la Caisse nationale suisse d'assurance en cas d'accidents. Ces médecins sont apparus comme particulièrement compétents pour établir des DW véritablement représentatifs étant donné que leur activité professionnelle à la SUVA les amène tout spécialement à pondérer des cas individuels en fonction de la gravité relative des atteintes permanentes à la santé, cela, en vue du versement de rentes. Un échantillon aléatoire sélectionné dans l'ensemble des médecins suisses aurait sans doute pu faire état d'une moins bonne expérience dans ce domaine.

L'information fournie aux médecins de la SUVA et le sondage ont été réalisés d'après le texte et le questionnaire de l'annexe .

5.3 Résultat et évaluation

Ont été contactés par écrit 64 collaborateurs médicaux de la SUVA, dont 16 médecins de la Division centrale de médecine des accidents, 15 médecins de la Division centrale de la médecine du travail et 33 médecins d'arrondissements répartis dans toute la Suisse. 42 questionnaires remplis nous ont été retournés, dont 41 étaient utilisables. Les codages selon les $DW_{\text{Pays-Bas}}$ auxquels ont procédé ces 41 participants sont représentés dans leur intégralité dans le tableau 13 (graphique dans le tableau 17).

Sondage des médecins SUVA, oct.2000 pour déterminer les Disability Weights DW					
Numéro courant	DW perturb. sommeil	DW perturb. communic.	1= méd. avec cabinet perso	1= méd. avec âge>45 ans	1= méd. touché par le bruit
1	0.94	0.95		1	1
2	0.96	0.97		1	
3	0.95	0.97		1	
4	0.97	0.98	1	1	
5	0.98	0.97		1	1
6	0.97	0.97		1	
7	0.96	0.96		1	
8	0.97	0.98		1	
9	0.98	0.99		1	
10	0.94	0.96		1	
11	0.96	0.96		1	
12	0.93	0.95		1	
13	0.98	0.98		1	1
14	0.88	0.88		1	1
15	0.98	0.99		1	
16	0.96	0.97		1	1
17	0.96	0.96	1	1	1
18	0.96	0.98		1	
19	0.90	0.90		1	
20	0.80	0.92		1	1
21	0.97	0.98		1	
22	0.98	0.99		1	
23	0.69	0.98		1	
24	0.95	0.97		1	
25	0.95	0.97	1	1	
26	0.92	0.97		1	
27	0.95	0.96		1	
28	0.96	0.98	1	1	
29	0.92	0.95		1	
30	0.98	0.99		1	
31	0.97	0.98		1	
32	0.97	0.98			
33	0.97	0.98			
34	0.90	0.98	1		1
35	0.95	0.96			
36	0.96	0.98			
37	0.98	0.98			
38	0.95	0.98			
39	0.96	0.96			
40	0.96	0.96			
41	0.97	0.98		1	

Tableau 13:
Codages effectués par les participants. Disability weights DW exprimés dans la notation néerlandaise DW_{Pays-Bas}

Il ressort des chiffres du tableau 13 que:

- pratiquement tous les participants estiment que les perturbations du sommeil sont plus graves ou au moins aussi graves que les troubles de la communication.
- quand bien même les médecins ont été rendus attentifs à la possibilité de coder un $DW_{\text{Pays-Bas}}$ de 1,0 s'ils étaient d'avis que les perturbations du sommeil ou de la communication étaient aussi peu graves pour la santé qu'une gingivite ou qu'elles ne diminuaient en rien un parfait état de santé, aucun d'entre eux n'a attribué la valeur DW de 1,0. Tous les médecins ayant participé au sondage sont donc d'avis que les perturbations du sommeil et les troubles de la communication doivent être considérés comme des états qui ne sont pas assimilables à une parfaite santé.
- on pourrait soupçonner que les médecins personnellement touchés par le bruit pondèrent plus lourdement les perturbations du sommeil et de la communication d'origine acoustique et, par conséquent, attribuent des DW plus faibles que les médecins déclarant ne pas être touchés personnellement par le bruit de la route. Par ailleurs, on pourrait aussi penser que les médecins ayant leurs propres cabinets de consultation accordent moins de poids à ces troubles du fait qu'ils sont sensibilisés par les graves cas de maladies qu'ils traitent quotidiennement, et donc qu'ils attribuent des DW plus élevés que leurs collègues n'ayant pas de cabinets médicaux. Les chiffres confirment ces hypothèses, mais l'effet est négligeable ici.

Les moyennes arithmétiques des «disability weights» $DW_{\text{Pays-Bas}}$ sont de 0,945 pour les perturbations du sommeil et de 0,967 pour les troubles de la communication. Si l'on compare ces valeurs avec le catalogue néerlandais des DW (STOUTHARD 1997), il ressort que, selon l'appréciation des médecins participant à notre étude, la gravité des atteintes à la santé provoquées par les troubles du sommeil pendant un an de vie est à peu près équivalente à une «chronic hepatitis B infection without active viral replication» de même durée. D'un autre côté, ce $DW_{\text{Pays-Bas}}$ de 0,945 caractérisant les perturbations du sommeil durant une année signifie aussi qu'il y a équivalence, sous l'angle de l'ampleur de l'atteinte (ou de la réduction de la qualité de vie) entre 19 personnes exposées à des perturbation du sommeil une année durant et une personne perdant une année de son espérance de vie du fait de son décès prématuré.

Les DW cités sont différents des chiffres établis par un panel préliminaire de 6 médecins seulement, présentés dans (MÜLLER-WENK 1999), en ce sens que ces derniers avaient jugé les perturbations du sommeil légèrement plus graves et les troubles de la communication légèrement moins graves. Mais l'un dans l'autre, ils confirment l'estimation effectuée à l'époque à propos de la gravité de ces perturbations. Pour la comparaison, il faut relever que les «disability weights» dans (MÜLLER-WENK 1999) ont été exprimés en tant que DW_{OMS} , tandis que dans les lignes qui précèdent ils sont exprimés dans la notation $DW_{\text{Pays-Bas}}$, avec $DW_{\text{OMS}} = 1 - DW_{\text{Pays-Bas}}$. Ici, afin d'assurer la continuité avec l'étude précédente et parce qu'il apparaît plus adéquat d'exprimer des atteintes plus graves à la santé par des DW plus grands, nous optons pour le passage au système de représentation de l'OMS

(DW_{OMS}). En conséquence, le résultat de l'appréciation des médecins de la SUVA se présente comme il suit:

Tableau 14: Disability Weights DW selon la notation DW_{OMS} .

Disability Weight caractérisant les troubles de la communication en DW_{OMS}	0,033
Disability Weight caractérisant les perturbations du sommeil en DW_{OMS}	0,055

Rappelons une fois encore qu'un DW_{OMS} de 0,055 pour les perturbations du sommeil exprime le fait qu'une année de vie humaine exposée à des perturbations du sommeil revient à une atteinte égale à 0,055 DALY, ce qui peut être mis en relation avec un DW_{OMS} de 1,0 équivalant à une année de vie perdue du fait d'un décès prématuré.

