Performances

Note de veille
WCRR 2011

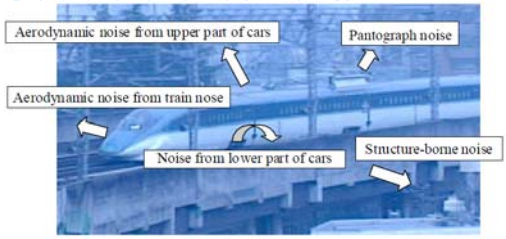
RÉDUCTION DES BRUITS ET VIBRATIONS

Juillet 2011

Cette note fait le point sur les travaux concernant les bruits et les vibrations (mesure, modèles, moyens de prévention) présentés à la conférence mondiale sur la recherche ferroviaire 2011 (WCRR 2011) qui a eu lieu du 23 au 25 mai 2011 à Lille. Environ 800 personnes ont assisté à cette conférence structurée selon huit thèmes : un train de plus en plus efficace énergétiquement, un train respectueux de l'environnement, augmenter les capacités et les services de fret, un monde de service pour les passagers, rapprocher les territoires à plus grande vitesse, encore plus de trains encore plus à l'heure, un train encore plus concurrentiel et efficace en termes de coût, un train encore plus sûr. Ces huit thèmes (hors sessions plénières) ont fait l'objet d'environ 220 présentations et 90 posters.

Le bruit et les vibrations comptent parmi les principaux facteurs d'inconfort des conducteurs, des passagers et des résidents proches des voies ferrées. Les vibrations sont par ailleurs un facteur d'accélération du vieillissement du matériel. La détermination et la modélisation des causes de vibration est un travail complexe qui demande de coûteuses campagnes d'essais. Même en tenant compte des contraintes de coût et de sécurité, la résolution d'un problème en fait parfois apparaître un autre. Par exemple, l'Institut de Recherche Technique Ferroviaire japonais (RTRI), ayant réduit les vibrations verticales, a constaté que les passagers percevaient alors davantage les vibrations latérales.

Pour un train à grande vitesse, les principales sources de bruit sont :
- Le pantographe,
- La partie inférieure du train (roues),
- Le frottement de l'air sur la partie supérieure du train,
- Le frottement de l'air sur le nez du train,
- Les structures.

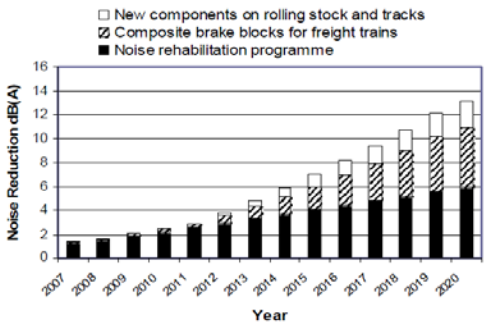


Source de bruit dans un train à grande vitesse [13]

Réduire le bruit et les vibrations pour les riverains

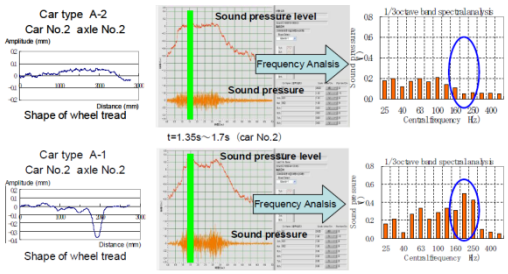
La Deutsche Bahn (DB) considère qu'il y a trois moyens de réduire le bruit pour les riverains :
- réduire la rugosité du rail et de la roue ;
- réduire la vibration du rail, de la roue et de la traverse ;
- faire écran aux ondes sonores pour le voisinage des voies.

La DB envisage d'évaluer les performances acoustiques, de sécurité et de maintenance de prototypes représentant ces trois approches en 2011.
Elle s'est fixée pour objectif de réduire de moitié le bruit perçu par les riverains en 2020 comparé au bruit perçu en 2000. La réduction proviendrait pour moitié du retrofit des matériels existants, pour environ un tiers de nouveaux blocs de freins composites pour trains de marchandises et pour le reste de nouveaux équipements en matériel roulant et sur les voies.



Objectifs de réduction de bruit de la Deutsche Bahn par type de mesure [6]

West Japan Railways a mis en évidence l'influence de l'état de surface de contact de la roue avec la fréquence du bruit causé.

