

## 2.8 □ Le bruit

### 2.8.1 □ Le bruit et sa mesure

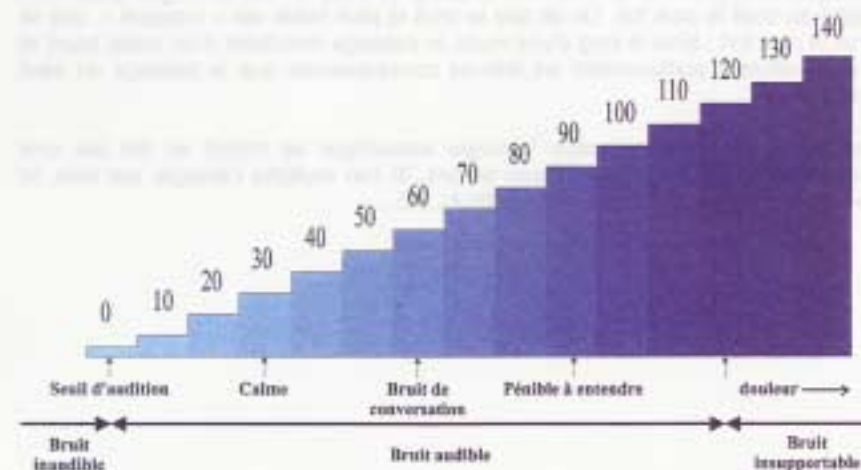
#### ■ Le décibel

Du point de vue physique, le bruit est dû à une variation de pression  $P$  autour de la pression atmosphérique, qui agit sur notre tympan. Les valeurs de  $P$  peuvent s'étendre sur une amplitude considérable. Entre le seuil d'audibilité  $P_0$  et le seuil de la douleur, la pression acoustique est multipliée par 1 million. Il est donc fait appel à une échelle pratique, en correspondance rigoureuse avec les niveaux de pression, en utilisant le logarithme décimal, ce qui réduit l'intervalle des bruits mesurés couramment à des chiffres qui varient entre 0 et 140.

L'unité correspondante est le décibel (dB).

Une variation de 10 dB en plus ou en moins correspond à une multiplication ou à une division par 10 du niveau d'énergie sonore.

Des études ont montré que la sensibilité de l'oreille humaine est correctement traduite par une telle unité de mesure.



Ainsi le niveau de bruit ( $L_w$ ) est défini par la formule :

$$L_w = 10 \log (P^2/P_0^2) \quad \text{avec } P_0 = 2 \times 10^{-5} \text{ Pa (Pascal),}$$

dans laquelle les carrés de pressions sont représentatifs des énergies émises.

#### ■ L'analyse fréquentielle

Le bruit est par ailleurs un son complexe qui peut présenter de nombreuses fréquences<sup>(1)</sup> émises à des niveaux différents. Ces caractéristiques sonores, qui sont déterminées par l'analyse spectrale, constituent son timbre.

Plus un son est aigu, plus sa fréquence est élevée. Plus il est grave, plus sa fréquence est faible. L'oreille humaine n'est pas sensible de la même façon aux différentes fréquences : elle est surtout sensible aux médiums (de 500 à 2 000 Hz), qui constituent l'essentiel des fréquences utilisées par la voix humaine. Elle est d'autant moins sensible qu'on s'écarte des médiums vers les graves (20 à 500 Hz) et, dans une moindre mesure, vers les aigus (de 2 000 à 20 000 Hz).

Pour évaluer le bruit perçu, il faut tenir compte de la variation de sensibilité de l'oreille, en ajoutant conventionnellement des décibels aux niveaux mesurés dans les fréquences médium, et en retirant de plus en plus de décibels au fur et à mesure qu'on s'en éloigne, de façon analogue à ce que perçoit l'oreille. Ces ajouts ou ces soustractions en fonction de la fréquence constituent un système de pondération ; celui retenu pour la caractérisation du bruit est la pondération (A), exprimée en dB(A).

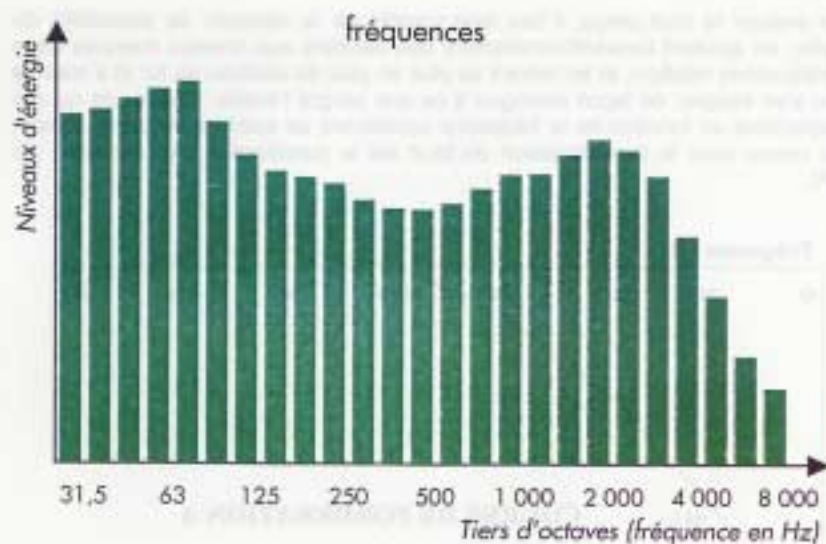


<sup>(1)</sup> exprimées en hertz (Hz), un hertz étant une fréquence égale à 1 période par seconde.

