



Validation des algorithmes de sonie implémentés

Toolbox Sonie

GENESIS S.A.
www.genesis.fr

Sommaire

Table des matières

1	Objet du document.....	II
2	Les modèles de sonie	III
3	Toolbox sonie pour Matlab	IV
3.1	Validation des implémentations (sons stationnaires)	IV
3.1.1	Sons purs.....	IV
3.1.2	Bande de bruit rose	V
3.2	Validation des implémentations (sons non stationnaires)	VI
3.3	Données sur les indicateurs de sonie (N5 et STLmax) pour des sons variant dans le temps	VIII
3.4	Données sur l'indicateur de sonie pour des sons impulsionnels (LMIS)	X

1 Objet du document

Il existe à ce jour plusieurs modèles qui permettent de calculer la sonie de sons stationnaires, non stationnaires et impulsionnels. A l'occasion de la célébration de ses 10 ans, GENESIS fournit en accès libre une toolbox pour Matlab permettant le calcul de la sonie avec la plupart des modèles recensés dans la littérature. Ce document présente les procédures utilisées pour validation de ces implémentations. Les sons test utilisés ainsi que les résultats obtenus sont également fournis avec la toolbox.

2 Les modèles de sonie

Le tableau suivant donne les correspondances entre les fonctions Matlab de la toolbox, les modèles de sonie associés, et les domaines de validité de ces modèles :

Matlab function name	Model standard /	Stationary sound	Time-varying sound	Impulsive sound
Loudness_ISO532B	ISO 532B DIN 45631	x		
Loudness_ANSI_S34_2007	ANSI S3.4-2007	x		
Loudness_NonStationnary_Zwicker	Fastl and Zwicker loudness model for time-varying sounds		x	
Loudness_NonStationnary_Moore	Moore and Glasberg loudness model for time-varying sounds		x	
Loudness_LMIS	Impulsive sounds loudness model from Boullet et al			x

Tableau 1: modèles de sonie implémentés dans la toolbox



3 Toolbox sonie pour Matlab

Dans ce paragraphe, les résultats de la procédure de validation appliquée aux différents algorithmes sont présentés. Une base de valeurs de sonie calculées par les différents algorithmes de la toolbox est également fournie.

3.1 Validation des implémentations (sons stationnaires)

3.1.1 Sons purs

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

Son pur à 1 kHz	10 dBSPL	40 dBSPL	50 dBSPL	60 dBSPL	80 dBSPL
ANSI S3.4- 2007	0.03 Sone 10 Phones	1 Sones 40 Phones	2.1 Sones 50 Phones	4.2 Sones 60 Phones	16 Sones 80 Phones
GENESIS (Moore)	0.03 Sone 10.2 Phones	0.98 Sone 39.8 Phones	2.06 Sones 49.7 Phones	4.07 Sones 59.6 Phones	15.5 Sones 79.5 Phones
GENESIS (Zwicker)	0.02 Sones 9.41 Phones	1.01 Sone 40.2 Phones	2.04 Sones 50.2 Phones	4.07 Sones 60.2 Phones	16.4 Sones 80.4 Phones
ISO 532B (Zwicker, 1991)	0.02 Sone 10.2 Phones	1 Sone 40 Phones	2 Sones 50.1 Phones	4.01 Sones 60 Phones	16.07 Sones 80.1 Phones

Tableau 2 : Données publiées par les auteurs et calculés par les algorithmes développés par GENESIS pour un son pur stationnaire à 1 kHz.

Les valeurs obtenues avec l'algorithme correspondant au modèle de Moore (1997) sont les mêmes que celles de la norme ANSI à moins de 0.5 phone près pour des niveaux supérieurs à 40 dB SPL (voir Tableau 2).

L'algorithme correspondant au modèle de Zwicker (1997) donne 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).

Les implémentations pour un son pur à 3 kHz, pour des niveaux de 40, 60 et 80 dB SPL donnent les résultats fournis dans le Tableau 3.