5.4 Valeurs DALY pour 1000 véhicules-kilomètres sur le réseau routier suisse

Si, maintenant, nous admettons que le bruit du trafic routier DE NUIT (22.00–06.00 heures) peut générer des perturbations du sommeil, tandis que le bruit du trafic routier DE JOUR (06.00–22.00 heures) peut provoquer des troubles de la communication, il est possible, sur la base du tableau 11 ainsi que des «disability weights» DW calculés ci-dessus, de déterminer les atteintes à la santé de l'être humain résultant d'un trajet de 1000 véhicules-kilomètres, répartis sur le réseau routier suisse, et cela dans le système de mesure DALY (disability adjusted life-years). Pour cela, on multiplie les deux dernières lignes du tableau 11 par les DW du tableau 14, et l'on obtient le résultat suivant:

Tableau 15: Atteintes à la santé exprimées en DALY (disability adjusted life-years) pour 1000 véhicules-kilomètres accomplis sur le réseau routier suisse, basés sur les volumes de trafic de 1995.

	DALY par 1000 km véhicules de cat. 1 (VT etc.) DE JOUR	DALY par 1000 km véhicules de cat. 2 (PL etc.) DE JOUR	DALY par 1000 km véhicules de cat. 1 (VT etc.) DE NUIT	DALY par 1000 km véhicules de cat. 2 (PL etc.) DE NUIT
Troubles de la communication	0,00013	0,0013		
Perturbations du sommeil			0,0027	0,026

Les valeurs du tableau 15 sont sensiblement plus basses que les résultats de (MÜLLER-WENK 1999, p. 50, tab. 8–4). Cela tient essentiellement au calcul différent de l'élévation moyenne du niveau acoustique (tableau 5) et aux DW modifiés (tableau 14). Les nouvelles valeurs peuvent être considérées comme mieux étayées.

Il est intéressant, à ce stade, de comparer les valeurs exprimant les perturbations du sommeil et de la communication du tableau 15 avec les valeurs correspondantes des cas d'infarctus imputables au bruit des transports. Les résultats des calculs récapitulés dans le tableau ci-dessous sont fondés sur les décès supplémentaires par infarctus indiqués à la dernière ligne du tableau 12, et ils tiennent compte des données statistiques complémentaires obtenues à la suite du tableau 12. Par ailleurs, on notera que le DW_{OMS} de l'infarctus du myocarde (acute myocardial infarction, treated form) est de 0,395 (MURRAY 1996, p. 415); par définition, ce DW vaut pour une durée théorique de la maladie d'un an. Néanmoins, nous admettons que, si leur infarctus n'a pas une issue fatale, les patients sont à nouveau en bonne santé après un séjour moyen de 11 jours en hôpital et de 30 jours en clinique de rééducation, ce qui signifie que le DW de 0,395 doit être réduit d'un facteur temps égal à 41/365, ce qui lui donne une valeur per-annum $DW_{OMS} = 0,044$. Il en résulte les atteintes suivantes à la santé humaine pour 1000 véhicules-kilomètres:

Tableau 16: Atteintes à la santé dues aux infarctus du myocarde imputables au bruit de la route exprimées en DALY (disability adjusted life-years) pour 1000 véhicules-kilomètres accomplis sur le réseau routier suisse, basés sur les volumes de transport de 1995

	Cat. de véhicule 1 (VT etc.) DE JOUR	Cat. de véhicule 2 (PL etc.) DE JOUR	Cat. de véhicule 1 (VT etc.) DE NUIT	Cat. de véhicule 2 (PL etc.) DE NUIT
Décès suppl. par infarctus pour 1000 véh.-km (selon tableau 12)	0,000001	0,000010	0,000017	0,000168
Hospitalisations suppl. pour infarctus avec issue non fatale pour 1000 véh.-km (ligne 1 x facteur F=1,12)	0,000001	0,000011	0,000019	0,000188
Atteintes à la santé en DALY/1000 véh.-km dues aux décès par infarctus (ligne 1 x 10 ans de vie perdue par cas)	0,000010	0,000100	0,000170	0,001680
Atteintes à la santé en DALY/1000 véh.-km dues aux infarctus non fatals (ligne 2 x $DW=0,044$)	0,000000	0,000000	0,000001	0,000007
Atteintes à la santé en DALY/1000 véh.-km dues à tous les infarctus (somme lignes 3 + 4)	0,000010	0,000100	0,000171	0,001687

Les chiffres des tableaux 16 et 15 montrent que:

- les atteintes à la santé consécutives à des cas de *maladie* dus à des infarctus imputables au bruit de la route sont faibles en regard des cas de *décès* consécutifs à la même cause;
- les atteintes à la santé consécutives à l'ensemble des cas d'infarctus imputables au bruit de la route sont d'un ordre de grandeur inférieures aux atteintes à la santé imputables aux perturbations du sommeil et de la communication causées par le bruit de la route. On peut dès lors admettre que les atteintes à la santé ré-

sultant d'infarctus imputables au bruit peuvent être provisoirement négligées, cela d'autant plus que la relation entre la cause du bruit et les effets nuisibles pour le cœur n'est pas encore assurée dans la mesure voulue.

Cette comparaison montre l'intérêt que revêt le concept du DALY avec une pondération solidement étayée d'années de vie perdues relativement aux années de vie marquées par la maladie.

Rappelons ici, dans l'optique des applications pratiques, que la catégorie de véhicules 1 selon (OFEFP 1991) réunit les voitures de tourisme, les voitures de livraison (camionnettes) ainsi que les motocycles légers, tandis que la catégorie 2 englobe les camions, les autobus, les tracteurs et les motocycles lourds. Dans le calcul des atteintes à la santé dues au bruit résultant de l'accomplissement de 1000 véhicules-kilomètres, on admet par hypothèse que le véhicule considéré se situe dans la zone médiane de l'ensemble des véhicules de sa catégorie en ce qui concerne ses émissions sonores. En revanche, si ce véhicule était extrêmement bruyant ou extrêmement silencieux dans sa catégorie, il faudrait faire une interpolation compte tenu du niveau des dommages réels pour la catégorie 1 et pour la catégorie 2. Il faut cependant noter que les valeurs des émissions sonores d'un véhicule inscrites dans l'expertise-type n'ont qu'une signification toute relative quant au bruit réellement émis par ce véhicule en conditions de circulation, puisque, lors de l'expertise-type, d'une part, on ne teste pas le bruit émis par le véhicule dans des cycles de conduite réels et, d'autre part, on ne tient pas compte de l'incidence des pneus effectivement utilisés. Pour le moment, il faut donc observer une certaine prudence dans l'emploi de valeurs plus faibles lorsqu'on considère les atteintes à la santé dues aux types de véhicules «peu bruyants».

5.5 Considérations relatives à l'incertitude

La relation de cause à effet présentée dans ce travail entre les véhicules-kilomètres supplémentaires accomplis sur le réseau routier suisse et les atteintes supplémentaires à la santé dues au bruit de la route comporte des éléments d'incertitude dans chacun des quatre modules de l'évaluation (analyses de propagation, d'exposition, des effets et des dommages). La question est donc de savoir quelle est l'amplitude des fluctuations de la «vraie» valeur des atteintes à la santé par 1000 véhicules-kilomètres et de la moyenne admise selon le tableau 15 (pour les perturbations du sommeil et de la communication) ou selon le tableau 16 (pour l'infarctus du myocarde). Nous allons nous concentrer ici sur le cas des perturbations du sommeil et de la communication, c'est-à-dire sur les chiffres du tableau 15.

