

Analyses psychoacoustiques dans ArtemiS II

La psychoacoustique est l'étude du rapport existant entre les grandeurs physiques du son et la sensation auditive qu'elles provoquent. Des paramètres physiques tels que le niveau de pression acoustique, la fréquence et le degré de modulation sont pour cela représentés avec des paramètres audioconformes. Contrairement aux grandeurs physiques, ces grandeurs, également appelées paramètres psychoacoustiques, représentent la sensation humaine de manière linéaire, ce qui signifie que lorsque la grandeur psychoacoustique double, la sensation auditive correspondante double elle aussi.

ArtemiS permet de calculer divers paramètres psychoacoustiques. Cette Application Note vous explique la manière dont les grandeurs psychoacoustiques rugosité, force de fluctuation et tonalité sont calculées et utilisées dans ArtemiS. Les paramètres psychoacoustiques sonie et acuité ont déjà été décrits dans l'Application Note intitulée « Analyses psychoacoustiques I ». Vous pourrez par exemple les télécharger dans l'espace téléchargement de nos sites Internet.

Calcul de la rugosité

Introduction

La rugosité est utilisée pour le jugement subjectif d'ensembles sonores ainsi que pour influencer des sons de manière ciblée. Plus la rugosité augmente, plus les bruits sont ressentis comme étant marquants, et en général aussi, agressifs et gênants, sans par exemple entraîner de modification de la sonie ou du niveau de pression acoustique pondéré A.

L'impression de rugosité apparaît lorsqu'une enveloppe variable en temps est présente dans une bande critique, par exemple lorsque le changement d'amplitude ou de fréquence donne une structure temporelle à des sons. Si ces changements sont très lents (inférieurs à 10 Hz), l'ouïe est alors capable de les suivre et l'auditeur a la sensation d'entendre des battements et des fluctuations. Lorsque la vitesse de ces changements augmente, on obtient des impressions sonores telles que la « rugosité R » (environ 20 Hz) pour ensuite passer à la rugosité normale avec laquelle l'ouïe n'est plus en mesure de percevoir les changements temporels. Les sons ayant des fluctuations d'enveloppe comprises entre 20 et 300 Hz sont perçus comme étant rugueux. Au-delà de ces fréquences, les fréquences de deux sons purs modulés en amplitude ne peuvent être perçues que comme des sons indépendants les uns des autres. La rugosité dépend de la fréquence centrale, de la fréquence de modulation et du degré de modulation. Elle ne dépend que très peu du niveau du signal.

La sensation de rugosité augmente avec le degré de modulation. La dépendance de la fréquence de modulation porte une allure de filtre passe-bande, c'est-à-dire que la sensation de rugosité diminue fortement à des fréquences de modulation faibles et élevées. Si l'on évalue différents sons purs modulés en amplitude ayant chacun une fréquence centrale de 1 kHz et un taux de modulation de 100 %, mais qui sont modulés à des vitesses différentes, le maximum de la sensation de rugosité se situe alors à une fréquence de modulation égale à environ 70 Hz.

À des fréquences porteuses plus basses, le maximum se situe à des fréquences de modulation plus basses.

La rugosité est provoquée par des sons modulés en amplitude, mais aussi par des modulations de fréquence. La rugosité a pour unité l'asper. Un son pur de 1 kHz et d'un niveau de 60 dB étant modulé en amplitude avec une fréquence de 70 Hz et un taux de modulation de 100 %, a une rugosité égale à 1 asper.

En principe, deux composantes tonales intervenant dans une bande critique de l'ouïe humaine peuvent aussi provoquer une sensation de rugosité auprès de l'auditeur. En télécommunication, on appelle cela la « modulation d'amplitude sans porteuse ».

ArtemiS propose deux analyses de rugosité basées sur deux approches différentes. Les algorithmes utilisés sont décrits ci-dessous.

L'analyse « Rugosité vs. temps » calcule des rugosités partielles à partir de degrés de modulation de signaux de sous-bande pour les ajouter à une rugosité totale. Le signal est d'abord fractionné par une série de filtres linéaires de phase en 24 sous-bandes qui ont une largeur de 2 bark chacune et qui se chevauchent de 1 bark. Cette largeur de bande qui, en comparaison, est plus large que dans le calcul de la sonie, est nécessaire pour pouvoir détecter des fréquences de modulation élevées dans une bande individuelle. Le chevauchement des bandes empêche que les évènements sonores ne donnent des résultats complètement différents aux extrémités des bandes par rapport à ceux obtenus au centre de celles-ci.

Les rugosités partielles sont calculées à partir des signaux de sous-bande en formant l'enveloppe des signaux de sous-bande par transformée de Hilbert. Ceux-ci sont filtrés par des filtres RII qui modèlent la dépendance de la rugosité de la fréquence de modulation.

Des degrés de modulation m_i sont ensuite définis grâce au calcul suivant,

$$m_i = \sqrt{2 \frac{P_{\sim,i}}{P_{-,i}}}$$

$P_{-,i}$ étant la puissance de l'offset du signal de sous-bande avant la filtration RII et $P_{\sim,i}$ en étant la puissance après la filtration. Le temps d'intégration pour calculer les puissances est de 100 ms.

