



**HAL**  
open science

## Indicateur d'audibilité de bruits impulsionnels de composants audio

Christophe Lambourg, Stéphane Molla, Philippe Siritto-Olivier, Alain Chianale

► **To cite this version:**

Christophe Lambourg, Stéphane Molla, Philippe Siritto-Olivier, Alain Chianale. Indicateur d'audibilité de bruits impulsionnels de composants audio. 10ème Congrès Français d'Acoustique, Apr 2010, Lyon, France. hal-00537208

**HAL Id: hal-00537208**

**<https://hal.science/hal-00537208>**

Submitted on 17 Nov 2010

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

## Indicateur d'audibilité de bruits impulsionnels de composants audio

Christophe Lambourg<sup>1</sup>, Stéphane Molla<sup>1</sup>, Philippe Sirito-Olivier<sup>2</sup>, Alain Chianale<sup>2</sup>

<sup>1</sup>GENESIS S.A., Domaine du Petit Arbois - BP69, F-13545 Aix-en-Provence Cedex 4, {stephane.molla, christophe.lambourg}@genesis.fr

<sup>2</sup>ST-Ericsson, 12, Rue Jules Horowitz, BP217, F-38019 Grenoble, {phil.sirito-olivier, alain.chianale}@stericsson.com

La mise en service et l'arrêt de certains circuits audionumériques, tels que ceux intégrés dans les téléphones portables multimédia, entraîne la génération de bruits impulsionnels (« pop ») qui peuvent s'avérer gênants pour l'utilisateur, même à faible niveau. Ce travail est consacré à l'étude d'un indicateur objectif pour prédire l'audibilité de ce type de bruit en fonction de ses caractéristiques électriques et du casque d'écoute utilisé. Pour cela, un test psychoacoustique est réalisé sur un panel de 30 sujets, portant sur 10 signaux impulsionnels différents, diffusés aux sujets au moyen de 4 modèles de casque d'écoute. En appliquant une procédure adaptative du type « 1up – 2 down », ce test a permis de déterminer le gain à appliquer pour que ces signaux soient justes audibles (probabilité de détection de 71%). Différents indicateurs objectifs ( $L_{A,eq,Tms,max}$ ,  $N_{30ms}$ ,  $STL_{max}$ ,  $LTL_{max}$ , LMIS, PEAQ) sont ensuite calculés à partir des signaux électriques et des fonctions de transfert électroacoustiques mesurées sur les casques d'écoute, pour déterminer celui qui est le mieux corrélé avec les résultats du test.

## 1 Introduction

Afin d'optimiser l'autonomie des batteries des téléphones portables et baladeurs audionumériques, les intégrateurs sont amenés à interrompre l'alimentation des circuits audio dès qu'ils ne sont pas utilisés pendant des quelques secondes. Cette opération entraîne inévitablement la génération d'un bruit impulsionnel (communément appelé « pop »), qui, même à très faible niveau, peut s'avérer gênant pour l'utilisateur compte tenu de la fréquence élevée des phases d'arrêt et de mise en service de l'alimentation.

L'audibilité de ce type de bruit dépend du signal électrique en sortie de l'amplificateur, mais également des caractéristiques électroacoustiques du casque utilisé pour la restitution.

Cet article présente l'étude qui a été menée par les sociétés Genesis et ST-Ericsson pour définir et valider l'indicateur objectif PAuP (Pop AUdibility Prediction) permettant de prédire la probabilité pour qu'un « pop » soit perçu par un utilisateur équipé d'un casque d'écoute donné. Cette étude comporte trois étapes distinctes : (1) l'enregistrement de différents signaux impulsionnels « pop » et la caractérisation d'un échantillon représentatif de casques d'écoute grand public disponibles dans le commerce ; (2) la réalisation d'un test d'écoute auprès d'un panel d'auditeurs afin de mesurer le gain qui doit être appliqué à ces signaux pour qu'ils deviennent justes audibles ; (3) la recherche de l'indicateur objectif le mieux corrélé avec les résultats du test d'écoute. Ces étapes sont décrites au cours des paragraphes suivants.

## 2 Mesures physiques

### 2.1 Objectifs

Deux types de mesures ont été menés dans la première partie de cette étude :

- mesure des différents signaux de pop susceptibles de se produire, qui servent de stimuli pour le test d'écoute et la recherche d'un indicateur,
- mesure des caractéristiques de transfert de plusieurs casques audio grand public, qui sont utilisés au cours du test.

