

# Acoustique et Environnement: passer l'an 2000

## PARTIE II: Techniques dans 15 ans ?

**Claude André Lamure,**

INRETS,  
25, avenue François Mitterrand,  
Case 24,  
69675 Bron CEDEX  
Tél. : 04 72 14 23 15

**Bernard Favre,**

Renault VI,  
1, avenue Henri Germain,  
69800 Saint Priest,  
Tél. : 04 72 96 45 84,  
Fax : 04 72 96 61 89

### Amélioration des véhicules routiers

Depuis l'introduction en 1970 d'une limitation des émissions sonores au titre d'une directive européenne (Tabl. 1), les émissions sonores des véhicules ont été réduites de manière spectaculaire dans les conditions réglementaires (8 dB (A) pour les automobiles et 11 à 15 dB (A) pour les poids lourds). L'amélioration acoustique des véhicules routiers fait toujours en cette fin de siècle, l'objet de travaux assez actifs [1]. Toutefois, la chasse au décibel gagné devient de plus en plus ardue et cette performance sur les véhicules commercialisés n'entraîne pas un effet du même ordre sur les niveaux perçus dans l'environnement. Il est donc clair que l'extrapolation vers la période future des tendances de la période écoulée n'est pas recevable.

D'abord, il faut redéfinir les conditions d'application de la réglementation ; celle-ci comme on l'a vu en première partie, n'est pas représentative de l'impact réel sur les riverains. Cette situation, reconnue depuis fort longtemps (exemple des travaux français (DSCR) et européens (ERGA noise) des années 1970-1980), a fait l'objet d'importantes recherches pour traiter séparément la question du bruit de contact pneumatique-chaussée (réf. a de [1]), et une meilleure représentativité des conditions en circulation urbaine (réf. b de [1]). La décennie qui vient devrait voir la mise en vigueur de cette redéfinition et l'objectivation des conséquences réelles des actions de réduction de bruit menées sur les véhicules, ainsi que sur les pneumatiques et sur les chaussées.

Ensuite, on poursuivra les travaux de réduction de bruit sur les véhicules. La démarche "concevoir silencieux" sera généralisée à l'ensemble des composants et des organes constituant le véhicule. Les outils sont aujourd'hui puissants et bien maîtrisés, mais ils nécessitent une infrastructure technique hautement spécialisée. L'analyse

modale, le traitement du signal, l'intensimétrie acoustique, les calculs par éléments finis ou SEA font désormais partie de la panoplie des techniques récentes largement utilisées. Elles seront vulgarisées et généralisées chez les constructeurs et les équipementiers grâce à une démarche de formation concernant tous les secteurs de ces entreprises (concepteurs et industriels) (réf. c de [18]).

Il faut compléter cette démarche par l'adjonction de certaines technologies acoustiques spécifiques, portant soit sur les matériaux pour absorber, isoler ou amortir de manière plus efficace le bruit rayonné par les sources de bruit mécanique, soit sur les techniques de contrôle actif comme les silencieux d'échappement (réf. d de [1]). Toutefois, il n'y aura pas de miracle à escompter de ces technologies nouvelles à une échéance prévisible. En effet, si on estime actuellement à 1 % le surcoût entraîné par la réduction d'un dB supplémentaire, celui-ci risque d'augmenter extrêmement vite à cause des impossibilités techniques nécessaires pour aboutir. Au-delà de quelques dB (2 à 5 selon les véhicules), il faudra mieux remettre en cause la fonction même du véhicule.

On introduira également et/ou on généralisera sur certains véhicules à vocation urbaine, des systèmes énergétiques à pollution réduite. Ceci conduira à une amélioration significative des performances acoustiques de ces véhicules du point de vue mécanique. Il s'agit de véhicules à énergie de substitution telle que le gaz naturel, le GPL, ou l'électricité. On peut citer en exemple, l'autobus urbain AGORA au gaz naturel qui émet des niveaux sonores particulièrement réduits (de l'ordre de - 2 à - 4 dB (A) selon les allures par rapport à son équivalent à moteur Diesel). Toutefois, l'introduction de ces véhicules sera limitée par leur compétitivité insuffisante du fait de leur surcoût (de l'ordre de 20 %) par rapport aux véhicules à carburant conventionnel, dont les niveaux d'émission gazeuse polluante sont en réduction prometteuse.



Enfin, et ceci pourrait constituer un virage important par rapport aux décennies précédentes, les niveaux sonores des trafics devraient être également réduits très sensiblement, si les pouvoirs publics engagent corrélativement une politique effective de contrôle des véhicules en usage. Ceci concerne :

- l'élimination des véhicules les plus anciens, qui avaient par conception, dès leur mise en service, des niveaux sonores beaucoup plus élevés que les modèles récents (1 véhicule neuf des années 1970 fait autant de bruit en zone urbaine que 10 véhicules des années 1990),
- le contrôle technique des véhicules dans leur usage quotidien, car une part significative du parc est mal entretenue ou détériorée, avec des niveaux d'émission sonore fortement dégradés,
- le respect de la réglementation existante, notamment les limites de vitesse ainsi que les autorisations de circulation en zone sensible. Ceci concernerait en particulier les deux-roues motorisés inférieurs à 125 cm<sup>3</sup> d'une part, et supérieurs à 125 cm<sup>3</sup> d'autre part, dont les niveaux d'émission réels sont sans commune mesure avec ceux qu'autoriseraient la panoplie des outils et technologies acoustiques appliqués aux autres types de véhicules correctement entretenus et utilisés.

	1970	1982	1985*	1989	1996
voitures < 10 places	82	80	80	77	74
poids lourds > 150 kW	91	88	88	84	80
motocyclettes > 500 cm <sup>3</sup> **	(86)		(82)		(80)

**Tab.1 : Evolution des valeurs limites réglementaires européennes des véhicules à l'homologation**  
 \*Évolution de la norme : sévèrisation effective pour certains véhicules (jusqu'à 4 dB (A))  
 \*\* Les deux-roues motorisés sont traités par une autre directive européenne que celle concernant les voitures particulières et les poids lourds.

L'encadré suivant montre l'état des connaissances en 1980, et aussi les soucis consécutifs à la crise de l'énergie.

## Le bruit du trafic routier (pneumatique et revêtement de chaussée) [2]

### Le pneumatique

Le pneumatique - inventé en 1887 pour la bicyclette - ne cesse d'évoluer. Les pneus "taille basse" sont apparus depuis longtemps, notamment pour la compétition<sup>1</sup>. Depuis quelques années, on observe leur expansion, malgré leur émission sonore élevée, car ils autorisent l'accroissement des performances des véhicules.

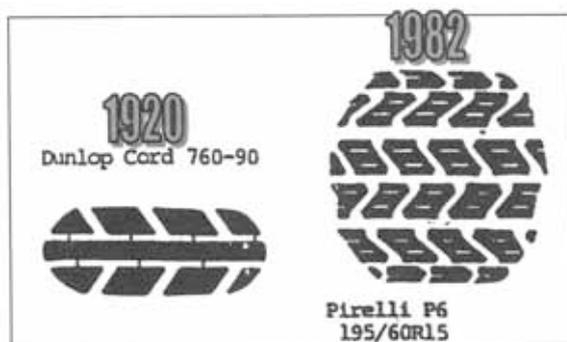


Fig.1 : Evolution du pneu entre 1920 et 1990

### Perspectives de réduction du bruit des véhicules routiers pour les années 1985 à 2000

Bernard Favre et Jacques Lambert pour la CEE. Janvier 1982.

L'objectif de cette étude était d'identifier les actions potentielles de réduction du bruit extérieur des véhicules routiers au-delà des valeurs actuellement fixées par la réglementation, d'évaluer les perspectives d'insonorisation et leurs conséquences techniques et économiques, et de mettre en évidence les points difficiles ou incertains pour les échéances futures (1985 à 2000).

Par rapport à ces limites, choisies comme références, l'étude a permis de préciser les possibilités ultérieures de réduction du bruit pour les diverses catégories de véhicules.

Des réductions de bruit sont apparues possibles, soit par des modifications de la chaîne cinématique (augmentation de la cylindrée, diminution des régimes moteur...), soit par une amélioration de détail des diverses sources de bruit et notamment des moteurs, soit enfin par la mise en œuvre des techniques "d'encapsulation" du moteur associées à d'autres modifications du véhicule.

Le recours aux techniques les plus efficaces sur le plan du bruit conduirait à un gain de l'ordre de 4 à 8 dB (A) selon les véhicules.

Les conséquences techniques concernaient essentiellement la consommation et la fiabilité des véhicules, mais on a mis en évidence également des liens avec les poids et dimensions, le confort intérieur, la pollution atmosphérique et la sécurité routière. Il n'apparaissait pas aux auteurs d'incompatibilité entre la réduction de la consommation de carburant et la réduction du bruit. Les techniques d'encapsulation permettent si nécessaire de déconnecter les deux problèmes, et de concevoir des véhicules économes en carburant et silencieux, même s'ils sont équipés de moteurs particulièrement bruyants mais de haut rendement énergétique tels certains moteurs Diesel par exemple.

