

**IMPACTS SANITAIRES DU BRUIT : ETAT DES
LIEUX
INDICATEURS BRUIT-SANTE
ANNEXES**

Novembre 2004

TABLE DES ANNEXES

ANNEXE 1 – Le signal acoustique, ses caractéristiques, sa mesure.....	4
ANNEXE 2 - Bruit ferroviaire en milieu urbain : données RATP	10
ANNEXE 3 - Bruits et vibrations liés aux transports sur voies ferrées : données SNCF.....	18
ANNEXE 4- Un exemple de campagne de sensibilisation : les concerts de sensibilisation sur les risques auditifs liés à l'écoute de musiques amplifiées	28

Table des figures

Figure 1 : Evolution de la pression de l'air en fonction du temps	4
Figure 2 : La perception du bruit	5
Figure 3 : Domaine de variation de l'intensité perçue par l'oreille	6
Figure 4 : Pondération A utilisée pour la mesure du bruit en dB(A) en fonction de la fréquence	7
Figure 5 : Evolution du nombre de plaintes concernant le bruit ferroviaire depuis 1979	10
Figure 6 : Evolution du nombre de plaintes par mode ferré (1991-2002)	11
Figure 7 : Répartition par cause des plaintes reçues en 2002	11
Figure 8 : Comparaison des filières bus en fonction des niveaux de bruit émis (interne et externe à 50 Km/h et au ralenti)	15
Figure 9 : Les mécanismes de génération du bruit de roulement	22
Figure 10 : L'évolution du bruit des trains en fonction de la vitesse	23
Figure 11 : Localisation des sources en mouvement	23
Figure 12 : Composants de voie à faible émission sonore	25

ANNEXE 1 – Le signal acoustique, ses caractéristiques, sa mesure

A-I-1) PRESENTATION DU PHENOMENE PHYSIQUE

Origine

Un phénomène acoustique a toujours pour origine une perturbation du milieu ambiant. Dans notre propos, limité à l'acoustique aérienne, un phénomène acoustique existe lorsque il y a dans l'environnement une variation rapide de la pression de l'air créée en général par une vibration mécanique ou une dilatation de gaz.

La figure 1 montre l'évolution de la pression de l'air en fonction du temps. Si l'on dilate dans un très fort rapport (10 millions environ) les échelles utilisées, on observe une variation rapide de la pression simultanément à une perception sonore. On peut donc en déduire que le message acoustique est contenu dans l'écart entre la valeur instantanée de la pression et sa valeur moyenne (pression atmosphérique).

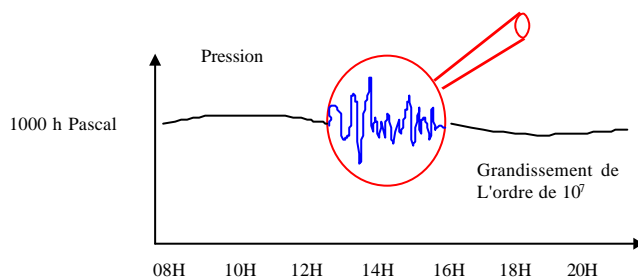


Figure 1 : Evolution de la pression de l'air en fonction du temps

Phénomènes élémentaires

On peut représenter un phénomène sous deux formes équivalentes : l'évolution temporelle et la composition fréquentielle (spectre). Parmi l'infinité d'évolutions possibles, il est commode pédagogiquement parlant d'en présenter quelques-unes parmi les plus simples :

- * L'évolution sinusoïdale qui permet de définir les termes d'amplitude et de fréquence.
- * L'évolution périodique qui conduit à un spectre de raies (seules quelques fréquences apparaissent)
- * L'évolution aléatoire à laquelle correspond un spectre continu (toutes les fréquences sont présentes).

Propagation acoustique

Depuis la source le phénomène acoustique obéit aux lois de la propagation. L'essentiel de ces lois tient en quelques points :

Lorsque l'on s'éloigne d'une source, la densité surfacique de puissance diminue. La diminution est de $\frac{1}{4}$ si la distance double.

Pour des propagations à grande distance, il existe une atténuation supplémentaire due à l'état hygrométrique de l'air, l'air sec est moins "porteur" que l'air humide.

Les hautes fréquences sont plus atténuées que les basses fréquences.

Le vent et le gradient de température ont aussi une assez grande importance.

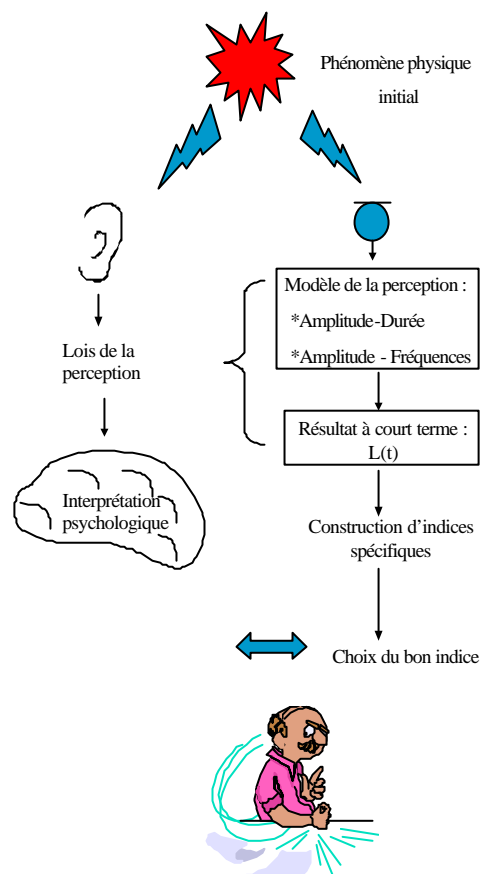
A-I-2) LA DEMARCHE METROLOGIQUE

A-I-2-1) Modélisation de la perception

Figure 2 : La perception du bruit

Présent au voisinage d'un individu, le phénomène acoustique va être perçu et l'interprétation de cette perception peut engendrer des réactions plus ou moins vives de la part de l'auditeur.

Les recherches multiples visant à réaliser des modèles complets de la perception, allant du phénomène physique initial aux réactions engendrées, ont conduit à concevoir le dBA pour estimer la force sonore (la durée d'exposition n'est pas considérée dans ce modèle). Lorsque la durée d'exposition est prise en compte, une démarche de réduction de la quantité d'information basée sur l'identité d'énergie acoustique conduit à des unités intégrées (S.E.L et Laeq).



Ensuite, au cas par cas, on procédera à l'aide de la psycho-acoustique à des recherches de corrélation entre l'évolution des grandeurs fournies par l'instrument et l'évaluation de la gêne, telle qu'elle peut être établie par des enquêtes. Après rapprochement, si une bonne corrélation existe, des relations empiriques sont élaborées, qui conduiront à des unités spécifiques (Lden) par exemple.

A-I-2-2) Grandeurs de l'acoustique, vocabulaire, unités

Grandeurs ignorant la durée.

L'exploration de la fonction acoustique menée sur des sujets lors de l'écoute des sons purs permet de poser quelques résultats et d'en tirer des modèles.

a) Il faut qu'un phénomène existe pendant un certain temps pour que l'on puisse juger de sa **force sonore** indépendamment de sa durée. La grandeur physique qui traduit cette propriété est **l'intensité acoustique**. Désignée par **I**, elle représente l'énergie acoustique calculée sur 0.2 s. ou 1 s.

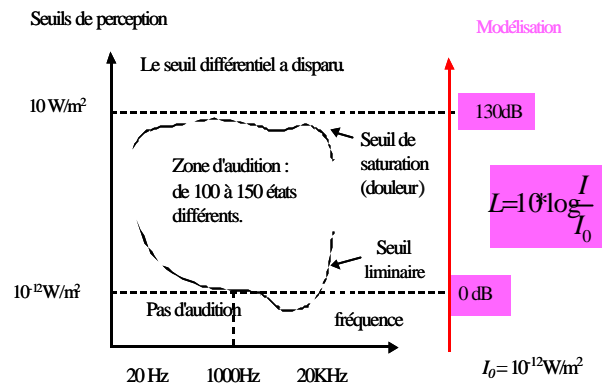


Figure 3 : Domaine de variation de l'intensité perçue par l'oreille

Si le domaine de variation de l'intensité perçue par l'oreille est immense (Figure 3), sur toute son étendue on ne distingue que 100 à 150 états ou niveaux différents¹. Pour concilier l'étendue du domaine, le nombre d'états relativement faible et la présence d'un seuil, on modélise la perception de l'intensité acoustique par une expression mathématique donnant son expression en dB (Figure 3). Cette grandeur est aujourd'hui² appelée Niveau d'intensité Acoustique (ou plus communément Niveau Sonore), désigné par $L_{eq}(1s)$, l'indicateur (1s) indiquant le temps de calcul.

b) Un son est perçu par l'oreille humaine si sa fréquence est comprise entre les valeurs 20 et 20 000 Hz. Tout au long de ce domaine la sensibilité de l'oreille est variable. Faible aux basses et hautes fréquences, elle est maximale dans le domaine 500 à 4000 Hz. On traduit cette propriété en donnant aux instruments de mesure du bruit une courbe de réponse en forme de cloche comme indiqué figure 4 (c'est le « filtre de pondération » du dB(A)).

¹ Etat ou niveau : l'oreille humaine ne peut percevoir que 100 ou 150 « états » élémentaires ou gradations successives dans l'échelle des sons.