A titre d'exemple, un son dont le niveau de pression sonore correspond à 100 dB sera perçu différemment par l'oreille en fonction de la fréquence :

- à 100 Hz : 80,9 dB(A),
- à 500 Hz : 96,8 dB(A),
- à 1 000 Hz : 100,0 dB(A),
- à 5 000 Hz : 100,5 dB(A),
- à 10 000 Hz : 97,5 dB(A).

Le graphique ci-dessous montre à titre d'illustration, pour un TGV réseau à 300 km/h, les différents niveaux d'énergie, émis par bandes de fréquences, qui caractérisent le bruit ferroviaire de ce matériel.

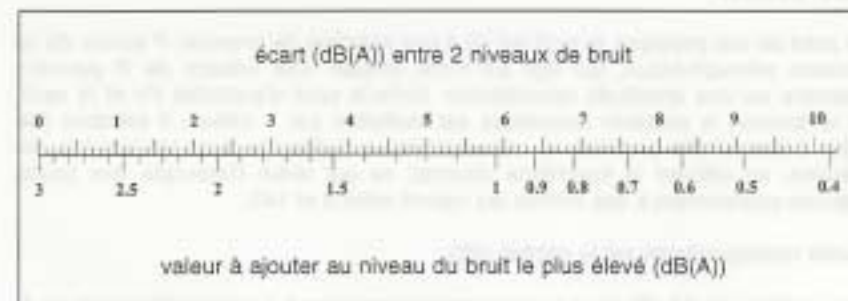


## ■ L'addition de deux bruits

### Le phénomène physique

En acoustique, ce sont les intensités ou les puissances (énergies par unités de temps) qui s'ajoutent arithmétiquement. Du fait de leur échelle multiplicative, les décibels ne s'additionnent pas arithmétiquement.

L'échelle ci-dessous montre la valeur à ajouter au niveau de bruit le plus élevé pour obtenir le niveau de bruit résultant de la superposition de 2 sources sonores.



Par exemple : 65 dB (A) + 62 dB(A) donne 65 dB(A) + 1,8 dB(A) = 66,8 dB(A)

Lorsque deux bruits sont fortement inégaux, la somme des deux est quasiment égale au bruit le plus fort. On dit que le bruit le plus faible est « masqué » par le bruit le plus fort : ainsi le long d'une route, le passage simultané d'un poids lourd et d'une voiture a pratiquement les mêmes conséquences que le passage du seul poids lourd.

De même, multiplier par deux l'énergie acoustique se traduit en fait par une augmentation de 3 dB(A) du niveau sonore. Si l'on multiplie l'énergie par trois, le niveau sonore augmente d'environ 5 dB(A), etc...

Le tableau suivant exprime les augmentations de niveau sonore en dB(A) en fonction des accroissements d'énergie.

Variation des niveaux sonores en fonction de l'énergie acoustique									
Multiplier l'énergie acoustique par :									
2	3	4	5	6	7	8	9	10	
C'est augmenter le niveau sonore de dB(A) :									
+3	+5	+6	+7	+8	+8,5	+9	+9,5	+10	

#### Le phénomène physiologique

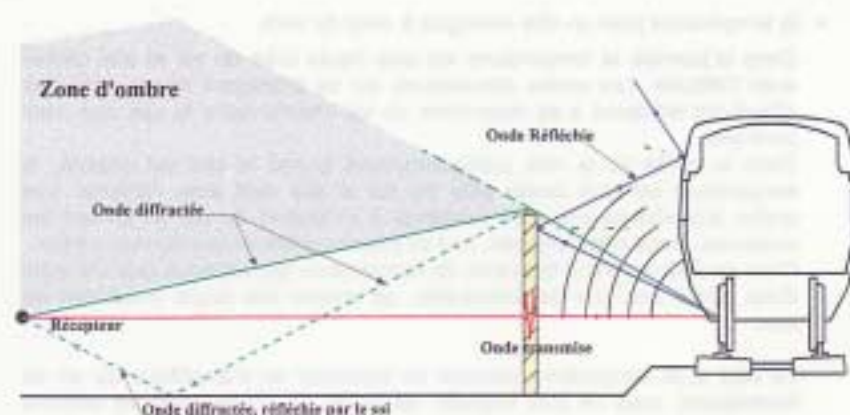
Statistiquement, il apparaît que la sensation que le bruit double est obtenue lorsque l'énergie acoustique est multipliée par 10, c'est-à-dire chaque fois que le niveau sonore s'accroît de 10 dB(A) : le passage de 10 voitures est ressenti comme 2 fois plus bruyant que le passage d'une voiture.

#### ■ La propagation du bruit

L'intensité des impacts sonores d'un projet d'infrastructure sur l'habitat dépend de quatre paramètres principaux :

- la distance entre la voie et l'habitation, qui conditionne la dilution de l'énergie dans l'atmosphère selon des sphères de plus en plus grandes,
- l'absorption du son par celle-ci (environ 9 dB(A) par km),
- la présence éventuelle d'obstacles, naturels ou artificiels, notamment près de la source de bruit (déblai, mur ou merlon antibruit),
- l'absorption par le sol, phénomène jouant lorsque le sol est proche de la ligne droite joignant la source sonore à l'observateur, mais moins sensible dans le cas contraire, notamment lorsque le relief est fortement accentué.