### 2.2 Signaux électriques

Cette section présente le protocole mis en place pour mesurer les signaux impulsionnels. Ces signaux ont été générés en combinant différentes séquences d'initialisation et d'arrêt de deux circuits audionumériques différents. 10 types de pop différents ont ainsi été générés.

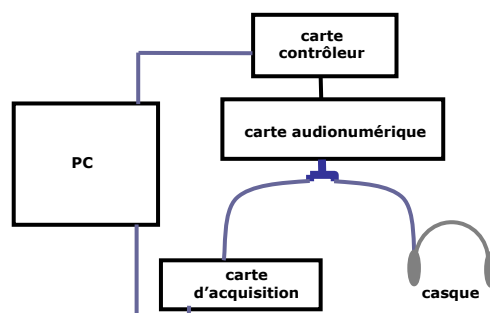


Figure 1: schéma de montage pour la mesure des signaux électriques de pop

La mesure se fait par une carte d'acquisition en sortie de la carte audionumérique qui génère le pop. La génération des pops est réalisée à l'aide d'une carte contrôleur qui permet de piloter les circuits audionumériques. Afin de placer le circuit audio dans des conditions réalistes de fonctionnement, un casque d'écoute est branché sur la sortie en parallèle de la carte d'acquisition.

La Figure 2 présente la forme d'onde et le spectre d'un des signaux impulsionnels. Les pops mesurés ont une durée typique de l'ordre de 100 à 200 ms, une allure temporelle

d'établissement qui présente un pic important à la montée, et aucune période.

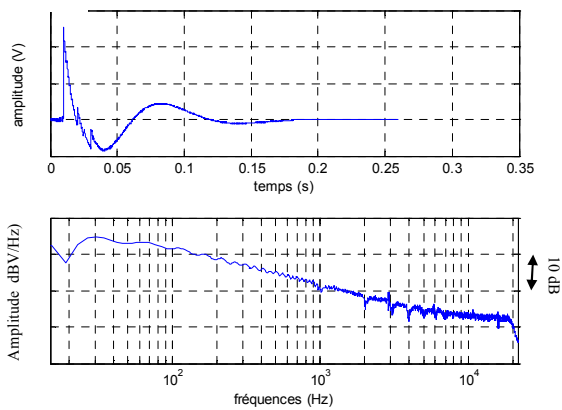


Figure 2: exemple d'un signal de pop. En haut: forme d'onde. En bas: spectre de fréquence.

Au total, 40 signaux ont été mesurés, correspondant à 10 séquences d'initialisation différentes combinées avec 4 casques différents. L'influence du casque affecte principalement le niveau du signal électrique mesuré.

### 2.3 Fonctions de transfert électroacoustiques des casques

Les fonctions de transfert en fréquence (FRF) ont été mesurées sur un panel de casques représentatifs du marché grand public. Elles permettent d'estimer la pression acoustique générée par le casque au niveau du tympan d'un auditeur, à partir du signal électrique aux bornes du casque.

Pour ces mesures, une tête artificielle Cortex équipée d'une oreille artificielle G.R.A.S conforme à la norme IEC 711 et au type 3.3 de la recommandation ITU-T P57 [6] a été utilisée.

Les casques qui ont été caractérisés sont les suivants:

- casque C1 : type circum-aural, impédance  $32\Omega$ ,
- casque C2 : supra-aural,  $32\Omega$ ,
- casque C3 : à embout moyen de gamme,  $16\Omega$
- casque C4 : à embout haut de gamme,  $16\Omega$ .

La mesure est réalisée en positionnant le casque sur la tête du mannequin. Un signal d'excitation est généré aux bornes du casque, en effectuant l'acquisition simultanée du signal électrique d'excitation (S1) et du signal de pression sur l'oreille artificielle (S2) à l'aide d'une carte d'acquisition.

Le signal d'excitation utilisé est un bruit blanc d'une durée de 20 secondes, permettant d'obtenir un niveau sonore aux oreilles du mannequin de 90 dB SPL environ.