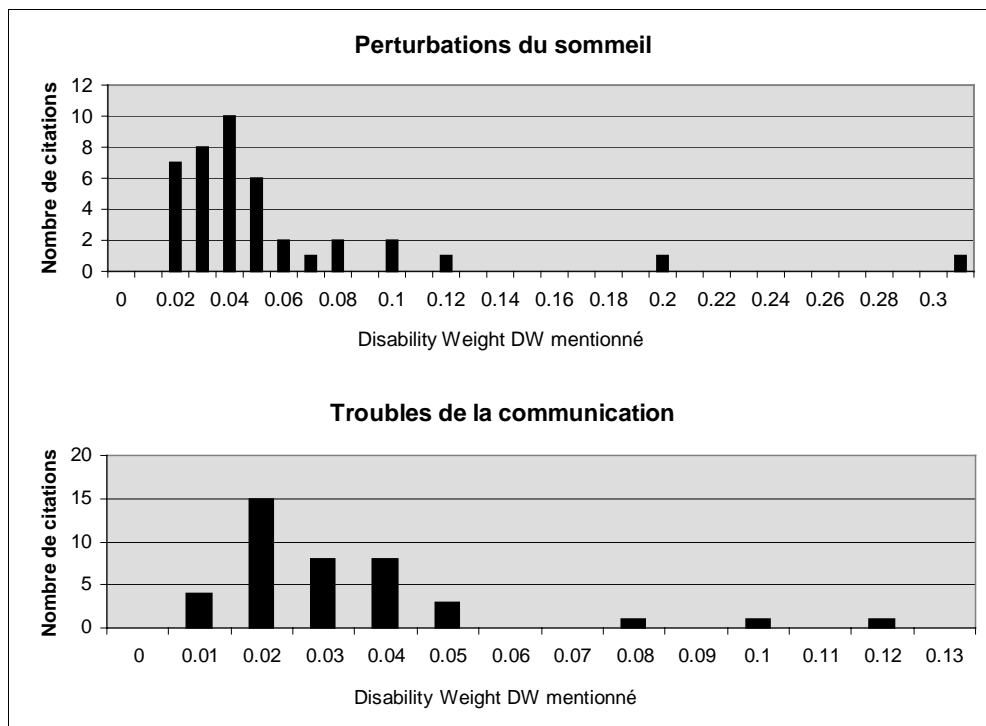
Il ressort des chapitres qui précèdent que les atteintes à la santé imputables au bruit (perturbations du sommeil et de la communication) pour 1000 véhicules-kilomètres effectués sur des itinéraires indéfinis du réseau routier suisse pourraient s'écarter des chiffres du tableau 15, valeurs que l'on peut interpréter comme les plus probables, et cela, essentiellement à cause des points suivants:

- Le résultat de l'*analyse de propagation* dans le tableau 5 (nous allons le répéter ici) ne prétend pas refléter le bruit réel occasionné par un transport supplémentaire, mais bien plus l'apport théorique de ce processus de transport à l'évolution des volumes de transport et à l'évolution du niveau acoustique moyen annuel qui en résulte sur l'ensemble du réseau routier. Le fait que le bruit supplémentaire effectif, physiquement mesurable, engendré par le transport supplémentaire se répartisse en chaque point du réseau routier de manière entièrement différente du DeltaLeq – lequel représente l'élévation du niveau acoustique pour l'ensemble du réseau routier pendant une année *entière* – *n'est donc pas* un écart au sens de considérations d'incertitude. En revanche, les considérations d'incertitude donneront probablement des écarts sensibles par rapport aux chiffres indiqués dans le tableau 5 si, sur les différents tronçons du réseau routier, les transports se développent d'une manière non proportionnelle à la distribution du trafic durant l'année 1995 prise pour référence ou si les vitesses de déplacement v et les déclivités i sur le réseau routier s'écartent sensiblement des hypothèses. Cependant, en s'appuyant sur le modèle mathématique du tableau 4, on peut étudier les variations des DeltaLeq qui se produisent lorsqu'on fait varier les données initiales correspondantes: si l'on élève jusqu'à 10% la part du trafic autoroutier au détriment des autres catégories de routes, ou si l'on abaisse (partout 60 km/h) ou augmente les vitesses (autoroute 120 km/h, hors localités 80 km/h), ou encore si l'on augmente les déclivités jusqu'à 5%, les DeltaLeq qui en résultent pour 1000 véhicules-kilomètres varient dans un domaine de $\pm 10\%$ environ, c'est-à-dire dans des limites étroites. Par conséquent, nous admettons que l'intervalle de confiance (95%) pour les DeltaLeq du tableau 5 oscille entre 0,9 et 1,1 fois les valeurs indiquées.
- Le résultat de l'*analyse d'exposition* du tableau 6 est affecté de deux types d'incertitude: d'une part, l'incertitude inhérente au modèle LUK appliqué dans le canton de Zurich; d'autre part, l'incertitude qui découle de l'extrapolation effectuée à l'ensemble de la population résidant en Suisse, à partir d'une base de 10,5% de cette population. Il faut cependant considérer que, à cause des relations dose-effet admises comme étant linéaires, seule revêt un intérêt la question de savoir quelle est l'incertitude qui affecte l'estimation du nombre de personnes exposées à des niveaux acoustiques supérieurs à 54,9 dB DE JOUR et à 45,9 dB DE NUIT (voir tableau 6). Le tableau 6 montre que ces limites se situent malheureusement près du maximum des courbes de distribution. Cela signifie que le nombre de personnes touchées augmente ou diminue d'environ 10% si une «colonne de décibels» est ajoutée ou abandonnée pour le calcul des nombres de personnes concernées dans le tableau 11. En l'absence de détails plus précis, nous pensons que l'intervalle de confiance (95%) pour les nombres de personnes touchées devrait se situer entre 0,8 et 1,2 fois les chiffres du tableau 11. Cet intervalle de confiance est assez plausible si on le compare avec les écarts entre les données de l'OFEFP et celles du LUK pour la ventilation de la population dans les niveaux de bruit de la route tels qu'ils ressortent de (MÜLLER-WENK 1999, p.41 tab. 7–4).
- De par sa nature, l'*analyse des effets* est affectée d'une relativement grande incertitude: la question de savoir si une personne vivant dans une maison est dé-

rangée «au moins une fois par semaine» et globalement «fortement dérangée» dans son sommeil en présence d'un niveau moyen donné LAeq mesuré contre la façade extérieure du bâtiment, débouche sur un grand éventail de réponses. Les résultats de la meta-analyse de MIEDEMA reproduits au tableau 10 donnent une idée de l'éventail des réponses possibles qui, cependant, peuvent être conditionnées par des méthodes de mesure différentes, par la qualité de la construction et les conditions de vie dans les différents pays. Bien que l'on ne puisse pas inscrire sans autres la caractéristique dose-effet résultant de l'étude «Lärmstudie 90» dans le graphique du tableau 10, il semble plausible d'affirmer que, dans le domaine Ldn 55–70 dB important du point de vue pratique, on pourrait aussi inscrire dans le graphique des courbes qui admettraient la part des «highly annoyed» comme étant environ 50% plus élevée ou plus faible que celle considérée dans la caractéristique du tableau 9. Sur la base de ces considérations, nous pouvons admettre que l'intervalle de confiance (95%) applicable à l'augmentation des cas d'atteintes à la santé pour 100 personnes concernées, rapportée à une élévation du niveau acoustique de 1 micro-décibel, devrait se situer entre 0,6 et 1,5 fois les valeurs du tableau 11.