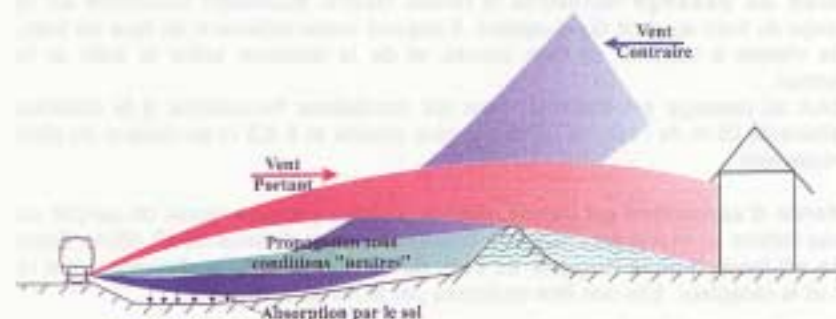
Ces quatre phénomènes sont tout à fait prévisibles par les méthodes modernes de calcul, les phénomènes de surplomb ou de vision directe étant les plus faciles à estimer et les moins dépendants des fluctuations météorologiques. A signaler que ce phénomène est souvent pris à tort pour de l'écho qui est quant à lui faible, voire négligeable en matière de niveau sonore. Le cas particulier d'une surface plate et réfléchissante, à proximité immédiate (exemple : façade) relève, lui, de phénomènes de réflexion pris en compte par les méthodes ou logiciels de calculs classiques.



L'impact sonore dépend enfin des effets météorologiques et en particulier du vent et de la température :

- le son, qui en l'absence de vent se propage en ligne droite, en présence de vent portant, suit le chemin le plus rapide, c'est-à-dire une trajectoire en cloche, en s'éloignant du sol. Dans ces conditions les éléments du relief, qui faisaient obstacle à la propagation, vont être contournés et le bruit arrive au récepteur sans avoir subi d'autre atténuation que l'effet de distance et l'absorption de l'air.

Par vent contraire, la vitesse du son est plus grande près du sol. Les ondes sonores subissent alors les effets d'absorption par le sol et d'atténuation par les obstacles, la propagation du bruit est alors moins bonne.



- la température joue un rôle analogue à celui du vent.

Dans la journée la température est plus haute près du sol et elle décroît avec l'altitude. Les ondes acoustiques qui se propagent mieux dans l'air chaud ont tendance à se rapprocher du sol comme dans le cas d'un vent contraire.

Dans la soirée ou la nuit, particulièrement quand le ciel est dégagé, la température est plus basse près du sol et elle croît avec l'altitude. Les ondes acoustiques ont donc tendance à s'éloigner du sol en évitant les obstacles. Dans cette situation, tout se passe comme le cas du vent portant. C'est ce phénomène d'inversion de température qui explique que les soirs d'été, après une journée ensoleillée, on entend des bruits provenant de loin.

Le vent et la température peuvent se combiner en s'amplifiant ou en se neutralisant, mais ce sont toujours les bruits en provenance de sources relativement éloignées, au-delà de 300 à 400 m, qui en subissent les effets.

## 2.8.2 □ La gêne phonique due à la circulation ferroviaire

### ■ Notions générales

Le bruit de la circulation ferroviaire provient essentiellement, pour des vitesses ne dépassant pas 350 km/h, du contact rail-route. C'est un phénomène intermittent, qui peut être caractérisé par deux paramètres : le bruit au passage, à une courte distance donnée, et la durée d'exposition.

Le **bruit au passage** représente le niveau continu équivalent déterminé sur le passage du train au droit du récepteur. Il dépend essentiellement du type de train, de la vitesse à laquelle ce train circule, et de la distance entre le train et le récepteur.

Le bruit au passage est étalonné, pour les circulations ferroviaires, à la distance forfaitaire de 25 m de l'axe de la voie la plus proche et à 3,5 m au-dessus du plan de roulement.

La **durée d'exposition** est définie comme le temps pendant lequel on perçoit un niveau sonore au moins équivalent au niveau maximum diminué de 10 dB(A). Cette durée est fonction de la longueur du train, de sa vitesse et de la distance entre le train et le récepteur. Elle doit être multipliée par le nombre de trains.

### Niveau sonore instantané pris en compte dans les calculs lors du passage à 25 m, de deux types de TGV (Valeur de référence)

TGV Réseau	à 300 km/h	94,5 dB(A)
	à 230 km/h	91 dB(A)
	à 170 km/h	87 dB(A)
TGV Duplex	à 300 km/h	92 dB(A)
	à 230 km/h	88,5 dB(A)
	à 170 km/h	84,5 dB(A)

### COURBE DE BRUIT AU PASSAGE D'UN TGV

(TGV Réseau à 300km/h)

