HAL
open science

Calcul des indicateurs de sonie: revue des algorithmes et implémentation

Stéphane Molla, Isabelle Boullet, Sabine Meunier, Guy Rabau, Benoît Gauduin, Patrick Boussard

To cite this version:

Stéphane Molla, Isabelle Boullet, Sabine Meunier, Guy Rabau, Benoît Gauduin, et al.. Calcul des indicateurs de sonie: revue des algorithmes et implémentation. 10ème Congrès Français d'Acoustique, Apr 2010, Lyon, France. hal-00550540

HAL Id: hal-00550540

https://hal.science/hal-00550540v1

Submitted on 28 Dec 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.

10ème Congrès Français d'Acoustique
Lyon, 12-16 Avril 2010

Calcul des indicateurs de sonie : revue des algorithmes et implémentation

Stéphane Molla[1], Isabelle Boullet[2], Sabine Meunier[2], Guy Rabau[2], Benoît Gauduin[1], Patrick Boussard[1]

[1]GENESIS S.A., Domaine du Petit Arbois - BP69, F-13545 Aix-en-Provence Cedex 4, {stephane.molla, benoit.gauduin, patrick.boussard}@genesis.fr
[2] LMA, CNRS UPR 7051, 31 Chemin Joseph Aiguier - F-13402 Marseille, {boullet, meunier, rabau}@lma.cnrs-mrs.fr

Les dernières décennies ont vu l'émergence de nombreux modèles et indicateurs objectifs de l'intensité sonore perçue (sonie). Certains d'entre eux font l'objet de normes (ANSI S3.4 - 2007, ISO532B) et peuvent être implémentés sans ambigüité. D'autres modèles ne sont pas décrits avec suffisamment de précision dans la littérature pour rendre leur implémentation unique et parfaitement reproductible. Dans cet exposé, une revue des principaux modèles de sonie et des indicateurs sera effectuée (modèles de Zwicker (1991) et de Moore *et al* (1997) pour les sons stationnaires, modèles de Zwicker et Fastl (1999) et de Glasberg et Moore (2002) pour les sons non stationnaires, indicateurs STLmax, LTLmax, N5, N30 et LMIS pour les sons non-stationnaires). Les indicateurs seront comparés et leurs implémentations détaillées. A cette occasion, GENESIS met à disposition de la communauté une implémentation de chacun des principaux algorithmes de sonie sur son site web www.genesis.fr. Le but d'une telle démarche est de converger vers des algorithmes de référence qui pourront être utilisés librement et faciliteront ainsi les comparaisons futures.

1. Introduction et historique

La sonie est une grandeur subjective qui s'exprime en sones. Le sone est une unité basée sur une échelle sensorielle. Cette échelle a été établie à partir de méthodes de mesure dites directes (Stevens, 1956), consistant à demander à des auditeurs lors d'une expérience de donner des nombres proportionnels à la sonie des sons qui leurs sont présentés à différentes intensités. Par convention, la valeur de 1 sone est attribuée à la sonie d'un son pur de fréquence 1000 Hz qui a un niveau de 40 dB SPL. Un son de sonie égale à 2 sones est perçu deux fois plus fort qu'un son de 1 sone. Une autre méthode de mesure de la sonie consiste à demander à des sujets de déterminer la sonie d'un son « test » par comparaison à un son pur « de référence » à une fréquence de 1000 Hz et un niveau de référence. On obtient alors le niveau d'isosonie en phones, qui est le niveau en dB SPL que doit avoir le signal de référence pour que les deux sons (le son test et le son de référence) aient la même sonie. L'échelle des phones, établie à partir de méthodes dites de comparaison (Fletcher et Munson, 1933), coïncide avec l'échelle des dB SPL pour un son pur de 1000 Hz.

Pour évaluer la sonie, des grandeurs physiques ont été développées. La plus connue et la plus utilisée est le dB(A), qui prend en compte les variations de la sensibilité de l'oreille en fonction de la fréquence. Le dB(A) est un calcul de niveau acoustique pondéré par les sensations d'égale sonie (isosonie) pour les sons de niveaux faibles (la valeur retenue est de 40 phones). En d'autres termes, le dB(A) vise à prendre en compte le comportement auditif en fonction de la fréquence, et est donc théoriquement valide pour des sons autour de 40 phones. Il existe aussi les dB(B) et dB(C) qui sont basés respectivement sur des pondérations pour des sons de niveaux moyens (70 phones) et fort (100 phones). Le dB(A) est couramment utilisé en acoustique industrielle et environnementale. Cependant, il faut noter que les modèles de calcul de niveau équivalent basés sur les pondérations A, B ou C ne tiennent pas compte des phénomènes physiologiques (masquage fréquentiel, fonctionnement de l'oreille comme un banc de filtres). Ils restent donc insuffisants d'une manière générale pour estimer correctement la sonie. Il est important de souligner que la mesure du niveau en dB(A) a par définition tendance à sous-estimer le niveau perçu des sons complexes d'un niveau élevé. En effet, le dB(A) étant basé sur la ligne isosonique de sons stationnaires à 40 phones, il pondère fortement les basses fréquences.