La FRF du casque est calculée en utilisant l'estimateur classique H1 de fonctions de transfert :

$$FRF(f) = \frac{S_{S_1 S_2}(f)}{S_{S_1 S_1}(f)}$$

où :  $S_{S_1 S_2}(f)$  est l'interspectre des signaux S1 et S2, et  $S_{S_1 S_1}(f)$  l'autospectre du signal S1. Les interspectres et autospectres sont estimés par la méthode des périodogrammes moyennés de Welch.

Par ailleurs, des mesures de dispersion et de reproductibilité ont aussi été effectuées. Pour ce faire, trois

exemplaires de chaque modèle de casque ont chacun été mesurés plusieurs fois dans des conditions similaires. Entre chaque mesure, l'exemplaire du casque mesuré est retiré puis repositionné sur la tête artificielle.

Il apparaît que l'effet de l'exemplaire utilisé est du même ordre de grandeur que l'effet de la position du casque lors de la mesure sur la dispersion des mesures (de l'ordre de 3 à 10dB suivant la gamme de fréquences).

La Figure 3 représente les réponses en fréquence moyennes des quatre casques mesurés durant cette étude. Ce sont ces fonctions qui ont été utilisées comme référence lors de la recherche de l'indicateur objectif (section 4).

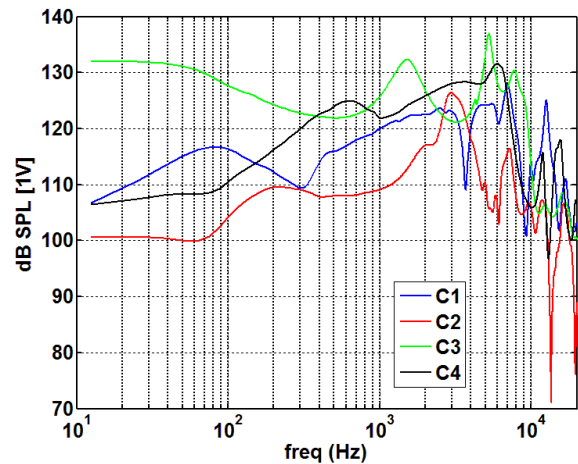


Figure 3: réponses en fréquence (FRF) moyennes des 4 modèles de casque utilisés

## 3 Test psychoacoustique

### 3.1 Objectifs et protocole

Un test psychoacoustique a été mis en place afin de déterminer quel est le gain qui doit être appliqué aux 10 signaux impulsionnels afin qu'il soit juste audible, pour chacun des modèles de 4 casques sur lesquels ont été réalisées les mesures (soit 40 configurations). L'objectif est d'obtenir ce gain au seuil d'audibilité pour chaque configuration (casque, pop) retenue dans la section précédente.

Une procédure adaptative à choix forcé du type « 2down-1up » a été adoptée (procédure 2I 2AFC, voir [7]). Elle consiste à faire écouter des séries de deux sons (repérés par les lettres A et B) à des auditeurs. L'un des sons correspond à un silence, l'autre à un signal impulsionnel. L'ordre de présentation des sons A et B est choisi aléatoirement pour chaque présentation et pour chaque auditeur. Pour chaque paire de sons, l'auditeur doit déterminer s'il a entendu le bruit impulsionnel dans le son A ou dans le son B. Le test est alors poursuivi en faisant varier le niveau du pop en fonction des réponses du sujet : un gain positif (amplification) est appliqué si le sujet a donné une mauvaise réponse, un gain négatif (atténuation) est appliqué s'il a répondu juste pour deux paires successives.

Le gain appliqué au pop converge donc de manière itérative pour se stabiliser autour de la valeur pour laquelle le son est juste audible (voir Figure 4).

Le niveau sonore initial des pops est choisi suffisamment élevé pour que les signaux tests soient

audibles par tout sujet ayant une audition normale, et ce quel que soit le casque utilisé au cours du test.

Les stimuli sont constitués de deux signaux impulsionnels répétés, espacés d'un silence de 400 msec (durée totale des sons de 700 ms). 32 sujets présentant une audition normale ont participé à cette étude. Un contrôle audiométrique (audiogramme) a été effectué pour chaque participant avant le passage du test. La durée du test pour un sujet est de l'ordre de 1h45, incluant trois pauses destinées à procéder à un changement de casque. Une phase d'entraînement était placée en début de test pour se familiariser avec l'expérience.