² La métrologie acoustique distingue plusieurs expressions du niveau instantané, différentes selon le mode de calcul. Sans ignorer cela, nous n'entrons pas ici dans le détail en ne gardant que ce qui est usuel aujourd'hui

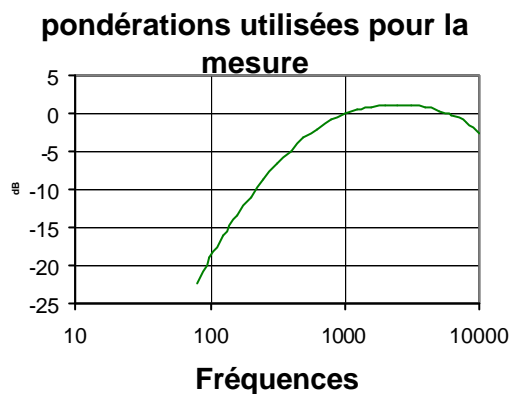


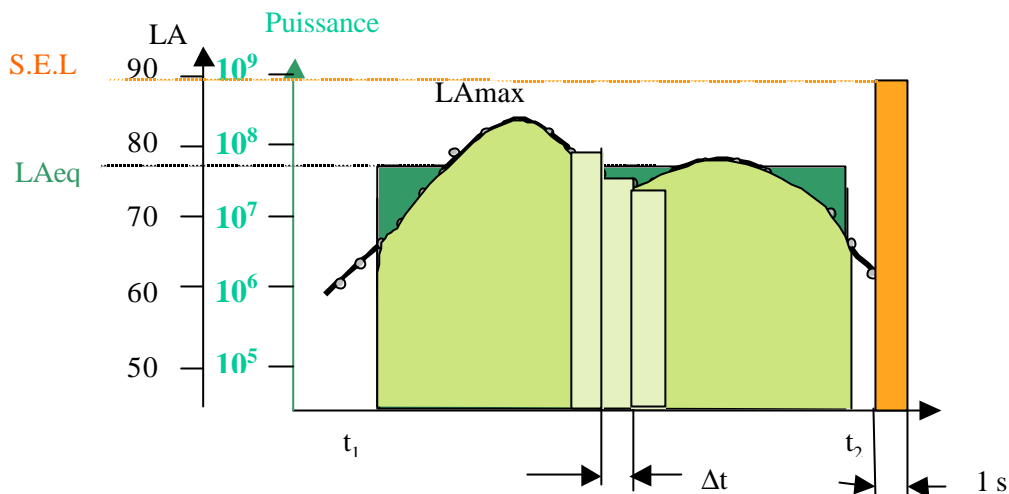
Figure 4 : Pondération A utilisée pour la mesure du bruit en dB(A) en fonction de la fréquence

Prise en compte de la durée : notions de LAeq et de S.E.L.

L'intervention de la durée d'exposition est nécessaire dès lors que l'on rencontre des phénomènes *évoluant dans le temps*. La quantité d'information obtenue en relevant les valeurs instantanées devient rapidement prohibitive et il est nécessaire de la réduire. Le concept de réduction retenu, quelle que soit la source, est celui de la conservation de l'énergie acoustique mise en œuvre pendant une durée donnée.

Pour ne pas introduire une grandeur supplémentaire, on conserve la notion de valeur moyenne exprimée dans l'unité initiale. C'est ainsi que le passage d'un véhicule, suivi instantanément en dB(A), sera caractérisé par son "Niveau continu équivalent" LAeq exprimé en dB(A).


On utilise également une autre grandeur intermédiaire, le SEL (*Sound Exposition Level*) dans la démarche d'utilisation d'une unité unique pour caractériser l'environnement. Elle consiste à donner en dB(A) la valeur de l'énergie acoustique du phénomène élémentaire. Pour conserver l'homogénéité des expressions mathématiques, on définit le SEL comme le niveau qui donnerait la même énergie si le phénomène ne durait qu'une seconde. La planche 1 montre le mode de calcul du SEL et du Leq.




Pour détailler le mode de calcul d'un indicateur intégré – ici le LAeq- considérons la courbe d'évolution du niveau, exprimée ici en dBA, courbe continue, dont la valeur est lue sur l'axe y, à l'extrême gauche du graphique.

On construit un axe supplémentaire en y, non linéaire, à la droite du premier, qui donne à partir de la courbe en dBA la valeur de la puissance par la relation : $10^{(L_A/10)}$.

Sous la courbe, on limite un domaine temporel de prise en compte du phénomène. Cette zone a une durée égale à t_2-t_1

On calcule la surface représentée par la zone.  (La méthode d'intégration est une méthode numérique par rectangle dont la largeur est celle de l'intervalle Δt entre deux mesures. Δt est souvent égal à 1s.

Pour calculer le SEL on construit un rectangle de même surface ayant 1s de durée. 

Pour donner le LAeq on divise cette surface par t_2-t_1 , on construit le rectangle représenté. 

Enfin par une relation logarithmique appliquée aux hauteurs des deux rectangles on revient sur l'axe des niveaux et l'on obtient respectivement le S.E.L et le LAeq de la durée (t_2-t_1)

Dans certains cas (bruits d'avion) la base temporelle de calcul est liée au phénomène. L'intervalle t_2-t_1 est déterminé par les dates pour lesquelles le phénomène reste situé entre les valeurs L_{Amax} et $L_{Amax}-10$ dB.

Construction d'un indicateur intégré dans le temps de la perception auditive (LAeq)

Conséquences importantes.

Il est important de noter que l'opération d'intégration se fait sur une courbe en Intensité et non pas en Niveaux. Entre les deux existe une fonction de puissance que les dessins illustrent mal. Ceci a pour conséquence de donner une importance très grande aux fortes valeurs de niveau, même si celles-ci sont de durée courte. A titre d'exemple, retenons qu'une seconde passée à 100 dBA est équivalente en énergie à 3 heures d'exposition à 60 dBA.

A titre d'illustration complémentaire prenons l'exemple du trafic aérien. Si l'on réduit par le choix des types d'avions, l'ensemble des valeurs maximales des survols de 1 dB (indiscernable à l'audition) le trafic peut, à valeur d'indicateur identique, être augmenté de 10%. Si cette réduction passe à 3 dB on peut, dans les mêmes conditions, doubler le trafic.

D'un autre point de vue, si l'on enlève dans le trafic d'un aéroport un nombre important d'appareils présentant des SEL faibles vis-à-vis des autres appareils, cette modification passera quasiment inaperçue au niveau de l'indicateur intégré. *A contrario*, ajouter quelques avions très bruyants modifiera substantiellement cet indicateur.

On voit ainsi que le choix d'indicateur énergétique entraîne une démarche sur le plan de la gestion du problème, consistant à rechercher avant tout la réduction du bruit pour chaque source unitaire plutôt que la réduction du trafic, c'est-à-dire du nombre de sources émettrices. Cet exemple plus frappant pour le trafic aérien peut être transposé à tous les moyens de transport (véhicules très bruyants dans un flot de circulation, incidence du passage des TGV, etc.).

Dans le domaine des bruits d'avions, une démarche différente est utilisée qui conduit à des unités spécifiques telles que le PNdB (cf. III Descripteurs de bruit, indicateurs bruit santé).

Il existe actuellement une tentative d'abandon du "dB". Dans la caractérisation des ambiances de travail, une grandeur normalisée (NF S 31084) appelée « exposition sonore » propose ainsi d'exprimer directement l'énergie acoustique reçue par un travailleur en $p^2 \cdot \text{heure}$. Il est trop tôt pour dire si cette unité sera effectivement utilisée.

ANNEXE 2 - Bruit ferroviaire en milieu urbain : données RATP

La mesure globale de l'impact du réseau de la RATP en matière de bruit est difficile à quantifier. La monétarisation des externalités des transports dans le «Compte Transports » publié par le Syndicat des Transports d'Île-de-France³ fournit une indication relative à partir de l'évaluation du coût généré par le bruit : selon cette approche économique, les transports publics sont 22 fois moins émetteurs de bruit que le trafic automobile en Île-de-France.

Gêne des Franciliens

La lutte contre le bruit figure au second rang des attentes des Franciliens à l'égard de la RATP au titre de ses impacts sur l'environnement, après sa contribution à l'amélioration de la qualité de l'air⁴. En moyenne, la RATP reçoit 200 plaintes par an. Elles concernent pour l'essentiel le bruit ferroviaire généré par le RER et le métro ; 95% des plaintes relatives au métro sont imputables aux vibrations et bruits solidiens transmis aux immeubles depuis les tunnels des tronçons souterrains. Il convient de noter la quasi-absence de plaintes concernant les lignes de métro sur pneumatiques et les lignes de tramway, ainsi que sur les bruits intérieurs dans les espaces et les véhicules. Un petit nombre de réclamations porte sur le bruit émis par les bus dans la rue.

