

Perception auditive de différents enrobés routiers

Phase 1 : Elaboration et mise en place d'un outil de prise de son et de reproduction sonore

Christophe Annequin^a, Patricia Champelovier^a et Robert Ruiz^b

^a INRETS, 25 avenue François Mitterrand 69500 Bron, France

^b LARA, Université de Toulouse-Le Mirail 31058 Toulouse cedex 1, France

RESUME

Le contact du pneumatique avec la chaussée est une source de bruit importante à prendre en compte pour l'étude des nuisances sonores dues à la circulation routière. Dans cette étude, différents enrobés routiers sont comparés auditivement. Les enregistrements proposés aux auditeurs ont été effectués sur piste avec un véhicule isolé et à vitesse constante. Le procédé de prise de son retenu utilise 3 microphones de même directivité couvrant un angle de **prise de son de 120°**. L'espace sonore reproduit (120°) en laboratoire (LEE) est ainsi plus large qu'en stéréophonie classique (60°).

Les méthodes de prise de son et de restitution ainsi élaborées participent à la conception d'un outil de simulation de l'environnement sonore d'infrastructures de transports en laboratoire.

I. INTRODUCTION

Le bruit de roulement, dû au contact entre les pneumatiques des véhicules **en mouvement**, et la chaussée, est une composante importante du bruit routier.

Analyser ce phénomène d'un point de vue acoustique reste la préoccupation majeure des recherches dans ce domaine. Peu d'études ont été effectuées pour obtenir un classement perceptif des différentes chaussées [1]. La plupart du temps, ces études consistent à faire entendre à un auditeur, par l'intermédiaire d'un haut-parleur, c'est à dire en monophonie, le bruit du passage d'un véhicule sur la chaussée, puis de lui demander une classification du plus au moins fort des sons entendus. L'objectif de cet article est de présenter une méthode pour élaborer un outil de prise de son et de restitution sonore adapté au bruit de contact pneu/chaussée et permettant de **réaliser des tests d'écoute pour comparer les** différents revêtements routiers.

II. PRINCIPES DE LA RESTITUTION SONORE

II.1. Systèmes existants

Les méthodes **d'enregistrement / reproduction sonore** sont nombreuses et variées. Elles nécessitent toujours de fixer le nombre de pistes à enregistrer et le nombre de canaux à reproduire

Il est possible de classer ces méthodes par la manière dont la prise de son et la reproduction sont effectuées [2] :

- un microphone/un écouteur → écoute monaurale
- tête artificielle/casque d'écoute → écoute binaurale
- un microphone/un haut-parleur → écoute monophonique

- 2 microphones/2 haut-parleurs → écoute stéréophonique

- 2 microphones/casque d'écoute → écoute biphonique

Les expérimentations qui ont été menées dans cette étude ont été réalisées **à l'aide d'un système stéréophonique** (2 microphones, 2 haut-parleurs) **ou avec un système dérivé comprenant 3 microphones pour la prise de son et 3 haut-parleurs pour la reproduction.**

II.2. Principes stéréophoniques

Lorsque la prise de son est effectuée avec un microphone et diffusée sur 2 haut-parleurs (monophonie dirigée), une source sonore ponctuelle sera localisée entre les 2 enceintes. Cette localisation sera dépendante du retard **et / ou** de la différence de niveau entre le haut-parleur de droite et celui de gauche. **On appellera "angle de diffusion" l'angle sous lequel l'auditeur "voit" les deux haut-parleurs (60° en stéréophonie).**

Lorsque la prise de son est effectuée avec un couple de microphones, le retard ou la différence de niveau (ou les deux à la fois) entre les haut-parleurs seront dépendants respectivement du retard et de la différence de niveau (ou des deux) entre les 2 microphones. Le retard (Δt) sera fonction de la distance entre les microphones et la différence de niveau (ΔI) sera fonction de l'angle entre les microphones (cas de microphones directifs).

Les limites de localisation sont atteintes lorsque la source est localisée en lieu et place d'un des haut-parleurs, définissant ainsi l'angle de prise de son **fonction de la distance et de l'angle entre les microphones** [3][4][5].

II.3. Adaptation du système à l'étude

L'objectif de cette étude est **de diffuser le plus fidèlement possible les prises de son de bruit routiers**

et donc d'élaborer un outil de prise de son /reproduction adapté. Cette contrainte de réalisme sonore impose que la position de la source reproduite par le système de diffusion sonore soit équivalente à la position de la source réelle à la prise de son. En d'autres termes, l'angle de prise de son doit être égal à l'angle de diffusion.