L'expérience s'est déroulée dans une chambre anéchoïque, ce qui permet d'assurer un niveau de bruit de fond suffisamment bas pour ne pas perturber les résultats.

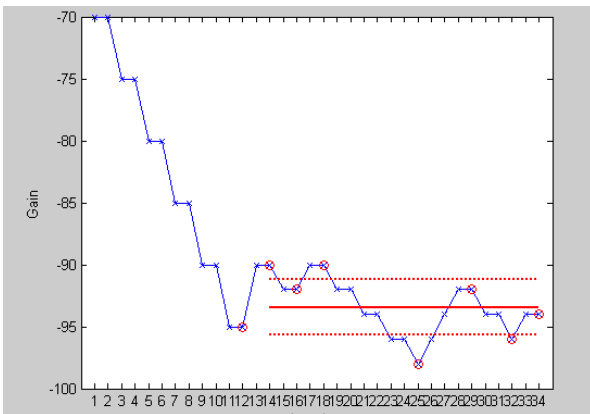


Figure 4: exemple de convergence du gain (en ordonnée) pour une série du test (tracking). Bleu : évolution du gain. Rouge : gain moyen sur les 6 dernières inversions. Rouge pointillé : écart type associé.

Au cours du test, on comptabilise le nombre d'inversions (réponse juste après une réponse fautive, ou réponse fautive après une réponse juste). Avant les deux premières inversions, le pas de variation du gain est +/-5 dB, afin de converger rapidement vers la valeur recherchée. Il varie ensuite de +/-2 dB à partir de la troisième inversion, afin d'encadrer plus finement cette valeur. Le tracking est stoppé après 8 inversions, et passe alors au signal test suivant. Il apparaît que 30 à 40 itérations sont nécessaires en moyenne pour vérifier le critère de convergence de chaque tracking.

### 3.2 Analyse des résultats

Le gain à la convergence  $G_0$  est défini comme la moyenne du gain sur les 6 dernières inversions. Ce gain à la convergence correspond au gain à appliquer au signal de départ pour qu'il devienne « juste audible » pour l'auditeur. Par construction, il correspond à une probabilité de bonne réponse lors du test égale à 0.71 (voir [7]).  $G_0$  dépend du signal impulsionnel, du casque et de l'auditeur.

Une étude de la dispersion interindividuelle du gain à la convergence  $G_0$  a été menée. Le Tableau 1 présente les valeurs de l'écart-type du gain à la convergence  $G_0$  par type de casque, et tous casques confondus. Un intervalle de confiance à 95% de l'ordre de 10 dB est donc mesuré pour la dispersion interindividuelle.

	Casque C1	Casque C2	Casque C3	Casque C4	Tout casque
Ecart type	4.35 dB	5.11 dB	4.80 dB	6.14 dB	5.14 dB

Tableau 1 : écarts type sur les gains après convergence pour chacun des casques, après normalisation pour chaque configuration.

Dans la suite, on s'intéresse aux variations du gain autour du gain à la convergence de chaque configuration. Pour un gain  $G$  donné (en dB),  $\Delta_{\text{gain}}$  est défini comme la différence entre le gain à la convergence  $G_0$  et  $G$ . On suppose par la suite que l'évolution de la probabilité de détection avec  $\Delta_{\text{gain}}$  est indépendante de l'influence de l'auditeur, du signal de pop et du type de casque.

Nous nous intéressons au pourcentage de bonnes réponses données par l'ensemble des sujets en fonction de  $\Delta_{\text{gain}}$ . Une régression logistique a été effectuée à partir des données cumulées de pourcentage de bonnes réponses des auditeurs en fonction du  $\Delta_{\text{gain}}$ , estimée par pas de 1dB. Ces données sont représentées sur la Figure 5. Les valeurs sont comprises entre 50% (une chance sur deux de donner une bonne réponse lorsque le pop est inaudible) et 100% (pop audible, réponse évidente).

La probabilité de détection d'un pop (entre 0 et 100%) en fonction de l'écart au gain à la convergence ( $\Delta_{\text{gain}}$ ) est ensuite estimée à partir du résultat de la régression, corrigée pour compenser le fait qu'un auditeur a une chance sur 2 de répondre juste par hasard.