A l'heure actuelle, deux méthodes - celles de Zwicker et de Moore - permettent le calcul de la sonie pour des sons stationnaires. Le modèle de Zwicker a été tout d'abord décrit dans une publication en 1958. En 1975, une méthode graphique qui permet de calculer le niveau d'isosonie a fait l'objet d'une norme internationale (ISO532B, [7]) et un programme en BASIC a été publié dans [10]. Plus récemment, la méthode de Zwicker a fait l'objet d'une norme allemande DIN45631 (1991) qui contient un programme BASIC basé sur la méthode graphique de la norme ISO532 Méthode B. L'autre modèle est celui de Moore (1996) qui a été révisé en 1997 pour introduire le calcul de la sonie masquée [9]. Il a fait l'objet en 2007 de la norme américaine ANSI S3.4-2007 [1], basée sur la méthode graphique de la norme ISO 532 Méthode A issue de travaux de Stevens (1961). La norme internationale ISO 532 est en cours de révision et devrait aboutir en 2010 à une nouvelle version, conservant l'approche de Zwicker et incluant celle de Moore.

Pour les sons non stationnaires, deux modèles ont été développés. Le premier par Zwicker et Fastl ([13], 1999) et le deuxième par Glasberg et Moore ([14], 2002). Un projet de normalisation internationale est en cours d'élaboration. Il existe toutefois une norme allemande DIN45631/A1(2008) basée sur les travaux de Zwicker et Fastl qui permet d'obtenir la sonie en fonction du temps. Les indicateurs issus de ces modèles pour estimer la sonie globale d'un son sont décrits dans la section 3.

Le cas des sons dits impulsionnels - dont le décours temporel peut être caractérisé par une attaque rapide ne dépassant pas 5 ms, pas de palier au maximum d'amplitude et un temps de descente plus ou moins long - a été étudié

par Boullet ([2], 2005). Le modèle développé permet d'estimer la sonie globale de ce type de son (décrits dans les sections 2.3 et 3.3).

Tous ces modèles, décrits dans la section 2, permettent de calculer la sonie à partir d'un signal acoustique en Pascal émis en incidence frontale en champ libre.

Dans une dernière partie de ce document (section 4), nous présentons la validation des implémentations développées par Genesis[1] ainsi qu'une base de données de référence.

2. Modèles de sonie

Les modèles permettant d'estimer la sonie sont ici présentés et schématisés. Trois sections différentes sont proposées, qui considèrent respectivement le cas des sons stationnaires, des sons variant dans le temps et des sons impulsionnels.

2.1. Modèles de sonie pour les sons stationnaires

Les modèles présentés dans cette section permettent de calculer la sonie des sons dits stationnaires, c.-à-d. présentant des propriétés statistiques stables au cours du temps.

Le principe de base du modèle de Zwicker (1991) est fondé sur le calcul de l'excitation de la membrane basilaire par bandes critiques. Pour cela, il prend en compte:

- un modèle de transmission du signal acoustique au travers de l'oreille externe et de l'oreille moyenne,
- le phénomène de masquage dit fréquentiel (calcul de sonie spécifique),
- l'intégration de la sonie spécifique sur les vingt-quatre bandes critiques.

Le principe du modèle de Moore *et al* (1997) est sensiblement le même que celui de Zwicker (1991), à trois différences près:

- le mode de calcul des filtres,
- les corrections de champ,
- le mode de calcul de l'excitation.

La Figure 1 présente les principales étapes dans le calcul de la sonie pour les deux modèles.

2.2. Modèles de sonie pour les sons variant dans le temps

Le principe de base de ces modèle est le même que pour les sons stationnaires. Cependant, ils prennent en compte le phénomène de masquage temporel[2], et la sonie est calculée en fonction du temps et non plus de manière globale. La Figure 2 représente les principales étapes dans le calcul de la sonie pour les deux modèles.