Les surcoûts d'entretien et de réparation ont été évalués autour de 1 % par dB (A) pour les voitures automobiles et de 0,7 % par dB (A) pour les poids lourds. Les dépenses de consommation paraissent globalement inchangées

### L'évolution sonore du pneu

Les évolutions des bruits d'origine mécanique et du bruit de contact pneumatique-chaussée de 1920 à nos jours sont décrites en figure 2. On observe que les progrès pour les bruits d'origine mécanique (moteur, échappement...) ne se retrouvent pas pour les bruits de contact pneumatique-chaussée. En particulier, l'élargissement du boudin des pneumatiques, qui ne ressemble plus à celui d'un pneumatique de bicyclette, a contribué d'une manière significative à augmenter les émissions sonores. L'importance du rôle du pneumatique est apparue avant les années 1990 et un congrès spécialisé lui a été consacré : l'International Tire/Road Noise Conference ou INTRO'90 du 8 au 10 août 1990 à Göteborg en Suède, ce congrès spécialisé est maintenant tenu périodiquement.

Il y a là un sujet de recherche et d'action important pour la décennie qui vient.

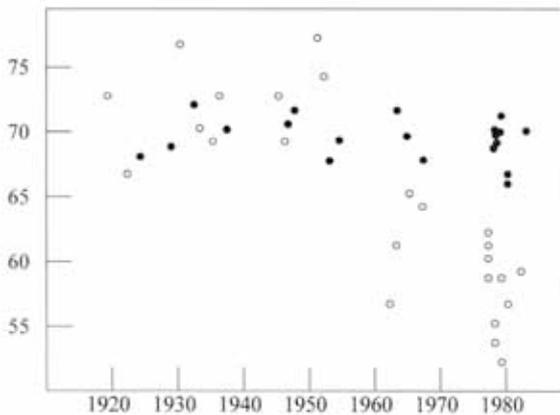


Fig.2 : Bruit d'origine mécanique et de contact pneumatique-chaussée de 1920 à nos jours.  
En blanc : bruit mécanique,  
En noir : bruit de pneumatique

### L'analyse des phénomènes de production du bruit de contact pneumatique-chaussée [3]

Au début des années 1970, les résultats des premières études suggéraient une certaine relation entre la résistance de la surface de la chaussée et la formation du bruit. Cependant, des études complètes apparaissent notamment en Grande-Bretagne (cf. encadré); d'après les travaux menés en 1979, nous savons que cette relation n'est vraie qu'en ce qui concerne chaque type particulier de revêtement de la route.

En 1974, on était donc attelé à l'identification sonore des phénomènes de roulement. Le rôle de l'aérodynamique, l'accent habituel mis sur le confort intérieur et non sur l'environnement, le phénomène entrevu "d'air pumping"

<sup>1</sup> Le pneu large et doté de flancs de faible hauteur qui chaussait le 29 avril 1899, la *Jamais Contente*, préfigurait déjà les pneus "taille basse" de compétition.

#### Extraits de : "Rolling noise and vehicle noise." DC Harland, TRRL, Grande-Bretagne [4]

"[...] and it is concluded therefore that at present the aerodynamic contribution to the noise radiated by the rolling vehicle is not significant. This leaves the tyre and the road surface interaction as the probable principal use of rolling noise.

Up to the last few years most research into tyre and surface noise has been concerned with the reduction of noise inside passenger vehicles, and much attention has been given to the reduction of structure borne noise and vibration. Airborne noise, which affects the external environment directly, has largely been neglected.

Lorry tyres have received little attention, even to reduce structure borne vibration inside the cab, and most of the development of these tyres has been concerned with producing greater tyre mileage.

[...] on average the measured levels are in reasonable agreement with the relations described by Mills (MIRA 1970. 14).

The average change of level per doubling of speed is not as great as the 12 dB (A) forecast by Hayden's air pumping model (Purdue Noise Control Conference. 1971. 18)."

The data shown in Table (4) indicate that it is not necessarily true that reducing tyre noise must reduce adhesion.

sont à noter pour cette période de démarrage (cf. Annexe IV, International Tire/Road Noise Conference 1990). On s'inquiétait de la relation apparemment constante entre sécurité et bruit émis.

C'est il y a une vingtaine d'années que les recherches sur le pneumatique ont abouti à l'identification des différents phénomènes à l'origine des émissions du bruit extérieur. Il s'agissait de :

- Vibration verticale et rayonnement du bruit à partir de l'enveloppe du pneu,
- Aspiration et expulsion d'air (pompage d'air et résonance des poches d'air),
- Vibrations tangentielles dues à une succession d'adhérences et de glissements.

Les recherches ont pu ensuite s'atteler à des essais de modélisation du bruit qui sont toujours en cours pour les divers thèmes illustrés en figure 3.

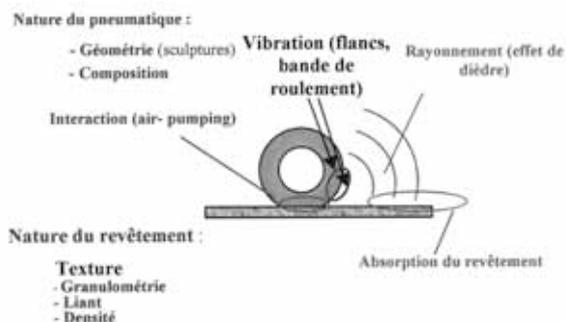


Fig.3 : Phénomènes de production du bruit de pneumatique

### La production de pneumatiques silencieux<sup>2</sup>

On attend la production de pneumatiques silencieux mais les manufacturiers espèrent que les progrès acoustiques proviendront des revêtements. Les exigences traditionnelles sont très nombreuses et sont rappelées souvent pour montrer la faiblesse des espoirs de réduction du bruit grâce à la conception des pneumatiques; cependant les orientations nouvelles mettent généralement plus d'accent sur l'économie d'énergie (cf. encadré).

**MICHELIN. Informations Presse.**  
**1<sup>er</sup> octobre 1996.**  
**Extraits.**

#### Pneus pour véhicules électriques: le plein d'énergie

Dans le domaine du véhicule électrique, la recherche d'une moindre consommation d'énergie est capitale. Le rendement d'un moteur électrique étant nettement supérieur à celui d'un moteur thermique, un gain en résistance à l'avancement du pneumatique a une incidence plus importante sur la consommation d'énergie. Avec la nouvelle Gamme Energy et Michelin Proxima, Michelin propose des pneumatiques "Basse Résistance au Roulement" qui permettent aux véhicules électriques d'économiser leur énergie (environ 15 % par rapport à une monte pneumatique standard).

#### Michelin Proxima: un pneu pour la ville

La très bonne adhérence des pneus sur les revêtements lisses et humides des villes provient à la fois du dessin de la sculpture, qui se caractérise par de très nombreuses arêtes, et d'un nouveau mélange de gomme. La distribution des motifs de cette sculpture, les fines entailles incisant les pavés centraux et les canaux non-débouchants préservent le silence de fonctionnement caractéristique des véhicules électriques. En outre, Proxima affiche une excellente longévité.

On a observé également, avec le "Futura" de Maloya, la variété des exigences que subit un pneumatique, et les possibilités de les satisfaire. On constatera que le 5<sup>e</sup> point évoque la réduction du bruit:

- Le profil circulaire central prononcé améliore la précision directionnelle et supprime les vibrations,
- Les larges rainures en entonnoir disposées sur l'épaule, associées à de courtes rainures transversales, améliorent le silence de roulement et s'opposent à l'aquaplanage,
- Les robustes barrettes d'épaule favorisent le parfait contact du pneumatique au sol,

<sup>2</sup> Le montage sur pneumatique de véhicules guidés comme le métro de Paris a soulevé des espoirs sur le plan du bruit, mais outre des problèmes économiques, son intérêt acoustique est modeste par rapport à des roues métalliques en bon état. Vers 1930, une expérience de véhicule monté sur bandages pneumatiques Michelin n'a eu aucune suite. Il en est resté le nom de Micheline! (voir Annexe V)

- L'évacuation optimale de l'eau s'effectue via deux larges rainures concentriques,
- La répartition différenciée des barrettes de bande de roulement et le profil directionnel réduisent le bruit,
- La mise au point d'une gomme de nouvelle composition a permis de réduire la résistance au roulement et de diminuer sensiblement l'usure.

Il se pose aussi la question d'une fabrication intégrée de la roue et du pneumatique qui, notamment par l'utilisation des matériaux composites, permettrait des abaissements de prix et des améliorations de performances au plan de la résistance à l'avancement, de l'expulsion d'eau, de la réduction du bruit... (figure 4). Ce type d'organe est encore plus intéressant avec les véhicules électriques ou hybrides lorsque la roue englobe le moteur électrique (cf. paragraphe suivant). Parmi les grandes évolutions du pneumatique, il faut signaler l'apparition du PAX pour se passer de la roue de secours (Fig. 5).

