

# L'UTILISATION DE PLANS D'EXPÉRIENCE POUR CHOISIR LA MODÉLISATION ACOUSTIQUE D'UN TÉLÉPHONE MAINS-LIBRES

Joris Brun-Berthet, Frédéric Laville et Stéphane Dedieu\*

Ecole de Technologie Supérieure, Génie Mécanique, 1100, rue Notre Dame Ouest, Montréal (Québec) H3C 1K3

\*Adresse actuelle : Mitel Corporation, 350 Legget Drive, Kanata (Ontario) K2K 1X3

## 1. Introduction

Le développement de téléphones mains-libres « Full Duplex » où le haut-parleur et le microphone fonctionnent en même temps a posé des problèmes de couplage acoustique entre les deux transducteurs. Ces problèmes sont actuellement résolus en partie grâce au développement d'algorithmes de traitement du signal [1]. Pour compléter la résolution de ces problèmes, il est nécessaire d'améliorer la conception physique du boîtier téléphonique, ce qui implique de développer un outil de simulation informatique de l'acoustique de ce boîtier.

La réalisation d'une telle simulation est rendue difficile à cause des nombreux phénomènes à prendre en compte, de la complexité de la géométrie du téléphone et de la largeur de la bande de fréquence utilisée (300 Hz à 3400 Hz en téléphonie classique et 150 Hz à 7000 Hz en téléphonie large bande). Plusieurs types de modélisation peuvent être élaborés. Le principal modèle est un modèle numérique mais celui-ci a des limites (bande de fréquence, complexité de la géométrie) et nécessite le développement de modèles complémentaires. Il s'agit donc de déterminer quels sont les éléments importants à modéliser afin de choisir les modèles les plus appropriés. Ce choix sera fait grâce à la méthode des plans d'expérience. Cette méthode a été utilisée fréquemment en génie industriel [2] mais plus rarement en acoustique ([3] par exemple) et ne l'a pas encore été, à notre connaissance, pour le choix des modèles.

## 2. Plan d'expérience

Dans ce projet, la méthode des plans d'expérience va permettre à l'aide d'un nombre précis d'expérience de déterminer l'importance de divers facteurs ainsi que la bande de fréquence dans laquelle ces facteurs sont importants.

### 2.1. Principe

Cette théorie repose sur l'utilisation des outils d'analyse statistique de données et permet de planifier une série d'expériences utiles pour déterminer l'influence d'un ou de plusieurs facteurs sur les variables dépendantes. Dans ce projet, la variable dépendante sera, soit la réponse du haut-parleur du téléphone, soit la réponse du microphone du téléphone, ou alors le rapport du signal reçu par le microphone sur le signal émis par le haut-parleur (évaluation du retour ou bien du bouclage). La méthode consiste à définir une série d'expériences à partir de tables orthogonales. L'utilisation de ces tables orthogonales va permettre de séparer l'effet des facteurs de façon très simple.

L'intérêt des plans d'expérience vient du fait que toutes les informations sur les facteurs proviennent de l'ensemble des expériences faites, d'où la possibilité de réduire le nombre d'expérience par rapport à une méthode où chaque facteur est testé séparément. De plus, des informations supplémentaires sur les interactions entre les effets des facteurs sont disponibles. Les effets des facteurs sont calculés à partir de la table orthogonale qui a servi à faire les mesures, ensuite les effets calculés vont être normalisés puis comparés à l'aide d'un test statistique : le test de Fisher (F), à partir duquel l'effet du facteur va être évalué.

### 2.2. Expérience

Afin de bien comprendre les différents phénomènes présents dans l'acoustique du téléphone mains-libres, c'est à dire les différents chemins de transmission acoustique (représentés dans la figure 1 par les numéros 1, 2, 3, 4, 5 et 6), des prototypes à géométrie simplifiée ont été réalisés (Figure 1). Ceux-ci ont servi aussi à valider les premiers modèles numériques.

La méthode est illustrée avec un plan d'expérience limité à quatre facteurs et une seule des trois variables dépendantes, la réponse du haut-parleur. Il s'agit d'un plan d'expérience factoriel fractionnaire  $2^{4-1}$ , ce qui signifie que les effets de 4 facteurs vont être testés avec un plan réduit à seulement 8 expériences au lieu des  $2^4$ , soit 16 expériences attendues pour le plan factoriel complet. Dans ce cas le plan fractionnaire ne permettra pas de connaître les interactions aux niveaux les plus élevés. Le nombre de niveau par facteur est de 2 car le but de ce plan d'expérience est de déterminer l'influence du facteur donc seulement 2 niveaux suffisent, par exemple présence ou absence du facteur.

Pour chaque expérience une répétition sera faite afin de pouvoir évaluer les interactions doubles avec un niveau de confiance suffisant.

Les 4 facteurs définis ici sont :

- A : Plaque : composants placés à l'intérieur du boîtier.
- B : Grille : grille de protection placée devant le haut-parleur.
- C : Epais : 2 épaisseurs de boîtier, 3 mm et 6 mm.
- D : Mousse : mousse ajoutée à l'intérieur du boîtier afin d'augmenter l'absorption interne.

Le déroulement des expériences (16 mesures) est décrit dans le tableau 1.

Tableau 1 : table orthogonale du plan d'expérience  $2^{4-1}$  avec une répétition.