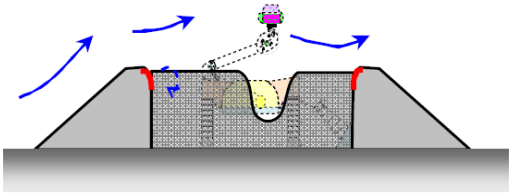


Comparaison des spectres de bruits en fonction de l'état de surface de la roue [6]

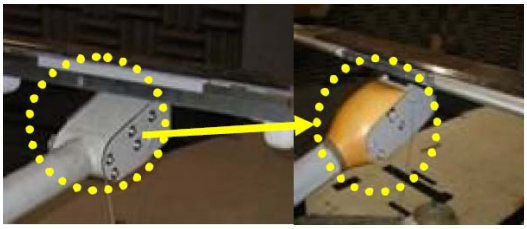
Le constructeur italien de matériel roulant AnsaldoBreda et l'Université de Florence ont développé des modèles pour simuler le bruit aérodynamique généré par un train à moyenne vitesse (70 m/s soit ~250 km/h). Le modèle s'appuie sur le code de calcul de mécanique des fluides en logiciel libre Open FOAM. La comparaison avec des données expérimentales a montré que le modèle fournissait une bonne prédiction de la sélection des fréquences et des valeurs pics.

Pantographe

West Japan Railways a arrondi la forme du pantographe pour réduire le bruit. Des caches ont également été placés sur l'extrémité, la charnière et le support. La forme du capot de l'isolateur a été optimisée (angle de la pente et arrondissement des bords de la cavité ou passe le pantographe).



Forme optimisée du capot de l'isolateur [6]



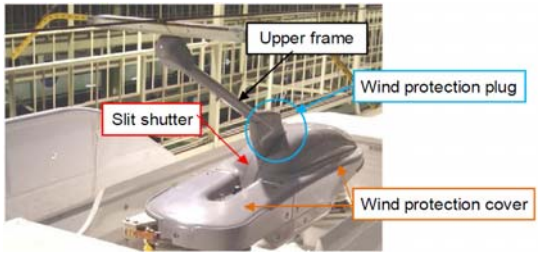
Forme de la tête du pantographe [6]

Les efforts s'étant concentrés sur la réduction du bruit causé par le pantographe, le bruit causé par l'interstice entre les voitures a pris plus d'importance.

West Japan Railways a optimisé un capot à bords arrondis pour réduire les sons causés par :

- l'impact de l'air sur les bords des wagons,
- la résonnance créée par la cavité entre les voitures.

Central Japan Railway Company a diminué de 1 dB le bruit causé par le pantographe sur les locomotives de Shinkansen série N700 (en service depuis 2007) par rapport à l'ancien modèle série 700. Cette réduction a été obtenue an plaçant un capot. La principale difficulté rencontrée lors de la conception a été d'assurer une force aérodynamique de levage du pantographe régulière quelle que soit la direction dans laquelle roule le train.



Capot et caches pour pantographes [15]

Freinage

Le projet AcouFren (2009-2011) dirigé par la SNCF et financé en partie par l'Ademe a pour but de développer de nouveaux outils de simulation pour la conception de freins à disques afin d'en réduire le bruit. AcouFren développe également un outil de prédiction du crissement ("squeal") et une base de données de crissements. Le projet doit se terminer par la réalisation de quatre prototypes de disques (deux pour TGV, deux pour autorail grande capacité [AGC]). Les partenaires sont l'INRETS, l'éditeur de logiciel de simulation français SDTools, Vibratec, l'Ecole nationale des ponts, l'Ecole Centrale de Lyon, Alstom Transport, Bombardier, Faiveley, et le fournisseur de matériel ferroviaire français Frentec.

Le programme "Whispering Train" (financé par les Pays-Bas et géré par ProRail, gestionnaire des voies ferrées hollandaises) a commencé en 2002. Il a pour but d'homologuer les sabots de freinage LL en Europe. Les sabots LL sont obtenus par frittage de poudres composites plutôt que par moulage de l'acier comme les sabots de freins actuels. Les sabots LL permettent de réduire le bruit de freinage jusqu'à -7 dB(A).

Par contre, ils usent les roues 1,5 à 2 fois plus vite que les freins en acier.
Cette usure prématurée offre des avantages, le principal étant que la surface de roulement est plus lisse (ce qui réduit le bruit). Les roues équipées avec des sabots LL ont moins de chance de développer des irrégularités ou des points plats (ceux-ci sont rapidement polis). Elles s'écaillent aussi moins facilement suite à la fatigue du métal.
Les blocs LL (hors leur coût) présentent également des inconvénients. Ils peuvent résulter en une augmentation de la conicité équivalente (paramètre décrivant l'interaction entre le profil de la roue et le rail) du train de roue et donc une diminution de la stabilité du wagon. L'augmentation de la conicité équivalente pourrait également dégrader la voie et dans certains cas extrêmes amener à un déraillement.

