

## Calcul de la sonie et de l'acuité dans ArtemiS

### Introduction

Le logiciel d'analyse ArtemiS permet de calculer différentes grandeurs psychoacoustiques. Le calcul de ces grandeurs se base sur le traitement d'un signal inspiré de celui de l'être humain. Elles permettent ainsi à l'utilisateur du logiciel d'analyser des fichiers de bruit en tenant compte des particularités de l'ouïe humaine. Nous expliquerons ci-dessous le calcul de l'analyse Sonie vs. temps (interface utilisateur en anglais « Loudness vs. Time ») et présenterons également l'analyse Acuité vs. temps (angl. « Sharpness vs. Time ») qui se base sur l'analyse de la sonie.

### Termes utilisés

#### Bandes critiques

Différentes expériences et essais acoustiques ont montré que l'ouïe humaine regroupe des excitations sonores ayant des fréquences voisines dans certaines bandes fréquentielles. Ces bandes sont appelées « bandes critiques ». La succession de ces bandes donne l'échelle fréquentielle – appelée « tonie » - qui a pour unité le « Bark ». Zwicker a divisé la plage fréquentielle audible en 24 bandes critiques réparties sur une échelle allant de 0 à 24 Barks ([1], [2]). Le tableau suivant représente cette répartition.

Tonie z [Bark]	f [Hz]	$\Delta f$ [Hz]	Tonie z [Bark]	f [Hz]	$\Delta f$ [Hz]	Tonie z [Bark]	f [Hz]	$\Delta f$ [Hz]
0	0		8	920		16	3150	
		100			160			550
1	100		9	1080		17	3700	
		100			190			700
2	200		10	1270		18	4400	
		100			210			900
3	300		11	1480		19	5300	
		100			240			1100
4	400		12	1720		20	6400	
		110			280			1300
5	510		13	2000		21	7700	
		120			320			1800
6	630		14	2320		22	9500	
		140			380			2500
7	770		15	2700		23	12000	
		150			450			3500
						24	15500	

Tableau 1 : Relation entre la tonie z et la fréquence f, selon [1]

**Sonie**

La sonie est la grandeur de la perception humaine du niveau sonore. Elle permet de représenter le niveau sonore perçu de signaux acoustiques sur une échelle linéaire. L'unité de la sonie est le « sone » (du latin « sonare » : sonner). Un son pur d'une fréquence de 1 kHz et un niveau de 40 dB a par définition une sonie de 1 sone. L'échelle de la sonie est caractérisée par le fait qu'un son ressenti comme étant deux fois plus fort possède également une valeur en sone deux fois plus élevée. La sonie de sons purs et de bruits complexes a été déterminée dans des tests acoustiques en comparant leur force sonore perçue au son pur de 1 kHz. La sonie de signaux stationnaires est déterminée dans les normes DIN 45631 et ISO 523.

**Niveau d'intensité sonore**

Les êtres humains ne ressentent pas tous les sons testés ayant le même niveau mais une fréquence différente comme ayant la même intensité sonore. La manière dont l'être humain ressent l'intensité sonore dépend de la fréquence. Le niveau d'intensité sonore ayant pour unité le « phone », indique le niveau de pression acoustique d'un son pur de 1 kHz qui provoque la même sensation d'intensité sonore que le son testé. Un son pur ayant une fréquence de 500 Hz et qui est ressenti comme étant aussi fort qu'un son pur de 1 kHz ayant un niveau de 50 dB, a donc un niveau d'intensité sonore égal à 50 phones. D'après la norme DIN 45631, le niveau d'intensité sonore  $L_N$  peut être calculé à partir de la sonie  $N$  :

$$L_N = \begin{cases} 40 + 33.22 \cdot \lg\left(\frac{N}{\text{sone}}\right) & \text{pour } N \geq 1 \text{ sone} \\ 40 \cdot \left(\frac{N}{\text{sone}} + 0.0005\right)^{0.35} & \text{pour } N < 1 \text{ sone.} \end{cases}$$

**Sonie spécifique**

La sonie spécifique indique la répartition de la sonie sur les bandes critiques. Elle a pour unité le « sone/Bark ». La sonie totale  $N$  est obtenue à partir des sonies spécifiques  $N'$  par intégration sur l'échelle de tonie :

$$N = \int_0^{24\text{Bark}} n'(z) dz .$$

**Acuité**

L'acuité est une unité servant à mesurer la sensation provoquée par des composantes à haute fréquence contenues dans un bruit. L'unité de la sonie est l' « acum » (du latin « acum » : aigu, pointu). L'acuité représente, elle aussi, la perception humaine de manière linéaire. 1 acum correspond à un bruit de bande étroite de 1 kHz ayant une largeur de bande inférieure à 150 Hz et un niveau égal à 60 dB.