A (Plaque)	B (Grille)	C (Epais)	D (Mousse)	Mesures
Oui	Oui	6 mm	Non	1, 9
Non	Oui	6 mm	Oui	2, 10
Oui	Non	6 mm	Oui	3, 11
Non	Non	6 mm	Non	4, 12
Oui	Oui	3 mm	Oui	5, 13
Non	Oui	3 mm	Non	6, 14
Oui	Non	3 mm	Non	7, 15
Non	Non	3 mm	Oui	8, 16

Pour chaque expérience une mesure en bande fine est faite jusqu'à 10 kHz pour couvrir les bandes de fréquence de la téléphonie classique et de la téléphonie large bande

## 3. Résultats

Les résultats d'un plan d'expérience permettent de visualiser le niveau des effets normalisés par rapport au seuil correspondant au test statistique (Fisher). Ici, la conservation d'une grandeur physique est importante, la représentation des résultats proposée pour l'acoustique est donc une représentation des effets en décibel, c'est à dire sans normalisation. Le test statistique va donc être transposé en décibel pour apparaître sur les courbes de résultats.

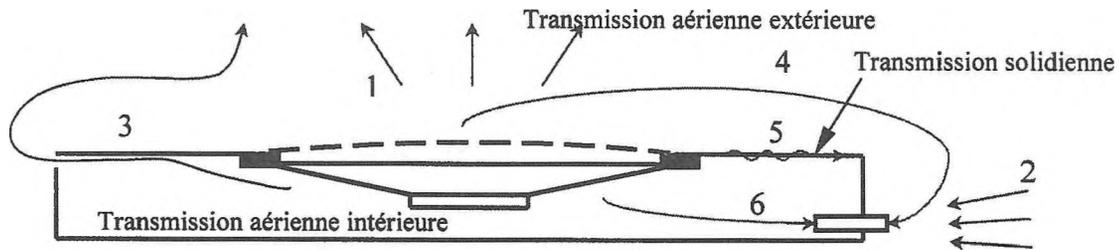


Figure 1 : Prototype et chemins de transmission

Les calculs du plan d'expérience sont faits sur chacun des 1602 points du spectre. Le résultat est donc un spectre des effets en fonction de la fréquence. Les effets des 4 facteurs ainsi que des interactions doubles sont analysés. La résolution du plan d'expérience  $2^{4-1}$  avec une répétition impose que les interactions doubles soient couplées deux à deux. Les effets des facteurs et interactions suivants sont disponibles : A, B, C, D, AB = CD, AC = BD, AD = BC.

Deux sorties typiques des résultats sont représentées sur la figure 2, c'est à dire le spectre des effets (trait fort) pour les facteurs Plaque (A) et Grille (B) ainsi que les limites de signification du test de Fisher (traits fins).

Les résultats montrent :

- Plaque (figure 2) et Mousse ont des effets peu importants et très localisés en fréquence sur les modes de cavité (premier mode acoustique selon l'axe vertical vers 4 kHz).
- Pour la grille (figure 2) un effet intéressant semblable à une résonance très amortie apparaît (entre 2 kHz et 6 kHz). Cet effet pourra donc être probablement modélisé analytiquement et rajouté au modèle numérique, d'où l'économie de le modéliser numériquement.
- L'épaisseur a un effet sur toute la bande de fréquence.

Les effets des interactions permettent de clarifier les interprétations des effets des facteurs. L'interaction AD=BC est importante sur pratiquement toute la gamme de fréquence, ce qui peut s'expliquer par le fait que les facteurs Mousse et Plaque agissent sur les modes de la cavité et interagissent ensemble. Les interactions AB=CD et AC=BD sont faibles sur pratiquement toute la gamme de fréquence, ce qui peut s'expliquer par le fait que les facteurs Grille et Epaisseur n'ont pas beaucoup d'influence sur les facteurs qui agissent sur la cavité. Cela suggère une possible économie au point de vue du calcul numérique car il serait envisageable de modéliser boîtier et cavité en ignorant leur couplage.

#### 4. Conclusion

Le plan d'expérience est une méthode couramment utilisée en génie industriel. Afin de l'appliquer comme aide à la décision pour la conception d'un modèle acoustique, elle a du être repensée en fonction des besoins propre à l'acoustique, en particulier le grand nombre de variable de sortie (1602 points) qui impose une représentation spectrale.

Le plan d'expérience présenté ici permet à l'aide d'un nombre réduit d'expérience de trouver les effets des facteurs choisis dans la gamme de fréquence désirée. Il permet aussi de faire des interprétations physiques et, en plus des mesures classiques, d'avoir des informations sur les interactions entre différents facteurs d'un système physique. Enfin, le plan d'expérience permet de faire des choix sur le type de modèle à utiliser comme pour le cas de la grille où un modèle plus approprié peut être développé.

#### 5. Remerciements

Cette étude a été possible grâce au financement de MITEL Corp. et du CRSNG.

#### 6. Bibliographie

- [1]. Hänslér, Eberhard, 1994, *The hands-free telephone problem - An annotated bibliography update*, Ann. Télécommun., 49, n° 7-8, pp 360-367.
- [2]. Montgomery, Douglas C., *Design and analysis of experiments Fourth edition*, John Wiley & Sons, 1996,
- [3]. Thomas, M., Laville, F. Beauchamp, Y. et Simard, F., 1997, *An experimental design for reducing riveting noise*, présenté au 22<sup>nd</sup> International Conference on Computers and Industrial Engineering au Caire, Égypte, 20-22 décembre.