Son pur à 3 kHz	40 dBSPL	60 dBSPL	80 dBSPL
ANSI S3.4-2007	1.8 Sones 48 Phones	7.1 Sones 68 Phones	27.5 Sones 87.5 Phones
GENESIS (Moore)	1.79 Sones 47.8 Phones	6.9 Sones 67.4 Phones	26.5 Sones 86.7 Phones
GENESIS (Zwicker)	1.64 Sones 47.1 Phones	6.4 Sones 66.8 Phones	25.4 Sones 86.7 Phones

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

Les valeurs obtenues avec l'algorithme correspondant au modèle de Moore (1997) sont celles que donne la norme à moins de 1 phone près.

Les valeurs obtenues avec l'algorithme correspondant au modèle de Zwicker (1997) sont quant à elles légèrement inférieures (environ 1.5 phones) que celles données par la norme. Rappelons cependant que ces données sont issues de deux modèles différents, et donc pas directement comparables en l'état.

3.1.2 Bande de bruit rose

Dans la norme ANSI S3.4-2007 des valeurs de calculs de sonie sont donnés pour certains sons, notamment pour des bruits roses. Dans l'exemple A-2.3 de l'annexe de la norme ANSI S3.4-2007, la sonie et le niveau d'isophonie sont donnés pour trois bandes de bruit rose (50-15000Hz), dont le niveau donné est celui à 1000 Hz (respectivement de 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)	3.62 Sones 57.7 Phones	15.66 Sones 79.7 Phones	47.34 Sones 94.7 Phones
GENESIS (Zwicker)	2.25 Sones 51.7 Phones	11.2 Sones 74.9 Phones	40.4 Sones 93.3 Phones

Tableau 4 : Données publiées et calculées par les algorithmes développés par GENESIS pour une bande de bruit rose à différents niveaux à 1 kHz.

Les données obtenues avec l'algorithme correspondant au modèle de Moore (1997) sont celles que donne la norme à quelques dixièmes de phone près (voir Tableau 4).

Fastl a publié des données concernant son modèle (Fastl et al, 2009) 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 qu'ici les niveaux d'entrée sont donnés par bande de tiers d'octave (même valeurs dans chaque bande).



Les calculs de sonie avec le modèle de Zwicker pour les mêmes signaux (voir tableau 2) sont donnés. Les valeurs sont de 5 à 8 phones plus faibles. L'écart à la référence ANSI est d'autant plus élevé que le niveau du signal est faible.

Ainsi, pour les sons stationnaires, les algorithmes développés par GENESIS donnent les mêmes résultats (à moins de 1 phone près) que ceux publiés par les auteurs ou dans les normes.

3.2 Validation des implémentations (sons non stationnaires)

Dans ce paragraphe, les données obtenues avec les algorithmes GENESIS sont confrontées aux données publiées par les auteurs de modèles applicables aux sons variant dans le temps.

Zwicker a publié en 1984 des données sur le masquage temporel, en particulier sur l'allure temporelle d'impulsions de sons purs. Les sons testés sont des créneaux d'impulsions de 10 et 100 ms. Il ne précise cependant pas la fréquence et le niveau. Afin d'effectuer la comparaison, deux impulsions de durées différentes à une fréquence de 5 kHz et un niveau 86.5 dB (en référence à Zwicker et Fastl, 1999) ont été choisies. Les résultats de l'algorithme développé par GENESIS se trouvent sur la Figure 1. Ces signaux sont considérés comme enregistrés par un microphone en champ libre.