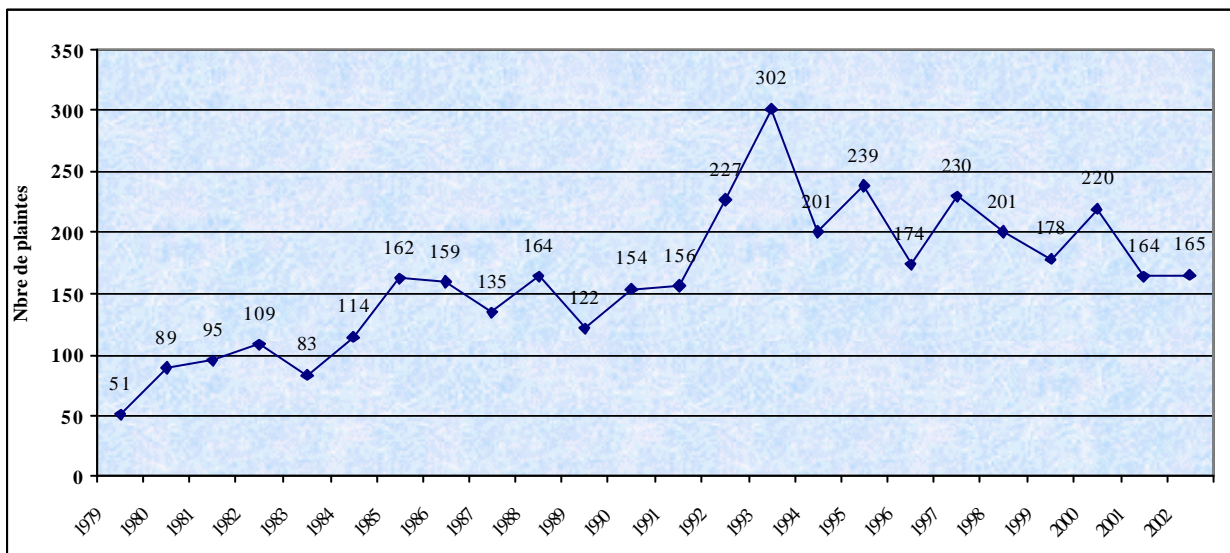


Figure 5 : Evolution du nombre de plaintes concernant le bruit ferroviaire depuis 1979

³ Compte Transports en Ile de France – STIF – 2000 – Montant des coûts externes liés au bruit des transports publics : 53 M€ contre 1 140 M € pour l'automobile.

⁴ Enquête SOFRES – 1998

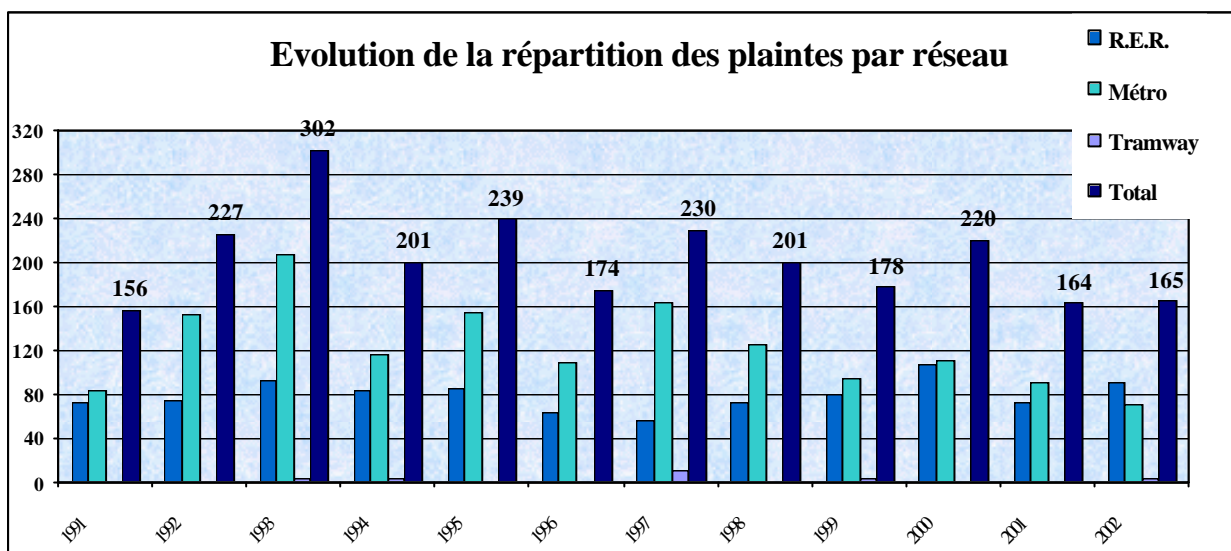


Figure 6 : Evolution du nombre de plaintes par mode ferré (1991-2002)

L'examen des plaintes montre que le phénomène déclencheur est, la plupart du temps, une dégradation de l'état de la voie qui entraîne le dépassement d'un niveau sonore ou vibratoire jugé jusque là supportable. L'augmentation du nombre de réclamations portant sur les bruits aériens du RER reflèterait également une sensibilité croissante des Franciliens aux bruits urbains.

La RATP s'est engagée à répondre à toutes les plaintes, dans un délai inférieur à trois semaines. Elle procède à une enquête technique et peut procéder, si elle l'estime nécessaire, à des mesures au domicile du riverain, pour mieux comprendre les phénomènes en cause ou étayer sa réponse à partir de résultats objectifs. Elle indique en même temps les actions correctives sur lesquelles elle s'engage.

Dans le contexte réglementaire actuel, les interventions sont déterminées principalement par le classement acoustique des tronçons aériens, les signalements des agents et les plaintes des riverains pour les bruits extérieurs, par les bruits anormaux relevés lors de mesures ou signalés par les agents de conduite pour les bruits intérieurs, la gêne acoustique étant rarement exprimée par les voyageurs.

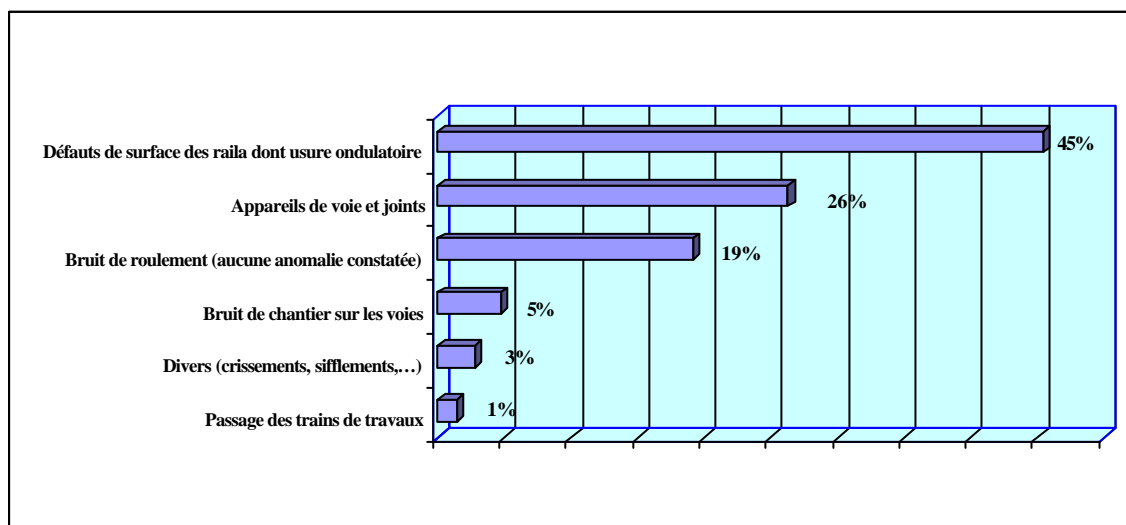


Figure 7 : Répartition par cause des plaintes reçues en 2002

Actions de la RATP en matière de lutte contre le bruit ferroviaire

La stratégie d'action de la RATP en matière de bruit ferroviaire vise à :

- (1) résorber prioritairement le point critique de la ligne A⁵
- (2) traiter les principales causes de bruit identifiées sur les voies existantes
- (3) diminuer les crissements en courbe et au freinage
- (4) renforcer les exigences de confort sonore pour le futur matériel du métro.

Pour réduire les nuisances ressenties par les riverains, plusieurs types d'intervention sont menés :

- le traitement des défauts de surface du rail et notamment de l'usure ondulatoire (causes de 45% des plaintes de riverains) : meulage des rails par train spécial la nuit, voire renouvellement des coupons de rail ; le programme de meulage a été renforcé en 2003 pour atteindre 130 km de voies traitées par an
- les dégradations d'appareils de voie ou de joints : opérations de maintenance la nuit et pose de cœurs à antennes soudées, remplacement lors du renouvellement de certains appareils
- la diminution du bruit de roulement, des vibrations et des bruits solidiens associés passe par des techniques de traitement à la source comme la pose, dans les sections souterraines, de tapis sous ballast. La pose est réalisée à l'occasion des travaux de renouvellement de la voie, ce qui permet un traitement à plus grande échelle ; à fin 2002, 162 km de voies avaient été traités par ces techniques.

Les crissements sont la source de bruit intérieur générant la gêne la plus sensible pour les voyageurs et les agents de conduite. Bruits stridents se situant dans les fréquences élevées, les crissements sont produits dans les courbes de faible rayon du métro, par l'entrée en résonance de la roue. Au freinage, ce phénomène est apparu il y a plusieurs années, notamment avec la suppression de l'amiante des organes de freinage.

Pour réduire les crissements en courbe, la RATP procède à l'arrosage des rails, technique onéreuse et génératrice d'usure prématurée du rail. C'est pourquoi, après de nombreuses recherches, elle a développé l'insonorisation des roues et équipé prioritairement les 200 trains des lignes 7, 8 et 13,

⁵ Cette opération concerne plus de 3000 riverains et plusieurs groupes scolaires sur un linéaire de 3 km du tronçon central de la ligne A, dont le trafic a augmenté considérablement pour atteindre un million de voyageurs par jour (plus important trafic de toutes les lignes du réseau régional ferroviaire). L'objectif est d'abaisser le niveau sonore émis de jour, qui atteint 73 dB(A), au niveau ambiant de 65 dB(A). Première protection phonique ferroviaire à avoir été inscrite au Contrat de Plan Etat-Région Ile de France, l'opération se monte à 52 M €. Les travaux de la première phase, dont le financement est assuré à 50% par la Région, 25% par la RATP et 25% par les trois municipalités traversées, doivent traiter les zones de gêne la plus aiguë pour les riverains.

lignes les plus concernées. Cette opération, terminée en 2001, a permis un gain de 15 dB(A) dans les courbes.