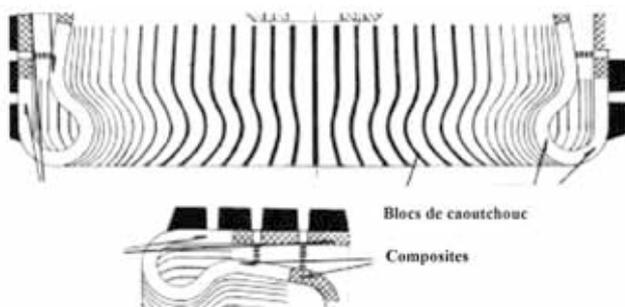


Fig.4 : Pneu/roue en composite. Sandberg. Introc 90 [5]

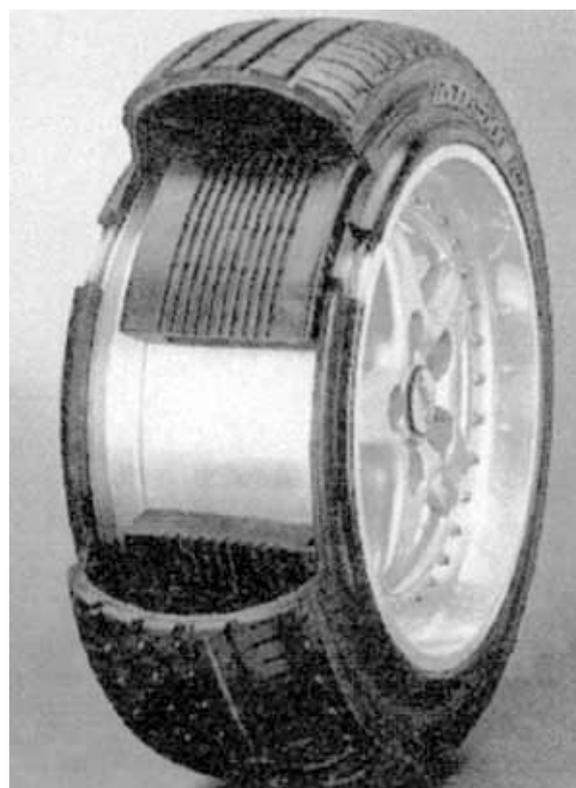


Fig.5 : Le système PAX de Michelin

Une impulsion intéressante vers des pneumatiques silencieux pourra provenir de la proposition en 1999 de la directive Européenne "Pneu" (93/C 30/04), première directive traitant du bruit de pneumatique.

### Revêtements de chaussées silencieux

À l'origine, compte tenu des niveaux mécaniques élevés, les différences d'émission selon la nature du revêtement n'apparaissent pas (cf. encadré). L'intérêt pour des pneumatiques et des revêtements de chaussées silencieux n'a pu émerger qu'avec les progrès sur les émissions des véhicules.

#### Blanc ou Noir en 1964.

Extrait des Cahiers du CSTB, n° 71. Décembre 1964

La figure 6 représente les spectres à 50 % du temps qui correspondent à deux enregistrements effectués pour des trafics identiques, l'un en bordure de la bretelle de la nationale 7 menant à l'autoroute du Sud (chaussée recouverte de bitume), l'autre au bord de la chaussée correspondante de l'autoroute du Sud (revêtement de béton jeune).

Comme les considérations qui précèdent permettent de le prévoir, les niveaux émis ne dépendent pratiquement pas de la nature du revêtement.

Si nous remarquons enfin que les revêtements des chaussées et le nombre de voies ne sont pas des facteurs importants, nous pouvons conclure que seul le volume du trafic indifférencié détermine le niveau moyen et la dispersion du bruit global d'une circulation normale en palier d'autoroute.

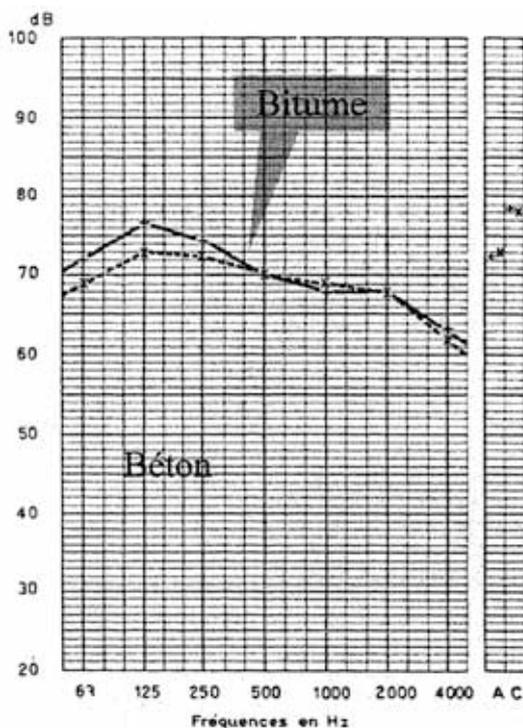


Fig.6 : Bruit de revêtement en béton ou en bitume (1964)

Depuis 1980, les chaussées dites drainantes, revêtues d'enrobés dits ouverts, ont attiré l'attention. Elles présentent l'intérêt non seulement de l'évacuation rapide de l'eau de pluie mais d'une réduction de l'ordre de 5 dB (A) des LeqA aux abords des chaussées. Malheureusement, elles se colmatent rapidement pour des vitesses inférieures à 50 km/h et l'augmentation de la vitesse qu'elles entraînent réduit le progrès technique au plan de la sécurité routière par le fait malheureux selon lequel les automobilistes conduisent à risque constant.

Face aux difficultés de ces revêtements drainants pour l'entretien hivernal, il apparaît d'autres types de revêtement de chaussée à granulométrie fine qui sont aussi efficaces sur le plan acoustique.

Ces propriétés insonorisantes sont l'objet de recherches actives et surtout de recherches de "méthodes de qualification" acoustique en continu plutôt que par mesure au passage de véhicule.

### Du véhicule électrique aux techniques électriques

Si le lent développement des accumulateurs électriques a souvent été démoralisant, les véhicules électriques seront probablement au siècle prochain d'un usage commun dans quelques zones urbaines. En effet, les accumulateurs permettent déjà un grand nombre de trajets urbains à une vitesse de 30 à 50 km/h, recommandés par les défenseurs de "la circulation apaisée".

Malgré les efforts techniques et réglementaires d'États comme la Californie aux USA ou la France, le véhicule électrique n'a pas créé son marché car il demeure trop cher face à une automobile dont il veut toujours s'inspirer. En fait, l'idée d'écovéhicules urbains à très faibles nuisances qui était imaginée pour la fin du XX<sup>e</sup> siècle, provenait systématiquement des soucis de pollution de l'air. Le peu de préoccupation en Amérique pour le bruit de circulation et une certaine méconnaissance de la question du bruit en France ont occulté un avantage certain du véhicule électrique.

Aujourd'hui, les techniques électriques qui ont pu être éprouvées partiellement soulèvent l'espoir de voir apparaître dès 2004<sup>3</sup>, des véhicules à grande aptitude au silence comme probablement des véhicules fonctionnant avec des piles à combustibles ou plus certainement, des véhicules hybrides comme la PRIUS de TOYOTA, pour lesquels la bimotorisation électrique et thermique permet à la fois le fonctionnement écologique en milieu urbain et les parcours routiers traditionnels. En Grande-Bretagne, environ 30 000 véhicules électriques circulent à l'heure du laitier dans le silence du matin.

### Véhicules guidés

L'étude des mécanismes de production du bruit de contact roue/rail a été très active dans le monde dans les années 1970 et au début de la décennie 1980. On a vu apparaître des modèles de simulation qui ont constitué un progrès décisif notamment suite au travail de P. J. Remington sur contrat du DOT (Ministère des transports des États Unis).

<sup>3</sup> Les autorités du bassin de la côte Sud dans la région de Los Angeles ont décidé l'introduction obligatoire à partir de 2004 de véhicules à émission zéro, ce qui veut dire véhicules électriques.

La bibliographie suivante montre l'émergence de cette activité entre 1981 et 1983. On notera depuis les travaux de l'ERRI avec le développement du modèle TWINS en 1990.

### Bibliographie sur le bruit de contact roue/rail entre 1981 et 1983

P. J. Remington et al., Wheel/rail noise and vibration (UMTA MA 0600257510), I: Mechanics of wheel/rail noise generation, II: Application to control of wheel/rail noise, Transport System Center, 1981.

P. J. Remington, L. E. Wittig et R. L. Bronston, Prediction of noise reduction in urban rail elevated structures, DOT Contract, n°DOT-TSC-1531, 1982.

S. L. Grassie, R. W. Gregory et K. L. Johnson, The behaviour of railway wheelsets and track at high frequencies of excitation, Journal of Mechanical Engineering Science, 24, n° 2, 1982.

M. L. Munjal et M. Heckl, Some mechanisms of excitation of a railway wheel, Journal of Sound and Vibration, n° 81, (4), 1982.

T. Ten Wolde et C. M. J. Van Ruiten, Sources and mechanisms of wheel/rail noise, Journal of Sound and Vibration, n° 87, (2), 1983.

P. J. Remington, N. B. Dixon et L. E. Wittig, Control of wheel/rail noise and vibration, US Dept. of Transportation, 1983.

P. J. Remington et J. D. Stahr, The effects on noise of changes in wheel/rail system parameters, Journal of Sound and Vibration, n° 87, (2), 1983.

B. Favre. Bruit du contact roue/rail. Modèles mathématiques existants et perspectives de recherches, Rapport IRT-CERNE, septembre 1983.

En 1985, les développements futurs étaient énoncés au cours des 1<sup>res</sup> Assises nationales du Bruit dans les termes de l'encadré suivant.

### Les développements futurs pour la recherche sur le bruit de trains en France (1985) <sup>4</sup>

Consciente de la nécessité de progresser encore, la SNCF, seule ou en partenariat avec d'autres réseaux de chemin de fer et des organismes extérieurs spécialisés, a lancé un programme de recherches ambitieux portant sur :

- une meilleure compréhension des phénomènes de génération du bruit ferroviaire en vue de les maîtriser,
- une analyse plus fine des sources d'émission,
- la prise en compte du bruit d'origine aérodynamique pour les vitesses supérieures à 300 km/h,
- les solutions techniques pour réduire le bruit émis ou améliorer l'efficacité des écrans,
- le système ferroviaire complet (voie plus matériel roulant),
- la gêne acoustique,
- le calcul prévisionnel des niveaux sonores.