La rugosité partielle est calculée grâce à la formule suivante :

$$r_i = \begin{cases} K(m_i k_i)^{1.5} & \text{für } m_i < 1 \\ K m_i k_i & \text{für } m_i \geq 1 \end{cases}$$

k_i est ici un facteur représentant une dépendance de la rugosité par rapport à la position en fréquence de la sous-bande et a été emprunté à l'ouvrage [1], page 61 (voir bibliographie). K est une constante de normalisation qui permet d'obtenir la valeur de 1 asper pour un sinus de 1 kHz à 60 dB modulé à 70 Hz avec un taux de modulation de 100 %.

La dépendance de la rugosité par rapport au niveau est prise en compte en doublant la rugosité partielle chaque fois que l'offset de la sous-bande est augmenté de 20 dB. La rugosité totale est la somme de toutes les rugosités partielles.

Le problème de ce calcul de la rugosité réside notamment dans le fait que l'analyse de signaux avec un son non modulé donne des valeurs de rugosité très élevées si on les compare à celles obtenues par la perception. Pour contourner ce problème, on a cherché à trouver de nouvelles approches pour réaliser ce calcul.

Outre l'analyse « Rugosité vs. temps », ArtemiS propose également un autre algorithme qui calcule la rugosité en se basant sur le modèle auditif de Sottek [2]. L'analyse « Modèle Auditif : Rugosité vs. temps » reproduit le traitement du signal du processus auditif et analyse la rugosité

de signaux de manière similaire à l'ouïe humaine. Le schéma fonctionnel représenté sur la figure 1 illustre le calcul de la rugosité sur la base du modèle auditif.

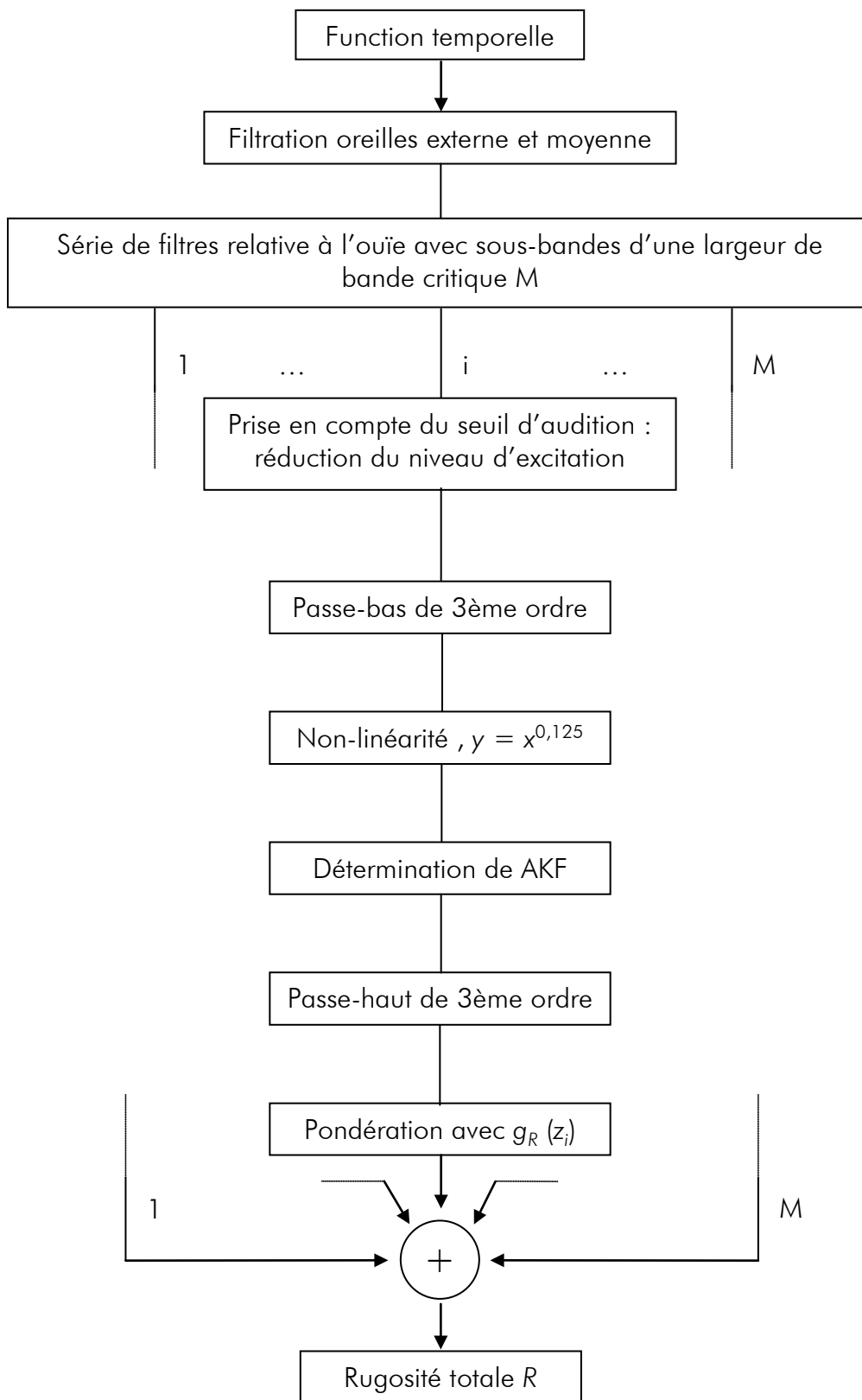


Figure 1 : Schéma fonctionnel du calcul de la rugosité sur la base du modèle auditif de Sottek ([3])