L'étude porte sur l'évaluation de la qualité sonore de différents revêtements routiers. Ces revêtements se présentent sous la forme de planches d'enrobés d'une longueur de 30m réparties de la manière suivante :

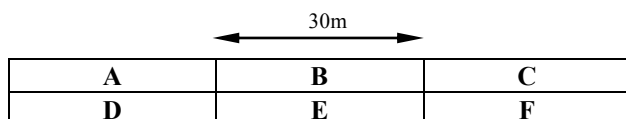


Figure 1. Position des planches de revêtements sur la piste d'essai

A, B, C, D, E, F sont les différentes planches de revêtements.

La norme NFS 31-119 fixe les modalités de mesurages acoustiques au passage de véhicules pour l'évaluation des différents enrobés routiers. La distance pour la mesure est de 7.5m du centre de la voie et ce pour chaque enregistrement.

L'angle de prise de son qu'il va être nécessaire de réaliser par le choix de la distance et de l'angle entre les microphones du système de prise de son est donc égal à : $2 \cdot \tan^{-1} ((L/2)/d)$ où L désigne la longueur de la plaque (30m) et d la distance à la plaque (7.5m). Cet angle est de 126,9°.

II.4. Choix du système de prise de son

Le choix de microphones omnidirectionnels a été rejeté pour deux raisons principales:

- le risque de diffuser l'ambiance sonore de la prise de son en position frontale lors de la reproduction et,
- l'absence de contrôle des différences de niveau qui permettent d'obtenir l'angle de prise de son désiré sans créer un espacement trop important entre les capsules microphoniques synonyme de décorrélation des informations sonores.

Les microphones retenus sont de directivité cardioïde Leur angle d'ouverture à -3dB est de 60°. Ces microphones ne pourront couvrir les 126,9° nécessaire, mais seulement $60 + 60 = 120^\circ$. Cependant 120° est très proche de $126,86^\circ$.

Pour un angle de prise de son stéréophonique de 120° , avec un angle entre les microphones de 120° , la distance entre les capsules sera de 7cm [5].

L'angle de prise de son nécessaire est un angle beaucoup plus grand que l'angle de diffusion en stéréophonie classique (60°). Or les conditions expérimentales obligent à ce que l'angle de prise de son soit égal à l'angle de diffusion, donc égal à 120° . Avec un angle de diffusion aussi important, l'écoute se

rapproche de l'écoute binaurale (casque). De plus, l'enveloppement nécessaire de l'auditeur, réalisé avec un système de diffusion à 120° , nécessite un nombre de haut-parleurs supérieur à 2 [6][7]. Ce problème peut être solutionné en ajoutant un haut-parleur en face de l'auditeur. Les 3 haut-parleurs sont alors à la même distance de l'auditeur et doivent diffuser 3 signaux différents. Ces 3 signaux doivent être captés par 3 microphones cardioïdes équivalent à 2 couples stéréophoniques partageant un microphone, celui qui alimente le haut-parleur central. Les 3 microphones et les 3 haut-parleurs définissent un système, le système triphonique. Pour respecter les angles de prise de son correspondant au système triphonique, c'est à dire 2 couples stéréophoniques d'angle de prise de son égal à 60° , les microphones doivent obligatoirement être positionnés avec un angle physique entre eux égal à l'angle de prise de son. La distance nécessaire entre les capsules est alors de 53cm [5].



Figure 2. Procédé triphonique utilisé : 3microphones cardioïdes, angle 60° , distance 53cm

II.5. Test du système triphonique

Pour pouvoir valider la pertinence du système triphonique, une expérimentation sur la qualité du timbre et la précision de la localisation a été réalisée.

Ces tests consistaient à faire écouter, à des sujets mis dans des conditions de laboratoire, une source sonore fixe. Après cette écoute, ils devaient répondre à des questions visant à connaître la qualité de la reproduction audio sur ces 2 aspects spécifiques que sont le timbre et la localisation. L'expérience s'est déroulée au Laboratoire d'Evaluation de l'Environnement (LEE) situé à Bron (figure 3).

Le LEE est un bâtiment distinct des autres bâtiments de l'INRETS, composé de 5 pièces distinctes dont une salle expérimentale disposé comme le salon d'un riverain d'infrastructure de transports, une régie et une chambre assourdie (semi-anéchoïque). Il permet l'accueil de sujets dans le cadre d'expérimentation exigeant d'être isolé de toute influence sonore et visuelle extérieure, de contrôler les modulations émises à l'intérieur de la salle expérimentale et venant de l'extérieur ou de l'intérieur de celle-ci.