La DB est responsable du projet de recherche allemand LäGiV lancé en 2011. Ce projet a pour but de développer un block K (matériau à fort coefficient de friction comparé à l'acier) ou LL (matériau à faible coefficient de friction) de seconde génération avec un frein en composite pour réduire le bruit. Les cinq fabricants de freins associés au projet sont : Becorit, Bremskerl, Federal Mogul, Honeywell et TMD.

Absorbeurs et panneaux
La DB évalue des absorbeurs sur :
- Rails : composés d'éléments en acier qui vibrent avec le rail) et en élastomère (qui absorbent les vibrations de la partie en acier),
- Roues : empilement de feuilles de métal et d'élastomère.

Les absorbeurs sur roues sont une technologie éprouvée utilisée sur les ICE (trains de voyageurs à grande vitesse allemands) qui permet de réduire le bruit de -4dB(A) à plus de 100 km/h. Elle ne peut cependant pas être appliquée aux trains de marchandises. En effet, les wagons de fret sont équipés de blocks K qui freinent sur la circonférence de la roue et non pas sur le disque de la roue comme les freins d'ICE. Ce freinage sur la circonférence induit un échauffement plus localisé et important qui risquerait d'endommager l'absorbeur. Par ailleurs, le trafic fret est beaucoup plus sensible au coût de nouvelles solutions que le trafic voyageur.
Dans le cadre du projet européen Silence, DB a testé des roues avec amortisseurs fournies par Lucchini.

Dans le cadre du projet allemand LZarG (2007–2010), DB a optimisé les bogies de fret et de trains régionaux. Pour réduire le bruit de chaque élément et les contraintes thermiques sur les roues pendant le freinage, DB a :
- optimisé la forme des roues,
- développé de nouveaux absorbeurs sur roues,
- ajouté des modules absorbeurs sur les rails et les attaches de traverse.

Les absorbeurs développés par Vossloh ont déjà été montés avec des attaches rigides. Les premières mesures montrent un gain de 1–2 dB(A) selon le type de train.

Absorbeurs sur rails près d'Augsburg [6]

STARDAMP est un projet européen lancé en 2010 pour définir une méthodologie d'évaluation des absorbeurs pour roue et rails. Il regroupe DB, SNCF, Vibratec, TU Berlin, le fabriquant d'absorbeurs acoustiques Schrey & Veit, Tata Steel, l'entreprise alsacienne d'application de peinture ATSA et le fabricant européen de roues GHH Radsatz, Valdunes. La fin du projet est prévue en 2012.

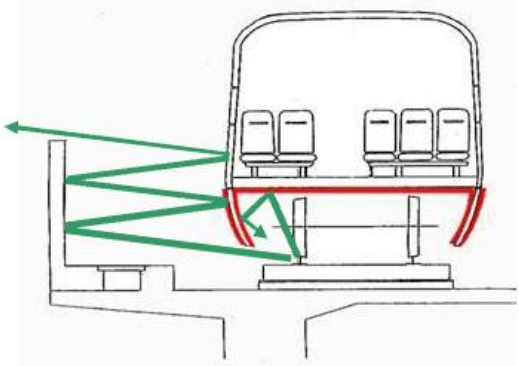
La DB envisage plusieurs alternatives aux barrières classiques.
- Murs Gabion : paniers de fils galvanisés ou de tubes métalliques remplis avec des pierres brisées.
- Barrières courbes transparentes : la courbure est telle qu'elle renvoie les ondes sonores sur le ballast.
- Barrières moins élevées (que les 2 à 4 m habituels), mais plus proche de la voie (que les 4 m habituels).

Parties inférieures des voitures
Pour les Shinkansen (trains à grandes vitesse japonais), la partie inférieure des wagons est la deuxième source de bruit.

East Japan Railway a développé de nouveaux panneaux pour le côté et le bas des wagons. Trois matériaux ont été étudiés :

- fibre d'aluminium + structure de résonance,
- plaque perforée + matériau poreux + nid d'abeille,
- fibre d'aluminium + couche d'air.