Le signal temporel est tout d'abord filtré afin de prendre en compte l'influence des oreilles externe et moyenne. Il est ensuite fractionné à l'aide d'une série de filtres constitué de passe-bande parallèles et se chevauchant. La distance entre les fréquences moyennes des filtres voisins est constante sur l'échelle de la tonie. Le nombre de passe-bande peut être sélectionné sur la page de propriétés de l'analyse, à la rubrique « Résolution ». Avec le paramètre « 1/1 Bark », 24 filtres sont utilisés, avec « 1/2 Bark », on passe à 47 filtres. Une plus grande quantité de passe-bande permet de mieux reproduire les processus auditifs naturels, mais entraîne aussi un temps de calcul plus long.

Une fois le filtrage terminé, les enveloppes des signaux de sous-bande sont calculées à l'aide de la transformée de Hilbert. Les niveaux d'excitation sont réduits pour prendre en compte le seuil d'audition (environ 20 dB/décade pour les fréquences inférieures à 500 Hz). L'étape suivante consiste à réaliser un filtrage avec des passe-bas de troisième ordre. La fréquence limite des filtres dépend de la fréquence et est égale à environ 120 Hz à 1 kHz. La filtration au passe-bas prend en compte le fait que l'ouïe ne peut pas suivre les fluctuations de l'enveloppe à n'importe quelle vitesse. Les fluctuations de l'enveloppe sont ensuite soumises à une égalisation non linéaire utilisant une fonction de puissance ayant pour exposant 0,125. Vient ensuite le calcul de la fonction d'autocorrélation. On obtient alors les rugosités partielles grâce à une filtration réalisée avec des passe-haut de troisième ordre et à une amplification $gR(z_i)$. La fréquence limite des passe-haut, comme la pondération, dépend de la position en fréquence de la sous-bande analysée (avec 1 kHz, la fréquence limite est environ égale à 120 Hz).

La filtration au passe-haut est nécessaire si l'on veut prendre en compte la diminution de la rugosité pour les fréquences de modulation basses. La combinaison des filtres passe-haut et passe-bas utilisée représente l'allure typique de la bande passante en ce qui concerne le rapport existant entre la rugosité et la fréquence de modulation. La pondération $gR(z_i)$ prend en compte l'influence de la position en fréquence de la fréquence porteuse pour la sensation de rugosité. Une pondération fréquentielle est ensuite réalisée telle qu'elle est décrite dans [4]. Elle pondère davantage la rugosité des bandes contenant une rugosité élevée. On obtient ainsi une sorte d'effet de masquage : si une rugosité particulièrement élevée est présente dans une bande, cette rugosité masque celles des bandes voisines et doit donc davantage contribuer à la rugosité totale que ces dernières.

Une fois la pondération réalisée, la rugosité totale est enfin calculée en y intégrant les rugosités partielles.

Vous trouverez une description détaillée du modèle auditif et du calcul de la rugosité se basant sur ce modèle dans [2], [3] et [4].

Vous trouverez également une description de la rugosité et de la rugosité R (également appelée « rugosité α » ou « rugosité lente ») dans les ouvrages cités (par exemple dans [5]). La rugosité R intervient à des fréquences de modulation basses situées entre 15 et 45 Hz et atteint son maximum à environ 20 Hz.

On la rencontre souvent dans le bruit des moteurs à combustion. Ce type de bruit est caractérisé par l'apparition de demi-ordres moteur. Lorsque ces ordres moteur sont marqués dans une bande critique, le bruit du moteur est perçu comme étant « rugueux ». Étant donné que les phénomènes de combustion d'un moteur de ce type ne sont pas identiques dans chacun des cylindres (ce qui est notamment dû aux variations intervenant dans le collecteur d'admission et le tuyau d'échappement), on observe également dans les moteurs, outre les ordres moteur principaux, des demi-ordres moteur. Ceci signifie que, par exemple, avec un moteur 4 cylindres, outre le 4ème ordre moteur pour certaines vitesses de rotation, on peut aussi par exemple ren-

contre le 3,5 ou le 4,5ème ordre moteur. Avec une vitesse de rotation de 3 000 t/mn, le 4ème ordre moteur se situe à 200 Hz, le 3,5ème à 175 Hz et le 4,5ème à 225 Hz. Selon l’amplitude du demi-ordre moteur, on obtient un degré de modulation plus ou moins élevé influençant l’ensemble auditif en conséquence.

L’analyse « Rugosité vs. temps » d’ArtemiS étant conçue pour que la rugosité soit le plus pondérée à une fréquence de modulation de 70 Hz, il peut arriver qu’elle ne détecte pas toujours correctement la rugosité R. L’analyse « Modèle Auditif : Rugosité vs. temps » prend la rugosité R en compte dans le calcul, dans la mesure où elle y inclut le déplacement du maximum de la perception de la rugosité à des fréquences porteuses basses vers des fréquences de modulation basses. La rugosité R peut d’autre part aussi être détectée dans ArtemiS par une analyse de modulation. Cette analyse détermine le degré de modulation par rapport aux fréquences porteuse et de modulation. Vous obtiendrez de plus amples informations relatives à l’analyse de la modulation dans une autre Application Note que vous trouverez dans l’espace de téléchargement de nos sites Internet.