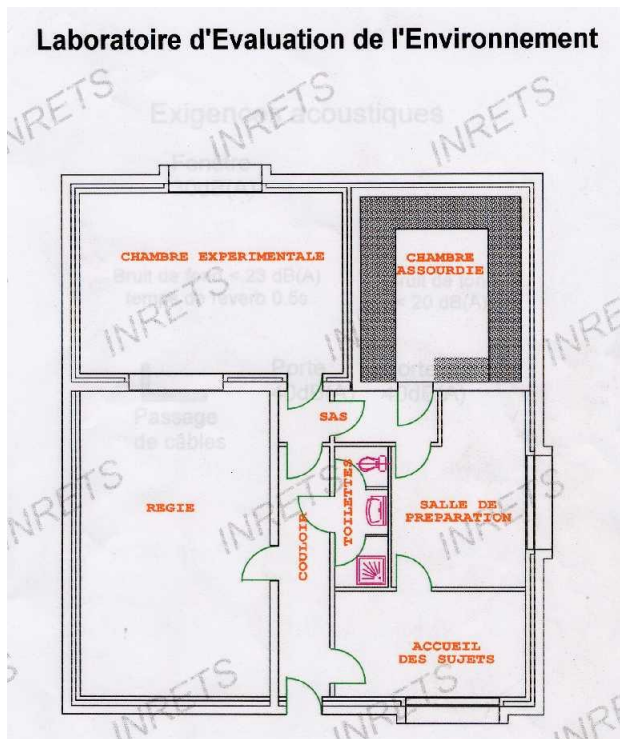


Figure 3. Plan général du LEE

Le test du timbre a eu lieu dans la chambre sourde et consistait à comparer le son d'un instrument de musique (percussion) émis par un musicien et le même son reproduit par le système de reproduction en monophonie, l'auditeur ayant les yeux bandés. Il est ensuite demandé à l'auditeur qui a reconnu le son réel, de noter sur 10 le son reproduit. Lorsque la personne ne reconnaît pas le son réel, le son reproduit est noté 10/10. Les résultats obtenus sont les suivants : 74% des auditeurs ont confondu la source réelle de la source reproduite.

La moyenne générale qu'obtient le système de reproduction est de 8.9/10.

Le test de localisation a eu lieu dans la salle expérimentale et consistait à faire entendre le son de la percussion enregistré sur la piste d'essai de l'INRETS à Satolas (LIER), à différentes positions angulaires (tous les 10°) par rapport au système d'enregistrement. La comparaison entre la position réelle et la position perçue par l'auditeur permet de connaître la précision de la localisation dans le système de reproduction. Les 2 systèmes, stéréophonique et triphonique, sont comparés dans ce test à partir de l'analyse sur les moyennes et écart-types.

Les résultats obtenus sont les suivants (tableau 1):

Les 2 systèmes sont très proches l'un de l'autre, la moyenne globale est pratiquement la même (5.1° et 5.3°). Le rapport maximal entre l'angle réel et l'angle perçu (distorsion angulaire) est égal à 12.8° en stéréophonie

contre 14.3° dans le système triphonique. Cependant, le système triphonique présente de nombreux avantages :

- la source est plus stable lorsqu'elle est dans le haut-parleur (distorsion à 0, +ou- 50 et 60°)
- Le nombre de haut-parleur est supérieur
- La source virtuelle est plus stable entre les haut-parleurs (écart-type en stéréophonie > écart-type en triphonie)

Tableau 1. Résultats du test de localisation

Angle perçu	Ecart-type triphonie	Distorsion angulaire triphonie	Angle réel	Distorsion angulaire stéréo	Ecart-type stéréo	Angle perçu stéréo
0.5	7.1	0.5	0	-0.1	11.0	-0.1
-0.1	13.4	9.9	-10			
-15.8	15.1	4.2	-20	-8.6	15.2	-28.6
-22.2	14.2	7.8	-30	-12.8	18.1	-42.8
-37.1	12.4	2.9	-40	-1.7	17.4	-41.7
-53.1	9.3	-3.1	-50	4.0	13.9	-46.0
-59.5	5.4	0.5	-60	8.5	10.9	-51.5
13.5	18.5	3.5	10	5.7	13.2	15.7
23.8	12.0	3.8	20	-3.2	19.8	16.8
37.0	10.1	7.0	30	3.5	15.6	33.5
54.3	6.7	14.3	40	-1.2	17.5	38.8
59.2	6.4	9.2	50	-3.0	11.6	47.0
57.8	5.1	-2.2	60	-11.7	16.9	48.3
	10.4	5.3	moyenne	5.1	15.1	

Le système triphonique diffuse une image plus stable que le système stéréophonique.