- Les estimations des «disability weights» proposées par le panel des médecins dans le cadre de l'*analyse des dommages* sont présentées une fois encore sous forme graphique dans le tableau 17 ci-dessous selon la notation DW_{OMS} . Ainsi peut-on voir aisément comment les 41 indications données par les participants se dispersent autour des moyennes arithmétiques de 0,055 pour les perturbations du sommeil et de 0,033 pour les troubles de la communication. Ici, il est possible de déterminer statistiquement l'intervalle de confiance des moyennes si l'on admet que les chiffres fournis par les 41 médecins représentent un échantillon aléatoire d'un plus grand ensemble de personnes donnant leur avis. Si, à partir de cet ensemble de base de personnes donnant leur avis, on avait extrait d'autres échantillons de l'ordre de 41 personnes, on aurait obtenu d'autres moyennes que 0,055 et 0,033, et l'ensemble de ces moyennes présenterait approximativement une distribution normale. Dans ces circonstances, on peut calculer statistiquement (voir BLEYMÜLLER 2000, p. 87), que les «vraies» moyennes arithmétiques de l'ensemble de base inconnu se situeraient avec une probabilité de 95% dans les plages suivantes: pour les perturbations du sommeil entre 0,71 et 1,29 fois la moyenne de l'échantillon de 0,055, et pour les troubles de la communication entre 0,79 et 1,21 fois la moyenne de l'échantillon de 0,033. Le fait que la dispersion soit un peu plus grande dans le cas des perturbations du sommeil se reflète aussi dans le graphique du tableau 17.

Tableau 17:
 Histogrammes des «disability weights» pour les perturbations du sommeil et de la communication, tels que mentionnés par les 41 médecins du panel. Les DW correspondent aux valeurs du tableau 13, mais sont indiqués ici dans la notation DW_{OMS}



En résumé, on peut dire que l'intervalle de confiance caractérisant les nuisances dues au bruit du trafic routier indiquées dans le tableau 15 exprimées en DALY pour 1000 véhicules-kilomètres est déterminé par les quatre intervalles de confiance suivants:

- **analyse de propagation:** 0,9 à 1,1 fois les valeurs DeltaLeq indiquées au tableau 5;
- **analyse d'exposition:** 0,8 à 1,2 fois les nombres de personnes concernées indiqués au tableau 11;
- **analyse des effets:** 0,6 à 1,5 fois les pourcentages de personnes, indiqués au tableau 11, pour lesquelles l'effet significatif pour la santé entre en ligne de compte lorsque le niveau acoustique augmente;
- **analyse des dommages:** pour les troubles de la communication, 0,79 à 1,21 fois la valeur DW_{OMS} indiquée; pour les perturbations du sommeil, 0,71 à 1,29 fois la valeur DW_{OMS} indiquée au tableau 14.

Nous renonçons ici à faire un véritable calcul de l'intervalle de confiance pour les valeurs DALY pour 1000 véhicules-kilomètres du tableau 15, parce que l'on a trop peu de connaissances des fonctions de distribution des trois premiers modules. Ces fonctions de distribution, on devrait cependant les connaître dans une certaine mesure si l'on voulait effectuer des simulations Monte-Carlo de l'enchaînement des incertitudes des 4 modules.

Il semble plus indiqué de proposer une estimation sommaire de l'intervalle de confiance à 95% des valeurs DALY pour 1000 véhicules-kilomètres du tableau 15. On

peut, à cet effet, dire que les facteurs nécessaires pour déterminer la limite inférieure et la limite supérieure à partir des valeurs du tableau 15,

- d'une part, sont un peu plus dispersés que les facteurs du module affecté de la plus grande incertitude (analyse des effets avec les facteurs 0,6 et 1,5),
- d'autre part, ne sont de loin pas aussi fortement dispersés que le produit des facteurs des 4 modules pour la limite inférieure et pour la limite supérieure (0,34 et 2,4 pour les troubles de la communication; 0,31 et 2,5 pour les perturbations du sommeil).

Nous en concluons que les «vraies» valeurs des atteintes à la santé peuvent se situer entre la moitié et le double des valeurs DALY/1000 véhicules-kilomètres indiquées au tableau 15.

6 Considérations finales

Dans ce chapitre, il nous faut aborder encore trois questions:

- Quelle importance le préjudice porté à la santé humaine du fait du bruit du trafic routier a-t-il comparativement à d'autres atteintes?
- Pourrait-on adapter la méthode développée au traitement d'autres types de bruit, en particulier au bruit du chemin de fer ou de l'aviation?
- La méthode convient-elle aussi au traitement du bruit du trafic routier hors de la Suisse?

6.1 L'importance des atteintes à la santé dues au bruit du trafic routier

Après avoir montré comment on peut transformer en une chaîne de liens de cause à effet les préjudices portés à la santé de l'être humain par le bruit occasionné par un transport routier et comment on peut les calculer quantitativement, il se pose immédiatement la question de savoir quelle est l'ampleur de ces préjudices comparativement à d'autres atteintes générées par d'autres sources et d'autres voies d'action.

Une telle comparaison entre les atteintes à la santé dues au bruit de la route et celles que génèrent les gaz d'échappement d'un moteur diesel de camion a été effectuée dans (MÜLLER-WENK 1999, p.52–54). Ce document montre que les émissions de substances (CO, NO_x, HC, PM₁₀) du moteur diesel d'un poids lourd provoquent une atteinte à la santé égale à $1,14 \cdot 10^{-3}$ DALY pour 1000 véhicules-kilomètres. Comparativement, d'après le tableau 15, les atteintes à la santé provoquées par le bruit d'un camion équivalent à $1,3 \cdot 10^{-3}$ DALY pour 1000 véhicules-kilomètres dans le cas des trajets effectués la journée, et à $26 \cdot 10^{-3}$ DALY pour 1000 véhicules-kilomètres dans le cas des trajets nocturnes. Il en découle que les atteintes à la santé dues au bruit des poids lourds sont du même ordre que celles que génèrent les émissions de substances de leurs moteurs diesel pendant la journée, mais qu'elles sont nettement plus élevées pendant la nuit. Les graves conséquences des gaz d'échappement et des émissions de particules produits par le trafic routier étant connues, le résultat mis en évidence ici devrait contribuer à ce que le débat public accorde la place qui devrait être celle des stratégies à mettre en œuvre pour éviter les atteintes à la santé dues au bruit.

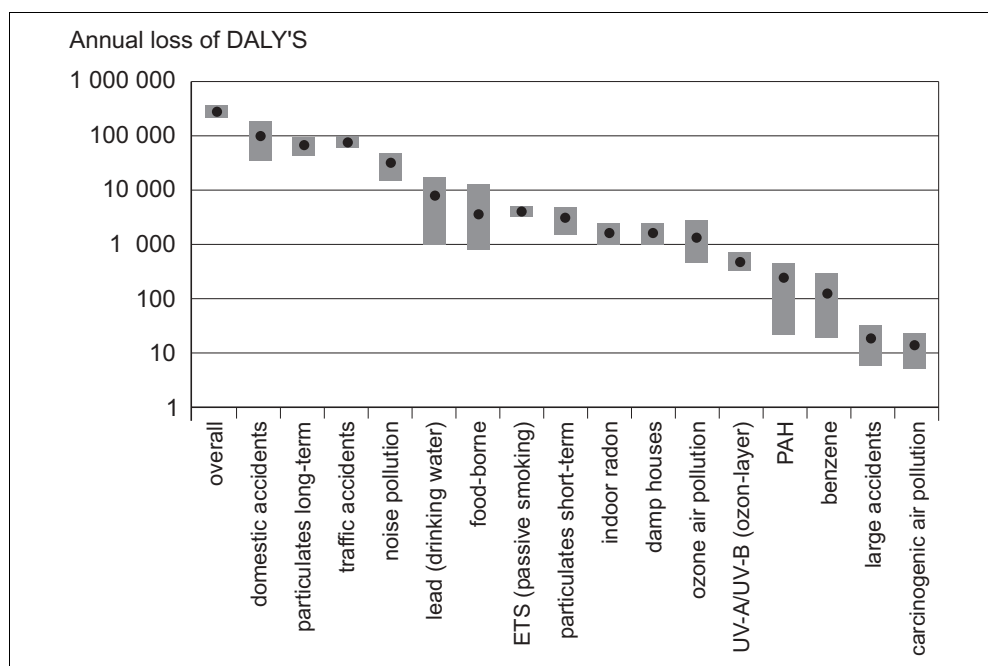
Ce résultat entre tout à fait dans tableau brossé par deux autres études dans le cadre desquelles des comparaisons similaires ont été effectuées. Dans les deux cas, cependant, la comparaison se heurte à des limites.