Application et exemples

Nous commencerons par soumettre trois signaux synthétisés aux analyses « Rugosité vs. temps » et « Modèle Auditif : Rugosité vs. temps ». Il s’agit de sons de 1 kHz modulés sinusoidalement dont la fréquence et le degré de modulation divergent. La figure 2 montre les résultats de l’analyse « Rugosité vs. temps » dans le diagramme de gauche et ceux de l’analyse « Modèle Auditif : Rugosité vs. temps » dans celui de droite.

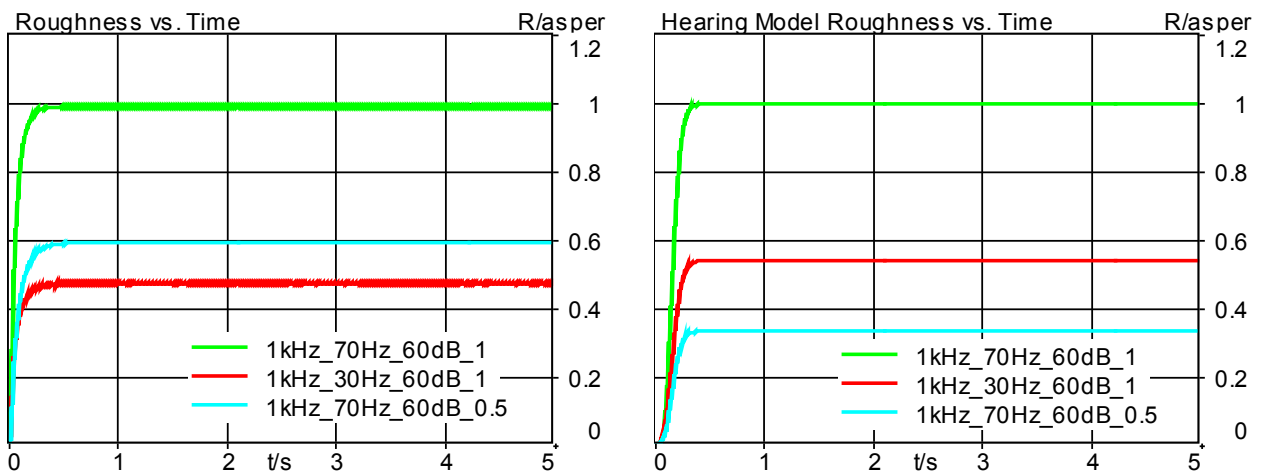


Figure 2 : Comparaison des résultats d’analyse de signaux synthétiques (à gauche : Rugosité vs. temps, à droite : Modèle Auditif : Rugosité vs. temps)

Les courbes vertes représentent les résultats d’un son de 1 kHz modulé sinusoidalement avec une fréquence de 70 Hz et un degré de $m=1$ et ayant un niveau de 60 dB. Selon la définition de la rugosité, ce signal doit donc avoir une rugosité de 1 asper ce que confirment ces deux analyses après une courte phase transitoire. Les deux autres signaux diffèrent du signal de référence d’une part, par une fréquence de modulation plus faible $f_m=30$ Hz (courbe rouge) et d’autre part, par un degré de modulation plus faible $m=0,5$ (courbe turquoise). Les courbes indiquant les valeurs après la phase transitoire correspondent bien à celles indiquées dans [6] – les résultats de l’analyse « Modèle Auditif : Rugosité vs. temps » concordant mieux avec les résultats décrits dans les ouvrages cités et l’ordre étant correct.

La comparaison des résultats d'analyse de bruits réels révèle des différences plus marquées. La figure 3 indique les résultats des analyses de la rugosité de deux petits moteurs électriques. Le diagramme de gauche montre les résultats de l'analyse « Rugosité vs. temps » et celui de droite, ceux de l'analyse « Modèle Auditif : Rugosité vs. temps ».