Aujourd'hui, la RATP poursuit son programme par l'équipement des lignes 3 et 12. Enfin, elle traite au cas par cas les phénomènes particuliers ou nouveaux identifiés par les conducteurs.

Les crissements au freinage ne concernent que certains matériels roulants équipés de semelles de frein composites ou frittées, essentiellement sur le RER. Les trains des autres lignes sont dotés, soit exclusivement de freins à disques en complément du freinage électrique, ou encore équipés de sabots de bois sur les lignes qui le permettent. Des programmes de recherche-développement ont été menés pour répondre aux problèmes spécifiques des lignes 1 et 14 sur pneu et se poursuivent pour ce qui concerne les trains du RER.

Le marché d'acquisition de 161 trains "MF 2000" actuellement en cours représentera à terme l'équipement d'un tiers du parc du métro parisien à roulement fer. La spécification du confort acoustique et vibratoire à laquelle doit répondre le titulaire du marché impose au constructeur non seulement des niveaux de résultats directement perceptibles par le voyageur, mais également une méthode pour y parvenir, issue du retour d'expérience des derniers matériels livrés.

L'objectif fixé est un abaissement général des niveaux acoustiques de 3 dB(A) par rapport aux meilleurs matériels en circulation. Cet objectif doit se traduire par un niveau acoustique intérieur de 66 dB(A) mesuré dans les conditions normalisées à vitesse maximale.

La RATP impose en amont des démonstrations prévisionnelles globales de niveau de bruit avant les phases d'études détaillées et de fabrication, ainsi que le recours aux simulations numériques. La même démarche est demandée pour la commande des tramways et des nouveaux tracteurs de trains de travaux, sensibles du fait de leur circulation principalement de nuit.

En ce qui concerne les projets de lignes de tramway, pour lesquelles les populations et les élus manifestent une sensibilité particulière au risque de bruit, l'objectif assigné pour le matériel roulant est de respecter le niveau de confort acoustique du tramway standard français, qui fait référence. Les commandes en cours ont fait l'objet de spécifications analogues à celles du matériel MF 2000. Les niveaux doivent respecter, à 40 Km/h, 70 dB(A) en bruit extérieur et 63 dB(A) en bruit intérieur.

Insertion des nouvelles infrastructures

En tant que maître d'ouvrage de nouvelles infrastructures, la RATP réalise des études d'impact acoustique et vibratoire. Le laboratoire acoustique de la RATP réalise les études d'impact relatives à tous les modes urbains et périurbains, en utilisant notamment des logiciels d'acoustique prévisionnelle. Les résultats des études comportent les cartographies illustrant la diminution ou l'augmentation des niveaux sonores en jour et nuit à tous les niveaux des immeubles d'habitations du linéaire. En cas de non-respect des valeurs limites, des propositions de protections phoniques sont illustrées par la cartographie associée, montrant le gain apporté.

Compte tenu de la spécificité des lignes de tramway, le laboratoire acoustique a lancé une recherche pour se doter d'un modèle paramétrique permettant de décrire les spectres d'émission des lignes de tramway en fonction de leur insertion urbaine et du système voie-véhicule retenu. Il permettra de quantifier la contribution sonore globale d'un tramway en site propre ou en pleine circulation.

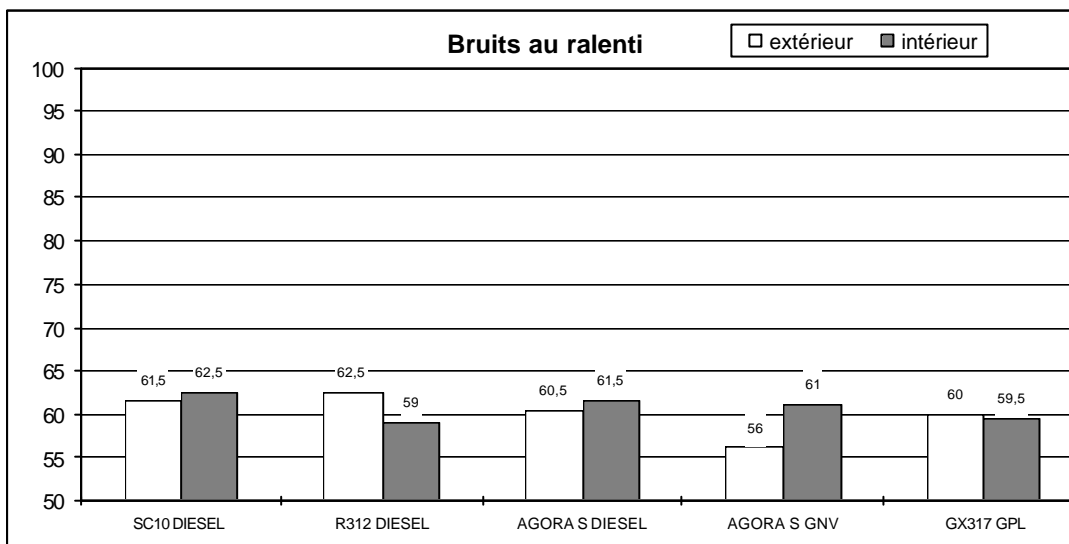
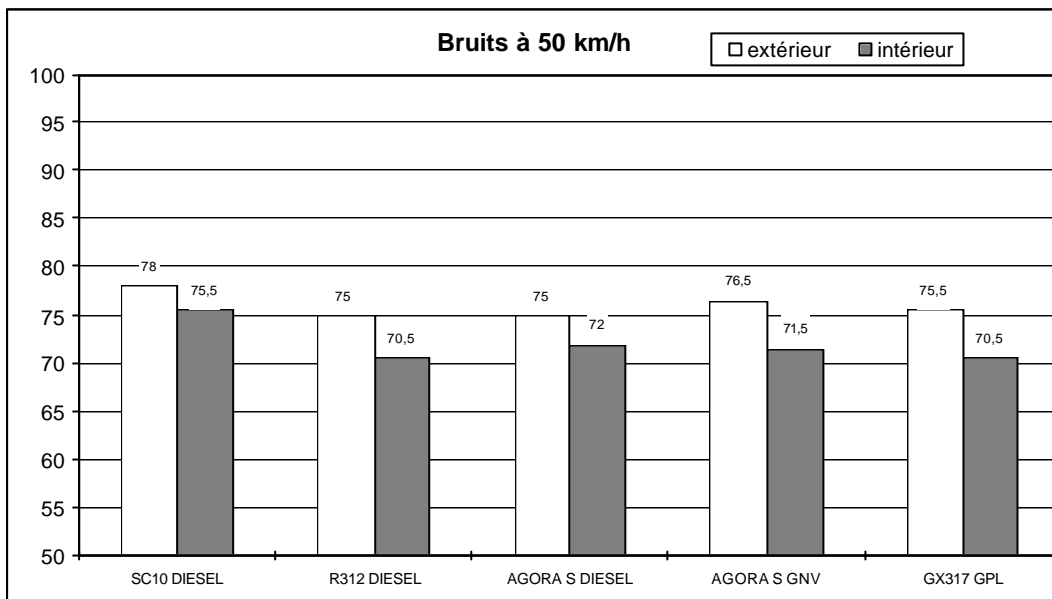
Actions visant à réduire le bruit des autobus

La RATP gère les mouvements de 4000 bus, y compris à leurs terminus ou à proximité des 25 centres bus où ils sont remisés la nuit.

Actuellement, les véhicules livrés par les constructeurs et maintenus par la RATP font l'objet d'une vérification des bruits extérieurs lors de leur homologation par la DRIRE. Le seuil acoustique admis par les réglementation en vigueur au niveau européen conduit à la mise sur le marché de bus émettant en règle générale 78 dB(A), voire 80 dB(A) pour les véhicules plus puissants. Aucune limite réglementaire ne s'impose aux constructeurs pour les émissions sonores intérieures au véhicule, dont seules les conditions de mesure sont normalisées, à l'instar des matériels ferroviaires. La RATP donne des consignes aux conducteurs de bus pour une application stricte de l'arrêté du 22 janvier 1997 imposant de couper le moteur lors des arrêts en terminus, ainsi que pour les mouvements dans et à proximité des centres bus.

Dans le cadre du programme visant à traiter d'ici 2004 tout le parc avec des filières écologiques, l'entreprise a évalué les technologies mises en œuvre – diesel avec filtre à particules, gaz naturel et GPL - en matière d'émissions sonores. Les mesures comparatives d'émissions de bruit extérieur et intérieur ont été réalisées par l'UTAC⁶ en reproduisant le cycle urbain correspondant à la situation réelle de circulation. Les niveaux de bruit ont été mesurés au ralenti et à 50 km/h, et complétés par des mesures à l'échappement.

⁶ UTAC : Union Technique de l'Automobile et du Cycle.