**Calcul de la sonie**

ArtemiS dispose de plusieurs procédures permettant d'analyser la sonie. Vous pouvez choisir celle que vous désirez utiliser et les paramétrages correspondants sur la page de propriétés (angl. « Properties ») de l'analyse de la sonie (voir figure 1).

Dans la première boîte de sélection (« Calculation Method »), vous avez le choix entre six méthodes de calcul a) « DIN 45631 (/A1) », b) « FFT / ISO 532 B », c) « Filter / ISO 532 B », d) « FFT / HEAD », e) « FFT / ANSI S3.4-2007 », ou f) « FFT(3rd oct) / ANSI S3.4-2007 ». D'autres possibilités de paramétrages sont activées selon la méthode choisie. Si vous choisissez une analyse basée sur une FFT, il vous est alors possible de paramétrer le fenêtrage (angl. « Window Function »), la taille de la fenêtre (angl. « Spectrum Size ») et le recouvrement (angl. « Overlap »). Dans la méthode de calcul HEAD, vous pouvez également améliorer la résolution (« Resolution ») d'1 à 1/5<sup>ème</sup> de Bark. Si vous utilisez la méthode de calcul « Filter / ISO 532 B », vous avez le choix entre plusieurs ordres de filtre (angl. « Filter Order »).

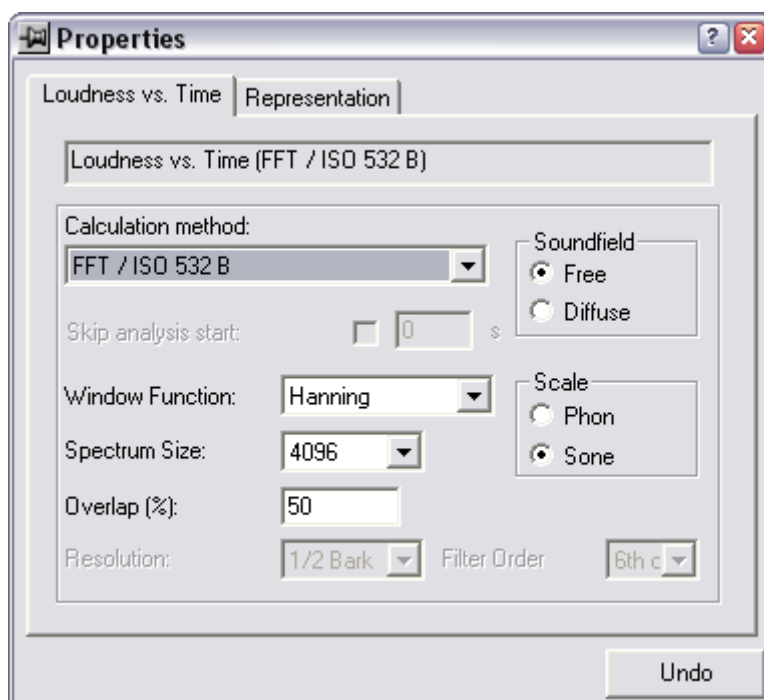


Figure 1 : Page de propriétés de l'analyse de la sonie dans ArtemiS

### Calcul de la sonie d'après la norme ISO 532 B

La norme ISO 532 B contient une procédure graphique normalisée permettant de déterminer un modèle de sonie spécifique avec des bruits stationnaires à partir de niveaux de tiers d'octave, puis, la sonie et le niveau d'intensité sonore. Cette procédure est décrite aussi dans la norme DIN45631 et a été précisée dans la norme DIN 45631 (1991) par un programme de calcul et des préconisations pour la correction de la partie basse-fréquence selon les courbes d'isophonie. L'implémentation ArtemiS se base sur cette norme.

