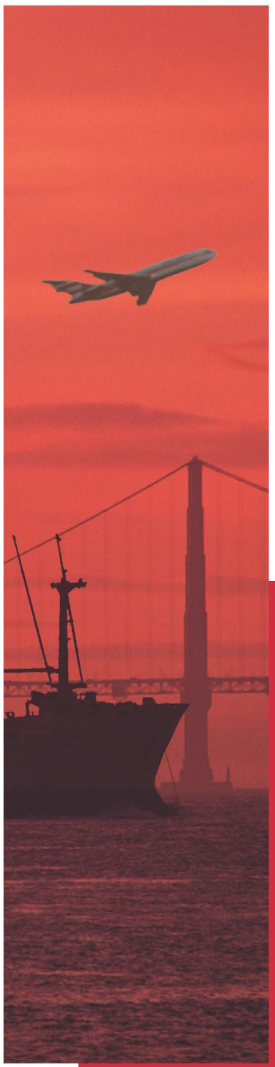
PARLEMENT EUROPÉEN

DIRECTION GENERALE DES POLITIQUES INTERNES

DÉPARTEMENT THÉMATIQUE B
POLITIQUES STRUCTURELLES ET DE COHÉSION



Agriculture et développement rural

Culture et éducation

Pêche

Développement régional

Transport et tourisme

RÉDUIRE LA POLLUTION SONORE FERROVIAIRE

ÉTUDE

FR DE/EN 2012

PARLEMENT EUROPÉEN

DIRECTION GÉNÉRALE DES POLITIQUES INTERNES

DÉPARTEMENT THÉMATIQUE B:
POLITIQUES STRUCTURELLES ET DE COHÉSION

TRANSPORT ET TOURISME

RÉDUIRE LA POLLUTION SONORE FERROVIAIRE

ÉTUDE

Ce document a été demandé par la commission du transport et du tourisme du Parlement européen.

AUTEURS

Uwe CLAUSEN
Claus DOLL
FRANCIS JAMES FRANKLIN
Gordana Vasic FRANKLIN
Hilmar HEINRICHMEYER
Joachim KOCHSIEK
Werner ROTHENGATTER
Niklas SIEBER

ADMINISTRATEUR RESPONSABLE

Piero SOAVE
Parlement européen
Département thématique B: Politiques structurelles et de Cohésion
B-1047 Bruxelles
E-mail: poldep-cohesion@europarl.europa.eu

ASSISTANCE ÉDITORIALE

Nora REVESZ

VERSIONS LINGUISTIQUES

Original: EN.
Traductions: DE, FR.

À PROPOS DE L'ÉDITEUR

Pour contacter le Département thématique B ou vous abonner à sa lettre d'informations mensuelle, veuillez écrire à l'adresse suivante: poldep-cohesion@europarl.europa.eu

Manuscrit achevé en mars 2012.

Bruxelles, © Union européenne, 2012.

Ce document est disponible sur Internet à l'adresse suivante:
http://www.europarl.europa.eu/studies

CLAUSE DE NON-RESPONSABILITÉ

Les opinions exprimées dans le présent document sont celles de l'auteur et ne reflètent pas nécessairement la position officielle du Parlement européen.

Reproduction et traduction autorisées, sauf à des fins commerciales, moyennant mention de la source, information préalable de l'éditeur et transmission d'un exemplaire à celui-ci.

PARLEMENT EUROPÉEN

DIRECTION GÉNÉRALE DES POLITIQUES INTERNES

DÉPARTEMENT THÉMATIQUE B:
POLITIQUES STRUCTURELLES ET DE COHÉSION

TRANSPORT ET TOURISME

RÉDUIRE LA POLLUTION SONORE FERROVIAIRE

ÉTUDE

Résumé

Le bruit ferroviaire touche 12 millions de citoyens dans l'Union européenne pendant la journée et 9 millions pendant la nuit. La présente étude établit un inventaire des mesures, des financements et des réglementations destinés à réduire ces émissions sonores. La modernisation du matériel roulant constitue la mesure la plus efficace de réduction du bruit. À court terme, la mesure prioritaire est le remplacement des semelles de frein en fonte des véhicules de fret ferroviaire par des semelles de frein en matériau composite. Il est crucial d'élaborer un programme de réglementation visant à mettre en service, de façon progressive, du matériel roulant peu bruyant dans le cadre d'une stratégie de réduction du bruit ferroviaire.

IP/B/TRAN/FWC/2010-006/LOT4/C1/SC2 2012

PE 474.533 FR

TABLE DES MATIÈRES

LISTE DES ABRÉVIATIONS 5

LISTE DES TABLEAUX 7

LISTE DES FIGURES 9

SYNTHÈSE 11

1. DÉFINITIONS ET INCIDENCE DU BRUIT 17

1.1. Bruit et bruit ferroviaire 17

1.2. Le mesurage du bruit 17

1.3. L'incidence du bruit 18

1.4. Résultats de la cartographie du bruit 19

1.5. Groupes de défense de l'environnement et habitants touchés 22

2. CADRE JURIDIQUE 25

2.1. Recommandations générales, limites et seuils de bruit ambiant 25

2.2. Directive 2002/49/CE relative au bruit dans l'environnement 31

2.3. Refonte du premier paquet ferroviaire 45

2.4. STI «Bruit» 46

2.5. Mesurage et estimation du bruit ferroviaire 47

3. BRUIT FERROVIAIRE – SOURCES ET MESURES DE PREVENTION 51

3.1. Sources du bruit ferroviaire 51

3.2. Évolution des émissions sonores en fonction du matériel roulant 54

3.3. Mesures visant à éviter le bruit ferroviaire 58

3.4. Synthèse des principales mesures de réduction du bruit 69

3.5. Nombre de wagons de fret à moderniser 75

4. ÉTUDES DE CAS 77

4.1. Descriptions générales du bruit ferroviaire ambiant dans les zones ou les pays choisis 77

4.2. Analyse détaillée des tronçons choisis 89

5. ÉVALUATION **99**

5.1. Les incitations économiques 99

5.2. Analyse des possibilités de réglementation 104

5.3. Analyse des commentaires des parties prenantes sur les incitations économiques et la réglementation 107

6. CONCLUSIONS **109**

6.1. Mesures recommandées 109

6.2. Recommandations d'activités parlementaires 114

REFERENCES **117**

ANNEXE I:
ÉMISSIONS DE BRUIT DANS L'ENVIRONNEMENT DANS LES ÉTATS MEMBRES ET LES AGGLOMÉRATIONS (RÉFÉRENCES [CTE 2010]) **127**

ANNEXE II:
NIVEAUX DE BRUIT MAXIMAUX DU MATÉRIEL ROULANT SELON LA STI «BRUIT» **129**

ANNEXE III:
COMPARAISON DE LA COUVERTURE DES BOGIES DE DIFFÉRENTS MATÉRIELS ROULANTS MODERNES **131**

ANNEXE IV:
RÉGLEMENTATIONS IMPORTANTES ET ANALYSÉES **133**

LISTE DES ABRÉVIATIONS

AEA	AEA Technology Rail BV, Pays-Bas
AEE	Agence européenne pour l'environnement
BIMSchV	Bundes-Immissions-Schutz-Verordnung (ordonnance allemande sur la protection contre le bruit de la circulation)
BMVIT	Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie (ministère fédéral autrichien des transports, de l'innovation et de la technologie)
BS	British Standard (norme britannique)
BVU	Beratergruppe Verkehr + Umwelt (consultants dans les domaines du transport et de l'environnement)
CE	Conseil européen
CER	Communauté européenne du rail et des compagnies d'infrastructure
DB	Deutsche Bahn (Chemins de fer allemands)
DEFRA	Department for Environment, Food and Rural Affairs of UK (ministère britannique de l'environnement, de l'alimentation et des questions rurales)
DG	Direction générale de la Commission européenne
DG ENTR	Direction générale des entreprises et de l'industrie
DG ENV	Direction générale de l'environnement
DG RTD	Direction générale de la recherche et de l'innovation
DG TREN	Direction générale de l'énergie et des transports
DIR	Directive
ECML	East Coast Main Line (ligne principale de la côte est au Royaume-Uni)
ERFA	Association européenne des opérateurs de fret ferroviaire
ETC-LUSI	Centre thématique européen sur l'occupation des terres et l'information spatiale
FS	Trenitalia (Chemins de fer italiens, anciennement Ferrovia dello Stato)
L_{DAY}	Indice du niveau sonore moyen pondéré pour la période de jour (6 heures-22 heures)
L_{DEN}	Indice du niveau sonore moyen pondéré sur une journée (24 heures)
L_{NIGHT}	Indice eau sonore moyen pondéré sur une nuit (22 heures-6 heures)

MF	Modificateur de frottement
NDTAC	*Noise Depending Track Access Charge* (redevance d'accès aux voies en fonction du niveau d'émission sonore)
NSR	Niveau supérieur du rail
ÖBB	Österreichische Bundesbahn (Chemins de fer autrichiens)
OMS	Organisation mondiale de la santé
PE	Parlement européen
PPG	*Planning Policy Guidance* (note explicative en matière de politique de planification)
RAE	Rame automotrice électrique
RENFE	Red Nacional de Ferrocarriles Españoles (Chemins de fer espagnols)
RFI	Rete Ferroviaria Italiana (Société italienne de gestion de l'infrastructure ferroviaire)
SBB	Schweizer Bundesbahn (Chemins de fer suisses)
Semelles de type K	Semelles de frein en matériau composite de type K
Semelles de type LL	Semelles de frein en matériau composite de type LL
SESF	Société d'exploitation de services ferroviaires
STI	Spécification technique d'interopérabilité
STIB	Société des transports intercommunaux de Bruxelles
TAC	*Track Access Charge* (Redevance d'accès aux voies)
UE	Union européenne
UIC	Union internationale des chemins de fer
UIP	Union internationale des wagons privés
UIRR	Union internationale des sociétés de transport combiné Rail-Route
UITP	Union internationale des transports publics
UNIFE	Union des industries ferroviaires européennes
VDV	Verband Deutscher Verkehrsunternehmen (Union allemande des sociétés de transport)
VPI	Vereinigung der Privatgüterwagen-Interessenten (Association allemande des propriétaires de wagons privés)
WCML	West Coast Main Line (ligne principale de la côte ouest au Royaume-Uni)

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1
Recensement des personnes touchées par le bruit ambiant lors de la première phase de cartographie 19

Tableau 2
Seuil de bruit ambiant pendant la nuit permettant d'éviter les risques pour la santé d'après les recommandations de l'OMS 26

Tableau 3
Seuils recommandés pour les plans d'action par l'Office fédéral allemand de l'environnement 27

Tableau 4
Plafonds de bruit ambiant pour les nouvelles infrastructures de transport ou les infrastructures modifiées en Allemagne 28

Tableau 5
Valeurs limites pour les plans d'action autrichiens 28

Tableau 6
Valeurs seuils de bruit intérieur causé par le bruit ambiant (Royaume-Uni) 28

Tableau 7
Catégories d'exposition au bruit pour les habitations 30

Tableau 8
Niveaux de bruit correspondant aux catégories d'exposition pour les habitations 30

Tableau 9
Valeurs limites pour les plans d'action en Espagne 31

Tableau 10
Feuille de route pour la mise en œuvre de la directive 2002/49/CE 33

Tableau 11
Étape supplémentaire dans la cartographie du bruit aux termes de la directive 2002/49/CE 34

Tableau 12
Calendrier pour l'établissement des cartes de bruit et des plans d'action pour la réduction du bruit 34

Tableau 13
État d'avancement de la mise en œuvre de la directive 2002/49/CE 35

Tableau 14
Actions des pays européens pour la réduction du bruit ferroviaire lorsque les informations sont disponibles 36

Tableau 15
Analyse des études sur l'adéquation des incitations à la réduction du bruit ferroviaire 50

Tableau 16
Importance des sources de bruit 53

Tableau 17
Émissions sonores maximales et mesurées des trains à grande vitesse existants 55

Tableau 18
Émissions sonores maximales et mesurées des nouveaux wagons de fret 56

Tableau 19
Mesures, conséquences et coûts 69

Tableau 20
Structure de la flotte des wagons de fret en fonction de leur ancienneté, en l'an 2000 76

Tableau 21
Prévision du nombre de trains sur la Rheintalbahn 78

Tableau 22
Proportion entre le nombre de trains circulant en journée et le nombre de trains circulant pendant la nuit sur la «Rheintalbahn» 79

Tableau 23
Habitants exposés au bruit ferroviaire à Fribourg 79

Tableau 24
Habitants exposés au bruit ferroviaire à Offenburg 80

Tableau 25
Résultats du programme autrichien de réduction du bruit ferroviaire 83

Tableau 26
Exemple de données sur le trafic ferroviaire dans le Val de Suse; Nombre de trains pour un jour ouvrable moyen 84

Tableau 27
Fourchette de réduction sonore 90

Tableau 28
Incidences des mesures de réduction du bruit dans la vallée du Rhin moyen 91

LISTE DES FIGURES

Figure 1
Part des citoyens affectés par le bruit ferroviaire dans chaque pays européen selon les données de l'AEE 21

Figure 2
Manifestations à Rüdesheim en mai 2011, carte du bruit de la vallée de la Lorelei L_{DEN} 22

Figure 3
Vallée du Rhin supérieur: plans pour Weil-am-Rhein et manifestations à Offenburg 23

Figure 4
Valeurs L_{DEN} en zone résidentielle (selon les rapports de 14 États membres) 27

Figure 5
Comparaison des méthodes de calcul du bruit dans le projet ALPNAP 49

Figure 6
Sources du bruit ferroviaire en fonction de la vitesse du train 52

Figure 7
Évolution des sources de bruit au passage du train 53

Figure 8
Évolution des émissions sonores du matériel roulant suisse 55

Figure 9
Niveaux sonores des véhicules ferroviaires automoteurs autrichiens 56

Figure 10
Niveaux sonores des moteurs ferroviaires autrichiens 57

Figure 11
Comparaison entre les freins à sabot et à disque 59

Figure 12
Anneaux amortisseurs et roues perforées 61

Figure 13
Amortisseurs dynamiques 61

Figure 14
Écrans sur la toile de roue 61

Figure 15
Amortisseurs dynamiques sur rail Silent Track de Tata Steel 63

Figure 16
À gauche: semelle sous-rail Saargummi; à droite: support d'âme élastique Vanguard de Pandrol 64

Figure 17
Vue en coupe de la voie sur dalle SA42 du projet STV 64

Figure 18
Principe des systèmes de graissage fixes pour la modification des frottements 66

Figure 19
Carénage du pantographe du Shinkansen japonais série 700 67

Figure 20
Revêtement poreux du pantographe 68

Figure 21
Modification des niveaux sonores sur les voies de chemin de fer allemandes à la suite de l'introduction des semelles en fonte composite sur les wagons de fret 71

Figure 22
Analyse coûts-avantages des mesures de réduction du prix dans le cadre du projet STAIRRS 72

Figure 23
Impact sur le niveau sonore total en fonction du nombre de wagons équipés de semelles K ou LL 73

Figure 24
Estimation du nombre de wagons de fret 75

Figure 25
Direction de la propagation du bruit (rayons sonores) pendant la journée 81

Figure 26
Direction de la propagation du bruit (rayons sonores) pendant la nuit 82

Figure 27
Effets des barrières antibruit à Jenbach, vallée de l'Inn, Autriche 84

Figure 28
Pollution sonore dans le corridor du Fréjus 85

Figure 29
Indice de pollution sonore (IPS) résultant de l'exposition simultanée aux sources ferroviaire et routière 86

Figure 30
Interprétation des valeurs de l'IPS 86

Figure 31
Effets des barrières antibruit sur le nombre d'habitants des agglomérations en Angleterre 88

Figure 32
Zones importantes, Plan d'action contre le bruit pour Sheffield, Angleterre 89

Figure 33
Tronçon entre Coblence et Bingen, incidences des mesures 90

Figure 34
À gauche: vue du Blackfriars Railway Bridge de la rive sud. À droite: train EMU de la classe 319 exploité par First Capital Connect 92

Figure 35
Vue d'ensemble des viaducs/ponts à proximité de la gare de Blackfriars 93

Figure 36
Niveaux de bruit mesurés dans le quartier de Blackfriars 94

Figure 37
Augmentation de bruit prévue d'ici 2026 aux façades adjacentes résultant de l'activité ferroviaire pendant la journée 95

SYNTHÈSE

D'après les rapports des États membres compilés par l'Agence européenne pour l'environnement (AEE) en 2010, le bruit ferroviaire touche environ 12 millions de citoyens dans l'Union européenne pendant la journée, en entraînant une exposition sonore supérieure à 55 dB(A), et 9 millions pendant la nuit, en entraînant une exposition sonore supérieure à 50 dB(A). En réalité, les chiffres sont sans aucun doute plus élevés, étant donné que l'initiative de cartographie du bruit à l'échelle européenne de l'AEE concerne les agglomérations de plus de 250 000 habitants et les principales lignes ferroviaires enregistrant un trafic de plus de 60 000 trains par an. Le problème du bruit ferroviaire concerne principalement l'Europe centrale, où vivent la majorité des citoyens qui en sont victimes et où le volume de fret ferroviaire est le plus élevé. Il s'agit notamment de l'Allemagne, de l'Italie et de la Suisse, mais la densité du trafic est également élevée en Pologne, en Autriche, dans les Pays-Bas et en France. D'après la cartographie du bruit, une population importante est touchée par ce phénomène en Belgique et au Luxembourg.

Le bruit est un phénomène dérangeant qui pollue l'environnement et a des effets néfastes sur la santé des individus exposés à des niveaux élevés de bruit ambiant supérieurs à 70 dB(A), voire à des niveaux inférieurs. Le bruit ferroviaire est devenu un sujet crucial dans plusieurs pays d'Europe car le transport ferroviaire s'intensifie et joue un rôle plus important dans le cadre de l'écologisation des transports. Pour atteindre les objectifs de durabilité formulés dans le livre blanc de 2011 de la Commission européenne sur les transports et dans le paquet «Écologisation des transports», il est nécessaire de réduire l'incidence environnementale (émissions de carbone, consommation d'énergie, bruit, etc.) des activités ferroviaires afin que ce mode de transport reste écologique et que la solution ferroviaire soit privilégiée dans le cadre de la réduction globale des incidences environnementales de tous les modes de transport.

Pour analyser la situation relative au bruit en Europe, la législation actuelle de la Commission européenne dispose que les États membres doivent fournir des cartes sonores et des plans d'action contre le bruit. Les plans d'action contre le bruit présentent des mesures mises en œuvre pour réduire l'exposition au bruit de l'environnement des habitants dont l'exposition à ces nuisances a été établie. Cependant, le cadre juridique varie considérablement en Europe. Les États membres ont défini des limites ou des seuils d'émissions sonores dans l'environnement et, en général, ces limites sont uniquement évaluées lors de la construction d'une infrastructure ou d'un réaménagement de grande ampleur.

De façon générale, trois sources différentes d'émissions sonores ferroviaires sont visées:

- le bruit du moteur;
- le bruit de roulement;
- le bruit aérodynamique.

Le bruit ferroviaire est en grande partie lié au bruit des trains de marchandise et des trains comprenant des wagons ou des moteurs plus anciens, et est particulièrement problématique pendant la nuit. En général, les véhicules ferroviaires mal entretenus et les trains roulant sur une infrastructure mal entretenue émettent un bruit de roulement plus élevé. Le bruit aérodynamique concerne plus particulièrement les lignes à grande vitesse qui, dans la plupart des cas, sont visées par des mesures de restriction des niveaux sonores comme l'installation de barrières antibruit. Les barrières antibruit limitent les effets du bruit de roulement mais sont souvent trop basses pour limiter le bruit provenant des

pantographes. Le bruit émis par le moteur est particulièrement notable à de faibles vitesses allant jusqu'à environ 30 km/h alors que le bruit de roulement est davantage remarquable au-dessus de 30 km/h. Le bruit aérodynamique est bien plus présent au-dessus de 200 km/h. La source d'émissions sonores la plus importante provient du bruit de roulement, émis par tous les types de train.

Afin de réduire la pollution sonore ferroviaire, il convient de distinguer les mesures passives au niveau de la perturbation et les mesures actives à celui de la source des émissions. Les méthodes passives les plus répandues pour réduire l'incidence du bruit ferroviaire sur l'environnement sont les murs antibruit et les fenêtres isolantes. Les plans d'action et les investissements des États membres concernent en grande partie ces méthodes. Cependant, ces dernières n'ont qu'un effet localisé et nécessitent des investissements très importants pour protéger les réseaux ferroviaires de façon plus généralisée.

À l'inverse, les mesures portant sur la source des émissions permettent de diminuer les bruits dans l'ensemble du système ferroviaire à condition qu'elles soient appliquées à grande échelle. Par exemple, il est possible de réduire les émissions sonores des véhicules de fret bruyants en remplaçant les semelles de frein en fonte par des semelles en matériau composite. L'industrie ferroviaire étudie actuellement cette mesure, qui pourrait concerner environ 370 000 anciens wagons de fret. De plus, l'installation d'amortisseurs de roues et de pantographes aérodynamiques et l'isolation sonore des équipements de traction (par exemple des moteurs de locomotive) permettent de réduire les bruits à la source. D'après les spécifications techniques d'interopérabilité (STI «Bruit») en vigueur, le matériel roulant mis en service depuis 2000 (y compris les moteurs et les voitures de voyageurs ou les automotrices) doit émettre des niveaux sonores inférieurs d'environ 10 dB(A) par rapport à ceux des équipements des années 60 et 70.

Selon les auteurs de l'étude, les mesures de réduction du bruit à la source sont idéales car elles ont une incidence sur l'ensemble du réseau. Lorsque l'infrastructure des voies provoque une hausse des niveaux sonores (par exemple en raison du bruit émanant de la structure des viaducs ou du crissement dans les courbes de faible rayon) ou lorsque l'environnement local est particulièrement sensible au bruit (par exemple dans les zones de beauté naturelle ou dans les zones urbaines composées de résidences très proches de la ligne ferroviaire), il peut être nécessaire d'appliquer des mesures supplémentaires de réduction du bruit le long des voies. Parmi ces mesures figurent le recours à des modificateurs de frottement, à des amortisseurs montés sur les rails, à des voies sur dalle flottante (ou isolée) et bien sûr à des barrières et des murs antibruit de différentes hauteurs. Les véhicules et les voies doivent tous être entretenus pour éliminer les sources de bruit superflues comme l'ondulation.

La modernisation des véhicules de fret existants avec des semelles de frein en matériau composite de type K ou LL (si celles-ci sont approuvées) est la mesure la plus rentable au niveau des véhicules. Il est possible de prendre d'autres mesures à ce niveau, telles que l'installation d'amortisseurs sur roues, l'application de modificateurs de frottement sur les véhicules (solution la plus efficace dans les réseaux urbains ou périurbains) et l'installation (pour les trains à grande vitesse) de pantographes aérodynamiques (par exemple avec un blindage ou un revêtement). Ces mesures sont efficaces sur l'ensemble du réseau ferroviaire. D'autres travaux de recherche pourraient être menés concernant la modification de la forme des roues car cette mesure est très efficace, mais le remplacement des roues monobloc par de nouvelles formes de roues a fait l'objet de réticences en raison d'accidents.

Au niveau de l'infrastructure, les modificateurs de frottement, les amortisseurs sur rails et les voies sur dalle permettent de réduire le bruit de façon rentable. Dans les environnements à forte densité de population et au niveau des sections ferroviaires très fréquentées, l'utilisation de barrières ou de protections antibruit est inévitable. Cependant, si des mesures sont prises à grande échelle au niveau des véhicules, il est possible de réduire de façon considérable le nombre de barrières et de protections antibruit.

De plus, il est nécessaire d'effectuer régulièrement le contrôle et l'entretien des roues et des rails pour réduire le bruit. La qualité de la surface des roues et des rails est un facteur clé à l'égard du bruit de roulement et se détériore naturellement dans le temps. Les surfaces gravement détériorées (ovalisation des roues ou ondulation des voies) génèrent beaucoup de bruit.

Le Parlement européen et la Commission européenne tentent d'encourager les États membres à prendre davantage de mesures pour réduire le bruit ferroviaire, par exemple en mettant en place un système de redevances d'utilisation des voies modulées en fonction du bruit. Ces incitations économiques (modulation des redevances d'utilisation des voies en fonction du bruit) permettent:

- de soutenir l'utilisation de technologies à faible émission sonore pour le matériel roulant;
- de privilégier les trajets contournant les sites sensibles en matière de bruit;
- de favoriser les vitesses et les routines opérationnelles atténuant les bruits dans les zones sensibles.

Sur le plan réglementaire, le programme japonais «Top Runner»[1] donne un exemple de réduction à long terme du bruit. La STI «Bruit» constitue un socle réglementaire approprié en matière de bruit à moyen et à long terme. Actuellement, les normes relatives aux émissions sonores sont uniquement valides pour les nouveaux véhicules ou les véhicules ayant subi des modifications. À moyen et à long terme, la STI peut devenir obligatoire pour tous les véhicules. Les niveaux sonores de la STI «Bruit» devraient également être abaissés de temps en temps en fonction des évolutions techniques, comme cela est le cas au Japon dans l'exemple mentionné.

En principe, trois approches peuvent être adoptées à l'égard des redevances d'utilisation des voies modulées en fonction du bruit, chacune pouvant comprendre à la fois des bonus et des malus:

1. les émissions sonores liées aux trains peuvent être mesurées à des points stratégiques situés dans des zones à forte densité de population ou à faible distance de zones résidentielles, et ensuite être attribuées aux trains concernés. La majoration de la redevance d'utilisation des voies serait fixée en fonction des niveaux d'émissions sonores locales et, par la suite, en fonction de l'exposition au bruit des populations résidentielles;
2. les wagons peuvent être classés par catégories acoustiques et recevoir un malus ou un bonus en fonction de cette catégorie. La compagnie ferroviaire paierait un malus au responsable de l'infrastructure ou obtiendrait un bonus de sa part, et répercuterait la pénalité auprès de l'opérateur ou du propriétaire des wagons ou lui accorderait le bonus;

[1] Ce programme a pour ambition de réduire la consommation énergétique et l'incidence sur le climat en fixant de façon dynamique des objectifs d'émissions fondés sur les meilleures pratiques en vigueur (c'est-à-dire la technologie la plus performante).

3. il est possible d'établir un classement des trains en fonction des différents types de véhicules ferroviaires qui les constituent. Dans le cas des trains de marchandise, ces derniers pourraient changer de catégorie acoustique lors des changements de véhicules qui les constituent dans les gares de triage.

La première approche applique directement le principe du pollueur-payeur, mais entraîne des coûts de transaction élevés en matière de mise en œuvre et de contrôle. La deuxième approche est la plus simple et la plus facile à appliquer, mais elle ne tient pas compte de la nature du bruit ferroviaire. Un pourcentage élevé de véhicules peu bruyants est nécessaire pour réduire de façon importante les émissions sonores des trains. La troisième approche ne nécessite pas la mise en place d'un système de paiement compliqué mais requiert l'instauration d'un système d'information opérationnel (et par la suite international) pour contrôler les wagons.

Les systèmes de redevances peuvent être intégrés à une réglementation législative appropriée pour définir un cadre clair concernant les activités à long terme de réduction du bruit ferroviaire. Les instruments de réglementation suivants sont envisageables:

- limites relatives au bruit stationnaire et au bruit émis lors du passage des locomotives et des wagons de fret;
- règles relatives à l'exploitation et à l'entretien;
- ce programme a pour ambition de réduire la consommation énergétique et l'incidence sur le climat en fixant de façon dynamique des objectifs d'émissions fondés sur les meilleures pratiques en vigueur (c'est-à-dire la technologie la plus performante);
- programmes de modernisation des véhicules actuellement en service (calendrier de réaménagement progressif obligatoire).

Des redevances d'utilisation des voies modulées en fonction du bruit devraient être mises en place pour encourager les propriétaires des véhicules à investir dans des mesures de réduction du bruit. Lors d'une première étape, ceux-ci devraient axer leurs efforts sur les wagons de fret, même si ce système de redevances pourra concerner ultérieurement d'autres véhicules ou d'autres mesures, ou sur les limites de bruit, indépendamment des mesures d'incitation visant à atteindre ces limites.

Il est important que ce système de redevances ne sape pas la compétitivité du secteur ferroviaire. Les investissements et les coûts opérationnels les plus élevés devraient être couverts. Les redevances d'utilisation des voies modulées en fonction du bruit devraient être harmonisées dans les États membres et devraient concerner chaque véhicule exploité sur un réseau national (y compris les véhicules étrangers). En raison de la constatation selon laquelle l'objectif de réduction importante du bruit ne peut être atteint que si le train est entièrement équipé de matériel peu bruyant, ce système de redevances devrait privilégier les trains qui sont presque totalement équipés de ce matériel. Pour éviter les pertes de compétitivité, les redevances d'utilisation des voies par les véhicules peu bruyants devraient être financées en grande partie par les États membres. Afin d'encourager l'acquisition précoce de véhicules peu bruyants ou la modernisation des véhicules de fret existants, il convient d'envisager de financer directement ces investissements pendant quelques années.

Synthèse des recommandations

Comme les wagons de fret parcourent généralement des distances internationales de plus en plus grandes, il est essentiel d'harmoniser les politiques de législation en matière de bruit en Europe. Par conséquent, les auteurs de cette étude recommandent de s'axer sur:

- la modernisation du parc remorqué existant en installant des systèmes de freinage peu bruyants, notamment en remplaçant les semelles de frein en fonte par des semelles en matériau composite, mesure considérée comme étant la plus importante et la plus efficace parmi les mesures de réduction du bruit à la source;

- l'établissement de mécanismes de financement destinés à la modernisation et aux coûts opérationnels supplémentaires des nouvelles technologies de réduction du bruit pour éviter la perte de compétitivité du secteur ferroviaire; une part importante des coûts devrait être couverte par les États membres puisque la réduction du bruit des trains limiterait la nécessité, et donc le coût, des mesures de réduction du bruit de l'infrastructure;

- l'introduction de systèmes de redevances d'utilisation des voies modulées en fonction de la catégorie acoustique du train. Le classement acoustique d'un train devrait être défini en fonction du wagon dont le niveau d'émissions sonores est le plus élevé;

- l'adoption d'un système de redevances ou d'une réglementation relative aux limites de bruit fondé sur les mêmes mesures dans le transport routier pour éviter les pertes de compétitivité du secteur ferroviaire;

- l'application obligatoire des limites de bruit définies par la STI (STI «Bruit» 2011) pour le matériel roulant en service dix ou douze ans après la mise en place des mécanismes de financement et des limites de bruit pour le nouveau matériel roulant;

- l'ajustement par étapes des limites de la STI «Bruit» à moyen et à long terme pour soutenir le développement de nouvelles technologies de réduction du bruit;

- le contrôle et l'entretien de l'évolution du bruit provoqué par l'usure par frottement pour garantir de faibles niveaux sonores pendant les exploitations de longue durée.

1. DÉFINITIONS ET INCIDENCE DU BRUIT

PRINCIPALES CONCLUSIONS

- Le bruit est un **son importun** mais le dérangement qu'il suscite varie selon les individus.
- Le bruit peut être **nocif**.
- Le **niveau de pression acoustique** s'exprime en **dB(A)** (décibels) et se calcule sur une échelle logarithmique.
- Une augmentation des émissions sonores de **10 dB(A)** équivaut à une **multiplication par dix** de la pression acoustique.
- L'**oreille humaine peut détecter une variation de 3 db(A)**, soit un **doublement de la pression acoustique**.
- On constate une **croissance de la résistance locale au bruit ferroviaire**, tout particulièrement en Europe centrale qui accueille la majeure partie du volume de fret ferroviaire.
- La plupart du volume des transports ferroviaires se concentre **en France, en Allemagne et en Pologne.**

1.1. Bruit et bruit ferroviaire

En raison de son volume ou de sa structure, le bruit est un son inopportun qui peut s'avérer nocif. Étant donné que personne ne réagit de la même manière aux sons et que la perception de ceux–ci dépend de la constitution et de l'humeur de chacun, le bruit comporte également une composante subjective. Dès lors, il n'existe pas de valeur fixe à partir de laquelle un son est perçu comme un bruit.

Le bruit ferroviaire est l'ensemble des émissions sonores produites par le fonctionnement des trains et trams. Il existe une grande variété de sources et de causes à l'origine du bruit ferroviaire: l'accélération des locomotives, le freinage des wagons de fret, les crissements dans les courbes, les vibrations émanant de l'ondulation des rails et des roues excentrées, les opérations d'attelage des véhicules dans les gares de triage, et même les pantographes des trains à grande vitesse.

1.2. Le mesurage du bruit

Le son est provoqué par les vibrations de l'air qui nous entoure et qui font vibrer nos tympans. L'oreille humaine est sensible aux fréquences sonores allant de 20 Hz à 20 kHz. Ces vibrations de l'air induisent des changements de pression et ce changement de pression s'appelle la pression acoustique. Le son, et dès lors le bruit, se mesure en calculant la pression acoustique. La force avec laquelle nous percevons le son dépend du niveau de pression acoustique et de sa durée, mais aussi de la fréquence et de la largeur

de la bande passante. La psychologie affecte également notre perception et notre tolérance du son. Outre le niveau de pression acoustique, la durée du son, le moment de la journée, la composition et la fréquence du son doivent être pris en compte dans l'évaluation du bruit. De même, la tonalité («couinement») et l'impulsion («martèlement») jouent un rôle.

La mesure du niveau de pression acoustique, généralement par rapport à un volume, s'exprime au moyen de l'unité physique, le bel. Habituellement, on utilise le terme décibel (dB) (soit, un dixième de bel). L'ajout du (A) derrière l'unité dB indique que la mesure du bruit est pondérée A (un filtre défini par la norme IEC 61672:2003), à savoir qu'un facteur a été appliqué pour refléter la perception de l'oreille humaine.

Si l'oreille humaine est capable de percevoir une augmentation du volume sonore au fur et à mesure que l'énergie sonore augmente, le rapport entre deux puissances est logarithmique. Si l'on place l'une à côté de l'autre deux sources de bruit identiques de 10 dB, l'augmentation perçue ne correspond pas au double du volume mais à une augmentation de 3 dB. Si on juxtapose dix sources de bruit identiques, l'augmentation serait de 10 dB: multiplier l'énergie sonore (et donc l'exposition réelle) par un facteur de dix multiplie le volume sonore perçu par un facteur de deux.

Ainsi, une augmentation du niveau sonore de 45 dB à 55 dB peut sembler négligeable sur le papier, mais elle signifie un décuplement de l'énergie sonore et de son impact sur la santé de l'homme. L'être humain est généralement capable de percevoir une modification du niveau sonore de 3 dB, ce qui correspond à un changement d'un facteur de 2 de l'énergie sonore, mais ceci est proche de la limite de sa sensibilité. Les mesures veillant à réduire les niveaux de bruit de moins de 3 dB n'auraient donc aucune valeur réelle.

Le son peut également se transmettre sous la forme de vibrations à travers le sol et directement dans le corps. Il s'agit également d'une forme de pollution sonore.

La norme ISO 1996-2:1987 définit trois indicateurs standard du niveau moyen de pression sonore pour chacune des trois périodes de la journée, à savoir L_{day}, $L_{evening}$ et L_{night}: la période «jour» de 7 heures à 19 heures, la période «soir» de 19 heures à 23 heures et la période «nuit» de 23 heures à 7 heures. Ce sont des mesurages des niveaux sonores moyens à long terme pondérés A correspondant à toutes les périodes jour-soir-nuit sur une année. L'indicateur L_{den} est une moyenne pondérée des trois précédents indicateurs, pour laquelle 5 dB(A) sont ajoutés à $L_{evening}$ et 10 dB(A) à $L_{night.}$ Cette formule est définie à l'annexe I de la directive 2002/49/CE. Le Royaume-Uni utilise aussi l'indicateur $L_{Aeq,16h}$, qui est une moyenne de L_{day} et $L_{evening}$.

1.3. L'incidence du bruit

Le son audible le plus léger se situe à 0 dB(A), tandis que le seuil de la douleur oscille aux alentours de 120 dB(A). Au-delà de 120 dB(A), il y a un risque de lésion. La déflagration d'une explosion à 150 dB(A) peut provoquer la rupture du tympan.

L'exposition au bruit pendant le sommeil, comme le bruit des vols de nuit, est considérée comme particulièrement importante. Ainsi, le bruit nocturne entraîne des risques pour la santé à partir de niveaux individuels inférieurs à 45 dB(A) si la différence entre le niveau individuel et le bruit de fond est supérieure à 3 dB(A).

Tout bruit supérieur à 55 dB(A) est considéré comme une pollution sonore. Si le bruit dépassant cette limite persiste pendant une période prolongée, l'efficacité et le bien-être d'une personne en seront réduits. Un bruit situé entre 65 et 75 dB(A) engendre un stress pour le corps, pouvant mener à de l'hypertension artérielle (pression sanguine élevée), à des maladies cardiovasculaires et à un infarctus du myocarde (attaque cardiaque). Le bruit peut également être à l'origine d'une réduction des sécrétions gastriques et entrainer des ulcères à l'estomac (OMS-CCR 2011).

Sur le lieu de travail, au-delà de 85 dB(A), un employeur doit veiller à ce que ses employés disposent d'une protection auditive correcte. Si le niveau de bruit dépasse 90 dB(A), les employés doivent porter une protection auditive.

1.4. Résultats de la cartographie du bruit

Conformément à la directive 2002/49/CE du Parlement européen et du Conseil du 25 juin 2002 relative à l'évaluation et à la gestion du bruit dans l'environnement, tous les États membres doivent fournir des cartes de bruit et établir des plans d'action y relatifs (pour plus de détails, voir point 2.2 à la page 32).

Le rapport sur la mise en œuvre de la directive 2002/49/CE (CE 2011) révèle le nombre de personnes victimes du bruit ambiant qui ont été recensées lors de la première phase de cartographie stratégique (voir Tableau 1).

Tableau 1: Recensement des personnes touchées par le bruit ambiant lors de la première phase de cartographie

SECTION	NOMBRE DE PERSONNES TOUCHÉES PAR DES NIVEAUX DE BRUIT SUPÉRIEURS À 55 DB(A) L_{DEN} [EN MILLIONS]	NOMBRE DE PERSONNES TOUCHÉES PAR DES NIVEAUX DE BRUIT SUPÉRIEURS À 50 DB(A) L_{NIGHT} [EN MILLIONS]
Agglomérations > 250 000 habitants		
Ensemble des routes	55,8	40,1
Ensemble des voies ferroviaires	6,3	4,5
Zones industrielles	3,3	1,8
Infrastructures majeures hors agglomérations		
Routes principales	34	25,4
Principales lignes ferroviaires	5,4	4,5
Grands aéroports	1	0,3

Source: CE 2011, Tableau 2.

L'Agence européenne pour l'environnement (AEE) et le Centre thématique européen – Occupation des terres et information spatiale (CTE LUSI) publient sur l'internet des cartes de bruit conformément à la directive 2002/49/CE. Ces cartes sont disponibles sur le site du Service européen d'observation et d'information sur le bruit (NOISE 2011). Les cartes représentent la population de chaque pays touchée par le bruit ferroviaire (en distinguant les agglomérations des lignes principales en dehors des agglomérations). Il est également possible de distinguer la population touchée par le bruit industriel, le bruit émanant des principales artères routières et du trafic aérien. Un tableau[2] présente des données détaillées et globales sur la base des informations envoyées jusqu'au 30 juin 2010. L'annexe I de la présente étude (pages 133 et 134) présente les résultats de la cartographie du bruit pour le secteur ferroviaire pour tous les pays, en agglomération et hors agglomération.

D'après les données de l'AEE, les États européens cités ci-après sont les plus fortement touchés par le bruit ferroviaire au regard de la proportion de leur population qui est affectée par un bruit ferroviaire supérieur à 55 dB(A) L_{DEN}: Autriche (9,3 %), Slovaquie (9 %), Suisse (7,5 %), France (5,5 %), Allemagne (4,3 %), République tchèque (3,8 %), Pays-Bas (3,8 %) et Lettonie (3 %) (voir figure 1).

La figure 1 ci-après reflète la part de population touchée dans chaque pays européen selon les chiffres fournis par les États en vue de répondre aux exigences de la directive 2002/49/CE.

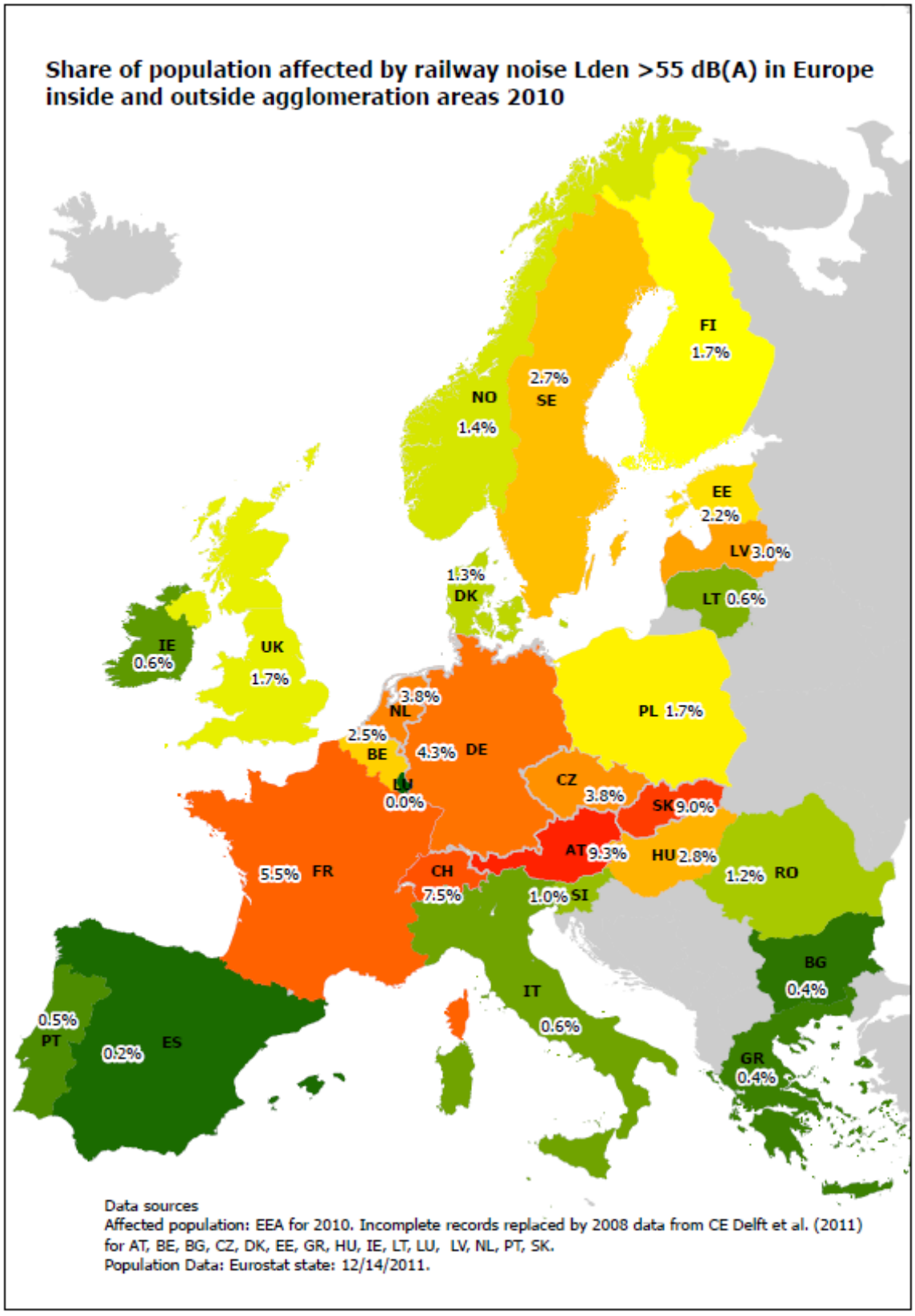
À la lecture des chiffres présentés à l'annexe I, on peut s'apercevoir qu'environ 85 % des individus touchés par le bruit ferroviaire (supérieur à 55 dB(A) L_{DEN} ou 50 dB(A) L_{NIGHT}) sont concentrés dans les six pays européens suivants: Allemagne, France, Royaume-Uni, Pologne et Suisse. Environ 60 % habitent en Allemagne et en France.

Si l'on prend en considération uniquement les zones hors agglomération, les chiffres changent de manière significative. Dans ce cas, les six pays cités plus haut représentent 89 % des personnes touchées. La part des personnes touchées en agglomération et hors agglomération diffère considérablement d'un pays à l'autre. En Allemagne, environ 75 % des habitants touchés vivent en dehors des agglomérations, tandis qu'en Pologne, cette part est nulle (Suisse: 15 %, Autriche: 59 %, Royaume-Uni: 17 %, France: 44 %).

Bien que le nombre de personnes touchées par le bruit ferroviaire soit environ huit fois inférieur au nombre de personnes touchées par le bruit dû au transport routier, le nombre total reste élevé. Le bruit ferroviaire touche 11,8 millions d'habitants pendant la journée (L_{DEN}) et 9 millions pendant la nuit (L_{NIGHT}). En outre, soulignons que la limite appliquée lors de la cartographie du bruit est bien plus élevée que les recommandations de l'OMS (voir tableau 2, page 25).

[2] Synthèse des données sur l'exposition au bruit – Le fichier porte le nom suivant: END_DF4_Results_101005_ETCLUSI_inclBG&SW.xls

Figure 1: Part des citoyens affectés par le bruit ferroviaire dans chaque pays européen selon les données de l'AEE



Source: Figure élaborée par les auteurs sur la base des données de l'AEE.

1.5. Groupes de défense de l'environnement et habitants touchés

Le 7 mai 2011, un millier de manifestants se sont réunis à Rüdesheim pour protester contre le bruit ferroviaire dans leurs villes d'origine situées dans la vallée du Rhin moyen. Ils brandissaient des bannières revendiquant l'instauration d'une limite de vitesse de 50 km/h dans les zones d'habitat et l'interdiction des trains de nuit, faisant des jeux de mots entre «Deutsche Bahn» (nom de l'entreprise ferroviaire publique allemande aussi appelée par son sigle DB) et «TaliBahn», tout en bloquant la ligne de chemin de fer pendant 40 minutes. Les manifestations étaient organisées non seulement par plusieurs initiatives locales, mais aussi par des collectivités et des administrations locales.