Sur la Figure 5, on constate qu'une variation du gain de 10 dB permet de passer de 0 à 100% de probabilité de détection. En tenant compte de la dispersion interindividuelle pour une configuration (signal, casque) donnée, il y a donc un écart de 20 dB entre la valeur de gain pour laquelle certains sujets commencent à percevoir le signal et la valeur pour laquelle la totalité des sujets le détectent de manière certaine.

Deux séries de valeurs du gain à la convergence  $G_0$ , ont été calculées pour chacune des configurations pour les deux séries suivantes :

- Série 1 : gain à la convergence moyen pour l'ensemble des 32 sujets du test.
- Série 2 : gain à la convergence moyen pour les 5 sujets ayant donné les valeurs les plus basses pour chaque configuration.

On nommera par la suite les valeurs d'indicateurs associées à ces deux séries de valeurs de gain **seuil moyen** (correspondant à la série 1) et **seuil fin** (correspondant à la série 2).

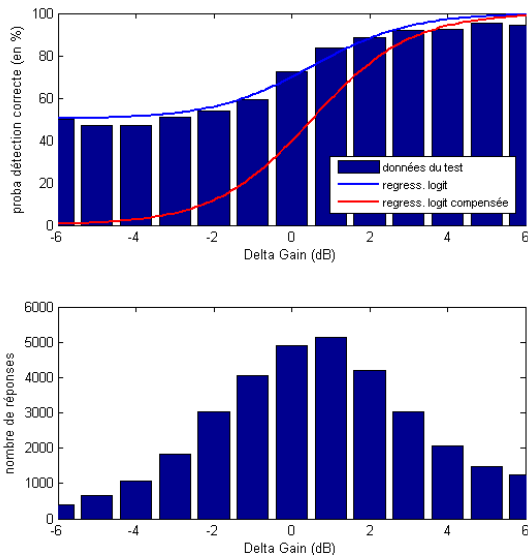


Figure 5: régression logistique autour du seuil de détection des pops. En haut : pourcentage de détection en fonction du gain relatif à la convergence  $\Delta_{\text{gain}}$ . En bas : histogramme du nombre de réponses correctes en fonction de ce même gain relatif.

## 4 Objectivation

Ce paragraphe présente la procédure mise en œuvre pour déterminer un indicateur permettant de prédire de façon fiable l'écart de gain au seuil de convergence pour une configuration donnée (signal, casque). Suite à cette identification, un indicateur appelé PAuP est proposé pour prédire l'audibilité des signaux impulsionnels.

### 4.1 Indicateurs testés

Cette section présente les indicateurs objectifs qui ont été testés dans le cadre de cette étude. Ces indicateurs prennent tous en entrée un signal en Pascal, correspondant à la pression acoustique au niveau du tympan.

#### Indicateurs de niveau

Le premier type d'indicateurs exploré est basé sur des méthodes de calcul de niveau équivalent.

Etant donné le caractère fortement non-stationnaire (et même transitoire) du type d'artefact concerné par cette étude, il n'est pas envisageable d'utiliser un indicateur global de niveau sonore équivalent. En effet, ce type d'indicateur est fortement dépendant de la durée du signal<sup>1</sup> ou de l'échantillon du signal considéré lorsque ce dernier n'est pas stationnaire.

Pour pallier cet inconvénient, il a été choisi de considérer un indicateur de niveau dépendant du temps. L'idée est de calculer le niveau pondéré A (calculé conformément à [5]) du signal par fenêtre de T millisecondes. Pour cela, une intégration du signal, au préalable pondéré A, par fenêtre glissante (choisie de type Hanning) de longueur T millisecondes est effectuée. L'indicateur  $L_{\text{Aeq},T,\text{max}}$  correspond alors au maximum du niveau atteint sur l'ensemble du signal considéré.

<sup>1</sup> Les signaux de cette étude étant très courts, le rajout d'un silence, même très court, avant ou après celui-ci a une influence importante sur le calcul de l'indicateur, puisqu'il est basé sur un pourcentage de la durée.

Les durées d'intégrations qui ont été retenues sont les suivantes :  $T = 5\text{ms}$ ,  $T = 10\text{ms}$ ,  $T = 50\text{ms}$  et  $T = 100\text{ms}$ .