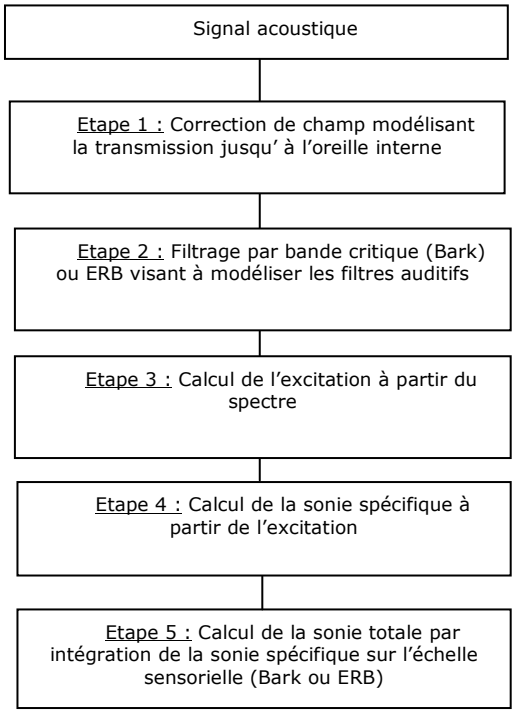

Figure 1: Etapes du calcul de la sonie pour les sons stationnaires

2.3. Modèle de sonie pour les sons impulsionnels

La norme NF S31-010 (1996) définit un bruit impulsionnel comme un « bruit consistant en une ou plusieurs impulsions d'énergie acoustique, ayant chacune une durée inférieure à environ 1 s et séparée(s) par des intervalles de temps de durée supérieure à 0,2s ».

Boullet *et al* ([3], 2006) ont étudié plus précisément la sonie des sons impulsionnels présentant une attaque rapide immédiatement suivie d'une décroissance d'amplitude de forme exponentielle. L'estimateur développé lors de ces travaux permet de calculer la sonie pour ce type de sons, et son principe est schématisé sur la Figure 3 et décrit dans ce qui suit.

Tout d'abord, le signal acoustique est filtré pour obtenir un signal temporel dans chacune des 24 bandes critiques. L'étape suivante du modèle consiste à calculer l'énergie et le temps de descente pour chaque bande critique. La sonie de cœur, dont le calcul est basé sur des travaux de Boullet (2005), est le produit de l'énergie à la puissance α et de la durée d'extinction de l'impulsion à la puissance β (α et β sont des constantes du modèle). Enfin, l'effet de masquage fréquentiel est pris en compte de la même manière que dans le modèle de Zwicker et Fastl (1999). La densité de sonie ainsi obtenue est intégrée sur les 24 bandes critiques pour obtenir la sonie globale du son impulsionnel.

3. Indicateurs de sonie pour les sons non stationnaires

Cette section présente les indicateurs, issus des modèles présentés précédemment, qui permettent d'estimer la sonie globale pour des signaux acoustiques variant dans le temps et impulsionnels.

[1] Téléchargeable sur www.genesis.fr à la rubrique Sonie.

[2] Dans le cas d'un effet de masquage non simultané, l'antériorité d'un bruit masquant par rapport à un signal entraine une élévation du seuil de détection de ce dernier. Il est généralement accepté que le masquage temporel peut avoir lieu sur une durée de 200 ms après l'extinction du bruit masquant.