Au ralenti : Ext. 7,50 m de l'axe véhicule. Int. 1,60 m dessus du plancher (1,20 m conducteur)
 A 50 km/h : Ext. 7,50 m de l'axe véhicule en accélération. Int. 1,60 m dessus plancher (1,20 m conducteur) Leq de 3 cycles

SC10 : supprimé du parc début 2003

R312 : Norme Euro 1

AGORA : Norme Euro 2

GNV : Gaz Naturel pour Véhicule

GPL : Gaz de Pétrole Liquéfié

Figure 8: Comparaison des filières bus en fonction des niveaux de bruit émis (interne et externe à 50 Km/h et au ralenti)

Les résultats montrent :

- à l'intérieur des véhicules, des niveaux équivalents de bruit émis, quelle que soit la technologie du véhicule, que ce soit au ralenti ou à 50 km/h ;
- à l'extérieur, une réduction de 4,5 dB (A) du bruit émis par le bus au gaz naturel au ralenti, mais des niveaux voisins pour les trois filières à 50 km/h.

Le service du réseau d'autobus étant accru, la RATP souhaite maîtriser la gêne que pourrait provoquer son niveau sonore, dès lors qu'il émergerait du bruit ambiant sur certains axes où la circulation automobile est restreinte, ou par suite de l'augmentation des amplitudes de service jusque tard dans la nuit. L'entreprise a donc lancé un programme de recherche destiné à abaisser les niveaux de bruit émis par les autobus et à anticiper les réglementations futures dès les prochaines commandes de véhicules. La démarche consiste à convaincre les industriels de faire mieux que la réglementation en vigueur, à un coût admissible.

La recherche comporte deux phases : (1) un diagnostic vibro-acoustique, qui a permis d'identifier et de quantifier l'apport sonore des différentes sources de bruits et les différentes porosités au son du véhicule, puis de réaliser une maquette permettant d'estimer les gains potentiels réalisables en ce qui concerne les bruits intérieurs ; (2) deux bus prototypes ont été réalisés, l'un visant à diminuer le bruit extérieur, l'autre pour diminuer le bruit intérieur.

Au vu des résultats obtenus par la mise en œuvre de solutions techniques accessibles, les constructeurs européens ont été avisés par la RATP des efforts qui seront demandés en matière de performance acoustique dans les prochaines consultations : de -3 dB(A) à -7 dB(A) pour le bruit extérieur et -5 dB(A) pour le bruit intérieur. Ces spécifications doivent entrer en vigueur en 2004.

Parallèlement, les spécifications fonctionnelles du "Bus du futur" établies par le groupement européen animé par la RATP et reprises par l'Union Internationale des Transports Publics (UITP) demandent un niveau sonore extérieur inférieur à 70 dB(A) pour les véhicules à produire à l'horizon 2008.

La RATP poursuit également des actions de recherche consistant à réduire le bruit à la source par production d'un "contre-bruit" à l'échappement et la diminution des vibrations.

Travaux de normalisation et de recherche

Les représentants de la RATP participent à la définition des futures normes européennes sur le bruit des matériels ferroviaires. Par ailleurs, ils représentent l'UITP au sein du groupe de travail « European Railway Noise » chargé de proposer à la Commission européenne les niveaux à respecter dans le cadre des directives et spécifications techniques d'interopérabilité.

Outre les recherches menées sur le tramway et le bus, la RATP mène plusieurs programmes de recherche sur les problèmes complexes rencontrés dans le domaine ferroviaire : modélisation des bruits à bord des matériels, modélisation et aide à la conception de freins "zéro crissement", réduction du bruit en courbe, caractérisation et insonorisation des crissements au freinage, diminution du bruit de roulement des trains sur pneumatiques, modélisation de l'intelligibilité des messages sonores dans les espaces,... Toutes ces recherches sont menées en partenariat avec des

universités, des laboratoires et des industriels et plusieurs ont été retenues dans le cadre du PREDIT.

Enfin, la RATP est présente dans trois projets européens de recherche qui concernent le bruit de crissement, l'usure ondulatoire et les niveaux vibratoires générés par une infrastructure ferroviaire souterraine chez les riverains.

ANNEXE 3 - Bruits et vibrations liés aux transports sur voies ferrées : données SNCF

Niveaux de bruit à proximité des lignes de chemin de fer

L'approche réglementaire est fondée sur la considération de niveaux sonores caractérisant la gêne de long terme, représentative de la situation acoustique moyenne du site pour un intervalle de référence donné. Les descripteurs associés sont exprimés sur des intervalles de référence de 24 heures, intégrant la période jour (6h à 22h) et de nuit (22h à 6h)⁷.

Afin d'évaluer ces descripteurs pour la réalisation d'études d'impact ou de cartographies sonores, la Nouvelle Méthode de Préviation du Bruit FERroviaire (NMPB FER) (1998), a été développée. Elle s'inspire de la méthode NMPB mise en œuvre dans le domaine routier et y adapte les spécificités ferroviaires. Elle repose sur une description des sources de bruit avec la prise en compte des principaux effets de propagation dans une approche de long terme, incluant les effets météorologiques.

Méthode de prédiction du bruit de trafic – spécificités ferroviaires

Pour les circulations ferroviaires évoluant entre 60 et 300 km/h, la répartition des contributions sonores relatives (véhicules, bruit des auxiliaires embarqués à bord du convoi) a été établie au regard des différentes composantes du bruit ferroviaire (bruit de roulement résultant du contact roue sur rail, bruit d'origine aérodynamique résultant de l'écoulement de l'air autour de ces mêmes véhicules). Chaque source ponctuelle équivalente est affectée d'un niveau de puissance sonore exprimée en dB(A), par bande d'octave depuis 125 Hz jusqu'à 4000 Hz, correspondant au trafic ferroviaire supporté par cette voie de circulation.

Principes de l'évaluation du bruit ferroviaire en environnement

Bien que la Directive européenne 2002/49/CE relative à la l'évaluation et à la gestion du bruit dans l'environnement ait prescrit l'évaluation du bruit reçu par les riverains, tout comme les législations nationales en ont prescrit la limitation, celui-ci dépend du trafic (nombre, vitesse, et nature des circulations de chaque type), et de la distance du récepteur à la voie.

Pour diminuer le bruit reçu par les riverains, on peut donc agir :

⁷ Les études portant sur la propagation du son en milieu extérieur ont montré que (1) la durée de ces périodes était la mieux adaptée, le choix de périodes plus courtes n'étant pas pertinent en raison du caractère aléatoire des variations des conditions météorologiques sur des durées trop courtes ; (2) leur caractère reproductible et prédictible s'avèrerait satisfaisant en pratique.

- Sur le nombre de circulations : une telle action peut être très pénalisante pour la capacité de l’infrastructure : il faut diviser le trafic par deux pour gagner 3 dB(A) et le diviser par 10 pour gagner 10 dB(A) ;
 - Sur la vitesse des circulations où, au-delà de 60 km/h et dans la très grande majorité des cas, la contribution du bruit de roulement est majoritaire ; il faut diviser la vitesse par un facteur 2 pour gagner 9dB(A). Là aussi une réduction significative du bruit a une influence notable sur la capacité de l’infrastructure en termes de sillons ou de trafic ;
 - En mettant en place des protections acoustiques, l’atténuation apportée varie de 3 à plus de 15 dB(A) suivant le type de train et d’écran (un écran acoustique coûte entre 1000 € et 1500 € par mètre linéaire) ;
 - En agissant enfin sur le bruit à l’émission de chaque type de train. Cette stratégie de réduction du bruit à la source, apparaît d’autant plus attrayante que des progrès importants ont été accomplis ces dernières années tant sur le bruit des trains de voyageurs classiques que pour les trains à grande vitesse ;
- Limiter le bruit à l’émission permet de garantir, indépendamment de la mise en place de protections sonores, que l’émission acoustique de chaque type de train ne dépasse pas une certaine limite, et ménage ainsi *a priori* une certaine capacité de circulation, sans imposer des protections supplémentaires. Dans le cas des zones urbaines à fort trafic, où la protection apportée par les écrans n’est pas illimitée, la capacité de trafic est préservée. Certains états tels que l’Autriche, l’Italie ou la Suisse ont déjà pris des dispositions réglementaires pour limiter le bruit émis par les circulations ferroviaires. La réglementation européenne en cours d’élaboration vise aussi cette réduction à la source⁸ en s’appuyant sur les Spécifications Techniques d’Interopérabilité (STI)⁹.

Caractérisation expérimentale du bruit dans l’environnement

La norme NF S 31–088¹⁰ présente les conditions de mesurage du bruit du trafic ferroviaire en environnement en vue de réaliser, un dossier d’étude d’impact sonore ou le contrôle d’objectif. Elle prend en compte les conditions de trafic par des techniques de codage, et les classes de conditions météorologiques associées, à l’exclusion de leurs variations de long terme. Le niveau de long terme

⁸ Directive 96/48/CE du Conseil, du 23 juillet 1996 relative à l’interopérabilité du système ferroviaire transeuropéen à grande vitesse, Journal officiel n°L2354 du 17/09/1996, pp. 6–24 ; Directive 2001/16/CE du Parlement européen et du conseil du 19 mars 2001, relative à l’interopérabilité du système ferroviaire transeuropéen conventionnel, journal officiel n°L 110, pp. 1–27.

⁹ (Spécification technique d’interopérabilité relative au sous-système « matériel roulant » du système ferroviaire transeuropéen à grande vitesse, journal officiel n°L245/402 du 12/09/2002, pp. 402–506 ; Projet de spécification technique d’interopérabilité relative au sous-système « matériel roulant » du système ferroviaire transeuropéen conventionnel. Volet bruit : bruit émis par les wagons, locomotives, automotrices et voitures, documents internes AEIF réf. RST-221-nF & 222-n.