Actuellement, le débat porte principalement sur les trains de fret, désignés comme étant la principale source de bruit et qui circulent surtout pendant la nuit.

Une récente étude (Schreckenberg et al. 2011) a indiqué que 45 % des habitants de la région du Rhin moyen sont fortement gênés par le bruit ferroviaire, à comparer à 13 % seulement par le bruit routier. La raison est facile à comprendre: la topographie contraint les trains à traverser une vallée étroite entre Coblence et Bingen. Quatre voies, deux de chaque côté du Rhin, provoquent des perturbations sonores insupportables aux oreilles des habitants. Les cartes de bruit publiées récemment indiquent des niveaux de bruit (L_{DEN}) supérieurs à 65 et 70 dB(A). Ces extrêmes sont dus à la circulation de 400 trains par jour, aux trains approchants, à une infrastructure ancienne et à la répercussion du bruit dans la vallée encaissée et sur l'eau. En outre, les programmes de l'UE prévoyant un axe de fret européen de Rotterdam à Bâle se traduiront par un doublement du nombre de trains de fret, qui passera de 150 trains par jour actuellement à 300. D'autres manifestations sont attendues. Le point 4.2.1, page 97, développera davantage les détails concernant l'axe du Rhin.

Figure 2: Manifestations à Rüdesheim en mai 2011, carte du bruit de la vallée de la Lorelei L_{DEN}

Cette manifestation contre le bruit ferroviaire n'a pas été la seule sur les rives du Rhin. Les plans visant à augmenter les capacités dans la vallée du Rhin supérieur ont déclenché des manifestations massives d'Offenburg à Bâle, où dix groupes d'action locaux sont actuellement actifs. À Offenburg, 45 840 objections ont été soulevées contre les plans d'infrastructure de la Deutsche Bahn, et finalement la planification n'a pas été approuvée par l'administration régionale. La DB a par conséquent entamé des négociations sur un tunnel ferroviaire sous la ville d'Offenburg et un alignement avec l'autoroute. Des groupes

protestent dans leur ville contre l'impact visuel d'«affreuses barrières antibruit» et réclament la mise en souterrain profond des voies à proximité des zones habitées.

Les groupes d'action locaux bénéficient du soutien de plusieurs ONG écologistes œuvrant à l'échelle nationale et internationale. Le vaste éventail des revendications concernant le bruit ferroviaire peut être résumé comme suit:

- les trains de fret doivent contourner les zones habitées ou utiliser des voies en souterrain profond, des tunnels ou des voies complètement enfouies;
- les priorités en matière de réduction des émissions sonores doivent être équivalentes pour les voies existantes et pour les nouveaux projets de construction;
- en ce qui concerne le cadre réglementaire, le niveau de pression acoustique continue équivalent devrait être complété par un mesurage du niveau maximum combinant les fréquences (en d'autres termes, il convient de considérer les niveaux sonores de crête et les fréquences de bruit, et pas seulement les niveaux sonores moyens);
- l'instauration de plafonds d'émissions pour les voies ferroviaires, en fonction de l'utilisation du territoire et de la densité de population; réduction à 45 dB(A) du niveau d'émissions sonores autorisé;
- l'intégration des dispositifs de protection contre les vibrations aux lois et règlements applicables;
- l'établissement d'une limite de vitesse à 50 km/h pour les trains dans les zones habitées;
- le réexamen des normes en matière de bruit pour le nouveau matériel roulant (STI «Bruit»);
- établissement d'un cadre contraignant pour l'utilisation d'instruments reposant sur les mécanismes de marché afin de garantir que les pollueurs paient le coût du bruit qu'ils produisent, incluant les frais de voirie et un cadre pour les redevances d'utilisation des voies qui favoriseront la modernisation rapide et prioritaire des wagons au moyen de semelles de frein silencieuses.

Figure 3: Vallée du Rhin supérieur: plans pour Weil-am-Rhein et manifestations à Offenburg

L'étude des données sur le transport d'EUROSTAT indiquent qu'en 2009, près de 27 % du volume total de transport ferroviaire en Europe concernait l'Allemagne, ce qui souligne l'importance de l'Europe centrale en tant que région de transit et région industrielle et explique pourquoi le débat, voire la lutte contre le bruit est plus vive en Allemagne. La Pologne, en deuxième position, affiche un volume total de fret ferroviaire de 12 % et la France, en troisième position, 9 %. En ce qui concerne le transport de voyageurs, la part de l'Allemagne s'élève à 20 % et celle de la France à 21 %.

L'étude des résultats de la cartographie du bruit révèle que c'est en France, en Belgique, au Luxembourg, aux Pays-Bas, en Autriche et en Suisse que le problème est le plus grave.

Ces deux aspects expliquent pourquoi les données, les observations, les études disponibles et les activités politiques nationales se concentrent principalement en Europe centrale et, tout particulièrement, dans les pays germanophones et aux Pays-Bas. En ce qui concerne les principaux axes de transport ferroviaires en Europe, l'Allemagne, l'Autriche et la Suisse affichent un volume élevé de transport en transit, lequel ira même en s'accroissant d'après les prévisions relatives au volume de transport.

L'évolution du transport de fret par rail à l'avenir risque d'étendre les problèmes de bruit aux autres pays qui sont traversés par les couloirs RTE-T et verront augmenter leur volume de transport ferroviaire. Cependant, les mesures proposées dans cette étude afin de réduire le bruit ferroviaire peuvent aider à prévenir les problèmes dans les couloirs où la circulation s'intensifiera à l'avenir.

2. CADRE JURIDIQUE

PRINCIPALES CONCLUSIONS

- L'OMS recommande des **pointes de 32 à 42 dB(A) de bruit ambiant pendant la nuit** afin d'éviter les risques pour la santé.
- Environ **1 million d'années de vie en bonne santé** sont perdues chaque années dans l'UE pour des raisons liées au bruit.
- Les **limites ou seuils de bruit nationaux diffèrent considérablement** d'un État membre à l'autre et se situent au-delà des recommandations de l'OMS.
- La plupart des limites de bruit sont **uniquement contraignantes pour les nouvelles infrastructures**.
- La **directive 2002/49/CE** demande aux États membres d'établir des **cartes de bruit**, ainsi que des **plans d'action contre le bruit**. Cet exercice a été réalisé lors de la première phase de cartographie du bruit qui couvre les principaux axes ferroviaires, routiers, aéroports et agglomérations. La seconde phase (dont la réalisation durera jusqu'au 30 juin 2012) portera sur les axes ferroviaires, les routes, les aéroports et les agglomérations de plus petite envergure.
- **Douze millions** de personnes sont touchées par un bruit ferroviaire supérieur à 55 dB(A) pendant la journée et **neuf millions** sont touchées par un bruit ferroviaire supérieur à 50 dB(A) pendant la nuit (principales infrastructures et agglomérations).
- La **refonte** du premier paquet ferroviaire demandera aux États membres d'introduire des **redevances d'utilisation des voies modulées en fonction des émissions sonores** afin de compenser les investissements consentis par les sociétés d'exploitation des infrastructures ferroviaires en faveur des mesures de réduction du bruit.
- La **STI «Bruit»** fixe les limites de bruit pour le nouveau matériel roulant.

Le lecteur peut trouver un aperçu de toutes les règlementations recensées et étudiées à l'annexe IV.

2.1. Recommandations générales, limites et seuils de bruit ambiant

Cette section présente quelques recommandations et seuils en matière de bruit ambiant.

2.1.1. Recommandations de l'OMS en matière de bruit ambiant

En 2011, l'OMS a publié une étude sur la charge que représentent les maladies dues au bruit ambiant (OMS CCR 2011). Les estimations auxquelles l'étude aboutit sont basées sur une approche quantitative de l'évaluation des risques. L'un des résultats de cette étude

indique qu'environ **1 million d'années de vie en bonne santé** sont perdues chaque années dans l'UE pour des raisons liées au bruit.

Dès 2009, le groupe de travail de l'OMS chargé de la préparation des lignes directrices sur l'exposition au bruit pendant le sommeil avait déjà publié des recommandations concernant les seuils de bruit ambiant (OMS 2009). Ces recommandations sont présentées dans le Tableau 2: Seuil de bruit ambiant pendant la nuit permettant d'éviter les risques pour la santé d'après les recommandations de l'OMS.

Tableau 2: Seuil de bruit ambiant pendant la nuit permettant d'éviter les risques pour la santé d'après les recommandations de l'OMS

INCIDENCE		INDICATEUR	SEUIL EN DB(A)
Incidence biologique	Modification de l'activité cardiovasculaire	Voir note de bas de page 3[3]	Voir la note de bas de page 3
	Éveil EEG	$L_{Amax,inside}$	35
	Motilité, accès de motilité	$L_{Amax,inside}$	32
	Modification de la durée des différentes phases du sommeil, de la structure du sommeil et fragmentation du sommeil	$L_{Amax,inside}$	35
Qualité du sommeil	Éveil durant la nuit et/ou trop tôt le matin	$L_{Amax,inside}$	42
	Prolongation de l'endormissement, difficulté à trouver le sommeil	Voir la note de bas de page 3	Voir la note de bas de page 3
	Fragmentation du sommeil, durée de sommeil réduite	Voir la note de bas de page 3	Voir la note de bas de page 3
	Motilité moyenne accrue pendant le sommeil	$L_{Amax,inside}$	42
Bien-être	Troubles du sommeil autodéclarés	$L_{Amax,inside}$	42
	Utilisation de somnifères, etc.	$L_{Amax,inside}$	40
Pathologies	Insomnie environnementale[4]	$L_{Amax,inside}$	42

Source: OMS 2009, page XII.

D'après la récente étude de l'UIC (CE Delft et al. 2011), les coûts sociaux du bruit lié au transport en 2008 sont estimés aux alentours de 35 milliards d'euros à travers l'Union, plus la Suisse et la Norvège, dont environ 90 % sont liés aux voitures particulières et aux camions. Le coût du bruit ferroviaire s'élève à 953 millions d'euros, soit 6 % du total des coûts dus au bruit, et il est réparti de manière plutôt équilibrée entre le transport de voyageurs et le transport de fret.

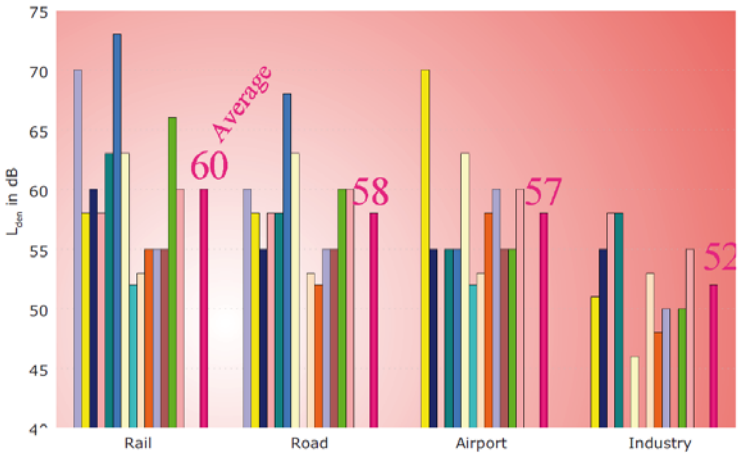
[3] Bien que l'incidence ait été démontrée ou qu'un processus biologique plausible puisse être reconstruit, les indicateurs ou les seuils n'ont pu être déterminés.

[4] L'«insomnie environnementale» est le résultat d'un diagnostic établi par un professionnel de la médecine, tandis que les «troubles du sommeil autodéclarés» sont essentiellement similaires, mais traduits dans le contexte d'une étude sociale. Le nombre de questions et la formulation exacte peut différer.

2.1.2. Limites ou recommandations de limites maximales de bruit dans les États membres

L'Agence européenne pour l'environnement a publié en novembre 2010 (AEE 11/2010) une comparaison des limites L_{DEN} en vigueur dans 14 États membres[5].

Figure 4: Valeurs L_{DEN} en zone résidentielle (selon les rapports de 14 États membres)



Source: AEE 11/2010, page 22.

Une normalisation au même niveau pourrait s'avérer utile afin d'éviter les risques pour la santé dans chaque État membre et d'équilibrer la compétitivité de tous les secteurs industriels concernés (y compris le transport) moyennant le respect de conditions identiques par tous les États membres.

Les valeurs requises et recommandées par les États membres sont souvent bien plus élevées que les recommandations de l'OMS. Certaines limites ou recommandations nationales en matière de bruit ambiant sont reprises à titre d'exemple ci-après.

Le Tableau 3 indique les valeurs limites recommandées pour les plans d'action pour la réduction du bruit dans l'environnement d'après l'Office fédéral allemand de l'environnement (*Umweltbundesamt*) (2006). Ces limites ne sont pas obligatoires, de sorte que les résidents ne peuvent revendiquer de quelconques mesures d'atténuation sur la base de ces recommandations s'ils sont victimes d'un bruit ambiant supérieur à ces limites. L'introduction de mesures est un choix délibéré des organismes publics.

Tableau 3: Seuils recommandés pour les plans d'action par l'Office fédéral allemand de l'environnement

OBJECTIF DE L'ACTION	PERIODE	L_{DEN}	L_{NIGHT}
Éviter les risques pour la santé	À court terme	65 dB(A)	55 dB(A)
Atténuer les perturbations majeures	À moyen terme	60 dB(A)	50 dB(A)
Éviter les perturbations majeures	À long terme	55 dB(A)	45 dB(A)

Source: 16. BIMSchV 2006.

D'autre part, les niveaux fixés par la réglementation fédérale allemande en matière d'émissions (*Bundesimmissionsschutzverordnung*) sont obligatoires pour les nouvelles infrastructures de transport ou les infrastructures ayant subi des modifications; les niveaux de bruit ambiant doivent être inférieurs aux valeurs mentionnées dans ladite réglementation (16. BImSchV 2006).

Tableau 4: Plafonds de bruit ambiant pour les nouvelles infrastructures de transport ou les infrastructures modifiées en Allemagne

	L_{DEN}	L_{NIGHT}
À proximité des hôpitaux, des écoles et des maisons de santé et de repos	57 dB(A)	47 dB(A)
Zones strictement résidentielles et petites zones résidentielles	59 dB(A)	49 dB(A)
Zones centrales, villages ou zones mixtes	64 dB(A)	54 dB(A)
Zones industrielles	69 dB(A)	59 dB(A)

Source: 16. BIMSchV 2006.

Au titre de comparaison avec la législation allemande, le tableau ci-après présente les limites autrichiennes prévues pour les plans d'action contre le bruit.

Tableau 5: Valeurs limites pour les plans d'action autrichiens

CIBLE DE L'ACTION	L_{DEN}	L_{NIGHT}
Trafic routier	60 dB	50 dB
Trafic aérien	65 dB	55 dB
Trafic ferroviaire	70 dB	60 dB
Zones industrielles	55 dB	50 dB

Source: Bundes-LärmV 2006.

Enfin, la norme britannique sur l'isolation acoustique et la réduction des émissions sonores pour les immeubles (BS 8233:1999, *Sound insulation and noise reduction for buildings – Code of practice*) fixe pour le Royaume-Uni des limites de bruit intérieur dû au bruit ambiant.

Tableau 6: Valeurs seuils de bruit intérieur causé par le bruit ambiant (Royaume-Uni)

CRITERE	SITUATION TYPIQUE	PLAGE DE CONCEPTION	
		Niveau de bruit correct	Niveau de bruit raisonnable
Conditions raisonnables pour le travail industriel	Industrie lourde	70 dB(A)	80 dB(A)
	Industrie légère	65 dB(A)	75 dB(A)
	Garages, entrepôts	65 dB(A)	75 dB(A)

[5] Le rapport de l'AEE ne précise pas quels sont les 14 États membres qui ont fourni ces informations.

CRITERE	SITUATION TYPIQUE	PLAGE DE CONCEPTION	
		Niveau de bruit correct	Niveau de bruit raisonnable
Conditions raisonnables pour le discours ou les communications téléphoniques	Grand magasin	50 dB(A)	55 dB(A)
	Cafeteria, cantine, cuisine	50 dB(A)	55 dB(A)
	Toilettes, salle d'eau	45 dB(A)	55 dB(A)
	Couloir	45 dB(A)	55 dB(A)
Conditions raisonnables pour l'étude et le travail requérant de la concentration	Bibliothèques, espaces de bureaux ouverts, musées	40 dB(A)	50 dB(A)
	Salle du personnel	35 dB(A)	45 dB(A)
	Salle de réunion, bureau de direction	35 dB(A)	40 dB(A)
Conditions raisonnables pour l'écoute	Salles de classe	35 dB(A)	40 dB(A)
	Église, amphithéâtre, cinéma	30 dB(A)	35 dB(A)
	Salle de concert, théâtre	25 dB(A)	30 dB(A)
	Studio d'enregistrement	20 dB(A)	25 dB(A)
Conditions raisonnables pour le repos/sommeil	Salles de séjour	30 dB(A)	40 dB(A)
	Chambres à coucher	30 dB(A)	35 dB(A)

Source: BS 8233:1999, page 19.

Les normes britanniques indiquent des niveaux de bruit acceptables pour les immeubles et imposent des exigences en matière d'isolation acoustique. Cependant, il n'existe pas de valeurs limites formelles pertinentes en vigueur en Angleterre concernant le bruit ambiant émanant des chemins de fer. Les exigences en matière d'isolation acoustique, définies dans la norme britannique relative à l'isolation acoustique et à la réduction des émissions sonores pour les immeubles (BS 8233:1999) prévoient, parmi les critères d'éligibilité, un niveau limite. En outre, des orientations concernant les niveaux à respecter figurent dans la directive sur la politique de planification, laquelle formule des lignes directrices en matière d'utilisation du sol eu égard au bruit émis par les chemins de fer.

Au Royaume-Uni l'impact environnemental est pris en considération, entre autres, dans le cadre des procédures de permis de construire. La directive n° 24 sur la politique de planification (PPG 24, 2006) intitulée «Planning and Noise» (planification et bruit) propose aux autorités locales anglaises des orientations sur la manière de réduire au minimum l'impact du bruit (le ministère des affaires écossaises a publié l'avis n° 56 sur la planification «Planning and Noise», reprenant un classement similaire des niveaux de bruit). La directive n° 24 (PPG 24, 2006) identifie différentes catégories d'exposition au bruit pour le développement d'immeubles résidentiels, assorties d'actions à entreprendre en fonction du niveau de bruit.

Tableau 7: Catégories d'exposition au bruit pour les habitations

CATEGORIE	DESCRIPTION
A	Le bruit ne doit pas être considéré comme un facteur déterminant dans l'octroi d'un permis de construire, bien que le niveau de bruit à l'extrémité supérieure de la catégorie ne doive pas être envisagé comme un niveau souhaitable.
B	Le bruit doit être pris en considération lors de l'étude des demandes de permis de construire et, le cas échéant, des conditions doivent être imposées afin d'assurer un niveau de protection suffisant contre le bruit.
C	En principe, le permis de bâtir ne devrait pas être délivré. Lorsqu'il est estimé que l'autorisation devrait être accordée, par exemple en l'absence d'autres sites plus calmes disponibles, des conditions doivent être imposées afin de garantir un niveau de protection proportionnel contre le bruit.
D	Le permis de construire devrait en principe être refusé.

Source: PPG 24 2006, Annexe 1.

Les niveaux de bruit correspondant aux catégories sont indiqués dans le Tableau 8.

Tableau 8: Niveaux de bruit correspondant aux catégories d'exposition pour les habitations

SOURCE DE BRUIT	CATÉGORIES D'EXPOSITION AU BRUIT			
	A	B	C	D
Trafic routier				
07 heures – 23 heures	<55	55 – 63	63 – 72	>72
23 heures – 7 heures	<45	45 - 57	57 - 66	>66
Trafic ferroviaire				
07 heures – 23 heures	<55	55 – 66	66 – 74	>74
23 heures – 7 heures	<45	45 - 59	59 - 66	>66
Trafic aérien[6]				
07 heures – 23 heures	<55	55 – 66	66 – 72	>72
23 heures – 7 heures	<48	48 - 57	57 - 66	>66
Sources mixtes				
07 heures – 23 heures	<55	55 – 63	63 – 72	>72
23 heures – 7 heures	<45	45 - 57	57 - 66	>66

Source: PPG 24 2006, Annexe 1.

[6] Bruit des avions: les valeurs en journée concordent avec les valeurs de profil adoptées par le ministère du transport, qui correspondent aux niveaux relevés à 1,2 mètre du sol. Pour la même quantité d'énergie sonore, les valeurs de profil peuvent être de 2 dB(A) supérieures à celles des autres sources du fait des effets de réflexion du sol.

En 1997, la Suède a arrêté des objectifs à long terme relativement aux limites de bruit. À l'intérieur, les niveaux de bruit ne doivent pas dépasser 30 dB (L_{DEN}) et 45 dB(A) L_{NIGHT}. À l'extérieur, les niveaux de bruit ne doivent pas dépasser 55 dB(A) L_{DEN} et 70 dB(A) L_{NIGHT} dans une cour intérieure (Blidberg 2011).

En Espagne, d'après l'arrêté royal 1367/2007, les plans d'action contre le bruit doivent répondre au tableau ci-après (Sierra 2011).

Tableau 9: Valeurs limites pour les plans d'action en Espagne

DELAI D'ACTION	Situation	L_{DAY}	$L_{EVENING}$	L_{NIGHT}	L_{MAX}
Jusqu'à 2020	Existante	65	65	55	-
Maintenant	Nouvelle	60	60	50	85

Source: Sierra 2011.

Les chambres à coucher dans des maisons situées dans le profil de bruit 60/60/50 doivent respecter les limites de 40 dB(A) pour L_{DAY}, 40 dB(A) pour $L_{EVENING}$ et 30 dB(A) pour L_{NIGHT}.

Les seuils prévus pour les plans d'action varient d'un pays à l'autre. On trouve également des différences dans la classification des zones à protéger contre le bruit. En Allemagne, des plans d'action introduisant un niveau de bruit maximum dans certaines zones sont requis uniquement pour les nouvelles infrastructures et celles qui ont été modifiées. L'Autriche requiert des plans d'action contre le bruit pour certains niveaux de bruit ambiant, en fonction de la source de bruit. Au Royaume-Uni, les recommandations ne réclament aucune action, sauf sur le lieu du travail ou pour les infrastructures récemment construites et modifiées, et les niveaux dépendent de l'utilisation des pièces. Les autorités locales possèdent un certain pouvoir législatif permettant de contrôler les émissions sonores. La plupart des valeurs obligatoires reposent sur le niveau maximum des recommandations de l'agence fédérale allemande pour l'environnement.

Ces exemples de législations ou de recommandations nationales divergent des recommandations de l'OMS et, souvent, elles ne sont applicables qu'aux infrastructures nouvelles ou modifiées.

Cette comparaison démontre que la réduction du bruit ambiant est une action cruciale pour l'environnement et la santé de la population. De nombreuses personnes sont touchées par un bruit ferroviaire qui dépasse le niveau inférieur de la recommandation de l'OMS dans son étude de 2009 (OMS 2009).

2.2. Directive 2002/49/CE relative au bruit dans l'environnement

Les objectifs de la directive relative à l'évaluation et à la gestion du bruit dans l'environnement (directive 2002/49/CE) sont les suivants[7]:

[7] Expressions tirées du site http://ec.europa.eu/environment/noise/directive.htm, dernière consultation le 14 septembre 2011.

- «surveiller le problème environnemental, en requérant des autorités compétentes des États membres qu'elles établissent une cartographie stratégique du bruit pour les routes principales, les voies ferrées, les aéroports et les agglomérations, en utilisant des indicateurs harmonisés du bruit, à savoir L_{DEN} (niveau jour-soir-nuit) et L_{NIGHT} (indicateur de bruit nocturne). Ces cartes permettront d'évaluer le nombre de personnes qui subissent des nuisances sonores et dont le sommeil est perturbé de ce fait dans l'ensemble de l'Europe»;

- «informer et consulter le public sur l'exposition au bruit, ses effets et les mesures envisagées afin de résoudre le problème du bruit, conformément aux principes de la convention de la CEENU sur l'accès à l'information, la participation du public au processus décisionnel et l'accès à la justice en matière d'environnement, connue sous la dénomination «convention d'Århus» et signée le 25 juin 1998;

- «résoudre les problèmes de bruit locaux en demandant aux autorités compétentes d'établir des plans d'action en matière de bruit, afin de réduire le bruit ambiant si nécessaire et de préserver la qualité de l'environnement sonore lorsqu'elle est satisfaisante. La directive ne prescrit pas de valeur limite, ni de mesures à appliquer dans les plans d'action. Leur teneur est laissée à la discrétion des autorités compétentes»;

- «élaborer une stratégie européenne à long terme, ayant pour objectif de réduire le nombre de personnes victimes du bruit à long terme et de fournir un cadre pour le développement de la politique communautaire existante en matière de réduction du bruit à la source. À cet égard, la Commission a fait une déclaration concernant les dispositions de l'article 1er, paragraphe 2, en ce qui concerne la préparation d'une législation sur les sources de bruit».

Aux termes de la directive 2002/49/CE, tous les États membres doivent fournir des cartes de bruit, ainsi que des plans d'action en matière de réduction du bruit.

Le rapport de la Commission au Parlement européen et au Conseil sur les mesures communautaires en vigueur concernant les sources de bruit ambiant, conformément à l'article 10, paragraphe 1, de la directive 2002/49/CE relative à l'évaluation et à la gestion du bruit dans l'environnement révèle les progrès réalisés dans la mise en œuvre de la directive dans les États membres (CE 2011).

2.2.1. État d'avancement de la mise en œuvre de la directive 2002/49/CE

Le rapport de la Commission (CE 2011) indique que la directive est appliquée dans tous les États membres depuis 2007. Les 14 États membres[8] qui n'avaient pas transposé la directive en date du 18 juillet 2004 l'ont fait pour octobre 2007. D'après l'étude de l'AEE, intitulée «Laying the foundations for greener transport» (Jeter les bases d'un transport plus respectueux de l'environnement, AEE 7/2001), les données fournies étaient complètes à 96 % à la mi-2011. En fait, à l'instar des deux études de l'OMS (OMS 2009 et OMS CCR 2011), cette étude de l'AEE confirme de nombreux aspects relatifs aux limites, aux risques potentiels et aux limites permettant d'éviter les risques. Le rapport de la Commission (CE 2011) présente la feuille de route pour la mise en œuvre de la directive comme suit.

[8] AT, BE, CZ, DE, EL, FI, FR, IE, IT, LU, PT, SE, SL, UK.

Tableau 10: Feuille de route pour la mise en œuvre de la directive 2002/49/CE

DELAI DE MISE EN ŒUVRE	OBJET	RÉFÉRENCE DANS LA DIRECTIVE 2002/49/CE	MISES À JOUR
30 juin 2005	Informations sur les grands axes routiers, ferroviaires, aéroports et les agglomérations correspondant aux seuils supérieurs, désignés par les États membres et visés par la première phase de cartographie	Article 7, paragraphe 1	Obligatoire tous les 5 ans
18 juillet 2005	Instauration des organismes compétents pour l'établissement des cartes stratégiques du bruit, des plans d'actions et la collecte d'informations	Article 4, paragraphe 2	Possible à tout moment
18 juillet 2005	Limites de bruit en vigueur ou planifiées et informations associées	Article 5, paragraphe 4	Possible à tout moment
30 juin 2007	Cartes stratégiques de bruit pour les grands axes routiers, ferroviaires, aéroports et les agglomérations correspondant aux seuils supérieurs[9]	Article 7, paragraphe 1	
18 juillet 2008	Plans d'action pour les grands axes routiers, ferroviaires, aéroports et agglomérations	Article 8, paragraphe 1	Obligatoire tous les 5 ans
31 décembre 2008	Informations sur les grands axes routiers, ferroviaires, aéroports et les agglomérations correspondant aux seuils inférieurs, désignés par les États membres et visés par la seconde phase de cartographie	Article 7, paragraphe 2	Possible à tout moment
30 juin 2012	Cartes stratégiques de bruit pour les grands axes routiers, ferroviaires, aéroports et les agglomérations correspondant aux seuils inférieurs[10]	Article 7, paragraphe 2	Obligatoire tous les 5 ans

Source: CE 2011, page 4.

Outre les informations tirées du rapport de la Commission (CE 2011) et reproduites dans le Tableau 10, la directive 2002/49/CE (directive 2002/49/CE) prévoit une étape supplémentaire.

[9] Les seuils supérieurs sont des agglomérations de plus de 250 000 habitants, les routes sur lesquelles circulent plus de 6 millions de véhicules par an et les voies ferrées où circulent plus de 60 000 trains par an.

[10] Les seuils inférieurs correspondent à toutes les agglomérations de plus de 100 000 habitants, les routes sur lesquelles circulent plus de 3 millions de véhicules par an et les voies ferrées où circulent plus de 30 000 trains par an.

Lors de la première phase de cartographie du bruit et d'établissement de plans d'action, seules les grandes agglomérations et les infrastructures de transport fortement fréquentées ont été prises en compte. La seconde phase porte également sur les agglomérations et infrastructures de transport de moindre envergure.

Tableau 11: Étape supplémentaire dans la cartographie du bruit aux termes de la directive 2002/49/CE

DELAI DE MISE EN ŒUVRE	OBJET	REFERENCE	MISES À JOUR
18 juillet 2013	Plans d'action pour tous les axes routiers, ferroviaires, aéroports et agglomérations où les limites sont dépassées	Article 8, paragraphe 2	Obligatoire tous les 5 ans

Source: Dir. 2002/49/CE

Le tableau ci-après fournit des détails concernant les deux phases de cartographie du bruit.

Tableau 12: Calendrier pour l'établissement des cartes de bruit et des plans d'action pour la réduction du bruit

ACTION	AGGLOMÉRATIONS > 250 000 HABITANTS ET PRINCIPAUX AXES FERROVIAIRES > 60 000 TRAINS / AN	AGGLOMÉRATIONS ET PRINCIPAUX AXES FERROVIAIRES > 30 000 TRAINS / AN
Annonce des lignes ferroviaires et des agglomérations appartenant aux catégories citées	30 juin 2005 (actualisation obligatoire tous les 5 ans)	31 décembre 2008 (actualisation obligatoire tous les 5 ans)
Élaboration des cartes de bruit	30 juin 2007	30 juin 2012 (actualisation obligatoire tous les 5 ans)
Plans d'action pour la réduction du bruit	18 juillet 2008	18 juillet 2013 (actualisation obligatoire tous les 5 ans)

Source: Dir. 2002/49/CE

Le tableau 13 apporte des détails sur l'état d'avancement actuel de la mise en œuvre.

Tableau 13: État d'avancement de la mise en œuvre de la directive 2002/49/CE

DEMANDE	DESCRIPTION	MISE EN ŒUVRE COMPLETE	MISE EN ŒUVRE PARTIELLE
Déclaration des indicateurs et des limites de bruit	Les États membres doivent indiquer les limites de bruit ambiant imposées dans leur législation nationale ou leurs recommandations. Il n'existe pas de niveau de bruit paneuropéen.	19 États membres ont fait part des limites qu'ils utilisent (BG, CZ, EE, HU, IE, LT, LV, LU, PL, PT, SI, UK). Actuellement en cours de réexamen dans 3 États membres (LT, LV, RO). 4 États membres (FI, IE, SE, UK) ont fait part de leurs recommandations.	
Cartes de bruit stratégiques	Les États membres sont tenus de fournir des cartes de bruit pour les principales infrastructures de transport et les agglomérations. Ces cartes doivent être actualisées fréquemment (tous les 5 ans) et l'actualisation fera état de la situation l'année précédant la mise à jour.	12 États membres (BG, CZ, EE, HU, IE, LT, LV, LU, PL, PT, SI, UK).	11 États membres ont fait un rapport complet contenant quelques omissions (AT, BE, CY, DK, FI, DE, NL, RO, ES, SE, SK). 3 États membres ont mentionné seulement une partie des sources de bruit (FR, EL, IT). 1 État membre n'a pas rendu de rapport (MT)

Source: CE 2011.

La plage des limites et des recommandations relatives au bruit ambiant varie considérablement entre les États membres. Seulement quatre d'entre eux ont envisagé des limites en fonction de la santé (EE, LU, PT, SL et le gouvernement de Bruxelles-Capitale en Belgique).

2.2.2. Plans d'action contre le bruit

Plusieurs études réalisées par l'Union internationale des chemins de fer (voir UIC 2010) et la CER en collaboration avec l'UIC (voir CER UIC 2007), ainsi que d'autres études effectuées par les auteurs permettent de dresser un aperçu des actions pour la réduction du bruit en vigueur dans les États membres, ainsi que dans d'autres pays européens. Toutes les données disponibles sont réunies dans le tableau 14.

Tableau 14: Actions des pays européens pour la réduction du bruit ferroviaire lorsque les informations sont disponibles

PAYS	ACTIONS	SOURCE
Autriche	• Thème particulièrement important, notamment dans les zones urbaines et montagneuses • Cartes de bruit depuis 1993; plans d'action en exécution de la directive 2002/49/CE (www.laerminfo.at) • 250 000 personnes sont exposées à un bruit ferroviaire excessif • Complexité de la législation fédérale et des États • Construction d'1,7 millions m² de barrières antibruit le long de 803 km de voies, deux tiers des travaux de construction sont terminés • La plupart des habitants fortement touchés sont protégés contre le bruit; chaque année, on dénombre 10 à 15 000 nouveaux citoyens protégés. • L'investissement financier annuel se situe entre 16 et 25 millions d'euros; 50 % des frais sont couverts par l'ÖBB et 50 % sont à la charge des États et de la communauté; l'équipement de nouvelles voies est financé à 100 % par l'ÖBB. • Remplacement des semelles de type K par des nouvelles sur 4 500 des 31 000 wagons des sociétés de fret ferroviaire Rail Cargo Austria et Rail Cargo Hungary. Aucune initiative de modernisation ni de redevances d'accès en fonction du bruit prévue. • Participation au projet «EuropeTrain» de l'UIC pour les essais des semelles de type LL	Entrevues avec les représentants du pays en septembre 2011
	• Jusqu'en 2009, 46 km d'écrans antibruit à hauteur de 355 millions d'euros	(UIC 2010)
	• Critique(s) sur les plans d'action contre le bruit: retard dans les nouvelles méthodes de lutte contre le bruit, aucune spécification concrète	(Justice et environnement 2009a)
Belgique	• Législations régionales en matière de bruit, absence de législation nationale • Limites de bruit imposées en Flandre et à Bruxelles • Wallonie: pas de limite • La SNCB ne prévoit aucun programme de réduction de bruit, cependant des dispositifs de protection sont prévus pour les nouvelles lignes ou les lignes modernisées	(CER UIC 2007)
Bulgarie	• Intérêt uniquement pour les semelles en matériau composite afin de réduire le bruit	Entrevue avec l'exploitant des chemins de fer bulgares (BDZEAD) en septembre 2011

PAYS	ACTIONS	SOURCE
Chypre	• Depuis 1951, aucune ligne ferroviaire n'est active à Chypre. Le bruit ferroviaire n'est donc par un problème pour le pays.	http://en.wikipedia.org/wiki/Cyprus_Government_Railway
République tchèque	• Mesures antibruit obligatoires pour les nouvelles lignes ferroviaires • Modernisation des lignes existantes au moyen de barrières antibruit • Les plans d'action relatifs à la directive 2002/49/CE constitueront un cadre pour les programmes de lutte contre le bruit • Projet pilote avec des semelles de type LL	(CER UIC 2007)
	• Jusqu'en 2010, environ 115 km de barrières antibruit	(UIC 2010)
	• Critique(s) sur les plans d'action contre le bruit: contiennent simplement des mesures qui ont été programmées de toutes façons; aucune estimation des coûts et des délais	(Justice et environnement 2009a)
Danemark	• Peu de barrières antibruit au Danemark: 58 km • Stratégie passive de lutte contre le bruit, la plupart des mesures concernant les habitations	(CER UIC 2007)
	• Programmes de recherche et d'essais en vue de l'optimisation de la pose de voies, meulage des rails pour l'acoustique, partenariats «bruit» avec les riverains et plans de communication sur le bruit • Jusqu'en 2009, 46 km de barrières antibruit et pose de fenêtres isolantes sur 8 300 habitations pour un coût total de 65 millions d'euros	(UIC 2010)
	• D'ici 2013, 22 100 habitations seront protégées au moyen d'écrans antibruit et/ou bénéficieront d'une subvention en vue d'améliorer l'isolation acoustique • Octroi de subventions afin d'améliorer l'isolation acoustique de 17 700 habitations, dont 4 650 (soit environ 26 %) ont déjà une isolation acoustique améliorée • Intensification du meulage des rails sur tous les principaux tronçons ferroviaires (2009-2014) – Objectif: moindre fluctuation dans la souplesse des rails et bruit réduit • Essais de pose d'amortisseurs acoustiques sur les rails sur un petit tronçon - Effet 2,7 dB (2007) • Projet de superstructure ferroviaire optimisée (2009-2014): étude sur l'incidence de l'emploi de différentes semelles sous rail à Holmstrup (2010-2011)	(Blumensaadt 2011)
Estonie	• La STI «Bruit» a été convertie en loi nationale.	(Justice et environnement

PAYS	ACTIONS	SOURCE
	• Des plans d'action contre le bruit ont été instaurés pour la ville de Tallinn (mai 2009) ainsi que pour les principales liaisons routières (décembre 2008). Ceux-ci ne sont pas contraignants d'un point de vue juridique et ne portent pas sur le transport ferroviaire. Les mesures routières visent uniquement l'utilisation de barrières antibruit. • Dispositions à adopter jusqu'en 2013 en vertu du plan d'action contre le bruit de Tallinn: o mesures techniques au niveau des sources de bruit, o choix de sources plus silencieuses, o réduction de la transmission sonore (par exemple, en réduisant la vitesse des trams) • La législation estonienne a reporté la date limite pour l'élaboration des cartes de bruit au-delà du 30 juin 2007 ainsi que pour les plans d'action. Ceci constitue un conflit avec les dispositions juridiques européennes.	2009a) (Justice et environnement 2009b)
France	• Protection antibruit pour les nouvelles lignes ou les lignes modernisées • Pose de dispositifs antibruit aux points noirs: - principalement des barrières et des fenêtres de protection antibruit – absorbeurs de voie homologués • projets de recherche	(CER UIC 2007)
	• Optimisation croisée des amortisseurs de rail et de roue Homologation des amortisseurs de roue (projet STARDAMP) • Programme antibruit d'une valeur de 193 millions d'euros pour les barrières antibruit et les amortisseurs de rail	(UIC 2010)
Finlande	• Train de mesures de lutte contre le bruit à l'examen au Parlement, pas de modernisation; problème des wagons de fret russes bruyants	(CER UIC 2007)
	• Quelques écrans acoustiques	(UIC 2010)
	• Pour les sept agglomérations, l'agence finlandaise des transports (FTA) s'est engagée auprès des autorités municipales à inclure les principaux axes routiers et ferroviaires dans ses évaluations et à payer une part des coûts • Le coût total pour la FTA avoisinera les 800 000 euros, soit environ 1,50 euro par habitant d'une zone éventuellement touchée par le bruit (y compris les routes!) • Des expériences réalisées avec des écrans bas révèlent une réduction d'environ 10 dB(A)	(Pokolainen 2011)
Allemagne	• Forte pression politique exercée par les groupes et associations de citoyens • Objectif à long terme de la DB: réduire de moitié	Entrevues avec les représentants de la DB et des autorités nationales en

PAYS	ACTIONS	SOURCE
	les émissions de bruit ferroviaire entre 2000 et 2020, soit une réduction de 10 dB(A). Coût: 2,3 milliards d'euros, à concurrence de 100 millions d'euros par an pour ce programme dont la durée prévue est de 25 ans. • Instauration de redevances d'accès aux voies en fonction du niveau d'émissions en décembre 2012:. les exploitants des wagons recevront un bonus financé à 50 % par le gouvernement; ce bonus sera payé par l'entremise d'un fonds financé à parts égales par les redevances accrues et le programme de protection contre le bruit du gouvernement allemand. • 180 000 wagons sont éligibles à une modernisation avec de nouveaux freins. Coût: 300 millions d'euros. Nombre de wagons post-équipés à l'heure actuelle: 6 350 • Le programme «Quiet Rhine» entend post-équiper 1 150 wagons de nouveaux freins. • Programme de réhabilitation volontaire pour les voies existantes du réseau ferroviaire fédéral • Le projet de recherche LZarG (un train silencieux sur une voie réelle) teste des technologies innovantes pour les véhicules • Le programme de recherche «silent track» (littéralement, «voie silencieuse»), financé par le deuxième paquet de relance économique, teste des amortisseurs de voie et des barrières antibruit basses . • Programme de meulage des rails pour l'acoustique en cours	septembre 2011
	• Essais de dispositifs innovants sur les infrastructures: amortisseurs de rail, modificateurs de frottement, barrières basses, absorbeurs pour ponts en acier, semelles sous traverse • Travaux pour aboutir à un contact rail/roue réaliste: amélioration du contact roue/rail, vibrations des roues maitrisées et optimisation acoustique des dalles de voie • 100 millions d'euros par an, pour un coût total de 2,3 milliards jusqu'à 2030 incluant les barrières et les fenêtres antibruit • La plupart des activités sont liées à des mesures portant sur l'infrastructure • Modernisation de maximum 5 000 wagons de fret avec des semelles de type K ou LL à compter de 2009 • Définition d'une approche pratique quant à l'utilisation de semelles de type LL • Détermination et évaluation préalable des modèles de redevances d'accès aux voies modulées en fonction des émissions sonores	(UIC 2010)

PAYS	ACTIONS	SOURCE
	• En fait, l'Allemagne investit considérablement dans les murs de protection contre le bruit dans le cadre du deuxième paquet de relance économique (Konjunkturpaket 2)[11]	Informations supplémentaires apportées par les auteurs
Hongrie	• La législation nationale impose l'utilisation de dispositifs antibruit sur les voies ferrées nouvellement construites ou modernisées	(CER UIC 2007)
	• Les plans d'action ne sont pas contraignants et ne revêtent aucune implication pour les dispositions budgétaires nationales. • Bonne participation du public à la conception des plans d'action grâce à la création de comités de lutte contre le bruit.	(Justice et environnement 2009a)
Grèce	• La densité des lignes ferroviaires en Grève est très faible. 60 % de l'ensemble des lignes font partie d'une seule liaison entre Thessalonique et Athènes (1 565 km). Un très petit pourcentage de la population grecque est touché par le bruit ferroviaire.	http://www.griechenland-travel.com/eisenbahn.htm
Irlande	Dans la région de Dublin, le trafic est la principale source de bruit, mais les chemins de fer n'ont pas d'incidence majeure sur les niveaux de bruit globaux. Principales mesures: promotion de la marche, du vélo, des transports publics et de véhicules motorisés plus silencieux.	(Dublin City 2008)
	En dehors des agglomérations, 23 km de voie enregistrent plus de 60 000 passages par an, mais sans affecter la population avec un indice L_{DEN}>55 dB(A)	(King et al. 2009)
Italie	• Législation rigoureuse en matière de bruit, incluant les lignes actuelles • plans d'action • Mise en œuvre jusque 2020 • Mesures à envisager sur environ 8 000 km • Coût: environ 6,8 milliards d'euros • La législation n'autorise pas la modernisation	(CER UIC 2007)
	• Mesurages des émissions sonores de tous les actifs (matériel roulant). Exemple: modification du logiciel des trains à grande vitesse ETR 500 afin d'atténuer le bruit de la ventilation et du système d'air conditionné • La plupart des mesures se concentrent en fait sur les barrières antibruit et les fenêtres isolantes. • Développement de semelles de frein en fonte pour les wagons de fret	Réponse de Trenitalia à l'enquête réalisée par les auteurs en septembre 2011

[11] «Konjunkturpaket 2» (Deuxième paquet de relance économique) est un programme d'investissement supplémentaire mis en place par le gouvernement allemand à la suite de la récente crise économique de 2008/2009 afin de soutenir l'industrie de la construction.