Selon que les niveaux de tiers d'octave utilisés pour les calculs sont déterminés à partir d'une FFT ou d'une série de filtres, vous pouvez utiliser la méthode de calcul « FFT / ISO 532 B » ou « Filter / ISO 532 B » dans ArtemiS. La figure 2 montre de manière schématique la marche à suivre pour réaliser le calcul. Ces deux méthodes répondent aux exigences de la norme ISO. Selon la méthode choisie, vous pouvez configurer des paramètres pour la fenêtre FFT (fenêtrage, taille de fenêtre et recouvrement) ou pour les filtres (ordre) sur la page de propriétés de l'analyse de la sonie.

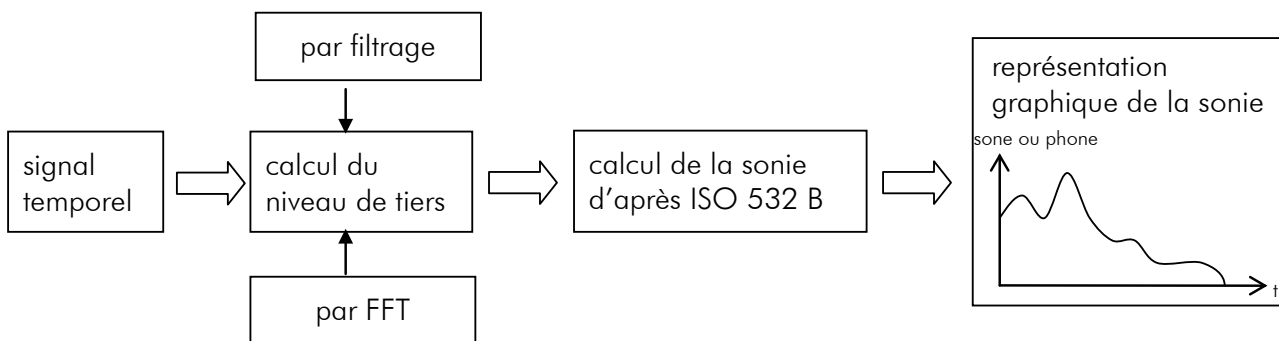


Figure 2 : Procédure de détermination de la sonie dans ArtemiS à l’aide de la méthode FFT / ISO 532 B ou Filter / ISO 532 B

Les bandes critiques situées dans le domaine fréquentiel inférieur étant plus larges qu’une bande de tiers d’octave, il est nécessaire de regrouper les niveaux de plusieurs bandes de tiers d’octave pour les fréquences inférieures à 250 Hz. Les niveaux de tiers d’octave devront donc d’abord être pondérés d’après un tableau indiqué dans la norme, puis additionnés selon l’intensité. Avec des fréquences plus élevées, il est envisageable de réaliser une approximation des bandes critiques par les bandes de tiers d’octave, de sorte que des niveaux de tiers d’octave puissent être utilisés dans les étapes de calcul ultérieures.

Dans la procédure graphique, ces niveaux sont reportés dans un diagramme. Outre ces niveaux qui sont alors décrits comme étant des sonies centrales, les « sonies latérales » sont, comme l’impose la norme, elles aussi reportées dans le diagramme. La courbe en résultant représente le modèle de sonie spécifique. La surface située sous cette courbe représente la sonie totale. L’ouïe disposant d’une caractéristique directive et pouvant donc percevoir des bruits venant de différentes directions de manière plus ou moins intense, la norme fournit différents types de diagramme pour le champ libre et le champ diffus. Selon le type de diagramme choisi, l’unité sone a pour indice F (pour le champ libre) ou D (pour le champ diffus). L’unité a également pour indice G car le calcul est réalisé sur la base des bandes critiques.

La figure 3 représente un tel diagramme pour l’analyse graphique d’un bruit en champ libre. Le diagramme contient les sonies partielles d’un exemple de bruit avec une sonie totale de 24 sone<sub>GF</sub>. Toutes les lignes fines appartiennent au modèle normalisé. Les sonies partielles du bruit sont représentées par des lignes continues épaisses. La surface située sous cette courbe correspond à celle située sous la ligne pointillée horizontale. La hauteur de cette ligne indique la sonie totale qui peut être lue sur les échelles de gauche et de droite (ici : 24 sone<sub>GF</sub> et 86 phone<sub>GF</sub>).