Les essais ont montré que le panneau le plus probant est celui constitué d'une plaque perforée, d'un matériau poreux et d'un nid d'abeille. Les bruits sont atténués de 1 dB à une distance de 25 m du train. Les prochains trains (modèles E5 et E6) seront équipés avec ces panneaux.



Absorption du son par réflexions multiples entre le wagon et la barrière [13]

Infrastructures

La DB développe depuis 10 ans des voies spécialement surveillées (Besonders Überwachtes Gleis, BÜG) ou un certain standard de rugosité et un faible niveau d'émission de bruit roulant est garanti aux résidents à proximité. Les deux impératifs de BÜG sont :

- une inspection tous les six mois par la voiture de surveillance de DB Systemtechnik,
- un meulage acoustique des rails au-delà d'une certaine valeur mesurée par cette voiture.

L'émission sonore moyenne des voies BÜG est inférieure de 3 dB(A) à la moyenne des voies sans traitement. Il y a plus de 700 km de voies BÜG.

L'Université catholique de Louvain développe un modèle à éléments finis pour prédire les vibrations engendrées dans le sol par le passage d'un train.

Ce modèle a pour but de remplacer les méthodes empiriques utilisées actuellement, notamment par l'administration ferroviaire fédérale aux États-Unis. [11]

Le projet européen RIVAS (Railway Induced Vibration Abatement Solutions, 2011–2013, 26 partenaires, 8,2 M€ de budget total) a pour objectif de réduire les vibrations portées par le sol dans les lignes de surface.

Les travaux comprennent :

- la réduction du bruit à la source, en particulier retrofit ;
- les procédures de test et les protocoles de mesure de surveillance du bruit et des vibrations.

Les 26 partenaires.

- Industriels : Alstom, Bombardier.
- Opérateurs : Sncf, DB, AIF (Espagne), Ratp, SBB (Suisse), Traficverket*trv (Suède).
- Centres de recherche : BAM, Cstb, Cedex.
- Université : Chalmers, UCL, Southampthon.
- Spécialistes en acoustique : Dynamic structures and systems, Vibratec.
- Fournisseurs : Lucchini (roues), Pandrol (fixations de rail), Rail.one et Sateba (traverses en béton).
- Autres : Keller Holding (géotechnique), Eiffage, TÜV Rheinland, Union des industries ferroviaires européennes, De Vos Paul Henry.

La Deutsche Bahn a développé un modèle pour les émissions acoustiques causées par les ondes de micropression lors du passage d'un train dans un tunnel. Le modèle et les outils de simulations correspondant ont été validés par une campagne de mesure. Ces travaux font suite à la mise en évidence du problème des ondes de micropression pour un tunnel de train à grande vitesse en 2004. Le problème avait été partiellement résolu en construisant des rails sur béton plutôt que sur ballast. Le modèle permet d'envisager de construire également des portiques/auvents ou de placer des panneaux absorbants.

Exemple d'auvent et de portail pour le tunnel d'Euerwang [14]

Réduire le bruit et les vibrations pour les passagers et les conducteurs

A l'occasion de la présentation du studio sonore de Bombardier destiné à évaluer les réactions de passagers à certains types de bruits, Bombardier a évoqué trois pistes possibles pour réduire le bruit dans le wagon :

- l'acoustique du bloc d'air conditionné,
- l'utilisation de panneaux absorbants,
- la qualité des rails. [10]

La SNCF, Signal Développement et Vibratec mettent au point un modèle de chemin de transfert du bruit entre la cabine conducteur, les étages supérieurs et inférieurs et les plates-formes d'un TGV duplex à partir d'une campagne de mesure.

Sources de bruit intérieur (en pourcentage du LP,A,eq) à 300 km/h (nombres à gauche du point-virgule) dans le tableau) et 360 km/h (nombre à droite du point-virgule) [1]

Source du bruit	Roue/rail	Aérodynamique du bogie	Couche turbulente autour du wagon
Salon bas	30;20%	38;57%	32;23%
Salon haut	26;19%	27;44%	47;37%
Plateforme	71;57%	22;37%	7;6%

Le modèle est appliqué au développement d'un nouveau plancher

Suite à une campagne de mesures en 2008, la SNCF a identifié les sources de bruits externes et mis à jour son logiciel de modélisation VAMPASS.
La SNCF a ensuite utilisé le logiciel pour évaluer plusieurs solutions de réduction du bruit.