Ainsi, les analyses produiront les indicateurs suivants :  $L_{\text{Aeq}5\text{max}}$ ,  $L_{\text{Aeq}10\text{max}}$ ,  $L_{\text{Aeq}50\text{max}}$  et  $L_{\text{Aeq}100\text{max}}$ .

#### Indicateurs de sonie

Le modèle de Zwicker & Fastl [4] permet de calculer la sonie (et le niveau d'isophonie) en fonction du temps. Différents indicateurs sont préconisés par ces auteurs pour estimer la sonie globale d'un son. Il s'agit d'indices statistiques comme le N7 (utilisé pour des signaux de parole), N5 (bruit de l'environnement) ou N4 (trafic routier). De manière générique, l'indicateur  $N_x$  représente la sonie dépassée pendant x pourcent du temps. Ce type d'indicateur s'applique pour des enregistrements longs, et est a priori mal adapté aux signaux impulsionnels très courts.

Pour s'affranchir de cette limitation, un indicateur correspondant à la sonie dépassée pendant 30 msec a été testé par la suite (baptisé  $N_{30\text{ms}}$ ).

Le modèle de Glasberg & Moore [3] permet également de calculer la sonie en fonction du temps pour des sons variant dans le temps. Les auteurs de [3] préconisent de calculer la valeur maximale du niveau d'isophonie à court terme (noté  $STL_{\text{max}}$ ) pour approcher le niveau d'isophonie global de sons variant dans le temps. Le niveau d'isophonie à court terme est le niveau d'isophonie perçu à chaque instant.

Le maximum de la sonie à long terme ( $LTL_{\text{max}}$ ) est préconisé par Glasberg et Moore pour estimer la sonie globale de sons stationnaires ou variant lentement dans le temps. La sonie à long terme (LTL) traduit le fait que la sonie globale d'un son est mémorisée après la fin de ce dernier pendant quelques secondes en l'absence de nouveau stimulus.

#### Indicateur de sonie impulsionnelle

Le modèle LMIS (Loudness model for Impulsive Sounds, [2]) permet de calculer la sonie de sons impulsionnels. Il a été validé sur une série de sons impulsionnels dont les niveaux crêtes variaient de 56 à 92 dB SPL dont les durées étaient comprises entre 10 et 1620 ms.

#### Indicateur de qualité audio

L'indicateur objectif PEAQ (Perceptual Evaluation of Audio Quality, [1]) développé et validé par l'UIT pour objectiver la qualité des systèmes audio a également été testé dans le cadre de cette étude. Il fait intervenir le calcul de plusieurs variables intermédiaires MOV (Model Output Variables). Le principe général de PEAQ est de prédire une note de qualité pour un signal testé (qui peut contenir des dégradations), par rapport à un signal de référence (qui est le signal d'origine non dégradé), provenant d'un test subjectif conforme à la recommandation ITU-R BS.1116.

Les variables de sortie de PEAQ qui ont été retenues pour l'analyse, car jugées les plus pertinentes pour la problématique qui nous intéresse, sont les suivantes :

- ODG (note différentielle objective) : valeur finale de sortie de PEAQ, qui correspond à une note globale de qualité entre 0 et -4. Cette valeur combine l'ensemble des variables de sortie de PEAQ au travers d'un réseau de neurones,
- Segmental NMRB (rapport bruit à masque par trame) : moyenne par segmentation du logarithme du rapport bruit/masque. Son calcul est basé sur la



différence de niveaux entre le seuil de masquage et le signal de bruit.

Ainsi, chacun des indicateurs décrits précédemment a été calculé pour chacune des configurations (signal pop, casque) utilisées durant le test psychoacoustique. Pour un signal pop donné en Volt (section 2.2), l'effet du casque est pris en compte via sa FRF (section 2.3) pour obtenir un signal en Pascal au niveau du tympan. C'est ce signal qui est donné en entrée des indicateurs, éventuellement corrigé par la fonction de transfert inverse modélisant l'effet de la propagation au travers de l'oreille moyenne si nécessaire.

## 4.2 Analyse statistique

Une fois les signaux conditionnés en utilisant la méthode décrite dans la section précédente (FRF et inversion éventuelle du transfert de l'oreille moyenne), les performances de chaque indicateur sont confrontées afin de déterminer lequel est le plus pertinent pour prédire l'audibilité.