PAYS	ACTIONS	SOURCE
	• Pour les 15 prochaines années, la pose de barrières antibruit et l'isolation acoustique d'immeubles le long d'environ 3 675 km de lignes existantes sont prévues pour un budget total avoisinant 8,31 milliards d'euros (9 025 initiatives individuelles)	Réponse de RFI à l'enquête réalisée par les auteurs en septembre 2011
Lettonie	• La cartographie stratégique du bruit a été achevée en 2008 et ne portait que sur des sections de routes principales. On peut donc en conclure que le bruit ferroviaire ne joue pas un rôle significatif en Lettonie.	(EIONET 2011)
Lituanie	• Pas d'informations détaillées disponibles sur les plans d'action contre le bruit . Les communications du ministère lituanien des transports et des communications ne font état que de programmes de réduction du bruit visant le transport routier et aérien. • Cependant, la promotion du train comme mode de transport à travers une coopération entre la compagnie lituanienne des chemins de fer (JSC) et CargoBeamer (Allemagne) concernant la combinaison des moyens de transport devrait réduire la pollution sonore due au transport routier.	(SUMIN 2011)
Luxembourg	Le Luxembourg a présenté un projet de plan d'action contre le bruit à la CE, mais il n'est pas accessible au public.	(EIONET 2011)
Malte	• Depuis 1931, aucune ligne ferroviaire n'est active à Malte. Le bruit ferroviaire n'est donc par un problème pour le pays.	http://de.wikipedia.org/wiki/Schienenverkehr_auf_Malta
Pays-Bas	• Législation antibruit depuis 1987 • En 2008, introduction de redevances d'accès aux voies en fonction des émissions sonores. Le bonus est fixé à 0,04 euro / wagon-km et est appliqué aux véhicules transportant des voyageurs comme à ceux transportant des marchandises, avec un plafond de 4 800 euros sur deux ans. Ce bonus est octroyé sur la base d'un système d'autodéclaration. • Programme d'innovation contre le brut: réalisation de nombreuses études et de projets pilotes afin de tester les semelles en matériau composite. • Les trains bruyants seront interdits à partir de 2015 • Objectif de réduction du bruit: 10 à 12 dB(A) • Des mesures concernant les gares sont également au programme	(CER UIC 2007)
	• 430 millions d'euros pour les barrières et fenêtres antibruit et les amortisseurs de rail • Graissage, élimination des joints de rail, pose de barrières antibruit et de fenêtres isolantes dans	(UIC 2010)

PAYS	ACTIONS	SOURCE
	les gares • Projets de recherche sur les modificateurs de frottement afin de réduire le crissement en courbe qui contribue à la rugosité du rail • Surveillance des plafonds de bruit et gestion de la capacité	
Norvège	• Meulage des rails prévu mais pas encore exécuté, bruit des terminaux de fret, bruit tonal provenant de l'accélération et de la décélération des trains • Stratégie passive de lutte contre le bruit, la plupart des mesures concernant les habitations	(UIC 2010) (CER UIC 2007)
Roumanie[12]	• Plans d'action nationaux contre le bruit en préparation depuis 2008	(CER UIC 2007)
Pologne	• La législation en matière d'environnement inclut la lutte contre le bruit • Meulage des voies • Barrières antibruit (50 km) • Fenêtres de protection acoustique le long des nouvelles lignes ou des lignes modernisées	(CER UIC 2007)
Portugal	• Des dispositifs de protection contre le bruit sont obligatoires sur toutes les lignes ferroviaires. • Pratiquement tous les wagons de fret sont équipés de semelles de type LL (pas de problème d'acceptation de ces voitures dans les autres pays étant donné que le Portugal utilise des voies à écartement large, il n'y a donc pas d'échange de wagons avec les autres pays européens). • Plus de 50 km de murs antibruit ont été posés et, à l'avenir, il prévu d'en installer davantage.	(CER UIC 2007)
République slovaque	Les plans d'action sont très vagues et généraux, ils ne sont pas contraignants et n'ont aucune implication pour les dispositions budgétaires nationales.	(Justice et environnement 2009a)
	À ce jour, seuls les plans d'action concernant le transport routier ont été soumis à la CE.	(EIONET 2011)
Slovénie	Les plans d'action sont très vagues et généraux, ils ne sont pas contraignants et n'ont aucune implication pour les dispositions budgétaires nationales	(Justice et environnement 2009a)
Espagne	• La directive 2002/49/CE est totalement mise en œuvre dans la législation nationale; des cartes de bruit ont été établies pour les principales lignes ferroviaires et agglomérations; la seconde phase de cartographie sera accomplie en 2013. • À l'heure actuelle, 62 % du transport de marchandises par chemins de fer se fait au moyen de wagons peu bruyants (équipés de semelles en matériau composite).	Entrevue avec RENFE en décembre 2011

[12] Il ressort d'une entrevue avec l'autorité roumaine en charge du transport ferroviaire qu'il n'y a aucun problème de bruit dans le pays.

PAYS	ACTIONS	SOURCE
	• 32 % de tous les wagons de fret sont déjà équipés de semelles en matériau composite (30,58 % de semelles de type K et 1,37 % de semelles de type LL). À l'instar du Portugal, l'Espagne utilise des voies à écartement large. • La pose de semelles de type K ou LL sur les wagons de fret se poursuit (600 sont prévus pour 2012). • Le matériel roulant transportant des voyageurs est déjà équipé à 95 % de nouveaux freins à disque et le nouveau matériel roulant sera équipé uniquement de ce type de frein.	
Suède	• D'après la cartographie du bruit effectuée par la Suède, des problèmes existent également à l'extérieur des zones cartographiées, les mesures d'atténuation du bruit, comme le meulage des rails, les amortisseurs de rail et les barrières basses sont à l'examen. • Stratégie passive de lutte contre le bruit, la plupart des mesures concernant les habitations	(CER UIC 2007)
	• Programme de lutte contre le bruit incluant la pose de fenêtres isolantes et d'écrans locaux pour une bonne protection acoustique des parties et des cours intérieures	(UIC 2010)
	• La Suède privilégie également la modernisation des systèmes de freinage des voitures existantes, mais de sérieux problèmes ne sont pas toujours résolus en ce qui concerne le freinage dans des conditions hivernales difficiles.	(Blidberg 2011)
Suisse	• Législation antibruit promulguée en 1987 • En 2010, des redevances d'accès aux voies en fonction des émissions sonores ont été instaurées et prévoient un système de bonus pour les wagons peu bruyants. • La lutte contre le bruit ferroviaire est largement financée par la tarification routière • Législation spécifique relative au bruit ferroviaire: • -modernisation de l'ensemble du parc roulant suisse jusqu'en 2014 (subventions directes) - barrières antibruit avec une restriction des coûts / bénéfices - fenêtres antibruit	(CER UIC 2007)
	• L'ensemble de la flotte de fret national sera équipée de freins en matériau composite diminuant le bruit de roulage (pour plus de détails, voir point 3.3). Le programme est financé par le gouvernement qui transfère les revenus de la tarification routière au secteur ferroviaire. Un système de tarification de l'utilisation des voies en fonction des émissions sonore a également été instauré et fait actuellement l'objet d'une	(UIC 2010)

PAYS	ACTIONS	SOURCE
	discussion en vue d'améliorations. • Une étude du rapport coûts/bénéfices devrait indiquer quelles mesures supplémentaires seront adoptées: le meulage des rails, le bruit à l'arrêt, les amortisseurs de rail et les ponts métalliques font partie des thématiques abordées. • Jusqu'en 2009, 111 km de barrières antibruit et de baies; jusqu'en 2015, la pose de 300 km de barrières antibruit est prévue à hauteur d'1 milliard d'euros. • La Suisse publie des informations très détaillées sur les progrès réalisés dans la lutte contre le bruit et sur l'approche de personnes privées afin de récolter des fonds destinés aux fenêtres isolantes, par exemple (voir www.laerm-sbb.ch)	
Royaume-Uni	La politique de planification rigoureuse exige que les nouveaux projets de construction ferroviaire prennent en compte l'impact du bruit durant les travaux de construction et le fonctionnement.	(CER UIC 2007)
	• Les normes britanniques indiquent des niveaux de bruit acceptables pour les immeubles et imposent des exigences en matière d'isolation acoustique • La plupart (environ 75 %) des wagons de fret britanniques sont équipés de freins à disque et de semelles en matériau composite • Le Royaume-Uni emploie une variété de techniques d'atténuation du bruit, dont des barrières antibruit, le graissage des rails et les modificateurs de frottement, des absorbeurs de rail et, habituellement dans les tunnels, des plaques de fond résistantes et des voies sur dalle flottante. • Le ministère de l'environnement, de l'alimentation et des affaires rurales (DEFRA pour *Department for Environment, Food and Rural Affairs*) a été chargé de l'élaboration des cartes de bruit et des plans d'action britanniques. • Le Royaume-Uni a défini plusieurs régions importantes sur lesquelles les autorités compétentes en matière de transport doivent se concentrer ainsi qu'un ensemble de lieux prioritaires et un calendrier pour la mise en œuvre.	Entrevues réalisées par des partenaires en septembre 2011
	• Stratégie à long terme: Cadre pour la lutte contre le bruit associant le fournisseur de l'infrastructure (NetworkRail) et les exploitants des trains • Concentration sur le bruit nocturne et intégration du transport et de la planification spatiale	(AEA et al. 2004)

Source: différentes sources; voir la colonne «SOURCE»

Les rapports ont été suspendus pour la Grèce, Malte et Chypre en raison l'absence de réseau ferroviaire, ou de leur marginalité, dans ces pays.

La Suisse et la Norvège, pays tiers, sont citées car elles sont membres de l'UIC, l'organisation ferroviaire concernée.

L'Union internationale des chemins de fer (UIC 2010) fait également état d'une initiative entreprise par les **Pays-Bas, l'Allemagne, la Suisse et l'Italie** (UIC 2010, page 25). Dans le cadre du projet Rotterdam-Gênes, les gouvernements des États précités se sont penchés sur les modalités d'une initiative en faveur de la modernisation des wagons au moyen de dispositifs à faibles émissions sonores (plus particulièrement les freins en matériau composite). Enfin, l'étude recommande d'adopter des solutions harmonisées concernant les systèmes de bonus (pas uniquement sur l'axe visé) et d'éviter les régimes de malus.

À la fin de 2005, 1 000 km de barrières antibruit avaient été posés en Europe et environ 60 000 bâtiments ont été pourvus de fenêtres de protection acoustique. Ces mesures, reposant sur des investissements annuels de 150 à 200 millions d'euros, ont permis de protéger du bruit quelque 1 250 000 citoyens. Le coût total des mesures relatives à l'infrastructure est estimé à 10 milliards d'euros.

Jusqu'à présent, la plupart des activités et des investissements nationaux se concentrent sur l'infrastructure: barrières antibruit, amortisseurs de rail et modificateurs de frottement. De nombreux pays et projets concentrent ou intègrent également des dispositifs orientés sur la source, tels que les amortisseurs de roue ou les semelles en matériau composite.

Les entretiens avec les représentants de l'industrie ferroviaire de la DB ou de l'ÖBB laissent entendre que les réglementations relatives aux bonus doivent être uniformes à travers l'Europe de manière à inciter davantage les propriétaires ou les exploitants de wagons à moderniser le matériel roulant ancien et à minimiser les distorsions du marché parmi les compagnies de chemins de fer.

2.3. Refonte du premier paquet ferroviaire

Le premier paquet ferroviaire se compose des directives 2001/12/CE (modifiant la directive 91/440/CEE du Conseil relative au développement des chemins de fer communautaires), 2001/13/CE (modifiant la directive 95/18/CE du Conseil concernant les licences des entreprises ferroviaires) et 2001/14/CE (concernant la répartition des capacités d'infrastructure ferroviaire, la tarification de l'infrastructure ferroviaire et la certification en matière de sécurité). Il avait pour objectif d'ouvrir le marché du fret international en fixant les conditions de l'octroi de licences aux opérateurs de fret en Europe, de définir les rôles des gestionnaires d'infrastructure et des compagnies ferroviaires, et d'élaborer une politique en matière de répartition des capacités et de tarification de l'infrastructure.

Le second paquet ferroviaire comprend la directive relative à la sécurité ferroviaire (directives 2004/49/CE et 2008/110/CE) et les règlements (CE) n° 881/2004 et n° 1335/2008 requérant l'instauration d'autorités nationales de sécurité et d'organismes d'enquête relevant de l'Agence ferroviaire européenne, laquelle est responsable de la sécurité et de l'interopérabilité des chemins de fer ainsi que de la rédaction de la législation en vue d'un système ferroviaire européen harmonisé. Le deuxième paquet inclut également la directive sur l'interopérabilité (2008/57/CE) qui définit la manière dont il convient d'élaborer les spécifications techniques d'interopérabilité (STI), comme par exemple la STI «Bruit» relative au sous-système «matériel roulant – bruit du système ferroviaire

transeuropéen conventionnel», en vertu de la décision de la Commission 2011/229/UE (voir point 2.4, page 47).

Le troisième paquet ferroviaire se concentre sur l'ouverture à la concurrence des services de transport de voyageurs en Europe et comprend la directive 2007/58/CE (modifiant la directive 91/440/CE du Conseil relative au développement de chemins de fer communautaires, ainsi que la directive 2001/14/CE concernant la répartition des capacités d'infrastructure ferroviaire et la tarification de l'infrastructure ferroviaire).

Le 17 septembre 2010, la Commission européenne a présenté une proposition de refonte du premier paquet ferroviaire (COM(2010 475). L'article 7 de la directive 2001/14/CE couvre les «principes de tarification». Le bruit n'y est pas mentionné explicitement, mais la directive permet de moduler les redevances sur l'infrastructure en fonction de l'impact environnemental, ce qui permet aux États membres d'instaurer des redevances d'accès aux voies en fonction du niveau d'émission sonore si elles sont également instaurées pour les modes de transport concurrents ou si le chiffre d'affaires total des sociétés auxquelles appartiennent les infrastructures n'augmente pas. L'article 31 de la refonte proposée permet explicitement, sur la base de l'article 7 de la directive 2001/14/CE, de moduler les redevances d'accès en fonction des émissions sonores du matériel roulant si le transport routier est soumis au même régime.

2.4. STI «Bruit»

Tous les sous-systèmes du système ferroviaire (infrastructure, énergie, contrôle-commande et signalisation, fonctionnement et gestion du trafic, applications télématiques, matériel roulant et maintenance) sont basés sur les «spécifications techniques d'interopérabilité du système ferroviaire européen» (STI). L'élaboration des STI est prévue dans la directive 2008/57/CE. L'Agence ferroviaire européenne (AFE) se charge de coordonner l'élaboration des STI. À cet effet, l'AFE crée des groupes de travail, composés d'experts et d'autorités, pour les différents sous-systèmes. L'AFE veille à ce que toutes les parties intéressées pertinentes soient représentées au sein des groupes de travail.

Toutes les STI sont directement applicables dans chacun des États membres pour les sous-systèmes nouvellement construits ou modifiés. Si des exceptions sont nécessaires, les États membres doivent les déclarer avec précision. Les exceptions générales sont uniquement possibles pour le métro, le tram et les systèmes ferroviaires régionaux; les infrastructures / réseaux distincts du réseau ferroviaire et utilisés uniquement par les services de transport local et urbain; l'infrastructure ferroviaire privée et les véhicules qui sont exclusivement utilisés sur l'infrastructure privée, laquelle sert uniquement au transport de fret pour le propriétaire; les infrastructures et les véhicules destinés uniquement à une utilisation locale ou historique et touristique.

La nouvelle spécification technique d'interopérabilité du système ferroviaire européen (STI «Bruit»), objet de la décision n° 2011/229 de la Commission du 4 avril 2011, définit des niveaux de bruit maximum pour le matériel roulant (STI «Bruit» 2011). Cette STI fait partie du sous-système matériel roulant et remplace la version de 2006 (STI «Bruit» 2006). Les plafonds fixés visent le bruit au stationnement et le bruit émis lors du passage des véhicules sur certaines voies de référence et à une vitesse définie. En ce qui concerne les moteurs, les niveaux de bruit au démarrage et à l'intérieur de la cabine du conducteur sont également définis le cas échéant. Le bruit intérieur dans la cabine du conducteur n'est pas

pertinent pour la présente étude. Les détails sont fournis à l'annexe II. Aux termes de la directive 2008/57/CE, ces limites sont directement applicables aux nouveaux véhicules.

Le bruit de passage est défini à une distance de 7,5 mètres du centre de la voie et à 1,2 mètre au-dessus de la surface supérieure du rail. Les détails relatifs à la voie de référence se trouvent dans la STI «Bruit». Cette voie de référence est définie par sa rugosité et son comportement dynamique (décrit par le taux de décroissement horizontal et latéral).

Dans sa décision du 30 mai 2002 concernant la spécification technique d'interopérabilité relative au sous-système «matériel roulant» du système ferroviaire transeuropéen à grande vitesse visée à l'article 6, paragraphe 1, de la directive 96/48/CE (2002/735/CE), la Commission fixait des limites pour le matériel roulant des trains à grande vitesse (COM 2002/735/CE).

2.5. Mesurage et estimation du bruit ferroviaire

2.5.1. Dispositions légales selon la directive sur le bruit ambiant

La directive européenne 2002/49/CE demande en son annexe I que la formule suivante soit appliquée pour calculer le niveau jour-soir-nuit applicable (sur la base des niveaux de bruit mesurés):

$$L_{den} = 10 \lg \frac{1}{24} \left(12 * 10^{\frac{L_{day}}{10}} + 4 * 10^{\frac{L_{evening}+5}{10}} + 8 * 10^{\frac{L_{night}+10}{10}} \right)$$

où:

- L_{day} est le niveau sonore moyen à long terme pondéré A tel que défini dans ISO 1996-2:1987 (ISO 1996-2: 1987), déterminé sur l'ensemble des périodes de jour d'une année;
- $L_{evening}$ est le niveau sonore moyen à long terme pondéré A tel que défini dans ISO 1996-2:1987 (ISO 1996-2: 1987), déterminé sur l'ensemble des périodes de soirée d'une année;
- L_{night} est le niveau sonore moyen à long terme pondéré A tel que défini dans ISO 1996-2:1987 (ISO 1996-2: 1987), déterminé sur l'ensemble des périodes de nuit d'une année;
- L_{den} est le niveau sonore moyen pour une période de 24 heures (jour-soir-nuit)

sachant que:

- le jour dure douze heures, la soirée quatre heures et la nuit huit heures; les États membres peuvent diminuer la période «soirée» d'une ou deux heures et allonger en conséquence la période «jour» et/ou la période «nuit», pour autant que ce choix soit

le même pour toutes les sources et qu'ils fournissent à la Commission des informations concernant la différence systématique par rapport à l'option par défaut,

- le début du jour (et par conséquent, le début de la soirée et de la nuit) est déterminé par l'État membre (ce choix est le même pour toutes les sources de bruit); les périodes par défaut sont de 7 à 19 heures, de 19 à 23 heures et de 23 à 7 heures, en heure locale,
- une année correspond à l'année prise en considération en ce qui concerne l'émission du son et à une année moyenne en ce qui concerne les conditions météorologiques, et que c'est le son incident qui est pris en considération, ce qui signifie qu'il n'est pas tenu compte du son réfléchi sur la façade du bâtiment concerné (en règle générale, cela implique une correction de 3 dB lorsqu'on procède à une mesure) (voir CE 2002, Annexe I).

Les indicateurs de bruit peuvent également être calculés (nécessaire pour les prévisions). Les méthodes d'évaluation devant être utilisées si les États membres ne possèdent pas leur propre méthode d'évaluation légale adaptée à l'annexe I de la directive sont décrites à l'annexe II de la directive 2009/49/CE . Aux Pays-Bas, la méthode de calcul du bruit ferroviaire est prescrite par la loi («Reken- en Meetvoorschrift Railverkeerslawaai '96, Ministerie Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer, 20 novembre 1996») (ReMR 1996).

La méthode de calcul prévoit neuf catégories où les niveaux de bruit au passage d'un de ces trains sont indiqués. Les moyennes L_{DEN} et L_{NIGHT} peuvent être calculées avec le nombre total de trains d'un type donné. Des facteurs supplémentaires sont indiqués pour différents types de ponts.

À titre d'exemple, l'Allemagne possède sa propre méthode de calcul: la «méthode de calcul préliminaire du bruit ambiant dans les chemins de fer (*Vorläufige Berechnungsmethode für den Umgebungslärm an Schienenwegen*) – VBUSch 2006 (VBUSch 2006), qui a servi à cartographier le bruit.

Toutes les méthodes de calcul sont très complexes et sortent du champ de la présente étude, mais toutes répertorient les trains en classes. Pour chaque classe, un facteur d'émission doit être calculé et l'addition de tous les facteurs est réalisée au moyen d'une fonction logarithmique.

Actuellement, les méthodes de calcul sont au cœur de deux débats majeurs: l'un porte sur l'obtention de résultats différents au moyen de méthodes différentes et l'autre sur le bonus ferroviaire dans les calculs. Ces deux aspects seront abordés dans les points suivants.

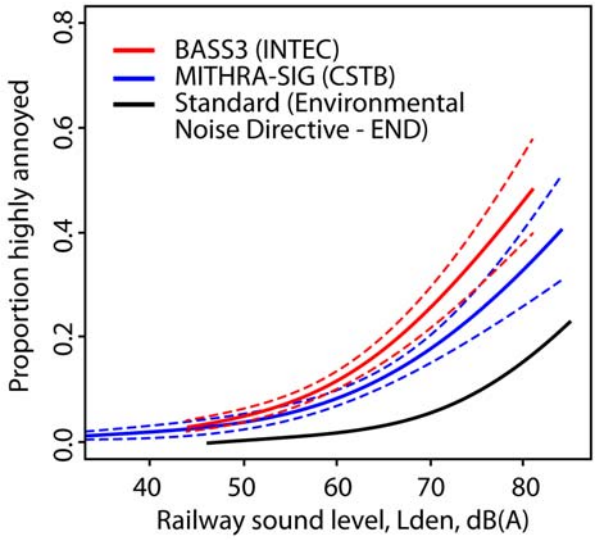
2.5.2. Différences entre les résultats obtenus par différentes méthodes de calcul

La méthode néerlandaise emploie neuf catégories de trains dans lesquelles les indicateurs mentionnés dans la méthode allemande sont déjà intégrés aux facteurs de calcul généraux relevant de la catégorie de trains visée.

La méthode de calcul allemande propose un facteur commun à tous les types de trains, modifié par des bonus individuels ou des facteurs de pénalité en fonction des indicateurs, tandis que la méthode néerlandaise a déjà défini des facteurs de calcul globaux pour les

catégories de trains. Dès lors, les résultats obtenus peuvent varier en fonction de la méthode utilisée. Lercher a mis au point un exemple illustrant ces différences dans le projet ALPNAP (ALPNAP 2007-2). La Figure 5, tirée du projet ALPNAP (ALPNAP 2007-2), offre un exemple de résultats obtenus au moyen des différentes méthodes de calcul concernant le nombre de personnes gênées par le bruit ferroviaire. La figure compare les techniques de modélisation BASS3 (INTEC)[13] et MITHRA-SIG[14] et la méthode standard prescrite par la directive sur le bruit dans l'environnement.

Figure 5: Comparaison des méthodes de calcul du bruit dans le projet ALPNAP



Source: ALPNAP 2007-2, page 124.

Évidemment, il serait intéressant qu'une norme européenne de calcul (et de mesurage) permette de mieux comparer l'incidence du bruit sur la population.

2.5.3. Le débat relatif aux bonus ferroviaires

Les anciennes méthodes de calcul et de mesurage et quelques méthodes actuelles (la méthode allemande Schall 03, par exemple), prévoient un bonus en fonction des émissions sonores ferroviaires. Ces incitations traduisent les émissions sonores ambiantes mesurées ou calculées en une valeur équilibrée. Le bruit ferroviaire est souvent considéré comme moins dérangeant que les autres sources de bruit. Cela s'explique entre autres par le fait que les périodes sans émissions sonores du tout sont plus nombreuses. La réduction générale se situe entre 3 et 10 dB dans les différents pays (ZEUS Möhler 2010).

Récemment, plusieurs études se sont penchées sur la question de savoir si cette réduction est adéquate et justifiée: l'étude de 2010 du bureau d'ingénierie Möhler & Partner de Munich sur les bonus liés aux émissions sonores des chemins de fer («Lärmbonus bei der Bahn?», ZEUS Möhler 2010); celle de ZEUS GmbH, centre pour la psychologie appliquée, la recherche sociale et environnementale, qui a examiné plusieurs études pour l'Office fédéral de l'environnement (*Umweltbundesamt*).

Le tableau ci-après indique l'adéquation des incitations relatives au bruit ferroviaire à la lumière des études analysées.

[13] BASS3 est une application de la norme ISO 9613 (Acoustique - Atténuation du son lors de sa propagation à l'air libre) du département technologique (INTEC) de l'université de Gand.

[14] MITHRA-SIG est une application de la méthode standard française NMPB (Méthode de prévision du bruit des routes).

Tableau 15: Analyse des études sur l'adéquation des incitations à la réduction du bruit ferroviaire

ADMISSIBILITÉ DES BONUS LIÉS AUX ÉMISSIONS SONORES FERROVIAIRES	TYPE D'ETUDE		
	Études de cas	Études de laboratoire	Total
Oui à un bonus général lié aux émissions sonores ferroviaires	2	6	8
Différentes sortes de bonus ou de malus	6	0	6
Non à un bonus général lié aux émissions sonores ferroviaires	0	5	5
Avis neutre concernant les bonus liés aux émissions sonores ferroviaires	1	1	2
Total	9	12	21

Source: Zeus Möhler 2010, page 49.

Près de 8 études sur les 21 sont arrivées à la conclusion que le bonus octroyé en fonction des émissions sonores ferroviaires était adéquat. Onze sont arrivées à la conclusion que soit les incitants doivent être variables (par exemple, en fonction de l'heure, de la région, du niveau de bruit et même inclure un malus), soit le bonus sur le bruit ferroviaire n'est pas adéquat. Deux études restent neutres. Si seules les études de cas sont considérées, deux études seulement sur neuf se rejoignent sur le fait qu'un bonus lié aux émissions sonores est acceptable, tandis que six estiment qu'un système de bonus/malus variable est nécessaire. Les auteurs de cette étude ont également décelé des erreurs dans les études en question. L'élaboration des systèmes de bonus/malus en fonction des émissions sonores doit se poursuivre, surtout si l'on considère l'actuelle répartition modale des transports et les effets du bruit pendant la nuit (interruption des phases silencieuses) ou les différents niveaux de bruit, par exemple.

ZEUS GmbH et Mölher&Partner ont publié un article relatif à un recensement des troubles dus au transport et au bruit ferroviaires à différents moments de la journée («Tageszeitsbezogene Belästigung durch Straßen- und Schienenverkehrslärm - Methode und empirische Ergebnisse» – Harcèlement diurne dû au bruit du trafic routier et ferroviaire) (ZEUS Mölher 2005). Les auteurs ont interrogé des personnes sur la manière dont elles se sentent harcelées par le bruit du trafic ferroviaire et routier. La principale conclusion de cette enquête est que le bruit émanant des chemins de fer le soir et la nuit tourmente plus que pendant la journée. Cette conclusion justifierait l'application d'un malus sur le bruit le soir ou la nuit.

À la suite du projet ALPNAP[15], Lercher et ses confrères ont étudié la consommation de somnifères chez les personnes touchées par le bruit ferroviaire (Lercher et al. 2007):

- il a été constaté que l'emploi de somnifères augmente déjà à de faibles niveaux de bruit, à partir de 50 dB(A);
- le niveau de bruit ambiant de 60 dB(A) pendant la nuit menant à la nécessité d'entreprendre des plans d'action est bien trop élevé.

Ces éléments mènent à la conclusion générale qu'un bonus en fonction des émissions sonores ferroviaires n'est pas justifié pour la circulation le soir et la nuit, mais est admissible uniquement pendant la journée et non pendant la nuit.

[15] ALPNAP = contrôle et réduction au minimum du bruit et de la pollution atmosphérique dus au trafic le long des principaux axes alpins de transport terrestre, voir http://www.alpnap.org (dernière consultation le 30 juin 2011)

3. BRUIT FERROVIAIRE – SOURCES ET MESURES DE PREVENTION

CONCLUSIONS ESSENTIELLES

- **Le bruit de roulement,** produit par les wagons de fret, constitue la **source principale** du bruit ferroviaire.
- Le bruit du moteur (à faible vitesse) et le bruit aérodynamique (trains à grande vitesse) **ont une importance moindre.**
- Localement, les crissements peuvent aussi être importants.
- Le niveau sonore du matériel roulant mis en service à partir de l'année 2000 est **inférieur d'environ 10 dB(A)** à celui des années 60 et 70.
- Ces dernières années, un **nombre énorme de mesures** a été mis en place contre chaque source de bruit.
- Il est possible de réduire **le bruit de roulement et le bruit des roues à l'aide de semelles de frein en matériau composite** (wagons de fret)**, de roues élastiques** ou **d'amortisseurs de roues.**
- **Le bruit des rails** peut être atténué par des amortisseurs montés sur les rails, des patins élastiques et des combinaisons de barrières antibruit de différentes hauteurs**.**
- Les **systèmes de lubrification** des voies ou des véhicules peuvent **empêcher les crissements** et sont couramment utilisés pour les tramways.
- **La mesure la plus efficace visant à réduire le bruit à l'échelle du réseau consiste à rééquiper les wagons de fret avec des semelles de frein en matériau composite.**

Ce chapitre vise à identifier les principales sources du bruit ferroviaire et les mesures susceptibles de l'empêcher ou de nous en protéger.

3.1. Sources du bruit ferroviaire

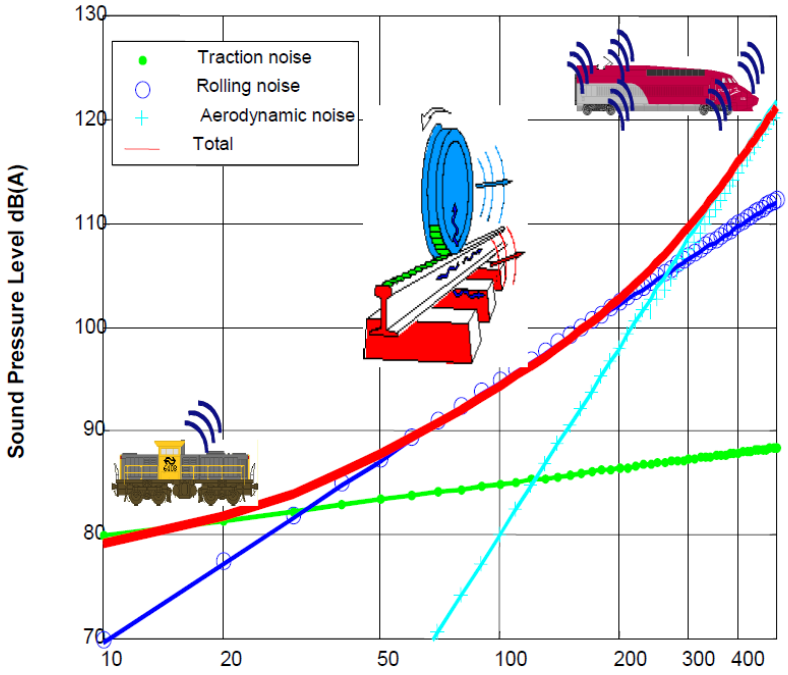
Nous disposons de nombreuses études et publications concernant les sources du bruit ferroviaire. En 2003, le groupe de travail sur le bruit ferroviaire de la Commission européenne a publié le Document de prise de position sur les stratégies et les priorités européennes pour la réduction du bruit ferroviaire [CE 2003]. En avril 2008, l'Union internationale des chemins de fer (UIC) a publié le rapport intitulé «Directive sur le bruit dans l'environnement, élaboration de plans d'action pour les chemins de fer» [UIC 2008].

Ces deux études [et d'autres, comme par exemple l'étude complète de (Thompson et Gautier 2006)] identifient les sources suivantes comme étant à l'origine du bruit ferroviaire:

- le bruit de roulement,
- le bruit de l'équipement de traction,
- le bruit aérodynamique.

L'importance et la proportion relative de ces sources de bruit dépendent de la vitesse du train. À basse vitesse, le bruit de l'équipement de traction domine alors qu'à vitesse moyenne c'est le bruit de roulement qui est prépondérant. Ce n'est qu'à des vitesses très élevées que le bruit aérodynamique devient un facteur important. Ces différents éléments sont illustrés dans la figure ci-dessous.

Figure 6: Sources du bruit ferroviaire en fonction de la vitesse du train



Source: UIC 2008, page 7.

Cette figure montre que le bruit de roulement domine entre 30 et 200 km/h, c'est-à-dire les vitesses qui affectent le plus les personnes vivant près des voies ferrées. Les trains roulent à basse vitesse dans les zones de triage, près des gares ou sur les voies des usines. Ils atteignent des vitesses supérieures à 200 km/h uniquement sur les lignes à grande vitesse.

La fourchette comprise entre 30 et 200 km/h s'applique à la plupart des autres lignes de chemin de fer. La plupart d'entre elles, déjà anciennes, ont été construites à une époque où les protections contre le bruit n'étaient pas obligatoires. Or, à l'heure actuelle l'exploitation de ces lignes reste autorisée. Il n'existe pratiquement pas d'obligation en matière d'investissement dans des mesures de protection contre le bruit mais conformément à la directive 2002/49/CE, de nombreux pays européens introduisent déjà des actions visant à réduire le bruit ferroviaire dans l'environnement. Cette fourchette de 30 à 200 km/h correspond également à la vitesse de fonctionnement des trains de fret (environ 100 km/h). De nombreuses sources considèrent les trains de fret comme les plus bruyants et la majorité d'entre eux circulent hors des lignes à grande vitesse. Le tableau suivant montre l'importance des sources de bruit, en fonction du type de train.

Tableau 16: Importance des sources de bruit

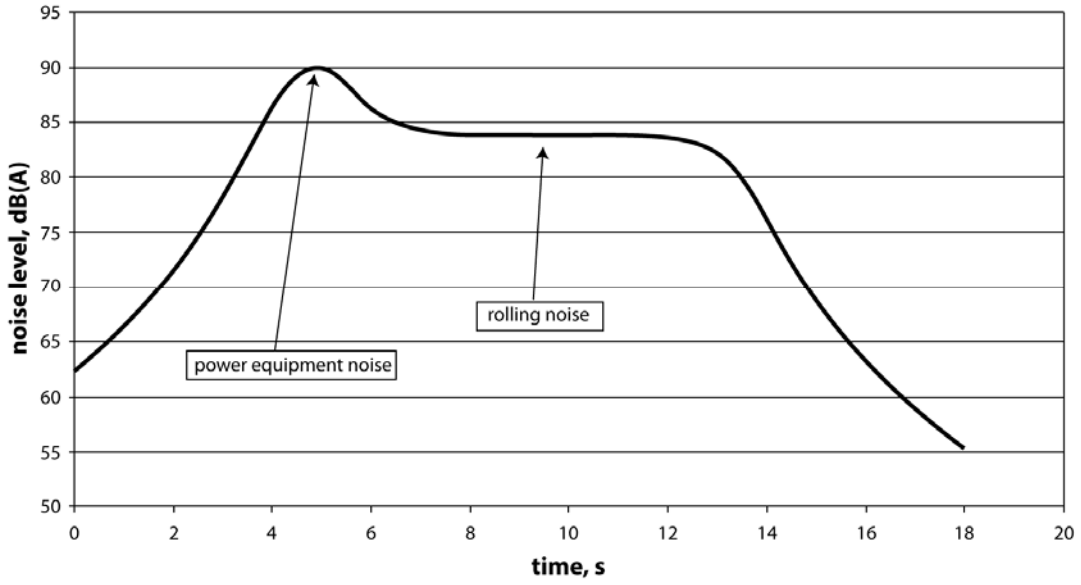
ACTION	BRUIT DE ROULEMENT	BRUIT DE L'EQUIPEMENT DE TRACTION	BRUIT AERODYNAMIQUE
Trains de fret	++	+	Sans objet
Trains à grande vitesse	++	+	++
Trains interurbains ou autres trains longue distance	++	+	Sans objet
Trains urbains (tram)	++	+	Sans objet

Source: CE 2003, page 18.

Ce tableau confirme l'importance des bruits de roulement. Le document [CE 2003] estime que les trains de voyageurs sont déjà moins bruyants parce qu'équipés de freins à disques. Cette mesure n'a pas été introduite pour réduire le bruit mais pour améliorer les performances à des vitesses supérieures à 140 km/h.

La figure suivante montre comment se manifeste le bruit émis par le matériel de traction (ici un moteur hydraulique diesel, construit de 1968 à 1979, type 218 allemand) au passage du train. Le bruit du moteur a une grande incidence au début du passage du train, mais au bout de quelques secondes, c'est le bruit de roulement qui prédomine.

Figure 7: Évolution des sources de bruit au passage du train



Source: UIC 2008, page 13.

En ce qui concerne les zones de triage, nous n'avons pas trouvé de rapports détaillés à ce sujet. Néanmoins, les sources des bruits issus des zones de triage incluent:

- le bruit des moteurs des équipements de triage (nombreuses phases d'accélération et de freinage);

- le bruit de roulement des wagons
  (notamment dans la zone de service et de décrochage des trains derrière la butte);
- le bruit du freinage:
  - trains en arrivée,
  - freinage des moteurs de triage,
  - freinage des wagons par les freins de voies (l'une des intensités sonores les plus fortes),
  - essai des freins des trains prêts;
- le bruit des chocs dus au triage.

La plupart des zones de triage sont situées hors des zones d'habitation et leur nombre a diminué au fil des années. Le transport par wagons isolés a même été abandonné dans certains pays. Cependant, ce type de transport reste important et pourrait jouer un rôle non négligeable dans le transfert modal. Nous n'avons pas trouvé d'études sur le bruit émis par les zones de triage. Le triage s'effectue aussi principalement sur des voies industrielles où il convient de respecter les règles de protection contre les bruits industriels. Dans cette étude, le bruit ferroviaire est traité avec d'autres catégories de bruit et est intégré à la mesure ou au calcul de l'ensemble du niveau sonore des sites industriels.

Le bruit des moteurs doit être pris en considération à faible vitesse, donc essentiellement près des gares. Ceci concerne particulièrement le bruit à l'accélération lorsque les moteurs (diesel en particulier) fonctionnent à puissance élevée (vitesse élevée du moteur, bruit important de l'inverseur et du convertisseur).

Résumé

- Le bruit de roulement constitue la source prépondérance de bruit, dans la mesure où il concerne les trains de transport de fret et de voyageurs.

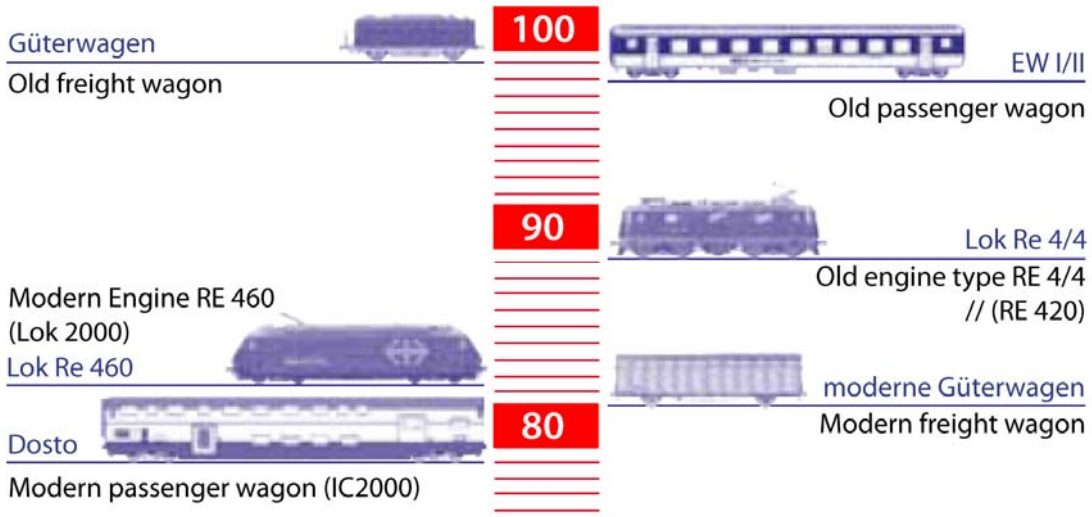
- Le bruit aérodynamique, plus particulièrement généré par les pantographes revêt une grande importance pour les trains à grande vitesse.

3.2. Évolution des émissions sonores en fonction du matériel roulant

La STI «bruit » [STI 2011] précise qu'il n'est pas nécessaire de modifier les wagons et moteurs existants. Cependant, en cas de renouvellement ou réaménagement d'un wagon ou d'un moteur, il peut être nécessaire de demander une nouvelle autorisation (en fonction de la décision des autorités nationales) et dans ce cas, les niveaux sonores doivent être respectés.

Les exemples suivants attestent de l'évolution des émissions sonores des moteurs et wagons par le passé. Depuis l'année 2000, de nombreux véhicules neufs ont été mis en service dans toute l'Europe pour le transport du fret et des voyageurs. Dans une brochure intitulée «Ruhe bitte», (Silence, s'il vous plait) [SBB 2011] les chemins de fer fédéraux suisses (CFF) montrent la différence de niveau sonore au passage entre le matériel ancien et neuf. La figure ci-dessous illustre les changements entre l'ancien matériel roulant (conçu dans les années 70 ou plus tôt) et le nouveau (conçu à la fin des années 90). Pour chaque catégorie de véhicule, les émissions sonores mesurées selon la STI «bruit» sont indiquées.

Figure 8: Évolution des émissions sonores du matériel roulant suisse



Source: CFF 2011.

Le moteur Re 460 (également connu sous le nom Lok 2000) reste l'un des moins bruyants et était le plus silencieux de tous jusqu'à l'arrivée des voitures pour voyageurs à deux niveaux IC2000. Des photographies détaillées du matériel roulant suisse moderne permettent de voir que les bogies sont bien couverts par la totalité du corps du moteur (annexe III).

La STI «bruit» exige que le bruit au passage soit au maximum de 85 dB(A) pour les moteurs électriques et 80 dB(A) pour les wagons de voyageurs à 80 km/h. Le niveau sonore des exemples suisses est déjà inférieur au niveau de la législation européenne actuelle. Cela est à souligner dans la mesure où le Lok 2000 a été mis en service en 1991 et le train de transport de voyageurs IC2000 en 1997.

[Mather 2006] présente une analyse des sources de bruit et établit une comparaison avec la STI «bruit». Elle montre les performances actuelles du matériel roulant par rapport aux exigences de la STI. Les résultats figurent dans les tableaux ci-après.

Tableau 17: Émissions sonores maximales et mesurées des trains à grande vitesse existants

VITESSE	EMISSION MAXIMALE SELON LA STI «BRUIT»	EMISSION ACTUELLE DES TRAINS A GRANDE VITESSE ALLEMANDS	DIFFERENCE
250 km/h	87 dB(A)	87 – 94 dB(A)	0 – 7 dB(A)
300 km/h	91 dB(A)	91 – 95 dB(A)	0 – 4 dB(A)
320 km/h	92 dB(A)	92 – 96 dB(A)	0 – 4 dB(A)

Source: Mather 2006.

Tableau 18: Émissions sonores maximales et mesurées des nouveaux wagons de fret

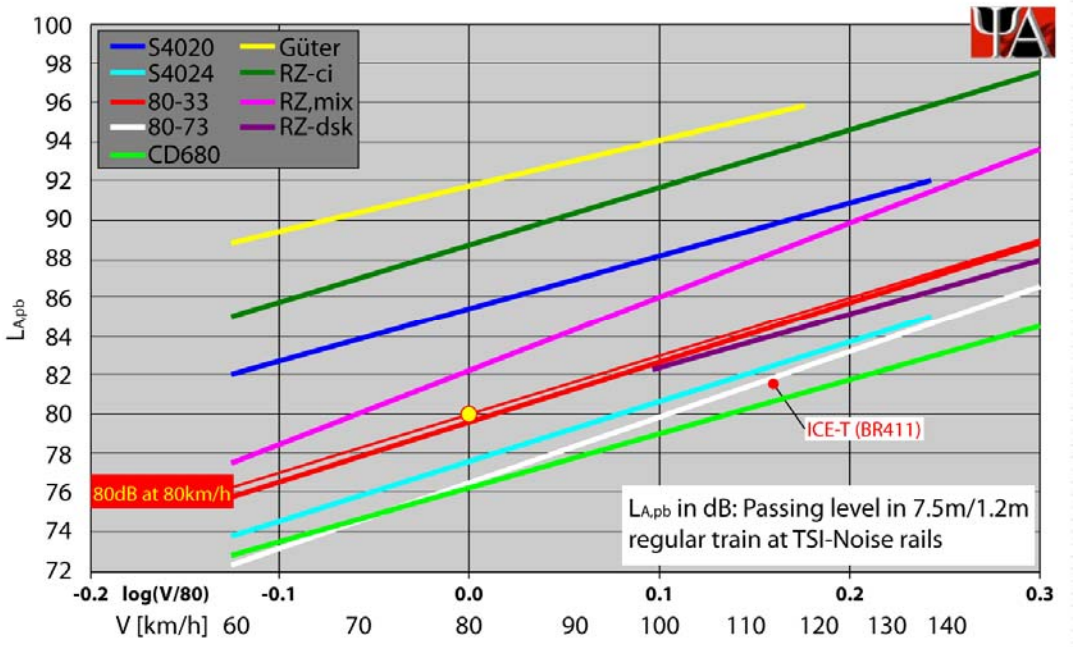
ESSIEUX PAR LONGUEUR DE WAGON	ÉMISSION MAXIMALE DE BRUIT SELON LA STI «BRUIT»	ÉMISSION ACTUELLE DES WAGONS	DIFFÉRENCE
0,15 essieu par mètre (nouveau wagon/wagon modernisé)	82 dB(A) – 84 dB(A)	92 / 94 dB(A)	8 – 12 dB(A)
0,15 à 0,275 (nouveau wagon/wagon modernisé)	83 dB(A) – 85 dB(A)	91 – 95 dB(A)	6 – 12 dB(A)
> 0,275 essieu par mètre (nouveau wagon/wagon modernisé)	85 – 87 dB(A)	92 – 96 dB(A)	5 – 11 dB(A)

Source: Mather 2006.

Il s'avère que la plupart des actions doivent encore être menées sur les wagons de fret et dans une moindre mesure sur les wagons de voyageurs et les moteurs modernes.