Effet de différents moyens pour réduire le bruit à différentes vitesses [5]

Vitesse (km/h)	Amortisseur rail et roue	Jupe sur le 1er bogie + optimisation pantographe	Les deux ensemble
300	-2,3dB	-0,1dB	-2,4dB
320	-2dB	-0,2dB	-2,2dB
360	-1,6dB	-0,3dB	-1,9dB

Le RTRI développe un système d'amortisseur actif pour supprimer les vibrations verticales dans les trains à grande vitesse. La longueur et la force d'amortissement du nouveau système (370 mm et 6–8 kN) sont similaires à celles du système passif actuel afin de pouvoir faire l'échange facilement.
Deux lois de contrôle ont été étudiées.

- Sky-hook : la vibration du cadre du bogie est réduite sans prendre en considération les modes de vibration propres du corps de la voiture.
- LGQ (Linear Quadratic Gaussian) : cette méthode prend en compte les modes de vibrations du corps de la voiture et permet de supprimer sélectivement le premier mode de flexion.

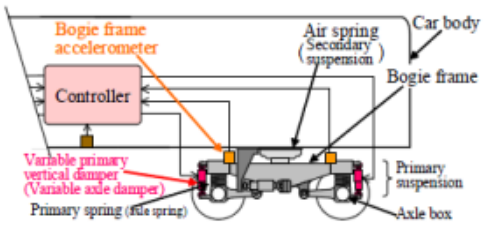


Fig. 1 System configuration

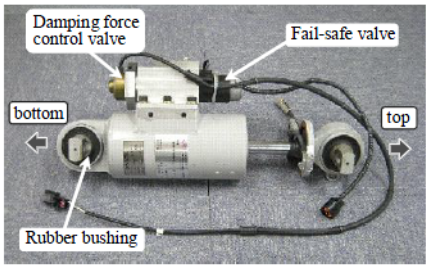


Fig. 2 Variable primary vertical damper (original type)

Amortisseur variable vertical principal [3]

Le RTRI a développé un système électro-hydraulique de contrôle de l'inclinaison mais ce système est plus rigide et accroit les vibrations latérales pour les fréquences supérieures à 1 Hz. Le RTRI cherche à corriger cet inconvénient en étudiant le modèle d'un système pneumatique.

Ce système dispose d'une valve de contrôle de flux au lieu d'une valve de contrôle de pression. La valve de flux n'a pas de canaux pour le retour de pression.

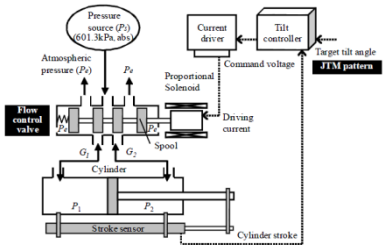


Fig.3 Pneumatic servo system for tilt control with flow control valve (Proposed system)

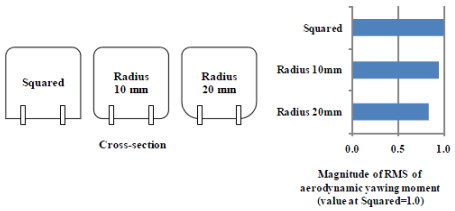
Système pneumatique avec valve de contrôle de flux pour le contrôle de l'inclinaison [4]

Le système permet de réduire de 50% le "motion sickness dose value for lateral motion" par rapport au système électro-hydraulique et de 75% par rapport au système actuel.

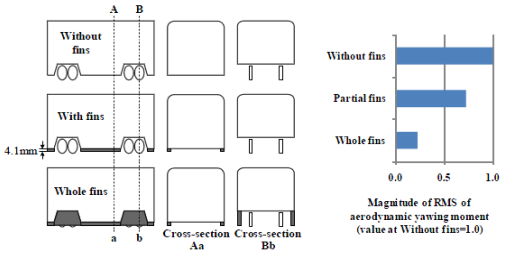
Parties inférieures des voitures

L'Institut de recherche technique ferroviaire japonais (RTRI) propose de nouveaux modèles de voitures pour réduire la force aérodynamique. Les modifications portent sur les coins inférieurs des voitures intermédiaires, principales sources de vibrations induites par le flux d'air lors du passage des trains à grande vitesse dans les tunnels. Les deux nouveaux coins sont :

- des coins arrondis,
- des ailerons.