Ces efforts, qui concernent autant la grande vitesse que le réseau classique, permettront de nouveaux progrès, et notamment le respect des nouveaux seuils de bruit admis pour les futures lignes TGV (Méditerranée et suivantes), avec une réduction par étapes de 3 à 5 dB (A).

### Les phénomènes de production du bruit de contact roue/rail

La modélisation de la production du bruit de contact roue/rail a nécessité comme pour le pneumatique, une analyse du phénomène de production du bruit qui est résumée

ci-après (figure 7). La modélisation quantitative complète TWINS prévoit les niveaux d'émission à 2, 3 dB près bien que des travaux exhaustifs soient apparus dans les années 1980. Des résultats détaillés sont disponibles, pour la plupart en Grande Bretagne [6].

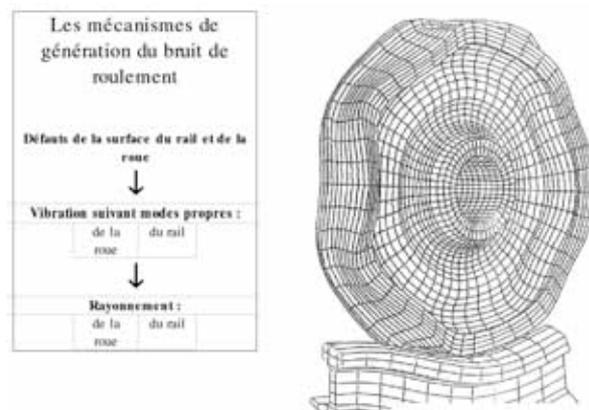


Fig.7 : Analyse du phénomène de production du bruit de voie ferrée

### Aspects techniques à l'émission des voies ferrées

Le bruit des trains électriques rapides provient essentiellement du roulement<sup>5</sup>, la vitesse du véhicule détermine les émissions du bruit rayonné par les roues et les rails.

Les exploitants font valoir :

- les progrès sur les voies depuis la dernière guerre: soudage des rails et meulages plus fréquents,
- les progrès récents sur les véhicules, notamment par adoption des freins à disques pour les TGV.

En fait, nous devons retenir que ce sont les trains de marchandises, circulant essentiellement la nuit, qui posent le plus de problèmes car leur freinage exige des sabots (figure 8) qui provoquent l'essentiel des déformations des roues et ensuite des rails. Leur remplacement par des freins à disque serait idéal mais, du fait de l'intensité de l'effort à exercer au freinage, ce remplacement n'est pas possible.

Il faudra envisager le remplacement de la fonte des sabots par des matériaux composites, ce qui réduirait de beaucoup l'apparition de ces déformations. Toutefois, il faudrait s'assurer de la qualité des sabots sur le plan de la sécurité, ce qui est l'objet de recherches appliquées importantes.

<sup>4</sup> En 1995, encore souvent les spécialistes du bruit ferroviaire ne donnaient pas d'orientation sur la recherche relative au bruit de roulement. On se contentait de généralités qui se sont révélées peu significatives en l'an 2000, hors du cas du TGV.

<sup>5</sup> Ce n'est que pour des vitesses supérieures à 300 km/h, qu'une partie du bruit serait due à des phénomènes aérodynamiques dont certains seraient produits à une assez grande hauteur comme celle des pantographes, ce qui rendrait encore plus difficile l'adoption d'écrans acoustiques.

Les possibilités de réduction de bruit à l'émission pour des wagons dont on remplacerait les sabots métalliques par des sabots en matériaux composites s'élèveraient à plus de 6 dB (A) soit autant qu'un écran avec l'énorme avantage que ces réductions sont obtenues sur tout le territoire. Ces substitutions de sabots sont prévues par la SNCF dans un délai inférieur à 10 ans.



Fig.8 : Le sabot de frein

### “Le vieux wagon et ses gros sabots” Comment rendre le vieux matériel roulant plus silencieux ?

*Ulrich Toggenburger, responsable CFF, 1998*

[...] Il serait donc logique de chercher des systèmes où les sabots de frein ne touchent pas la surface de roulement. Ces systèmes existent : le frein à disque, qui est utilisé sur toutes les voitures modernes, et le frein à tambour. Les deux ont ceci en commun qu'ils agissent également par frottement, mais sur d'autres surfaces que celle de roulement. Et si l'on trouvait le moyen de garder les roues lisses malgré les sabots de frein ? Depuis les tentatives - ratées - de diminuer les frais de maintenance dans les années 1970, on sait que les sabots en matière plastique (Matériau composite) contribuent à réduire le bruit. Dans les années 1980, on a réitéré l'essai à l'occasion de l'introduction des nouveaux trains navette, avec des voitures intermédiaires traditionnelles équipées de freins à sabot. Dans les deux cas, les tests ont dû être interrompus suite à l'apparition de fissures dans les roues. On est arrivé à la conclusion que les sabots synthétiques permettent de réduire considérablement le bruit de roulement. Malheureusement, les roues n'ont pas joué le jeu.

La nouvelle roue monobloc destinée aux vieilles voitures unitaires 1 a été testée sur le banc d'essai en 1994. [...] Si cette solution devait s'avérer concluante, elle ouvrirait des perspectives prometteuses en matière de lutte contre le bruit du rail. Moyennant des dépenses supportables, il serait alors possible de remplacer, lors des révisions, les roues usées par des roues à plus forte résistance thermique, et de monter des sabots de frein en matière plastique.

[...] Si nos voisins introduisent eux aussi des mesures anti-bruit - ce qu'il est permis d'espérer vu les dernières décisions en date - la lutte contre les émissions sonores des voies ferrées pourrait enregistrer dans un proche avenir des succès retentissants.

## Les TGV

Les progrès du TGV sur le plan sonore ont été évoqués en première partie (page 13).

Des progrès supplémentaires seront trouvés et le bruit d'origine aérodynamique pourrait finir par émerger suite à la réduction du bruit de roulement.

### Le bruit aérodynamique

Avec l'arrivée des TGV et la réduction des bruits de roulement, les sources de bruit aérodynamiques vont émerger. Notre connaissance de l'aéroacoustique et les résultats des mesures confirment l'hypothèse d'une augmentation du bruit aérodynamique lié à la vitesse par la formule :  $60 \text{ à } 70 \log V$  ; actuellement la source roue/rail domine généralement jusqu'aux vitesses de 280 à 300 km/h.

Les cavités sous les voitures, et parfois à l'étranger les pantographes, sont les causes principales du bruit aérodynamique. Des tests à échelle réelle sur ce problème sont menés dans des tunnels d'air anéchoïques, ainsi qu'avec des antennes pour mesurer le bruit lors des passages de trains.

Les véhicules à lévitation magnétique sont sujets à des conditions aérodynamiques analogues à celles des autres trains, toutefois, le Maglev qui n'a pas de pantographe pourrait être également moins bruyant à très grande vitesse et à basse vitesse dans les aires urbaines. En fait, les forces magnétiques oscillatoires créent aujourd'hui un niveau de bruit comparable à ceux des TGV.

## “Infacoustique”

### Contrôle actif du bruit

L'intérêt du contrôle actif du bruit est fort ancien ; sans remonter jusqu'aux exposés de la théorie de Raleigh au siècle dernier, ses possibilités étaient déjà évoquées en 1953 pour améliorer le confort des passagers.

L'engouement notable des dernières décennies pour le contrôle actif du bruit (on trouverait plus de 1 500 références scientifiques et techniques sur le thème depuis le milieu du siècle) résulte de ses potentialités pour réduire les poids, les dimensions, les coûts des insonorisations par rapport aux techniques passives.

De plus, c'est souvent aux basses fréquences que les contrôles actifs fonctionnent, ceci contrairement aux techniques passives.

Les objectifs d'un système de contrôle actif sont définis essentiellement par :

- l'espace considéré,
- la bande de fréquences et la nature du spectre à contrôler,
- la géométrie de la source.

Il faudra ainsi distinguer en principe :

- le cas d'une zone fermée telle qu'un local, un habitacle de véhicules.
- la suppression du bruit indésirable en champ libre où le contrôle actif paraît plus difficile à mettre au point.
- les sources ponctuelles pour lesquelles la source de contre-bruit peut-être placée à proximité (comme à l'échappement).

Cela conduit aux applications potentielles suivantes :

- L'insonorisation des véhicules, par un système de silencieux électroniques branché à l'arrière de l'échappement qui améliore à la fois l'émission acoustique et le rendement du moteur,
- Les cas où des sources actives peuvent être installées près de la source émettrice du bruit (les sources de bruit étendues sont difficiles à maîtriser),
- Les casques ou sièges à contre-bruit.

Si en 1987, les recherches en contrôle actif portaient peu sur les transports, on pouvait noter l'intérêt sur les bâtiments et les structures ainsi que sur les conduits, ce dernier point conduisant à des essais concrets pour les échappements.