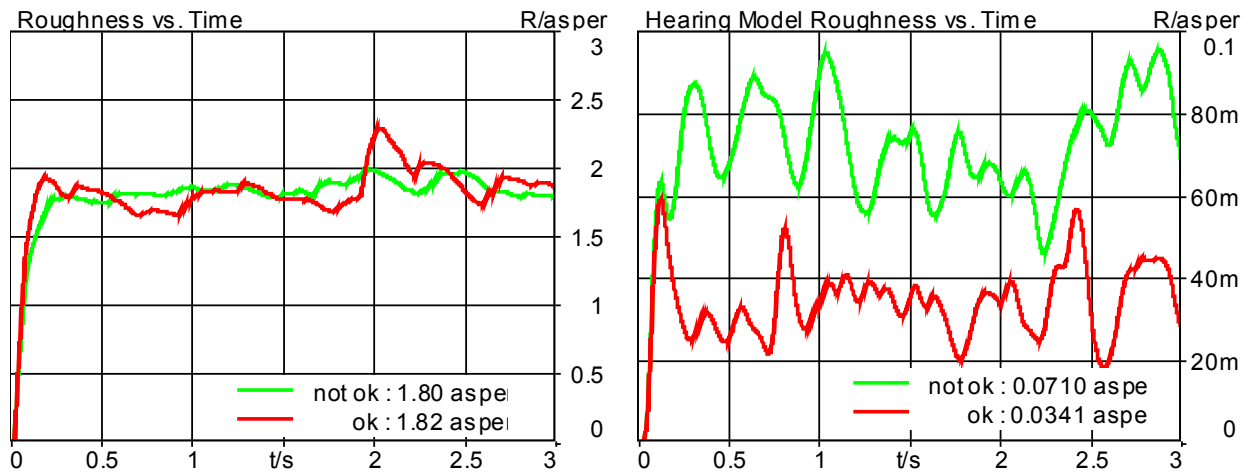


Figure 3 : Comparaison des résultats d'analyse de signaux réels (à gauche : Rugosité vs. temps, à droite : Modèle Auditif : Rugosité vs. temps)

Les bruits émis par les petits moteurs électriques contiennent chacun un bruit parasite. Il est très marqué dans l'un des bruits (courbe verte) et donc perçu comme étant rugueux, un contrôle de qualité acoustique n'aurait donc pas lieu. L'autre bruit contient un bruit parasite beaucoup moins marqué (courbe rouge). Si l'on compare les résultats d'analyse, on constate les faits suivants : bien que les valeurs en asper de l'analyse « Modèle Auditif : Rugosité vs. temps » soit bien inférieures, cette analyse reflète nettement l'impression auditive. Dans l'analyse du modèle auditif, la valeur globale indiquée du moins bon signal fait le double de celle du meilleur signal. Les valeurs globales de l'analyse de la rugosité indiquées dans le diagramme de gauche divergent, elles, à peine les unes des autres. D'autre part, ces valeurs sont beaucoup trop élevées par rapport au signal de référence de 1 asper. On ne rencontre en principe que très rarement des valeurs de rugosité si élevées dans des bruits techniques.

L'exemple cité montre que l'analyse « Modèle auditif : Rugosité vs. temps » rend mieux la perception de la rugosité de bruits réels. Dans l'analyse de la rugosité, on devrait plutôt prendre en compte la relation existant entre les valeurs globales que la valeur absolue des résultats d'analyse.

Il existe plusieurs ouvrages comparant les algorithmes de rugosité et les appliquant à différents bruits. On constate que les résultats de l'analyse de la rugosité basée sur le modèle auditif correspondent bien à ceux de certains tests acoustiques (voir [4], [7], [8]).

Calcul de la force de fluctuation

Introduction

Le sentiment de force de fluctuation est généré par des fluctuations du signal à des fréquences de modulation très basses. Le maximum de ces grandeurs psychoacoustiques se situe à des fréquences de modulation d'environ 4 Hz, ce sentiment dépendant peu du niveau, comme c'est aussi le cas de la rugosité. Son unité, vacil, est définie par le même son pur que la rugosité,

mais avec une fréquence de modulation de 4 Hz au lieu de 70 Hz. Le calcul de la force de la fluctuation avec ArtemiS s'effectue d'une manière similaire à l'analyse "rugosité modèle auditif vs temps". L'algorithme de calcul de la rugosité a été adapté de sorte que le maximum de la force de fluctuation soit atteint pour une modulation en fréquence de 4 Hz et non pas de 70 Hz comme il l'est fait pour la rugosité.

Application et exemples

L'exemple suivant montre le calcul de la force de fluctuation de deux signaux vocaux. Lorsque l'on parle normalement, on prononce environ quatre syllabes par seconde [6], ce qui signifie que le langage est modulé avec une fréquence approximative de 4 Hz et qu'il est donc marqué par une force de fluctuation élevée. L'un des facteurs nécessaires pour que ce que l'on dit soit compris est que le degré de modulation soit suffisamment élevé. Si l'on parle dans un environnement bruyant, dans une auto par exemple, le bruit parasite réduit alors le degré de modulation et il est difficile de comprendre ce qui est dit.

La figure 4 montre le résultat de l'analyse de la force de fluctuation des deux signaux vocaux. La courbe verte représente la force de fluctuation de trois phrases courtes prononcées dans un environnement peu bruyant. La courbe rouge indique les résultats de l'analyse des mêmes phrases prononcées dans un véhicule se déplaçant.