Pour cela, les valeurs des 7 indicateurs sont calculées pour les 40 configurations en faisant varier le gain appliqué au signal entre  $G_0-10$  dB à  $G_0+10$  dB par pas de 5 dB ( $G_0$  correspondant au gain à la convergence du test d'écoute). D'après les résultats présenté au paragraphe 3.2, cet intervalle de largeur 20 dB autour de  $G_0$  est suffisant pour passer de 0 à 100% de détection. De plus, les calculs d'indicateurs sont effectués pour le seuil moyen et pour le seuil fin de chaque configuration. On obtient ainsi 200 valeurs (4 casques x 10 signaux de pop x 5 valeurs de gain entre  $G_0-10$  et  $G_0+10$ ) pour chaque indicateur et pour les deux seuils.. Ces valeurs sont ensuite centrées et réduites pour chacun des indicateurs, initialement donnés dans des unités différentes, afin de pouvoir les comparer entre elles.

	$L_{Aeq100max}$	$N_{30ms}$	$L_{max}$	$STL_{max}$	$LMIS$	$seg_{NMR}$	$ODG$
Valeur Moyenne à $G_0$	12.5	17.8	18.7	10.6	36.9	-12.1	-2.6
Ecart type (série 1)	0.21	0.42	0.39	0.32	0.48	0.74	0.66
Ecart type (série 2)	0.23	0.40	0.38	0.44	0.48	0.65	0.64
$r$ ( $\rho$ ) (série 1)	0.97	0.95	0.95	0.95	0.90	0.86	-0.82
$r$ ( $\rho$ ) (série 2)	0.97	0.95	0.95	0.95	0.91	0.89	-0.82
$r$ ( $\rho$ ) (série 1)	0.97	0.92	0.91	0.88	0.91	0.86	-0.85
$r$ ( $\rho$ ) (série 2)	0.97	0.93	0.93	0.91	0.92	0.88	-0.87

Tableau 2: statistiques pour les indicateurs. Ligne 1 : valeur moyenne par indicateur à  $G_0$  (pour la série 1, données brutes). Ligne 2 : écart-type maximum pour seuil moyen (série 1, tous sujets confondus). Ligne 3 : écart-type maximum pour seuil fin (série 2, les 5 sujets les plus performants). Ligne 4 : corrélations pour seuil moyen. Ligne 5 : corrélations pour seuil fin.

Les écarts-types en fonction du gain relatif sont calculés à partir de ces données adimensionnées, pour chacun des indicateurs. Les coefficients de corrélation de Pearson (noté

$r$ ) et de Spearman (noté  $\rho$ ) sont également calculés. Les résultats obtenus sont donnés dans le Tableau 2. La série 1 correspond au seuil moyen et la série 2 au seuil fin.

Il apparaît que les résultats des analyses des données correspondant au seuil moyen et au seuil fin (série 1 et série 2) sur les données adimensionnées sont équivalentes (dispersion très proches pour un indicateur donné).

À l'examen de ces données, il apparaît que le  $L_{Aeq100max}$  est le mieux à même de prédire la différence de niveau par rapport au gain à la convergence (écart type le plus faible, coefficients de corrélation les plus élevés). C'est cet indicateur qui sera retenu pour effectuer cette prédiction. Il faut également noter que cet indicateur a aussi l'avantage d'évoluer linéairement avec le gain, contrairement à d'autres indicateurs testés dans le panel.

## 4.3 Développement d'un indicateur

L'étude d'objectivation a permis de trouver le meilleur indicateur objectif qui permet de prédire l'écart de gain au seuil de détection d'un signal de pop (sections 4.1 et 4.2).

L'étude psychoacoustique (section 3.2) a permis de mettre en relation la probabilité de détecter un signal de pop et cet écart de gain.

À partir de ces informations, l'indicateur appelé PAuP (Pop Audibility Prediction) a été développé. À partir d'un signal de pop en Volt et des caractéristiques d'un casque (sensibilité ou FRF en dB SPL/1V), il permet de prédire la probabilité d'entendre un pop. Il donne aussi le gain en dB qu'il faudrait appliquer au signal original pour qu'il soit entendu par 50% des auditeurs.

La Figure 6 présente la suite des opérations à effectuer pour déterminer la valeur de l'indice PAuP.