#### **Les réductions de bruit à la source Les conduits, échappements et locaux**

Les progrès de l'informatique et de l'électronique depuis plus de 20 ans ont permis la miniaturisation des actuateurs et la rapidité nécessaire de traitement de signal, lorsque le champ acoustique est simple comme dans un conduit de ventilation ou un échappement de moteur thermique. Aujourd'hui, les échappements, les habitacles de véhicules peuvent voir abaisser d'environ 10 dB (A) les émissions de basse fréquence.

#### **L'environnement extérieur**

Les progrès restent limités aux cas de champs acoustiques simples à l'intérieur d'habitacle ou dans des conduits. Les espoirs pour l'environnement extérieur qu'il s'agisse de travaux sur les fenêtres ou sur les réverbères acoustiques ont été cruellement déçus. Peu de spécialistes restent optimistes et il faut s'attendre au ralentissement des travaux de ce type.

#### **Casques ou sièges à réduction active du bruit**

La nécessité de préserver les communications utiles distingue les casques ou sièges enveloppants à contrôle actif des casques ou bouchons d'oreilles passifs.

En 1953, on évoquait déjà les sièges avec protection active du bruit (figure 9). En 1994, il a été commercialisé aux États-Unis, un casque destiné à réduire la perception des bruits indésirables. L'appareil réduit les niveaux de pression acoustique principalement dans les bandes de fréquence inférieures à 500 Hz, c'est-à-dire hors des bandes utiles pour la conversation, la majorité des signaux acoustiques et certains types de musique. En France, des casques à réduction active du bruit sont

apparus en production, d'abord pour les besoins de l'aviation militaire. Les premières applications au domaine civil (voir encadré suivant) ont été développées au sein du CNRS dès 1983 par Christian Carne, ultérieurement PDG de Technofirst.

#### **Headphones with active electronic noise cancelling Golden Decibel'1991**

*Publicité Technofirst, 1994*

Exceptional attenuation of fatiguing low-frequency noise  
Lowers risk of deafness induced by low-pitched noise.  
Reduces fatigue caused by aural strain. Increases quality of work carried out in high noise-level areas.

Allows normal, high-fidelity listening, without deformation, of exterior noise and audio transmissions (for the NOISE MASTER version).

High audio transmission comprehension quality in very noisy areas thanks to the elimination of outside noise by active electronic noise cancelling.

Plusieurs gammes de ce produit existent aujourd'hui, destinées aux milieux professionnels ou au grand public :

- Le "NOISEMASTER", casque professionnel au catalogue depuis 1989
- Le "LITE", casque léger de type baladeur
- Le "RALLYE JEUNE 95", casque automobile version jet ou intégral.

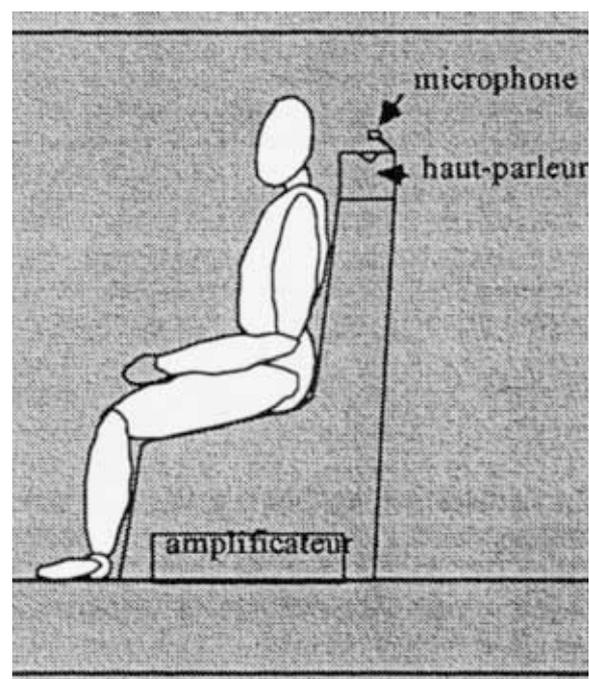


Fig.9 : Siège à contrôle actif du bruit

Ces dispositifs modifient l'ambiance sonore à basse fréquence (-10 à -20 dB) pour divers bruits d'appareils et de chantiers, il y a assez forte réduction des ronronnements et bourdonnements de machines telles qu'ordinateurs, ventilateurs ou systèmes de climatisation. Le casque permet l'écoute de la hi-fi sans couper l'auditeur du monde extérieur. Dans les véhicules de transport, on remarque un meilleur confort acoustique par suppression des bourdonnements dans l'habitacle et une modification du bruit de roulement. L'appareil ne gêne pas la conversation. Toutefois il semble que l'apparition de casques ou même de sièges à atténuation active ne supprimera jamais la nécessité de réduire les émissions acoustiques des bruits urbains par voie passive.

Outre le casque, auquel de nombreux piétons pourraient s'habituer tout comme au walkman, on pourrait voir apparaître des sièges équipés d'émetteurs de contre-bruit (en même temps que de sons utiles) dans les véhicules de transport et peut-être dans les lieux publics ou les bureaux.

### L'acoustique et la réalité virtuelle

Après la vue, le son est le canal sensoriel le plus important dans une expérience virtuelle. Une quantité très importante d'informations peut transiter par ce canal comme par exemple la position et la distance de la source, sa vitesse, la taille de la pièce, la matière composant les murs, la matière des objets à l'origine du son...

La recherche dans ce domaine intéresse des secteurs très divers comme les systèmes de restitution sonore tridimensionnelle, la simulation d'exposition au bruit ou les commandes vocales.

Il y a là des facteurs de progrès dans les traitements informatiques et les capteurs ou actionneurs.

#### Rappel. Le canal sonore

Le système auditif humain permet de localiser la position d'une source sonore à l'aide des facteurs suivants :

- La différence de temps interaurale. C'est le délai que met un son pour parvenir d'une oreille à l'autre (de l'ordre de quelques dizaines de microsecondes).
- La différence d'amplitude interaurale. C'est la différence de pression acoustique entre l'oreille la plus proche et celle la plus éloignée de la source sonore.
- Les fonctions de transfert en relation avec la tête (HRTF pour Head Related Transfer Function). La différence de perception d'un son entre les deux oreilles dépend également de la fréquence de ce son. Ceci est dû à la géométrie du pavillon et de l'oreille externe mais également à la géométrie de la tête, du thorax et des épaules.

#### Les systèmes de restitution sonore tridimensionnelle

L'intérêt porté à la réalité virtuelle implique des travaux d'acoustique. Les chercheurs de la NASA ont été les premiers, en 1988, à associer un système de restitution sonore tridimensionnelle à un système de réalité virtuelle. Ils ont utilisé un mannequin dans les oreilles duquel ils ont placé des microphones. En déplaçant un haut-parleur autour

du mannequin, ils ont enregistré les réponses des microphones. Ainsi, pour chacune des positions du haut-parleur, ils ont calculé puis stocké la HRTF correspondante.

En 1993, il est apparu des dispositifs qui permettent de simuler de nombreuses sources sonores indépendantes. Des coefficients de réflexion peuvent être programmés et des effets Doppler (distorsion du son en mouvement) et d'absorption atmosphérique peuvent être simulés [7]. En France, des recherches comme celles sur le sport virtuel peuvent nécessiter des efforts soutenus pour la simulation de bruits dus à l'activité sportive (chocs de balles, etc.) [8].

#### La simulation d'exposition au bruit

Le CSTB a développé une méthode pour permettre d'éprouver auditivement le bruit produit par des sources diverses telles que les moyens de transport.

### La Parole et son traitement

L'énonciation vocale d'un message est déjà pratiquée assez couramment (pour l'information des voyageurs, par exemple). L'intérêt pour le traitement de la parole se porte maintenant sur la commande qui suppose la compréhension d'un message artificiel ou, plus encore naturel.

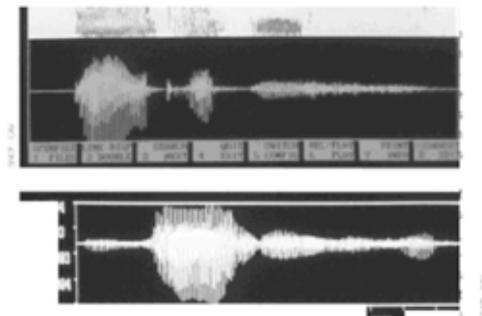


Fig.10 : la parole vue sous son aspect physique.



Fig.10 bis : parler avec son ordinateur ne relève plus tout à fait de la fiction. Même si le dialogue est de loin la partie la moins bien maîtrisée du processus du traitement du langage parlé.

### Les commandes vocales

Le canal sonore peut être utilisé dans le sens utilisateur vers la machine. Des dispositifs de reconnaissance de la parole sont déjà commercialisés. Néanmoins, les systèmes de dialogue développés actuellement sont des aides utilisables dans des domaines très contraints qui nécessitent l'emploi d'un vocabulaire codé et stéréotypé. Parler avec son ordinateur ne relève plus tout à fait de la fiction même si le dialogue est de loin la partie la moins bien maîtrisée du processus du traitement du langage parlé (SNCF).

Actuellement, il semble possible d'arriver à une compréhension globale du langage naturel par la machine. La commande de tâches de nature analogique, comme freiner ou accélérer, reste à mettre au point à des coûts acceptables et avec une fiabilité suffisante. De très nombreux articles en font mention dans la grande presse comme on le voit dans les encadrés suivants.

#### La voix: interface la plus naturelle par O Rafal.

*Le Monde Informatique.*  
n° 829 du 12 novembre 1999.