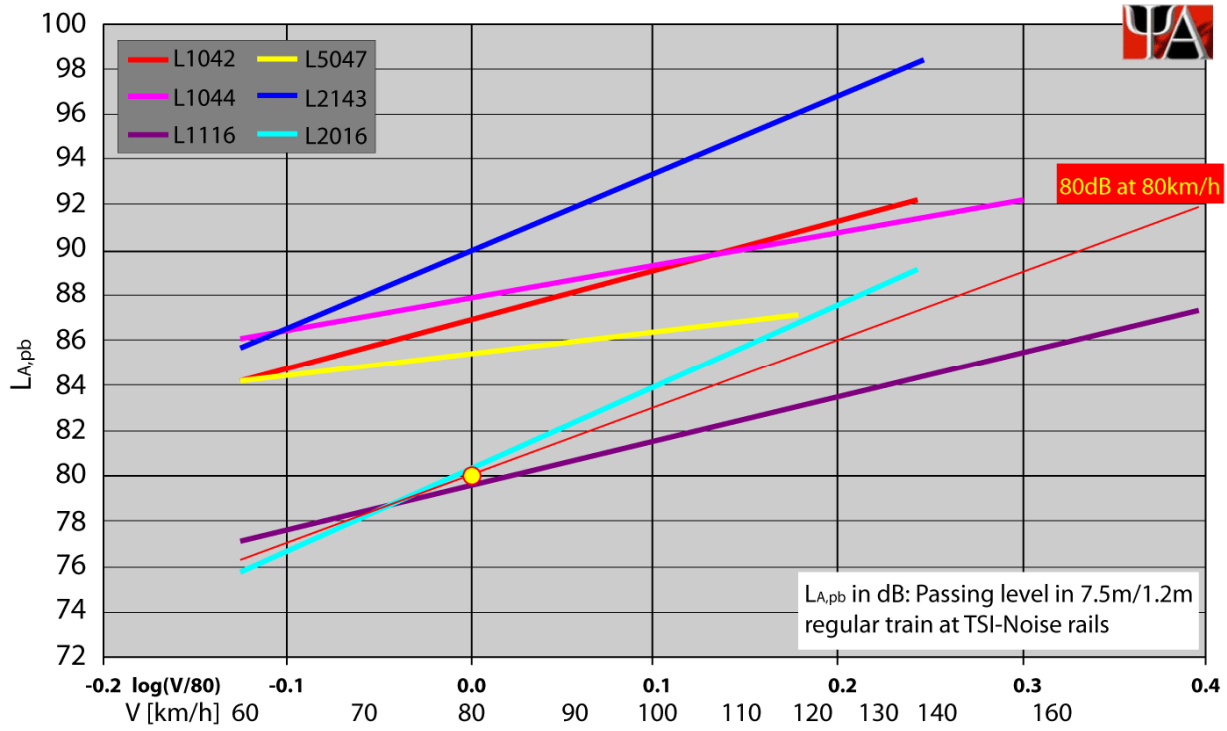
Dans une étude sur l'évolution de la réduction du bruit ferroviaire et les mesures prises dans ce domaine, Bukovnik compare l'ancien matériel roulant et le nouveau [Bukovnik 2010]. Les chiffres suivants mettent en évidence l'influence des nouveaux véhicules automoteurs pour les trains urbains. Le niveau sonore du véhicule de type 4020, construit entre 1978 et 1987, est à toutes les vitesses de 8 à 10 dB(A) supérieur à celui du type 4024 (Bombardier Talent électrique) construit depuis 2006. À 80 km/h, le 4024 remplit ou excède les recommandations de la STI.

Figure 9: Niveaux sonores des véhicules ferroviaires automoteurs autrichiens



Source: Bukovnik 2010.

Figure 10: Niveaux sonores des moteurs ferroviaires autrichiens



Source: Bukovnik 2010.

Le L1042 et le L1044 sont d'anciens moteurs électriques conçus entre 1963 et 1995. Le L1116 (Taurus) est un nouveau moteur électrique produit depuis 2000. Le L2123 est un ancien moteur diesel construit entre 1964 et 1977. Le L2016 (Eurorunner) est un nouveau moteur diesel produit depuis 2002. La réduction du niveau sonore atteint 8 à 10 dB(A). Le niveau sonore des nouveaux moteurs, 80 dB(A) à 80 km/h, est très inférieur à la recommandation de la STI, 85 dB(A).

Cela prouve que la mise en service de nouveaux matériels roulants peut réduire significativement le niveau sonore. Le bruit a été réduit de moitié entre les années 60 et 70. Il existe cependant des exemples négatifs de nouveaux matériels roulants parfois encore plus bruyants que les anciens. De nombreuses sources reconnaissent que le moteur moderne Class 66, comme le Blue Tiger sont aussi bruyants que ceux des années 60. Ils ont tous deux été conçus dans les années 90 et sont fabriqués depuis 1998. La grande avancée vers une réduction du bruit des moteurs s'est produite suite à cela depuis le début du XXI^{e} siècle.

Cependant, les niveaux sonores d'environ 80 dB(A) du matériel roulant neuf ou modernisé ne conduisent pas à réduire le bruit en deçà des niveaux de l'OMS. De même, les niveaux des pays qui montrent l'exemple ne peuvent être atteints avec le nouveau matériel roulant. La réduction du bruit à la source peut néanmoins réduire le besoin de dispositifs locaux de protection contre le bruit dans la mesure où ils peuvent être moins étendus ou évités dans les régions où les populations habitent loin des lignes de chemin de fer. Avec du matériel moins bruyant, il est possible de réduire le bruit mesuré à grande distance à un niveau acceptable.

Résumé

- Le niveau sonore du matériel roulant mis en service à partir de l'année 2000 est inférieur d'environ 10 dB(A) à celui du matériel des années 60 et 70.
- Le remplacement du matériel ancien par du matériel nouveau contribue donc à la réduction du bruit ferroviaire.

3.3. Mesures visant à éviter le bruit ferroviaire

Les sources du bruit ferroviaire peuvent être divisées comme suit:

- bruit de roulement induit par la rugosité des rails,
- bruit des roues,
- bruit des rails,
- crissements,
- trains à grande vitesse,
- autres sources de bruit.

Les méthodes d'atténuation étudiées ou déjà mises en œuvre à titre expérimental ou dans la pratique seront indiquées avec la source du bruit.

3.3.1. Bruit de roulement induit par la rugosité

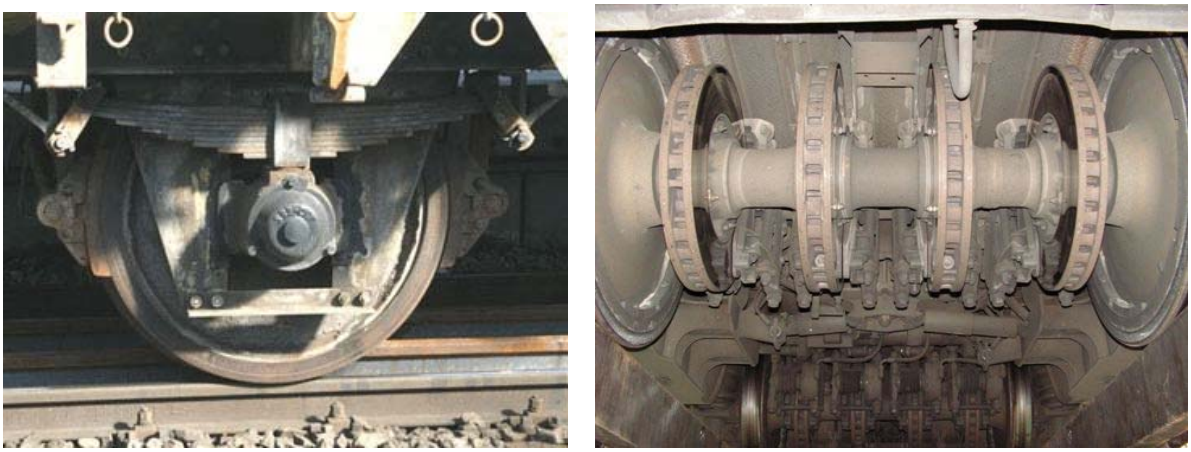
La rugosité des roues et des rails constitue une source importante et inévitable de bruit. L'usure ondulatoire du rail [à l'origine de vibrations intenses du sol et susceptible d'augmenter le niveau sonore de 20 dB (CER UIC 2007)] et les méplats des roues (bruits sourds régulier) sont des conditions extrêmes, mais il faut éviter que la surface des rails ou des roues soit en mauvais état. En procédant régulièrement au meulage des rails et au tournage des roues, on favorise la réduction du bruit. Un meulage «acoustique» spécial peut réduire le niveau sonore d'environ 3 dB [Thompson 2008-1]. Les stratégies de meulage visant à réduire le niveau sonore ont été étudiées dans le projet MONA [Thomson et Gautier 2006].

Speno et Schweerbau offrent tous deux un meulage général qui peut réduire le niveau sonore de 10 à 12 dB et un meulage acoustique spécial se traduisant par une réduction supplémentaire de 3 à 4 dB [Licitra 2006]. Le rapport établi en 2007 par l'UIC sur l'état des connaissances [CER UIC 2007] indique qu'un mauvais entretien des voies se traduit par une augmentation du niveau sonore. Le renouvellement des voies peut réduire le niveau sonore de 10 dB et un meulage acoustique de 1 à 3 dB supplémentaires.

Les freins à sabot en fonte, très communs sur les véhicules de transport de fret en Europe, tendent à provoquer une ondulation des roues qui augmente significativement le niveau sonore [Thompson et Gautier 2006]. Au contraire, les freins à disques, équipant la majorité des trains de transport de voyageurs, sont en général moins bruyants d'environ 8 dB [Hemsworth 2006]. La différence entre les freins à sabot et à disques est présentée à la

figure 11. Sur un frein à sabot, les semelles de frein appuient sur la roue, directement sur la surface de roulement (la table), c'est-à-dire la surface de la roue qui est en contact avec le rail, alors qu'avec les freins à disque, un disque supplémentaire est placé sur l'axe et les semelles de frein appuient sur ce dernier pour freiner le véhicule. Les freins à sabot, particulièrement avec des semelles en fonte, abiment les roues. La table de roulement devient rugueuse et peut se déformer, ce qui augmente le bruit de roulement.

Figure 11: Comparaison entre les freins à sabot et à disque



Source: Hemsworth 2006.

Les freins à disque sont très chers et ne peuvent être montés que lors de la mise en service de nouveaux wagons de fret ou d'une modernisation coûteuse de wagons existants (il faut changer le bogie entier). Le projet européen EuroSabot (1996-1999) a examiné les possibilités de moderniser les véhicules en remplaçant les semelles de frein en fonte par une solution moins bruyante [EUROSABOT 2011], [Hemsworth 2006], [Thompson et Gautier 2006]. Ceci a déclenché la recherche de semelles de frein en matériau composite, ayant des caractéristiques de frottement similaires à celles des semelles en fonte et susceptibles d'être utilisées pour la modernisation, les «semelles LL». Les «semelles K» sont des semelles de frein en matériau composite montées sur les véhicules de conception nouvelle.

Les semelles LL peuvent être montées sans modification du système de freinage du wagon, alors que le montage de semelles K nécessite, outre le changement des semelles, d'autres opérations. En effet, les caractéristiques de frottement des semelles LL sont similaires à celles des semelles en fonte conventionnelles alors que les semelles K ont un coefficient de frottement plus élevé (2,5 fois).

Les deux types de semelle (K et LL) réduisent le niveau sonore de 8 à 10 dB. Le coût de cycle de vie des semelles K est comparable à celui des semelles en fonte. Celui des semelles LL doit encore être déterminé [CER UIC 2007] en ce qui concerne les coûts d'exploitation. Certains fabricants ou propriétaires de wagons se sont récemment aperçus que le coût des semelles K était plus élevé, l'usure des roues étant plus marquée [Gilliam 2008] et [Saabel 2011].

Le projet européen Euro Rolling Silently (2002-2005) a mis au point trois prototypes de semelles LL. En 2009, deux types de semelles LL (IB116* et Jurid 777) étaient considérés comme utilisables en toute sécurité en Europe [Dörsch 2009]. La société ICER Brakes commercialise des semelles LL organiques réduisant le bruit de 8 dB par rapport aux semelles en fonte [Licitra 2006]. La société Federal-Mogul produit également des semelles LL organiques.

Bien que les nouvelles semelles LL en matériau composite soient efficaces en matière de réduction du bruit, certaines questions doivent être résolues avant qu'elles puissent être utilisées en Europe. Les essais effectués avec des semelles LL ont montré que la conicité équivalente des roues augmente avec le temps et affecte la stabilité dynamique des voitures. Un consortium regroupant des fabricants de freins et des exploitants de voitures a créé le projet EuropeTrain [(EuropeTrain)] afin de résoudre ce problème: un train grandeur nature circule en Europe pour accélérer les essais des semelles LL.

Si les semelles LL pouvaient être utilisées et certifiées, la modification serait relativement simple. Il suffirait de remplacer les semelles en fonte existantes par des semelles LL. M. Lochman de la CER attend la certification des semelles LL pour fin 2011 et le début de leur introduction pour mi-2012, alors que MM. Pennekamp, Fleckstein, Mather, et Theis des chemins de fer allemands (DB) attendent la certification pour 2012[16]. Les auteurs de ce rapport attendent donc la certification pour fin 2012, ce qui est plus pratique.

Outre EuropeTrain, les deux projets suivants, relatifs aux semelles de frein en matériau composite, sont en cours en Europe: Leiser Rhein porte sur la modernisation des voitures, notamment dans la vallée du Rhin et LäGiV sur l'amélioration des semelles K et LL.

Résumé

- L'état de la surface des rails et des roues, en particulier l'ondulation des rails et l'ovalisation des roues, constitue une cause importante du bruit ferroviaire qui doit donc être suivie et contrôlée. Les gestionnaires de l'infrastructure et les exploitants des trains disposent déjà de programmes de contrôle de la qualité des roues et des rails. Les gestionnaires de l'infrastructure utilisent des points de contrôle de la charge par essieu pour suivre les trains en circulation et détecter les roues très endommagées. Il faudrait peut-être renforcer les tolérances afin d'améliorer la qualité et réduire le bruit, ce qui nécessiterait des opérations d'entretien supplémentaires.

- L'utilisation de semelles de frein en matériau composite plutôt qu'en fonte se traduira par une amélioration significative de la surface de contact des roues et des niveaux sonores. Il est possible de moderniser les wagons existants avec des semelles de frein en matériau composite et le consortium EuropeTrain de l'UIC étudie en ce moment l'utilisation des semelles LL en particulier (celles demandant le moins de travail et coûtant le moins cher dans le cadre du réaménagement). Des questions subsistent à propos de la détérioration à long terme et du coût de cycle de vie des nouvelles semelles LL; de ce fait leur mise en œuvre généralisée est en suspens.

3.3.2. Bruit des roues

Le projet européen Silent Freight (1996-1999) a examiné les possibilités de réduction du bruit généré par les roues [Dörsch 2009], [Hemsworth 2006], [Thompson et Gautier 2006]:

- les anneaux amortisseurs réduisent le bruit de 6 dB;
- la perforation de la roue n'est pas efficace;
- les absorbeurs dynamiques réduisent le bruit de 7 dB maximum;
- les écrans sur la toile de roue réduisent le bruit de 9 dB maximum.

[16] Ces informations ont été obtenues lors d'entretiens menés par l'équipe du projet en juillet 2011.

Les figures suivantes illustrent les différents systèmes.

Figure 12: Anneaux amortisseurs et roues perforées

Source: Hemsworth 2006.

Figure 13: Amortisseurs dynamiques

Source: Hemsworth 2006.

Figure 14: Écrans sur la toile de roue

Source: Hemsworth 2006.

Le niveau sonore peut encore être réduit par le carénage des bogies [Hemsworth 2006]. Il est difficile de concevoir une roue entièrement nouvelle pour réduire le bruit dans la mesure où il nécessaire qu'elle soit adaptée aux systèmes de freinage à sabot existants et

que la chaleur générée pendant le freinage puisse se dissiper. Si l'on réduit le diamètre de la roue, celle-ci est plus exposée à l'interaction roue/rugosité du rail et les niveaux sonores peuvent augmenter. Dans le cadre du projet RONA (optimisation des roues pour les lignes à grande vitesse), des roues JR13 de conception nouvelle ont été mises au point. Elles permettent une réduction d'environ 3 dB du niveau sonore. Une autre roue a été élaborée dans le cadre du même projet, Alu4, avec une toile en aluminium épaisse et des amortisseurs. Il est attendu une réduction du bruit de 12 dB. Cependant, à la suite du déraillement d'Eschede en 1998[17], causé par la rupture d'un bandage, le secteur reste réservé à l'égard des roues composées de plusieurs matériaux. D'autres incidents, relatifs à des ruptures d'essieu sur les wagons de marchandises ou les trains ICE[18] compliquent les innovations concernant les roues et les essieux. Le projet européen HIPERWHEEL (2000-2004) a essayé un système d'amortissement des vibrations par couche de contrainte sur l'ETR500, train à grande vitesse italien, et a mesuré une réduction du bruit de 4 à 5 dB entre 200 et 300 km/h [voir (Thompson et Gautier 2006)].

Lucchini[19] propose une gamme de roues silencieuses amorties. *Syope* intègre un système d'amortissement des vibrations par couche de contrainte, *Galene* utilise des amortisseurs optimisés pour réduire les crissements sur les trams*, Hypno* est un système d'amortissement des frottements en acier pour les roues des wagons de marchandises équipées de freins à sabot. Valdunes[20] intègre aussi des systèmes d'amortissement dans les roues, par exemple en utilisant des anneaux amortisseurs pour réduire les crissements de 10 à 15 dB [voir (Licitra 2006)].

Heathcote Industrial Plastics offre des amortisseurs par couche de contrainte éliminant les bruits de crissement et réduisant le bruit sous le véhicule de 30 dB maximum. GHH propose des absorbeurs pour roues (réduction du bruit de 5 à 15 dB) et des anneaux amortisseurs. VSG Vibration Absorbers commercialise des absorbeurs de vibrations pour roues (réduction du niveau sonore de 10 à 30 dB des crissements aux fréquences les plus élevées). Schrey & Veit fabrique des absorbeurs pour roues qui éliminent presque complètement les crissements et réduisent le niveau sonore de 8 dB en cas de crissement (voir le projet WP3 de l'UIC sur les crissements en courbe [Müller et al. 2003].

Résumé

- Les roues élastiques peuvent réduire le bruit et améliorer le confort de roulement et également être très efficaces en matière de réduction des crissements dans les courbes serrées. Différentes technologies sont proposées et utilisées pour les trains à grande vitesse et les métros.
- À la suite de la catastrophe d'Eschede en 1998, il subsiste une réticence quant à l'utilisation de roues non monobloc sur les wagons des trains à grande vitesse.

[17] À Eschede la rupture d'un bandage parti en morceaux a provoqué le déraillement du train ICE à grande vitesse au niveau d'un aiguillage. Le bogie arrière de l'une des voitures s'engage via l'aiguillage dans une voie parallèle et la voiture entre ensuite en collision avec les piles d'un pont. Le pont s'écroule sur le train et les voitures suivantes s'encastrent dans le pont et les voitures détruits. Le bilan s'établit à 101 morts et 88 blessés. La technique des roues bandagées a été utilisée sur les trains ICE en vue de résoudre un problème rencontré avec ce type de train, concernant principalement l'amortissement, alors que les autres trains à grande vitesse étaient équipés de roues monobloc.

[18] Rupture d'un essieu sur un train ICE3 à Cologne le 9 juillet 2008. Déraillement d'un train de marchandises à Viareggio (Italie) le 30 juin 2009.

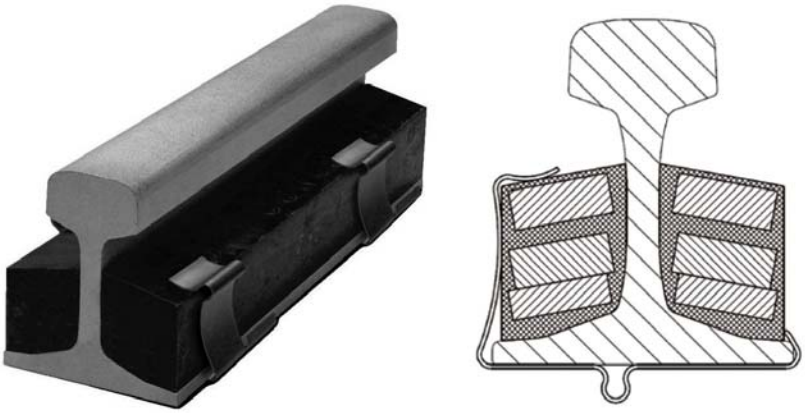
[19] Lucchini RS [http://www.lucchinirs.it/] est une société italienne produisant des essieux montés pour les trains à grande vitesse; cette société est indépendante du producteur d'acier Lucchini détenu par un groupe russe.

[20] Valdunes [http://www.ghh-valdunes.com/] est un important producteur européen d'essieux implanté en Allemagne, en France et en Belgique.

3.3.3. Bruit des rails

Les amortisseurs de rails, des masses d'aciers enrobées d'élastomère et fixées sur l'âme du rail, ont été mis au point dans les années 90 par ERRI dans le cadre du projet OFWHAT (roues et voies optimisées pour le fret) et la SNCF dans le cadre du projet VONA (conception de voies silencieuses pour les lignes à grande vitesse) [Thomson et Gautier 2006]. Le projet européen Silent Track (1997-2000) a perfectionné ces amortisseurs de rails qui, dans leur nouvelle conception, réduisaient le bruit de 6 dB [EUROSABOT 2011], [Hemsworth 2006], [Thompson et Gautier 2006]. Le projet néerlandais IPG[21] a testé les amortisseurs de rails et conclu à l'efficacité des amortisseurs «Silent Track» et des absorbeurs Schrey & Veit (S&V) VICON-ASMA 5RQ, à l'origine d'une réduction du niveau sonore de 3 dB [Thompson 2008-2]. Van den Dool présente d'autres essais d'amortisseurs de rails [van den Dool 2007].

Figure 15: Amortisseurs dynamiques sur rail Silent Track de Tata Steel



Source: Tata Steel: images issues de la brochure du produit.

Tata Steel propose un système d'amortisseurs dynamiques pour rails «SilentTrack» (voir figure 15) réduisant le bruit de 3 à 7 dB. Le caoutchouc placé des deux côtés du rail métallique réduit le bruit. Plus de 200 km de voies sont équipés de Silent Track dans le monde, notamment aux Pays-Bas, en Allemagne et au Royaume Uni.

Des barrières antibruit construites en bordure de voies peuvent également réduire le niveau sonore [Hemsworth 2006], [Thompson et Gautier 2006], mais les amortisseurs de rails peuvent rendre barrières et écrans inutiles [van den Dool 2007].

Des semelles sous rail optimisées, permettant de réduire le bruit de 3 à 4 dB, ont également été mises au point dans le cadre du projet VONA [Thompson et Gautier 2006]. Les semelles sous rail élaborées dans le cadre du projet Silent Track réduisent le bruit de 2 dB.

Saargummi et CDM proposent une gamme de semelles sous rail élastiques destinées à amortir le bruit et les vibrations. CDM et Getzner Werkstoffe commercialisent des semelles sous traverse et des tapis de ballast et un ensemble de solutions pour les voies sur dalles et encastrées [Licitra 2006].

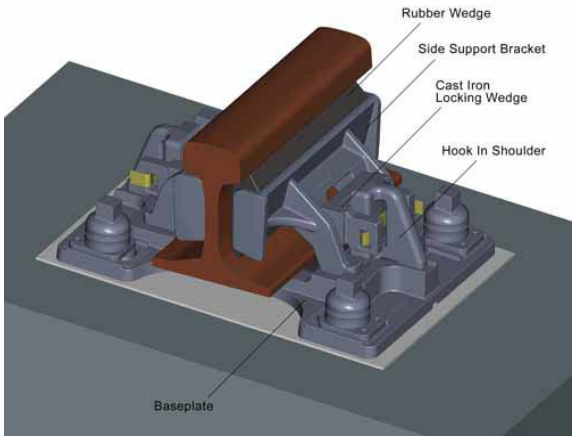
Le système VANGUARD de Pandrol atténue le bruit avec des semelles élastiques mais soutient également le rail au niveau de l'âme pour éviter qu'il ne bouge. Ce système est

[21] Innovatieprogramma geluid (IPG) voor weg- & spoorverkeer [http://www.innovatieprogrammageluid.nl/].

utilisé dans le métro londonien (ligne Victoria) et pour la liaison ferroviaire transmanche par exemple, ainsi que dans les récents travaux de Belgrade Central où la réduction des vibrations constituait un facteur essentiel. Lors des essais sur la voie de test MTRCL à Hong Kong, sur une voie sur dalle classique, le système VANGUARD a réduit en moyenne les niveaux sonores de 7,3 dB dans la fourchette 20 Hz-500 Hz et de 13 dB dans la fourchette 40 Hz-80 Hz. Ces essais ont prouvé que le bruit pouvait encore être réduit lorsque VANGUARD était utilisé sur une voie sur dalle isolée (IST). Ces voies comprennent un tapis de ballast en caoutchouc. Elles sont plus faciles à installer que les voies sur dalle flottante mais pas aussi efficaces.

Figure 16: À gauche: semelle sous-rail Saargummi; à droite: support d'âme élastique Vanguard de Pandrol

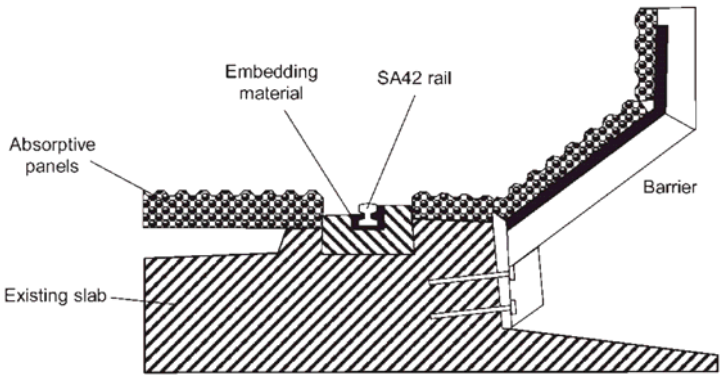
Source: Licitra 2006.



Source: Pandrol Vanguard, brochure du produit.

Dans le cadre du projet Silent Track de nouveaux profils de rails ont été mis au point, plus ajustés, avec un nouveau système d'attache et de nouvelles traverses biblocs. Dans le cadre du projet néerlandais STV pour une circulation ferroviaire silencieuse, un nouveau profil de rail, plus petit, le SA42 a été mis au point pour les voies sur dalle (voir figure 12); le rail est continuellement soutenu par un matériau rigide encastré qui agit comme un dispositif d'amortissement. Le bruit est réduit de 5 dB par rapport à une voie sur dalle avec des rails UIC 54. Des barrières antibruit de 0,7 m de haut, installées sur le côté de la voie ont permis de gagner encore 6 dB [voir (Thompson et Gautier 2006)].

Figure 17: Vue en coupe de la voie sur dalle SA42 du projet STV



Source: Thompson et Gautier 2006.

Le système de rails encastrés Edilon Corkelast, qui réduit le bruit de 5 dB, équipe le pont ferroviaire en acier enjambant l'Arno à Pise [Licitra 2006].

Les résultats d'un essai du système de rails encastrés de Balfour Beatty (BBERS), effectué à Medina, en Espagne, prouvent qu'il permet de gagner au moins 2 dB par rapport à une voie ballastée [InnoTrack D2.3.3].

Résumé

- Le bruit et les vibrations venant du sol représentent une préoccupation essentielle dans les zones urbaines; les ponts et les voies ferrées souterraines doivent faire l'objet de mesures spécifiques. Les semelles sous-rail élastiques sont communément utilisées mais dans les endroits où l'amortissement doit être renforcé, il est possible de recourir aux voies sur dalle isolées ou flottantes ou aux semelles sous-traverses et aux tapis de ballast pour les voies ballastées. Autre solution envisageable, un système de support élastique du rail plus perfectionné comme VANGUARD.

- Les solutions comprenant un support élastique du rail interagissent entre elles ainsi qu'avec les technologies relatives aux roues élastiques. Il convient de considérer et modéliser le système dans son ensemble afin de réduire le bruit et les vibrations dans la gamme de fréquences voulue;

- Le coût d'entretien des barrières antibruit est élevé, elles ont un fort impact visuel et gênent l'accès aux voies. Les amortisseurs équipant les rails peuvent être adaptés aux besoins locaux de la ligne et laissés en place pendant toute la durée de vie de la voie. Ils peuvent remplacer efficacement les barrières antibruit.

3.3.4. Crissements et modificateurs de frottement

Le crissement est un bruit aigu (2 à 4 Hz) que l'on entend parfois lorsque les véhicules roulent dans des courbes. Il est provoqué par l'alternance de l'adhérence et du glissement latéral de la roue sur le rail (effet «stick-slip») créant des résonances à haute fréquence dans le rail et la roue. De nombreux systèmes d'amortisseurs équipant les roues et les rails visent à supprimer le crissement.

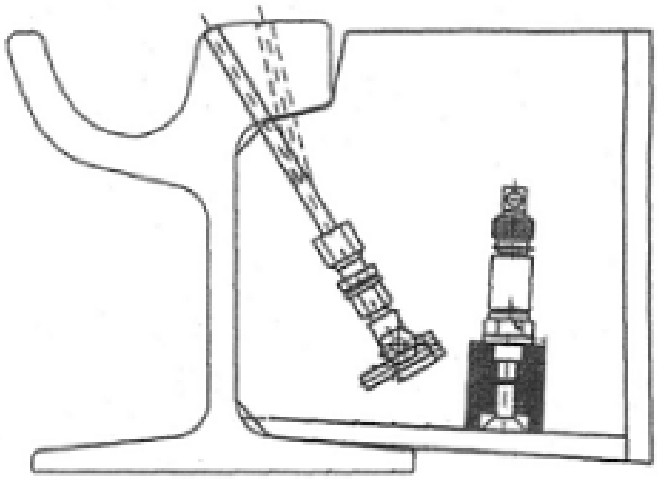
Les modificateurs de frottement servent à modifier l'interaction roue/rail afin d'éviter les crissements et l'ondulation. En 2005, l'UIC considérait que les modificateurs de frottement ne constituaient pas la meilleure solution. Les modificateurs de frottement peuvent être des lubrifiants, par exemple des graisses, destinés à réduire les frottements à 0,2 ou moins et en général appliqués sur la face intérieure du rail supérieur dans les courbes où le boudin de la roue entre souvent en contact, générant un crissement et une usure importante. La lubrification vise principalement à réduire l'usure et n'est pas recommandée sur la partie supérieure du champignon du rail, où la traction nécessite des niveaux de frottement élevés (accélération et freinage du train). Les modificateurs de frottement du niveau supérieur du rail (MF NSR) maintiennent le frottement entre 0,3 et 0,35. Ils doivent posséder des caractéristiques de «frottement positif» afin d'éviter les crissements et de façon à que les frottements augmentent lorsque la roue glisse. Ces modificateurs de frottement (MF NSR) peuvent également traiter correctement l'ondulation courte (une source importante de bruit) du rail inférieur dans les courbes et se sont révélés efficaces sur la ligne Heathrow Express[22].

[22] M. Chestney, N. Dadkah et D. Eadie (2009) «The Effect of Top of Rail Friction Control on a European Passenger System: The Heathrow Express Experience» 8e conférence internationale sur la mécanique des contacts et l'usure des systèmes rail/roue (CM2009), Florence, Italie. [Pour un résumé et une vue d'ensemble du TOR FM voir également http://www.therailengineer.com/railtex2011/Day-2-No-06-Kevin-Portec.pdf]

Il est également possible de recourir à des profils de rails asymétriques spéciaux afin d'éviter les crissements («profils anti-crissements») et d'adapter le tracé de la voie en vue d'éviter les conditions dynamiques du véhicule qui génèrent le crissement. Des couches de surface ou des revêtements spécifiques possédant des caractéristiques de friction déterminées peuvent être mis au point, par exemple la couche de surface des rails imprégnée de particules de Duroc AB. Les résultats des tests de laboratoire montrent que le coefficient de friction de cette couche est faible lorsqu'elle est sèche. Elle réduit également l'usure des rails et l'usure correspondante de la roue est relativement régulière [voir (Hiensch et al. 2007)].

Des tests ont été effectués dans le cadre du projet européen Q-City (2005-2009) afin d'évaluer l'efficacité des lubrifiants pour véhicules et voies en matière de suppression des crissements. Les systèmes de graissage embarqués ont été essayés sur le réseau d'Anvers et ont réduit les crissements pour un coût relativement faible. Un système de graissage fixe, testé au dépôt de la STIB, s'est révélé très efficace, réduisant les crissements d'au moins 16 dB. Il est généralement nécessaire de disposer d'une source d'alimentation électrique sur le site pour les dispositifs de graissage fixe et l'accès à un système hydraulique pour l'entretien peut être difficile dans les environnements urbains [voir (Q-City 2009)]. Ces techniques sont d'ailleurs essayées exclusivement pour les chemins de fer municipaux (trains de banlieue, systèmes souterrains).

Figure 18: Principe des systèmes de graissage fixes pour la modification des frottements



Source: Q-City 2009.

Le prototype de graisseur (via un orifice) mis au point par Lion Oil n'était pas fiable (voir figure 18). La figure montre le dispositif d'injection destiné à lubrifier la zone de contact rail-roue. D'autres systèmes similaires sont proposés sur le marché et des devis sont donnés dans les annexes de [Q-City 2009] pour: (A) Système de graissage Clicomatic à injection pour rail, (B) Systèmes de graissage pour rail FluiLub (embarqué et fixe).

ELPA d.o.o propose un autre dispositif fixe par injection destiné à supprimer les crissements dans les courbes et pendant le freinage (particulièrement utile dans les gares de triage [ELPA], [Licitra 2006]. Le système ELPA utilise un modificateur de frottement composite respectueux de l'environnement.

Les autres systèmes fixes de graissage/contrôle du frottement sont: le système fixe de contrôle du frottement de Portec (réduction du bruit de 5 à 15 dB), le système de graissage électronique pour rail de Schreck-Mieves et Lubriquip de KLS. Les autres systèmes embarqués de contrôle du frottement sont: REBS (graissage des rails, réduction de 20 à 28 dB à 2 500 Hz, graissage des boudins de roue), TracGlide (graissage des rails), Vogel AG (graissage des boudins de roue), Kelsan/Lubriquip (graissage des boudins de roues, réduction de 2 à 7 dB, Barnt Green Birmingham (pulvérisation d'eau), SBB (pulvérisation d'eau) (voir UIC projet WP 3 sur les crissements en courbe [Müller et al. 2003]).

Résumé:

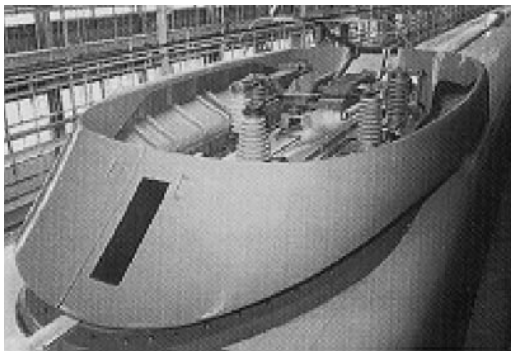
- L'usure du rail supérieur dans les courbes à faible rayon est traditionnellement contrôlée par le graissage de la face intérieure, ce qui réduit également le niveau sonore, notamment les crissements dans certains cas. Dans ce domaine, les principales avancées technologiques se concentrent sur les dispositifs d'application.

- Les modificateurs de friction du niveau supérieur du rail constituent un développement relativement nouveau de cette technologie. Ils sont utilisés pour éviter l'ondulation des rails inférieurs et les crissements dans les courbes ainsi que lors du freinage dans les zones de triage.

3.3.5. Trains à grande vitesse

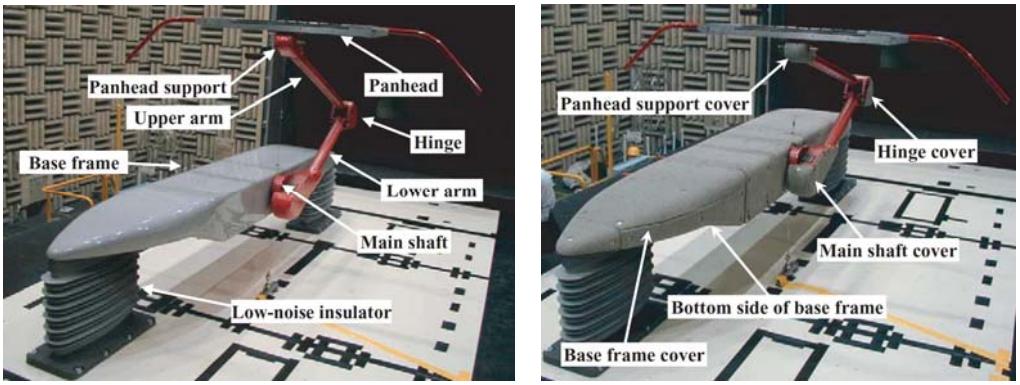
Le bruit aérodynamique devient significatif à grande vitesse (plus de 200 km) et atteint un niveau comparable au bruit de roulement. Sur les trains électriques, le bruit du pantographe est également significatif à grande vitesse. Les pantographes et le bogie de tête constituent les deux principales sources de bruit aérodynamique. Les pantographes peuvent être carénés (voir figure 19) et/ou dessinés avec soin afin de gagner dans chaque cas de 5 à 10 dB [voir (Talotte 2000), (Talotte et al. 2003)]. [Sueki et al. 2009] ont montré qu'un revêtement poreux peut diminuer le bruit aérodynamique des pantographes.

Figure 19: Carénage du pantographe du Shinkansen japonais série 700



Source: Talotte 2000.

Figure 20: Revêtement poreux du pantographe



Source: Sueki et al. 2009.

Les vibrations générées par l'interaction véhicule-voie se propagent par le sol à une vitesse dépendant du type de sol. La propagation est plus lente sur un sol meuble. Si la vitesse du train est supérieure à la vitesse de propagation des vibrations dans le sol, cela crée une vibration venant du sol, un «boum» analogue à celui entendu lorsqu'un avion franchit le mur du son. En pratique, cela signifie qu'au-dessus d'un certain seuil de vitesse du train les vibrations dans le sol augmentent fortement. Pour les sols tourbeux et argileux cette vitesse critique peut être aussi basse que 150 km/h mais elle dépend également de l'espacement des bogies et des essieux [Madshus et Kaynia 2000].

Les trains à grande vitesse roulent en général sur des lignes à grande vitesse dont les voies ne sont pas équipées de ballast. Comme cette superstructure est un sol dur le bruit peut être renforcé par la plaque en béton, l'absorption réduite et le transfert élevé. La solution habituellement choisie consiste à recouvrir les voies sans ballast d'amortisseurs.

Résumé

- Les pantographes sont généralement plus hauts que les barrières antibruit et représentent une source importante de bruit pour les trains à grande vitesse. Il vaudrait mieux s'orienter vers un dessin aérodynamique et de nouveaux matériaux plutôt que vers une élévation des barrières antibruit ou un enfermement complet.

3.3.6. Autres sources de bruit

Les échappements des locomotives, les moteurs de traction, les ventilateurs, les ponts et les avertisseurs des trains génèrent également du bruit [Talotte et al. 2003]. Les plaques de base élastiques réduisent efficacement le bruit sur les ponts [le système VIPA de Pandrol a permis de gagner 6 dB dans une étude (Wang et al. 2000)]. Schrey & Veit (S&V) propose également un système d'absorbeur dynamique pour les ponts de chemins de fer en acier [Licitra 2006] qui fait gagner aussi environ 6 dB.

Enfin, il convient de noter qu'un entretien insuffisant ou pas assez fréquent est susceptible de se traduire par une augmentation du niveau sonore, notamment à cause des pièces en mouvement, par exemple les paliers, les suspensions des voitures.

3.3.7. Autres solutions pour réduire le bruit

Les autres solutions, comme les limitations de vitesse et la planification de l'utilisation des terres sont rejetées dans [UIC 2008]. Seules des limitations de vitesse conséquentes (50 km/h) auraient un impact considérable sur le bruit. Elles ne sont donc pas «compatibles avec l'exploitation de services ferroviaires compétitifs sur le plan commercial» (il conviendrait cependant d'examiner les avantages d'une limitation de la vitesse au cas par cas). Les mesures de planification de l'utilisation des terres auront peu d'influence puisqu'à plus de 50 mètres de la source «le niveau de bruit ne varie plus si l'on modifie même moyennement la distance».

La réorientation des trains n'est pas toujours une solution adaptée. Dans certains cas il existe des lignes de substitution, mais cela peut gêner les gens. Cette solution pourrait simplement déplacer le problème. Dans certains cas, comme l'axe du Rhin, il n'existe pas de solution (réaliste) de rechange.

3.4. Synthèse des principales mesures de réduction du bruit

Le tableau suivant présente un résumé des mesures, de leurs conséquences et de leur coût à partir d'informations venant de différentes sources.

Tableau 19: Mesures, conséquences et coûts

MESURE	SOURCE DE BRUIT VISÉE	CONSEQUENCES (LOCALES, AU NIVEAU DU RESEAU)	CONSEQUENCES	COUT/UNITÉ[23]
Semelles de type K	Bruit de roulement	Réseau	De 8 à 10 dB(A)	4 000 à 10 000 euros par wagon[24]
Semelles de type LL	Bruit de roulement	Réseau	De 8 à 10 dB(A)	500 à 2 000 euros par wagon[25]
Meulage général des mauvaises voies	Bruit de roulement	Locales	10 à 12 dB(A) et jusqu'à 20 dB(A) pour les très mauvaises voies	Doit être intégré à l'entretien classique
Meulage acoustique spécifique	Bruit de roulement	Locales	1 à 4 dB(A) (en fonction de la rugosité des rails localement), en général on peut escompter 2 dB(A)	
Freins à disque	Bruit de roulement	Réseau	10 dB(A)	Pour l'instant, mis en place principalement sur les voitures de voyageurs

[23] Les informations sur les coûts sont extraites du document [UIC 2008] page 25.
[24] Réaménagement, pas de coûts supplémentaires pour les nouveaux wagons. Il reste à étudier les coûts d'exploitation supplémentaires.
[25] Modernisation, pas de coûts supplémentaires pour les nouveaux wagons. Il reste à étudier les coûts d'exploitation supplémentaires.

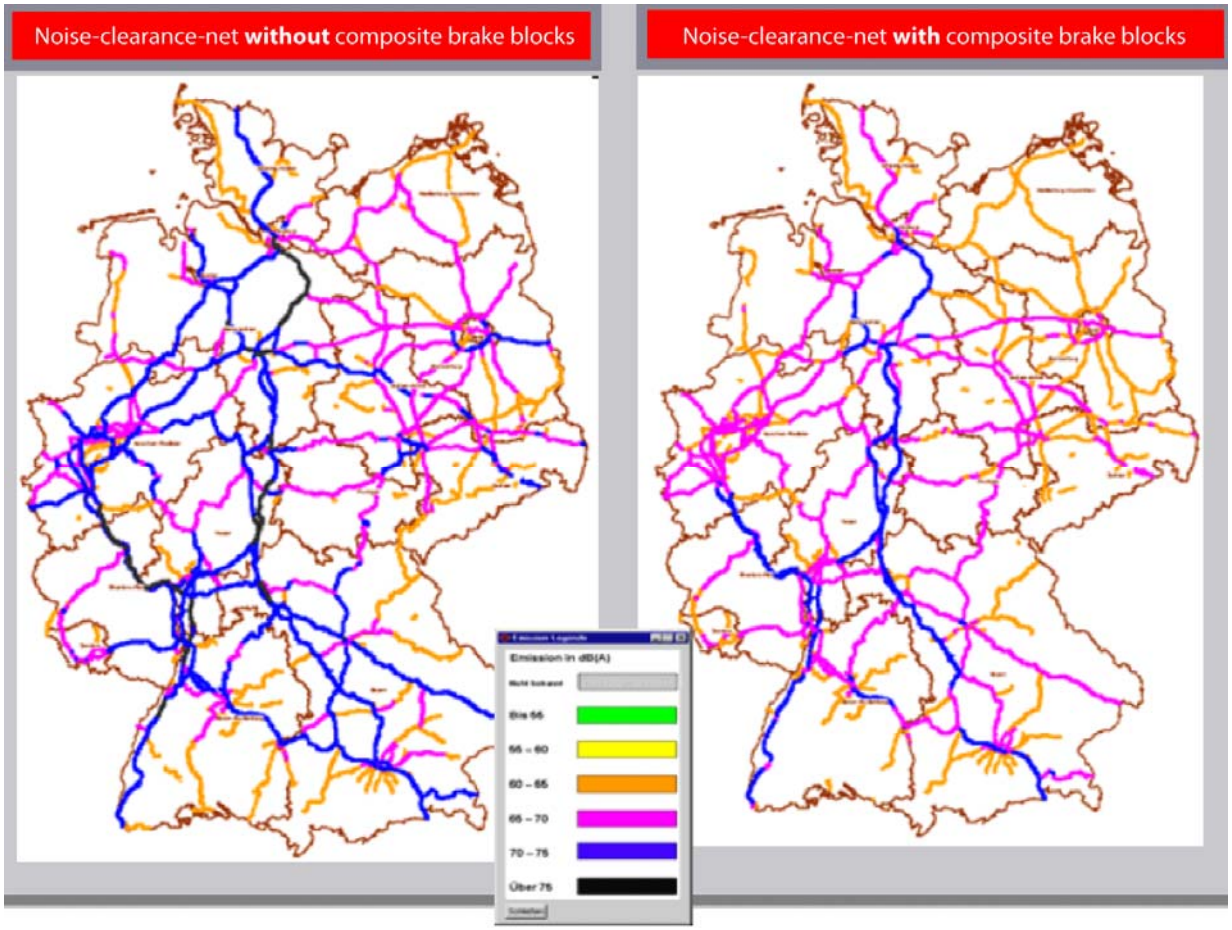
MESURE	SOURCE DE BRUIT VISÉE	CONSEQUENCES (LOCALES, AU NIVEAU DU RESEAU)	CONSEQUENCES	COUT/UNITÉ[23]
Absorbeurs dynamiques	Bruit des roues	Réseau	2 à 7 dB(A)	3 000 à 8 000 euros par roue → (24 000 à 64 000 par wagon à 4 essieux)
Carénage des bogies avec barrières basses	Bruit des roues	Locales	8 à 10 dB(A)	
Amortisseurs sur les rails	Bruit des rails	Locales	3 à 7 dB(A) (en général on peut escompter 3 dB(A))	300 à 400 euros par mètre (deux rails)
Voies sur dalle	Bruit des rails	Locales	5 dB(A)	
Semelles sous rail	Bruit des rails	Locales	3 à 4 dB(A)	
Mesures de réduction des crissements	Crissements	Locales	Jusqu'à 20 dB(A) selon les conditions locales	
Carénage des pantographes	Trains à grande vitesse	Globales, mais seulement à grande vitesse, à partir de 200 km/h	5 à 10 dB(A)	
Barrières de 2 m de hauteur	Toutes les sources	Locales	10 dB(A)	1 000 euros/m
Barrières de 3 à 4 m de hauteur	Toutes les sources	Locales	15 dB(A)	1 350 euros/m (3 m de haut) 1 700 euros/m (4 m de haut)
Fenêtres isolées	Toutes les sources	Intérieur des habitations seulement	10 à 30 dB(A)	3 000 à 8 000 euros par habitation (4 fenêtres)

Source: Établi par les auteurs à partir de différentes sources

Les chemins de fer allemands ont publié deux courbes dans leur Déclaration en faveur de la réduction du bruit [DB 2010]. La figure 21 présente sur la gauche le niveau sonore actuel sur les lignes ferroviaires allemandes et sur la droite les résultats d'une simulation reposant sur l'équipement des trains de fret avec des semelles de frein en matériau composite. Les courbes indiquent que le réseau affecté par des émissions sonores élevées sera réduit si l'on introduit des freins à sabot modifiés. Les lignes où le niveau sonore est compris entre 70 à 75 dB(A) et 65 à 70 dB(A) seront moins nombreuses. Il reste néanmoins beaucoup de lignes sur lesquelles ces niveaux sonores subsisteront.