¹⁰ Norme française NF–S 31 088 : Mesurage du bruit dû au trafic ferroviaire en vue de sa caractérisation (1996).

est identifié à partir des mesures sur site, et le trafic ferroviaire «de long terme », en termes de nombre de passages et de vitesse associés

Caractérisation des niveaux de bruit à l'émission

La mesure du bruit à l'émission des trains a fait l'objet de travaux de normalisation dans le cadre des travaux de l'International Standard Organisation (ISO), et du Comité Européen de Normalisation (CEN). Ils ont notamment abouti à un projet de norme européenne Pr EN ISO 3095, toujours en discussion¹¹. Selon ces approches normatives, le niveau de bruit à l'émission d'un train est caractérisé classiquement dans trois conditions opérationnelles fondamentales : le bruit au passage, mesuré à vitesse constante, qui caractérise les conditions de circulation les plus courantes ; le bruit à poste fixe, qui est important pour éviter la gêne des riverains aux abords des zones de stationnement (véhicule à l'arrêt en gare, en cours de préparation dans un dépôt...)

Bruit au passage

Descripteurs acoustiques

Parmi les différents descripteurs utilisés pour caractériser le bruit au passage à vitesse constante d'un véhicule, le descripteur couramment utilisé par les opérateurs ferroviaires est essentiellement le « niveau équivalent sur le temps de passage » $L_{pAeq,tp}$, qui représente l'énergie acoustique moyenne émise au passage, mesuré à 25 mètres de la voie où circule le véhicule en essai. Le temps de passage t_p représente l'intervalle de temps pendant lequel le train coupe la perpendiculaire à la voie passant par le microphone d'essai. Le $L_{pAeq,tp}$ est donné par la formule suivante :

$$L_{pAeq,tp} = 10 \times \log \left(\frac{1}{t_p} \int_0^{t_p} \frac{p_A^2(t)}{p_0^2} dt \right)$$

La distance de mesurage utilisée jusqu'à la mise en service de la grande vitesse était 7,5 mètres de l'axe de la voie, le microphone de mesure étant placé à une hauteur de 1,2 mètres par rapport à la surface de roulement (rail). Lors de la mise en service des trains à grande vitesse, la distance de 25 mètres par rapport à l'axe de la voie avait été adoptée par une majorité de réseaux pratiquant la grande vitesse (Allemagne, Italie, France), ainsi que par le Royaume Uni et les Pays-Bas.

Par ailleurs, il était reproché au descripteur de ne pas prendre en compte toute l'énergie sonore du signal, et notamment avant et après le passage de la rame au droit du microphone de mesure. La contribution cumulée de ces fronts montants et descendants pour un TGV à 25 mètres est de l'ordre de 0,5 dB(A). Depuis quelques années, dans le cadre d'une tentative de rapprochement de ce

¹¹ Railway application – Acoustics – Measurement of noise emitted by rail bound vehicles, CEN Draft standard pr EN ISO 3095, January 2001

descripteur avec l'indicateur SEL (SEL ou *Single Event Level*) utilisé au Royaume-Uni, un nouveau descripteur avait été introduit dans le projet de norme européenne Pr EN ISO 3095. Ce descripteur, le TEL - *Transit Exposure Level* - (TEL = tp·SEL) est défini par la formule suivante :

$$TEL = 10 \times \log \frac{1}{t_p} \int_0^T \frac{P_A^2(t)}{P_0^2} dt$$

Dans ce cas, l'intégration se fait sur toute la durée du signal, mais l'énergie acoustique est ramenée forfaitairement sur la durée de passage. Ce descripteur présente l'avantage de prendre en compte la totalité de l'énergie acoustique du signal tout en étant proche du LpAeq,tp (la différence entre les deux descripteurs reste inférieure à 1 dB(A) pour une rame TGV à 300 km/h), et de ne pas afficher, dans la majorité des cas, une valeur supérieure à la valeur maximale du niveau instantané. C'était en effet le cas en Grande-Bretagne avec le descripteur SEL utilisé, pour lequel l'énergie est ramenée fictivement à une seconde.

Prise en compte dans les études prévisionnelles

L'usage de ces descripteurs, au travers de la norme Pr EN ISO 3095, permet de statuer sur les performances d'émission du matériel roulant dans le cadre de leur homologation. En revanche, dans des conditions d'exploitation commerciale, l'état de maintenance des matériels et de la voie conduit à des valeurs d'émission qui peuvent varier d'une rame à l'autre, ou d'un site à l'autre. Pour tenir compte de cette réalité dans le cadre des études prévisionnelles de gêne sonore dans l'environnement, une méthode statistique spécifique a été mise en œuvre. Elle permet d'induire, à partir d'un échantillon de mesures, une valeur moyenne représentative de l'état acoustique d'une population de matériels, dans des conditions de mesure (vitesse, distance à la voie circulée) et à un instant donnés. De plus, elle précise les conditions de dispersion par rapport à un état de référence moyen. Ce niveau de référence est représentatif de l'ensemble de la population de matériels considéré, et non plus seulement de l'échantillon objet de la mesure. Il est pris en compte dans les calculs prévisionnels de gêne sonore.

Les mécanismes de génération du bruit des trains

Le bruit de roulement

Le bruit de roulement constitue la source principale du bruit ferroviaire, pour les vitesses classiques, mais aussi pour la première génération de TGV (TGV Sud-Est orange, avant rénovation).. Cet état de fait a justifié des travaux importants de modélisation et d'expérimentations, rassemblant une expertise internationale, qui ont donné lieu à la mise en œuvre du modèle TWINS (*Track Wheel Interaction Noise Software*). Développé par l'Union Internationale des Chemins de Fer (UIC), le modèle TWINS de prévision du bruit de roulement a été validé en ligne pour des configurations

voyageurs et fret et pour des vitesses conventionnelles dans plusieurs pays d'Europe, ainsi qu'en France pour le bruit de roulement des TGV au delà de 300 km/h.

Ces principes sont présentés sur la figure 9.

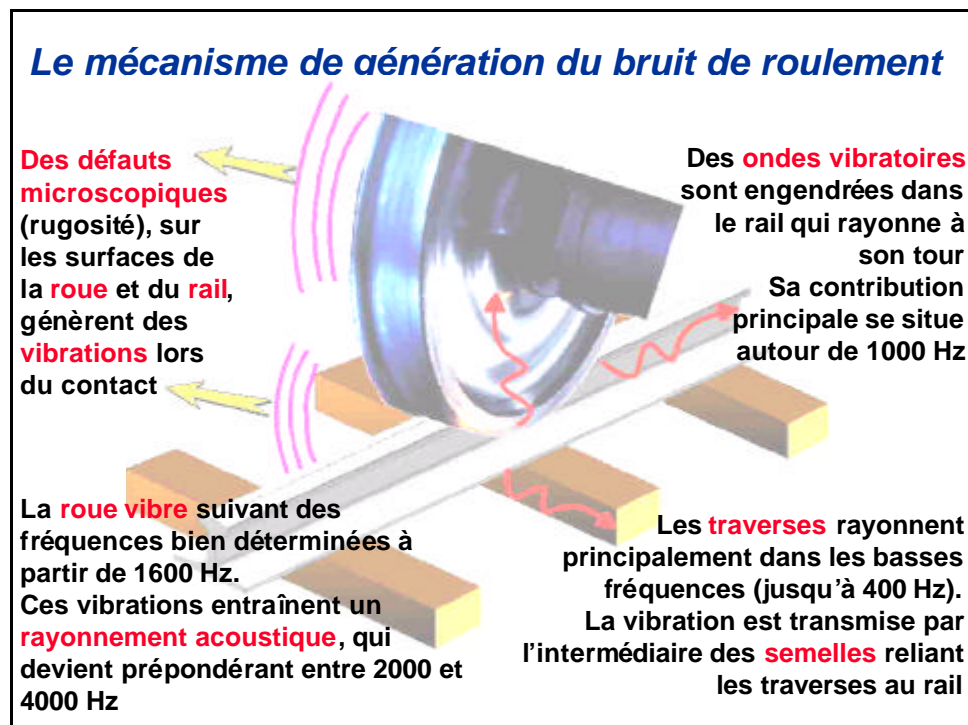


Figure 9 : Les mécanismes de génération du bruit de roulement

Ce modèle a permis non seulement la prévision du bruit de roulement dans différentes situations européennes, mais aussi la définition et la conception de solutions pour la réduction du bruit.

Le bruit d'origine aérodynamique

Le développement des TGV a suscité une attention particulière vis à vis du bruit d'origine aérodynamique, associé aux caractéristiques d'écoulement des masses d'air autour de la rame, qui se révèle dominant aux très grandes vitesses, au-delà de 320 km/h (cf. figure 10).