[...] la reconnaissance vocale est en train de gagner ses galons, grâce à des systèmes indépendants des locuteurs. À la différence des outils monocuteurs, les produits multilocuteurs parviennent à distinguer les mots d'interlocuteurs différents, sans exercice préalable.

[...] Vecsys a fourni il y a deux ans à la SNCF un outil permettant aux chefs de chantier d'obtenir d'un aiguilleur automatique les autorisations de travaux sur les voies. "Nous sommes capables aujourd'hui de reconnaître 65 000 mots, dit-on chez Vecsys. Cela couvre environ 95 % de la langue française."

Une prouesse qui ouvre le champ à des applications davantage tournées vers le grand public.

#### Rail & Recherche. 2e trimestre 1999.

Mask a débouché sur un démonstrateur de kiosque de services automatisés multimodal et multimédia et a fait ses preuves auprès d'un millier de voyageurs en gare Saint-Lazare à Paris. Lesquels ont ainsi pu simuler l'achat de leur billet ou s'informer sur les horaires de train en conversant directement avec la borne. L'interface vocale a été réalisée au LIMSI qui a doté le kiosque d'un module capable de comprendre et d'utiliser spontanément plus de 1500 mots.

Car gérer les 200 millions d'appels qui convergent chaque année dans les centres ferroviaires européens n'est pas une sinécure. Un tel serveur téléphonique devrait donc apporter une solution aux 20 % d'appels restant sans réponse.

Sans être à la hauteur de ce qui se fait dans les laboratoires de pointe, plusieurs logiciels de dictée existent déjà dans le commerce. Comme "Naturally speaking" de la compagnie Dragon ou "Via Voice", deux systèmes capables de reconnaître la voix de l'utilisateur et de transcrire ses paroles directement dans un traitement de texte.

Car la voix est tout de même une des façons les plus naturelles de communiquer entre humains. Elle apparaît en tout cas, pour de nombreuses applications, bien plus pratique que le clavier qui bloque encore une multitude d'utilisateurs potentiels.

### L'identification de la parole

De nombreuses commandes vocales, des systèmes automatiques ou des centres d'appel ne peuvent être mis en place qu'à la condition d'assurer certaines exigences de sécurité et de sûreté. Il y a là une forte demande illustrée déjà par des produits commercialisés en 2000. On notera que les centres d'appel qui répondent à la demande des usagers, peuvent exiger des automatismes acoustiques perfectionnés, par exemple l'identification de l'appelant pour reconnaître un abonné au service d'appel.

#### How Voice vault™ works

Service providers utilize Voice vault™ as a "gateway" to authenticate end users (clients or subscribers) before connecting them to information and/or services provided by the service provider's system. Elimination of "front-end" authentication by operators reduces user access time to the service provider's system and increases overall productivity of the service provider's system.

Net, ITT's world-renowned Voice vault™ verification engine completes the identification of the user, by comparing the user's voice sample with the reference voiceprint for the designated account number. If there is a voice match, the service provider's system is notified and the appropriate actions are taken (e.g. the user is connected to a customer service representative (CSR), input data is taken from the user, etc.)

### Fin de siècle. Conclusion. Le bruit gagne mais on va le soigner

La période 1950-2000 a été marquée par l'apparition du souci de l'environnement et par la recherche d'application de l'acoustique à la réduction de la gêne due au bruit qui a accompagné le développement de la motorisation et de l'urbanisation des trente glorieuses. L'amélioration de l'environnement acoustique a exigé des travaux pluridisciplinaires pour lesquels il a fallu adapter les institutions scientifiques. L'adoption d'unités de mesures, comme le Leq, qui ont pu être transposées dans une réglementation assez abondante, a été une conséquence efficace des travaux de recherche des années 1960.

Malgré des efforts marqués, qui ont amené les équipes de recherche françaises à une position de qualité internationale pour étudier les effets sur la santé, le sommeil ou la gêne, c'est l'approche économique qui semble amener en cette fin de siècle, les moyens d'évaluation et d'encouragement à l'action les plus positifs.

On n'a pas examiné suffisamment, semble-t-il, des thèmes tels que l'intelligibilité de la parole, les phénomènes fondamentaux de perception auditive et vibratoire, les groupes sensibles (malentendants, personnes âgées...), la protection des espaces dès les décisions d'urbanisme, etc.

Parfois, comme pour l'évaluation du bruit de contact pneu-chaussée, les recherches n'ont malheureusement pas été suffisamment orientées par les besoins de la société en matière de normes, de réglementations ou de méthodes de choix des actions.

On a eu besoin de symposiums spécialisés traitant de thèmes d'ingénieurs autant que de physicien. Au plan international, les symposiums annuels INTERNOISE sont venus compléter dès 1972, les traditionnels Congrès d'acoustique qui se réunissaient depuis longtemps tous les trois ans. Des colloques internationaux spécialisés ont été consacrés à des thèmes majeurs liés soit au progrès scientifique soit aux soucis principaux de l'administration ou des chercheurs.

On notera surtout ceux qui ne sont pas encore apparus sur des thèmes tels que le bruit des revêtements routiers, l'environnement acoustique et le contrôle vocal, le bruit et l'urbanisme et l'aménagement du sol.

Pour les futures décennies, on peut penser que, du côté des capacités techniques, on verra se développer des germes apparus vers le contrôle actif, la maîtrise de l'émission et de la reconnaissance vocale artificielles, le bruit de roulement, l'ergonomie des méthodes de prévision et d'évaluation du bruit.

À côté de l'activité scientifique redoublée depuis quarante ans, l'action de protection contre le bruit n'a pas donné de résultats spectaculaires. Ainsi, au cours des 17 dernières années, 5 missions (mai 1981, octobre 1984, mai 1989, mars 1994 et mars 1998) ont été demandées par le Gouvernement français sur le thème des "points noirs".

La durée de la période écoulée et le nombre de missions montrent l'ampleur du problème... et sa non-résolution.

Il ne semble pas que la dernière étude effectuée en 1999 sur ce point entraîne une action suffisante, bien que des progrès de l'approche politique semblent se manifester de manière concrète pour la réduction et la protection relative au bruit des voies ferrées.

Si on juge les conséquences, pour les riverains d'aéroports, des recherches pourtant commencées très tôt dans le domaine (dés 1950), on peut penser que le progrès technique ne parviendra jamais à compenser l'essor des transports motorisés. Malgré les efforts financiers et techniques, l'expansion économique et les priorités d'action adoptées par la collectivité aboutissent à une situation où on peut dire en 2000 : Le bruit gagne.

Cette extension de la grisaille sonore due aux bruits mécaniques pourra cependant être maîtrisée si l'évolution des sociétés et des demandes sociales s'attachait à la question du bruit comme elle a réussi à supprimer les odeurs subies dans les villes du XIXe siècle. Ce sera l'objet d'un autre article car on va le soigner.

On peut dans l'ensemble penser que si les premières décennies de découverte du bruit mécanique dans l'environnement ont conduit, face à une certaine urgence, à étudier son évaluation et les moyens de protection, le début du XXIe siècle verra grandir les soucis relatifs à la prévention du bruit comme, par exemple, au niveau de l'urbanisme.

## Remerciements

Nous remercions J. Delcambre, M. Perulli, et J.-C. Serrero pour leurs relectures du document. Il faut aussi manifester la reconnaissance de tous les acousticiens à ceux qui ont constitué, depuis plusieurs décennies, une atmosphère de travail remarquable dans le domaine de l'acoustique appliquée à l'environnement.

Il faut mentionner tout particulièrement les anciens présidents et animateurs du comité Bruit et Vibrations du ministère de l'environnement : Pr. F. Raveau, M. Perulli, H. Arbey, J. Delcambre, J.-C. Oppeneau, et J.-C. Serrero.

## Références bibliographiques

[1] Références sur le bruit des véhicules automobiles dans *Acoustique et Techniques* :

a - R. Williams et Al, Bruit de contact pneu-chaussée : l'État de l'art, n° 15, octobre 1998, PP. 17-31

b - R. Le Salver, Bruit extérieur automobile : vers une amélioration de la méthode de mesure pour simuler les conditions en circulation urbaine, n° 17, avril 1999, PP. 23-26.

c - J.-P. Bardon, B. Favre, E. Parizet, Les enjeux et axes de progrès dans la maîtrise des performances vibro-acoustiques des véhicules automobiles, n° 9, avril 1997, PP. 23-26

d - R. Bouc, Le contrôle actif du bruit et des vibrations : acteurs, réalisations, axes de progrès. n° 3, oct 1995, PP. 9-11

[2] Roulement : 1... 2... 3. Bruit de ce qui roule. À cette heure-ci, le roulement des voitures est assourdissant. Un roulement de timbales. Donc le roulement du trafic. Hachette Livre, 1998

[3] J. Lelong, Émission acoustique des véhicules, INRETS, ENPC Paris, 28 septembre 1999

[4] Symposium on Noise in Transportation, Eighth International Congress on Acoustics, Southampton, 22/23 July 1974 et the working group on research into road traffic noise. A review of road traffic noise. Ministry of TRRL, Report LR 357 Crowthorne 1970 (Road Research Laboratory)

[5] U. Sandberg, Tire/Road noise from an experimental composite wheel, INTROC'90, Gothenburg, 8/10 August 1990.

[6] Wheel/rail noise generation-5 Parts, JSV 161 (3), 1993, 96 P.