Cependant, la mise en service de wagons silencieux équipés de semelles composites diminue le nombre et la longueur des portions de voies sur lesquelles il faut appliquer des mesures locales (coûteuses).

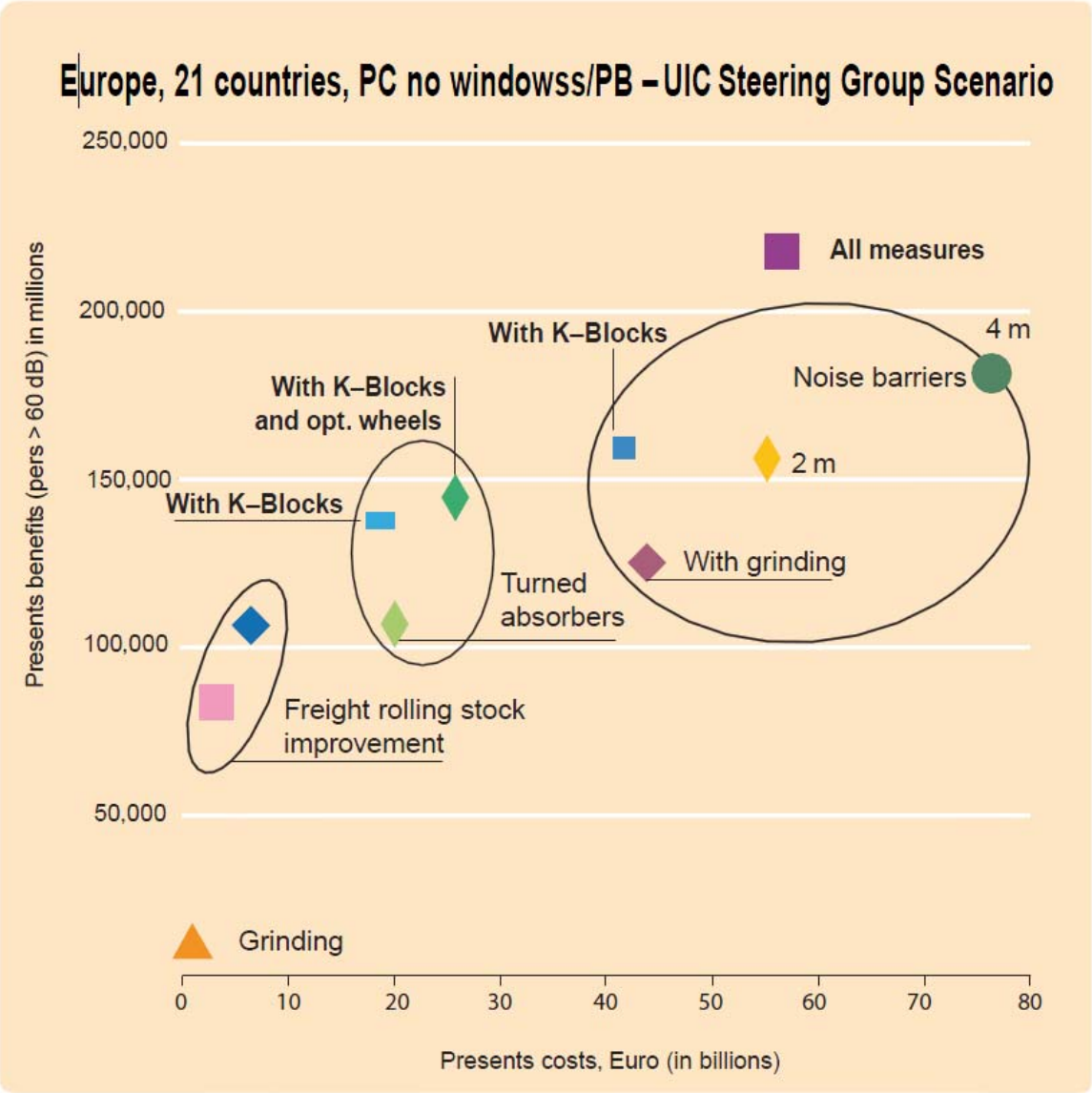
Figure 21: Modification des niveaux sonores sur les voies de chemin de fer allemandes à la suite de l'introduction des semelles en fonte composite sur les wagons de fret



Source: DB 2010, page 3.

Dans son rapport intitulé «Bruit ferroviaire en Europe - le rapport 2010 sur l'état d'avancement de la problématique», l'UIC a publié un diagramme présentant les coûts et avantages de différentes mesures et associations de mesures [UIC 2010]. La figure 22 présente les principaux résultats du projet STAIRRS (financé par le 5^{e} programme-cadre de l'UE). Le graphique montre que la mesure offrant le meilleur rapport coût/avantage pour réduire le bruit ferroviaire est la modernisation des wagons de fret avec des semelles composites. Cela coûterait environ 5 à 10 milliards d'euros et 100 millions de personnes profiteraient d'une réduction du bruit. L'association de semelles composites et d'absorbeurs dynamiques montés sur les rails représenterait un coût de 20 à 40 milliards et profiterait à 100-150 millions de personnes. Par comparaison, les barrières antibruit (sans aucun changement technologique au niveau du véhicule) reviendraient à 80 milliards d'euros et bénéficierait à environ 180 millions de personnes. Par conséquent, le montage de freins composites représente une économie considérable par rapport à la réduction du bruit relevant uniquement de l'installation de barrières antibruit.

Figure 22: Analyse coûts-avantages des mesures de réduction du prix dans le cadre du projet STAIRRS

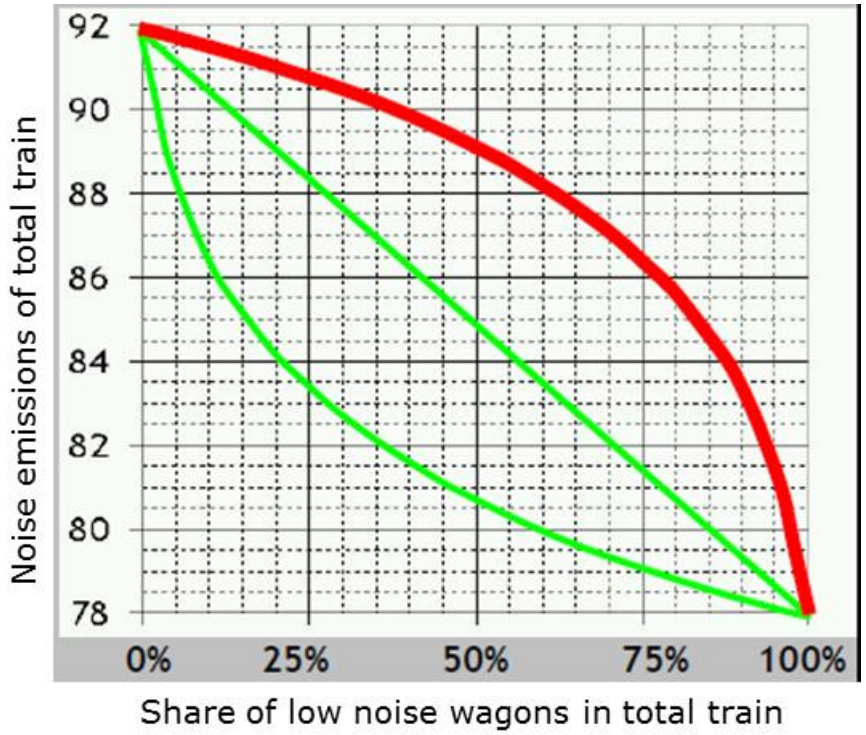


Source: UIC 2010, page 15.

À propos du montage de semelles composites sur les wagons de fret: L'impact sur la réduction du bruit pour un train complet dépend, selon une échelle logarithmique, du nombre de wagons équipés de semelles composites. Cet impact est illustré par [Bukovnik 2010].

Il est représenté par la ligne rouge de la figure 23. Cette ligne montre l'impact sur l'émission sonore totale (axe des y) d'un train dont une partie des wagons est équipée de freins silencieux (axe des x). L'hypothèse pour la Figure 23 consiste à estimer que les wagons équipés de freins composites produisent des émissions sonores à hauteur de 78 dB(A) contre 92 dB(A) pour les autres. La figure montre que la réduction du bruit pour un train complet suit la proportion de wagons ayant un niveau sonore réduit et reste démesurément basse jusqu'à ce que 75 % des wagons soient équipés de freins composites. Ensuite le niveau sonore total décroit plus vite.

Figure 23: Impact sur le niveau sonore total en fonction du nombre de wagons équipés de semelles K ou LL



Source: Bukovnik 2010.

Si 50 % des wagons étaient équipés de semelles composites, le niveau sonore total atteindrait seulement 89 dB(A) soit 21 % de la réduction globale potentielle. Il serait possible d'atteindre un niveau global de 80 dB(A), soit 86 % de la réduction potentielle, si 98 % des wagons étaient équipés. Cela signifie qu'il faudra attendre très longtemps avant d'atteindre une réduction significative du bruit si les wagons sont modifiés sont introduits lorsque d'anciens wagons sont normalement remplacés par de nouveaux wagons, une fois leur durée de vie écoulée (environ 40 ans).

Si nous voulons obtenir des résultats significatifs, nous devons équiper une grande partie des wagons avec des semelles K ou LL dès que possible. Les semelles LL peuvent être montées à l'expiration de la durée de vie opérationnelle normale des semelles (dans certains cas moins d'un an puisque la durée de vie des semelles en fonte est d'environ 60 000 km et que les wagons effectuent en transport combiné environ 100 000 km par an). Les semelles K peuvent être introduites sur une période de 6 à 8 ans ce qui donne la possibilité aux propriétaires de wagons de modifier le système de freinage au cours de l'entretien général.

Conclusion

Concernant les coûts et les conséquences associées, ainsi que les connaissances actuelles sur les mesures du bruit, les auteurs concluent que:

- Le bruit devrait idéalement être réduit à la source parce que ces mesures ont une incidence sur l'ensemble du réseau.
- Une méthode relativement peu coûteuse de réduction du bruit sur les lignes de fret consiste à moderniser le plus vite possible les systèmes de freinage des wagons en utilisant des semelles de frein composites:
    - les trains de fret sont actuellement identifiés comme étant les plus bruyants;
    - la plupart des trains de fret circulent la nuit, période la plus sensible;
    - la plupart des trains de voyageurs sont déjà équipés de freins à disques étant donné leur vitesse élevée et l'amélioration du confort pour les voyageurs, donc ces trains sont plus silencieux que les trains de fret;
    - les amortisseurs de roue coûtent très cher et demandent des opérations de montage supplémentaires mais peuvent réduire significativement les émissions sonores.
- Dans le cas des trains à grande vitesse, il faudrait envisager une amélioration de la conception des pantographes, plus particulièrement pour les itinéraires passant par des zones sensibles au bruit où les murs et les barrières de protection protègent contre le bruit de roulement mais ne protègent peut-être pas contre le bruit du pantographe;
- Lorsque l'infrastructure des voies provoque une hausse des niveaux sonores (par exemple en raison du bruit rayonné par la structure des viaducs ou du crissement dans les courbes de faible rayon) ou lorsque l'environnement local est particulièrement sensible au bruit (comme dans les zones urbaines composées de résidences très proches de la ligne ferroviaire, notamment dans les agglomérations ou dans les zones de beauté naturelle), il peut être nécessaire d'appliquer des mesures supplémentaires d'atténuation du bruit le long des voies:
    - les absorbeurs dynamiques montés sur les rails peuvent être efficaces contre les crissements en courbe et les bruit de roulement et faire gagner généralement de 3 à 7 dB(A), ces absorbeurs représentent une solution peu onéreuse évitant la mise en place de barrières antibruit visuellement gênantes;
    - les murs et barrières peuvent empêcher la propagation du bruit, mais peuvent créer des problèmes d'accès aux voies et entraîner des coûts d'entretien régulier élevés;
    - il est possible d'éviter les crissements en courbe et l'ondulation du rail inférieur en utilisant des modificateurs de frottement au niveau supérieur du rail.
- À long terme, des roues de conception nouvelles pourront être introduites, mais celles-ci nécessitent davantage de recherches et d'essais avant d'être mises en service, particulièrement sur des trains à grande vitesse.
- Dans les zones densément peuplées où des trains passent fréquemment, il faudra encore construire des murs antibruit ou prévoir des fenêtres isolantes. Ces zones pourraient être moins nombreuses si des mesures de réduction à la source sont appliquées ou des voies modifiées.

3.5. Nombre de wagons de fret à moderniser

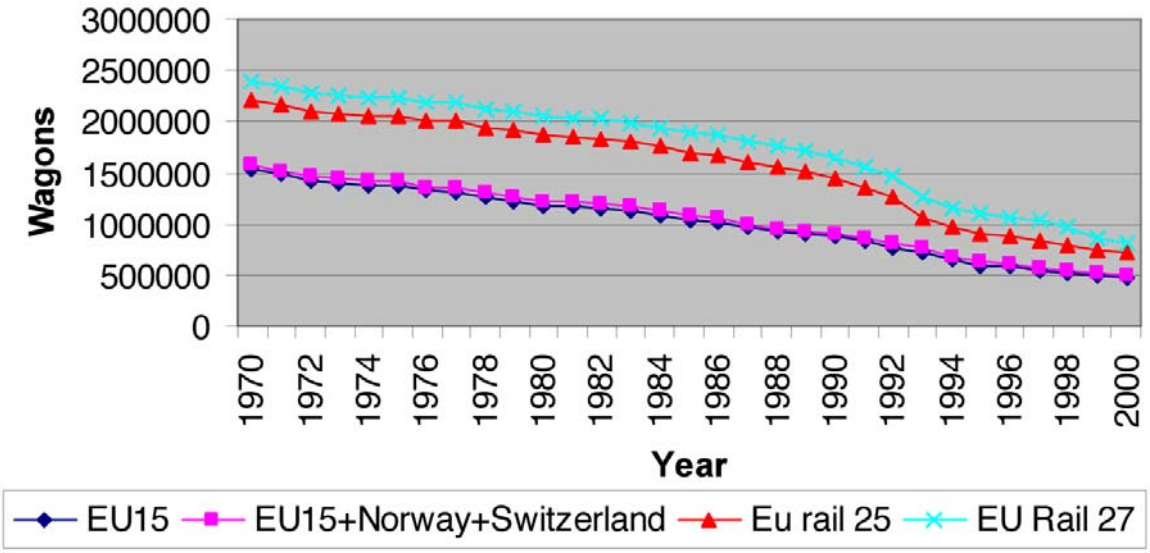
Afin d'évaluer le coût de la modernisation des voitures de fret avec des semelles de frein en matériau composite, il faut analyser la structure de la flotte en fonction de l'ancienneté des voitures. Deux questions se posent, celle du nombre de wagons qui valent la peine d'être modernisés, et celle du nombre de wagons qui seront remplacés par de nouveaux modèles dans un proche avenir parce que leur modernisation n'en vaut pas la peine.

Malheureusement la seule étude disponible sur la flotte des wagons de fret date de l'année 2004 [AEA et al. 2004]. Les chiffres figurant dans ce rapport seront mis à jour à l'aide d'informations issues de rapports récents ou de communications des compagnies ferroviaires, des propriétaires et des fabricants de trains européens.

Il est indiqué à la page 38 de l'étude d'AEA, que Trenitalia a mené une enquête détaillée sur la flotte européenne en 2000. Si un programme de modernisation avait été lancé en 2005, il aurait couvert 650 000 wagons sur 1,2 million.

De façon générale, l'étude d'AEA souligne qu'il est très difficile de déterminer la taille de la flotte parce qu'il manque des données pour certains pays. En outre, les auteurs n'ont pas obtenu de données de toutes les compagnies de chemin de fer ou de tous les pays, dans la mesure où le nombre et l'âge des wagons de marchandises sont souvent considérés comme confidentiels pour des raisons de concurrence. L'estimation du nombre total de wagons de fret en Europe est indiquée dans la figure 24. La structure de la totalité de la flotte en fonction de son ancienneté en l'an 2000 est présentée dans le tableau 20.

Figure 24: Estimation du nombre de wagons de fret



Source: AEA et al. 2004, page 39.

Tableau 20: Structure de la flotte des wagons de fret en fonction de leur ancienneté, en l'an 2000

Année de construction	Proportion
Avant 1970	10 %
Entre 1970 et 1980	46 %
Entre 1980 et 1990	22 %
Après 1990	10 %

Source: AEA et al. 2004, page 42.

Les auteurs ont effectué des analyses complémentaires à partir d'autres sources afin de mettre à jour les chiffres figurant dans l'étude de l'AEA.

Des documents récents établis par l'Union allemande des sociétés de transport (VDV), l'UIC et d'autres organismes indiquent que l'Europe compte encore 600 000 voitures ferroviaires susceptibles de faire partie d'un programme de réduction du bruit. L'UIC précise que le nombre total d'anciens wagons à moderniser s'établit à 600 000 [UIC 2009]. En outre, la VDV, ainsi que la VPI, les groupes DB Schenker et DB Netz signalent l'existence de 600 000 voitures dont la modernisation doit être vérifiée [VDV et al. 2010].

Concernant les opérations de modernisation les unions de chemins de fer, l'UIC, la CER, l'UIRR, l'ERFA, l'EIM et l'UIP ont répondu ensemble à un document de consultation rédigé par les services de la Commission [UIC et al. 2007]. Leurs déclarations à propos de l'intérêt de la modernisation se fondent sur le nombre d'années pendant lesquelles un wagon réaménagé sera utilisé. Cette période est d'environ 4 à 6 ans (un cycle de révision) et si, l'on est réaliste, de 10 ans. La longévité normale d'un wagon de fret est d'environ 40 ans. Les voitures les plus anciennes à moderniser ont peut-être une trentaine d'années. D'après les chiffres figurant dans le tableau 20, seuls 264 000 wagons de la flotte de l'année 2000 peuvent être modernisés (seulement les catégories à partir de 1980). Le nombre total de wagons circulant actuellement en Europe est de 600 000 ou 650 000. La différence entre le nombre de wagons ayant au plus 30 ans et le nombre plus élevé de wagons en fonctionnement s'établit à 386 000 wagons. Ils ont soit été construits depuis l'année 2000 soit avant 1980. Si l'on estime que la durée de vie normale d'un wagon de fret est de 40 ans, presque 80 % des wagons produits entre 1970 et 1980 sont encore utilisés. Ils sont au nombre d'environ 300 000. Depuis l'an 2000, 86 000 wagons environ dont dû être fabriqués. Si on les ajoute à la flotte susceptible d'être modernisée datant de 1980 à 2000, le total est de 350 000 wagons.

À la suite d'un entretien à ce sujet avec M. Kerth de la VDV, les auteurs sont parvenus à une estimation de 350 000 à 370 000 wagons à moderniser. KCW précise également que le nombre total de wagons de fret à moderniser s'établit à 370 000 [KCW 2009].

Résumé

- Bien que nous ne connaissions pas le nombre exact, on peut estimer raisonnablement que le nombre de wagons de fret susceptibles d'être modernisés avec des freins à semelle composite s'établit aujourd'hui à environ 370 000.

4. ÉTUDES DE CAS

PRINCIPALES CONCLUSIONS

- Le présent chapitre décrit des situations générales relatives au bruit dans des régions et des tronçons ferroviaires, ainsi que les incidences des mesures mises en œuvre ou proposées en vue de diminuer / éviter le bruit.
- Sur l'**axe rhénan**, la situation concernant la ligne actuellement en cours/en projet de réaménagement **entre Karlsruhe et Bâle** et la ligne existante dans la vallée étroite du Rhin entre **Bingen et Coblence** est décrite. Une **simulation** de l'introduction de barrières antibruit, d'une part, et de semelles de frein en matériau composite, d'autre part, est réalisée.
- En ce qui concerne les **régions alpines**, les conclusions générales d'un projet de recherche sur le bruit sont présentées.
- En ce qui concerne la **vallée de l'Inn en Autriche**, la situation actuelle, le développement du transport ferroviaire et les activités intensives menées par l'Autriche relativement à l'**installation de murs antibruit** sont décrits.
- En ce qui concerne le **corridor du Fréjus entre la France et l'Italie**, la situation relative au bruit est exposée.
- En ce qui concerne les **activités au Royaume-Uni** et les situations relatives au bruit pour les projets neufs, la ligne **Thameslink** et les **deux lignes à grande vitesse** sont présentés.

Le présent chapitre comprend deux grands points. Le point 4.1 en page 80 décrit les régions ou les pays choisis et couvre des aspects locaux généraux des émissions sonores et de la propagation du bruit dans les régions montagneuses. Le point 4.2 livre une analyse plus détaillée des lignes ferroviaires choisies. Les effets de l'échantillon de mesures qui sont décrites au point 3.3 sont calculés.

4.1. Descriptions générales du bruit ferroviaire ambiant dans les zones ou les pays choisis

4.1.1. L'axe du Rhin

L'axe rhénan commence aux ports «ARA» (Amsterdam-Rotterdam-Anvers) et se termine à Bâle avec une continuation via le Gothard et le Lötschberg vers le nord de l'Italie. Il représente l'un des corridors de fret les plus importants.

Actuellement, c'est le tronçon entre Bingen et Coblence et la nouvelle «Rheintalbahn» entre Karlsruhe et Bâle qui fait l'objet du débat le plus animé sur le bruit ferroviaire. Le tronçon entre Bingen et Coblence est le tronçon le plus étroit de l'axe rhénan où des lignes ferroviaires sont situées de part et d'autre du Rhin. La voie ferrée suit le fleuve, empruntant de nombreux virages serrés. Le tronçon entre Bingen et Coblence sera décrit au point 0 en page 90. Le présent point se concentre sur la Rheintalbahn (ligne ferroviaire de la vallée du Rhin).

En 1993, les premiers tronçons de deux voies supplémentaires entre Karlsruhe et Bâle ont été mis en service sur la «Rheintalbahn». De plus en plus de tronçons ont été ouverts les années suivantes. La plupart sont situés à côté de la ligne ferroviaire existante mais certains nouveaux tronçons ont également été construits à côté de l'autoroute A5 (par exemple: la route de contournement de Fribourg pour les trains de fret) ou utilisent des corridors entièrement nouveaux (comme le tunnel de Rastatt ou le tunnel du Katzenberg). Les tronçons entre Rastatt et Offenburg sont opérationnels. Les tronçons entre Karlsruhe et Rastatt et entre Offenburg et Bâle sont encore à l'étude ou partiellement en construction. Le projet se heurte à de nombreuses objections notamment pour des raisons de pollution sonore.

BVU et Intraplan Consult ont publié des prévisions relatives au nombre de trains circulant entre Offenburg et Bâle. L'étude arrive en premier lieu à la conclusion que quelque 1 300 000 personnes vivent dans la zone touchée de la ligne ferroviaire[26] [(BVU INTRAPLAN 2008), page 11].

Le tableau suivant indique le résultat du nombre prévu de trains pour les tronçons de l'échantillon (zones rurales et urbaines).

Tableau 21: Prévision du nombre de trains sur la Rheintalbahn

TRONÇON (ÉCHANTILLONS)	TYPE DE TRAIN	2007	2015	2025
Denzlingen – Fribourg (agglomération)	Trains grandes lignes	66	76	78
	Trains régionaux	124	152	190
	Trains de fret	160	286	304
	Proportion de trains de fret	47 %	56 %	53 %
Müllheim – Auggen (zone rurale)	Trains grandes lignes	66	76	78
	Trains régionaux	50	76	76
	Trains de fret	160	280	304
	Proportion de trains de fret	58 %	65 %	66 %

Source: BVU INTRAPLAN 2008, page 38.

Les prévisions pour les trains régionaux ainsi que pour les trains de grandes lignes découlent d'un projet existant d'extensions des services de transport public.

Les chiffres révèlent que dans le corridor, le nombre de trains de fret augmentera d'environ 100 % sur tous les tronçons. L'agglomération de Fribourg connaîtra également une hausse du nombre de trains régionaux. La proportion entre les trains de fret et les trains de voyageurs diffère entre les agglomérations et les zones rurales. Dans les agglomérations, les trains de fret représentent quelque 50 % du trafic ferroviaire alors que dans les zones rurales, cette proportion passera à 66 %. L'influence sur le bruit total est donc différente.
Le tableau suivant rend compte de la proportion de trains pendant la journée et pendant la nuit pour 2015.

[26] Les villes de Fribourg, l'arrondissement de l'Ortenau, le district de Brisgau - Haute Forêt-Noire, Emmendingen et Lörrach.

Tableau 22: Proportion entre le nombre de trains circulant en journée et le nombre de trains circulant pendant la nuit sur la «Rheintalbahn»

TRONÇON (ÉCHANTILLONS)	TYPE DE TRAIN	JOURNÉE (DE 6 À 22 HEURES)	NUIT (DE 22 À 6 HEURES)
Denzlingen – Fribourg (agglomération)	Trains grandes lignes	60	16
	Trains régionaux	132	20
	Trains de fret	129	155
	Proportion de trains de fret	40 %	81 %
Müllheim – Auggen (zone rurale)	Trains grandes lignes	60	16
	Trains régionaux	64	12
	Trains de fret	125	155
	Proportion de trains de fret	50 %	85 %

Source: BVU INTRAPLAN 2008, page 39.

Pendant la nuit, la proportion de trains de fret augmente de 40 / 50 % à 81 / 85 %. Près de 55 % des trains de fret sont exploités pendant la nuit. Vu que la nuit est une période où la sensibilité au bruit est plus élevée, cet élément a toute son importance.

Les chiffres montrent qu'en vue de réduire ou d'éviter tout bruit ferroviaire supplémentaire, il est important de se concentrer sur les mesures visant à réduire les bruits à la source - pour les wagons de fret, dans un premier temps.

La situation actuelle est représentée par les plans d'action contre le bruit des villes de Fribourg et d'Offenburg. Dans son plan d'action contre le bruit, la ville de Fribourg a indiqué le nombre d'habitants exposés au bruit ferroviaire.

Tableau 23: Habitants exposés au bruit ferroviaire à Fribourg

L_{DEN}		L_{NIGHT}	
Niveau sonore [dB(A)]	Habitants exposés	Niveau sonore [dB(A)]	Habitants exposés
		> 45 – 50	32 820
> 55 – 60	22 820	> 50 – 55	19 020
> 60 – 65	8 950	> 55 – 60	7 530
> 65 – 70	4 380	> 60 – 65	3 820
> 70 – 75	2 680	> 65 – 70	2 410
> 75	2 340	> 70	1 880
Total	41 170	Total	67 480

Source: Fribourg 2009, page 5.

Conformément au plan d'action contre le bruit, la Deutsche Bahn installe actuellement 9 à 10 km de murs antibruit et de fenêtres isolantes dans environ 1 500 appartements. L'objectif poursuivi par la Deutsche Bahn est d'atteindre les niveaux d'émissions de 70/72/75 dB(A) pendant la journée et de 60/62/65 dB(A) pendant la nuit (zones résidentielles / zones mixtes / zones industrielles).

Dans le plan d'action contre le bruit de la ville d'Offenburg [Offenburg 2009], le nombre d'habitants exposés au bruit ferroviaire est le suivant.

Tableau 24: Habitants exposés au bruit ferroviaire à Offenburg

L_{DEN}		L_{NIGHT}	
Niveau sonore [dB(A)]	**Habitants exposés**	**Niveau sonore [dB(A)]**	**Habitants exposés**
> 55 – 60	7 150	> 50 – 55	5 890
> 60 – 65	2 910	> 55 – 60	2 310
> 65 – 70	920	> 60 – 65	770
> 70 – 75	450	> 65 – 70	410
> 75	450	> 70	410
Total	11 880	Total	9 790
Total supérieur à 70	900	Total supérieur à 60	1 590

Source: Offenburg 2009, page 6.

Les actions contre le bruit ferroviaire dans l'environnement envisagent généralement la construction d'un tunnel destiné aux trains de fret pour le prochain tronçon de la nouvelle Rheintalbahn et des plans d'action contre le bruit dans des zones spécifiques.

Pour les zones et les tronçons nouvellement construits des troisième et quatrième voies, des murs antibruit sont généralement prévus. Des discussions avec les voisins ont souvent lieu à cause de divergences d'opinions au sujet du calcul des émissions sonores associées et le nombre, la longueur et la hauteur des murs antibruit en résultant. Plus particulièrement, la différence entre le système de calcul pour la cartographie du bruit conformément à la directive 2002/49/CE [VBUSch 2006] et pour les nouvelles infrastructures [Schall 2003] (pour les détails, voir point 2.5., page 48) est en cours de discussion. Le bonus lié à la réduction du bruit ferroviaire, qui est toujours d'application pour l'infrastructure allemande, a été à l'origine de bien des combats.

À Offenburg, l'urbanisme prévoit de construire les nouvelles voies le long d'un nouveau corridor passant par la ville. Les émissions sonores toucheront un grand nombre de personnes. Des alternatives, telle la solution du tunnel, sont présentées par des initiatives citoyennes. Étant donné son coût très élevé, cette solution est rejetée par le propriétaire de l'ouvrage. Les plans actuels du propriétaire de l'ouvrage ont été refusés par l'urbanisme et l'organisme adjudicateur (Regierungspräsident Freiburg) car ils n'étaient pas terminés et ne satisfaisaient pas aux contrôles légaux.

À Rastatt, un tunnel était déjà prévu mais il a été reporté pour une durée indéterminée au début de l'année 2010. Des groupes d'action locaux s'opposent fermement à ce tunnel car une pollution sonore à Rastatt est attendue. Le ministère fédéral du transport, de la

construction et du développement urbain soutient que Rastatt n'est pas un goulet d'étranglement et que les activités de construction doivent se concentrer sur le tronçon entre Offenburg et Bâle.

En fait, pour les lignes ferroviaires à haute fréquence et surtout pour la construction de nouvelles voies ferrées, les citoyens sont de plus en plus conscients de la problématique du bruit. Il convient de s'en rappeler pendant toute la programmation.

4.1.2. Les régions alpines

4.1.2.1. Généralités

Ce point expose les aspects généraux de la pollution ferroviaire dans les régions alpines et montagneuses et présente des détails sur deux corridors ferroviaires dans les Alpes.

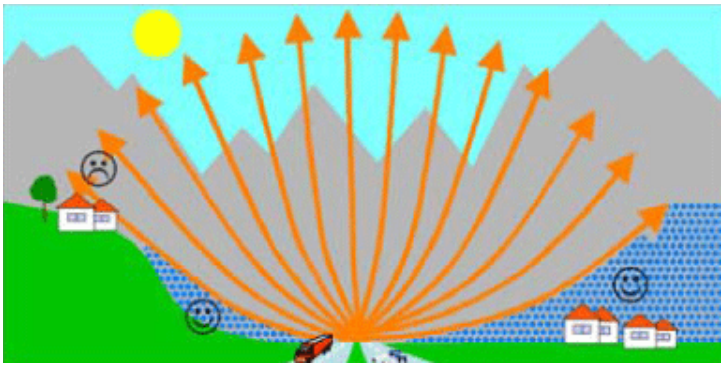
Le projet ALPNAP révèle des aspects importants et intéressants relativement aux incidences sonores dans les régions alpines.

ALPNAP est un projet européen de recherche [ALPNAP 2007-2] financé par l'initiative INTERREG IIIB du fonds FEDER. Il visait principalement à développer des méthodes de calcul à la fois exactes et pratiques pour prévoir la pollution atmosphérique et sonore. Considérant l'écart existant entre des calculs scientifiques complexes et une approche pratique (formules simples et méthodes d'hypothèse), le projet cherchait à développer des méthodes acceptables et suffisamment précises.

Les partenaires du projet ont procédé à de nombreuses mesures de la pollution et des émissions sonores dans l'environnement dans des zones données comme le corridor du Brenner avec la vallée de l'Inn et la vallée de l'Adige et le corridor du Fréjus avec la vallée de la Maurienne et le Val de Suse.

En ce qui concerne le bruit ambiant (en général), le projet a abouti à la conclusion importante que la propagation du bruit dépend des conditions météorologiques et de l'heure de la journée. Des exemples sont illustrés dans les figures suivantes.

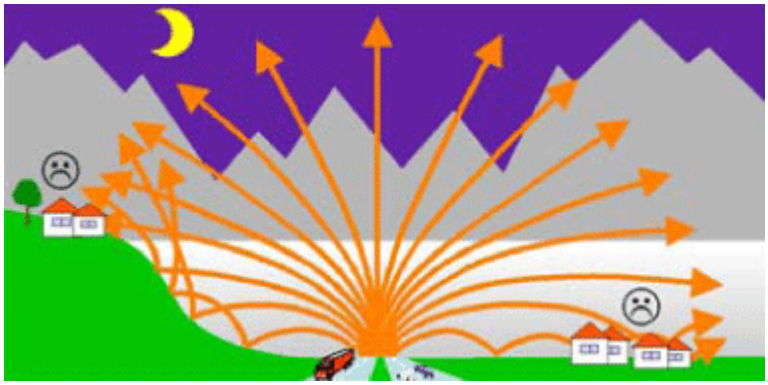
Figure 25: Direction de la propagation du bruit (rayons sonores) pendant la journée



Source: ALPNAP 2007-1, page 10.

Durant la journée, la température diminue avec l'altitude et les ondes sonores sont réfractées vers le haut. Dans les zones en pointillés bleus («zones d'ombre acoustique») dans le bas de la vallée, le bruit est diminué de manière significative car les rayons sonores réfractés vers le haut ne peuvent atteindre ces zones.

Figure 26: Direction de la propagation du bruit (rayons sonores) pendant la nuit



Source: ALPNAP 2007-1, page 10.

Durant la nuit, la température augmente avec l'altitude dans une couche d'inversion (zone grisée) et les ondes sonores sont réfractées vers le bas. Il n'existe alors pas de zones d'ombre acoustique, au contraire, les rayons sont réfléchis sur le sol.

La vitesse et la direction du vent influent sur le bruit ambiant. De même, dans les vallées, les réflexions peuvent propager du bruit ambiant jusqu'en haute altitude. La plupart des basses fréquences sont propagées très largement vu que les hautes fréquences sont bien absorbées par l'air.

Le problème le plus grave pour le transport et les émissions qu'il génère dans les zones montagneuses est la concentration de l'infrastructure de transport (tant par rail que par route) et de zones résidentielles ou industrielles dans des vallées (en partie étroites). Toutes les sources de bruit sont situées à proximité immédiate les unes des autres.

Le bruit dans les régions montagneuses est d'autant plus ennuyeux ou préjudiciable à l'économie que la zone est utilisée pour le tourisme qui constitue un facteur d'emploi important.

Les chiffres plus haut illustrent également un fait important pour les mesures de protection. Comme le bruit émanant des vallées peut se propager à des altitudes très élevées où des habitants sont également susceptibles d'être exposés au bruit, les murs antibruit ont une influence plus faible sur la réduction du bruit.

4.1.2.2. Les régions alpines - La vallée de l'Inn

La vallée de l'Inn entre Kufstein et Innsbruck est la ligne d'accès principale à la ligne ferroviaire du Brenner où un tunnel est prévu depuis longtemps. La vallée de l'Inn a fait l'objet d'un examen dans le projet ALPNAP et deviendra plus importante pour les trains de fret quand le tunnel du Brenner sera ouvert. Une estimation du trafic ferroviaire futur a été réalisée.

En 2005, 40 trains de voyageurs régionaux, 16 trains de voyageurs de grande ligne, [(Kummer et al. 2006), page 24] et une centaine de trains de fret et de ferroutage ont circulé sur la ligne du Brenner. Compte tenu de la hausse des trains de fret – environ 4,3 % par an entre 1999 et 2005 – une hausse totale de quelque 52 % est attendue pour 2015. ÖBB (chemins de fer fédéraux autrichiens) prévoit 186 trains de fret en 2016 [(Kummer et al. 2006), page 25]. Les trains de voyageurs resteront à environ 46 trains régionaux et 26 trains de grande ligne. Cela montre que les trains de fret représentent 64 à 68 % du

trafic. Ils sont ainsi majoritaires sur la ligne du Brenner, ce qui a une incidence sur la vallée de l'Inn.

L'Autriche peut être considérée comme un cas de bonne pratique en ce qui concerne la réduction du bruit ferroviaire. Il y a plus de 12 ans, elle a dressé des inventaires des émissions sonores et élaboré, sur cette base, des plans pour la mise en œuvre et le financement de mesures de réduction du bruit le long des lignes ferroviaires. Ces dernières années, elle a investi annuellement quelque 30 millions d'euros. Ce montant devrait rester inchangé dans les années à venir. Les coûts sont supportés pour moitié par les chemins de fer autrichiens ÖBB et l'autre moitié par les États fédéraux et la communauté [ÖBB - BMVIT 2008].

Ce programme a permis à l'Autriche de mettre en œuvre un nombre considérablement plus élevé de mesures de protection que le nombre prévu dans la première phase de la directive européenne relative au bruit 2002/49/CE. En 2008, le programme avait atteint les résultats suivants:

Tableau 25: Résultats du programme autrichien de réduction du bruit ferroviaire

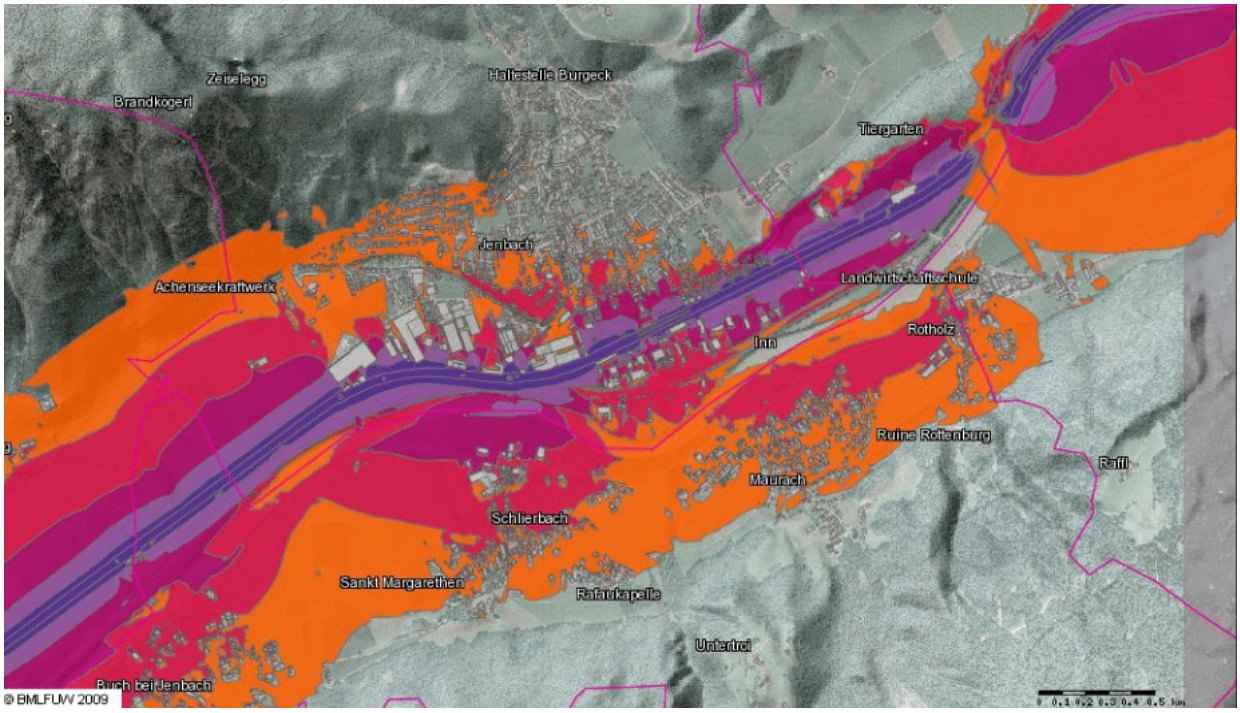
ACTION	CHIFFRES
Urbanisme/Planification dans les communautés	236
Mise en œuvre dans les communautés	185
Habitants couverts par le plan	250 280
Habitants bénéficiant de la mise en œuvre	183 603
Barrières antibruit [m^2]	1 263 706
Longueur des barrières antibruit [m]	413 016

Source: ÖBB – BMVIT 2008.

En 2008, 72 % des citoyens couverts par les plans ont bénéficié de mesures de protection contre le bruit. Depuis, la taille des barrières antibruit a augmenté à quelque 1,7 million de mètres carrés [m^2]; en 2011, deux tiers des travaux de construction programmés ont été achevés et la plupart des habitants fortement exposés sont protégés du bruit. La poursuite du programme permettra de protéger du bruit ferroviaire entre 10 et 15 000 citoyens supplémentaires par an.

Les effets des barrières antibruit dans la vallée montagneuse de l'Inn sont visibles sur la carte ci-dessous, où les habitants du petit village de Jenbach sont protégés des niveaux élevés de bruit qui se manifestent dans la périphérie non protégée du village. Cependant, la carte indique également les effets de la réflexion du bruit provenant des montagnes adjacentes.

Figure 27: Effets des barrières antibruit à Jenbach, vallée de l'Inn, Autriche



Source: cartographie du bruit autrichien, http://gis.lebensministerium.at/geoinfo).

4.1.2.3. Régions alpines – La ligne du Fréjus

La ligne du Fréjus est le corridor de fret ferroviaire entre la France et l'Italie. De plus, elle fait partie du corridor de fret ferroviaire à grande vitesse prévu entre Lyon et Turin.

Le corridor du Fréjus, notamment le Val de Suse (entre la ville de Suse et Modane) et la vallée de la Maurienne (entre Modane et Aiguebelle), a également été examiné dans le projet ALPNAP. Pour la ligne du Fréjus, le nombre de trains journaliers du côté italien (Val de Suse) de la ligne totale est publié dans [ALPNAP 2007-2] en page 241. Le tableau est représenté ci-dessous.

Tableau 26: Exemple de données sur le trafic ferroviaire dans le Val de Suse; Nombre de trains pour un jour ouvrable moyen

TRONÇON	TYPE DE TRAIN	JOURNÉE	SOIRÉE	NUIT	VITESSE [KM/H]
Borgone Suse – Bussolin	Régional	35	14	3	120
	International	3	3	0	130
	Fret	21	11	13	85
	Marchandises	49	23	29	95
Bussolin – Suse	Régional	18	7	3	120
	International	0	0	0	130
	Fret	0	0	0	85
	Marchandises	0	0	0	95

TRONÇON	TYPE DE TRAIN	JOURNÉE	SOIRÉE	NUIT	VITESSE [KM/H]
Bussolin – Salbertrand	Régional	9	4	0	110
	International	2	2	0	110
	Fret	11	5	6	75
	Marchandises	24	12	14	85
Salbertrand – Bardonèche	Régional	17	7	0	110
	International	3	3	0	110
	Fret	21	11	13	75
	Marchandises	49	23	29	85
Bardonèche – Modane	Régional	1	0	0	75
	International	3	2	0	75
	Fret	21	11	13	70
	Marchandises	49	23	29	70

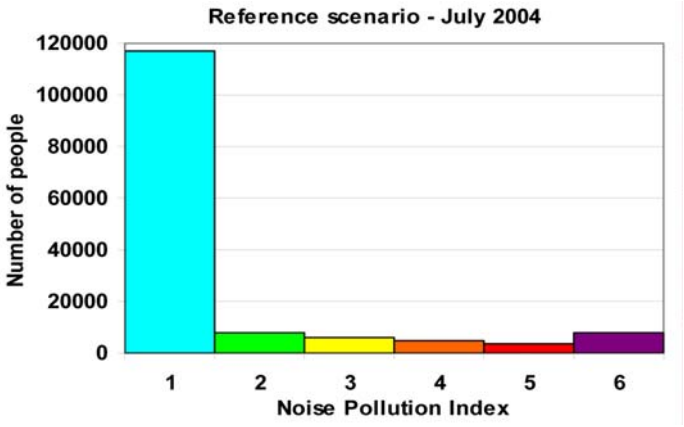
Source: ALPNAP 2007-2, page 241.

Les trains de fret et de marchandises sont majoritaires sur la ligne principale, en particulier la nuit (comme dans la vallée de l'Inn) et dans les tronçons entre Bussolin et Modane. La proportion de trains de fret est plus élevée que sur la ligne du Brenner / dans la vallée de l'Inn.

L'étude a déjà démontré que le bruit de roulement est la source de bruit ambiant la plus importante des trains roulant à des vitesses comprises entre 30 et 200 km/h et que les trains de fret sont les trains les plus bruyants. À la lumière de cet élément, le point de départ le plus important pour réduire le bruit, en particulier dans les zones montagneuses, est d'éviter le bruit de roulement directement à la source (zone de contact du rail et de la roue).

Pour le corridor du Fréjus, le projet ALPNAP a mis au point un indice de pollution sonore qui représente le nombre de personnes concernées par un indice de pollution sonore donné (voir Figure 28). La signification des indices est donnée à la Figure 29 et à la Figure 30.

Figure 28: Pollution sonore dans le corridor du Fréjus



Source: ALPNAP 2007-2, page 288.

L'indice de pollution sonore défini par le projet ALPNAP est indiqué dans les figures suivantes:

Figure 29: Indice de pollution sonore (IPS) résultant de l'exposition simultanée aux sources ferroviaire et routière

	$L_{den\text{-}railway}$ (dB)						
$L_{den\text{-}road}$ (dB)	45	50	55	60	65	70	75
45	1	1	1	2	3	4	5
50	1	1	2	2	3	4	5
55	2	2	2	2	3	4	5
60	3	3	3	3	3	4	5
65	4	4	4	4	4	4	5
70	5	5	5	5	5	5	5
75	6	6	6	6	6	6	6

Source: ALPNAP 2007-2, page 154.