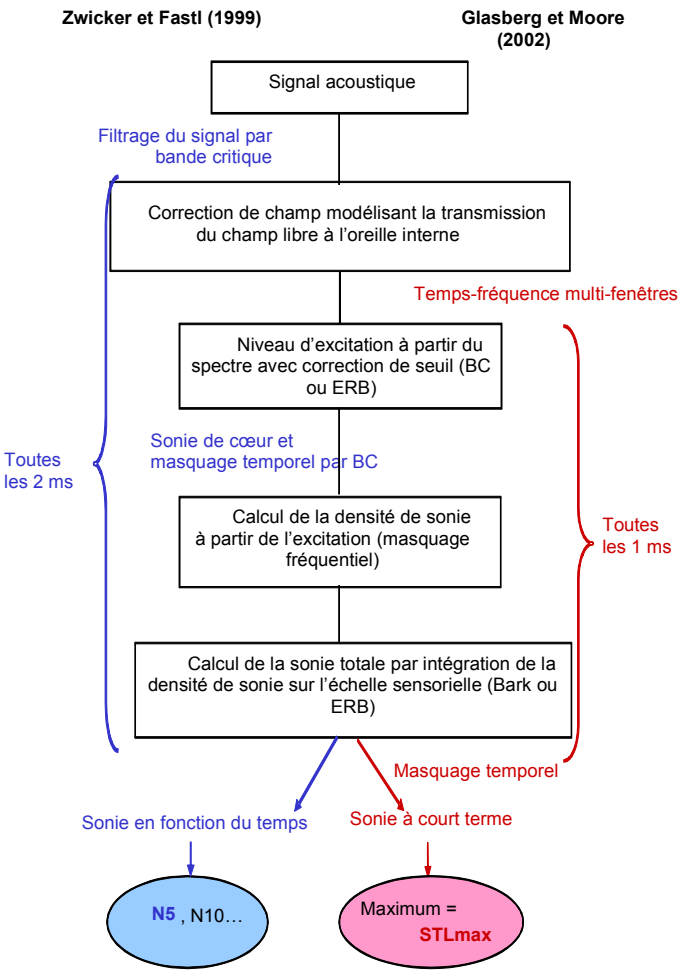

Figure 2: Etapes du calcul de la sonie pour les sons non stationnaires

3.1. N4, N5 ou N7 selon Zwicker et Fastl (1999)

Le modèle de Zwicker et Fastl (1999), présenté dans la section 2.2, permet de calculer la sonie (et le niveau d'isosonie) en fonction du temps. Différents indicateurs sont préconisés par les 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 Nx représente la sonie dépassée pendant x pourcent du temps.

3.2. STLmax ou LTLmax selon Glasberg et Moore (2002)

Le modèle de Glasberg et Moore (2002), présenté en section 2.2, permet de calculer la sonie en fonction du temps de sons non stationnaires. Les auteurs préconisent de calculer la valeur maximale du niveau d'isosonie à court terme (noté STLmax) pour approcher le niveau d'isosonie global de sons variant dans le temps. Le niveau d'isosonie à court terme est le niveau d'isosonie perçu à chaque instant.

Le maximum de la sonie à long terme (LTLmax) 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 gardée en mémoire après la fin de ce dernier pendant quelques secondes et en l'absence de nouveau stimulus.

3.3. LMIS selon Boullet et al (2006)

Le LMIS (Loudness Model for Impulsive Sounds), présenté en section 2.3, 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. Le détail de la mise en œuvre de cet indicateur est disponible dans [15].

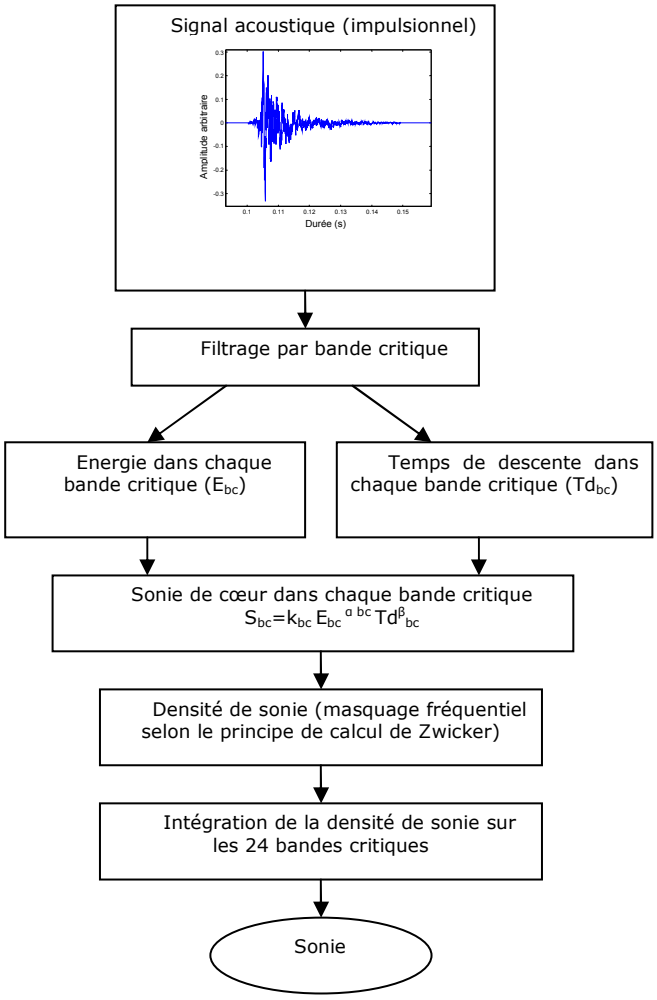

Figure 3: Etapes du calcul de la sonie pour les sons impulsionnels

4. Validation des implémentations

Dans cette section, les résultats de la validation des implémentations des modèles de sonie proposés par Genesis sont présentés. De plus, nous mettons à disposition une base de données de valeurs de sonie obtenues par les différents algorithmes développés par Genesis.