Dans ArtemiS, le niveau est corrigé en fonction du champ sonore entré sur la page de propriétés de manière à ce que, ici aussi, la différence soit faite entre champ libre et champ diffus. Les sonies centrales et latérales nécessaires pour déterminer le modèle de sonie spécifique sont calculées dans ArtemiS de manière purement mathématique sans accessoire graphique et sur la base du programme BASIC indiqué dans la norme. La sonie totale est déterminée par intégration du modèle de sonie spécifique.

Le résultat est représenté comme sonie en « sone » ou comme niveau d’intensité sonore en « phone selon l’échelle sélectionnée sur la page de propriétés.

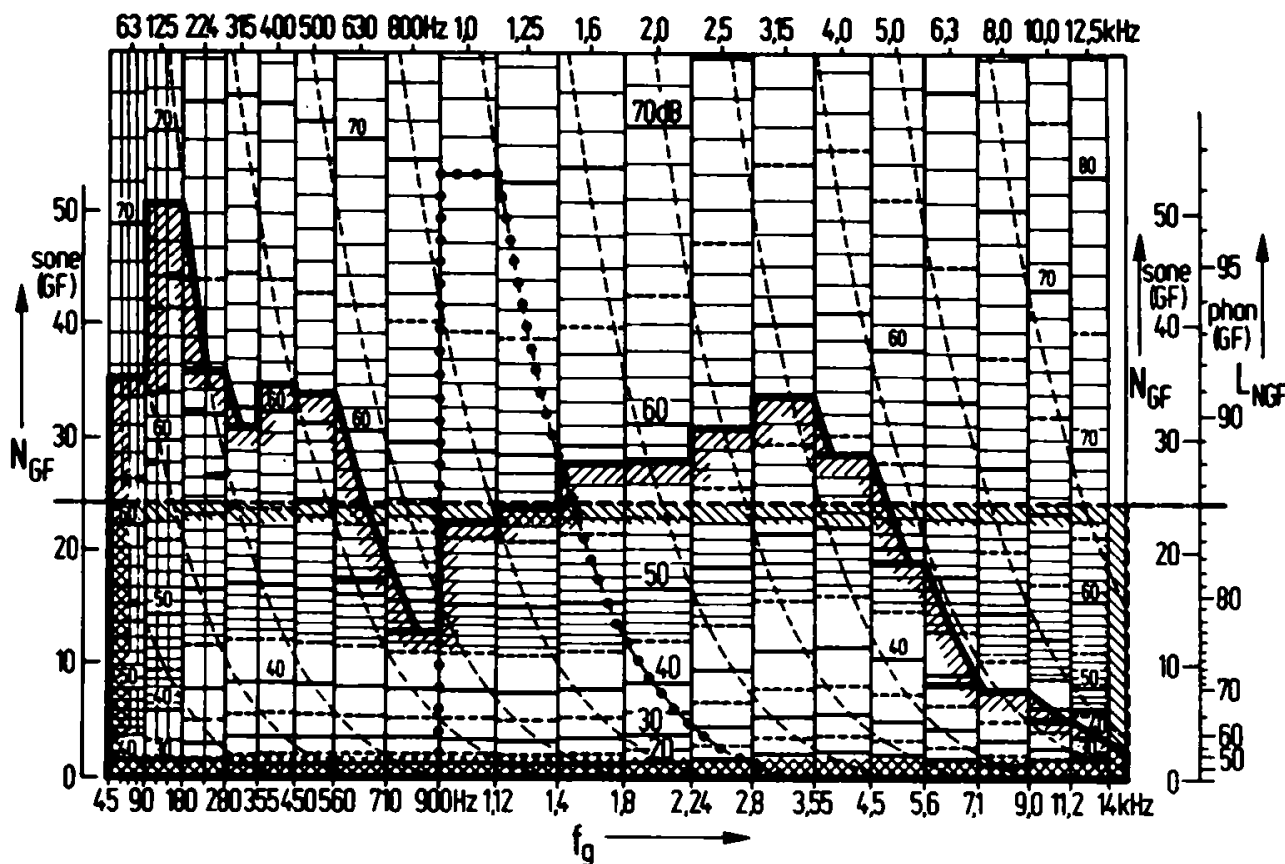


Figure 3 : Application de la procédure graphique pour le calcul de la sonie  $N_{GF} = 24$  sonie (GF) et du niveau d'intensité sonore  $L_{NGF} = 86$  phone (GF) d'un bruit ayant un niveau de bruit de 73 dB. Les sonies partielles correspondent aux surfaces partielles, la sonie totale à la surface totale ; pointillé : sonies partielles d'un son pur d'1 kHz et 70 dB ; selon [1]