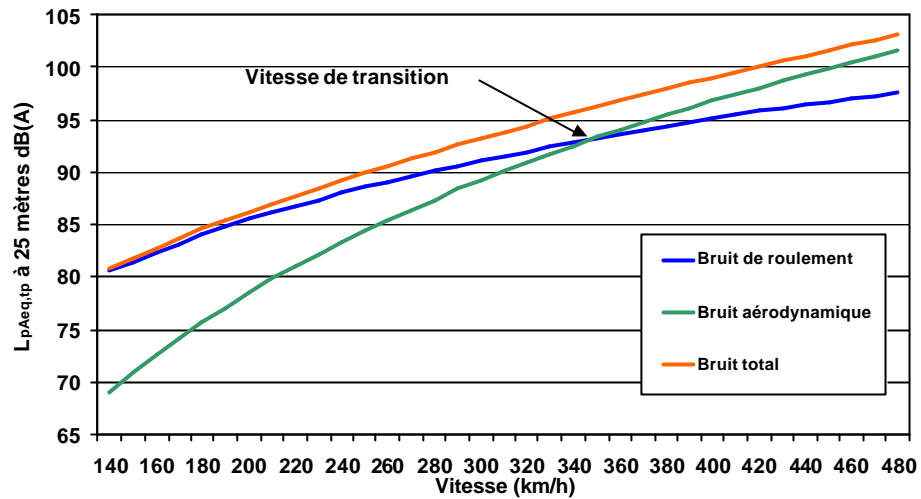


Figure 10 : L'évolution du bruit des trains en fonction de la vitesse

Le bruit d'origine aérodynamique reste malgré tout beaucoup plus difficile à modéliser que le bruit de roulement, et sa caractérisation expérimentale demande des précautions particulières. Des antennes acoustiques, spécialement adaptées pour les TGV ont permis de localiser et caractériser les différentes sources de bruit et leur importance relative sur les rames.

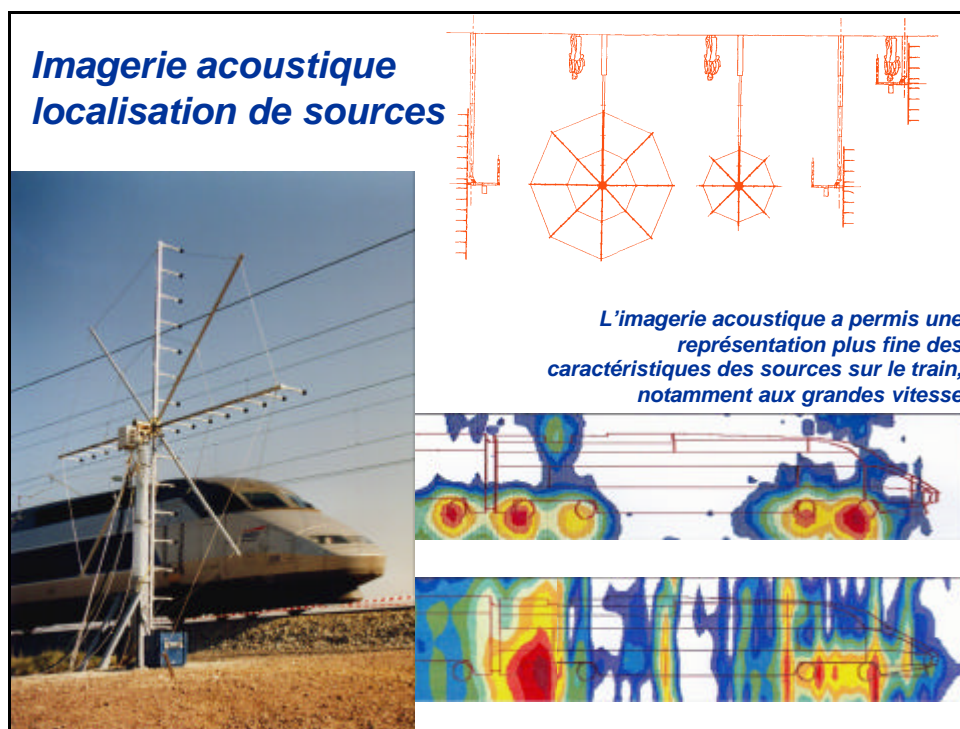


Figure 11 : Localisation des sources en mouvement

En revanche, pour la caractérisation du bruit d'origine aérodynamique dans la zone du bogie où il prédomine (mais se trouve superposé au bruit de roulement), le développement d'un traitement de signaux issus de sondes de mesures spécifiques a été nécessaire (projet de coopération franco-

allemande DEUFRAKO). À partir de ces mesures, un modèle quantitatif du bruit aérodynamique dans la zone bogie a été développé.

La modélisation du bruit aérodynamique a été abordée dans le cadre de projets soutenus par le PREDIT. Dans ce cadre, des méthodes avancées en aérodynamique telle la LES (Simulation des grandes échelles de la turbulence) ont été couplées à des méthodes numériques en acoustique. Les calculs sont cependant actuellement limités à des configurations simplifiées (effet de marche ou cavité bidimensionnelle). Un modèle du bruit aérodynamique du pantographe a par ailleurs été développé dans le cadre du projet DEUFRAKO.

Moyens de réduction des niveaux de bruit à la source

Solutions à court terme

Parmi les solutions techniques envisageables à court terme, deux pistes semblent présenter des avantages remarquables :

Agir sur le système de freinage du matériel

La première piste consiste à agir sur le matériel roulant, en supprimant les semelles de frein qui assurent le freinage du train par frottement sur la surface de roulement de la roue, et en les remplaçant, soit par des disques, solution coûteuse mais performante, (remorques de TGV) ; soit par des semelles de freins en matériaux composites¹². Ces modifications permettent une réduction effective de l'énergie sonore sur l'ensemble des voies, de l'ordre de 5 à 10 dB(A) (c'est à dire 3 à 10 fois moins d'énergie sonore associée).

L'adoption de semelles en matériaux composites présente en revanche un certain nombre de contraintes :

- le respect des performances de freinage est rendu plus difficile, et impose un examen attentif des paramètres d'influence sur la sécurité des circulations ;
- la modification des règles de maintenance des matériels roulants et des coûts qui lui sont associés ;
- la nécessité d'un rééquipement de la totalité des matériels existants sur une période courte,.

L'impact de ce rééquipement est le plus sensible dans le domaine du fret, et concerne en France plus de 100 000 wagons : l'investissement est de l'ordre de 3 à 7000 € par véhicule. À l'échelle européenne, le coût avancé est de l'ordre de 4 Milliards € pour une flotte de 650 000 wagons concernés. En conséquence, si d'un point de vue technique, l'Union des Chemins de Fer (UIC) a acté depuis septembre 2003 le principe de l'admission en trafic international de matériels fret

¹² Les semelles en fonte, utilisées traditionnellement pour la majorité des matériels roulants, dégradent la surface de roulement au cours des freinages et en accroissent fortement la rugosité. En revanche, les semelles en matériaux composites, qui sont amenées à les remplacer la « polissent », contribuant ainsi à réduire l'énergie sonore rayonnée par le système.

freinés composite, un certain nombre de réserves pourrait en retarder la généralisation, en raison de conditions d'homologation encore lourdes et coûteuses, et d'un mode de financement qui reste à définir.

Agir sur la contribution sonore de la voie

La seconde piste de réduction du bruit à la source concerne la mise en place d'absorbeurs de vibrations sur les rails (cf. figure 12). Ces dispositifs renforcent la capacité naturelle d'absorption d'énergie vibratoire de la voie, et réduisent sa contribution sonore, notamment aux plus faibles vitesses. La réduction du bruit émis est alors de 4 à 5 dB(A) (c'est à dire de l'ordre de 2,5 à 3 fois moins d'énergie sonore).

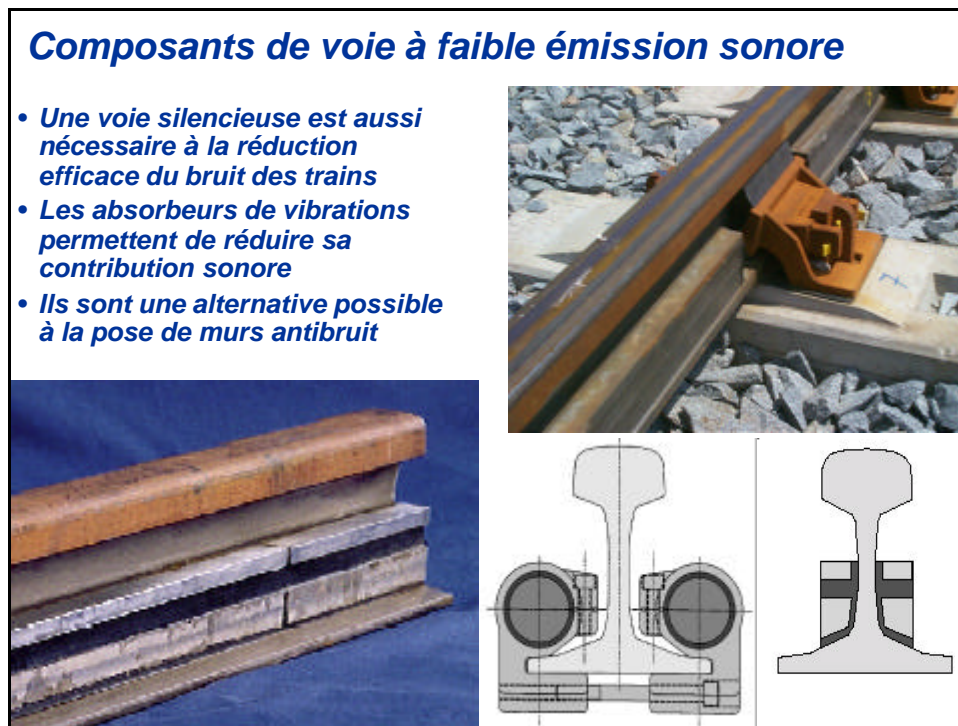


Figure 12 : Composants de voie à faible émission sonore

Comme pour le matériel roulant, un certain nombre de questions techniques demeure, qui concernent la maintenance de la voie ou le respect de l'intégrité mécanique de ses composants, liés à la pose de ces absorbeurs. En revanche, le coût de revient de cette solution la rendrait compétitive et complémentaire des protections sonores plus classiques.