D=25.0 m



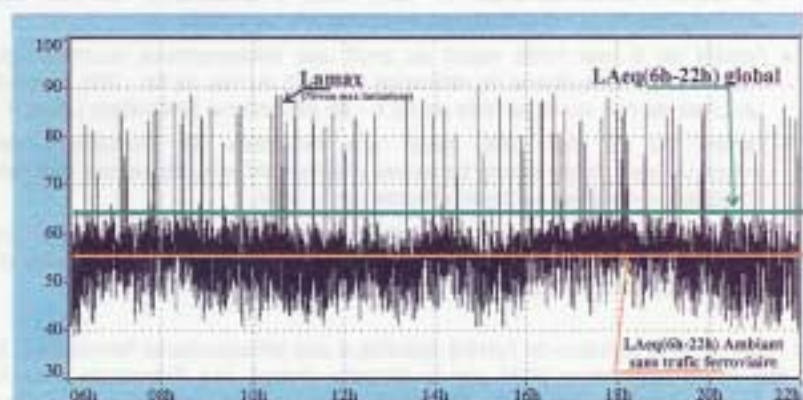
### ■ L'importance de la gêne

De nombreuses études françaises ou étrangères dont celles menées par l'Institut National de Recherche sur les Transports et leur Sécurité (INRETS) montrent que le niveau énergétique équivalent sur une durée T (LAeq T) exprimé en dB(A), est actuellement le meilleur indicateur de gêne globale disponible. Cet indicateur tient compte en effet du niveau sonore lors du passage des trains et du nombre de circulations, par le biais de la durée cumulée d'exposition au bruit, selon une moyenne, sur la durée T, traduisant l'énergie acoustique perçue par l'observateur.

D'abord introduit en France à propos du trafic routier, sa validation a été étendue au trafic ferroviaire après diverses enquêtes.

L'indicateur LAeq est aujourd'hui quasi systématiquement adopté dans tous les pays, en matière ferroviaire comme en matière routière. La comparaison entre ces deux modes de transport fait apparaître, pour un niveau LAeq comparable, une gêne moindre du chemin de fer, comme il ressort des enquêtes comparatives menées sur la gêne des riverains. Cette moindre gêne s'explique notamment par le fait que les bruits de passage sont suivis par de longues périodes de silence.

En France, ce sont les périodes 6 h 00 - 22 h 00 pour le jour et 22 h 00 - 6 h 00 pour la nuit qui ont été adoptées comme références pour le calcul du niveau LAeq. Celui-ci correspond donc à la moyenne horaire de l'énergie cumulée sur les périodes considérées pour l'ensemble des bruits observés.



### ■ Les recherches en cours

Dès 1992, la SNCF consciente de la nécessité de réduire les nuisances acoustiques apportées par le système ferroviaire auprès des riverains de voies ferrées, a lancé un vaste programme de recherche dans ce domaine.

Deux objectifs principaux sont visés :

- d'une part, l'acquisition d'une meilleure connaissance de ces nuisances tant sur le plan des phénomènes physiques que sur le plan de la gêne ressentie par le riverain,
- d'autre part, la mise en oeuvre des meilleures solutions techniques et économiques pour répondre à une législation nationale et européenne à venir.

Les principaux thèmes abordés dans ce programme sont :

- la réduction du bruit des trains à la source : optimisation des rails et des roues, recherche sur les systèmes de freinage futurs du matériel roulant fret, phénomènes aérodynamiques,
- les écrans antibruit : optimisation d'un point de vue acoustique et économique,
- les nuisances acoustiques des trains avec, en particulier, l'étude des situations de multi-exposition dans lesquelles se trouvent les riverains d'infrastructures routières et ferroviaires.

Les premiers résultats de ce programme qui se poursuit aujourd'hui, sont d'ores et déjà encourageants. Concernant le bruit de roulement, on peut en effet escompter à terme un gain acoustique pouvant aller jusqu'à 8 dB(A).

### ■ Le calcul des prévisions sonores

Les calculs prévisionnels du niveau sonore apporté par les infrastructures nouvelles et les infrastructures actuelles réaménagées sont effectués avec le logiciel MITHRA-FER mis au point par le centre Scientifique et Technique du Bâtiment (CSTB).

Le logiciel de base, MITHRA, est apte à prendre en compte les phénomènes de propagation en trois dimensions, ce qui renforce la fiabilité des prévisions. Il intègre, en outre, les paramètres acoustiques suivants :

- diffraction par le relief et les écrans : butte de terre, écran droit ou incliné, bâtiment...
- absorption par le sol, les écrans et les murs,
- absorption atmosphérique.

La version ferroviaire, MITHRA-FER, permet en plus :

- de caractériser le bruit émis par différents types de trains (TGV ou autres),
- d'introduire la composition d'un trafic ferroviaire donné,
- d'intégrer l'interaction caisse-écran,

Testé dans un premier temps pour une propagation jusqu'à 300 m de l'infrastructure, sur site peu vallonné, le logiciel a fait l'objet de validations sur site accidenté (vallée de l'Albarine, en particulier), comparable aux régions traversées par le projet et sur un site en vallée ouverte avec obstacle naturel diffractant.



## 2.8.3 □ La réglementation

### ■ Textes réglementaires

Dans le domaine des nuisances acoustiques ou vibratoires, il n'existait jusqu'à un passé récent, aucune disposition législative ou réglementaire relative aux niveaux de bruit à proximité des installations ferroviaires.

Le **guide du bruit de la Direction des Transports Terrestres** paru en 1980 prévoyait bien qu'en cas de création de voie nouvelle ferrée ou de transformation essentielle de voie existante, il convenait de contenir le niveau sonore entre 65 et 75 dB(A) pour un LAeq de jour ou de soirée.