### Calcul de la sonie d'après la norme ANSI S3.4-2007

Outre le calcul de la sonie d'après la norme ISO 532 B, il est également possible d'utiliser une méthode de calcul normalisée dans la norme américaine ANSI S3.4-2007. Cette méthode repose sur une publication de Glasberg et Moore [6] Contrairement à la méthode décrite ci-dessus qui se base sur une méthode graphique, la méthode « ANSI S3.4-2007 »-est un procédé assisté par ordinateur.

La méthode « FFT (tiers d'octave) / ANSI S3.4-2007 » correspond exactement à l'une des méthodes décrite dans la norme ANSI qui impose de prendre un spectre de tiers d'octave comme données d'entrée pour réaliser le calcul de la sonie. Ce spectre est déterminé dans ArtemiS à l'aide de l'analyse FFT.

La méthode « FFT / ANSI S3.4-2007 » calcule, elle aussi, un spectre de FFT. Elle ne la regroupe ensuite cependant pas d'abord dans un niveau de tiers d'octave, mais utilise les différents échantillons de l'analyse FFT pour le calcul de la sonie qui suit. Cette méthode utilise l'algorithme indiqué dans la norme ANSI pour calculer la sonie, mais elle traite beaucoup plus de données d'entrée car les échantillons FFT ne sont pas regroupés. Cette méthode permet d'obtenir des résultats plus précis en raison du plus grand nombre de données d'entrée.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> En utilisant la méthode « FFT / ANSI S3.4-2007 », le calcul de la sonie du son de référence de 1 kHz et 40 dB donne 1 sonie exactement. Avec la méthode « FFT (tiers d'octave) / ANSI S3.4-2007 », on obtient une valeur un peu plus élevée (1,17 sonie).

Pour déterminer la sonie, les deux méthodes « ANSI S3.4-2007 » déterminent les excitations des bandes critiques sur l'échelle ERB (Equivalent Rectangular Bandwidth)<sup>2</sup>. Les sonies spécifiques sont alors calculées à partir de ces modèles et ajoutées à la sonie totale.

Avec des signaux à bande large, la méthode de la norme « ANSI S3.4-2007 » donne des résultats en sonie plus élevés qu'avec la méthode de la norme ISO 532 B. Avec des signaux basse fréquence, le calcul de la méthode « ISO 532 B » donne par contre des résultats plus élevés.

### Calcul de la sonie selon DIN 45631

Cette méthode de calcul est celle décrite précédemment dans la partie « Filtres/ISO 532 B », avec en particulier pour cette méthode le choix de l'utilisation automatique de filtres d'ordre 6. La méthode de calcul « DIN 45631 / A1 » destinée aux analyses de la sonie par rapport au temps, correspond à la nouvelle norme DIN 45631/A1 (voir aussi la partie „Calcul de la sonie vs temps “ ci-après).

### Calcul de la sonie sur la base de l'algorithme HEAD

Cet algorithme s'oriente principalement sur une méthode de W. Aures [3]. Cette méthode de calcul de la sonie ne détermine pas en premier lieu le niveau de tiers d'octave, mais forme directement le niveau des bandes critiques. Les niveaux sont ensuite corrigés avec la caractéristique de transfert de l'oreille pour un champ libre ou un champ diffus. La sonie spécifique peut alors être calculée à partir de ces niveaux. Les règles de calcul utilisées dans ce cas ne se distinguent que très légèrement de celles utilisées pour le calcul réalisé d'après la norme ISO 532. Cet algorithme permet lui aussi de calculer la sonie totale par intégration des sonies spécifiques. L'algorithme HEAD permet d'augmenter la résolution fréquentielle. Dans la rubrique *Resolution de la page de propriétés*, il est possible de l'améliorer d'1 Bark à 1/5<sup>ème</sup> de Bark maximum.