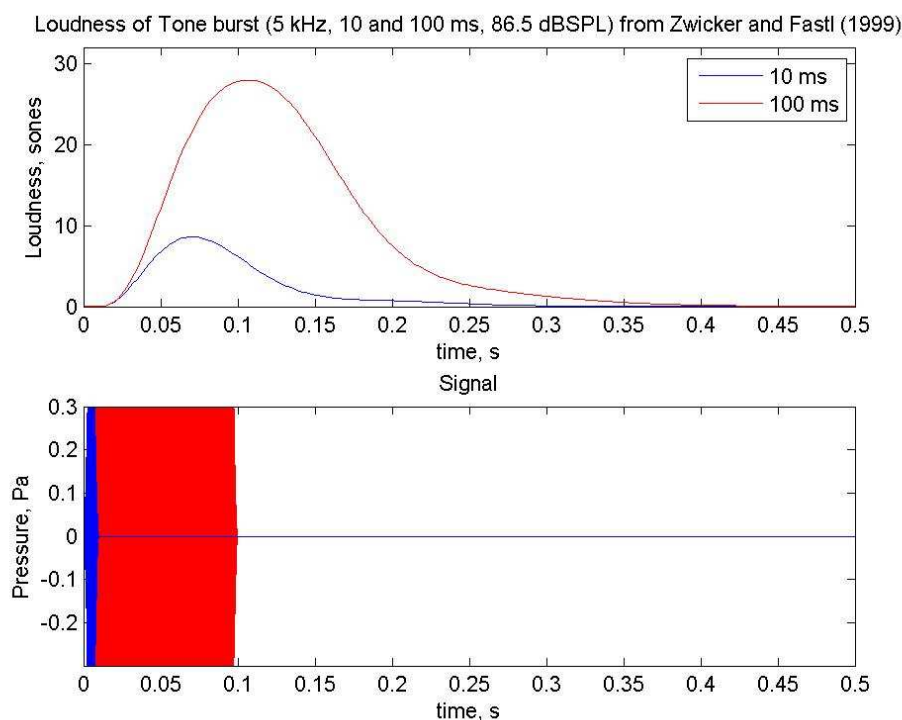


Figure 1 : Sonie en fonction du temps d'impulsions de sons purs de 10 et 100 ms (5 kHz à 86,5 dB SPL).
La figure du bas représente les signaux temporels.



L'évolution temporelle de la sonie est semblable à celle publiée par Zwicker et Fastl (1999).

Glasberg et Moore ont publié en 2002 des données relatives aux sorties de calculs de leur modèle pour la sonie instantanée, la sonie à court terme et la sonie à long terme. Les sons utilisés sont des créneaux d'impulsion de sons purs de 200 ms de fréquence 4 kHz et de niveau 60 dB SPL. Les résultats de l'algorithme développé par GENESIS se trouvent sur la Figure 2. Ces signaux sont considérés comme enregistrés par un microphone en champ libre.