La première étape consiste à estimer le signal acoustique en Pascal au niveau du tympan à partir des données d'entrée. La valeur de  $L_{Aeq100max}$  est ensuite calculée, et la valeur correspondante de l'écart au seuil de détection est déterminée. La probabilité de détection du signal pop sur le casque d'entrée est calculée grâce à la fonction logistique issue de l'étude.

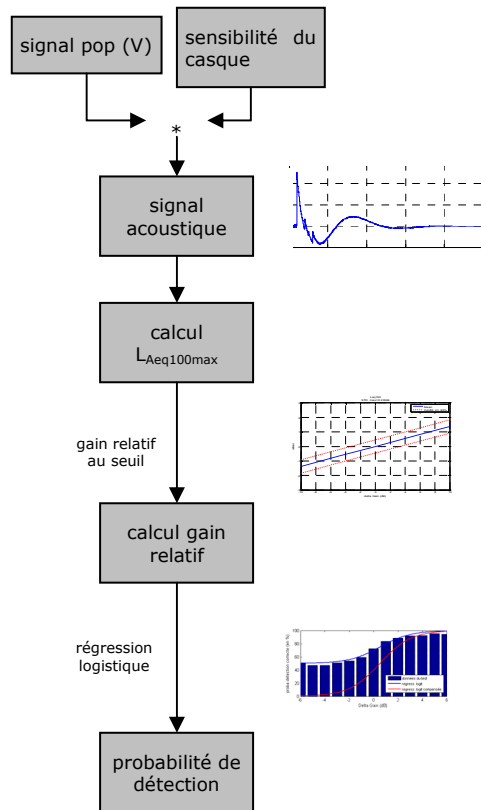


Figure 6: procédure de calcul de l'indicateur PPAU

## 5 Conclusion

Cette étude a permis de définir et de valider l'indicateur, PPAU permettant d'évaluer l'audibilité des signaux impulsionnels (« pop ») qui apparaissent lors de la mise en service et de l'arrêt de circuits audionumériques. La perception de ce type de défaut dépend non-seulement des caractéristiques électriques du circuit, mais également de la sensibilité et de la réponse en fréquence du casque d'écoute utilisé.

Cet indicateur permet d'estimer la probabilité qu'un auditeur moyen détecte le signal de pop en utilisant un casque donné en paramètre. Il donne aussi le gain à appliquer à ce signal pour ramener cette probabilité à 50%.

Il faut noter que ce seuil d'audibilité est donné pour une écoute effectuée dans un environnement « idéal », c'est-à-dire dans le silence et sans bruit de fond environnant. La suite naturelle d'une telle étude est de quantifier et prédire le désagrément causé par ces artéfacts dans différentes conditions de bruit de fond correspondant à une utilisation courante du matériel audio concerné, et de prédire le désagrément occasionné lorsqu'ils sont clairement audibles.

## Remerciements

ST-Ericsson a financé cette étude et fourni les cartes électroniques et casques utilisés.

La chambre anéchoïque du Laboratoire de Mécanique et d'Acoustique de Marseille (LMA, CNRS UPR 7051) a été utilisée pour les tests.

Orange Labs et Catherine Colomes pour l'utilisation du logiciel POM qui implémente le calcul du PPAU.

## Références

- [1] ITU-R, "Method for objective measurements of perceived audio quality", Recommendation ITU-R BS.1387-1 (2001)
- [2] Boulet I., Gagneux F., Rabau G., Meunier S., Boussard P., "Un estimateur de sonie d'impulsion", *Actes du Congrès Français d'Acoustique, Tours* (2006)
- [3] Glasberg, B. R, Moore, B. C. J. "A model of loudness applicable to time-varying sounds", *J. Audio Eng. Soc.*, 50 (5), 331-342 (2002)
- [4] Zwicker E., Fastl H., "Psychoacoustics: Facts and models", 2<sup>nd</sup> Edition, *Springer-Verlag*, Berlin (1999)
- [5] IEC, "Electroacoustics-Sound Level Meters", *IEC/CD 61672*, Geneva
- [6] ITU-T, "Telephone transmission quality - Objective measuring apparatus - Artificial ears", *Recommendation ITU-T P.57* (1996)
- [7] Levitt H., "Transformed up-down procedures in psychoacoustics", *J. Acoust. Soc. Am.*, 49, 467-477 (1971)