Figure 30: Interprétation des valeurs de l'IPS

NPI value	Exposure to noise
1	Very low
2	Low
3	Moderate
4	Pronounced
5	High
6	Very high

Source: ALPNAP 2007-2, page 154.

L'IPS indique l'exposition au bruit en fonction du niveau sonore L_{DEN} causé par le trafic tant routier que ferroviaire.

Bien que le trafic ferroviaire soit important dans le corridor du Fréjus, sur 146 000 personnes, environ 30 000 [voir (Alpnap 2007-2) page 286] sont concernées par des niveaux d'IPS supérieurs à 1.

Un résultat intéressant de l'étude ALPNAP est qu'un transfert modal de la route au rail entraînera une hausse du nombre de personnes touchées par un IPS allant de 5 à 6. La raison en est que, par rapport aux lignes ferroviaires, les autoroutes dans le corridor du Fréjus sont déjà bien équipées de murs antibruit dans les zones d'habitation.

Les protestations sont nombreuses contre le projet d'une ligne ferroviaire à grande vitesse entre Turin et Lyon, en particulier par rapport aux vallées concernées. Cette ligne à grande vitesse consistera en quelque 200 km de nouvelles lignes ferroviaires incluant le nouveau tunnel de base du Mont-Cenis (56 km). Ce tunnel traversera tout le Val de Suse entre Modane et Suse. Du côté italien, le tunnel de Bussolin suivra directement le tunnel de base du Mont-Cenis (12 km), ainsi seule une petite partie de la ligne ferroviaire restera en

dehors de la région de Suse. Du côté français également, il est prévu que deux longs tunnels (le tunnel de Belledonne (20 km) et le tunnel de Chartreuse (20 km – uniquement pour les trains de fret) traversent de grandes parties de la vallée de la Maurienne [Transalpine]. Avec tous ces tunnels, seuls de courts tronçons de la nouvelle ligne resteront en plein air dans les vallées.

Les protestations contre ce projet concernent la pollution atmosphérique (due aux excavations d'amiante et d'uranium), les menaces générales qu'il représente pour la nature des vallées et les nuisances dues aux travaux de construction (de 15 à 20 ans). Pendant la phase de construction, des pertes économiques engendrées par la baisse du tourisme dans les zones touchées sont à prévoir. Le bruit est également cité dans certaines publications mais n'est pas un élément principal des protestations. Les nuisances pendant la phase de construction posent le plus grand problème.

4.1.3. Royaume-Uni

Le Royaume-Uni a recours à diverses technologies de réduction du bruit dont des barrières antibruit, des dispositifs de graissage des rails et des réducteurs de frottement, des amortisseurs adaptés aux rails et, généralement, dans les tunnels, des plaques de base souples et des voies sur dalle flottante. Environ 75 % des wagons de fret au Royaume-Uni sont équipés de freins à disque ou de freins à sabot en matériau composite au lieu de roues munies de freins à sabot en fonte plus bruyantes.

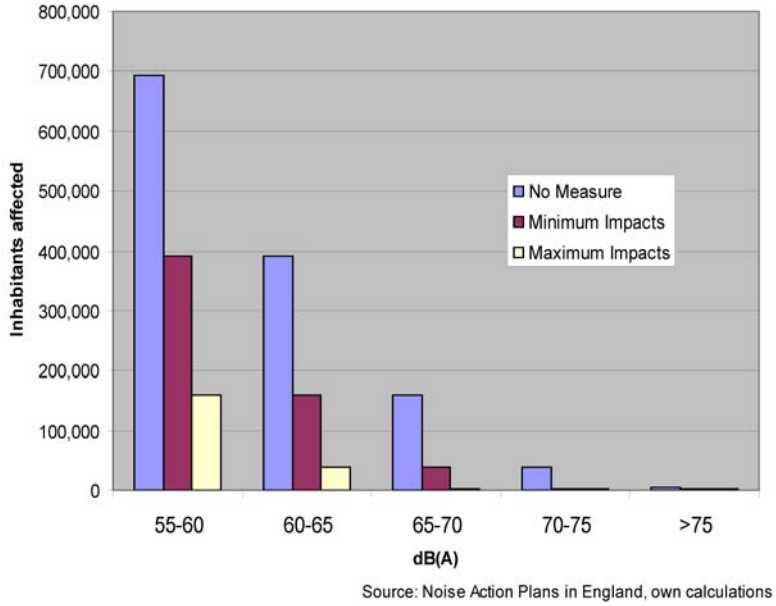
En Angleterre[27], 23 plans d'action contre le bruit ont été conçus pour gérer les problèmes et les effets du bruit dans les agglomérations. Selon ces plans, 1,3 million d'habitants des agglomérations sont touchés par le bruit ferroviaire, dont 68 % vivent dans le grand Londres. En dehors des agglomérations, seules 4 000 personnes sont englobées dans les plans d'action contre le bruit.

L'étude théorique dans cette partie évalue l'incidence potentielle de la construction de barrières antibruit d'une hauteur de 2 mètres le long de toutes les lignes ferroviaires dans les agglomérations anglaises. Il est supposé que les barrières antibruit réduisent les niveaux sonores de 5 à 10 dB(A). En raison de ces suppositions approximatives, seule l'ampleur de l'incidence peut être estimée. Le nombre d'habitants touchés diminuerait de 54 à 84 %. Cela signifie que dans les agglomérations anglaises seuls 200 000 à 600 000 habitants seraient concernés par le bruit ferroviaire, par comparaison avec 1,3 million sans mesures de protection contre le bruit. La Figure 31 montre l'étendue des incidences des barrières antibruit dans les agglomérations anglaises.

Le coût environnemental du bruit ferroviaire dans les agglomérations anglaises peut être estimé à 144 millions d'euros par an. Ces coûts pourraient être réduits de 86 à 126 millions d'euros par an grâce à l'introduction de barrières antibruit.

[27] Le Royaume-Uni sauf l'Écosse, le pays de Galles et l'Irlande du Nord.

Figure 31: Effets des barrières antibruit sur le nombre d'habitants des agglomérations en Angleterre



Source: Noise Action Plans in England, own calculations

Légende:

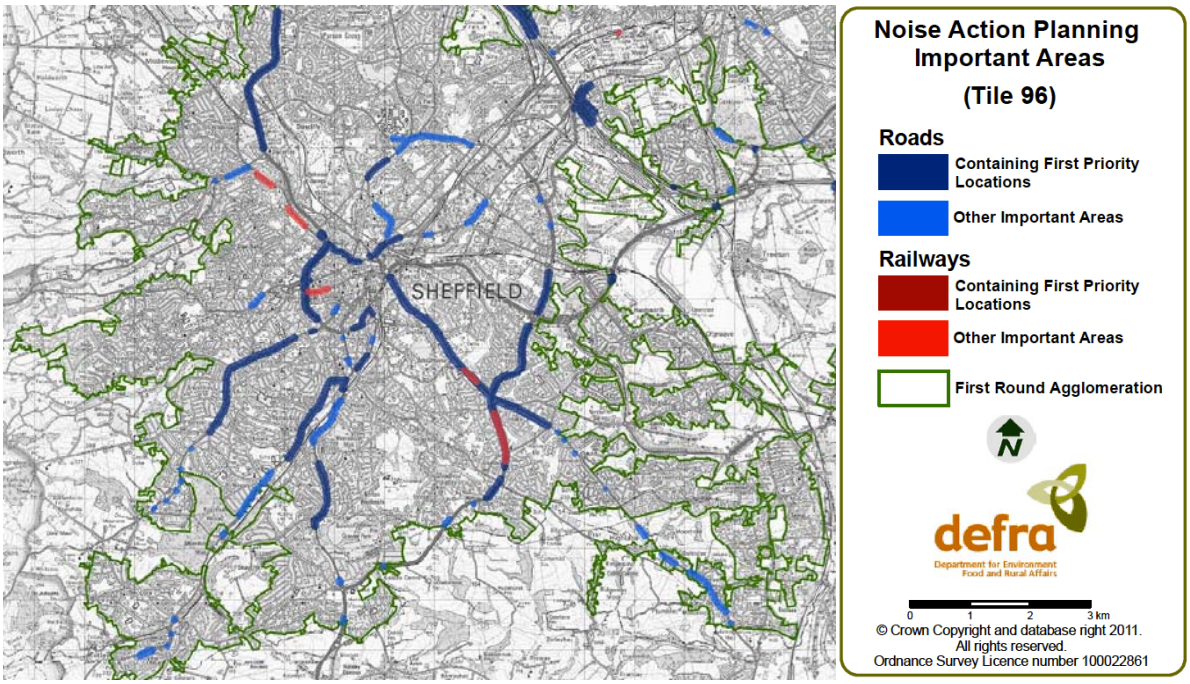
Inhabitants affected	Habitants concernés
No measure	Pas de mesure
Minimum impacts	Effets minimums
Maximum impacts	Effets maximums
Source: Noise Action Plans in England, own calculations	Source: calcul réalisé par les auteurs selon les plans d'action contre le bruit en Angleterre.

Pour la protection contre le bruit ferroviaire en Angleterre, il a été décidé que les zones importantes en termes de bruit provenant des principales voies ferrées seront les zones qui abritent 1 % de la population qui est touchée par les niveaux sonores les plus élevés des principales voies ferrées selon les résultats de la cartographie stratégique des émissions sonores («Zones importantes»; voir Figure 32). En outre, les sites où le $L_{Aeq,18h}$ s'élève au moins à 73 db(A) selon les résultats de la cartographie stratégique des émissions sonores ont été identifiés en tant que «Sites de première priorité». Le tableau chronologique suivant pour les chemins de fer a été dressé:

D'avril 2010 à octobre 2011	L'administration ferroviaire compétente étudie les zones importantes (en donnant priorité à celles qui couvrent des sites de première priorité)
À partir d'avril 2011	L'administration ferroviaire compétente met en œuvre des actions ou obtient le budget pour les actions
À partir d'avril 2012	L'administration ferroviaire compétente étudie les autres zones importantes et met en œuvre des actions ou obtient le budget pour les actions

Un exemple des zones importantes découlant des plans d'action anglais contre le bruit est donné à la figure 32.

Figure 32: Zones importantes, Plan d'action contre le bruit pour Sheffield, Angleterre



Source: DEFRA 2010.

4.2. Analyse détaillée des tronçons choisis

Cette partie décrit les incidences des mesures de réduction du bruit pour des tronçons choisis du réseau ferroviaire. Les évaluations pour les incidences des réductions de bruit se fondent sur les mesures définies du point 3.3 en page 60).

Étant donné l'impossibilité d'une étude détaillée en situations réelles, les auteurs ont procédé à une analyse générale des tronçons. Certaines généralisations ont été faites. Ainsi, on a supposé que des barrières antibruit étaient construites partout où des habitants étaient touchés, indépendamment de la faisabilité technique du projet ou du fait de savoir si des installations existent déjà. Par conséquent, il a fallu définir une fourchette d'incidences sonores des différentes mesures comme indiqué au Tableau 27. Ces chiffres ont ensuite été adaptés aux conditions locales, c'est-à-dire au matériel roulant utilisé, au nombre de trains et à la proportion des types de trains (trains grandes lignes, régionaux, de fret). Pour le remplacement des équipements ou des freins dotés de semelles en fonte des véhicules de fret par des équipements ou des freins dotés de semelles en matériau composite avec des amortisseurs de roues, il est supposé que tous les wagons concernés bénéficient de cette mesure.

Les calculs ont été réalisés selon l'état réel et le scénario potentiel (scénario potentiel = la mesure est introduite pleinement dans le tronçon).

Tableau 27: Fourchette de réduction sonore

MESURE	RÉDUCTION MIN.	RÉDUCTION MAX.
Semelles de frein en matériau composite sur les wagons de fret	8 dB(A)	10 dB(A)
Barrières antibruit (2 m de hauteur)	5 dB(A)	10 dB(A)
Amortisseurs de roues	2 dB(A)	7 dB(A)
Amortisseurs adaptés aux rails	3 dB(A)	7 dB(A)

Source: résumé propre d'après le point 3.3.

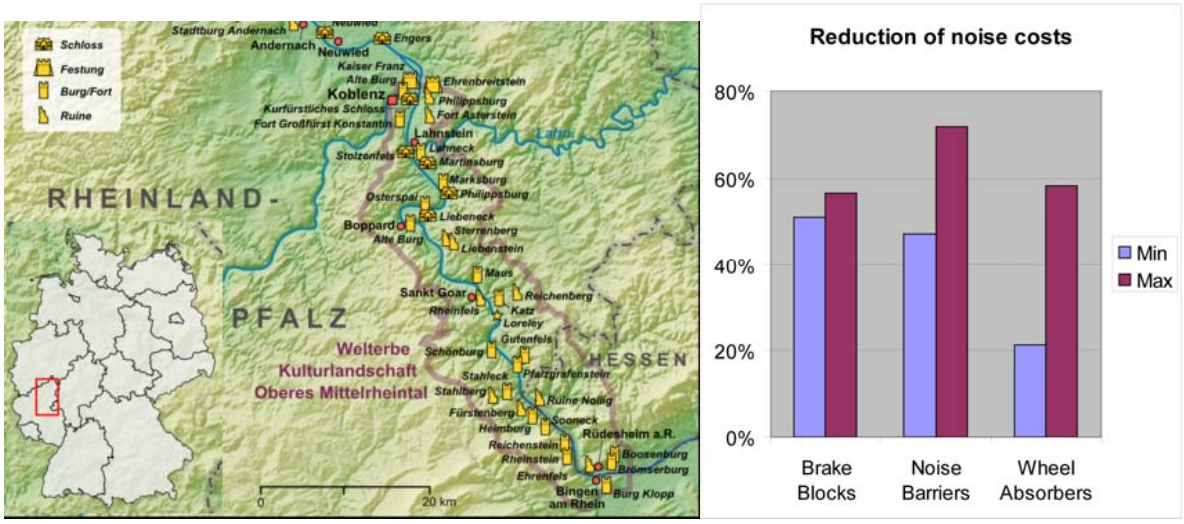
L'analyse suivante inclut également une hypothèse d'effets réduction du bruit par la réduction des coûts externes du bruit ferroviaire. La méthode appliquée pour le calcul des coûts est la même que celle de l'étude «Coûts externes des transports en Europe 2008» commandée par l'Union internationale des chemins de fer (UIC) en 2011 [CE Delft et al. 2011]. L'étude quantifie les conséquences monétaires de l'exposition régulière au bruit des personnes à différents niveaux par une analyse des études européennes sur les prix du logement et évalue les coûts médicaux supplémentaires engendrés par le risque accru d'infarctus sur la base des dernières études épidémiologiques. La fonction non linéaire coût-exposition au bruit obtenue est ensuite appliquée à des statistiques nationales sur les habitants touchés par le bruit de classes sonores L_{DEN} de 5 dB(A).

4.2.1. Tronçon Coblence - Bingen sur l'axe rhénan

Le tronçon choisi entre Coblence et Bingen couvre une zone dans une vallée étroite avec des lignes ferroviaires à haute fréquence sur l'un des principaux corridors de transport européens (voir également le point 4.1.1., page 80).

La position du tronçon est indiquée à la Figure 33. La vallée a quatre voies, deux sur chaque rive. Les données et les résultats principaux de l'évaluation sont présentés au tableau 27.

Figure 33: Tronçon entre Coblence et Bingen, incidences des mesures



Source: Calcul propre par les auteurs.

Dans ce tronçon de la vallée du Rhin, près de 68 000 habitants sont touchés par un bruit ferroviaire supérieur à 55 db(A). Le bruit ferroviaire provoque des dommages de l'ordre de 11 millions d'euros par an. Cependant, ceux-ci peuvent être réduits notablement. La construction de barrières antibruit constitue la mesure la plus efficace. Si - sur le plan théorique - toute la vallée était protégée, seuls 17 000 à 36 000 habitants seraient toujours touchés par la suite et les coûts environnementaux seraient réduits de 47 % à 72 % (Figure 33). Cependant, cela impliquerait des coûts considérables, ainsi que de fortes intrusions visuelles. Si de nouvelles semelles de frein étaient mises en œuvre, les coûts environnementaux seraient réduits de 51 à 57 %. Cette valeur plus basse est due au fait que les trains de voyageurs ne sont pas concernés par cette mesure. Les amortisseurs de roues réduisent les coûts environnementaux de 21 à 58 %.

Tableau 28: Incidences des mesures de réduction du bruit dans la vallée du Rhin moyen

ÉLÉMENT	VALEUR
Nombre de trains de fret / jour (deux sens)	265
Nombre de trains de voyageurs / jour (deux sens)	157
Nombre d'habitants toujours touchés par le bruit ferroviaire (>55 dB(A))	
Sans mesures	67 550
Avec barrières antibruit	16 850 – 36 200
Avec semelles de frein peu bruyantes (K et LL)	28 985 – 32 907
Avec amortisseurs de bruit dans les roues	28 460 – 55 010
Coûts externes annuels restants du bruit ferroviaire [million €]	
Sans mesures	10,7
Avec barrières antibruit	4,4 – 8,4
Avec semelles de frein peu bruyantes (K et LL)	4,6 – 5,2
Avec amortisseurs de bruit dans les roues	4,4 – 8,4

Source: calcul propre par les auteurs.

4.2.2. Royaume-Uni: tronçon Thameslink près de Blackfriars à Londres

En vue de disposer d'un exemple sur une ligne ferroviaire située dans une agglomération à forte densité de population et connaissant une grande fréquence de trains par heure, Thameslink a été choisi comme étude de cas. Le bruit ferroviaire des lignes ferroviaires dans les métropoles touche par nature beaucoup de personnes. Il est par conséquent très important de trouver de bonnes solutions pour les lignes intérieures. Thameslink est considéré comme un bon exemple car il représente une zone abritant une population dense et faisant l'objet d'un accroissement prévu du trafic.

Thameslink dessert le centre de Londres, traverse la Tamise au pont de Blackfriars, circule sur un tracé de 225 km entre Bedford au nord et Brighton sur la côte sud. La ligne s'arrête à King's Cross / St-Pancras International, l'aéroport de Luton, l'aéroport de Gatwick, et une ramification (la boucle vers Wimbledon) passe par le sud-ouest de Londres. Selon les estimations, 75 000 personnes empruntent chaque jour le tronçon Thameslink pour entrer à Londres et en sortir.

Thameslink 2000 est un programme de 5,5 milliards de livres sterling[28] visant à accroître la capacité et la fréquence de la ligne sur le tracé Thameslink, avec des trains plus longs et à terme un nouveau matériel roulant. Le tracé reliant St-Pancras à Londres est en cours de réaménagement, et la gare de Blackfriars est reconstruite pour enjamber le fleuve, avec une nouvelle entrée sur la rive sud; la gare sera prête à accueillir des trains de 12 voitures d'ici décembre 2011, et achevée à temps pour les Jeux olympiques de 2012. Le projet Thameslink 2000 a été proposé à l'origine en 1991, et, à l'issue d'une enquête publique menée en 2005, un permis de construire a finalement été accordé en 2006.

À la suite de l'enquête publique, de nombreux documents pertinents sont mis à la disposition du public via le site internet de l'enquête[29] ou sur demande.

Dans le cadre de l'évaluation des incidences sur l'environnement, Temple Environmental consultants Ltd a élaboré le rapport spécial sur le bruit et les vibrations en juin 2004 [Thameslink 2004] et le rapport sur l'évaluation du bruit à Blackfriars en 2005 [Thameslink 2005]. Ces rapports contiennent des calculs et des prévisions du bruit ferroviaire, sur la base du modèle NORBERT d'ISVR[30], et formulent des recommandations relatives à l'usage des technologies de réduction du bruit.

Le programme Thameslink a notamment pour objectif d'exploiter 24 trains par heure, dans les deux sens, entre Blackfriars et St Pancras Midland Road; et 18 trains par heure, dans les deux sens, entre Blackfriars et London Bridge. Le Blackfriars Railway Bridge est un pont ferroviaire à tablier supérieur en acier enjambant la Tamise (voir Figure 35 et Figure 35) avec voie ballastée. En 2004, le trafic sur le pont pendant la journée était de 233 trains Thameslink et de 133 autres trains; pendant la nuit, le trafic était de 39 trains Thameslink et de 11 autres trains. L'objectif est d'augmenter le trafic à 672 trains Thameslink et 70 autres trains pendant la journée, et à 74 trains Thameslink pendant la nuit.

Figure 34: À gauche: vue du Blackfriars Railway Bridge de la rive sud. À droite: train EMU de la classe 319 exploité par First Capital Connect

Source: Thameslink 2005.

En plus d'accroître le nombre de trains, la capacité sera encore augmentée par le remplacement des trains de 8 voitures par des trains de 12 voitures en heures de pointe; en heures creuses, les trains de 4 voitures seront remplacés par des trains de 8 voitures. Dans une certaine mesure, l'augmentation du bruit du trafic supplémentaire sera

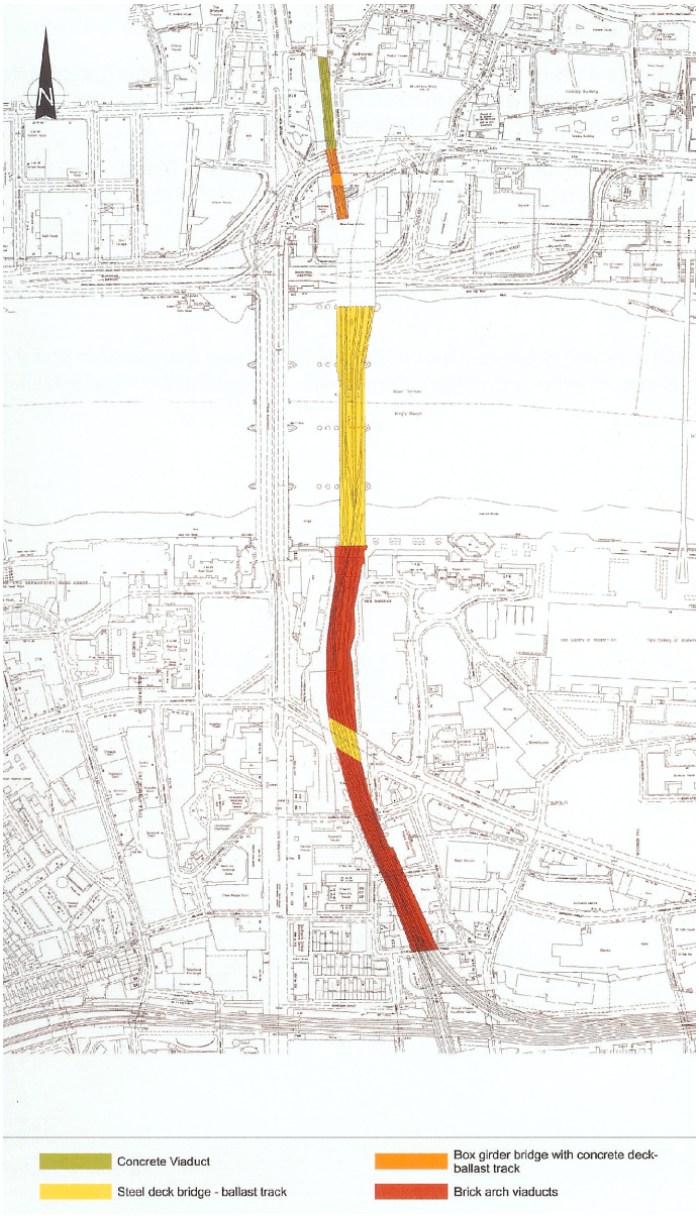
[28] Site internet du programme Thameslink 2000: http://www.thameslinkprogramme.co.uk/.

[29] Site internet de l'enquête publique relative au projet Thameslink 2000: http://www.tl2000inquiry.org.uk/.

[30] Le modèle NORBERT d'ISVR calcule le rayonnement structurel du bruit des ponts à l'aide d'un modèle détaillé de la structure des voies et des ponts, la rugosité des rails et le type de matériel roulant. (Thompson, D.J., Jones, C.J.C., Bewes, O.G., 2005, 'NORBERT – Software for Predicting the Noise of Railway Bridges and Elevated Structures, Version 2.0,' ISVR Contract Report, CR 05.12; voir également David Herron, 2009, «Vibration of railway bridges in the audible frequency range», Thesis submitted for Engineering Doctorate, université de Southampton.)

compensée par l'introduction de matériel roulant moins bruyant. En 2004, Thameslink a exploité principalement des trains EMU de la classe 319, et a acquis depuis lors tous les véhicules de la classe 319 toujours en service[31]. Ces trains sont équipés de freins à disque; les derniers trains EMU des classes 421 et 423 munis de freins à sabot en fonte ont été progressivement abandonnés en 2004. La flotte de trains de la classe 319 a été construite durant les années 1987 à 1990. First Capital Connect (qui a racheté la franchise Thameslink en 2006) a récemment fait l'acquisition de 23 trains EMU de 4 voitures de la classe 377/5 (Electrostars), fabriqués pendant la période 2008-2009. La correction pour le bruit des trains de la classe 377/5 s'élève à 8,4 dB(A), par rapport à 11,3 dB(A) pour la classe 319.

Figure 35: **Vue d'ensemble des viaducs/ponts à proximité de la gare de Blackfriars**



Source: Thameslink 2005.

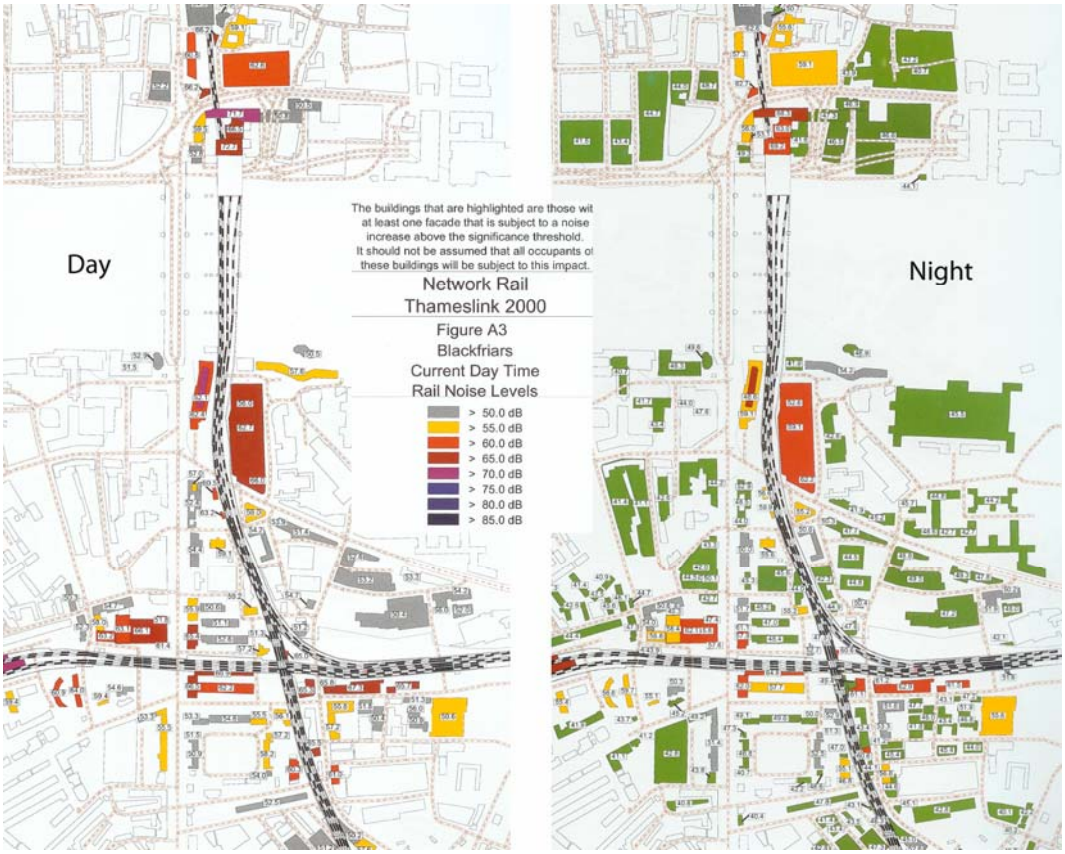
[31] Le train de la classe 319 est un train EMU bitension, et peut par conséquent circuler tant au nord de la Tamise, qui utilise une alimentation par caténaires en courant alternatif de 25 kV, qu'au sud de la Tamise, qui utilise un troisième rail sous courant continu de 750 volts.

En ce qui concerne les autres mesures de réduction du bruit du matériel roulant:

- des amortisseurs de roues peuvent offrir un moyen rentable de réduire le crissement dans les courbes et le bruit émanant du contact des boudins;
- pour les graisseurs montés sur le véhicule ou les amortisseurs de roues, Network Rail collaborera avec des sociétés d'exploitation de services ferroviaires et d'autres parties intéressées pour leur installation sur le matériel roulant existant là où l'on juge que ces mesures sont raisonnablement faisables.

Cependant, les trains EMU sont munis de freins à disque et il y a peu de marge pour réduire le bruit de roulement; les innovations futures en matière de conception des systèmes de suspension ne devraient pas réduire le bruit et les vibrations dans le sol; et, en règle générale, la vitesse des trains ne constitue pas un moyen efficace pour réduire les vibrations.

Figure 36: **Niveaux de bruit mesurés dans le quartier de Blackfriars**



Source: Thameslink 2004.

Les projections du niveau sonore pour 2026, avec ou sans réaménagement de la ligne Thameslink, ont servi à évaluer l'incidence du bruit sur les immeubles locaux. Il a été prévu que le programme Thameslink réduise de 44 à 24 le nombre d'immeubles résidentiels touchés, et de 14 à 8 le nombre d'immeubles non résidentiels. Dans les deux cas, la majorité de ces incidences sont soit légères, soit modérées. La raison pour laquelle si peu d'immeubles sont touchés est que, même à proximité de la voie ferrée, le bruit ferroviaire ne prédomine pas sur le niveau de bruit ambiant. Les augmentations prévues du niveau de bruit à proximité du Blackfriars Railway Bridge sont indiquées à la Figure 37.

Figure 37: **Augmentation de bruit prévue d'ici 2026 aux façades adjacentes résultant de l'activité ferroviaire pendant la journée**

Source: Thameslink 2004.

Une source distinctive de bruit à Blackfriars est la voie de rails à joint, qui donne lieu au bruit de martèlement caractéristique. Le retrait des joints réduira le niveau sonore de quelque 3,1 db(A) et améliorera considérablement l'impression subjective de bruit émanant du pont. En ce qui concerne la rénovation et la modernisation des voies entre Blackfriars et London Bridge:

- Toutes les voies de rails à joint seront retirées dans la mesure du possible là où la voie est rénovée et remplacés par un rail soudé en continu ou un long rail soudé. Tous les aiguillages et croisements inutiles seront retirés et les joints sur les aiguillages et croisements restants seront soudés. Tous les joints de dilatation des rails neufs ou de remplacement seront taillés en biseau.

Une autre source de bruit, d'environ 6 db(A), est le contact des boudins sur la courbe au sud du pont (Falcon Point). Dans le cadre du programme de rénovation, ce tronçon sera remplacé par une voie moderne à haute spécification, qui évitera les changements brusques de courbure aux joints de rail. Si nécessaire, des lubrificateurs de boudins de roues seront installés ou remplacés.

Network Rail dispose d'un programme régulier d'inspection et d'entretien, et s'engage à retirer toute ondulation. En outre, les véhicules sont contrôlés au niveau des méplats. Aucun avantage notable en termes de niveau sonore n'est attendu en imposant un meulage plus fréquent ou un régime renforcé d'entretien des essieux.

Sur les tronçons où ceci est efficace et sûr, Network Rail souhaite utiliser des amortisseurs sur rails[32]. Cependant, l'amortissement sur rails est inefficace lorsqu'il est utilisé avec des

[32] La gare de Blackfriars sera le premier site au Royaume-Uni à installer un système d'amortissement du bruit SilentTrack de Tata Steel - les travaux sont prévus pour février 2012.

semelles sous rail rigides. Dans la zone de Blackfriars (en 2005), le rail était posé sur des semelles sous rail rigides ou aucune semelle du tout. Des amortisseurs sur rails n'auraient pas influé sur les émissions sonores du pont, et seule une diminution de 0,8 db(A) du bruit de roulement direct aurait été obtenue.

Les barrières antibruit sont une intrusion visuelle, notamment parce qu'elles représentent une cible pour les graffitis; elles sont chères et posent des problèmes d'accès aux voies. Leur efficacité dépend de leurs propriétés d'absorption, de leur hauteur et de la distance entre la barrière et la source du bruit et/ou du récepteur. À Blackfriars, des barrières antibruit ne seront pas particulièrement efficaces vu que la voie ferrée est une ligne à plusieurs voies, et que de nombreux immeubles concernés dominent la voie. Cependant, le toit de la nouvelle gare intègrera un matériau à absorption phonique qui contribuera à renforcer l'atténuation du bruit rendue possible par les barrières, et une nouvelle enceinte du pont 412 revêtue d'émail vitrifié couvrira 1 Puddle Dock.

Diverses formes de voies atténuant le bruit ont été envisagées pour réduire les niveaux sonores autour du Blackfriars Railway Bridge, dont des semelles pour rails (qui risquent de poser problème pour l'entretien et le bourrage), des plaques de base souples, des traverses équipées de chaussons, et un système d'attaches de type VANGUARD de Pandrol (qui attache le rail autour de l'âme et sous le champignon, ainsi que sous le patin) sur la voie ballastée; et des voies sur dalle munies de semelles sous rail souples ou de plaques de base. Bien que ces conceptions de voie réduisent sensiblement les niveaux sonores par rapport à la conception de référence, elles n'apportent pas de réduction significative des niveaux généraux de bruit ferroviaire. À Falcon Point, le bruit ferroviaire devrait diminuer de 3 à 4 db aux étages supérieurs les plus proches du pont. Cet avantage toucherait quelque 6 habitations. Le coût sera disproportionnellement élevé par rapport à l'ampleur de l'avantage potentiel. Il n'est pas justifié d'installer des plaques de base souples sur le Blackfriars Railway Bridge.

4.2.3. Incidence sonore des lignes à grande vitesse au Royaume-Uni

L'East Coast Mainline (ECML, ligne principale de la côte est au Royaume-Uni) circule entre Édimbourg et King's Cross à Londres et la West Coast Mainline (WCML, ligne principale de la côte ouest au Royaume-Uni) circule entre Glasgow et Euston à Londres. Les lignes sont conçues pour une vitesse de 200 km/h pour la plus grande partie, et même pour une vitesse de 225 km/h à certains endroits. Cependant, la législation britannique requiert une signalisation en cabine pour les trains circulant à une vitesse supérieure à 200 km/h, ce qui a empêché la circulation à une vitesse de 225 km/h sur ces lignes. Aujourd'hui, la seule ligne au Royaume-Uni sur laquelle une vitesse supérieure à 200 km/h est autorisée est High Speed 1 (HS1). High Speed 2 (HS2) en est actuellement au début de la programmation et devrait être mise en service en 2025.

4.2.3.1. High speed 1 (HS1)

High Speed 1 est le tracé reliant Londres au tunnel sous la Manche qui a été mis en service en 2007. Après avoir quitté St-Pancras, la ligne croise l'ECML et entre immédiatement dans un tunnel qui passe sous Londres pendant 20 km (la vitesse de la ligne pour ce tronçon est de 230 km/h, mais d'autres tunnels sur le tracé ont une limite de vitesse de 270 km/h); le pont enjambant l'ECML jusqu'à l'entrée du tunnel est totalement enfermé dans un tube équipé d'un blindage acoustique gris pour protéger l'environnement local du bruit (bien que cela ne soit pas totalement efficace). Le système VANGUARD de Pandrol et une variété d'autres technologies de réduction du bruit sont mis en œuvre le long du tracé: des

barrières et des murs antibruit (dont des barrières basses sur viaducs), un système de voies avec traverses équipées de chaussons de Sateba (voies sur dalle SAT SB12), et des voies sur dalle flottante de GERB (également utilisées sur le Docklands Light Railway de Londres).

Il n'y a pas de carte de bruit pour HS1, mais il y a quelques commentaires sur le bruit dans les preuves écrites du rapport HS2 de la commission du transport:

- «l'expérience dans le Kent et ailleurs démontre comment il est possible de réduire l'empreinte acoustique des trains à grande vitesse»;
- «l'expérience du HS1 est que les craintes exprimées avant sa construction ne se sont pas confirmées pour la plupart»;
- «d'après l'absence de plaintes liées à l'activité de HS1, l'incidence sonore pourrait être surévaluée par les opposants pendant la phase de programmation»;
- «l'incidence de HS1 a été masquée dans une certaine mesure par le fait que le tracé passe à proximité de routes fréquentées existantes».

En général, HS1 a été un développement positif suscitant très peu de plaintes concernant le bruit.

4.2.3.2. *High Speed 2 (HS2)*

Ce point se rapporte au dixième rapport de session 2010-2012 de la commission du transport de la Chambre des communes, concernant le système à grande vitesse, plus particulièrement High Speed 2 (HS2), et les preuves écrites y relatives. HS2 est prévu pour 2025.

Mandat:
«HS2 Ltd a été fondée en tant qu'entreprise publique pour étudier la question et élaborer des propositions concernant une nouvelle ligne ferroviaire à grande vitesse entre Londres et les West Midlands, et éventuellement au-delà. Son mandat était d'identifier un tracé entre Londres et les West Midlands dans le but principal d'accroître la capacité en voyageurs sur le corridor et d'optimiser les temps de parcours. Une condition du mandat était que le tracé devait inclure un échangeur entre HS2, la Great Western Main Line et Crossrail, offrant un accès pratique à Heathrow.»

Proposition:
«HS2 Ltd a proposé un tracé Londres-West Midlands qui évite toute démolition importante d'immeubles sauf pour la zone de la gare d'Euston; environ la moitié du tracé serait dans une tranchée profonde ou dans un tunnel afin de réduire le bruit et l'intrusion visuelle dans les zones adjacentes.» La proposition se concentre sur une ligne de train à grande vitesse de 400 km/h. Elle devrait dégager des capacités sur la West Coast Mainline et permettre une plus grande utilisation du fret ferroviaire.

Problèmes de bruit:
Aucune évaluation des incidences sur l'environnement n'a été réalisée pour HS2, et rien n'est prévu jusqu'après la consultation actuelle. Une analyse du potentiel de durabilité incluant un rapport technique sur le bruit et les vibrations a été publiée.

Suivant le plan d'action contre le bruit en Angleterre et les règlements relatifs à l'isolation sonore (chemins de fer et autres systèmes de transport guidés), la mesure du niveau sonore LAeq,18h (niveau sonore moyen sur la période allant de 6 heures à 24 heures) a été utilisée comme indicateur principal du niveau sonore, avec une limite imposée de 73 dB –

étant donné que des niveaux sonores supérieurs à cette limite confèreraient à ce tracé le statut de «site de première priorité» et en feraient ainsi un objectif prioritaire pour la réduction du bruit.

Bien qu'une telle stratégie puisse être acceptable pour des zones déjà bruyantes, une partie du tracé proposé parcourt une zone de beauté naturelle où l'incidence de la ligne ferroviaire sur l'environnement est une préoccupation majeure. C'est pourquoi il existe une opposition farouche au HS2 le long de ce tronçon de la ligne, ainsi que des plaintes par rapport aux niveaux sonores:

- les niveaux sonores «acceptables» ne suivent pas les lignes directrices de l'OMS ou les lignes directrices énoncées dans le permis de construire anglais (PPG24) Ces dernières limiteraient les niveaux sonores à 66 dB, voire encore moins étant donné l'environnement rural. Les lignes directrices de l'OMS recommandent de tenir compte des pointes de bruit, pas uniquement de la moyenne, et pour les trains à grande vitesse, la différence est grande;

- les préoccupations quant à l'incidence visuelle des barrières antibruit, combinées à la crainte que celles-ci ne bloquent pas le bruit aérodynamique provenant des pantographes. En outre, dans la modélisation pour la prévision du bruit, le bruit provenant des pantographes a été modélisé comme une source de bruit à la hauteur de la voie ferrée, ce qui est inapproprié et sous-estime l'incidence sonore. (L'analyse du potentiel de durabilité suppose une réduction de 3 dB des émissions sonores sur la base de meilleures mesures de contrôle du niveau sonore du futur matériel roulant, et constate l'importance d'atténuer la source du bruit aérodynamique. Cent km de barrières antibruit de 2 à 3 mètres de hauteur sont compris dans le modèle.);

- l'incidence sonore des ondes de Raleigh dans le sol des trains à grande vitesse circulant à 400 km/h sur des zones inondables, des sols d'alluvions tendres, etc., n'a pas été prise en compte, pas plus que le coût des mesures de réduction de ces ondes;

- le nombre de trains utilisé dans la modélisation du bruit est de 432 par jour, mais la capacité potentielle de trains pourrait augmenter à 576 trains. Le système doit être modélisé à une capacité opérationnelle totale, sinon les dispositions réglementaires en matière de bruit limiteront sérieusement l'utilisation de la ligne:

- la modélisation du bruit a été réalisée pour une vitesse maximale de 360 km/h, même sur les sites où la vitesse de conception est plus élevée.

En résumé, l'évaluation HS2 des niveaux sonores applique une définition sans doute trop élevée du niveau sonore acceptable tout en sous-estimant les niveaux sonores provenant des pantographes, les ondes de choc dans le sol et la capacité totale du système. Cela souligne la nécessité d'une évaluation complète des incidences sur l'environnement et un mandat plus clair concernant les niveaux de bruit et de vibration dans la zone de beauté naturelle.

Les arguments les plus forts contre HS2 peuvent être contrés en abaissant la vitesse de la ligne de 400 km/h à, par exemple, 240 km/h dans les zones sensibles. Bien que cette mesure augmentera le temps de parcours et affaiblisse les arguments économiques en faveur de HS2, elle réduira considérablement l'incidence environnementale de la construction et du bruit de fonctionnement ainsi que les besoins énergétiques. Une vitesse de conception plus basse permet également au tracé de suivre l'autoroute M1 existante, réduisant davantage l'incidence sur l'environnement.

5. ÉVALUATION

PRINCIPALES CONSTATATIONS

- Il existe différentes possibilités de soutien financier et de réglementations pouvant encourager la mise en œuvre de mesures de réduction du bruit.
- **La tarification de l'accès aux voies ferrées en fonction du bruit** ne représente qu'une option aux côtés du soutien direct aux mesures de réduction du bruit.
- En introduisant des redevances d'utilisation des voies modulées en fonction du bruit, il convient de garder à l'esprit que **les effets réels de réduction du bruit** proviennent uniquement de **trains (presque) entièrement équipés** de véhicules peu bruyants et que les mesures de réduction du bruit peuvent entraîner des **coûts d'exploitation supplémentaires** (en plus des coûts d'investissement).
- La réglementation peut s'appuyer sur la **STI «Bruit»** qui fixe les limites sonores pour le matériel roulant neuf. Ces limites **seront obligatoires pour le matériel roulant en service** d'ici 10 à 12 ans environ et **abaissées de temps à autre** en fonction des dernières évolutions techniques.
- La **Suisse** et les **Pays-Bas** ont déjà mis en place des redevances d'utilisation des voies modulées en fonction du bruit, l'**Allemagne** prévoit de le faire d'ici la fin 2012.
- Il convient de garder à l'esprit **la compétitivité du transport ferroviaire** par rapport aux autres moyens de transport dans toutes les actions entreprises, afin qu'aucune mesure financière et réglementaire ne pénalise le secteur ferroviaire.

Ce chapitre décrit et évalue différentes méthodes de soutien financier aux mesures de réduction du bruit en se concentrant sur la promotion de la modernisation des wagons de fret avec de nouveaux systèmes de freinage. Il s'agit là, en effet, de l'enjeu le plus important à l'heure actuelle. Nous aborderons également les possibilités de règlementation.

5.1. Les incitations économiques

Les incitations économiques découlant de la tarification de l'accès aux voies modulée en fonction des émissions sonores peuvent contribuer à:

- soutenir l'utilisation de technologies à faible émission sonore pour le matériel roulant,
- privilégier les trajets contournant les sites sensibles en matière de bruit et
- favoriser les vitesses et les routines opérationnelles atténuant les bruits dans les zones sensibles.

D'une manière générale, il existe deux moyens de créer des majorations relatives aux émissions sonores: Premièrement, les majorations peuvent s'ajouter aux redevances d'infrastructure ferroviaire versées par les auteurs de fortes nuisances sonores tandis que les auteurs de faibles nuisances sonores ne seraient soumis à aucun supplément. Dans ce cas, les recettes générées peuvent servir à subventionner les investissements relatifs aux

procédures antibruit pour les véhicules ferroviaires.[33] Deuxièmement, les majorations peuvent être élaborées de manière à équilibrer l'ensemble des redevances d'utilisation des voies ferrées, à savoir que des suppléments seraient imposés aux auteurs de fortes nuisances sonores tandis que les auteurs de faibles nuisances sonores recevraient un bonus. Une fois cumulés, les versements de bonus et de malus se compenseraient. Ce procédé serait comparable au système de taxation des poids lourds sur les autoroutes en vertu de la directive 2006/38/CE (variante de la différentiation des redevances en fonction des normes d'émission EURO).

La refonte de la directive 2001/14/CE relative au système ferroviaire prévoit la différentiation des redevances d'utilisation des voies en fonction du bruit [voir (COM(2010) 475), article 31]. Il convient d'analyser plusieurs options:

- différenciation des redevances d'utilisation des voies en fonction des émissions sonores mesurées (voir point 5.1.1.);
- différenciation des redevances pour les wagons selon le classement de leurs émissions sonores (voir point 5.1.2.);
- différenciation des redevances pour les trains selon la composition des wagons (voir point 5.1.3.);
- versement de bonus pour les véhicules neufs et modernisés (voir point 5.1.4.);
- systèmes de bonus combinés (voir point 5.1.5.).