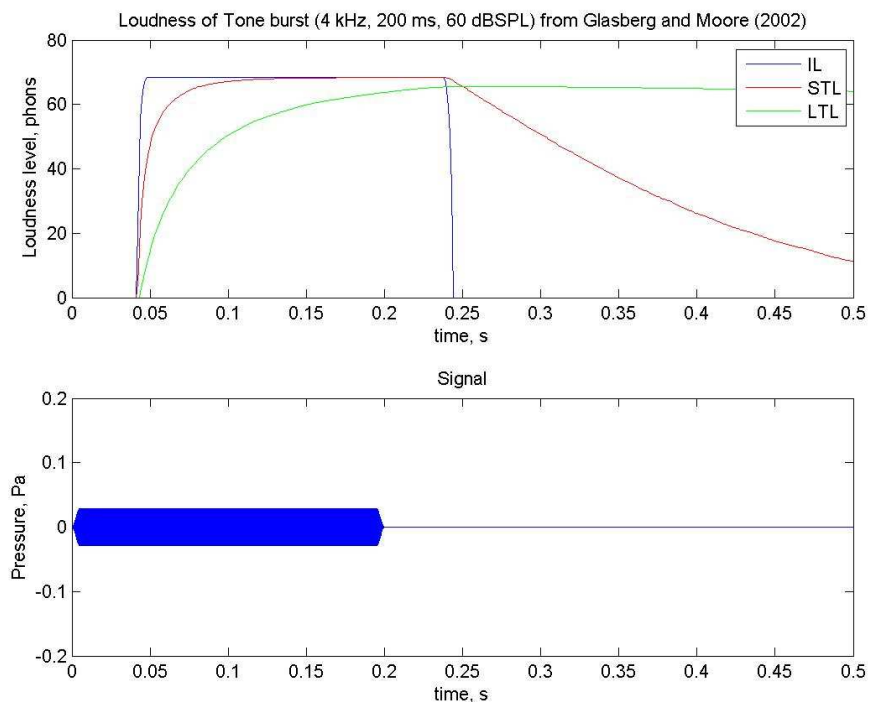


Figure 2 : Sortie du modèle de Glasberg et Moore (2002) en réponse à une impulsion de son pur : 4 kHz, 200 ms et 60 dB SPL (Isosonie instantanée (bleu), Isosonie à court terme (rouge) et Isosonie à long terme (vert)). La figure du bas représente le signal temporel.

Les résultats des algorithmes développés par GENESIS sont identiques à ceux publiés par Moore.

Glasberg et Moore donnent aussi des valeurs du maximum d'isotonie à court terme pour des sons purs de 1 kHz et 4 kHz, de durées variant de 16 à 200ms et présentés à 60 dB SPL.

Les valeurs calculées par l'algorithme implémenté par GENESIS et représentées sur la Figure 3 correspondent bien à celles données par les auteurs.

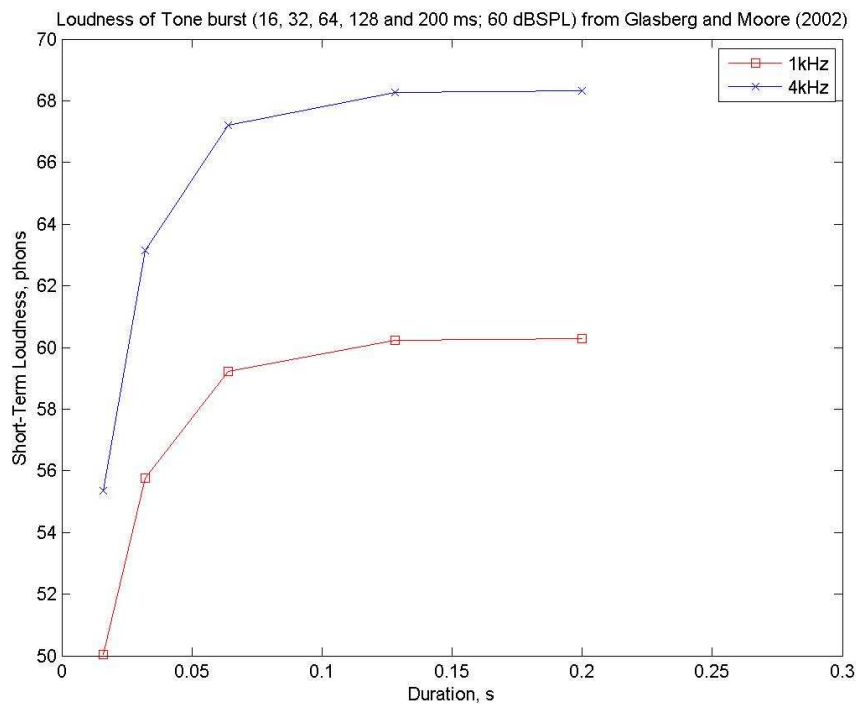


Figure 3 : Maximum d'isotonie à court terme en fonction de la durée d'impulsion en créneau de sons purs de fréquences 1 kHz et 4 kHz.

3.3 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.

Pour faire office de référence, les calculs de la sonie en fonction du temps ainsi que le N5 et le STLmax ont été effectués avec les programmes de la toolbox sur des sons de 10 secondes (passage de bus, passage de cyclomoteur et trafic routier). Les résultats sont représentés Figure 4 (pour Zwicker et Fastl, 1999) et Figure 5 (pour Glasberg et Moore, 2002).