Mais il ne s'agissait là que d'une simple recommandation que la SNCF avait décidé d'appliquer pour tous ses projets de création de lignes nouvelles à grande vitesse.

Aujourd'hui, **les textes officiels** régissant le bruit des transports sont :

- la loi n°92-1444 du 31 décembre 1992 relative à la lutte contre le bruit,
- le décret n°95-21 du 9 janvier 1995 relatif au classement des infrastructures de transports terrestres,
- le décret n°95-22 du 9 janvier 1995 relatif à la limitation du bruit des aménagements et infrastructures de transports terrestres,
- l'arrêté du 5 mai 1995 relatif au bruit des infrastructures routières qui modifie la période diurne de référence 6h - 22h au lieu de 8h - 20h, introduit un LAeq de nuit sur la période de 22 h - 6h et confirme l'indicateur LAeq, T,
- l'arrêté du 30 mai 1996 relatif aux modalités de classement des infrastructures de transports terrestres et isolement acoustique des bâtiments d'habitation dans les secteurs affectés par le bruit,
- l'arrêté, à paraître, relatif au bruit des infrastructures ferroviaires, qui précisera les objectifs chiffrés ou valeurs limites à respecter, sur la base du même indicateur LAeq, T.

Dans l'attente de la parution de l'arrêté spécifique aux infrastructures ferroviaires, le seuil fixé le 23 septembre 1993 par le Ministre chargé des Transports pour la contribution sonore de la ligne TGV Méditerranée est pris en compte, pour la ligne

Compte tenu de l'amélioration des rames TGV d'ici la mise en service de la liaison ferroviaire, la contribution sonore de la nouvelle infrastructure ne dépassera pas en réalité 60 dB(A) sur 6h - 22h et 55 dB(A) sur 22h - 6h.

**En tout état de cause, le maître d'ouvrage se conformera aux prescriptions en vigueur au moment de réaliser l'ouvrage.**

**Sans préjuger des règles qui seront définies dans ce futur arrêté, les études acoustiques réalisées dans le cadre du présent dossier, permettent de comparer entre elles les différentes variantes de tracé avant mise en oeuvre des protections phoniques.**

## 2.8.4 □ Les protections acoustiques

En dehors de l'optimisation du profil en long de l'infrastructure (passage au plus près du terrain naturel compte tenu des contraintes géotechniques et hydrauliques et de la nécessité d'équilibrer le mouvement des terres), la réduction des nuisances phoniques supportées par les riverains est obtenue par deux principaux types de protection :

- protection dite « à la source » par réalisation d'un ouvrage linéaire en bordure immédiate de la plate-forme ferroviaire,
- protection sur le bâti par un renforcement de l'isolation des façades des constructions exposées.

D'une manière générale, il est donné priorité à la protection à la source chaque fois qu'elle est techniquement possible, esthétiquement acceptable et qu'elle n'entraîne pas un coût de réalisation disproportionné à l'objectif visé.

### La protection à la source

En fonction de la configuration du site et de la nature des constructions ou équipements qu'il comporte, on a recours soit à l'écran phonique mince, soit au merlon de terre.

L'écran, qu'il soit en béton, en bois ou en matériaux de synthèse (produits recyclables...) présente l'avantage d'avoir une faible emprise au sol. Il est pour cela recommandé dans les secteurs où le bâti est dense et dans des conditions d'emprise réduite ou de terrassement pénalisant le recours aux buttes de terre (remblai de forte hauteur).

Ce type d'ouvrage nécessite en revanche une approche architecturale de qualité et une intégration paysagère, en cohérence avec le schéma directeur paysager et l'image spécifique de la ligne.

Lorsque les emprises le permettent et qu'aucune sujétion technique ne s'y oppose par ailleurs, la protection à la source est réalisée au moyen de merlons de terre dont la géométrie est adaptée à la nature des matériaux utilisés.

Le merlon de terre est particulièrement bien adapté aux zones rurales et présente l'avantage de mieux s'intégrer dans le paysage.