4.1. Validation des implémentations (sons stationnaires)

4.1.1. Sons purs

Dans l'exemple A-1.1 de l'annexe de la norme ANSI S3.4-2007, la sonie et le niveau d'isosonie sont donnés pour des sons purs stationnaires (1 kHz et 3 kHz).

Son pur à 1 kHz	10 dBSPL	40 dBSPL	50 dBSPL	60 dBSPL	80 dBSPL
ANSI S3.4-2007 (Moore, 1997)	0,03 Sones 10 Phones	1 Sones 40 Phones	2,1 Sones 50 Phones	4,2 Sones 60 Phones	16 Sones 80 Phones
Genesis (Moore)	0,03 Sones 11,4 Phones	1 Sones 40,1 Phones	2,1 Sones 50,8 Phones	4,2 Sones 60,7 Phones	16,1 Sones 80,1 Phones
Genesis (Zwicker)	0,01 Sones 9,3 Phones	0,99 Sones 39,8 Phones	1,98 Sones 49,9 Phones	4 Sones 59,9 Phones	16 Sones 80 Phones
ISO532B DIN 45631 (Zwicker, 1991)	0,02 Sones 10,2 Phones	1 Sones 40 Phones	2 Sones 50,1 Phones	4,01 Sones 60 Phones	16,07 Sones 80,1 Phones

Tableau 1: Données publiées par les auteurs et calculés par les algorithmes développés par Genesis pour un son pur stationnaire à 1 kHz.

Les résultats calculés avec l'algorithme implémenté à partir du modèle de Moore (1997) sont les mêmes que ceux donnés par la norme ANSI à moins de 0.8 phone près pour des niveaux supérieurs à 40 dB SPL (voir Tableau 1).

L'algorithme correspondant au modèle de Zwicker (1997) calcule des valeurs proches de celles que donnent la norme et les données publiées par Fastl (2009) à moins de 0.2 phone près (pour des niveaux supérieurs à 40 dB SPL).

Le Tableau 2 donne les résultats des calculs pour un son pur à 3 kHz de niveaux 40, 60 et 80 dB SPL.

Son pur à 3 kHz	40 dBSPL	60 dBSPL	80 dBSPL
ANSI S3.4-2007 (Moore, 1997)	1,8 Sones 48 Phones	7,1 Sones 68 Phones	27,5 Sones 87,5 Phones
Genesis (Moore)	1,83 Sones 48,7 Phones	7,1 Sones 68,3 Phones	27,5 Sones 87,8 Phones
Genesis (Zwicker)	1,6 Sones 46,8 Phones	6,25 Sones 66,4 Phones	24,83 Sones 86,3 Phones

Tableau 2: Données publiées par les auteurs et calculés par les algorithmes développés par Genesis pour un son pur stationnaire à 3 kHz.

Les valeurs que nous obtenons avec l'algorithme correspondant à ANSI S3.4-2007 sont celles que donne la norme à moins de 0,7 phone près.

Les valeurs que nous obtenons avec l'algorithme correspondant au modèle de Zwicker (1997) sont légèrement inférieures (environ 1,5 phones) à celles données par la norme.

4.1.2. Bande de bruit rose

Dans la norme ANSI S3.4-2007 des résultats sont donnés sur certains sons. Nous avons choisi des sons purs et un bruit rose pour comparer nos résultats à ces valeurs. Dans l'exemple A-2.3 de l'annexe de la norme ANSI S3.4-2007, la sonie et le niveau d'isosonie sont donnés pour trois bandes de bruit rose (50-15000Hz). Le niveau donné est celui à 1000 Hz (0, 20 et 40 dB SPL).

Bande de bruit rose (50-15000 Hz)	0 dBSPL à 1 kHz	20 dBSPL à 1 kHz	40 dBSPL à 1 kHz
ANSI S3.4-2007 (Moore, 1997)	3,62 Sones 57,9 Phones	16 Sones 80 Phones	49, 28 Sones 95,3 Phones
Genesis (Moore)	3,68 Sones 58 Phones	16,14 Sones 80,1 Phones	49, 56 Sones 95,3 Phones
Genesis (Zwicker)	2,17 Sones 51,2 Phones	10,97 Sones 74,5 Phones	39, 56 Sones 93,1 Phones

Tableau 3: Données publiées et calculés par les algorithmes développés par Genesis pour une bande de bruit rose à différents niveaux à 1 kHz.

Les valeurs que nous obtenons avec l'algorithme correspondant au modèle de Moore sont les mêmes que celles données la norme au dixième de phone près (voir Tableau 3).