A la faveur du «Fourth Dutch National Environmental Outlook», une étude a été réalisée dans le but de déterminer quantitativement et de manière exhaustive les atteintes à la santé de la population néerlandaise dues à des facteurs environnementaux (DE HOLLANDER 1999). En l'occurrence, on a dressé des tableaux en unités DALY des atteintes à la santé exprimées sous la forme d'années de vie perdues (décès) et d'années de maladie (maladie) pour chaque type d'atteinte, et on les a groupés par sources de nuisances. On a réuni les nuisances dues au bruit produit par toutes les sources (et pas seulement par le trafic routier) et on a considéré comme

effets dus au bruit les atteintes à la santé suivantes: severe annoyance, sleep disturbance, IHD hospital admissions, IHD mortality (IHD = ischemic heart disease). Le résultat est récapitulé au tableau 18. Le graphique montre que le bruit (résultant essentiellement du trafic routier aux Pays-Bas aussi) occupe une position importante parmi les nuisances environnementales proprement dites, et se place tout près des accidents de la route quant à l'étendue quantitative des dommages.

Tableau 18:

Préjudices annuels à la santé exprimés en disability adjusted life years DALY pour la population néerlandaise du fait de quelques nuisances environnementales. Le graphique montre les valeurs escomptées ainsi que les percentils 5 et 95 de l'intervalle de probabilité. (DE HOLLANDER 1999)



Les calculs effectués par ISING (ISING 2000) sont également intéressants. Ils ne prennent en compte que les décès – mais pas les années de vie perdues ou les maladies n'ayant pas d'issues fatales –, et cela, rapportés à la population de l'Allemagne. Les résultats de (ISING 2000, tableau 4) se traduisent par les nombres de décès annuels suivants:

- Décès dus à des infarctus imputables au bruit de la route 1800
- Somme des décès dus aux poussières fines (PM10) 61400
- Décès dus au cancer des poumons imputables à la fumée passive 500
- Décès dus à des maladies cardiaques ischémiques imputables à la fumée passive 9500

Si l'on considère encore l'enseignement que nous avons tiré plus haut (tableau 16) selon lequel les atteintes à la santé de type «perturbations du sommeil et de la communication» occasionnées par le bruit de la route, exprimées en DALY, sont d'au moins un ordre de grandeur plus élevées que l'atteinte à la santé de type «décès dus à un infarctus», il résulte que les préjudices occasionnés par le bruit de la route sont, sur le territoire de l'Allemagne, du même ordre de grandeur que les décès dus aux poussières fines et ceux dus à la fumée passive, c'est-à-dire dus à l'inhalation forcée de la fumée du tabac d'autres personnes.

6.2 Autres sources de bruit: chemin de fer et trafic aérien

Le présent travail se concentre sur les conséquences du bruit du trafic routier pour la santé de l'être humain, tandis que le bruit du chemin de fer et celui de l'aviation sont laissés de côté dans un premier temps du fait de leur moindre importance. Grâce à la structure modulaire de la méthode, il est cependant possible de l'adapter au traitement de ces deux types de bruit en ajustant certains modules de l'analyse et en en reprenant d'autres tels quels.

Sous l'angle du bruit, le chemin de fer est une source qui, comparée à la route, se caractérise par le fait que le réseau de transport est sensiblement moins dense que le réseau routier, surtout s'agissant du trafic marchandises. Par ailleurs, à niveau acoustique identique, on considère que le bruit du chemin de fer a un moindre impact sur l'être humain que le bruit de la route. C'est pour cette raison d'ailleurs que l'article 35 de l'ordonnance fédérale du 12.12.1986 sur la protection contre le bruit accorde au bruit du chemin de fer un bonus de 5 dB par rapport au bruit de la route.

Eu égard au maillage relativement grossier du réseau ferroviaire, le cas de l'itinéraire de transport *connu* prend le pas sur le cas de l'itinéraire *inconnu* pour l'analyse de propagation. Pour déterminer le DeltaLeq on dispose dans le cas du trafic ferroviaire d'équations analogues à celles du tableau 1. Dans le contexte de l'obligation d'assainir les bâtiments exposés à des nuisances sonores excédant la valeur limite légale, il existe, pour ce qui est des Chemins de fer fédéraux suisses des cadastres de l'exposition au bruit qui donnent les valeurs LAeq pour les bâtiments situés de part et d'autre des voies ferrées, ce qui permet de calculer le nombre des personnes concernées pour l'analyse de l'exposition. L'analyse des effets du bruit du chemin de fer peut être déduite avec une précision suffisante de la caractéristique dose-effet du bruit du trafic routier déterminée dans cette étude, soit que l'on applique le facteur de correction mentionné plus haut en fonction de l'article 35 de l'ordonnance sur la protection contre le bruit, soit que l'on prenne en considération la diversité des caractéristiques dose-effet de la meta-analyse de MIEDEMA. Enfin, s'agissant de la détermination des «disability weights» dans l'analyse des dommages, il n'y a pas de différence entre le bruit de la route et celui du chemin de fer. Une proposition d'adaptation du modèle existant de calcul des atteintes à la santé dues au bruit du trafic routier au cas du trafic ferroviaire a été faite dans le cadre d'un travail de semestre à l'EPFZ (PFISTER 2001).

Pour ce qui est du bruit de l'aviation, ce ne sont pas les segments du réseau aérien international qui viennent au premier plan, mais les niveaux acoustiques sur les surfaces au voisinage des aéroports. On dispose de modèles mathématiques permettant de déterminer l'élévation de ces niveaux DeltaLeq du fait de décollages et d'atterrissages supplémentaires. Mais, au contraire du bruit de la route et du chemin de fer, les DeltaLeq ne peuvent pas être exprimés pour 1000 véhicules-kilomètres, mais uniquement en fonction du nombre de mouvements d'avions sur un aéroport car les trajets accomplis entre le décollage et l'atterrissage ne jouent aucun rôle dans l'optique de l'analyse des effets du bruit. Dans le cas des aéroports nationaux suis-

ses, il existe pour l'analyse d'exposition des cadastres d'exposition au bruit grâce auxquels on peut calculer le nombre de bâtiments concernés et, partant, des habitants exposés. On pourrait tirer de la base de données de l'étude suisse «Lärmstudie 90» une information sur la caractéristique dose-effet du bruit de l'aviation. Les «disability weights» de l'analyse des dommages peuvent eux aussi être repris de l'étude du bruit du trafic routier.