*Merlon et écrans acoustiques*

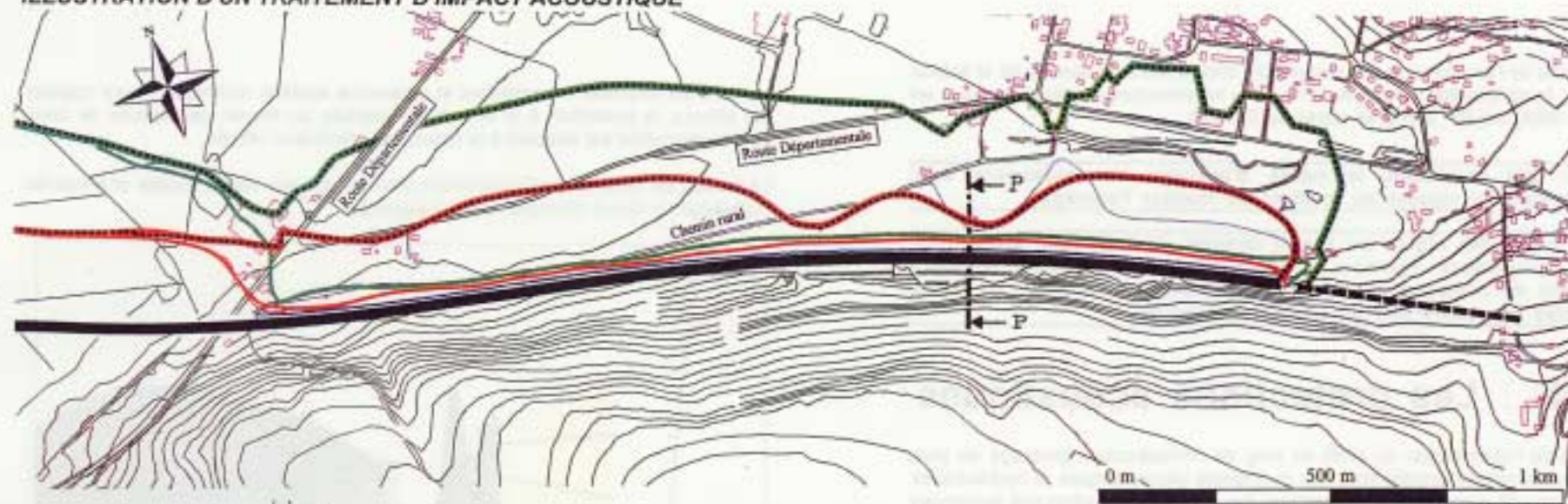
### La protection de façade

Dans le cas d'un habitat dispersé, de pavillons isolés ou d'immeubles de grande hauteur, la protection en façade peut constituer la réponse technique se substituant à l'ouvrage linéaire ou venant en complément (protection des étages émergents d'immeubles).

L'objectif est d'obtenir un isolement acoustique de façade égal à celui d'une façade ordinaire (voisin de 25 dB(A)), augmenté de la différence permettant de ramener le niveau de bruit prévisible à l'objectif, de façon à apporter à l'intérieur des logements une ambiance sonore équivalente à celle qu'ils auraient eue s'ils avaient été protégés par une protection à la source. L'isolement résultant ne devra pas être inférieur à 30dB(A).

Différentes solutions techniques, consistant à améliorer les points faibles d'une façade, sont alors envisageables : survitrage, double fenêtre, nouvelle fenêtre acoustiquement performante...

## ILLUSTRATION D'UN TRAITEMENT D'IMPACT ACOUSTIQUE

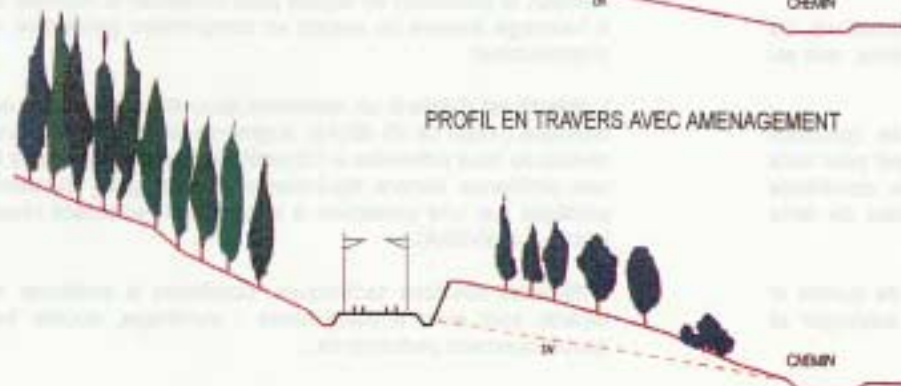


PROFIL EN TRAVERS SANS AMENAGEMENT



- TRACE TGV
- - - PARTIE EN SOUTERRAIN
- COURBE 62 dB sans protection
- COURBE 55 dB sans protection
- COURBE 62 dB avec protection
- COURBE 55 dB avec protection

PROFIL EN TRAVERS AVEC AMENAGEMENT





## 2.9 Vibrations

### 2.9.1 Généralités

#### ■ Le phénomène physique

La circulation des trains sur une voie ferrée entraîne, outre l'émission de bruits acoustiques, l'apparition de vibrations au contact de la roue et du rail. Celles-ci, se traduisent par des mouvements de la structure de la voie à des fréquences variables, du ballast et des sous-couches.

Elles peuvent ensuite se propager dans le sol et, en fonction de la nature du sous-sol (sols meubles ou rocheux), s'affaiblir rapidement avec la distance. Dans certains cas, elles sont perçues depuis les immeubles proches des voies, sous la forme de bruits secondaires, à basse fréquence, résultant des rayonnements propres de certains éléments légers du bâtiment (plancher, cloisons, mobilier, ...).

On peut distinguer, dans les problèmes de vibrations, trois stades dans la chaîne mécanique reliant les véhicules aux immeubles riverains :

- **les phénomènes d'émission des vibrations** qui sont liés, par nature, à la circulation des roues sur les rails,
- **la transmission des vibrations** dans l'environnement immédiat de la voie qui se fait au travers de la structure supportant les rails (traverses, ballast, sous-couches,...),
- **la transmission des vibrations** de l'environnement immédiat de la voie au sol environnant qui dépend en fait, de deux facteurs : la nature du sol support et la nature du couplage existant entre la structure de la voie et le sol environnant, d'une part, et entre le sol et la structure de l'immeuble riverain, d'autre part.

Dans les sols relativement meubles qui sont les plus courants, l'amortissement des vibrations avec la distance est très rapide, et ce d'autant plus que la fréquence des vibrations est élevée.