Fastl a publié des valeurs de sonie produites par son modèle [16] et les a comparées à celles données par l'exécutable fourni avec la norme ANSI S3.4-2007. Il obtient des valeurs significativement inférieures (environ 6 phones) à celles données par Moore concernant un bruit rose. Précisons que dans ce cas de validation, les niveaux en entrée sont donnés en bande de tiers d'octave (même valeurs dans chaque bande).

Les mêmes calculs de sonie ont été mis en place avec notre implémentation du modèle de Zwicker pour des signaux dont les niveaux à 1000 Hz étaient ceux donnés ci-dessus par Moore (voir Tableau 2). Nous obtenons effectivement des valeurs de 5 à 7 phones plus faibles. L'écart est d'autant plus élevé que le niveau du signal est faible.

En conclusion, pour les sons stationnaires, les algorithmes implémentés et fournis par Genesis donnent les mêmes résultats (à moins de 1 phone près) que ceux publiés par les auteurs respectifs.

5. Validation des implémentations (sons non stationnaires)

Dans cette section, nous comparons les valeurs obtenues avec les algorithmes Genesis avec quelques données publiées par les auteurs concernant des sons variant dans le temps.

Zwicker a publié en 1984 des données sur le masquage temporel, en particulier sur le décours temporel d'impulsions de sons purs. Les sons testés sont des impulsions en créneaux de durées 10 et 100 ms. Il ne précise cependant pas la fréquence et le niveau. Deux impulsions de durées différentes, de fréquence 5 kHz et de niveau 86,5 dB ont été pris pour référence (d'après [13]). La Figure 4 présente les résultats de l'algorithme développé par Genesis. Ces signaux sont considérés être enregistrés par un microphone et restitués en champ libre.

L'allure du décours temporel de la sonie est semblable à celle publiée par Zwicker et Fastl ([13], 1999).

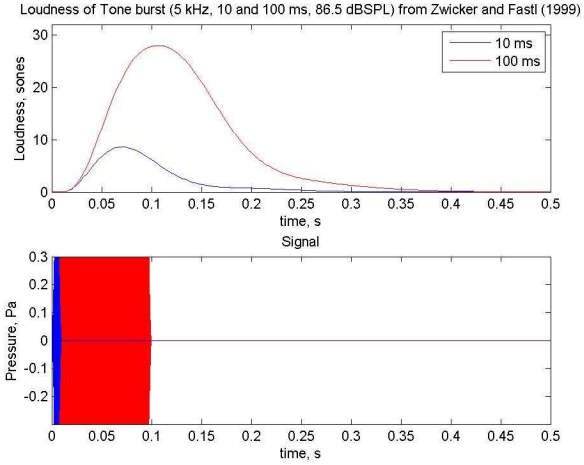

Figure 4: Haut : sonie en fonction du temps d'impulsions de sons purs de 10 et 100 ms (5 kHz à 86.5 dB SPL). Bas : formes d'ondes des signaux.

Glasberg et Moore ont publié en 2002 ([14]) des données sur les calculs de leur modèle (sonie instantanée, sonie à court terme et sonie à long terme). Les sons utilisés sont des impulsions de sons purs de 200 ms dont la fréquence est de 4 kHz et le niveau de 60 dB SPL. Les résultats de l'algorithme développé par Genesis se trouvent sur la Figure 5. Ces signaux sont considérés être enregistrés par un microphone et restitués en champ libre.

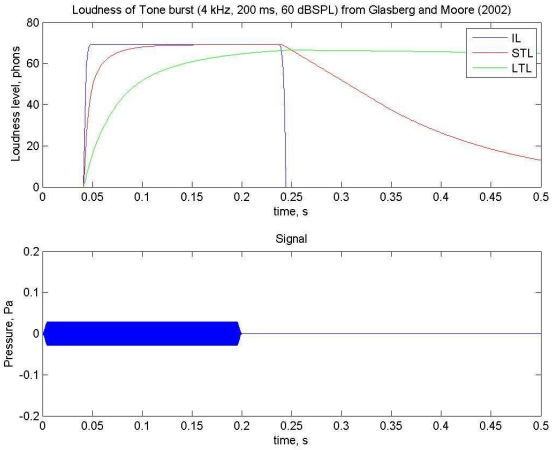

Figure 5: Haut : sortie du modèle de Glasberg et Moore (2002) en réponse à une impulsion de son pur : 4 kHz, 200 ms et 60 dB SPL. Isosonie instantanée (bleu), Isosonie à court terme (rouge) et Isosonie à long terme (vert). Bas : formes d'ondes des signaux.