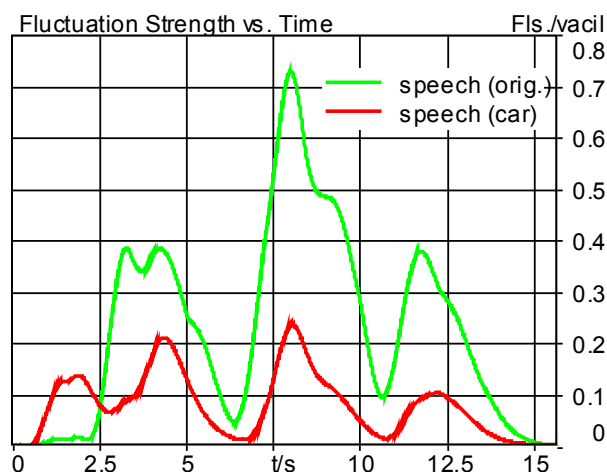


Figure 4 : Force de fluctuation de deux signaux vocaux (courbe verte : phrases prononcées sans bruits de fond, courbe rouge : phrases prononcées dans l'habitacle d'un véhicule se déplaçant)

Dans les deux courbes, on constate que la force de fluctuation augmente au moment où les phrases sont prononcées et qu'elle diminue à nouveau pendant les pauses. La force de fluctuation des phrases enregistrées dans le véhicule atteint cependant des valeurs beaucoup plus faibles. La force de fluctuation du langage est réduite car les bruits de fond réduisent les fluctuations temporelles de l'enveloppe du langage et donc le degré de modulation.

Cet exemple montre que l'interprétation des résultats d'analyses psychoacoustiques dépend en grande partie du type de bruit devant être analysé. On remarque davantage les bruits modulés, c'est-à-dire fluctuants, que les bruits non modulés. Si l'auditeur est intéressé par l'information donnée, il ne ressent pas les bruits modulés comme étant gênants. S'il considère cependant ces bruits comme parasites, il ressent les signaux modulés comme étant plus gênants que des signaux non modulés et ayant la même intensité sonore. Plus la force de fluctuation est élevée,

mieux on peut comprendre ce qui est dit. Les bruits modulés, par exemple ceux émis par une éolienne, sont souvent considérés comme étant gênants.

Calcul du caractère tonal

Introduction

Le caractère tonal indique si le bruit analysé est plutôt composé de sons ou de bruits. La mesure dans laquelle les sons contribuent au caractère tonal dépend de leur position en fréquence – le maximum ressenti est atteint à environ 700 Hz. Même les bruits à bande étroite qui ont une bande d'une largeur inférieure à 1 bark sont jugés agréables, ce qui diminue cependant lorsque la largeur de la bande augmente. Le caractère tonal a pour unité tu (tonality unit), définie par un son pur de 1 kHz avec un niveau de 60 dB. Le calcul du caractère tonal réalisé dans ArtemiS se base sur les publications d'E. Terhardt et de W. Aures ([1], [9]). Terhardt utilise l'algorithme pour déterminer le caractère tonal de sons, alors qu'Aures l'utilise pour définir une grandeur psychoacoustique contribuant à l'harmonie d'évènements sonores.

Le calcul du caractère tonal se fait à l'aide de spectres obtenus avec une FFT sur 4096 points d'échantillonnage et une fenêtre de Hanning. La première étape consiste à rechercher les lignes spectrales S_i qui sont plus grandes que leurs deux voisines $S_{i\pm 1}$. Parmi elles, seules celles qui ont une taille d'au moins 7 dB supérieure aux lignes $S_{i\pm 2}$ et $S_{i\pm 3}$ sont prises en compte. Les groupes de sept lignes avec des indices compris entre $i-3$ et $i+3$ ainsi identifiés comme sons purs sont éliminés du spectre. Une seule composante tonale maximum par bande critique est prise en compte. Les bruits à bande étroite ayant une largeur de bande inférieure à la largeur de la bande critique à cet endroit sont ensuite recherchés dans le spectre restant car de tels signaux donnent également une impression de tonalité, même s'ils le font dans une moindre mesure que les sons purs.¹

Le niveau restant $L_{\Delta,i}$ est calculé pour les composantes tonales trouvées à partir du niveau des composantes moins :

- le seuil d'audition ;
- la puissance de bruit dans chaque bande critique, obtenu par la puissance des lignes spectrales restantes, après avoir soustrait les composantes tonales ;
- le niveau d'excitation résultant à cet endroit des autres composantes tonales.

Le caractère tonal est alors calculé à l'aide de la formule suivante :

$$K = C \omega_N^{0.79} \sqrt{\sum_{i=0}^{M-1} [\omega_1(\Delta z_i) \omega_2(f_i) \omega_3(L_{\Delta,i})]^2}^{0.29}$$

$$\omega_1(\Delta z_i) = \left(\frac{0.13}{\Delta z / \text{Bark} + 0.13} \right)^{1/0.29}$$

représentant la dépendance du caractère tonal par rapport à la largeur de bande Δz des composantes tonales.

$$\omega_2(f_i) = \frac{1}{\sqrt{1 + 0.2(f_i / 0.7\text{kHz} + 0.7\text{kHz} / f_i)^2}}$$

¹ Pour détecter les bruits de bande étroite, on détermine le niveau des bandes critiques, avec une superposition de 50%. Une bande critique est considérée comme étant tonale, si son niveau est d'au moins 7dB supérieur au niveau des 2 bandes critiques voisines. Ce critère provient de la publication [1], chapitre 2.4.2.

modèle la dépendance de la fréquence f_i par rapport aux composantes. Le maximum ressenti se situe à 700 Hz.

$$\omega_3(L_{\Delta,i}) = 1 - e^{-\frac{L_{\Delta,i}}{15dB}}$$

calcule l'influence du niveau restant.

$$\omega_N = 1 - \frac{N_N}{N}$$

Le terme

prend en compte le rapport de la sonie du signal avec ses composantes tonales N et la sonie sans composantes tonales N_N . Le calcul de la sonie utilise dans ce cas toujours l'algorithme HEAD puisqu'il se base lui aussi sur l'ouvrage de W. Aures [1].