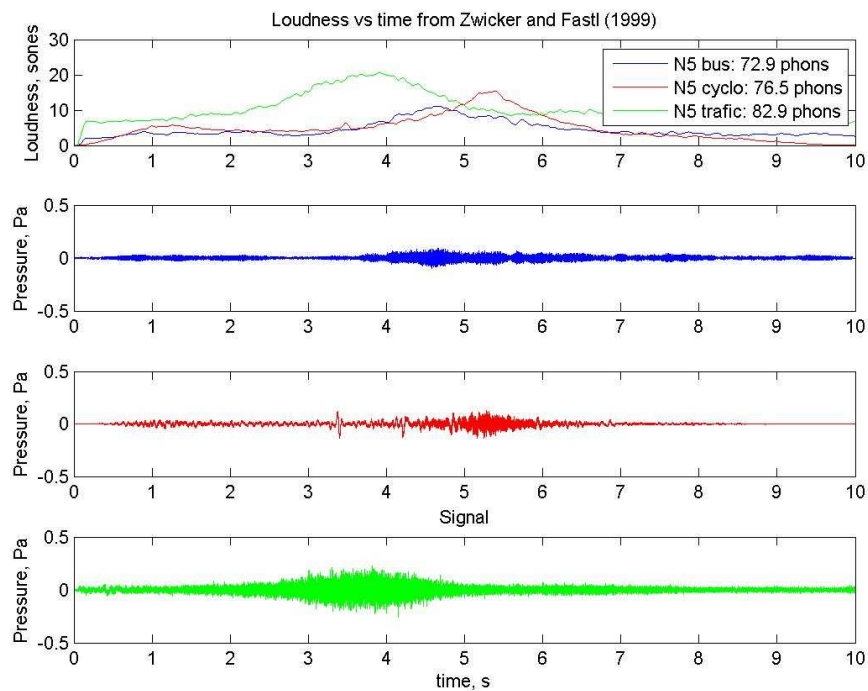


Figure 4 : Sonie en fonction du temps (calculés par le modèle de Zwicker et Fastl) de sons de l'environnement (passage de bus, passage de cyclomoteur et trafic routier). Les 3 figures du bas représentent les signaux temporels.

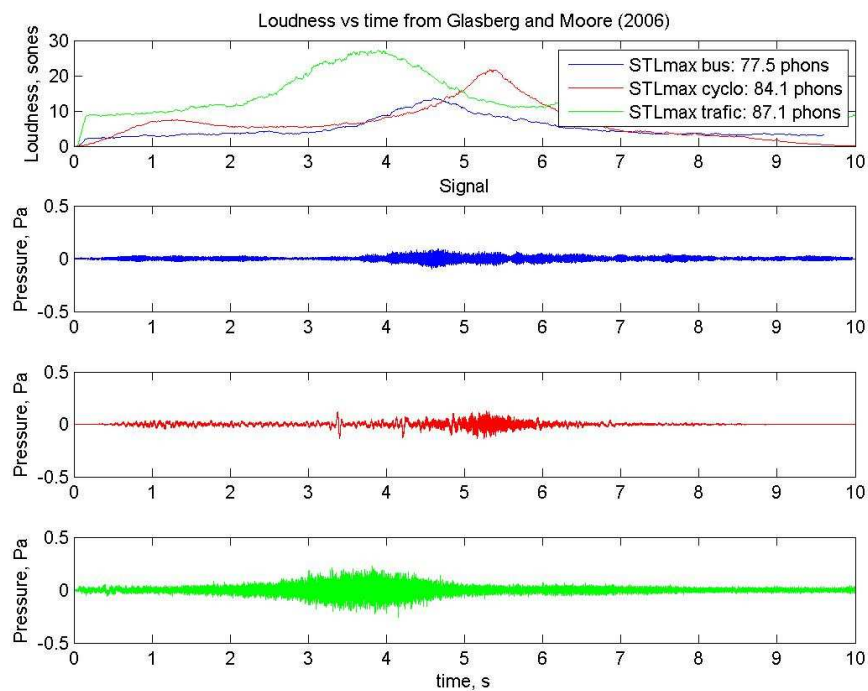


Figure 5 : Sonie en fonction du temps (calculés par le modèle de Glasberg et Moore) de sons de l'environnement (passage de bus, passage de cyclomoteur et trafic routier). Les 3 figures du bas représentent les signaux temporels.