III. APPLICATION DU SYSTEME TRIPHONIQUE AU PASSAGE DE VEHICULES SUR DIFFERENTS REVETEMENTS

Le système de prise de son étant déterminé, il reste à l'utiliser en vue de comparer de manière auditive différents revêtements routiers. Afin d'effectuer ces comparaisons, il est nécessaire de construire à partir de passages particuliers de véhicules, un flot circulant sur un revêtement, à une vitesse fixe représentative d'une circulation sur une route nationale, c'est à dire 90km/h.

III.1. Enregistrement

Les planches d'enrobés disposées sur la piste d'essai ne mesurant que 30m de long, un passage de véhicules à la vitesse standard de 90km/h ne dure qu'un peu plus d'une seconde. Ce temps est beaucoup trop court pour permettre le montage de passages successifs représentatifs d'un flot de véhicules. Il est possible d'allonger ce temps en déplaçant le système d'enregistrement de 30m (soit la longueur d'une planche), à droite et à gauche de l'aplomb de la planche considérée (figure 4).

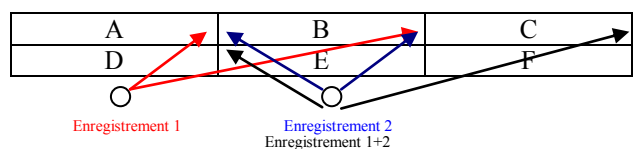


Figure 4. Position des enregistrements des phases du passage

Les 3 enregistrements, à gauche du système, à droite et en face, définissent 3 phases successives du passage d'un véhicule :

- L'approche
- Le passage
- L'éloignement

Le temps global dépasse alors 3 secondes et permet le montage du flot.

III.2. Montage

Le montage se déroule en 3 parties :

- montage des 3 phases de chaque passage de véhicules.

Les 3 phases sont repérées, étalonnées puis mixées à l'aide d'un logiciel d'édition. Le résultat est un fichier d'un seul tenant correspondant à un véhicule sur une planche.

- montage de chaque planche par mixage des fichiers.
- Les véhicules circulent alternativement sur une route nationale, dans les 2 sens, à vitesse stabilisée.
- ajout d'un bruit de fond.

Les séquences de véhicules même montées en phases ne durent que 3 secondes et la terminaison de ces séquences est abrupte et donc audible. Pour éviter que l'auditeur n'entende le montage, il est nécessaire de rajouter au flot de véhicules un bruit de fond correspondant à la planche considérée. Ce bruit de fond n'est utilisé que dans les moments où le véhicule n'est plus à l'aplomb du système microphonique, c'est à dire lorsque le véhicule est en phase d'éloignement.

IV. CONCLUSION

Le montage aboutit à l'élaboration d'un flot de véhicules contrôlé et réaliste, or c'était le but fixé de la phase n°1.

La phase n°2 est en cours et concerne la mise en place d'indicateurs psychoacoustiques permettant de quantifier les différences de perception qu'ont les auditeurs, des flots circulant sur chaque planche. La méthode envisagée consiste à mettre à la disposition de l'auditeur, un ordinateur contenant les fichiers audio des différents flots. Il pourra alors déclencher la restitution par un simple clic, mais aussi l'arrêter ou revenir en arrière. L'intérêt de ce protocole est de permettre au sujet d'être plus libre de ses choix et de l'ordre de l'écoute. Il pourra effectuer un classement sur une échelle numérique ou qualitative ou classer les flots par groupe de préférence en utilisant par exemple les critères d'appréciation comme fort/faible, aiguës/grave, plaisant/déplaisant...

L'objectif est que l'auditeur puisse comparer les différents flots.

REFERENCES

1. M. Vernet, *Gène due au bruit de roulement, étude en laboratoire*, rapport IRT/SERES n°659-811, décembre 1980.
2. R. Streicher, F. Alton Everest, *The new stereo soundbook*, 2nd édition, Audio Engineering Associates, 1998.
3. H. Mertens, *L'écoute directionnelle en stéréophonie, étude théorique et vérifications expérimentales*, revue de l'U.E.R., cahier technique n°92, août 1965.
4. G. Simonsen, Master's Thesis, Université Technique Lyngby, Danemark, Octobre 1984.
5. M. Williams, *Le couple variable, nouvel outil de prise de son stéréophonique*, (ouvrage disponible auprès de la section française de l'AES), février 1991.
6. *Recommandation UIT-R BS-775-1*, Union International des Télécommunications, Genève 1992-1994.
7. D. Griesinger, *Objective measures of spaciousness and envelopment*, Proceedings of the AES 16th International Conference 10-12 avril 1999 – p35.