5.1.1. Différenciation des redevances d'utilisation des voies en fonction des émissions sonores mesurées

La taxation porterait sur le train. Les émissions sonores liées aux trains devraient être mesurées à des points critiques dans des zones densément peuplées et/ou sur de courtes distances en direction de zones résidentielles, puis attribuées au train en question. La majoration de la redevance d'utilisation des voies serait fixée en fonction des niveaux d'émissions sonores locales, éventuellement de manière progressive.

Un tel procédé appliquerait à la perfection le principe du pollueur-payeur. Il fonctionne indépendamment de la technologie du véhicule ou des roues et ne peut être détourné en utilisant un classement erroné ou en changeant les plaques d'identification électronique. Il nécessiterait cependant de nombreux postes de mesure le long des voies, ainsi qu'un système complexe d'information, de paiement et d'administration. Les coûts de mise en œuvre d'un système de ce type pourraient par conséquent être très élevés.[34]

Dans la mesure où les redevances seront prises en charge, au départ, par l'opérateur ferroviaire, on peut se demander comment celui-ci (l'entreprise ferroviaire) répercutera les coûts sur les propriétaires/opérateurs de véhicules ou sur les expéditeurs.

[33] Nous ne tenons pas compte de l'option consistant à allouer les recettes au gestionnaire d'infrastructure, car elles ne reflètent pas les coûts d'infrastructure.

[34] Une forme d'infrastructure de mesurage dynamique et de signalement du bruit des véhicules pourrait, de toute façon, s'avérer nécessaire pour traduire les changements de statut du véhicule, par ex., l'ovalisation des roues qui influe considérablement sur les niveaux sonores; cette infrastructure pourrait être associée aux stations de

5.1.2. Différenciation des redevances pour les wagons selon le classement de leurs émissions sonores

Le moyen le plus simple de différencier les redevances d'utilisation des voies en fonction du bruit consiste à classer les wagons selon des catégories d'émission sonore et de taxer chaque wagon séparément à l'aide d'une majoration. L'opérateur ferroviaire paierait les redevances au gestionnaire de l'infrastructure et enverrait la facture au propriétaire du véhicule ou à l'opérateur.

Ce procédé suppose la mise en place de normes de bruit pour les wagons (comparables aux catégories EURO pour les véhicules routiers) et d'une redevance kilométrique par wagon. Si la technologie de taxation, de contrôle et de suivi peut rester simple, il existe un risque important: la courbe d'émissions sonores devient strictement concave («diminution des émissions sonores marginales») à mesure qu'augmente la part des véhicules à faibles émissions sonores. Cela signifie qu'une proportion de 50 % de véhicules peu bruyants dans une rame entraînera une réduction sonore de seulement 1,5 dB(A) par rapport à une rame très bruyante, ce qui fait que la population exposée ne percevra guère de bénéfices. Pour obtenir une réduction sonore significative de la rame, la part de véhicules peu bruyants doit être très importante. Si, par exemple, 100 % des wagons de marchandise sont équipés de freins silencieux, la réduction sonore peut s'élever à 10 dB(A), ce qui implique une diminution de moitié des nuisances sonores.[35]

En conclusion, ce procédé est simple à mettre en œuvre, mais ne traduit pas entièrement le principe du pollueur-payeur, à savoir qu'un train composé de 50 % de wagons peu bruyants pourrait payer des redevances réduites pour 50 % des wagons, alors même que la réduction des nuisances sonores serait négligeable. On court par ailleurs le risque d'un détournement des plaques d'identification (par ex. RFID) en vue d'obtenir le classement des wagons dans des catégories favorables.

5.1.3. Différenciation des redevances pour les trains selon la composition des wagons

Afin d'éviter les risques mentionnés au point 0, page 101, il serait possible de classer les trains au lieu des wagons. Dans ce cas, les trains seront classés sur la base des types de wagon dont ils sont composés. Cela suppose la mise en place de normes de bruit pour les wagons (comme au point 0, page 101) ainsi que le classement des trains sur la base des émissions sonores attendues.

Dans le cas des trains de marchandise, cela pose un problème: la catégorie d'émission d'un train varierait à chaque changement de la composition du train dans les gares de triage (transport par wagons isolés). En effet, seuls les trains-blocs ne changeant pas de types de wagon du début à la fin peuvent être aisément classés. Dans le transport par wagons isolés, ce classement s'avère beaucoup plus difficile dans la mesure où la composition du train change à chaque aiguillage. Dans le cas où la taxation respecte le principe du pollueur-payeur, l'ajout de quelques wagons très bruyants à un train peu bruyant impliquerait un très fort supplément pour le train, alors que l'ajout d'un véhicule peu bruyant à un train très bruyant ne modifierait en rien la taxation du train. Un tel procédé ne sera pas accepté par les acteurs du marché (par ex.: investir dans des véhicules peu

mesure existantes le long des voies. Des niveaux sonores plus élevés que prévus peuvent indiquer qu'il est urgent d'entretenir les véhicules.

[35] En raison de l'échelle logarithmique de la courbe sonore, voir détails à la section 3.4 et à la figure 23.

bruyants ne sera pas avantageux si ces véhicules sont souvent intégrés à des trains très bruyants), il conviendrait donc de le rendre plus pragmatique.

Néanmoins, le fait que l'entreprise ferroviaire devrait facturer les propriétaires/opérateurs/expéditeurs du véhicule en conséquence constitue toujours un problème.

5.1.4. Versement de bonus pour les véhicules neufs et modernisés

À la lumière des multiples problèmes posés par la tarification de l'accès aux voies modulée en fonction du bruit et d'un possible effet secondaire de perte de parts de marché au profit du transport routier, si les redevances relatives au bruit sont vraiment élevées mais entraînent la réduction souhaitée des nuisances sonores, le moyen le plus simple de mettre en place des technologies silencieuses consiste à verser des subventions publiques pour les véhicules peu bruyants et pour les véhicules anciens modernisés. Cette approche sera à n'en pas douter la plus aisément acceptée par les acteurs du marché.

Cette redevance ne devrait pas être prise en charge par le contribuable, mais cet instrument peut néanmoins constituer un élément d'une stratégie globale visant à mettre en place un système fondé sur des incitations et à parvenir à un taux élevé de pénétration dans un bref délai – bien plus bref que la durée de vie des véhicules ferroviaires, que l'on estime à environ 40 ans.

5.1.5. Systèmes de bonus combinés

Dès que l'on envisage de mettre en place des systèmes de taxation, les entreprises s'inquiètent de la hausse des coûts engendrée et de la possibilité d'une perte de parts de marché au profit du mode de transport routier. Cet argument est pertinent, en particulier dans un environnement politique visant une progression des parts de marché du fret ferroviaire pour des raisons écologiques et en vue de résoudre les défis posés par le changement climatique.

L'aide financière publique devrait être accordée lors de la phase initiale du système de taxation avec des majorations pour nuisances sonores. Cela pourrait se faire moyennant le versement d'un bonus à l'achat de nouveaux véhicules équipés d'une technologie de réduction sonore et/ou à la modernisation des véhicules anciens.

5.1.6. La situation actuelle des redevances d'utilisation des voies

Étant donné que la Commission européenne a décidé le 27 septembre 2011 d'autoriser la taxation des émissions des véhicules routiers [voir la directive 2011/76/UE du Parlement européen et du Conseil du 27 septembre 2011, modifiant la directive 1999/62/CE relative à la taxation des poids lourds pour l'utilisation de certaines infrastructures, telle que publiée au JO de l'UE L 269 du 14.10.11 (directive 2011/76/UE)], il serait également possible de taxer l'accès aux voies ferrées en fonction des émissions sonores sans tenir compte des revenus totaux du gestionnaire de l'infrastructure [voir la refonte de la directive 2001/14/CE dans (COM(2010) 475), article 31].

En 2011, la Commission européenne a établi un groupe de travail en vue d'harmoniser et de mettre en œuvre les systèmes de redevances d'utilisation des voies y compris les instruments dépendant du bruit. Les recommandations formulées dans cette étude seront prises en considération par ce groupe.

L'UIC a publié [dans (UIC 2010)] un aperçu de la situation actuelle de la législation relative aux procédures antibruit dans différents pays. Les Pays-Bas et la Suisse disposent déjà de redevances d'utilisation des voies incluant des bonus et des malus en fonction des nuisances sonores. Depuis 2002, la Suisse accorde un bonus de 0,01 CHF (0,0075 €, taux de change de novembre 2010) par essieu-kilomètre à tous les wagons équipés de freins peu bruyants. Le bonus est financé par l'État, de même que le programme de modernisation de tous les wagons suisses. Les Pays-Bas accordent un bonus de 0,04 euro par wagon-kilomètre pour tous les wagons peu bruyants. Le bonus est accordé tous les deux ans, avec un montant total de 4 800 euros maximum par wagon.

L'Allemagne a mis en place en 2012 un système accordant un bonus uniquement aux wagons de marchandise isolés modernisés au moyen d'un équipement peu bruyant comme des semelles de frein composites après l'introduction du système de bonus. Par ailleurs, un bonus est prévu pour les trains de marchandise entiers composés uniquement de wagons peu bruyants. Les wagons neufs et récemment modernisés sont également pris en compte dans cette seconde partie du système de bonus. Les deux parties du bonus seront appliquées à titre de réduction sur la redevance d'utilisation des voies en fonction des wagons-kilomètres. Cela sera accordé directement par le gestionnaire de l'infrastructure au propriétaire des wagons.

En Suisse, on parle actuellement de modifier le système existant. L'Allemagne comme la Suisse prévoient d'inclure un financement destiné aux propriétaires de véhicules de marchandise peu bruyants. Le financement sera organisé et calculé par les gestionnaires d'infrastructure. Pour ce faire, les pays comptent sur le fait que le propriétaire indiquera quels wagons de marchandise sont peu bruyants. Dans les deux pays, le financement dépend des essieux-kilomètres. Les coûts de mise en œuvre et d'exploitation du système de comptabilité font également débat. Pour VDV [dans (KCW 2011)], KCW a calculé les coûts d'exploitation des différents systèmes de financement pour les wagons de marchandise peu bruyants. Le financement des nouveaux wagons équipés de semelles LL (si elles sont autorisées) fait actuellement l'objet d'une discussion.

Plus précisément, l'Allemagne prévoit de financer les véhicules de marchandise modernisés à hauteur de 0,0028 euro par essieu-kilomètre sur les voies allemandes jusqu'à un montant total de 1 688 euros par essieu. Le montant total est égal aux coûts d'investissement estimés à environ 2 120 euros par essieu, moins 432 euros de réduction de coûts pour le remplacement d'une ancienne semelle en fonte par une nouvelle. Le coût du bonus sera couvert à 50 % par l'État allemand et à 50 % par une augmentation générale des tarifs d'utilisation des voies pour tous les trains de marchandises.

Dans une étude menée pour le compte de la Commission européenne, KCW propose un financement de 0,008 euro par essieu-kilomètre pour les wagons équipés de semelles K et de 0,0025 euro par essieu-kilomètre pour les wagons équipés de semelles LL [KCW 2009]. Les chiffres mentionnés se rapportent à une période de financement de 8 ans. Pour une période de financement potentielle de 12 ans, les chiffres s'élèvent à 0,0045 euro par essieu-kilomètre pour les semelles K et à 0,002 euro pour les semelles LL.

Irmhild Saabel de WASCOSA AG a présenté un exposé au Forum Güterwagen (forum wagons de marchandise) en mai 2011 sur les coûts engendrés par les semelles K [Saabel 2011]. Le coût total pour les semelles et les roues est multiplié par 1,5 à 2,6. Bien que les semelles K aient une durée de vie d'environ 110 000 à 130 000 km, les roues doivent être reprofilées tous les 120 000 à 310,000 km (au lieu de tous les 450 000 à 500 000 km) et ont une durée de vie d'environ 360 000 à 1 140 000 km (au lieu de 2 700 000 à 3 500 000 km). M. Gilliam de l'AAE signale lui aussi une hausse des coûts d'exploitation, d'après les premières expériences menées, en raison de l'abrasion des roues à semelles modifiées[36].

En ce qui concerne les semelles de frein composites, les coûts à la charge des entreprises ferroviaires ou des propriétaires de wagons résultent non seulement des investissements mais aussi de l'exploitation.

En 2011, afin d'harmoniser les redevances d'utilisation des voies modulées en fonction du niveau d'émission sonore (NDTAC) à l'échelle européenne, la Commission a mis sur pied un groupe d'experts dans le cadre de la commission DERC [Rapacz 2011].

- Ce groupe a pour objectif principal de discuter et proposer des solutions pratiques concernant la façon d'harmoniser les programmes de NDTAC dans les États membres, en se concentrant sur les aspects financiers.
- Le travail du groupe pourrait donner lieu à un ensemble de lignes directrices pour les États membres concernant l'harmonisation de la NDTAC / la mise en œuvre des mesures adoptées par la Commission sur la base de la refonte.
- Le groupe doit être relancé en 2012 à la suite de l'évolution de la refonte.

5.2. Analyse des possibilités de réglementation

Les réglementations relatives au bruit ferroviaire sont nombreuses au sein des États membres de l'UE. Un bref aperçu des mesures nationales de lutte contre le bruit est disponible à l'Annexe IV.

En 2003, le groupe de travail Bruit ferroviaire de la Commission européenne [CE 2003] estimait que «les principaux problèmes de bruit ferroviaire pourront être résolus dans les 10 ans si ses propositions sont mises en œuvre en combinant de manière écologiquement rationnelle les instruments décrits».

Les problèmes de standardisation les plus pertinents pour le matériel ferroviaire roulant ont été formulés dans les documents de STI (spécifications techniques de l'interopérabilité). Les réglementations suivantes concernant les émissions sonores des véhicules ferroviaires ont été définies dans la dernière STI «Bruit» [STI «Bruit» 2011]:

- limites relatives au bruit stationnaire et au bruit émis lors du passage des locomotives et des wagons de fret (pour plus de détails, voir Annexe II de cette étude)
- règles relatives à l'exploitation et à l'entretien,
- application au nouveau matériel roulant

[36] Des tests précédents menés avec des freins composites au Royaume-Uni dans les années 1970-1980 avaient donné des résultats similaires.

- programmes de modernisation des véhicules.

Alors que le problème du bruit ferroviaire est bien compris et que les possibilités techniques sont clairement décrites dans les documents de la Commission européenne, un calendrier de mise en œuvre des nouvelles normes relatives au bruit – comparable aux normes Euro pour les poids lourds – fait encore défaut aujourd'hui. Toutefois, comme les véhicules ferroviaires sont étroitement assemblés (c.-à-d. groupés en rames), équiper les véhicules ferroviaires avec une technologie sonore peu bruyante ne s'avère efficace que si une large proportion de wagons utilise cette technologie (voir point 1.2., page 16).

La modernisation du parc actuel de wagons de marchandises avec des semelles de frein composites prendra du temps dans la mesure où il est nécessaire de mettre en place un programme de taxation visant à encourager la modernisation sans augmenter le coût total du fret ferroviaire par rapport aux autres modes de transport. Le financement prévu en Allemagne (voir point 5.1.6., page 109) n'est pas suffisamment attrayant pour une partie des propriétaires de wagons, car un impact négatif sur les coûts du transport ferroviaire serait inévitable.

La stratégie antibruit pour le transport ferroviaire doit par conséquent s'attacher à développer un programme de réglementation visant une mise en place progressive du matériel roulant silencieux. Les instruments économiques décrits au point 5.1., page 106 serviraient donc d'incitants pour motiver, par exemple, les principaux acteurs à procéder de manière précoce à la modernisation ou à l'achat de véhicules neufs silencieux, et les autres à réduire leurs coûts.

5.2.1. Réglementer la technologie relative aux émissions sonores?

Le débat se concentre actuellement sur le système de freinage des wagons. Le bruit de roulement du trafic ferroviaire est, le plus souvent, dû à la rugosité des tables de roulement des roues et des rails. Si les surfaces des roues et des rails peuvent être maintenues lisses, les niveaux acoustiques peuvent être réduits de façon significative [CER UIC 2007]. Les semelles de frein en fonte conventionnelles entraînent une détérioration rapide des roues et une rugosité des tables de roulement de roues, causant ainsi de forts niveaux acoustiques. Le remplacement de cette technologie de freinage par des semelles de frein composites modernes permet de réduire les émissions sonores jusqu'à 10 dB(A).

La modernisation des wagons avec des semelles de frein composites remédie aux bruits de frein et au bruit de roulement élevé, mais il existe d'autres sources de bruit, à des endroits qui exigent même une réduction plus importante du bruit que celle obtenue par la modernisation seule, et de nombreux véhicules ferroviaires ne possèdent pas de freins en fonte. La réduction des niveaux acoustiques peut également être obtenue à l'aide d'absorbeurs sur rails et sur roues et d'autres mesures techniques. Par ailleurs, les évolutions technologiques pourront produire de nouvelles technologies dans les années à venir. Cela nous amène à nous demander s'il est bien judicieux de créer une réglementation relative à une technologie particulière de réduction du bruit. En tout état de cause, la réglementation doit autoriser des technologies alternatives si celles-ci ont prouvé qu'elles pouvaient parvenir à une réduction du bruit au moins égale. Le programme japonais «Top-runner» donne un exemple de programme de réglementation compatible avec des bonus. La meilleure technologie actuelle sert de norme à moyen terme (par ex.: 5–7 ans).

Une autre option de réglementation consiste à fixer des limites supérieures pour les émissions sonores locales. La directive 2002/49/CE définit les indicateurs, les méthodes de mesures et la cartographie de la population exposée. Les États membres sont tenus d'identifier les points où les limites sonores sont dépassées et de préparer des plans d'action au plus tard pour juillet 2013. La législation antibruit nationale est bien développée en ce qui concerne les nouveaux investissements entraînant un supplément de trafic et d'émissions sonores. Le problème qui persiste porte toutefois sur la protection des populations contre le bruit le long des voies ferroviaires existantes. Il serait en principe possible de préparer une directive bruit comparable aux directives 1999/30 et 2008/50 sur la qualité de l'air qui limitent la concentration locale des émissions de gaz d'échappement comme le NOx et le PM. De manière analogue, une directive sur la qualité du bruit pourrait limiter les niveaux acoustiques le long des voies à des seuils maximums, en fonction de l'environnement et de la population exposée.

La réglementation fondée sur les émissions présente l'avantage de laisser le secteur libre de trouver les meilleures technologies à même de respecter les valeurs limites fixées. L'inconvénient est qu'il faudra un certain temps avant de parvenir à un consensus entre les États membres sur les valeurs limites en matière de bruit. Après les difficultés rencontrées lors de la mise en place de la directive 1999/30 (directive 1999/30/CE du Conseil du 22 avril 1999 relative à la fixation de valeurs limites pour l'anhydride sulfureux, le dioxyde d'azote et les oxydes d'azote, les particules et le plomb dans l'air ambiant), on peut s'attendre à ce que les États membres vérifient ces valeurs avec soin afin d'éviter des investissements massifs dans leurs infrastructures de transport destinées aux mesures antibruit.

Par conséquent, le moyen le plus prometteur à moyen terme consiste à partir de la plateforme de la STI et de la refonte des paquets ferroviaires [voir (STI Bruit 2011) et (COM(2010) 475)]. La formulation peut permettre de définir clairement la réduction sonore attendue sans préciser en détail la technologie utilisée, ce qui laisse ainsi une marge pour les avancées technologiques.

5.2.2. Autorités de régulation

L'Agence ferroviaire européenne (AFE), fondée en 2006 à Valenciennes à la suite du deuxième paquet ferroviaire, est responsable des STI et peut également prendre en charge le développement d'une réglementation appropriée en matière de bruit pour les véhicules ferroviaires. Cette réglementation peut être contrôlée par les autorités de régulation nationales du secteur ferroviaire – à la suite du premier paquet ferroviaire, la mise en place d'organismes de régulation nationaux des chemins de fer est obligatoire pour chaque État membre.

Il en résulte que les organismes nationaux existants peuvent être impliqués plus étroitement dans le contrôle des émissions sonores ferroviaires et être dotés du pouvoir administratif nécessaire. Une coordination étroite avec les régulateurs des transports routiers et aériens est nécessaire afin d'éviter des distorsions de marché dues à une réglementation déséquilibrée.

5.3. Analyse des commentaires des parties prenantes sur les incitations économiques et la réglementation

Puisqu'il n'est pas possible de refléter l'avis de tous les acteurs du secteur ferroviaire en Europe dans le cadre de ce document, c'est l'avis de l'Union internationale des chemins de fer (UIC) qui sera présenté. Dans ses fréquentes déclarations à ce propos, l'UIC reconnaît d'une manière générale le besoin de mesures de réduction du bruit. L'UIC est favorable aux stratégies suivantes [UIC 2010]:

- réduction du bruit pour tous les véhicules de fret neufs en introduisant les valeurs limites de la STI;
- promotion de la modernisation des véhicules de fret existants avec des semelles de frein composites;
- construction de murs antibruit et installation de fenêtres insonorisées;
- recherche d'autres solutions dans des cas particuliers comme le meulage des voies pour des motifs acoustiques, les absorbeurs sur rails, les absorbeurs sur roues, la modification de la friction contre le crissement en courbe, etc. Un entretien régulier est indispensable;

L'UIC considère les semelles de frein LL comme une «mesure prometteuse de réduction du bruit; toutefois elles devront être plus amplement développées avant de pouvoir être utilisées de manière généralisée en Europe».

D'autres options, comme les limites de vitesse et l'aménagement du territoire, sont rejetées [UIC 2008]. Les limites de vitesse doivent être substantielles (50 km/h) pour avoir des répercussions importantes sur les niveaux acoustiques et ne sont donc «pas compatibles avec l'exploitation de chemins de fer commercialement compétitifs». Les mesures d'aménagement du territoire présentent peu d'intérêt étant donné que, à des distances de plus de 50 mètres de la source, «les niveaux acoustiques sont insensibles aux changements, même moyens, en distance».

L'UIC s'inquiète surtout de la possibilité que les mesures de réduction du bruit pénalisent les chemins de fer en entraînant des distorsions de concurrence avec le secteur routier. Cette pénalisation pourrait être due soit à des coûts d'investissement élevés soit à des charges administratives excessives. «En raison de la pression concurrentielle, les propriétaires de wagons ne disposent plus de ressources suffisantes pour financer le post-équipement de leur parc. Tout régime incitatif ne devrait pas réduire la part de marché global du fret ferroviaire, ni entraver l'activité d'un quelconque acteur du fret.» [UIC 2011].

La rentabilité des mesures (voir point 5.1., page 106) constitue par conséquent un critère essentiel pour la prise de décisions de l'UIC. Par exemple, la modernisation des trains avec des semelles de frein composites est considérée comme plus efficace que la construction de murs antibruit. L'UIC argue qu'un programme incitatif devrait être développé lorsque les fonds publics pour la modernisation sont détournés des opérateurs de réseaux ferroviaires vers les propriétaires de wagons. En outre, l'UIC critique les études susmentionnées commanditées par l'UE [PWC 2007] et [KCW et al. 2009] en raison du «coût beaucoup trop bas pris en compte pour l'utilisation des semelles de frein composites. Ces hypothèses alliées à une surestimation du parcours annuel moyen sont de nature à dégager un

montant de redevance trop faible pour rentabiliser les coûts d'investissement du post-équipement des wagons.»

Étant donné que le financement direct ne prend pas en compte le parcours du wagon, [UIC 2011] propose un système de bonus associé à des redevances d'utilisation des voies: «Les autorités nationales se chargent de financer le post-équipement des wagons de marchandises en appliquant un bonus aux véhicules silencieux… [qui] serait accordé sur la base du parcours effectué sur les lignes des réseaux nationaux respectifs. Le montant du bonus permettrait de couvrir les coûts d'investissement ainsi que les coûts d'exploitation, de transaction et de gestion.»

Dans un entretien accordé aux auteurs en juillet 2011, M. Kerth de VDV a mentionné que les coûts de la modernisation s'élèvent à environ 0,008 euro par essieu-kilomètre, si l'on inclut les coûts d'exploitation supplémentaires et les coûts financiers dans le calcul. L'intérêt des propriétaires de wagons pour la modernisation des wagons existants grâce à ce régime de financement est actuellement très faible. Le fait qu'une partie du système de bonus sera financée à l'aide d'une hausse des tarifs d'accès aux voies pour l'ensemble du secteur de fret ferroviaire peut également poser problème pour le secteur des chemins de fer. Cette hausse concerne également les wagons existants déjà équipés de semelles de frein composites. Le communiqué de presse de VDV et VPI daté du 5 juillet 2011 relatif au financement du bonus annonce que la part de 50 % du secteur ferroviaire est jugée injuste [VDV VPI 2011]. C'est la première fois que des redevances pour nuisances sonores seraient imposées à un mode de transport et cela ne financerait que les wagons récemment modernisés, alors que les wagons silencieux en service ou les wagons neufs devraient supporter la hausse des tarifs d'utilisation des voies.

D'une manière générale, le régime de financement prévu en Allemagne est accepté par le secteur des chemins de fer car il s'agit d'un financement direct des propriétaires de wagons et le système n'est pas trop complexe. Les coûts de mise en œuvre semblent être acceptables [voir détails dans (KCW 2011)]. Néanmoins, de nombreux détails doivent encore être clarifiés et acceptés, comme l'ampleur du bonus et son financement. L'inclusion de coûts d'exploitation supplémentaires fait toujours débat. Leur inclusion pourrait entraîner une participation moindre de l'État allemand, étant donné que cette partie du financement est limitée à 152 millions d'euros par an [VDV-2011-2]. VDV s'attend à ce que seulement 15 % des coûts soient pris en charge par l'État allemand si les coûts d'exploitation supplémentaires restent à la charge du secteur ferroviaire.

L'UIC, CER, UIRR, ERFA, EIM et UIP font part de leurs commentaires sur le document de consultation de la Commission concernant les mesures de réduction des nuisances sonores ferroviaires dans leur avis de 2007 [UIC et al. 2007]. À cet égard, elles remarquent que le régime de financement ne doit pas imposer de nouveaux coûts au secteur du fret ferroviaire et que le régime de financement et de suivi ne devrait pas être coûteux.

6. CONCLUSIONS

La réduction du bruit ferroviaire est une activité importante pour l'environnement et la santé des citoyens en Europe et pour l'acceptation des chemins de fer en tant que force motrice du développement écologique et économique de l'Europe. L'acceptation des chemins de fer par les riverains des lignes ferroviaires, en particulier des principaux corridors de fret, est donc vitale.

Dans les corridors de fret, le nombre de trains, donc le bruit affectant les citoyens, va augmenter. Les mesures qui visent à réduire les niveaux sonores sont donc essentielles afin de prévenir les risques pour la santé et d'obtenir l'adhésion des riverains. Sans cette adhésion, le risque demeure que l'augmentation de la capacité sur les principales lignes ferroviaires soit entravée pendant un long moment, ce qui entraînera des pertes pour le secteur ferroviaire et pour l'ensemble de l'économie.

6.1. Mesures recommandées

Considérant que la relance du secteur ferroviaire constitue l'une des mesures les plus importantes dans le cadre de l'écologisation des transports et de la réalisation des objectifs du changement climatique, les recommandations couvrent les trois aspects principaux suivants:

- la définition de mesures techniques efficaces;
- la mise à disposition de systèmes de réglementation et d'incitation économique efficaces qui n'entraînent pas de distorsion de la concurrence avec les autres modes de transport;
- le financement des investissements nécessaires.

Mesures techniques

Sur le plan technique, les mesures de réduction du bruit sont axées sur deux piliers: les mesures au niveau des véhicules et les mesures au niveau de l'infrastructure.

Il existe plusieurs mesures au niveau des **véhicules**:

Semelles de frein de type LL: Les wagons de fret comptent parmi les principales sources de bruit ferroviaire, en particulier ceux équipés de semelles de frein en fonte. Celles-ci endommagent la surface de roulement des roues, la rendent rugueuse, ce qui augmente le niveau sonore à l'interface roue-rail. Les trains à grande vitesse et les trains de voyageurs utilisent des freins à disque plutôt que des freins à semelle; les nouveaux véhicules peuvent être équipés de semelles de frein en matériau composite (semelles de type K), mais celles-ci ne se prêtent pas à la modernisation d'anciens véhicules. Il reste environ 370 000 wagons de fret équipés de freins en fonte qui valent la peine d'être réaménagés en Europe, et trouver une solution de rechange rentable aux semelles de frein en matériau composite (semelles de type LL) pour cette modernisation est une priorité pour de nombreux opérateurs ferroviaires. Les estimations actuelles concernant la modernisation des 370 000 wagons de fret sont comprises entre 2,2 et 4,2 milliards d'euros, mais

l'incidence des semelles de type LL sur les frais de maintenance des trains de roues doit encore être déterminée.

Le bruit peut aussi être un problème sur les lignes ferroviaires de transport de voyageurs, et d'autres mesures au niveau des véhicules sont donc importantes:

- les **amortisseurs sur roues** sont utilisés pour réduire le bruit de roulement et peuvent être efficaces contre le crissement en courbe. Une gamme de technologies et de produits visant à amortir le bruit des roues ont été mis au point. L'interaction des amortisseurs du bruit des roues et des amortisseurs du bruit des voies doit être examinée afin d'optimiser les performances du système;

- plusieurs **roues modifiées** ont été mises au point ces dernières années mais, après l'accident d'un train ICE à Eschede en 1998, l'industrie se méfie des roues modifiées pour les trains à grande vitesse. Ces innovations ont toutefois un potentiel de réduction du bruit significatif et il est donc utile de poursuivre la recherche dans ce domaine;

- les **modificateurs de frottement** roue-rail (MF NSR) installés sur les véhicules ou les systèmes de lubrification des boudins peuvent être utilisés pour lutter contre le crissement en courbe (ainsi que pour réduire l'usure). Toute une série de technologies et de produits sont disponibles. Ceux-ci conviennent à des réseaux fermés dans lesquels les véhicules sont régulièrement contrôlés et entretenus, tels que des réseaux de banlieue locaux; les systèmes urbains ont aussi des courbes plus serrées et, par conséquent, davantage de problèmes de crissement en courbe;

- le bruit des pantographes est un problème propre aux trains électriques à grande vitesse, notamment parce que, s'il y a un écran antibruit le pantographe se trouve généralement plus haut que celui-ci. Des **concepts aérodynamiques** comme le carénage ou des **matériaux spéciaux** comme le revêtement poreux des pantographes, peuvent être utilisés pour réduire le bruit aérodynamique.

En outre, les émissions sonores du nouveau matériel roulant introduit depuis 2000 sont déjà inférieures de 10 dB(A) à celles de l'équipement produit dans les années 60 et 70. Cela montre à quel point il est important de remplacer le vieux matériel roulant dès que possible.

L'efficacité des mesures au niveau des véhicules présente le meilleur rapport coût-avantage. L'introduction de freins en matériau composite sur les wagons de fret devrait donc être abordée en priorité absolue. D'autres mesures peuvent être mises en œuvre à titre complémentaire.

Une large gamme de technologies axées sur **l'infrastructure** ont été mises au point afin de lutter contre le bruit et les vibrations. Elles sont essentiellement de trois ordres:

- les écrans et talus antibruit sont généralement de grands remblais de terre qui créent une tranchée artificielle pour la ligne ferroviaire; ceux-ci nécessitent plusieurs mètres de terrain sur le côté de la voie, ce qui n'est généralement pas possible pour les lignes ferroviaires existantes ou dans les environnements urbains. Les **écrans antibruit**, par contre, se prêtent bien aux lignes ferroviaires existantes et aux environnements urbains, mais pour être efficaces, ils doivent mesurer au moins deux mètres de haut. Les écrans antibruit ont un impact visuel négatif, en particulier

parce qu'ils sont la cible de graffitis; ils posent des problèmes d'accès aux voies et impliquent des frais d'entretien courants élevés. Des clôtures acoustiques spéciales sont parfois utilisées pour entourer la ligne ferroviaire par dessus et sur les côtés;

- les lubrifiants pour voie sont un moyen traditionnel de réduire le crissement en courbe (ainsi que l'usure) et les **modificateurs de frottement** sont aussi utilisés pour réduire le crissement des freins (dans les gares de triage, par exemple) Les modificateurs de frottement avec le niveau supérieur du rail (MF NSR) permettent aussi de réduire efficacement l'usure ondulatoire (une source majeure de bruit) sur le rail bas dans les courbes;

- parmi les formes et les technologies de voie ferrée résilientes citons: les voies sur dalle flottante, les tapis de ballast, les plaques d'assise résilientes, les patins de rail de rigidités diverses, les attaches de rail qui attachent l'âme en dessous du champignon du rail, les **amortisseurs sur rail** accordés et les traverses équipées de chaussons. Les tunnels sous les environnements urbains, tel que la liaison ferroviaire du tunnel sous la Manche et Crossrail à Londres, sont des cibles pour ces technologies. (Comme on l'a dit, l'interaction des amortisseurs du bruit des roues et des amortisseurs du bruit des voies doit être examinée afin d'optimiser les performances du système).

Autres considérations:

- les roues et les rails doivent être contrôlés afin que a) les roues voilées (et, en particulier, les roues avec des méplats) puissent être rectifiées, et b) les rails qui présentent une usure ondulatoire puissent être meulés. Les roues voilées et les rails qui présentent une usure ondulatoire sont une source de bruit ferroviaire accru ainsi qu'une cause de forces roue-rail et de dégâts consécutifs accrus;

- la géométrie et la sous-structure de la voie devraient être conçues et entretenues de manière à éviter des changements de direction ou de rigidité soudains, qui entraînent tous deux une augmentation des émissions sonores, des forces roue-rail et des dégâts consécutifs;

- les joints de rail devraient être évités (à l'exception des joints de rail isolés) au profit de rails soudés en continu; les joints de dilatation devraient être en biseau.

D'importants investissements dans l'infrastructure ont déjà été réalisés dans plusieurs pays, dont la Suède, le Danemark, les Pays-Bas, l'Allemagne, la Pologne, la République tchèque, la France, la Suisse, l'Autriche, l'Italie et le Portugal. Ces mesures sont nécessaires, en particulier dans les zones densément peuplées. Les mesures de réduction du bruit au niveau de l'infrastructure sont généralement introduites lors de la nouvelle construction ou d'un réaménagement majeur de liaisons ferroviaires conformément aux nouvelles normes qui imposent de telles mesures, tandis que pour l'infrastructure en place, il n'existe aucune obligation de réduire le bruit.

Des combinaisons intelligentes de mesures axées sur les véhicules et sur l'infrastructure aident à réduire le bruit ferroviaire à des niveaux de durabilité à long terme pour un coût raisonnable. Les analyses de la présente étude montrent que les mesures au niveau de l'infrastructure peuvent être réduites si des mesures efficaces au niveau des véhicules sont également prises. Par conséquent, une modernisation rapide du parc de wagons de fret est l'action la plus urgente à entreprendre.

Réglementation et instruments d'incitation économique

Des exemples internationaux tels que le programme japonais «Top Runner»[37] soulignent qu'une bonne **réglementation** est au cœur de toute stratégie fructueuse de réduction de la pollution. Ceci est particulièrement vrai pour la pollution sonore, car une réduction efficace du bruit grâce à des mesures au niveau des véhicules suppose que presque tous les wagons ferroviaires qui circulent à l'échelle internationale soient équipés d'une technologie de réduction des émissions sonores.

La STI «Bruit» constitue un socle réglementaire approprié à moyen et à long terme en matière de bruit. Actuellement, les normes relatives aux émissions sonores sont uniquement valides pour les nouveaux véhicules ou les véhicules ayant subi des modifications. À moyen et à long terme, la STI peut devenir obligatoire pour tous les véhicules. Le calendrier de validation des niveaux sonores pour tous les véhicules devrait s'étendre sur une période suffisamment longue pour permettre un ajustement de la technologie sans coûts majeurs d'investissement supplémentaires. Nous proposons un délai de 10-20 ans, qui couvre 1-2 cycles de révision et équivaut à la moitié de la durée de vie normale du matériel roulant (un quart pour les wagons de fret). Les niveaux sonores de la STI «Bruit» devraient aussi être régulièrement abaissés en fonction des évolutions techniques.

Les **instruments d'incitation économique** sont des systèmes de redevances et de bonus/malus. Les redevances d'accès aux voies sont un élément important d'une stratégie de pénétration des technologies de réduction du bruit ferroviaire compatible avec les incitants. Les principes et les demandes d'introduction des émissions sonores dans le système de redevances d'accès aux voies sont formulés dans la refonte du premier paquet ferroviaire (proposé en 2010) et peuvent être mis en œuvre par les États membres étant donné que la révision de la directive 2006/38/CE (Eurovignette) a été adoptée le 27 septembre 2011 [voir (directive 2011/76/UE)] puisque la directive 2001/14/CE autorise déjà les redevances d'accès aux voies en fonction du niveau d'émission sonore (NDTAC) si la même chose est permise pour d'autres moyens de transport. La directive 2011/76/UE autorise des majorations qui reflètent les coûts environnementaux (notamment du bruit) pour les poids lourds sur les autoroutes et les routes nationales. Ceci signifie qu'à l'avenir, un équilibre peut être trouvé entre la tarification des émissions sonores sur route et sur rail qui ne perturbe pas la concurrence entre les modes de transport. Il est important de tenir compte du fait qu'une réduction substantielle du bruit nécessite qu'une large part des véhicules ferroviaires soient équipés d'une technologie moderne. Cela sous-entend que des tarifs réduits ne devraient être offerts qu'aux trains entièrement composés de voitures à émissions sonores réduites. Un tel système pourrait être mis en œuvre sans installer de dispositifs électroniques supplémentaires dans les véhicules ferroviaires, pour autant qu'un système de notification efficace soit mis en place. L'exemple du système de redevances d'accès aux voies et de financement de la modernisation proposé en Allemagne montre que ceci est possible. Ceci souligne que le coût de transaction d'un système de redevances en fonction du bruit peut être maintenu à un bas niveau, ce qui est un argument important, parce que de nombreuses objections à l'introduction de tels systèmes reposent sur les coûts de transaction prétendument élevés.

D'autres incitants alternatifs ou complémentaires peuvent être introduits au moyen de systèmes de bonus/malus. En particulier, dans la phase transitoire, les bonus peuvent

[37] Ce programme a pour ambition de réduire la consommation énergétique et l'incidence sur le climat en fixant de façon dynamique des objectifs d'émissions fondés sur les meilleures pratiques en vigueur (c'est-à-dire la technologie la plus performante).

motiver les opérateurs de véhicules ferroviaires à adopter une nouvelle technologie le plus vite possible. Les sociétés de chemin de fer préconiseront l'utilisation généralisée de cet instrument si l'État paie pour le bonus. Quant à savoir à quel niveau fixer les incitants, une partie au moins des contributions financières devrait être couverte par les propriétaires/opérateurs de véhicules ferroviaires.

Mécanismes de financement

Après avoir évalué les meilleures combinaisons de mesures techniques et économiques, il convient d'examiner les implications financières et d'analyser les incidences sur les parties concernées. Selon nous, l'ajustement des systèmes de freinage est la stratégie la plus urgente et la plus prometteuse, complétée par des mesures au niveau de l'infrastructure dans les zones sensibles en matière de bruit. Il existe différentes sources de financement, qui doivent être développées pour ces mesures.

Les mesures au niveau de l'infrastructure sont financées par l'État ou les gestionnaires d'infrastructure ferroviaire. Dans ce dernier cas, les coûts supplémentaires pour les gestionnaires d'infrastructure sont répercutés sur les sociétés de chemins de fer grâce aux redevances d'accès aux voies. Cela signifie que l'État devra couvrir une part substantielle des coûts liés à l'infrastructure si l'on veut maintenir l'équilibre concurrentiel entre la route et le rail[38].

À long terme, les mesures au niveau des véhicules doivent être financées par les propriétaires/opérateurs de véhicules. À court et moyen terme, des subventions de l'État et de l'Union européenne, par exemple des primes à la modernisation, pourraient accélérer le changement de technologie. Les États membres devront déterminer l'ampleur des primes et la méthode de refinancement. Dans ce contexte, il est crucial que le principe de territorialité soit totalement appliqué avec le système de redevances d'accès aux voies, ce qui signifie que les véhicules modernisés doivent bénéficier d'un tarif préférentiel indépendamment du pays où ils ont reçu leur licence et où le propriétaire/l'opérateur est situé.

Le mécanisme de financement des mesures au niveau des véhicules devrait être un programme limité à quelques années (par exemple, 10 ans) et devrait se concentrer sur la modernisation des véhicules existants. Les véhicules à faibles émissions sonores existants peuvent aussi être couverts si le coût de la mesure de réduction du bruit peut être vérifié (modernisation préalable sans financement de la mesure, différences de prix entre un véhicule normal et un véhicule à faible émission sonore du même type).

Les systèmes de financement et de réglementation devraient être harmonisés au sein de l'UE afin de réduire au minimum les distorsions de concurrence, car de nombreuses sociétés de transport de fret sont actives à l'échelle internationale et font circuler une large part des wagons de fret à travers les frontières. Les «fuites de bruit» qui pourraient se produire si des wagons de fret bruyants, enregistrés dans un pays «à bas coût sonore» sont exploités dans des pays «à haut coût sonore», devraient être évitées. Un système de réglementation commun est donc nécessaire, accompagné d'un système de redevances et de financement largement harmonisé. Les écarts par rapport à cette règle générale ne pourraient être acceptés que s'ils sont positifs, autrement dit pour motiver les «top runners» à commencer rapidement à prendre les mesures nécessaires. Dans ce contexte, l'équilibre entre la politique de réduction du bruit et la politique de concurrence pourrait

[38] Il est à noter que les majorations liées au bruit suggérées par la Commission sont assez faibles pour les poids lourds sur les autoroutes et que les États membres ne sont pas obligés de les appliquer.

être davantage en faveur de la réduction du bruit à moyen terme. La raison en est que le fret ferroviaire dans son ensemble pourrait perdre des parts de marché à moyen terme si les problèmes de bruit ne peuvent être résolus de manière satisfaisante, et la résistance de la population touchée pourrait entraver l'utilisation à pleine capacité et l'élimination des goulets d'étranglement de la capacité.

6.2. Recommandations d'activités parlementaires

Pour soutenir et accélérer l'introduction des mesures de réduction du bruit, le Parlement européen pourrait, lors de la deuxième lecture de la refonte du premier paquet ferroviaire, n'accepter la refonte que si les exigences suivantes sont satisfaites:

- introduire une obligation d'harmonisation des redevances sur le bruit ferroviaire dans tous les États membres dans un délai raisonnable;
- subordonner l'introduction d'une redevance d'accès aux voies en fonction du niveau d'émission sonore (NDTAC) à l'introduction d'une mesure similaire dans le transport routier;
- intégrer une obligation de créer une «redevance d'accès aux vois en fonction du niveau d'émission sonore (NDTAC)» pour l'introduction et l'utilisation des mesures de réduction du bruit dans chaque État membre en fonction des niveaux de la STI «Bruit» (décision 2011/229/UE de la Commission).
    - La NDTAC pourrait inclure le financement/la couverture de frais d'exploitation plus élevés si les mesures de réduction du bruit entraînent des frais supplémentaires.
    - La NDTAC pourrait aussi inclure une prime spéciale significative pour les trains qui sont entièrement équipés de mesures de réduction du bruit (en plus du financement de l'équipement individuel des différentes unités de matériel roulant);
- prévoir une obligation pour les gestionnaires d'infrastructure d'entretenir l'infrastructure de manière à éviter le bruit dû au mauvais état de celle-ci (rugosité des rails).

Le Parlement européen pourrait, en outre, demander à la Commission européenne:

- de créer un mécanisme de financement européen pour les mesures de réduction du bruit au niveau des véhicules, et d'encourager les États membres à introduire un financement de la réduction du bruit pour le matériel roulant exploité à l'échelle internationale;
- de modifier la dernière STI «Bruit», introduite avec la décision de la Commission (2011/229/CE) du 4 avril 2011, afin que les niveaux sonores maximaux soient aussi obligatoires pour le matériel roulant existant quelque 10 à 12 ans après l'introduction de la modification de la STI «Bruit»;
- d'abaisser progressivement les niveaux sonores maximaux introduits par la STI «Bruit» pour l'avenir à long terme, avec des obligations ajustées pour le matériel roulant neuf et existant (système «top runner»).

Afin d'harmoniser la compétitivité entre le secteur du rail et celui de la route, le Parlement européen pourrait demander à la Commission européenne:

- d'élaborer une directive pour une réglementation et une taxation du bruit des camions applicables à l'ensemble du réseau, du moins pour les routes RTE-T (réseau global), qui s'inscrirait finalement dans un concept de pleine internalisation des coûts externes explicitement liés aux objectifs de réduction du bruit, et étendrait la redevance autoroutière facultative liée au bruit comme dans la directive 2011/76/UE.

Afin de réduire le bruit dans les zones sensibles lorsque l'introduction de mesures au niveau des véhicules s'est avérée inefficace, le Parlement européen pourrait:

- observer l'introduction et la réalisation des plans action en matière de bruit dans les zones sensibles dans le secteur du rail et de la route;
- introduire des mesures de réduction du bruit dans les zones sensibles du RTE-T (réseau global, liaisons et nœuds compris) dans les mécanismes de financement de l'UE (en particulier le mécanisme pour l'interconnexion en Europe).

REFERENCES

- 16. BImSchV 2006, *Seizième règlement de mise en œuvre de la loi fédérale sur la réduction de la pollution* (arrêté sur le bruit des transports - 16 BImSchV); Allemagne (langue originale: Sechzehnte Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verkehrslärmschutzverordnung - 16. BImSchV); Deutschland) (http://www.gesetze-im-internet.de/bimschv_16/BJNR010360990.html dernière visite: 3 janvier 2012).

- AEA et al. 2004, AEA Technology team, UIC, UIP, UIRR CER et UNIFE; *Status and options for the reduction of noise emission from the existing European rail freight wagon fleet* (Situation actuelle et options pour la réduction des émissions sonores de l'actuel parc européen de wagons de fret); 10 janvier 2004.

- ALPNAP 2007-1, Heimann D., de Franceschi M., Emeis S., Lercher P., Seibert P. (Eds.), 2007: *Living near the transit route - air pollution, noise and health in the Alps* (Vivre à proximité de la route de transit - pollution atmosphérique, bruit et santé dans les Alpes). brochure de l'ALPNAP. Università degli Studi di Trento, Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale, Trente, Italie, 20 p.