[7] G. Burdea, P. Coiffet, La réalité virtuelle, Ed. Hermes, 1993

[8] J.-P. Mazeau, X. Bryche, F. Costa, M. Nafu, Un espace interactif dispersé destiné à supporter des rencontres sportives, Université de Paris VII, L'interface des mondes réels et virtuels, 4es journées internationales, Montpellier, 1995.

## Liste des annexes

**Annexe I.** Thèmes de la Recherche sur le bruit des Transports 1955 1990.

**Annexe II.** euro-noise '95. Soft ware for noise control. Lyon 21-23 mars 1995 an International INCE Symposium. Extraits du programme.

**Annexe III.** Les écrans acoustiques vus en fin de siècle. Extrait du texte d'un concours de conception d'écrans acoustiques de la Direction des routes en 1998.

**Annexe IV.** International Tire/Road Noise Conference 1990. 8-10 August Gothenburg.

**Annexe V.** 1930 : pneumatiques Michelin montés en bandage.

## Annexe I. Thèmes de la Recherche sur le bruit des Transports 1955-1990

Période	THEMES EMERGENTS	MOTIFS, CIBLES
Avant 1955	Domages auditifs Secteurs aéronautiques Gêne, unités, indices	Maladies professionnelles Aéronefs Aéroports
1960	Bâtiments Echappements de moteurs thermiques	Habitat, etc. Réglementation
1965	Circulation automobile Gêne, indices Prévision Véhicules	Construction d'autoroutes Barrières acoustiques Guide du bruit Réglementation
1975	Instrumentation électronique, informatique Enquêtes Psychoacoustique	Mesures Sonomètres intégrateurs Normalisation Gêne globale, seuils Sommeil
1985	Modélisation du bruit de trafic Contrôle actif Contact pneu-chaussée	Logiciels de prévision Cartes de bruit Habitacles (avions) Echappement Pneu, enrobés ouverts
1990	Train rapides Gêne Production du bruit Gêne bruit d'avion, jour, nuit, indices nouveaux	Coopération Franco Allemande Extension du trafic. Nouvel aéroport à Paris?

## Annexe II. EURO-NOISE '95. Software for noise control. Lyon 21-23 mars 1995 an International INCE Symposium.

### Extraits du programme

#### Traffic noise : provisional models

Prediction of outdoor and traffic noise modelisation examples with the "impact" software, J.-G. Migneron, P. Lémieux, P. Côté (Université Laval, Canada).

Traffic noise propagation in urban area : principles and use of the Mithra software, Y. Gabillet, D. Van Maercke (CSTB, France).

Computerized road traffic noise calculations based on digital terrain data, S.A. Storeheir, K. Hunstad, V. Bornes (SINTEF DELAB, Norway).

Traffic and noise simulation at signalised intersection - the simulation program, F. Brunetti, A. Calabrese, A. Di Giulio, P. Mainardi, A. Vizzardì (SIPATSL - USSL 70, Italy).

MICROBRUIT : la prévision du bruit routier au quotidien, D. Soulage, C. Serve, C. Millard (CERTU, France).

VISIGO expert system computer-controlled silent cities, B. Meriel (LRPC de Blois, France).

Logiciels de prévision du bruit des transports terrestres et normalisation française, D. Soulage (CERTU, France).

Prévision de niveau sonore nocturne : Etude critique de cas, M. Vernet, J.-R. Koch, M. Maurin (INRETS - LEN, France).

Traffic noise : Expert systems, Users A home kit for road traffic noise calculations, Fr. Van Den Berg. (Rijksuniversiteit Groningen, Netherland).

Urban Traffic noise : experimental results and previsional mode, J. Bohatkiewicz (Cracow University of Technology, Poland).

Utilisation de modèles numériques dans la conception et la définition d'une façade urbaine, M. Louwers (IMPEDANCE S.A., France).

#### Environmental noise (Industry)

ENM - Environmental Noise Model, R. Tonin, (RTA Technology Pty Ltd, Australia).

Practice and use of the computer model according to IL-HR-13-01, J.P. Van Rangelrooij (DGMR Consulting Engineers bv, Netherlands).

Prediction of explosive noise levels, R.D. Ford, D.J. Saunders, (University of Salford, UK).

Modelling and prediction of the far-field noise levels in mechanised quarries, K. Pathak, S. Durucan (Imperial College, UK).

#### Railway noise and vibration

Improvement in the RailSim simulation software†: the monopolar contribution, G. Licitra, A. Iacoponi, P. Paoli, G. Giusti (Servizio Multinazionale di Prevenzione, Italy).

Prediction models to determine the effect of barriers along railway lines, H.J.A. Van Leeuwen, (DGMR Consulting Engineers bv, Netherlands).

Validation du logiciel MITHRA-FER Version 1.4, J. Colard, Y. Gabillet, P. Fodiman (SNCF Direction du Matériel, France).

Theoretical prediction of ground vibrations from underground trains, V. Krylov (Nottingham Trent University, UK).

The calculation of groundborne noise and vibration in residential buildings generated by trains, R.J. Greer, R.A. Hood, P.R. Williams, L.P. Jephson, (ASHDOWN Environmental Limited, UK).

Outdoor noise propagation : physical aspects, barriers

Prediction of sound levels in the shadow zone behind a hill with surface roughness, Y. Berthelot, J.P. Chambers (Georgia Institute of Technology, USA)

A boudary element method program to study 2D noise barriers with ground effects, Ph. Jean, Y. Gabillet. (CSTB, France).

Main statements of theory and calculation of conformable shields, M.M. Samoylov, N.Z. Zyuzlikova (Baltic State Technical University, Russia).

Numerical prediction of the efficiency of anti-noise barriers, F. Anfosso-Ledee, P. Dangla, P. Harlicot. (LRPC Strasbourg, France).

ECRAN a predicting software to evaluate the efficiency of traffic noise barriers, T. Legouis, M. Berengier. (SerdB, LCPC, France).

Influences des conditions météorologiques sur la propagation du son : une double approche, V. Zouboff, E. Sechet. (LPC Angers, France).

Simulation acoustique de l'impact environnemental des activités humaines sous conditions météorologiques quelconques, F. Renard (TRANSOFT International, France).

What precision is to be waited in ray computations in the atmosphere ? J.-M. Parot (IFMA, France).

Noise control software COAC-CA/88 ; the design tool according NBE-CA/88 and Spains architecture, 4 years ago, F. Daumal i Domenech, J.-L. Montserrat (Universitat Politecnical de Catalunya, Spain).

### Annexe III. Les écrans acoustiques vus en fin de siècle. Extrait du texte d'un concours de conception d'écrans acoustiques de la Direction des routes en 1998.

L'écran acoustique est utilisé lors de la construction des routes et autoroutes neuves, mais surtout en traitement des points noirs bruit sur les voies existantes chargées. Actuellement, environ 35 kilomètres d'écrans sont réalisés annuellement, rythme qui sera accéléré au cours des prochaines années.

D'une façon générale, les écrans acoustiques devront :

- s'adapter aux routes et autoroutes existantes ou futures,
- être de type absorbant (par opposition au type réfléchissant),
- être conçus de façon à ce que leur construction et leur entretien soient compatibles avec les contraintes d'exploitation des voies en bordure desquelles ils seront implantés,
- permettre le traitement des points singuliers tels les ouvrages d'art, les refuges, etc.,
- tenir compte des équipements de signalisation, d'éclairage, de sécurité, d'appel d'urgence, d'assainissement, etc., installés le long des voies, et de leur entretien. Ils devront en outre, pour leur partie vue depuis la route et pour leur partie tournée vers les riverains :
  - s'inscrire dans le paysage routier,
  - jouer un rôle de repère et de guide visuel pour les automobilistes,
  - minimiser l'effet de coupure,
  - être adaptables à la fonction des lieux (espace public, jardin privé, cheminement, espace urbain, etc).

### Annexe IV. International Tire/Road Noise Conference 1990. 8-10 August Gothenburg

#### Wednesday, 8 August

By Ms **Monica Sundström**, Director General, Swedish Road and Traffic Research Institute, Linköping, Sweden  
09:10 Opening Address

By Mr **Sten Wahlström**, Chairman of the Organizing Committee

09:20 General Information Regarding the Conference

By Dr **Ulf Sandberg**, Technical Secretary of INTROC 90

#### Session 1: General

Chairman: Mr **Göran Friberg**, Adm. Officer, Swedish Environmental Protection Agency, Solna, Sweden

09:30 **J. A. Ejsmont**, Technical University of Gdansk, Poland

Computerized Tire/Road Noise Bibliography

09:50 **R.K. Hillquist**, RKH Consults, Inc., Milford, Michigan, USA

Historical Review of US Studies on Truck Tire Noise

#### Session 2A: Noise Generation Mechanisms and Model Developments

Chairman: Mr **Donald B. Thrasher**, Uniroyal Goodrich, Brecksville, Ohio, USA

10:30 **K. Schaaf**, VW AG, Wolfsburg, **D. Ronneberger**,

3rd Physical Institute, University of Göttingen, and P. Neuwald, 3rd Physical Institute, University of Göttingen, Federal Republic of Germany

Noise of a Rolling Tire - Flow and Pressure Variations in the Region of the Contact Patch (video film about tire/road noise generation)

10:50 **J. F. Hamet, C. Deffayet and M.-A. Pallas**, INRETS, Bron, France

Air Pumping Phenomena in Road Cavities

11:10 **Y. Oshino and H. Tachibana**, JARI, Ibaraki, Japan  
Noise Source Identification on Rolling Tires by Sound Intensity Measurement

11:30 **W. Kropp**, Inst. for Technical Acoustics, Technical University of Berlin, Federal Republic of Germany  
Simulation of the Tire/Road Interaction

11:50 **N.X. Nilsson and T. Zetterling**, 3K Akustikbyrå AB, Sundbyberg, Sweden

Noise Reduction Mechanisms for Porolastic Road Surfaces

#### Session 4: National Research or Abatement Programs

Chairman: Dr **F. Augusztinoviez**, Inst. for Transport Sciences, Budapest, Hungary

13:30 **R. Stenschke**, German Federal Environmental Agency, Berlin, Federal Republic of Germany  
Activities of the German Federal Environmental Agency to Reduce Tire/Road Noise

13:50 **G. Breyer**, Federal Road Administration, Vienna, Austria

Low Noise Road Surfaces in Austria

14:10 **O.R. Chan**, Environmental Protection Dept. Headquarters, Hong Kong Government, Hong Kong  
Hong Kong's Quiet Road Surface Programme

#### Session 5: Road Surface Influence on Noise

Chairman: Dr **P.M. Nelson**, TRRL, Crowthorne, U.K.