Les algorithmes développés par Genesis donnent les mêmes résultats que ceux publiés par Moore.

Glasberg et Moore donnent aussi des résultats pour différentes données de maximum d'isosonie à court terme de sons (1 kHz et 4 kHz) de durées variant de 16 à 200 ms à un niveau de 60 dB SPL. On observe ainsi l'augmentation de la sonie avec la durée de sons de même amplitude (voir Figure 6).

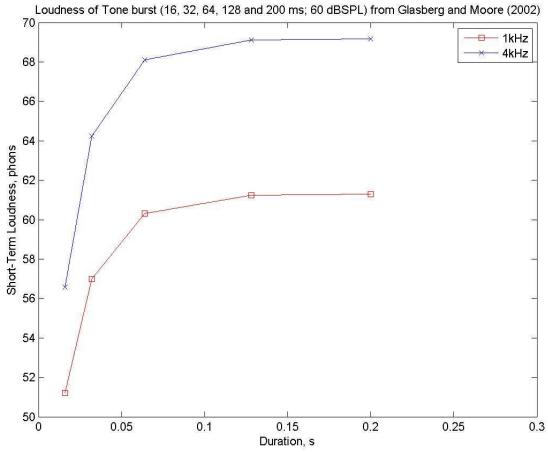

Figure 6: Maximum d'isosonie à court terme en fonction de la durée d'impulsion en créneau de sons purs avec des fréquences de 1 et 4 kHz.

6. Données sur les indicateurs de sonie (N5 et STLmax) pour des sons variant dans le temps

Nous n'avons pas trouvé dans la littérature des données permettant de comparer les valeurs d'indicateurs de sonie tels que le N5 ou le STLmax.

Nous avons alors calculé la sonie en fonction du temps ainsi que le N5 et le STLmax sur des sons de 10 secondes (passage de bus, passage de cyclomoteur et trafic routier). Ces résultats sont représentés sur les Figure 7 (pour Zwicker et Fastl, 1999) et Figure 8 (pour Glasberg et Moore, 2002). Les trois sons pris ici pour référence sont fournis en téléchargement avec la toolbox qui regroupe les algorithmes.

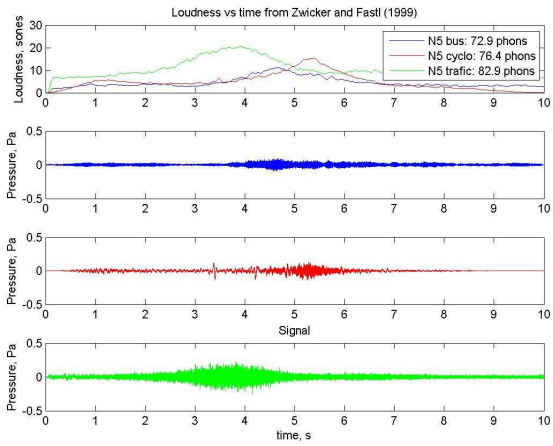

Figure 7: Haut : sonie en fonction du temps (calculés par le modèle de Zwicker et Fastl) de sons de l'environnement (passage de bus, passage de cyclomoteur et trafic routier). Les trois figures du bas représentent les signaux temporels.

Il apparait que le STLmax donne des valeurs supérieures à celles de N5 d'environ 6 phones. Cet écart est similaire à celui des deux modèles pour les sons stationnaires pour une bande de bruit rose.

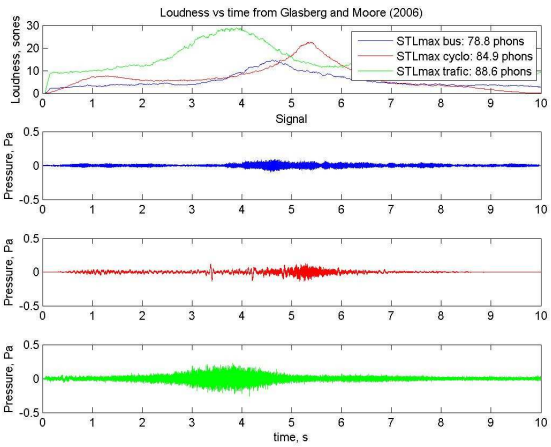

Figure 8: Haut : sonie en fonction du temps (calculés par le modèle de Glasberg et Moore) de sons de l'environnement (passage de bus, passage de cyclomoteur et trafic routier). Les trois figures du bas représentent les signaux temporels.