Dans les sols rocheux, cet amortissement, quoique important, est moins rapide avec la distance mais la vibration s'atténue mieux en fonction de la géologie du sol (altération, pendages, épaisseur des barres, ...).

#### ■ Ses conséquences

La gêne due aux vibrations est variable. On peut cependant classer les niveaux d'acceptabilité des vibrations en deux catégories, selon qu'ils risquent de provoquer des perceptions des personnes ou des dommages matériels aux immeubles.

#### *Réaction des personnes*

Les niveaux acceptables vis-à-vis des perceptions des personnes concernent deux aspects :

- le seuil de gêne par perception auditive des vibrations réémises par les structures, qui est de toute évidence le plus faible. Le niveau acoustique réémis dépend beaucoup de la nature de la structure et du local,
- le seuil de gêne par perception tactile directe, seuil qui est souvent beaucoup plus élevé que le précédent (d'un facteur 10 au moins).

#### *Risque de dommages aux constructions*

Le risque de dommages aux constructions est pratiquement inexistant du fait de l'absorption de l'énergie vibratoire dans celles-ci par des mécanismes de frottement et de déformations plastiques selon des processus identiques à ceux qui sont source de l'amortisseur naturel des vibrations dans les sols.

De ce fait, le risque de dommages dépend de façon étroite, non seulement de l'amplitude des vibrations et de leur fréquence, mais également de la nature de l'état de la construction.

#### **La réglementation en vigueur**

La norme ISO/DIS a défini un certain nombre de seuils de valeurs d'amplitudes de vibrations au-delà desquels une gêne par perception tactile est avérée. Les limites recommandées, variables avec la destination du bâtiment et la période de la journée sont les suivantes :

Fonction	Période	Ecart-type de l'accélération	Ecart-type équivalent de vitesse vibratoire
Hôpitaux	Jour ou nuit	$0,37 \text{ g} \times 10^{-3} \text{ (1)}$	0,10 mm/s
Résidence	Jour	$0,74 \text{ à } 1,47 \text{ g} \times 10^{-3}$	0,20 à 0,40 mm/s
	Nuit	$0,52 \text{ g} \times 10^{-3}$	0,14 mm/s
Bureaux	Jour ou nuit	$1,47 \text{ g} \times 10^{-3}$	0,40 mm/s
Ateliers	Jour ou nuit	$2,94 \text{ g} \times 10^{-3}$	0,80 mm/s

(1)  $10^{-3} \text{ g} = 9,8 \text{ mm/s}^2$

Des limites supérieures aux précédentes peuvent être admises, particulièrement pour des gênes provisoires et de rares événements de courte durée générés par des travaux de construction.

## 2.9.2 L'impact du projet

Toutes les mesures réalisées en bordure de voies ferrées ont montré que le niveau des vibrations transmises était toujours inférieur au seuil à partir duquel des désordres, même très légers, seraient à craindre dans les bâtiments. Le seuil d'audibilité des vibrations dans un bâtiment, très inférieur au précédent, n'est lui-même atteint que dans des cas très particuliers, le plus souvent dans des bâtiments très proches de voies, en souterrain affleurant le sol, en site urbain.

En complément des mesures de vibrations dont la S.N.C.F. dispose le long de lignes classiques, des mesures complémentaires ont été réalisées à proximité des lignes TGV.

Quelques résultats figurent dans le tableau ci-après, qui a été complété par des valeurs relevées sur une ligne classique.

Distance au rail le plus proche	Ecart-type d'accélération pondérée en $\text{g} \times 10^{-3}$				Nombre de trains moyennés	Plage de vitesse en km/h	Circulation	Topographie Raideur au sol
	2,8 m	10,3 m	17,8 m	25,3 m				
LN P.S.E.* PK 270,200	1,6	0,6	0,18	0,02	3	235-250	TGV	Transition entre tranchée rocheuse et remblai Raideur moyenne
LN Atlantique PK 87,445	1,88	0,37	0,26	0,20	1	296	TGV A	Terrain plat Faible raideur
LN P.S.E. PK 288,810	1,56	0,49	0,32	0,33	5	263-270	TGV	Terrain plat Raideur moyenne
LN Atlantique PK 161,400	1,32	0,37	0,30	0,23	1	300	TGV A	Léger déblai Raideur moyenne
LN P.S.E. PK 76,825	2,11	0,56	0,33	0,32	7	261-271	TGV	Terrain plat Raideur faible
Ligne classique Lyon-Marseille PK 687,900	3,04	1,07	0,34	0,21	1	160	Corail	Terrain plat Raideur moyenne

\* Les distances au rail le plus proche : 2,16 m ; 17,6 m

On peut ainsi constater, pour les vitesses de circulation allant jusqu'à 300 km/h, qu'au delà d'une distance de l'ordre de 15 m du rail, la valeur limite de la norme internationale, pour des zones délicates telles que les hôpitaux, est largement respectée.

Eu égard au faible niveau vibratoire engendré par les rames (TGV en général, voire même avec Fret spécialisé sur Perpignan-Barcelone) pour des distances horizontales supérieures à environ 25 m de l'axe, en champ libre, ou des couvertures de sol supérieures à environ 15 m en tunnel, aucun risque potentiel d'origine vibratoire ne peut être encouru.

### Cas particulier d'une voie en tunnel

Dans le cas où la voie est posée en tunnel, l'émission des vibrations dans le sol se fait, d'une part en profondeur, et d'autre part à partir de la paroi massive du tunnel, qui filtre celles-ci et constitue donc un élément favorable.