Pour la situation spécifique de la Suisse, l'extension au bruit du chemin de fer ou de l'aviation de la méthode développée pour calculer les atteintes à la santé imputables au bruit du trafic routier ne pose donc, a priori, aucune difficulté majeure.

6.3 Transposition des résultats au traitement du trafic routier hors de la Suisse

La méthode développée dans la présente étude de détermination quantitative des atteintes à la santé humaine en Suisse imputables à l'accroissement du trafic routier sous forme de véhicules-kilomètres est transposable aux conditions régnant dans d'autres pays. Cependant, la disponibilité parfois réduite des données peut compliquer ou rendre pratiquement impossible la réalisation des analyses de propagation, d'exposition et des effets.

Les résultats exprimés en DALY pour 1000 véhicules-kilomètres devraient varier d'un pays européen à l'autre, et cela surtout parce que la fréquentation des réseaux routiers nationaux, exprimés en VT-kilomètres et en PL-kilomètres par unité de longueur et par année, varie d'un pays à l'autre et parce que l'organisation du territoire et la protection de la population le long des axes du réseau routier sont, elles aussi, propres à chaque pays. En revanche, les résultats des analyses des effets et des dommages devraient peu diverger d'un pays à l'autre.

Une méthode très sommaire a été proposée dans (MÜLLER-WENK 1999, chapitre 10) pour diviser les pays européens en 3 groupes, compte tenu, premièrement, de données générales sur les prestations globales annuelles de transport, deuxièmement de la longueur des réseaux routiers et, troisièmement, de la ventilation de la population dans les classes de niveaux acoustiques LAeq imputables au trafic routier. Ces trois groupes sont les suivants: «low noise» (Finlande, Suède, Danemark), «high noise» (Espagne, Slovaquie) et «medium noise» (autres pays). A cet effet, proposition a été faite, en guise de solution provisoire, d'appliquer au groupe «medium noise» les valeurs suisses DALY/ 1000 véhicules-kilomètres, de diviser ces valeurs par deux pour le groupe «low noise» et de les multiplier par quatre pour le groupe «high noise».

Cette hypothèse de travail très grossière peut sans aucun doute être améliorée par le recours à des banques de données sans cesse meilleures dans le domaine du trafic routier et du bruit dont il est responsable dans les différents pays pour appliquer, pays par pays, la méthode proposée dans le présent travail.

7 Bibliographie

- BLEYMÜLLER, J. et al. 2000: Statistik für Wirtschaftswissenschaftler, 12. Auflage, München 2000
- DE HOLLANDER, A.E.M. et al. 1999: An Aggregate Public Health Indicator to Represent the Impact of Multiple Environmental Exposures, *Epidemiology* 1999;10:606–617
- ECOPLAN 2000: Externe Lärmkosten des Verkehrs: Hedonic Pricing Analyse, Entwurf Schlussbericht Mai 2000, Bern 2000
- EUROSTAT 1995: Europe's Environment, Statistical Compendium, Luxemburg 1995.
- GOEDKOOP, M., SPRIENSMA, R. 1999: The Eco-Indicator 99, Methodology Report, auf: <http://www.pre.nl/eco-indicator99/ei99-reports.html>
- GVF; SOMMER, H. et al. 1998: Externe Lärmkosten des Verkehrs, Schlussbericht Vorstudie I im Auftrag des Dienstes für Gesamtverkehrsfragen GVF des Eidg. Departement für Umwelt, Verkehr, Energie u. Kommunikation, 1998
- HOFSTETTER, P. 1998: Perspectives in Life Cycle Impact Assessment, Boston 1998
- ISING H. 2000: Das Herzinfarkttrisiko aufgrund von Verkehrslärm im Vergleich zu Krankheitsrisiken durch Luftverschmutzung, Referattext 9. Konferenz Verkehrslärm 29.9.-1.10.2000 in Dresden.
- JB, Stat. Jahrbuch des Kantons Zürich 2001, Zürich 2000
- MIEDEMA, H.M.E.; Vos, H. 1998: Exposure-response relationships for transportation noise, *J. Acoust.Soc.Am* 104 (6), December 1998, p. 3432–3445
- MÜLLER-WENK, R. 1999: Life-Cycle Impact Assessment of Road Transport Noise, IWOE-Diskussionsbeitrag Nr. 77, 1999, auf: <http://www.iwoe.unisg.ch>
- MURRAY, Chr. et al. 1996: The Global Burden of Disease, OMS 1996
- OFEFP 1991: Modèle de bruit du trafic routier dans les zones habitées, Cahier de l'environnement n° 15, 3^e édition, Berne 1991
- OFEFP 1995: Emissions polluantes du trafic routier 1950–2010, Cahier de l'environnement n°255, Berne 1995
- OFEFP 1997: Rapport sur l'environnement 1997, Berne 1997
- OFEFP 2002: Lutte contre le bruit en Suisse, Cahier de l'environnement n°329, Berne 2002
- OFROU, Office fédéral des routes 1998: Comptage automatique du trafic routier 1997, Berne 1998
- OFS, Office fédéral de la statistique 1995: Comptage suisse de la circulation routière de 1995, Statistique de la Suisse, volume 11 Transports et communications, avec carte «trafic journalier moyen des véhicules à moteur», Berne 1996
- OFS, Office fédéral de la statistique 2001: Schriftliche Mitteilung von Erwin Wüest an R. Müller-Wenk vom 17.10.2001 über statistische Zahlen zu Acute myocardial infarction ICD I21
- OLIVA, C. 1998: Belastungen der Bevölkerung durch Flug- und Strassenlärm, Berlin 1998.
- OMS; Berglund, B., Lindvall, Th., Schwela, D.H. (ed) 2000: Guidelines for Community Noise, World Health Organization Geneva, auf <http://www.who.int/peh/noise/noiseindex.html>
- PFISTER, S. et al. 2001: Lärm in Gütertransport-Ökobilanzierungen, in ETH-UNS Fallstudie 2000 – Zukunft Schiene Schweiz, S.181–202, Verlag Rüegger, Zürich, 2001
- STOUTHARD, M.E.A. et al. 1997: Disability Weights for Diseases in the Netherlands, Rotterdam 1997

- SUVA; Staubli, B. 1997: Belästigender Lärm am Arbeitsplatz, Schweizerische Unfallversicherungsanstalt SUVA, Luzern 1997
- THIEME; FLASNOECKER, M (ed.) 1999: THIEMES Innere Medizin, Stuttgart 1999
- UBA, Umweltbundesamt 2000: Fluglärmwirkungen, Berlin 2000
- UBA; Rothengatter, W. et al. 1998: Entwicklung eines Verfahrens zur Aufstellung umweltorientierter Fernverkehrskonzepte als Beitrag zur Bundesverkehrswegeplanung, Schlussbericht, UBA-FB Nr. 10506001, 1998
- VGDHS, Victorian Government Department of Human Services 1999: Victorian Burden of Disease Study: Morbidity, Melbourne 1999 auf <http://www.dhs.vic.gov.au/phd/9903009/index.htm>

Annexe

Information/Questionnaire aux médecins de la SUVA

1. Information quant au problème à traiter

De grands efforts sont consentis actuellement en vue de déterminer de manière objective et probante les retombées écologiques du trafic sur la santé de l'être humain.