Les pistes à moyen terme

Dans le domaine du bruit de roulement, on peut agir sur la réponse et le rayonnement de la roue et du rail. Ainsi, l'optimisation de la forme ou des matériaux constitutifs de la roue a une influence sur sa réponse vibratoire et l'excitation de ses modes de vibration. Le développement d'absorbeurs de vibrations ou d'écrans rapportés sur la toile de roue permet de réduire encore la puissance

acoustique émise par celle-ci de plusieurs dB(A). Des prototypes de roues optimisées pour le bruit ont été développés et testés en ligne¹³.

Cependant, la réduction du bruit émis par des roues «silencieuses» n'est vraiment effective que si des solutions similaires sont développées conjointement pour la voie l'efficacité des absorbeurs de vibrations du rail atteint alors 6 ou 7 dB(A) quand ils sont associés à des roues optimisées.

Dans le domaine des sources d'origine aérodynamique, le développement des méthodes expérimentales ou de simulation permettra, grâce notamment à des travaux menés en soufflerie anéchoïque, la mise au point de composants toujours plus discrets (pantographes) et d'optimiser les formes des carénages rapportés sur les caisses des rames à grande vitesse.

Les solutions classiques : écrans de protection

L'écran de protection reste une solution de base éprouvée, bien que très coûteuse, qui permet de réduire le niveau de l'infrastructure de 5 à 8 dB(A). Toutefois, au cours des projets visant notamment à évaluer des solutions de réduction du bruit selon leur rapport coût/efficacité, différentes combinaisons de scénarii de réduction du bruit ont été comparées. Elles montrent que la solution tout écran reste une solution coûteuse, qui peut être avantageusement remplacée dans certains cas par des actions de réduction du bruit à la source, ou par la combinaison de solutions de réduction du bruit à la source et de protections locales.

Par exemple, dans le projet Coût du dB, différents scénarii ont été testés associant diverses combinaisons : freinage composite fret, freinage composite voyageur meulage des rails, roues optimisées avec absorbeurs, absorbeurs sur voies, écrans absorbants. Le coût des différentes combinaisons possibles a été mis en regard des gains obtenus en termes de diminution des populations exposées à plus de 67 dB(A) sur l'ensemble du réseau. Trois grands groupes de combinaisons apparaissent en termes de rapports coût efficacité.

- un premier groupe de scénarii parmi les coûts les moins élevés, mais protégeant environ 50 % de la population exposée. Il s'agit de solutions sur le matériel roulant (freinage), éventuellement combinées avec le meulage préventif des rails.

- un deuxième groupe présente les coûts les plus élevés. Il s'agit principalement de solutions tout écran ou proposant l'utilisation de roues optimisées.

¹³ Tests réalisés : pour les matériels fret dans le cadre du projet européen SILENT FREIGHT ou dans le cadre du développement de dessertes urbaines à faible bruit ; pour les TGV, jusqu'à 300 km/h dans le cadre du projet RONA (Roue Optimisée vis à vis des Nuisances Acoustiques) soutenu par le PREDIT.

- un troisième groupe paraît être le plus prometteur. En effet, il combine un coût raisonnable en comparaison des différents scénarii considérés, tout en protégeant plus de 95 % de la population exposée. Il s'agit de combinaisons de solutions appliquées conjointement sur le matériel roulant (changement du système de freinage) et sur l'infrastructure (voies).

ANNEXE 4 - Un exemple de campagne de sensibilisation : les concerts de sensibilisation sur les risques auditifs liés à l'écoute de musiques amplifiées

Quelques expériences peuvent être citées en matière de mesures de sensibilisation. Nous présentons ici celles qui ont été conduites par les DDASS de Basse-Normandie¹⁴ et de Poitou-Charentes, en collaboration avec divers partenaires¹⁵.

Partant de deux constats : celui du développement important de l'écoute des musiques amplifiées par les jeunes (expositions plus fréquentes et plus longues, à des niveaux plus élevés¹⁶) et celui du manque d'information des jeunes quant aux risques sanitaires liés à l'écoute de musiques amplifiées, des campagnes de prévention, menées auprès de lycéens essentiellement, ont été conduites dans plusieurs départements. Ces campagnes, conduites en Poitou-Charentes entre 1999 et 2001 et en Basse-Normandie entre 2001 et 2003, s'inscrivaient dans un ensemble d'actions destinées à mieux approcher l'exposition au bruit de la population ; faire prendre en compte la problématique bruit dans la politique d'aménagement ; mettre en œuvre une stratégie pour mieux gérer les plaintes ; développer l'éducation pour la santé dans le domaine du bruit.

Les campagnes visaient à assurer, dans un milieu éducatif et avec ses acteurs, une information-prévention auprès des lycéens, illustrée par un support musical de musiques amplifiées et réalisée par de jeunes musiciens formés spécialement (Comité de pilotage musiques amplifiées et risques auditifs Basse-Normandie, 2003).

Elles ont consisté, d'une part en l'organisation d'un spectacle de musique rock avec interventions de sensibilisation des musiciens¹⁷ ; d'autre part en la mise à disposition d'outils pédagogiques (notice d'information individuelle ; paire de bouchons d'oreille ; mallette pédagogique pour les établissements contenant des informations sanitaires et réglementaires). Les points abordés pendant le concert étaient les suivants : évolution des techniques musicales et musique amplifiée ; l'oreille, les risques auditifs et leurs conséquences ; prévention et protection.

Ce type de programme présenta l'avantage d'être en contact avec la population ciblée, d'instaurer un dialogue, de tester immédiatement les réactions.

¹⁴ Plus de 160 représentations, soient plus de 16 000 lycéens ont ainsi été rencontrés (4 600 élèves en 2003). Il s'agissait essentiellement de classes de seconde ; l'âge moyen était de 16,2 ans.

¹⁵ Ont participé au montage de cette opération : rectorat, DRAC, mutualité, DIREN, ministère en charge de l'environnement, association de protection de l'environnement, conseil régional, conseil général, municipalités, DRASS, DDASS, CPAM, etc.

¹⁶ Les sorties en discothèques ou en concert sont au 2^{ème} et 3^{ème} rang des sorties culturelles des 15-25 ans. 67% des 15-19 ans utilisent un baladeur de manière régulière. De plus les développements technologiques permettent aujourd'hui l'utilisation de matériel de diffusion extrêmement puissant.

¹⁷ « Pour ne pas tomber dans l'oreille de sourds », la parole portée doit être crédible ; elle l'est d'autant plus qu'elle est portée par des professionnels de la musique amplifiée.

Ses objectifs étaient les suivants (Comité de pilotage musiques amplifiées et risques auditifs Basse-Normandie, 2003) :

- agir sur les comportements spontanés (prise de conscience des risques auditifs encourus) ;
- donner des indications pratiques pour gérer dans la vie quotidienne les expositions à l'amplification ;
- donner une appréhension plus concrète de la production des musiques amplifiées ;
- faciliter une gestion responsable : dépistage, protection, attention.

En Poitou-Charentes l'opération a concerné un total de 168 établissements entre 1999 et 2001 ; en Basse-Normandie plus de 10 000 élèves ont assisté à une représentation.

Suite au concert un questionnaire était fourni à chaque élève concernant l'intérêt du spectacle et ses habitudes d'écoute et leurs effets sur la santé. Des questionnaires étaient également adressés aux établissements, destiné à connaître l'appréciation par chaque établissement du concert proposé, de l'outil pédagogique, des mesures accompagnant le spectacle ; un bilan gratuit d'audition était également proposé aux élèves.

Pour la campagne conduite en Basse-Normandie, les résultats du traitement des questionnaires remplis par les lycéens ont indiqué :

44% des élèves déclarent avoir beaucoup appris ; 48% un peu.

17% affirment que le spectacle va sans aucun doute influencer leur façon d'écouter (« *oui j'en suis sûr* ») ; 59% peut-être (« *oui peut-être* »).

42% déclarent qu'ils vont diminuer le volume de leur baladeur ; 40% faire des pauses dans des endroits calmes ; 55% s'éloigner des enceintes ; 25% espacer les temps d'écoute avec le baladeur ; 18% utiliser des bouchons d'oreille (Comité de pilotage musiques amplifiées et risques auditifs Basse-Normandie, 2003).

Concernant les habitudes d'écoute et les effets sur la santé, le tableau suivant présente la proportion de jeunes qui ... :

	souvent	parfois	Jamais
<i>Vont souvent à des ...</i>			
Concerts	9%	51%	40%
Soirées techno	5%	15%	80%
Soirées discothèques	15%	39%	47%
Soirées entre copains	47%	45%	8%
<i>Déclarent que la musique est forte ...</i>			
Musique forte en concert	20%	41%	39%
Musique forte en soirée	37%	22%	42%
Musique forte en discothèque	25%	35%	40%

Musique forte en soirée entre copains	7%	32%	61%
<i>Déclarent avoir ressenti après une exposition sonore....</i>			
Sifflements ou bourdonnements d'oreille	7%	47%	46%
Maux de tête	8%	37%	54%
Sensations de moins bien entendre	7%	33%	60%
Sensations de vertige	2%	8%	90%
Palpitations ou points au cœur	5%	14%	81%

En Poitou-Charentes 94% des lycéens avaient une bonne ou une très bonne appréciation du spectacle ; 58% d'entre eux pensaient modifier leur façon d'écouter de la musique ; 75% trouvaient intéressant l'idée d'avoir des protections auditives jetables à l'entrée des concerts.