14:30 **S. Samuels**, Australian Road Research Board, Nunawading, Victoria, Australia  
Australian Road Surface Treatments to Minimise Tyre/Road Noise

14:50 **J. Kragh**, Danish Acoustical Institute, Lyngby, Denmark

Traffic Noise Measurements at Asphaltic Road Surfaces

15:10 **J. Vale and A. Salta**, Lab. Nacional de Engenharia Civil, Lisbon, Portugal

A Comparison between Transverse and Longitudinal Grooved Concrete Surfaces Regarding Tire/Road Noise

15:50 **A. Banuelos, B. Irache and J.L. Zabala**, Labein, Bilbao, Spain

Analysis of Pavement Influence in Noise on Basque Country Roads

16:10 **S. Canale**, Rome University, M. Malgarini, Autostrada, Rome

**G. Puzelli and R. Ricci**, TECNIC Consulting Engineers, Rome, Italy

The differences of Sound Pressure Level on Italian Highway Pavements

16:30 **M. Springborn**, Section Road Construction, Technical University of Berlin, Federal Republic of Germany  
Measurement of Tire/Road Noise and the Influence of the Road Surface

**Thursday, 9 August****Session 2B: Noise Generation Mechanisms and Model Developments**

Chairman: Yet to be appointed

08:00 **J. A. Ejsmont**, Technical University of Gdansk, Poland

Side Force Influence on Tire/Road Noise

08:20 **V. Legeay**, LCPC, Centre de Nantes, France

Macrotexture and Low Frequency Tire/Road Noise Correlation

08:40 **K. Attenborough and C. Howorth**, The Open University, Milton Keynes, U.K.

Models for the Acoustical Characteristics of Porous Road Surfaces

09:00 **M. Berengier**, LCPC, Centre de Nantes, and **J.F. Hamet**, INRETS, Bron, France

Effect of an Absorbent Pavement on the Tire Noise Propagation

09:20 **Discussion**: Generation mechanisms

**Session 3: Measurement Methods**

Chairman: Mr **G. Callow**, MIRA, Nuneaton, U.K.

10:20 **J. Beaumont and D. Soulage**, LRPC de Strasbourg, France

Estimate Procedure of Vehicle Noise on Road Surfaces - French-German Procedure

10:40 **Th. van Breugel, Th. Goeman, and J.J. van Houdt**, Rijkswaterstaat, Delft, The Netherlands

Traffic Noise Measurements - Determination of Variation as a Consequence of Pavement Type and Other Factors

11:00 **H. Steven**, FIGE GmbH, Herzogenrath, Federal Republic of Germany

Investigations on a Measuring Method for the Tire/Road Noise of Passenger Cars

11:20 **D. Ronneberger and C. Preuss**, 3rd Physical Institute, University of Göttingen. Federal Republic of Germany

Optimum Positions of Microphones in Trailers

11:40 **G. Rasmussen**, Bruel & Kjaer, Naerum, Denmark

Pin-point Noise Sources on Vehicles During Pass-by Using Intensity Technique

12:00 **K. B. Ginn**, Bruel & Kjaer, Naerum, Denmark

Tire Noise Measurements Using Spatial Transformation of Sound Fields

**Session 6A: Design of Porous Surfaces - Acoust.FX**

13:20 **F. Tatsushita**, Tokyo Metropolitan Government, **H. Yamanokuchi, T. Inoue and Y. Yagi**, Nippon Hodo Co., Ltd., Tokyo, Japan

Application of Low Noise Pavement to Urban Arterial Road

13:40 **S. Iwai, Y. Miura, T. Yokokawa and H. Kobayashi**, Nihon University, Chiba, Japan

Tire/Road Noise Reduction Effects of Porous Pavement and Pavetex Pavement

14:00 **H. Steven**, FIGE GmbH, Herzogenrath, Federal Republic of Germany

Recent German Experience With Open-Pored Surfacing

14:20 **T. Zetterling and N-1 Nilsson**, 3 K Akustikbyrå AB, Sundbyberg, Sweden

Implementation of the Poroelastic Road Surface

**Session 6B: Design of Porous Surfaces - Acoustical Effects**

15:00 **S.f Storeheier**, Acoustics Research Center, ELAB-RUNIT, Trondheim, and **Arnevik**, ViaNova A/S, Slependen, Norway

Traffic Noise Reduction through Optimization of Void Distribution in Road Binder, Layer and Wearing Course

15:20 **J.F. Hamet**, INRETS, Bron, **M. Berengier**, LCPC Nantes, and **M. Jacques**, LRPC Bordeaux, France

Acoustic Performances of Pervious Surfaces

15:40 **G. Pipien and P. Bar**, CETUR, Bagneux, France.

Superthick Porous Pavements as a Noise-Reducing Means

16:00 **A. von Meier, G.J. van Blokland and J.C.P. Heerkens**, **M+P Raadgevende Ingenieurs B.V.**, Aalsmeer, The Netherlands

Noise Optimized Road Surfaces and Further Improvements by Tyre Choice

**Friday, 10 August****Session 7: Design of Porous Surfaces - Overall Considerations**

Chairman: Dr **C. Lamure**, INRETS, Bron, France

09:00 **S. Ohlsson**, Street and Highway Dept., City of Gothenburg, Sweden. Porous Asphalt - Experiences from the City of Gothenburg

09:20 **Y. Delanne**, LCPC, Centre de Nantes, France. Practicability of Acoustical Optimization of Drainage Asphalt

09:40 **Discussion**: Road Surfaces for Noise Reduction (Moderator: Dr **P.M. Nelson**, TRRL, Crowthorne, U.K.)

**Session 8: Public Perception of Tire/Road Noise**

Chairman: Dr **C. Lamure**

10:40 **X Mezgailis**, RTA, Haymarket, NSW, Australia

Public Perception of Tyre/Road Noise on Freeways in New South Wales, Australia

**Session 9: Tire Design for Reducing Traffic Noise**

Chairman: Mr **A. Besteman**, Bridgestone Corp., Brussels, Belgium

11:00 **S.-I. Storeheier**, Acoustics Research Center, ELAB-RUNIT, Trondheim, Norway

and **U. Sandberg**, Swedish Road and Traffic Research Institute, Linköping, Sweden

Vehicle Related Parameters Affecting Tire/Road Noise

11:20 **H.-E. Hansson, H-E Hansson AB**, Finspong, Sweden. Design of a Composite Wheel

11:40 **U. Sandberg**, Swedish Road and Traffic Research Institute, Linköping, Sweden

and **JA Ejsmont**, Technical University of Gdansk, Poland

Tire/Road Noise from an Experimental Composite Wheel

13:10 **J. A. Ejsmont**, Technical University of Gdansk, Poland

Tire/Road Noise and Rolling Resistance - Is There a Trade-Off?

13:30 **H. Stumpf**, Semperit Reifen AG, Traiskirchen, Austria

Linking Evaluation of Heavy Truck Tire Noise Measured by ISO 362 with Scale Factors for Sound Intensity

## Session 10: Legal Limits and International Harmonization

Chairmann: Mr **E. Krall**, Volvo Truck Corp., Gothenburg, Sweden

14:00 **W. Betzl**, T-V Bayern, Munich, Federal Republic of Germany

Influence of Tire/Road Noise of Trucks on Accelerating Noise According to 84/424/EEC or ISO 362

14:20 **L. zhsberg**, Volvo Truck Corp., Gothenburg, Sweden  
The Influence of Tire/Road Noise on Heavy Vehicle Noise during Type Approval Testing

14:40 **W. Enz**, FIGE GmbH, Herzogenrath, Federal Republic of Germany

Results of a Round Robin Test for Determining Site-to-Site Variations in Vehicle Noise Émission According to ISO Procedures

15:20 **U. Sandberg**, Swedish Road and Traffic Research Institute, Linköping, Sweden

Proposed ECE Regulation for Tire/Road Noise Émission

15:40 **Discussion:** Limitation of Tire/Road Noise  
(Moderator: Mr **Halvard Nilsson**, Gislaved/Nivis Tyre, Gislaved, Sweden)

## Annexe V. 1930 : pneumatiques Michelin montés en bandage.