Des essais effectués dans un tunnel emprunté à 250 km/h ont permis de constater qu'à 18 m du rail le plus proche, le niveau vibratoire moyen est inférieur à la valeur préconisée par la norme ISO pour les zones critiques.

En outre, l'expérience acquise sur des réseaux étrangers ainsi que les résultats obtenus sur la ligne TGV Atlantique montrent qu'en l'absence de réactions particulières, au-delà de 60 m de distance horizontale, à partir du tunnel, l'effet des vibrations n'est plus perceptible.

### 2.9.3 Mesures générales

Vis-à-vis des trois stades identifiés dans la chaîne d'émission, de transmission et de réception des vibrations, les remarques suivantes peuvent être faites :

- Concernant l'émission de la vibration, les efforts de contact rail-route qui engendrent les mouvements de la voie, sont nécessairement limités à un taux acceptable pour les matériaux et le maintien de la géométrie de la voie. Sur les lignes à grande vitesse, le niveau de ces efforts dynamiques ne dépasse pas celui produit par les trains classiques circulant à 160-200 km/h.

Des attentions particulières sont portées en ce qui concerne la géométrie des rails (inertie, longs rails soudés, continuité de la table de roulement qui fait l'objet de meulages périodiques pour disposer en permanence d'un bon état de surface) et des roues, ainsi que dans la recherche d'une diminution de l'effort dynamique (charge à l'essieu limitée à 17 tonnes, réduction des masses non suspendues des motrices TGV).

- Pour ce qui est de la diminution de la transmission des vibrations dans l'environnement de la voie, on a recours à une structure constituée de traverses en béton, et d'attaches élastiques avec semelles en caoutchouc entre rail et traverses. Une forte épaisseur de ballast est interposée entre les traverses et le sol, ce qui amène un amortissement important des vibrations dans la structure même de la voie.
- Enfin, dans la transmission des vibrations dans le sol, même en cas de terrains rocheux, un facteur favorable réside dans la masse importante opposée aux vibrations, ce qui est le cas des tunnels à grande vitesse dont la structure est nécessairement lourde compte tenu de leur gabarit. De plus, les sols rocheux naturels concernés présentent en général un degré d'altération suffisant pour rétablir, par l'intermédiaire des discontinuités naturelles un bon amortissement des vibrations.

Dans le cas de zones particulièrement sensibles, des précautions spécifiques sont prises, de manière à filtrer davantage les vibrations au sein de la structure de la voie et avant qu'elles ne soient transmises au sol environnant. Les techniques les plus couramment utilisées consistent à poser un tapis caoutchouté entre le ballast et le sol et à envelopper les traverses dans un chausson en caoutchouc.

La décision d'emploi de ce dispositif de protection, dont la mise en œuvre se fait à la pose de la voie, est prise après des études détaillées localisées dans les sites critiques où des problèmes vibratoires auraient pu être localisés.

## 2.10 Effets de souffle

Pour un observateur situé le long d'une voie ferrée, le passage d'un train peut être ressenti dans le domaine des phénomènes aérodynamiques rassemblés sous l'appellation "d'effets de souffle" sous deux aspects différents :

- soit par écoulement d'air, d'orientation et de vitesse variables, qui peut être caractérisé par une mesure de traînée (effort horizontal instantané sur un corps d'épreuve) ou par une estimation de la vitesse du vent : c'est le cas d'un corps isolé (personnel, poteau par exemple) qui par ses faibles dimensions a peu d'influence sur les mouvements de masses d'air,
- soit par une succession de surpressions alternées ; c'est le cas d'un corps de grande dimension placé parallèlement à la voie, de proximité et de hauteur suffisantes pour provoquer un laminage de l'air entre les parois de l'obstacle et du train.

Les impacts dus aux effets de souffle sont fonction de paramètres multiples dont les principaux sont :

- la vitesse du train,
- la distance à la paroi du train,
- les caractéristiques aérodynamiques du train,
- la géométrie des lieux (voie de niveau ou non avec les terrains encadrants),
- les circonstances atmosphériques qui le plus souvent masquent les effets de souffle des trains et dont l'influence sur les obstacles extérieurs au chemin de fer doit être étudiée par application directe des "Règles Neige et Vent NV 65".

Les études expérimentales menées dès 1972 sur le TGV 001 ont montré que cette rame, ainsi que les rames des générations suivantes dont les performances aérodynamiques sont encore meilleures, provoquent des effets de souffle nettement inférieurs à ceux des trains classiques.

Les essais ont montré qu'une rame TGV provoque à 200 km/h des effets comparables à ceux d'un train classique de voyageurs à 160 km/h et qu'à 300 km/h, ils ne sont pas supérieurs à ceux d'un train classique à 200 km/h.

Les efforts de traînée et les vitesses de vent mesurés expérimentalement ont ainsi permis de constater que les effets, sur une personne placée dans l'emprise d'une ligne à grande vitesse, à 7,50 m du passage d'une rame TGV à 300 km/h, restaient nettement inférieurs à ceux d'un vent de 10 m/s (36 km/h), correspondant sensiblement à la limite entre les degrés Beaufort 5 et 6 (limite entre vent frais et grand vent). Il en est de même pour les personnes situées sur les ponts au-dessus du TGV.