Sur ces signaux, il apparait que la valeur du STLmax est supérieure au N5 d'environ 6 phones. Le même écart a été constaté sur les calculs effectués précédemment avec ces deux modèles sur des bruits roses stationnaires.

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

Boullet et coll. (2006) ont validé leur modèle de sonie de sons impulsionnels au moyen de tests psychoacoustiques. De plus, les valeurs du LMIS ont été comparées au N5 et au STLmax, préconisés par leurs auteurs respectifs 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 pour ce type de sons. Des valeurs de sonie calculées avec l'algorithme LMIS sont données en Annexe 1.

- § -



ANNEXE 1 : code Matlab - valeurs calculées sur une banque de sons

Cette annexe présente les valeurs de sonie obtenues avec la toolbox GENESIS sur l'ensemble des sons du répertoire « WAV ».

```
-----  
stationary (ISO 532B)  
-----  
  
File: WAV\PinkNoise_0dBpHz@1000Hz.wav  
Loudness: 2.25 sones  
Loudness level: 51.70 phones  
-----  
File: WAV\PinkNoise_20dBpHz@1000Hz.wav  
Loudness: 11.24 sones  
Loudness level: 74.91 phones  
-----  
File: WAV\PinkNoise_40dBpHz@1000Hz.wav  
Loudness: 40.44 sones  
Loudness level: 93.38 phones  
-----  
File: WAV\sinus_1000Hz_10dBSPL.wav  
Loudness: 0.02 sones  
Loudness level: 9.41 phones  
-----  
File: WAV\sinus_1000Hz_40dBSPL.wav  
Loudness: 1.01 sones  
Loudness level: 40.19 phones  
-----  
File: WAV\sinus_1000Hz_50dBSPL.wav  
Loudness: 2.04 sones  
Loudness level: 50.25 phones  
-----  
File: WAV\sinus_1000Hz_60dBSPL.wav  
Loudness: 4.07 sones  
Loudness level: 60.24 phones  
-----  
File: WAV\sinus_1000Hz_80dBSPL.wav  
Loudness: 16.43 sones  
Loudness level: 80.38 phones  
-----  
File: WAV\sinus_100Hz_10dBSPL.wav  
Loudness: 0.00 sones  
Loudness level: 0.00 phones  
-----  
File: WAV\sinus_100Hz_40dBSPL.wav  
Loudness: 0.25 sones  
Loudness level: 24.45 phones  
-----  
File: WAV\sinus_100Hz_50dBSPL.wav  
Loudness: 0.77 sones  
Loudness level: 36.54 phones
```



```
-----
File: WAV\sinus_100Hz_60dBSPL.wav
Loudness: 1.79 sones
Loudness level: 48.42 phones
-----
File: WAV\sinus_100Hz_80dBSPL.wav
Loudness: 10.03 sones
Loudness level: 73.26 phones
-----
File: WAV\sinus_3000Hz_10dBSPL.wav
Loudness: 0.07 sones
Loudness level: 15.77 phones
-----
File: WAV\sinus_3000Hz_40dBSPL.wav
Loudness: 1.64 sones
Loudness level: 47.13 phones
-----
File: WAV\sinus_3000Hz_50dBSPL.wav
Loudness: 3.24 sones
Loudness level: 56.95 phones
-----
File: WAV\sinus_3000Hz_60dBSPL.wav
Loudness: 6.40 sones
Loudness level: 66.79 phones
-----
File: WAV\sinus_3000Hz_80dBSPL.wav
Loudness: 25.46 sones
Loudness level: 86.70 phones
-----
```

```
-----
stationary (ANSI S3.4 2007)
-----
```

```
File: WAV\PinkNoise_0dBpHz@1000Hz.wav
Loudness: 3.62 sones
Loudness level: 57.72 phones
-----
File: WAV\PinkNoise_20dBpHz@1000Hz.wav
Loudness: 15.66 sones
Loudness level: 79.65 phones
-----
File: WAV\PinkNoise_40dBpHz@1000Hz.wav
Loudness: 47.34 sones
Loudness level: 94.70 phones
-----
File: WAV\sinus_1000Hz_10dBSPL.wav