La constante C calcule le résultat de manière à obtenir une valeur égale à 1 tu pour un son pur de 1 kHz avec 60 dB.

Un des aspects intéressants du caractère tonal est que, selon Aures, le caractère agréable de certains bruits augmente certes avec le caractère tonal ([1], page 75), mais aussi avec la gêne.

Application et exemples

Les diagrammes représentés sur la figure 5 montrent les résultats d'analyse de deux mesures réalisées sur des générateurs électriques. Le premier générateur (courbe rouge) contient plusieurs composantes tonales très marquées que l'on voit bien dans l'analyse FFT (diagramme de gauche). L'analyse du caractère tonal de ce bruit (diagramme de droite) indique au centre une valeur de 0,25 tu. Les composantes tonales du deuxième générateur (courbe verte) sont beaucoup moins marquées, ce que montre aussi l'analyse de la tonalité représentée dans le diagramme de droite : la valeur moyennée de l'analyse est égale à environ 0,05 tu.

La gêne provoquée par certains bruits augmentant avec le caractère tonal, il conviendra donc de préférer la deuxième version du générateur à la première.

Les valeurs globales moyennées de l'analyse du caractère tonal sont par exemple bien adaptées dans cet exemple pour réaliser un contrôle acoustique final. Les valeurs globales peuvent permettre de classer les bruits en bruits acceptables et en bruits inacceptables. Il est cependant important de noter que la valeur limite permettant de faire cette différence ne peut pas être définie de manière générale. La valeur qu'un bruit acceptable ne doit pas dépasser dépend du type de bruit et de l'application en cause.

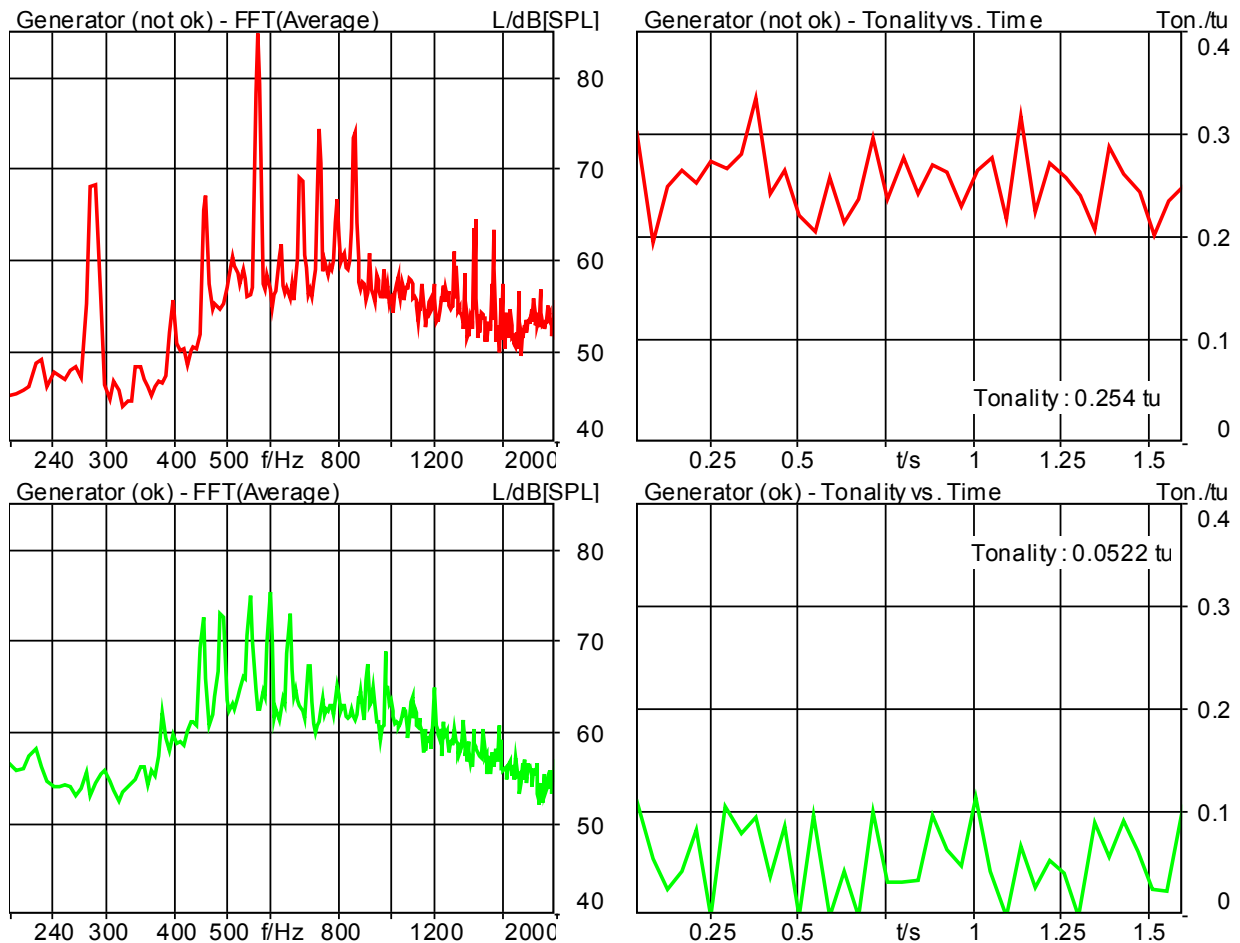


Figure 5 : FFT (moyenne) et analyse de la tonalité des bruits de deux générateurs