7. Données sur l'indicateur de sonie pour des sons impulsionnels (LMIS)

Boullet *et al* [3] ont validé, à partir de tests psychoacoustiques, leur modèle de calcul de la sonie des sons impulsionnels. Les valeurs du LMIS ont été comparées au N5 et au STLmax, préconisés par leurs auteurs pour estimer la sonie globale de sons non stationnaires. Il ressort de cette étude que le LMIS donne des résultats plus précis (de 4 à 5 phones) que le N5 et le STLmax sur ce type de sons.

8. Conclusion

Il existe à ce jour des modèles qui permettent de calculer la sonie de sons stationnaires, non stationnaires et impulsionnels.

En ce qui concerne les sons stationnaires, les modèles donnent une très bonne estimation de la sonie.

Pour les sons non stationnaires ou évoluant dans le temps, les modèles existants n'ont pas fait l'objet d'une validation claire sur des sons de l'environnement. Ils permettent de calculer la sonie en fonction du temps et d'obtenir ainsi des indicateurs (préconisés par les auteurs) pour estimer la sonie globale tels que le N5 ou le STLmax.

Enfin, des travaux récents sur la sonie de sons impulsionnels a permis d'élaborer et de valider sur des sons de l'environnement un modèle appelé le LMIS (Loudness Model of Impulsive Sounds). Ce modèle estime précisément (à moins de 4 phones près) la sonie de sons impulsionnels dont les niveaux crêtes varient de 56 à 92 dB SPL et dont les durées sont comprises entre 10 et 1620 ms.

L'ensemble des algorithmes correspondant aux modèles décrits dans cet article est mis à libre disposition par Genesis sur le site : www.genesis.fr.

Remerciements

Les auteurs remercient tous les acteurs de la communauté scientifique, dont les travaux de recherche ont permis de mener à bien cette synthèse ainsi que les implémentations des algorithmes de sonie correspondants.

Références

[1] ANSI S3.4-2007, "American National Standard Procedure for the Computation of Loudness of Steady Sound" (2007)

[2] Boullet I., "La sonie des sons impulsionnels: Perception, Mesures et Modèles", *Thèse de Doctorat de l'Université Aix Marseille II* (2005)

[3] Boullet I., Gagneux F., Rabau G., Meunier S., Boussard P., "Un estimateur de sonie d'impulsion", *Congrès Français d'Acoustique, Tours* (2006)

[4] DIN 45631, "Procedure for calculating loudness level and loudness", *DIN standard* (1991)

[5] DIN 45631/A1, "Calculation of loudness level and loudness from the sound spectrum - Zwicker method - Amendment 1: Calculation of the loudness of time-variant sound" (2008)

[6] Glasberg, B. R., and Moore, B. C. J. "Prediction of absolute thresholds and equal-loudness contours using a modified loudness model," *J. Acoust. Soc. Am.* ***120****, 585-588* (2006)

[7] ISO 532 B, "Méthode de calcul du niveau d'isosonie", *norme internationale* (1975)

[8] Moore B. C. J., Glasberg B. R., "A revision of Zwicker's loudness model", *Acustica, Vol. 82, 335-345* (1996)

[9] Moore B. C. J., Glasberg B. R., Baer T., "A model for the prediction of thresholds, loudness and partial loudness", *J. Audio Eng. Soc, Vol.45, n°4, 224-240* (1997)

[10] Zwicker E., "Program for calculating loudness according to DIN 45631 (ISO 532B)", *J. Acoust. Soc. Jpn. 12 (1), 39-42* (1991)

[11] Zwicker E., "Procedure for calculating loudness of temporally variable sounds", *J. Acoust. Soc. Am., Vol. 62, n°3, p 675-682* (1977)

[12] Zwicker E., "Dependence of post-masking on masker duration and its relation to temporal effects in loudness*", J. Acoust. Soc. Am., 75(1), p 219-223* (1984)

[13] Zwicker E. et Fastl H., "Psychoacoustics: Facts and models", *2nd Edition, Springer-Verlag, Berlin* (1999)

[14] Glasberg, B. R, and Moore, B. C. J. "A model of loudness applicable to time-varying sounds", *J. Audio Eng. Soc, Vol.50, n°5, 331-342* (2002)

[15] Boullet, I., Meunier S., Gagneux F., Marozeau J., Rabau G., Boussard P., "Loudness Model of Impulsive Sounds", *à paraître* (soumis, 2010)

[16] Fastl H., Völk F., Straubinger M., "Standards for calculating loudness of stationary or time-varying sounds.", *Proc. of Inter-Noise Conf., Ottawa, Canada* (2009)