Cela a déjà été fait pour les émissions des gaz d'échappement: on dispose de données sur les quantités d'émissions pour 1000 km de trajets accomplis par des catégories données de moyens de transport, et de modèles permettant de déterminer, à partir de ces données, les élévations marginales de la concentration des gaz polluants dans l'air. De plus, il existe des études épidémiologiques qui évaluent le nombre de cas de maladie par million de personnes en fonction des concentrations des gaz polluants. Grâce à ces données, on peut obtenir des informations de type «combien de cas supplémentaires de cancer des voies respiratoires sont-ils probables si un million de camions-kilomètres supplémentaires sont accomplis?».

Il est un peu plus difficile d'obtenir des chiffres concrets dans le cas du bruit. Certes, nous pouvons déterminer aujourd'hui l'intensité avec laquelle croît le «niveau acoustique permanent équivalent LeqA», qui mesure l'exposition au bruit, lorsque 1000 km supplémentaires sont parcourus avec un moyen de transport donné. Il existe aussi des chiffres qui permettent de répondre à la question de savoir quelles sont les atteintes que subissent les personnes dérangées par le bruit, et quel est le nombre des cas correspondants en fonction de l'intensité de l'exposition au bruit.

Mais le problème, dans le cas des conséquences du bruit sur la santé, réside dans le fait qu'il est difficile de décrire clairement le relativement faible préjudice et de l'observer objectivement chez les personnes qui la subissent. Dans ce contexte, on utilise donc souvent l'expression quelque peu vague d'indisposition, de gêne ou de malaise (en anglais: annoyance), et l'on définit la survenance de la gêne moins sur la base de diagnostics médicaux que par sondage auprès des personnes concernées (social survey). Cela dit, il existe un consensus selon lequel le bruit des transports induit chez les gens des perturbations du sommeil (sleep disturbance) durant la nuit et des troubles de la communication (communication disturbance) la journée; des études empiriques démontrent de manière fiable que ces dérangements surviennent d'autant plus fréquemment que le niveau acoustique LeqA augmente dans le domaine situé entre 45 et 80 décibel.

On estime que le bruit des transports peut provoquer d'autres atteintes à la santé humaine. On cite notamment des maladies cardiaques ou psychiques, mais leur relation avec le bruit n'est pas encore suffisamment démontrée à ce jour.

En Suisse, des centaines de milliers de personnes souffrent de troubles du sommeil ou de la communication imputables au bruit des transports. Ces atteintes peuvent donc aussi prendre une ampleur générale importante même si l'on admet les «perturbations du sommeil» ou les «troubles de la communication» comme étant des atteintes minimales à la santé de l'individu pris isolément. Le but étant d'évaluer quantitativement les dommages dus au bruit, il est donc important d'obtenir des dé-

clarations bien étayées quant à la gravité relative des atteintes à la santé imputables au bruit des transports.

Nous tenons à exprimer ici notre reconnaissance au panel de médecins de la SUVA qui participe à cette évaluation.

Sur la base des travaux de MURRAY, l'OMS a créé un système permettant de faire une évaluation quantitative complète de l'état de santé de la population d'un pays: à l'aide d'une unité de mesure baptisée DALY (disability adjusted life years), ce système détermine le nombre d'années de vie, d'une part, perdues du fait de décès prématurés ou, d'autre part, ne pouvant être vécues que dans une moindre mesure à cause d'atteintes à la santé. L'atteinte à la santé ou incapacité (en anglais: disability) est exprimée par rapport à la parfaite santé, à l'aide de facteurs appelés «disability weights», consignés dans des tableaux en fonction de la gravité de l'atteinte. Les tableaux de l'OMS s'appliquent au monde entier, raison pour laquelle ils sont fortement centrés sur les maladies survenant hors des pays industrialisés développés. C'est aussi pourquoi, récemment, des études ont été effectuées en Hollande, en Australie et dans l'UE afin de permettre de compléter les tableaux de l'OMS par les pathologies plutôt caractéristiques des pays développés. En dépit de cela, il manque des «disability weights» pour les «perturbations du sommeil» et les «troubles de la communication» imputables au bruit.

C'est précisément cette lacune que nous souhaitons combler. Nous allons donc décrire ici les deux cas «perturbations du sommeil» et «troubles de la communication». Parallèlement, nous présentons un extrait des listes des «disability weights» existant actuellement. Nous invitons ensuite les médecins de la SUVA à intégrer dans ces listes les «perturbations du sommeil» et les «troubles de la communication» par comparaison avec les cas qui y figurent déjà. A partir des comparaisons, on devrait obtenir une estimation de la valeur des «disability weights» pour les deux cas considérés.

2. Extrait de la liste des «disability weights» existants

La sélection ci-après des «disability weights» est extraite de:

- STOUTHARD M. et al.: Disability Weights for Diseases in The Netherlands
- Victorian Government, Department of Human Services: The Victorian Burden of Disease Study: Morbidity)
- MURRAY J.L.: The Global Burden of Disease

Les «disability weights» sont exprimés de telle sorte qu'une valeur de 0,000 signifie la mort, tandis qu'une valeur de 1,000 indique une parfaite santé. Par conséquent, les altérations graves de l'état de santé prennent une valeur proche de 0,000, alors que les «disability weights» d'atteintes légères sont de très peu inférieurs à 1,000. La sélection ci-après de «disability weights» extraits de plusieurs centaines de cas a été effectuée de telle sorte que:

- elle contienne des cas d'altérations de fonctions physiques et mentales répartis dans tout le domaine de 0,000 à 1,000, afin de montrer comment l'espace entre «mort» et «parfaite santé» a été subdivisé;

- dans le domaine de 0,900 à 1,000 (atteintes légères), elle renferme des cas relativement faciles à comparer avec les dérangements imputables au bruit des transports, parce qu'ils se manifestent par des difficultés de compréhension ou par des conséquences similaires à des perturbations du sommeil.

Désignation de l'état	Source du disability weight	Disability weight
Full health		1.000
Dental disease: Periodontal disease (gingivitis)	Dutch 34.2	1.00
Dental disease: Periodontal disease (pockets >6mm deep)	Dutch 34.3	0.99
Mild vision disorder (some difficulty reading small newspaper print, no difficulty recognizing faces at 4 m distance)	Dutch 22.1	0.98
Adult-onset mild hearing loss (25–34 dBHTL)	Victorian K8d	0.98
Mild to moderate asthma (symptom-free with or without maintenance therapy)	Dutch 28.1	0.97
Adult-onset mild hearing loss (35–44 dBHTL):(some difficulty understanding or actively participating in a conversation with one or more persons)	Victorian K8d	0.96
Benign prostatic hypertrophy (symptomatic cases)	GBD	0.96
Chronic Hepatitis B infection without active viral replication	Dutch 4.4	0.94
Uncomplicated diabetes mellitus	Dutch 13.1	0.93
Mild stable angina pectoris (NYHA 1–2)	Dutch 26.1	0.92
Mental retardation (IQ 70–84)	Dutch 17.5	0.91
Problem drinking (some physical, psychological or social problems caused by excessive alcohol intake)	Dutch 18.1	0.89
Mild to moderate congenital or early acquired hearing disorder	Dutch 23.1	0.89
Moderate hearing disorder in elderly (some difficulty to understand or participate in a conversation with one person but great difficulties with conversations with more than one person)	Dutch 24.2	0.88
Osteoarthritis (grade 2) of hip or knee	Dutch 39.1	0.86
Diabetes mellitus with neuropathy	Dutch 13.2	0.81
Diabetes mellitus with nephropathy	Dutch 13.3	0.71
Mild mental handicap (IQ 50–69)	Dutch 17.1	0.71
Severe asthma (not symptom-free despite maintenance medication)	Dutch 28.2	0.64
Severe hearing disorder acquired as an adult (great difficulty to understand or participate in a conversation with one person)	Dutch 24.3	0.63
Chronic hepatitis B with active viral replication	Dutch 4.5	0.64
Severe vision disorder (unable to read small newspaper print, great difficulty to recognize faces faces at 4 m distance)	Dutch 22.3	0.57
Moderate mental handicap (IQ 35–49)	Dutch 17.2	0.57
Severe stable angina pectoris (NYHA 3)	Dutch 26.2	0.43
Paraplegia, stable stage	Dutch 47.4	0.43
Extreme mental handicap (IQ <20)	Dutch 17.4	0.24
Tetraplegia, stable stage	Dutch 47.5	0.16
Severe dementia (permanent supervision required)	Dutch 14.3	0.05
Death		0.00