Calcul du caractère tonal selon DIN 45681

L'analyse « Caractère tonal DIN 45681 » sert à déterminer le caractère tonal de bruits et la valeur du supplément tonal pour le jugement des émissions sonores selon la DIN 45681. Cette analyse n'est pas une analyse psychoacoustique à proprement parler étant donné qu'elle ne produit pas un résultat reflétant la perception humaine de manière linéaire. Afin d'être complet, nous présentons cependant ici cette analyse.

La norme comprend une procédure de détection automatique de tous et de groupes tonaux à partir de spectres en bande étroite. L'analyse détermine la différence entre le niveau du ton et le niveau du bruit dans les bandes critiques voisines, tout en prenant en compte un indice de masquage dépendant de la fréquence. A partir de la différence maximale on attribue un supplément tonal allant de 0 à 6dB maximum par pas de 1dB.

Différence de niveau	Supplément tonal
> 12 dB	6 dB
> 9 dB	5 dB
> 6 dB	4 dB
> 4 dB	3 dB

> 2 dB	2 dB
> 1 dB	1 dB
<= 1 dB	0 dB

Dans le diagramme représentant ces analyses, il est alors possible de représenter comme résultat les données suivantes :

- Tons et leurs différences de niveau, sous la forme de simples lignes dans le spectre
- Groupes tonaux et leur différence de niveau, sous la forme de rectangles dans le spectre
- Différence de niveau maximal et fréquence du ton correspondant, sous la forme d'une valeur globale
- Supplément tonal, sous la forme d'une valeur globale

Dans le cas de l'analyse du Caractère Tonal DIN 45681 vs temps (respectivement : Caractère Tonal DIN45681 vs réf.) une différence de niveau moyenne est déterminée, sous la forme d'une valeur globale. Cette valeur est pondérée en énergie à partir de la différence de niveau maximale de chacun des spectres.

Selon la DIN 45681, il faut que la résolution fréquentielle (taux d'échantillonnage/longueur de la DFT) ne dépasse pas 4% de la largeur de bande critique.

C'est à dire que pour une résolution fréquentielle de

$$\frac{\text{taux d'echantillonnage}}{\text{Longueur de la DFT}} = \frac{44100 \text{ Hz}}{8192} = 5,38 \text{ Hz}$$

seules les valeurs supérieures à une largeur de bande critique de

$$\frac{5,38 \text{ Hz}}{0,04} = 134,5 \text{ Hz}$$

(soit au dessus de 6 Bark) correspondant aux préconisations de la DIN 45681.

Remarque

Pour toutes les applications décrites dans cette Application Note, vous devez disposer de la version de base d'ArtemiS (référence 4600) et du module psychoacoustique ATP 02 (référence 4602). Pour réaliser l'analyse de la rugosité sur la base du modèle auditif, vous devez de plus disposer du Module psychoacoustique étendu ATP 06 (référence 4606).

Avez-vous une question à poser à l'auteur de cet article ? Écrivez-nous : imke.hauswirth@head-acoustics.de.

Nous serons heureux de prendre connaissance de vos réactions !

Bibliographie :

- [1] W. Aures
Berechnungsverfahren für den Wohlklang beliebiger Schallsignale, ein Beitrag zur gehörbezogenen Schallanalyse
Dissertation, TU München, 1984

- [2] R. Sottek
Modelle zur Signalverarbeitung im menschlichen Gehör
Dissertation, RWTH Aachen, 1993

- [3] R. Sottek
Gehörgerechte Rauigkeitsberechnung
Proc. DAGA '94, Dresden 1994, 1197-1200

- [4] R. Sottek, P. Vranken, H.-J. Kaiser
Anwendung der gehörgerechten Rauigkeitsberechnung
Proc. DAGA '94, Dresden 1994, 1201-1204

- [5] N. Springer, R. Weber
Existenzbereich der R-Rauhigkeit
Proc. DAGA '94, Dresden 1994, 1221-1224

- [6] H. Fastl, E. Zwicker
Psychoacoustics, Facts and Models, Third Edition
Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 2007

- [7] F. Attia, A. Okker
Unterscheidung zwischen Rauigkeitsmodellen und Übereinstimmung mit dem subjektiven Gehöreindruck
Proc. DAGA '95, Saarbrücken 1995, 843-846

- [8] M. Klemenz
Die Geräuschqualität bei der Anfahrt elektrischer Schienenfahrzeuge
Dissertation, RWTH Aachen, 2005

- [9] E. Terhardt, G. Stoll und M. Seewann
Algorithmen for extraction of pitch and pitch salience from complex tonal signals
J. Acoust. Soc. Am. 71 (3) 1982, 679-688