(a) Effect of roundedbottom corners



(b) Effect of fins

Données obtenues sur la 4ème voiture d'un train de cinq dans un tunnel aérodynamique avec une maquette au 1/40 [2]

RÉFÉRENCES

[1] Transfer path analysis within the TGV Duplex driver cab, platforms, upper and lower rooms from 150 to 360 km/h, *Franck Poisson SNCF Innovation and Research Department, Olivier Coste Signal Développement, Sandrine Bouvet Vibratec (D2)*

[2] Measurement of Velocity and Pressure Fluctuations around High-Speed Train Running in Tunnel *Yutaka Sakuma, Masahiro Suzuki Railway Technical Research Institute (D2)*

[3] Development of primary suspension damping control system for suppressing vertical bending vibration of railway vehicle car body *Y. Sugahara, N. Watanabe, T. Takigami, R. Koganei, Railway Technical Research Institute (D2)*

[4] Suppression of Low-frequency Lateral Vibration in Tilting Vehicle Controlled by Pneumatic Power, *A. Kazato, S. Kamoshita, Railway Technical Research Institute (D2)*

[5] TGV at 360 Km/H: a Research Program Following a Test Campaign, *Pierre-Etienne Gautier, Franck Poisson, Sergio Barcena, Frederic Josse, SNCF (E1)*

[6] Recent Developments in Noise Abatement at Rolling Stock and Track to support the Noise Reduction Strategy of Deutsche Bahn, *B. Asmussen1, W. Behr, K.G. Degen, B. Schulte-Werning, Deutsche Bahn (B2)*

[7] Development To Decrease Noise In Place Along Railway-Tracks of Sanyo Shinkansen, *Makoto Tsukanishi, Makoto Toyooka, Tomohiko Mori, Hidemi Yano, West Japan Railway Company (B2)*

[8] Investigation of Wheel Squeal Characteristics using a Rolling Contact Two Disk Test Rig, *Meehan P.A., Bellette P., Liu X., Milne C. University of Queensland &CRC for Rail Innovation; Anderson D. RailCorp (B2)*

[9] A mechanical modeling strategy for squeal prediction on industrial railway brakes *X. Lorang, A. Loyer, L. Leoni, SNCF, France - O. Chiello, INRETS/LTE, JJ. Sinou, LTDS, France - S. Bouvet, N. Vincent, Vibratec, G. Vermot Des Roches, E. Balmes, SDTOOLS (B2)*

[10] Sound design studios for setting noise requirements on new rolling stock- a future scenario, *S. Leth, A Frid, A Mirza Bombardier Transportation (B3)*

[11] A hybrid prediction methodfor ground borne vibrations due to railway traffic, *Hans Verbraken, Geert Degrande, Geert Lombaert, Katholieke Universiteit Leuven (B3)*

[12] The Whispering-train Programme; the search to effective and cost-neutral noise reducing measures on existing freight wagons J.*P. Peen, E.J.J. de Jong and W.J.G. van Roij, Lloyd's Register Rail Europe (B3)*

[13] Reduction of Noise Generated from Lower Part of Shinkansen Cars with Sound-Absorbing Panels *Yoshiki Kikushi, Takeshi Kurita, Haruo Yamada R&D Center of JR East Group, Atsushi Ido RTRI (B3)*

[14] Assessment of micro-pressure wave emissions from high-speed railway tunnels, *M. Hieke, C. Gerbig, T. Tielkes, K. G. Degen, Deutsche Bahn (B5)*

[15] Development of pantograph for the Series N700 Shinkansen, *Y. Nakakura, K. Sakanoue, Y. Minami, Y. Okada, Central Japan Railway Company (B5)*

[16] Large Eddy Simulation for Train Aerodynamic Noise Predictions, *Andreini, Bianchini, Facchini, Giusti, University of Florence, Bellini, Chiti, Grazzini, AnsaldoBreda (B5)*

Le code (ex E1) entre parenthèse à la fin des références correspond à la session lors de la conférence.

Retrouvez 2 autres notes de veille dans le cadre du congrès WCRR 2011 :

- Gestion de l'énergie à bord des trains
- Maintenance et fabrication des rails et du matériel roulant

Note rédigée par Olivier Nowak (Nodal Consultants)

Ensemble pour les entreprises de la mécanique

cetim

Département
Veille Technologique et Stratégique

Contact
Carole Bonin
Cetim - B.P. 80067
60304 Senlis Cedex
Tél. : 03 44 67 47 98
Carole.bonin@cetim.fr

Retrouvez nos notes de veille dans la Mécathèque du site Cetim :
http ://www.cetim.fr/cetim/fr/Mecatheque

Consultez le guide des Technologies prioritaires 2015 sur le site Cetim :
http ://www.cetim.fr/cetim/fr/Mon-espace - Cliquez sur : ★ technos 2015