- ALPNAP 2007-2, Heimann D., de Franceschi M., Emeis S., Lercher P., Seibert P. (Eds.), 2007: *Air Pollution, Traffic Noise and Related Health Effects in the Alpine Space – A Guide for Authorities and Consulters* (Pollution atmosphérique, bruit des transports et effets sur la santé connexes dans l'espace alpin - Guide à l'intention des autorités et des conseillers); rapport complet de l'ALPNAP; Università degli Studi di Trento, Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale, Trento, Italie, 335 pp.

- Blidberg_2011, Karin Blidberg, *Railway noise issues in Sweden* (La problématique du bruit ferroviaire en Suède), présentation lors du 7e atelier annuel sur le bruit ferroviaire, Paris, 8-9 novembre 2011.

- Blumensaadt_2011, Jens Erik Blumensaadt Jensen, *Current noise mitigation, Railway noise issues in Denmark* (Réduction du bruit courant - La problématique du bruit ferroviaire au Danemark), présentation lors du 7e atelier annuel sur le bruit ferroviaire, Paris, 8-9 novembre 2011.

- BS 8233:1999, British Standard: *Sound insulation and noise reduction for buildings* (Isolation acoustique et réduction du bruit dans les bâtiments); Ð Code of practice (Code de bonne pratique Ð); ISBN 0 580 33009; publié sous l'autorité de la Commission des normes et entré en vigueur le 15 août 1999.

- Bukovnik 2010, Monika Bukovnik (psiA Consult GmbH): *Ausgewählte Kapitel zur Eisenbahnlärmbekämpfung* (sélection d'aspects concernant la réduction du bruit ferroviaire), présentation à l'Université des ressources naturelles et des sciences de la vie; Vienne 2010 (http://www.rali.boku.ac.at/fileadmin/_/H85/H856/_temp_/Bahn2_WS10.pdf (dernière visite: 14 juillet 2011)).

- Bundes-LärmV 2006, *Règlement du ministère de l'agriculture et de la sylviculture, de l'environnement et de la gestion de l'eau relatif aux méthodes et aux spécifications techniques pour la collecte du bruit ambiant* (règlement fédéral relatif au bruit dans

l'environnement - Federal LärmV) Journal officiel fédéral II n° 144/2006; 5 avril 2006; Autriche (langue originale: Verordnung des Bundesministers für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft über die Methoden und technischen Spezifikationen für die Erhebung des Umgebungslärms (Bundes-Umgebungslärmschutzverordnung – Bundes-LärmV) StF: BGBl. II Nr. 144/2006; 5. Avril 2006; Österreich).

- BVU INTRAPLAN 2008, conseiller BVU en matière de transports + Umwelt GmbH Intraplan Consult GmbH Dr. Kristina Birn Dipl.-Ing. Hans-Ulrich Mann: *Prévisions de la demande en matière de transports et du nombre de trains sur la route du Rhin supérieur pour 2025*, pour le compte du Conseil gouvernemental de Fribourg; janvier 2008 (langue originale: BVU Beratergruppe Verkehr + Umwelt GmbH Intraplan Consult GmbH Dr. Kristina Birn Dipl.-Ing. Hans-Ulrich Mann: *Prognose der Verkehrsnachfrage und der Zugzahlen auf der Oberrhein-strecke 2025*; im Auftrag des Regierungspräsidiums Freiburg; janvier 2008).

- CE Delft 2011, Arno Schroten; Huib van Essen: *External Cost Calculator - Methodology report Delft* (Calculateur de coûts externes - Rapport méthodologique Delft); CE Delft, septembre 2011.

- CE Delft et al. 2011, Huib van Essen, Arno Schroten, Matthijs Otten (CE Delft), Daniel Suter, Christoph Schreyer, R Arno Schroten; Remo Zandonella, Markus Mainach (INFRAS), Claus Doll (Fraunhofer-ISI): *External Costs of Transport in Europe - Study to the International Union of Railways (UIC) (Coûts externes des transports en Europe - Étude à l'intention de l'Union internationale des chemins de fer (UIC));* Delft, octobre 2011.

- CER UIC 2007, CER et UIC: *A 2007 report on the state of the art - Noise Reduction in Rail Freight* (Rapport 2007 sur l'état de la technique - Réduction du bruit dans le fret ferroviaire); Auteurs: Jakob Oertli, SBB (jakob.oertli@sbb.ch), Peter Hübner, UIC (peter.huebner@bluewin.ch); Version: mars 2008.

- Com(2010) 475*, Proposition de directive du Parlement européen et du Conseil établissant un espace ferroviaire unique européen (refonte),* introduite par la Commission européenne le 17 septembre 2010 (COM(2010) 475).

- Com 2002/735/CE, *DÉCISION DE LA COMMISSION du 30 mai 2002 concernant la spécification technique d'interopérabilité relative au sous-système «matériel roulant» du système ferroviaire transeuropéen à grande vitesse visée à l'article 6, paragraphe 1, de la directive 96/48/CE* (notifiée sous le numéro C(2002) 1952) (2002/735/CE).

- DB 2010, Chemins de fer allemands: Document d'orientation, - *Efficient noise protection - retrofitting of freight wagons conveying* (Protection efficace contre le bruit - réaménagement des wagons de fret); Chemins de fer allemands - Politique des transports; Berlin, septembre 2010 (langue originale: Deutsche Bahn: Positionspapier - *Effizienter Lärmschutz – Umrüstung von Güterwagen Fördern*; Deutsche Bahn AG – Verkehrspolitik; Berlin, septembre 2010).

- DEFRA 2010, Ministère de l'environnement, de l'alimentation et des affaires rurales, Plans d'action en matière de bruit: site internet qui reprend tous les plans d'action en matière de bruit au Royaume-Uni au 15 mars 2010; voir http://www.defra.gov.uk/environment/quality/noise/environmental-noise/action-plans/ (dernière visite: 3 janvier 2012).

- Dir. 96/48/CE, *Directive 96/48/CE du Conseil du 23 juillet 1996 relative à l'interopérabilité du système ferroviaire transeuropéen à grande vitesse.*

- Dir. 2001/14/CE, *Directive 2001/14/CE du Parlement européen et du Conseil du 26 février 2001 concernant la répartition des capacités d'infrastructure ferroviaire, la tarification de l'infrastructure ferroviaire et la certification en matière de sécurité.*

- Dir. 2002/49/CE, *Directive 2002/49/CE du Parlement européen et du Conseil du 25 juin 2002 relative à l'évaluation et à la gestion du bruit dans l'environnement.*

- Dir. 2008/57/CE, *Directive 2008/57/CE du Parlement européen et du Conseil du 17 juin 2008 relative à l'interopérabilité du système ferroviaire au sein de la Communauté.*

- Dir. 2011/76/UE, *Directive 2011/76/UE du Parlement européen et du Conseil du 27 septembre 2011 modifiant la directive 1999/62/CE relative à la taxation des poids lourds pour l'utilisation de certaines infrastructures*, publiée au JOUE L 269 du 14.10.2011.

- DEFRA 2010, *Noise Action Plan Major Railways (outside first round agglomerations)* (Plan d'action en matière de bruit: lignes ferroviaires majeures (en-dehors des agglomérations de premier rang)). Règlements relatifs au bruit dans l'environnement (Angleterre) 2006, tels que modifiés. Ministère de l'environnement, de l'alimentation et des affaires rurales (DEFRA), droit d'auteur de la Couronne, 16 mars 2010, Londres.

- Ville de Dublin 2008, *Dublin Agglomeration Action Plan Relating to the Assessment & Management of Environmental Noise* (Plan d'action de l'agglomération de Dublin relatif à l'évaluation et à la gestion du bruit dans l'environnement). Ville de Dublin, Baile Atha Cliath, Dublin.

- Dörsch 2009, Dr. Stefan Dörsch: État de la technique - Projet UIC, *Technology of Composite Brake Blocks* (Technologie des semelles de frein en matériau composite); Paris, 10.11.2009; présentation à Paris, 10 novembre 2009.

- CE 2003, Groupe de travail de la Commission européenne sur le bruit ferroviaire: *avis sur les stratégies européennes et les priorités en matière de réduction du bruit ferroviaire*, Luxembourg, Office des publications, 2003.

- CE 2011, RAPPORT DE LA COMMISSION AU PARLEMENT EUROPÉEN ET AU CONSEIL sur la mise en œuvre de la directive relative au bruit dans l'environnement conformément à l'article 11 de la directive 2002/49/CE du 1er juin 2011.

- AEE 2/2010, Agence européenne pour l'environnement: rapport 2/2010 de l'AEE: *Towards a resource-efficient transport system* (Vers un système de transport efficace dans l'utilisation des ressources); Copenhague, 2010; Luxembourg: Office des publications officielles de l'Union européenne, 2010.

- AEE 11/2010, Agence européenne pour l'environnement: rapport technique 11/2010 de l'AEE: *Good practice guide on noise exposure and potential health effects* (Guide des bonnes pratiques en matière d'exposition au bruit et d'effets potentiels sur la santé); Copenhague, 2010; Luxembourg: Office des publications officielles de l'Union européenne, 2010.

- AEE 7/2011, Agence européenne pour l'environnement: rapport 7/2011 de l'AEE: *Laying the foundations for greener transport, TERM 2011: transport indicators tracking progress towards environmental targets in Europe (Jeter les bases de transports plus verts, TERM 2011: des indicateurs des transports qui suivent les progrès dans la réalisation des objectifs environnementaux en Europe).*

- EIONET 2011, Base de données ROD («Reporting Obligations Database») de l'AEE. Agence européenne pour l'environnement (AEE), Copenhague (URL:<0 rod.eionet.europa.eu).

- ELPA, ELPA: *Rail Noise and Wear - Out Reduction Technology* (Technologie de réduction du bruit et de l'usure des rails); http://www.railway-technology.com/contractors/noise/elpa/; dernière visite: 3 janvier 2012.

- PE 2011, *Résolution législative du Parlement européen du 16 novembre 2011 sur la proposition de directive du Parlement européen et du Conseil établissant un espace ferroviaire unique européen (refonte) (COM(2010)0475 – C7-0268/2010 – 2010/0253(COD))* voir http://www.europarl.europa.eu/sides/getDoc.do?type=TA&reference=P7-TA-2011-0503&language=FR (dernière visite: 5 janvier 2011).

- CTE 2010, Centre thématique européen sur l'occupation des terres et l'information spatiale: *Population exposure to noise from different sources in Europe* (Exposition de la population au bruit de différentes sources en Europe); fichier «END_DF4_Results_101005_ETCLUSI_inclBG&SW.xls» à télécharger via http://eea.eionet.europa.eu/Public/irc/eionet-circle/etcte/library?l=/2009_subvention/113noise/data&vm=detailed&sb=Title; dernière visite: 3 janvier 2012.

- EUROSABOT 2011, site internet du projet EUROSABOT: http://ec.europa.eu/research/growth/gcc/projects/in-action-rail.html; dernière visite: 3 janvier 2012.

- EuroTrain, site internet du projet EuroTrain: http://europetrain.uic.org/; dernière visite: 3 janvier 2012.

- Fribourg 2009, *Ville de Fribourg: Plan d'action en matière de bruit conformément au point 47d de la loi fédérale sur la réduction de la pollution*; Fribourg, décembre 2009 (langue originale: Stadt Freiburg i. Br.: Lärmaktionsplan gemäß § 47d Bundes-Immissionsschutzgesetz; Freiburg, Dezember 2009.

- Gilliam 2008, Dietmar Gilliam, Chemins de fer AAE Ahaus-Alstätter: *Expériences pratiques avec les semelles de frein de type K* - présentation lors de la réunion d'automne du VAP, novembre 2008 (langue originale: Dietmar Gilliam, AAE Ahaus-Alstätter Eisenbahn: «Praktische Erfahrungen mit K-Sohlen» - Präsentation auf der VAP-Herbsttagung November 2008).

- Hemsworth 2006, Brian Hemsworth: *Noise Reduction at Source* (Réduction du bruit à la source) - projets financés par l'UE; présentation lors de la conférence RailNoise 2006; Pise, 9-10 novembre 2006.

- Hemsworth 2008, Hemsworth, Brian (2008): *Environmental Noise Directive, Development of Action Plans for Railways* (Directive sur le bruit dans l'environnement, élaboration de plans d'action pour les chemins de fer), UIC, avril 2008.

- Hiensch et. al 2007, Martin Hiensch, Babette Dirks, Jaap Horst et Jakko van der Stelt; *Rail head optimisation to reach a sustainable solution preventing Railway Squeal Noise* (Optimisation des champignons de rail en vue de parvenir à une solution durable pour prévenir les bruits de crissement) - présentation lors d'INTER-NOISE 2007; Istanbul, Turquie, 28-31 août 2007.

- ISO 1996-2:1987, *Norme internationale: Caractérisation et mesurage du bruit de l'environnement - Partie 2: Saisie des données pertinentes pour l'utilisation des sols.*

- Justice and Environment 2009a, *Make some Noise. Shadow Report on the Implementation of the Environmental Noise in Austria, Czech Republic, Estonia, Hungary, Slovakia and Slovenia* (Faites du bruit - Contre-rapport sur la mise en œuvre de la directive sur le bruit dans l'environnement en Autriche, République tchèque, Estonie, Hongrie, Slovaquie et Slovénie). Justice and Environment, European Network of Environmental Law Organisations. Programme LIFE+ de la Commission européenne. Dvorakova, 2009.

- Justice and Environment 2009b, *Make some Noise. Shadow Report on the Implementation of the Environmental Noise Directive – Estonia* (Faites du bruit - Contre-rapport sur la mise en œuvre de la directive sur le bruit dans l'environnement - Estonie). Justice and Environment, European Network of Environmental Law Organisations. Programme LIFE+ de la Commission européenne. Dvorakova, 2009.

- KCW et al. 2009, KWC, Steer Davies Gleave, TU Berlin (2009): *Analyses of preconditions for the implementation and harmonisation of noise-differentiated track access charges* (Analyses des conditions préalables à la mise en œuvre et à l'harmonisation des redevances d'accès aux voix en fonction du niveau d'émission sonore) - rapport final; présenté à la Commission, TREN/E2/287-2008.

- KCW 2011, KCW GmbH: Étude relative à la mesure des coûts de transaction de divers mécanismes d'incitation à la modernisation des véhicules de fret existants avec des semelles de frein en matériau composite; Berlin, 2011 (langue originale: KCW GmbH:, *Studie zur Ermittlung von Transaktionskosten verschiedener Anreizmodelle für die Umrüstung der Güterwagen-Bestandsflotte auf Verbundstoff-Bremssohlen;* Berlin, 2011).

- King et al. 2009, *Implementation of the EU Environmental Noise Directive: Lessons from the first phase of strategic noise mapping and action planning in Ireland* (Mise en œuvre de la directive européenne sur le bruit dans l'environnement: enseignements tirés de la première phase de cartographie stratégique du bruit et de planification d'actions en Irlande). E. A. King, E. Murphy, H.J. Rice, Trinity College Dublin et University College Dublin.

- Kummer et al. 2006, Sebastian Kummer, Philipp Nagl, Jan-Philipp Schlaak: *L'efficacité des projets de construction d'infrastructure ferroviaire sur l'exemple du tunnel de base du Brenner*; Université des sciences économiques et commerciales de Vienne, Institut de gestion de la chaîne logistique 2006 (langue originale: Sebastian Kummer, Philipp Nagl, Jan-Philipp Schlaak, *Zur Effizienz von Schieneninfrastrukturbau-Vorhaben am*

Beispiel des Brenner-Basistunnels - Forschungsbericht 1/2006; Wirtschaftsuniversität Wien. Institut für Transportwirtschaft und Logistik 2006).

- Lercher et al. 2007, Heimann D., de Franceschi M., Emeis S., Lercher P., Seibert P. (Eds.), 2007: *Living near the transit route - air pollution, noise and health in the Alps* (Vivre à proximité de la route de transit - pollution atmosphérique, bruit et santé dans les Alpes) - brochure de l'ALPNAP; Università degli Studi di Trento, Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale, Trento, Italie, 20 ppt.

- Licitra 2006, Gaetano Licitra; *Railway noise mitigation at source: an overview of possible solutions (Réduction du bruit ferroviaire à la source: vue d'ensemble des solutions possibles);* présentation lors de la conférence RailNoise 2006; Pise, 9-10 novembre 2006.

- Madshus et Kaynia 2000, C. Madshus, M. Kaynia: *High-speed railway lines on soft ground: dynamic behaviour at critical train speed (Lignes de chemin de fer à grande vitesse sur sol mou: comportement dynamique à vitesse critique);* Journal of Sound and Vibration (2000) 231(3), 689}701.

- Mather 2006, Dr. Matthias Mather, Rail Environmental Center, *Noise sources in transport and their significance: Rail transport* (Sources de bruit dans les transports et leur importance: le transport ferroviaire), Cologne, 16 mai 2006 (http://www.fv-leiserverkehr.de/pdf-dokumenten/Seminar_Verkehrslaerm/5-Mather.pdf dernière visite: 3 janvier 2012) (langue originale: Dr. Matthias Mather, Bahn Umwelt Zentrum, «Geräuschquellen im Verkehr und ihre Bedeutung: Schienenverkehr» Köln 16. Mai 2006).

- Müller et al. 2003, Bernhard Müller, Erwin Jansen, Fred de Beer (2003): *Projet de lutte contre le crissement en courbe de l'UIC, module de travail 3* – Boîte à outils des mesures existantes (http://www.uic.org/IMG/pdf/annex_1.3.pdf; dernière visite: 3 janvier 2012).

- NOISE 2011, *Noise Observation and Information Service for Europe* (Service d'observation et d'information en matière de bruit pour l'Europe); site internet avec des cartes du bruit, conformément à la directive 2002/49/CE: http://noise.eionet.europa.eu/index.html (dernière visite: 3 janvier 2012).

- ÖBB - BMVIT 2008, *Plan d'action en matière de bruit dans l'environnement, Autriche, 2008, Partie B11 - Voies de chemin de fer relevant du ministère fédéral des transports de l'innovation et de la technologie* (langue originale: Umgebungslärm-Aktionsplan Österreich 2008, Teil B11 - Schienenstrecken, im Zuständigkeitsbereich der Bundesministerin für Verkehr, Innovation und Technologie).

- Offenbourg 2009, *Ville d'Offenbourg: Planification de la réduction du bruit - Plan d'action dans le domaine du bruit 2009*; Offenbourg 2009 (langue originale: Stadt Offenburg: Lärmminderungsplanung – Lärmaktionsplan 2009, Offenburg 2009).

- Pokolainen 2011, Erkki Poikolainen, *Noise Mapping - Low height barrier - Finnish experiences* (Cartographie du bruit - Barrière de faible hauteur - Expériences finlandaises); présentation lors du 7e atelier annuel sur le bruit ferroviaire, Paris, 8-9 novembre 2011.

- PPG 24 2006, Ministère des collectivités locales et du gouvernement local: *Planning Policy Guidance 24: Planning and Noise (note explicative en matière de politique de planification 24: planification et bruit);* Eland House, Bressenden Place, Londres SW1E 5DU, 5 mai 2006.

- PWC 2007, PWC: *Impact assessment study on rail noise abatement measures addressing the existing fleets* (Analyse d'impact des mesures de réduction du bruit ferroviaire concernant le parc existant) - rapport final préparé pour le compte de la direction générale de l'énergie et des transports de la Commission européenne; Référence Tren/A1/46-2005; 10 décembre 2007.

- Q-City 2009, projet Quiet City Transport (Q-City) DÉLIVERABLE D5.3; Bruxelles – *Quiet tram vehicles on quiet tracks Performance report of applied squeal measures* (Des tramways silencieux sur des voies silencieuses: rapport d'évaluation des mesures de lutte contre le crissement)*;* Bruxelles, décembre 2009.

- Rapacz 2011, Piotr Rapacz, *EU Rail Noise Policy – perspective of DG MOVE* (Politique européenne en matière de bruit ferroviaire - perspective de la DG MOVE), présentation lors du 7e atelier annuel sur le bruit ferroviaire, Paris, 8-9 novembre 2011.

- ReMR 1996, Ministère du logement, de l'aménagement du territoire et de l'environnement: *Règlements en matière de calcul et de mesure du trafic ferroviaire '96*; 27 novembre 2001 (http://www.stillerverkeer.nl/rmv/RMVR/RMVR96.pdf; dernière visite: 3 janvier 2012) (langue originale: Ministerie Volkshuisvesting Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer: *Reken-en Meetvoorschrift Railverkeerslawaai '96;* 27 novembre 2001).

- Saabel 2011, Irmhild Saabel, WASCOSA AG: *Libéralisation, bruit et sécurité - à combien s'élèvent les coûts imposés par l'ECM, la STI «Bruit» et Viareggio*; présentation lors du Forum Güterwagen, 19 mai 2011 (langue originale: Irmhild Saabel, WASCOSA AG: *Liberalisierung, Lärm und Sicherheit – was kosten ECM, TSI Noise und Viareggio*; Präsentation auf dem Forum Güterwagen; 19. Mai 2011).

- SBB 2011, Chemins de fer fédéraux suisses: brochure *Silence, s'il-vous-plait,* (http://www.sbb.ch/content/sbb/de/desktop/sbb-konzern/die-sbb-bewegt-die-schweiz/der-umwelt verpflichtet/laerm/_jcr_content/relatedPar/contextmenu_1/downloadList/download_1.spooler.download.pdf; dernière visite: 3 janvier 2012) Langue originale: Schweizer Bundesbahn: – *Broschüre Ruhe bitte!.*

- SBB Lärmschutz, www.laerm-sbb.ch/; site internet des Chemins de fer fédéraux suisses (SBB) contenant des informations publiques sur le contenu et le statut actuel du programme de protection contre le bruit et sur les possibilités de financement des mesures de réduction du bruit pour les particuliers.

- Schreckenberg et al. 2011, Dirk Schreckenberg, Wolfgang Eberle, Gunther Möller: *Étude des nuisances et des perturbations du sommeil dues au bruit du trafic ferroviaire dans la vallée du Rhin moyen et dans la Rheingau/Hesse rhénane*; réduction du bruit Bd. 6/2011) n° 3; mai 2011. Langue originale: Dirk Schreckenberg, Wolfgang Eberle, Gunther Möller: Befragung zur Belästigung und zu Schlafstörungen durch Schienenverkehrslärm im Mittelrheintal und Rheingau/Rheinhessen, Lärmbekämpfung Bd. 6 (2011) Nr. 3; Mai 2011.

- Sierra 2011, Marta Ruiz Sierra, *Mesures de réduction du bruit dans la planification et la gestion espagnoles*, présentation lors du 7e atelier annuel sur le bruit ferroviaire, Paris, 8-9 novembre 2011.

- SUEKI et al. 2009, Takeshi Sueki, Mitsuru Ikeda, Takehisa Takaishi: Aerodynamik Noise *Reduction using porous Material and their Application to High-speed Pantopraphs* (Réduction du bruit aérodynamique à l'aide de matériaux poreux et leur application aux pantographes à grande vitesse)*; QR of RTRI, Vol. 50, n° 1,* février 2009.

- Talotte 2000, C. Talotte (SNCF): «A*erodynamic noise: A critical survey*» (Le bruit aérodynamique: étude critique); Journal of Sound and Vibration (2000) 231(3).

- Talotte et al. 2003, C. Talotte, P.-E. Gautier, D.J. Thompson, C. Hanson: *Identification, modelling and reduction potential of railway noise sources: a critical survey (Potentiel d'identification, de modélisation et de réduction des sources de bruit ferroviaire: étude critique);* Journal of Sound and Vibration 267 (2003) 447–468.

- Thameslink 2004 Temple Environmental Consultants Ltd: *Noise and Vibration Specialist Report (Rapport spécialisé sur le bruit et la vibration); préparé pour Network Rail Infrastructure Ltd, juin 2004.* [Thameslink 2005 Enquête: CD219].

- Thameslink 2005, Temple Environmental Consultants Ltd: *Blackfriars Noise Assessment Report*(Rapport d'évaluation du bruit Blackfriars); préparé pour Network Rail [Thameslink 2005 Enquête: CD220].

- Thompson 2008-1, David Thompson: *Noise control through rail grinding* (Réduction du bruit par meulage des rails); présentation lors du séminaire final IPG-Rail; Doorn, Pays-Bas, décembre 2008.

- Thompson 2008-2, David Thompson: *Rail dampers* (Les amortisseurs sur rail); présentation lors du séminaire final IPG-Rail; Doorn, Pays-Bas, décembre 2008.

- Thompson et Gautier 2006, D J Thompson (Université de Southampton) et P-E Gautier (SNCF): *Review of research into wheel/rail rolling noise reduction* (Bilan des recherches dans le domaine de la réduction du bruit de roulement roue/rail); JRRT79 IMechE 2006JRRT79 IMechE 2006.

- Transalpine, www.transalpine.com; site internet du comité transalpin pour la planification du corridor ferroviaire entre Turin et Lyon (dernière visite: 15 février 2012).

- STI «BRUIT» 2006, *DÉCISION DE LA COMMISSION du 23 décembre 2005 relative à la spécification technique d'interopérabilité concernant le sous-système "Matériel roulant — bruit" du système ferroviaire transeuropéen conventionnel (notifiée sous le numéro C(2005) 5666).*

- STI «BRUIT» 2011, *DÉCISION DE LA COMMISSION (2011/229/CE) du 4 avril 2011 relative à la spécification technique d'interopérabilité concernant le sous-système "matériel roulant – bruit" du système ferroviaire transeuropéen conventionnel.*

- UIRR 2010, *International Union of combined Road-Rail transport companies* (Union internationale des sociétés de transport combiné Rail-Route)*:* rapport annuel 2010; rue Montoyer 31/boîte 11, B-1000 Bruxelles, Bruxelles 2010.

- UIC et al. 2007, UIC, CER, UIRR, ERFA, EIM et UIP: *Document d'orientation sur le DOCUMENT CONSULTATIF DES SERVICES DE LA COMMISSION - Mesures de réduction du bruit ferroviaire concernant le parc existant*; 27 juillet 2007.

- [UIC 2008], Brian Hemsworth - Noise Consultant LLP: *Environmental Noise Directive, Development of Action Plans for Railways* (Directive sur le bruit dans l'environnement, élaboration de plans d'action pour les chemins de fer); préparé pour l'Union internationale des chemins de fer (UIC).

- UIC 2010, Union internationale des chemins de fer (UIC): *Bruit ferroviaire en Europe – Le rapport 2010 sur l'état d'avancement de la problématique*; ISBN: 978-2-7461-1881-2; Paris, septembre 2010.

- UIC 2011, Oertli, Jakob (2011): *Railway Freight Noise Reduction, 6th annual workshop: bringing things together (Réduction du bruit du fret ferroviaire, 6e atelier annuel: rassembler les éléments) dans le Focus de l'UIC, n° 6, avril 2011.*

- van den Dool 2007, ir. Ph.(Philip) H. van den Dool: *Rail Dampers, rail infrastructure gets quiet* (Les amortisseurs sur rail: quand l'infrastructure ferroviaire se fait silencieuse); présentation lors de l'INTER-NOISE, Istanbul, Turquie, 31 août 2007.

- VBUSch 2006, Ministère fédérale de l'environnement, de la conservation de la nature et de la sûreté nucléaire et Ministère fédéral des transports, des bâtiments et du développement urbain, *Méthode préliminaire de calcul du bruit dans l'environnement dans les chemins de fer) – VBUSch*; publié le 10 mai 2006 (langue originale: Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit und Bundesminsterium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung; «Vorläufige Berechnungsmethode für den Umgebungslärm an Schienenwegen; Veröffentlich im Bundesanzeiger 22. Mai 2006).

- VDV 2011, Association des sociétés de transport allemandes: *Bruit ferroviaire:* offrir des incitants à la modernisation des wagons de fret; communiqué de presse, Berlin, 20 mai 2011 (langue originale: Verband Deutscher Verkehrsunternehmen: „Schienenlärm: Anreize zur Umrüstung von Güterwagen setzen»; Presseinformation Berlin, 20.Mai 2011).

- VDV VPI 2011, Verband Deutscher Verkehrsunternehmen und Vereinigung der Privatgüterwageninteressierten: *Lärmabhängiges Trassenpreissystem des Bundes ist ungerecht*; Pressemitteilung Nummer 15, Köln, 5.7.2011 Association des sociétés de transport allemandes et Association des propriétaires de wagons de fret privés: *Le système de redevances en fonction du bruit est injuste*, communiqué de presse n° 15, Cologne, 5.7.2011.

- Wang et al. 2000, A. Wang, S. J. Cox, D. Gosling, J. E. W. Prudhoe: *Railway bridge noise control with resilient baseplates* (Réduction du bruit des ponts ferroviaires à l'aide de plaques d'assise résilientes); Journal of Sound and Vibration (2000) 231(3), 907}911.

- OMS 2009, Organisation mondiale de la santé: *Night noise guidelines for Europe* (Valeurs guides concernant le bruit nocturne en Europe); Bureau régional de l'OMS pour l'Europe, Scherfigsvej 8, DK-2100 Copenhague Ø, Danemark; ISBN 978 92 890 4173 7; http://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0017/43316/E92845.pdf, dernière visite: 3 janvier 2012).

- OMS CCR 2011, Centre européen pour l'environnement et la santé de l'OMS, bureau de Bonn, bureau régional de l'OMS: *Burden of disease from environmental noise Quantification of healthy life years lost in Europe* (La charge de morbidité imputable au bruit ambiant. Quantification du nombre d'années de vie en bonne santé perdues en Europe); ISBN: 978 92 890 0229 5; http://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0008/136466/e94888.pdf, dernière visite: 3 janvier 2012.

- ZEUS Möhler 2005, ZEUS GmbH et Möhler+Partner; *Nuisances diurnes dues au bruit du trafic routier et ferroviaire - méthode et résultats empiriques*; www.verkehrslaermwirkung.de/05UFS2206.pdf (dernière visite: 3 janvier 2012, langue originale: ZEUS GmbH und Möhler+Partner: *Tageszeitsbezogene Belästigung durch Straßen- und Schienenverkehrslärm - Methode und empirische Ergebnisse*).

- ZEUS Möhler 2010, ZEUS GmbH, Centre de psychologie appliquée et de recherche environnementale et sociale - Hagen; Möhler + Partner, ingénieurs conseils en isolation et physique des bâtiments – Munich: *Primes à la réduction du bruit pour les chemins de fer?*; étude pour le compte de l'Agence fédérale pour l'environnement; publiée en tant que Textes 23/2010, ISSN 1862-4804, Postfach 14 06, 06813 Dessau Langue originale: ZEUS GmbH, Zentrum für angewandte Psychologie, Umwelt- und Sozialforschung - Hagen; Möhler + Partner, Beratende Ingenieure für Schallschutz und Bauphysik - München: *Lärmbonus bei der Bahn?,* Ist die Besserstellung der Bahn imVergleich zu anderen Verkehrsträgern noch gerechtfertigt?, Studie im Auftrag des Umweltbundesamtes; erschienen als Texte 23/2010; ISSN 1862-4804; Herausgeber: Umweltbundesamt, Postfach 14 06, 06813 Dessau-Roßlau.

ANNEXE I: ÉMISSIONS DE BRUIT DANS L'ENVIRONNEMENT DANS LES ÉTATS MEMBRES ET LES AGGLOMÉRATIONS (RÉFÉRENCES [CTE 2010])

		Rail noise outside agglomerations									
		Nr of people exposed to different noise bands (Lden) [dB(A)]					Nr of people exposed to different noise bands (Lnight) [dB(A)]				
Country	***km***	*55-59*	*60-64*	*65-69*	*70-74*	*>75*	*50-55*	*55-59*	*60-64*	*65-69*	*>70*
Austria		217,300	121,700	47,900	16,900	7,500	194,200	98,900	36,700	13,300	5,600
Belgium		33,300	19,700	16,100	13,400	3,900	25,700	17,200	15,000	7,500	1,800
Czech Republic	270	13,300	2,600	1,100	300	0	6,700	2,000	800	200	0
Denmark	1,776	20,200	5,500	1,900	1,200	100	12,100	3,300	1,600	800	0
Finland		15,100	5,900	2,300	200	0	8,800	4,000	800	0	0
France	1,435	624,200	420,000	250,300	139,500	105,200	519,600	348,400	207,100	112,900	70,000
Germany	17,282	1,588,700	693,400	218,200	87,900	58,000	1,392,500	547,600	175,700	73,100	44,800
Hungary	32	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ireland	58	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Italy	591	89,900	61,900	37,300	33,000	24,800	87,000	67,300	35,600	31,300	25,400
Luxembourg	20	100	100	0	0	0	100	0	0	0	0
Norway		4,500	2,600	2,000	700	900	3,600	2,100	1,300	500	600
Poland	16	900	200	100	0	0	700	100	100	0	0
Portugal	115	21,200	11,600	8,000	7,200	4,400	14,900	9,400	7,500	5,500	1,100
Romania		3,900	1,000	0	0	0	5,500	3,400	700	0	0
Slovenia	68	5,600	2,600	1,100	400	300	4,700	2,400	1,000	400	300
Spain	742	45,700	23,500	11,000	1,600	0	34,900	19,300	6,000	500	0
Sweden		58,100	33,800	12,300	4,800	1,700	43,900	21,200	7,700	2,500	1,200
Switzerland		39,500	23,600	12,500	8,800	3,800	30,400	16,700	10,700	6,100	2,400
United Kingdom		80,800	50,300	32,500	14,100	2,100	56,400	36,400	18,500	3,800	100
Total general		2,862,300	1,480,000	654,600	330,000	212,700	2,441,700	1,199,700	526,800	258,400	153,300
Total EU 27		2,818,300	1,453,800	640,100	320,500	208,000	2,407,700	1,180,900	514,800	251,800	150,300

Légende:

Rail noise outside agglomerations	Bruit ferroviaire hors agglomération
Nr of people exposed to different noise bands (Lden) [dB(A)]	Nombre de personnes exposées à différentes bandes de bruit (Lden) [dB(A)]
Nr of people exposed to different noise bands (Lnight) [dB(A)]	Nombre de personnes exposées à différentes bandes de bruit (Lnight) [dB(A)]

		Rail noise in agglomerations									
		Nr of people exposed to different noise bands (Lden)					Nr of people exposed to different noise bands (Lnight)				
Country	Inhabi-tants	55-59	60-64	65-69	70-74	>75	50-55	55-59	60-64	65-69	>70
Austria	1,610,578	107,000	81,100	57,900	35,500	9,500	101,900	76,700	41,900	28,800	4,100
Bulgaria	2,084,000	18,400	5,800	500	100	0	16,300	6,100	200	0	0
Czech Republic	1,852,955	74,800	59,500	65,900	14,500	0	63,300	69,800	32,000	400	0
Denmark	1,071,714	19,400	7,400	2,600	1,000	100	12,500	4,900	1,500	600	0
Estonia	401,140	10,600	6,900	3,500	900	0	9,000	5,700	2,500	300	0
Finland	560,905	27,500	25,400	16,700	200	0	27,600	21,500	2,000	0	0
France	13,664,912	1,488,600	208,800	117,700	63,500	43,000	1,426,900	148,200	63,700	34,300	12,800
Germany	17,265,322	478,300	246,700	122,400	31,400	5,700	393,800	194,400	75,800	16,700	3,300
Hungary	2,065,230	132,500	50,600	19,600	7,900	1,200	110,700	40,900	16,400	6,000	700
Ireland	1,150,000	10,600	6,800	2,800	500	0	7,700	3,500	1,400	100	0
Italy	4,190,684	34,000	30,900	24,800	6,400	1,400	34,500	37,800	19,500	4,600	2,100
Latvia	806,993	28,400	20,100	6,300	800	100	25,500	9,400	4,700	400	0
Lithuania	932,847	9,100	5,000	1,100	300	0	8,600	2,800	800	200	0
Netherlands	5,026,059	118,600	60,700	25,000	8,800	1,000	94,100	40,800	12,700	4,100	1,200
Norway	822,800	19,200	15,500	16,000	4,900	0	18,300	18,100	7,900	600	0
Poland	7,446,365	323,600	197,900	98,100	38,500	6,900	191,800	108,100	37,300	700	100
Romania	4,079,364	135,700	90,700	15,700	1,300	100	184,200	111,700	44,600	4,800	200
Slovakia	528,129	95,100	67,600	38,500	16,600	3,700	92,300	54,200	32,900	8,700	2,600
Slovenia	266,251	6,700	3,500	900	0	0	5,800	2,300	500	200	0
Spain	8,116,104	16,300	7,200	1,300	500	0	9,700	2,900	1,000	200	0
Sweden	1,548,886	84,900	37,800	13,400	5,400	1,500	56,300	22,100	7,100	2,800	300
Switzerland	5,300,000	182,700	126,600	98,500	62,300	25,900	156,100	107,700	85,000	41,600	16,900
United Kingdom	25,613,309	395,500	291,400	157,900	46,800	6,000	321,000	193,700	69,600	14,000	2,200
Total general	106,404,547	3,817,500	1,653,900	907,100	348,100	106,100	3,367,900	1,283,300	561,000	170,100	46,500
Total EU 27	105,581,747	3,615,600	1,511,800	792,600	280,900	80,200	3,193,500	1,157,500	468,100	127,900	29,600

Légende:

Rail noise in agglomerations	Bruit ferroviaire en agglomération
Nr of people exposed to different noise bands (Lden) [dB(A)]	Nombre de personnes exposées à différentes bandes de bruit (Lden) [dB(A)]
Nr of people exposed to different noise bands (Lnight) [dB(A)]	Nombre de personnes exposées à différentes bandes de bruit (Lnight) [dB(A)]

ANNEXE II: NIVEAUX DE BRUIT MAXIMAUX DU MATÉRIEL ROULANT SELON LA STI «BRUIT»

Tableau 1: Valeurs limites de LpAeq, Tp pour le bruit au passage des wagons de fret

Wagons	LpAeq, Tp en dB
Wagons neufs avec un nombre d'essieux moyen par unité de longueur (APL) inférieur ou égal à 0,15 m^{-1} à 80 km/h	82
Wagons renouvelés ou réaménagés conformément à l'article 20 de la directive 2008/57/CE avec un nombre d'essieux moyen par unité de longueur (APL) inférieur ou égal à 0,15 m^{-1} à 80 km/h	84
Wagons neufs avec un nombre d'essieux moyen par unité de longueur (APL) supérieur à 0,15 m^{-1} et inférieur ou égal à 0,275 m^{-1} à 80 km/h	83
Wagons renouvelés ou réaménagés conformément à l'article 20 de la directive 2008/57/CE avec un nombre d'essieux moyen par unité de longueur (APL) supérieur à 0,15 m^{-1} et inférieur ou égal à 0,275 m^{-1} à 80 km/h	85
Wagons neufs avec un nombre d'essieux moyen par unité de longueur (APL) supérieur à 0,275 m^{-1} à 80 km/h	85
Wagons renouvelés ou réaménagés conformément à l'article 20 de la directive 2008/57/CE avec un nombre d'essieux moyen par unité de longueur (APL) supérieur à 0,275 m^{-1} à 80 km/h	87

Tableau 2: Valeur limite de LpAeq, T pour le bruit en stationnement des wagons de fret

Wagons	LpAeq, Tp en dB
Tout wagon de fret	65

Tableau 3: Valeurs limites de LpAeq, T pour le bruit en stationnement de locomotives électriques, locomotives diesel, OTM, EAE, EAD et voitures de voyageurs

Wagons	LpAeq, Tp en dB
Locomotives électriques et OTM à moteur électrique	75
Locomotives diesel et OTM à moteur diesel	75
EAE	68
EAD	73
Voitures de voyageurs	65

Tableau 4: Valeurs limites de LpAFmax pour le bruit au démarrage de locomotives électriques, locomotives diesel, OTM, EAE et EAD

Véhicule	$LpAF_{max}$ en dB
Locomotives électriques P < 4500 kW à la roue	82
Locomotives électriques P >/= 4500 kW à la roue et OTM à moteur électrique	85
Locomotives diesel P < 2000 kW à l'arbre de sortie du moteur	86
Locomotives diesel P >/= 2000 kW à l'arbre de sortie du moteur et OTM à moteur diesel	89
EAE	82
EAD P < 500 kW/moteur	83
EAD P >/= 500 kW/moteur	85

Tableau 5: Valeurs limites de LpAeq, Tp pour le bruit au passage de locomotives électriques, locomotives diesel, OTM, EAE, EAD et voitures de voyageurs

Véhicule	LpAeq, Tp en dB
Locomotives électriques et OTM à moteur électrique	85
Locomotives diesel et OTM à moteur diesel	85
EAE	81
EAD	82
Voitures de voyageurs	80

ANNEXE III: COMPARAISON DE LA COUVERTURE DES BOGIES DE DIFFÉRENTS MATÉRIELS ROULANTS MODERNES

Bogies bien couverts par la carrosserie de la locomotive suisse de type RE 460 (Lok 2000).

Bogie ouvert de la locomotive moderne Bombardier Traxx (par exemple, la locomotive allemande de type 186).

Bogies bien couverts de la voiture de voyageurs suisse IC2000.

Bogie ouvert des voitures à deux niveaux modernes allemandes.

ANNEXE IV: RÉGLEMENTATIONS IMPORTANTES ET ANALYSÉES

Documents politiques et directives de l'UE	Contenus relatifs à la réglementation des chemins de fer et au bruit ferroviaire
Documents politiques	
Livre blanc 2001	La politique européenne des transports à l'horizon 2010: Rééquilibrer les modes de transport. Revitaliser le rail. Vers des corridors multimodaux à priorité fret.
Livre blanc 2011	Un véritable marché intérieur des services ferroviaires. Normes en matière de réduction de la pollution sonore. Parmi les dix objectifs pour un système de transport compétitif et économe en ressources: faire passer 30 (50)% du fret routier sur des distances supérieures à 300 km vers le rail et les voies navigables d'ici 2030 (2050).
Directive	
Directive 1991/440	Cadre et exigences juridiques pour un réseau ferroviaire compétitif. Organisation commerciale des sociétés. Séparation des entreprises de gestion de l'infrastructure et de services. Libre accès au réseau ferroviaire. Transports transfrontaliers libéralisés.
Directives 2001/12-14	Cadre réglementaire global pour les chemins de fer, par exemple: séparation claire des aspects publics et commerciaux. Libération des sociétés d'anciennes dettes. Comptabilité et bilans séparés pour la gestion d'infrastructure et la prestation de services. Mise à disposition de capacités et tarification pour la fourniture de l'infrastructure.
Paquets ferroviaires 2001, 2002 et 2004	Spécification du libre accès, installations essentielles. Spécification des obligations réglementaires. Création d'organes de réglementation au niveau national et européen (Agence ferroviaire européenne). Principes des redevances d'accès aux voies (coût marginal plus majorations). Ouverture du marché pour le transport longue distance de fret (2007) et de voyageurs (2010). Réglementation des droits des voyageurs et de la qualité du transport de fret. Permis de conduire ferroviaire européen.
Refonte du premier paquet ferroviaire 2010 Statut: à l'examen.	Spécifications complètes pour l'établissement d'un espace ferroviaire unique européen. Objectifs généraux: établir un marché ferroviaire intérieur avec un degré élevé de compétitivité et un développement harmonieux, équilibré et durable des activités économiques. Revitalisation des chemins de fer, transfert modal. Objectifs horizontaux: simplification, clarification et modernisation juridiques afin de faciliter la mise en œuvre. Objectifs spécifiques: assurer un financement durable de l'infrastructure. Éviter les distorsions de concurrence. Offrir une réglementation efficace et indépendante. Application des principes des redevances d'accès aux voies compte tenu des effets externes (par exemple, le bruit). Douze appendices avec des spécifications détaillées pour l'application.

Décision COM connexe	
COM 2006/66 (STI «Bruit»)	Spécification technique d'interopérabilité relative au sous-système «matériel roulant-bruit». Spécification fonctionnelle et technique du sous-système. Limites pour le bruit au passage et en stationnement. Limites pour les locomotives, les éléments automoteurs et les voitures de voyageurs. Mesure, évaluation, application au matériel roulant neuf et existant.
Directives connexes	
Directive 2002/49	Évaluation et gestion du bruit dans l'environnement. Indicateurs de bruit, mesure et évaluation du bruit. Obligations de publier des cartes du bruit. Obligation d'élaborer des plans d'action en matière de bruit. Obligation de réexamen et d'établissement de rapports. Six annexes avec des spécifications détaillées.
Rapport de la Commission au Parlement européen et au Conseil sur la mise en œuvre de la directive 2002/49	Premier rapport de mise en œuvre basé sur les dates limites de mise en œuvre 2005-2012. Indicateurs de bruit et valeurs limites largement transposés. Résultats significatifs en matière d'harmonisation de la mesure du bruit et d'établissement de rapports statistiques/cartographie du bruit. Des difficultés demeurent avec l'évaluation du bruit basée sur la santé et la situation hétérogène des plans d'action nationaux.
Directive 2006/38 révisée	Taxation des poids lourds sur les autoroutes pour l'utilisation de l'infrastructure. Base: répartition des coûts d'infrastructure plus majorations pour la pollution sonore et atmosphérique. C'est la condition préalable définie dans la directive 2001/14 pour inclure les coûts du bruit dans le système de redevances d'accès aux voies.

PARLEMENT EUROPÉEN

CATALOGUE BA-32-12-105-FR-C

DIRECTION GENERALE DES POLITIQUES INTERNES

DÉPARTEMENT THÉMATIQUE B
POLITIQUES STRUCTURELLES ET DE COHÉSION

Rôle

Les Départements thématiques sont des unités de recherche qui fournissent des conseils spécialisés aux commissions, délégations interparlementaires et autres organes parlementaires.

Domaines

- Agriculture et développement rural
- Culture et éducation
- Pêche
- Développement régional
- Transport et tourisme

Documents

Visitez le site web du Parlement européen:
http://www.europarl.europa.eu/studies

SOURCE PHOTO: iStock International Inc., Photodisk, Phovoir

ISBN 978-92-823-3694-6
doi: 10.2861/66509

Office des publications