Pour comprendre la liste, il est important de savoir que les «disability weights» se rapportent à une durée uniforme de l'état, par exemple une année, et qu'ils se réfèrent toujours à l'état de santé actuel décrit, tandis que d'éventuels stades ultérieurs sont traités séparément et donc affectés de «disability weights» distincts. Par ailleurs, il faut se rappeler que le disability weight se rapporte à l'état permanent qui succède à un éventuel traitement médical, et non pas aux états transitoires juste après le traitement.

3. Description des perturbations du sommeil et des troubles de la communication consécutifs au bruit du trafic routier

Pour permettre de comparer les atteintes subies par des riverains exposés au bruit du trafic routier avec les cas énumérés dans la liste ci-dessus, voici une description des deux cas considérés.

Perturbations du sommeil dues au bruit du trafic (sleep disturbance)
<p>Description:</p> <p>Les effets primaires des perturbations du sommeil dues au bruit du trafic sont</p> <ol style="list-style-type: none"> des retards dans l'endormissement, le réveil durant la nuit ou le réveil prématuré le matin, des modifications du déroulement du sommeil durant la nuit, en particulier le raccourcissement de la phase de sommeil REM. <p>Ces effets peuvent s'accompagner d'une augmentation de la tension artérielle et du rythme cardiaque, d'un rétrécissement des vaisseaux sanguins, d'une augmentation des mouvements du corps. Comme effets secondaires, on peut citer, le matin, une fatigue accrue au réveil suite à une «mauvaise nuit», et une humeur dépressive.</p> <p>Outre ces troubles effectifs, il existe des perturbations potentielles du sommeil que l'on évite en fermant les fenêtres de la chambre à coucher, en introduisant des tampons auriculaires ou en prenant régulièrement des somnifères. Sont significatifs sous l'angle de la santé les 10–20 cas de consommation régulière de somnifères sur 100 cas de perturbations effectives du sommeil.</p> <p>Il y a «sleep disturbance» lorsque au moins un de ces effets apparaît plusieurs fois par semaine, voire quotidiennement, du fait d'une exposition accrue au bruit des transports durant la nuit.</p>
<p>Référentiel de comparaison pour l'estimation du disability weight: Pour faciliter la définition d'un disability weight pour les «sleep disturbance» vous pouvez considérer que les atteintes suivantes à la santé agissent dans une direction similaire aux nuisances nocturnes dues au bruit de la route:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Benign prostatic hypertrophy (symptomatic cases), avec un disability weight de 0,96 • Mild to moderate asthma (symptom-free with or without maintenance therapy), avec un disability weight de 0,97 <p>Dans ces deux cas, le sommeil est perturbé par la nécessité d'uriner ou par des difficultés respiratoires.</p>

**Perturbations de la communication dues au bruit du trafic
(communication disturbance)**

Description:

Les troubles de la communication dus au bruit des transports se produisent surtout la journée dans les locaux d'habitation et de travail. Les effets primaires sont

- a) difficultés de compréhension lors d'une conversation à voix normale,
- b) perturbations durant l'écoute de la radio ou de la TV ainsi que d'autres appareils audio,
- c) capacité de concentration réduite au travail du fait de l'absence de calme.

Comme effet secondaire, on observe de la nervosité, une humeur irritable voire des maux de tête.

Les personnes concernées réagissent souvent à l'apparition effective de troubles de la communication en parlant plus fort que la normale (45–50 dB(A)) et en augmentant le volume de leurs appareils audio.

Il y a «communication disturbance» lorsque au moins un de ces effets apparaît plusieurs fois par semaine, voire quotidiennement, du fait d'une exposition accrue au bruit des transports durant la journée.

Référentiel de comparaison pour l'estimation du disability weight: La fixation d'un disability weight pour les «communication disturbance pourrait vous être facilitée si vous considérez que les atteintes suivantes à la santé agissent dans une direction similaire sur la communication acoustique:

- Adult-onset mild hearing loss (25–34 dBHTL), avec un disability weight de 0,98
- Adult-onset mild hearing loss (35–44 dBHTL) (some difficulty understanding or actively participating in a conversation with one or more persons), avec un disability weight de 0,96.

Dans ces deux cas de lésions auditives acquises à l'âge adulte, la communication est altérée par l'affaiblissement de l'organe de l'audition tandis que, dans la «communication disturbance», la communication est perturbée par un niveau acoustique gênant, pour autant que la personne concernée se trouve dans le champ d'action de ce niveau acoustique.

Nous vous prions de noter que les référentiels de comparaison cités n'ont aucun caractère contraignant pour vous; ils ne sont que de pures suggestions. Vous êtes entièrement libre d'estimer les «disability weights» cherchés par comparaison avec une quelconque autre position.

4. Questions posées aux médecins de la SUVA

Les questions sont les suivantes:

- Quelle valeur devrait avoir selon vous le disability weight caractérisant une «sleep disturbance» pour être pondéré correctement comparativement aux autres cas d'atteintes à la santé selon la liste de la page 2?

Réponse: __. __ __ (chiffre avec deux décimales)

- Quelle valeur devrait avoir selon vous le disability weight caractérisant une «communication disturbance» pour être pondéré correctement comparativement aux autres cas d'atteintes à la santé selon la liste de la page 2?

Réponse: __. __ __ (chiffre avec deux décimales)

Veillez noter, s'il vous plaît, que la comparaison porte toujours sur des états de santé dont il est admis qu'il demeurent stables pendant une période de même durée, p.ex. une année. On ne tiendra pas compte des stades ultérieurs éventuels d'une pathologie plus grave.

Il serait utile, pour l'interprétation de votre estimation, que vous puissiez cocher ci-dessous quelques informations vous concernant personnellement:

- Avez-vous un cabinet médical en plus de votre activité à la SUVA?

Réponse: Oui Non

- Durée de votre expérience médicale: avez-vous plus de 45 ans?

Réponse: Oui Non

- Vous sentez-vous, vous-même, exposé notablement au bruit du trafic routier à votre domicile ou sur votre lieu de travail?

Réponse: Oui Non

Cette place vous est réservée. Vous pouvez y ajouter toutes remarques personnelles complémentaires que vous jugeriez utiles à propos du présent sondage:

Nous vous sommes très reconnaissants du soutien que vous pourriez apporter à notre travail de recherche en retournant votre réponse au Dr Laszlo Matéfi, SUVA Lucerne, jusqu'au 15 octobre 2000. Monsieur Matéfi se fera un plaisir de vous donner des renseignements complémentaires par téléphone à partir du 2 octobre.