### Principales différences existant entre les algorithmes de sonie „ISO 532 B“ und „HEAD“

- L'algorithme HEAD forme des niveaux d'excitation de la largeur de la bande de fréquence critique alors que la méthode ISO 532 B utilise des niveaux de tiers d'octave, plusieurs niveaux de tiers d'octave étant cependant regroupés en présence de basses fréquences car les tiers d'octave y sont beaucoup moins larges que les bandes critiques.
- Pour former les niveaux d'excitation, l'algorithme HEAD additionne l'excitation centrale correspondante à toutes les excitations latérales, la méthode ISO 532 B ne prend en compte que la valeur maximale de l'excitation centrale et des excitations latérales. Des analyses relatives à l'addition des pentes de masque (par ex. [9]) ont montré que, selon différents paramètres, une addition des excitations latérales est réalisée et qu'elle va au-delà d'une addition de l'intensité, et même d'une addition de l'amplitude.
- Les fréquences basses sont atténuées de manière plus intense par l'algorithme de la norme ISO 532 B que par l'algorithme HEAD.
- Contrairement à l'algorithme HEAD, la méthode ISO 532 B ne prend pas les pentes inférieures de masque en compte.
- Avec la méthode ISO 532 B, le modèle de sonie spécifique est déterminé comme fonction quasi-continue en fonction de la tonie, avec la méthode HEAD, par contre, il est déterminé grâce à des échantillons discrets dont l'écart peut être paramétré de 1 à 1/5<sup>ème</sup>.

---

<sup>2</sup> La largeur des groupes de fréquences sur l'échelle des ERB n'est pas la même que celle des groupes de fréquences sur l'échelle de Bark.

- Le calcul des sonies spécifiques à partir des niveaux d'excitation est réalisé avec des formules légèrement différentes.

### Calcul de la sonie vs. temps

Les effets temporels de la sonie sont reproduits par l'intermédiaire de filtres dans la méthode de la norme « DIN 45631 / A1 » ou « Filtre / ISO 532 ». Mais, les méthodes utilisées lors du paramétrage du filtre de 4<sup>ème</sup> et de 6<sup>ème</sup> ordre<sup>3</sup> sont différentes. Vous trouverez une description des différentes règles de calcul dans l'annexe de cette *Application Note*. En comparaison, le calcul réalisé avec un filtre de 6<sup>ème</sup> ordre entraîne en général des valeurs de sonie moins élevées que le calcul réalisé avec des filtres de 4<sup>ème</sup> ordre.

Avec les méthodes « FFT / ISO 532 » et « FFT / HEAD », les niveaux à partir desquels la sonie est calculée, sont moyennés chacun en fonction d'une longueur de FFT et les résultats reportés un à un dans un diagramme. La taille de la FFT, c.-à-d. le nombre des échantillons à partir desquels la moyenne est calculée, peut être déterminée sur la page de propriétés dans Taille de la fenêtre d'analyse (angl. « Window Size »).

Le calcul de la sonie par rapport au temps est uniquement normalisé dans la norme DIN 45631/A1. Lorsque la méthode de calcul « DIN 45631 / A1 » est sélectionnée dans ArtemiS, la sonie vs. temps est calculée comme il est décrit dans cette norme. La méthode de calcul « Filtre / ISO 532 B » correspond, elle aussi, à cette norme à condition que l'option « filtre 6<sup>ème</sup> ordre » soit utilisée.<sup>4</sup>

Outre les règles de calcul contenues dans cette norme, d'autres recommandations ont également été publiées [4]. Elles ne contiennent aucune règle de calcul mais la valeur théorique et la marge de tolérance de la sonie stationnaire et dépendant du temps de signaux testés spéciaux. Le calcul de la sonie avec les options « DIN 45631 / A1 » et « Filtre / ISO 532 » en utilisant les filtres de 6<sup>ème</sup> ordre correspond le mieux à ces recommandations.

Contrairement à la norme DIN 45631/A1 qui décrit, elle aussi, le calcul de la sonie par rapport au temps, la norme ISO 532 A/B ne normalise que le calcul de la sonie de signaux temporels constants.

Une particularité de l'analyse „Sonie vs temps“ effectuée avec le paramétrage „DIN 45631 / A1“ est, que, en accord avec la norme, la valeur globale indiquée dans le diagramme correspond à la valeur N5 (c'est à dire à la valeur percentile 5%-de l'évolution de la sonie en fonction du temps). Ceci différencie cette analyse des autres analyses ArtemiS, pour lesquelles la valeur globale indiquée dans le diagramme correspond toujours à la moyenne arithmétique de l'évolution en fonction du temps).