Loudness: 0.03 sones
Loudness level: 10.19 phones
-----
File: WAV\sinus_1000Hz_40dBSPL.wav
Loudness: 0.98 sones
Loudness level: 39.80 phones
-----
File: WAV\sinus_1000Hz_50dBSPL.wav
Loudness: 2.06 sones
Loudness level: 49.69 phones
-----
File: WAV\sinus_1000Hz_60dBSPL.wav
```



```
Loudness: 4.07 sones
Loudness level: 59.61 phones
-----
File: WAV\sinus_1000Hz_80dBSPL.wav
Loudness: 15.52 sones
Loudness level: 79.50 phones
-----
File: WAV\sinus_100Hz_10dBSPL.wav
Loudness: 0.00 sones
Loudness level: 0.00 phones
-----
File: WAV\sinus_100Hz_40dBSPL.wav
Loudness: 0.08 sones
Loudness level: 16.00 phones
-----
File: WAV\sinus_100Hz_50dBSPL.wav
Loudness: 0.31 sones
Loudness level: 26.56 phones
-----
File: WAV\sinus_100Hz_60dBSPL.wav
Loudness: 0.81 sones
Loudness level: 37.27 phones
-----
File: WAV\sinus_100Hz_80dBSPL.wav
Loudness: 4.02 sones
Loudness level: 59.39 phones
-----
File: WAV\sinus_3000Hz_10dBSPL.wav
Loudness: 0.11 sones
Loudness level: 17.94 phones
-----
File: WAV\sinus_3000Hz_40dBSPL.wav
Loudness: 1.79 sones
Loudness level: 47.56 phones
-----
File: WAV\sinus_3000Hz_50dBSPL.wav
Loudness: 3.56 sones
Loudness level: 57.45 phones
-----
File: WAV\sinus_3000Hz_60dBSPL.wav
Loudness: 6.91 sones
Loudness level: 67.39 phones
-----
File: WAV\sinus_3000Hz_80dBSPL.wav
Loudness: 26.50 sones
Loudness level: 86.73 phones
-----

-----
NON stationary (Zwicker and Fastl)
-----

File: WAV\ToneBurst_1000Hz_60dBSPL_16ms.wav
Loudness N5: 1.25 sones
Loudness level N5: 43.25 phones
-----
File: WAV\ToneBurst_1000Hz_60dBSPL_32ms.wav
Loudness N5: 1.87 sones
Loudness level N5: 49.07 phones
```



```
-----
File: WAV\ToneBurst_1000Hz_60dBSPL_64ms.wav
Loudness N5: 2.83 sones
Loudness level N5: 54.99 phones
-----
File: WAV\ToneBurst_1000Hz_60dBSPL_128ms.wav
Loudness N5: 4.01 sones
Loudness level N5: 60.03 phones
-----
File: WAV\ToneBurst_1000Hz_60dBSPL_200ms.wav
Loudness N5: 4.05 sones
Loudness level N5: 60.19 phones
-----
File: WAV\ToneBurst_4000Hz_60dBSPL_16ms.wav
Loudness N5: 1.49 sones
Loudness level N5: 45.80 phones
-----
File: WAV\ToneBurst_4000Hz_60dBSPL_32ms.wav
Loudness N5: 2.31 sones
Loudness level N5: 52.08 phones
-----
File: WAV\ToneBurst_4000Hz_60dBSPL_64ms.wav
Loudness N5: 3.56 sones
Loudness level N5: 58.32 phones
-----
File: WAV\ToneBurst_4000Hz_60dBSPL_128ms.wav
Loudness N5: 5.05 sones
Loudness level N5: 63.35 phones
-----
File: WAV\ToneBurst_4000Hz_60dBSPL_200ms.wav
Loudness N5: 5.10 sones
Loudness level N5: 63.51 phones
-----
File: WAV\ToneBurst_5000Hz_86.5dBSPL_10ms.wav
Loudness N5: 5.12 sones
Loudness level N5: 63.55 phones
-----
File: WAV\ToneBurst_5000Hz_86.5dBSPL_100ms.wav
Loudness N5: 23.20 sones
Loudness level N5: 85.36 phones
-----
File: WAV\bus.wav
Loudness N5: 9.77 sones
Loudness level N5: 72.88 phones
-----
File: WAV\cyclo.wav
Loudness N5: 12.51 sones
Loudness level N5: 76.45 phones
-----
File: WAV\trafic.wav
Loudness N5: 19.56 sones
Loudness level N5: 82.90 phones
-----

-----
NON stationary (Glasberg and Moore)
-----

File: WAV\ToneBurst_1000Hz_60dBSPL_16ms.wav
```



Loudness STLmax: 2.11 sones
Loudness level STLmax: 50.05 phones

File: WAV\ToneBurst_1000Hz_60dBSPL_32ms.wav
Loudness STLmax: 3.15 sones
Loudness level STLmax: 55.76 phones

File: WAV\ToneBurst_1000Hz_60dBSPL_64ms.wav
Loudness STLmax: 3.98 sones
Loudness level STLmax: 59.22 phones

File: WAV\ToneBurst_1000Hz_60dBSPL_128ms.wav
Loudness STLmax: 4.24 sones
Loudness level STLmax: 60.23 phones

File: WAV\ToneBurst_1000Hz_60dBSPL_200ms.wav
Loudness STLmax: 4.26 sones
Loudness level STLmax: 60.27 phones

File: WAV\ToneBurst_4000Hz_60dBSPL_16ms.wav
Loudness STLmax: 3.05 sones
Loudness level STLmax: 55.34 phones

File: WAV\ToneBurst_4000Hz_60dBSPL_32ms.wav
Loudness STLmax: 5.21 sones
Loudness level STLmax: 63.16 phones

File: WAV\ToneBurst_4000Hz_60dBSPL_64ms.wav
Loudness STLmax: 6.82 sones
Loudness level STLmax: 67.21 phones

File: WAV\ToneBurst_4000Hz_60dBSPL_128ms.wav
Loudness STLmax: 7.31 sones
Loudness level STLmax: 68.26 phones

File: WAV\ToneBurst_4000Hz_60dBSPL_200ms.wav
Loudness STLmax: 7.33 sones
Loudness level STLmax: 68.32 phones

File: WAV\ToneBurst_5000Hz_86.5dBSPL_10ms.wav
Loudness STLmax: 7.30 sones
Loudness level STLmax: 68.25 phones

File: WAV\ToneBurst_5000Hz_86.5dBSPL_100ms.wav
Loudness STLmax: 29.92 sones
Loudness level STLmax: 88.40 phones

File: WAV\bus.wav
Loudness STLmax: 13.67 sones
Loudness level STLmax: 77.52 phones

File: WAV\cyclo.wav
Loudness STLmax: 21.71 sones
Loudness level STLmax: 84.13 phones

File: WAV\trafic.wav
Loudness STLmax: 27.32 sones
Loudness level STLmax: 87.14 phones



IMPULSIVE SOUNDS (LMIS)

File: WAV\son02.wav
Loudness : 3.40 sones
Loudness level : 57.65 phones

File: WAV\son10.wav
Loudness : 23.81 sones
Loudness level : 85.73 phones

File: WAV\son22.wav
Loudness : 2.58 sones
Loudness level : 53.67 phones