### Exemples

La figure 4 représente les résultats de l'analyse de la sonie de deux signaux temporels différents calculée avec les méthodes de calcul décrites (courbe verte : « FFT / ISO 532 B », courbe rouge : « Filter (6. Order) / ISO 532 B » correspond à « DIN 45631 / A1 », courbe turquoise : « FFT / HEAD Algorithmus »). Les diagrammes montrent que les résultats varient de manière évidente selon la méthode choisie. Du fait de la répartition fréquentielle différente des deux si-

<sup>3</sup> Cette sélection n'est disponible qu'avec « Filter / ISO 532 B ». Avec « DIN 45631 / A1 », le calcul est toujours réalisé avec des filtres de 6<sup>ème</sup> ordre.

<sup>4</sup> Comme il a déjà été décrit, la méthode « DIN 45631 / A1 » utilise le même algorithme que la méthode « Filtre / ISO 532 » si l'on utilise le filtre de 6<sup>ème</sup> ordre.

gnaux temporels, les résultats des différentes méthodes de calcul diffèrent les uns des autres. Sound 1 est un son pur. Dans Sound 2, il s'agit d'un bruit de bande large. Les différentes méthodes de calcul évaluant les domaines fréquentiels de manières différentes, on obtient des courbes de sonie différentes.

On constate d'autre part que la méthode de calcul « Filter / ISO 532 B » nécessite un certain temps de réponse que les autres méthodes de calcul ne nécessitent pas. Sur la page de propriétés, il est possible de dissimuler cette transitoire en saisissant une donnée temporelle  $\geq 0$  s dans le champ « Skip analysis start » (passer le début de l'analyse).

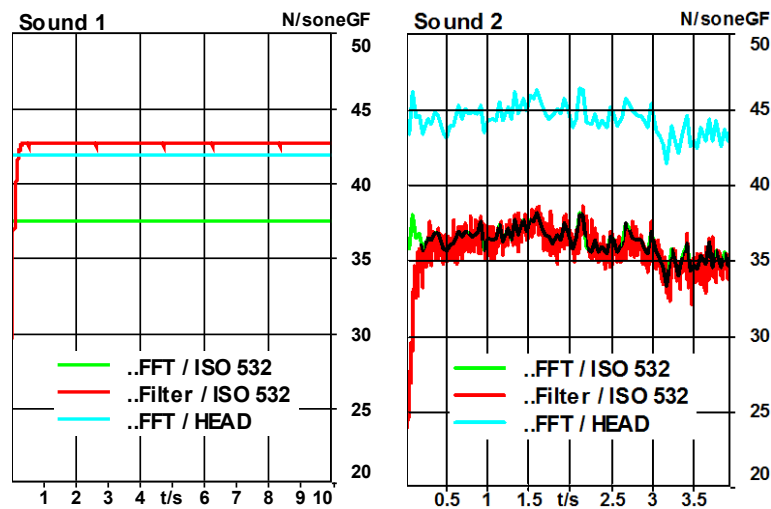


Figure 4 : Comparaison des différentes méthodes de calcul de la sonie à l'aide de deux exemples, courbe verte : « FFT / ISO 532 B », courbe rouge : « Filter / ISO 532 B », courbe turquoise : « FFT / HEAD Algorithmus »

Le choix du bon algorithme de calcul dépend des signaux à analyser et du but à atteindre. Il conviendra par exemple de choisir une méthode de calcul ISO si la sonie doit être calculée d'après cette norme. Mais si les résultats d'un essai acoustique doivent être représentés à l'aide de paramètres psychoacoustiques, l'utilisation de l'algorithme HEAD peut, dans certains cas, être une très bonne solution.

### Calcul de l'acuité

Le calcul de l'acuité repose sur la répartition spécifique de la sonie du son. Le calcul de la sonie influence donc le résultat de l'analyse de l'acuité. Sur la page de propriétés de l'analyse de l'acuité (voir figure 5), il est possible de sélectionner l'algorithme de sonie désiré (en anglais, « Loudness method »). Les algorithmes disponibles correspondent à ceux déjà décrits ci-dessus. Outre les différents algorithmes de sonie, ArtemiS fournit également trois algorithmes à l'utilisateur qui lui permettent de calculer l'acuité : a) le calcul d'après DIN 45692, b) le calcul d'après Aures et c) le calcul d'après von Bismarck.

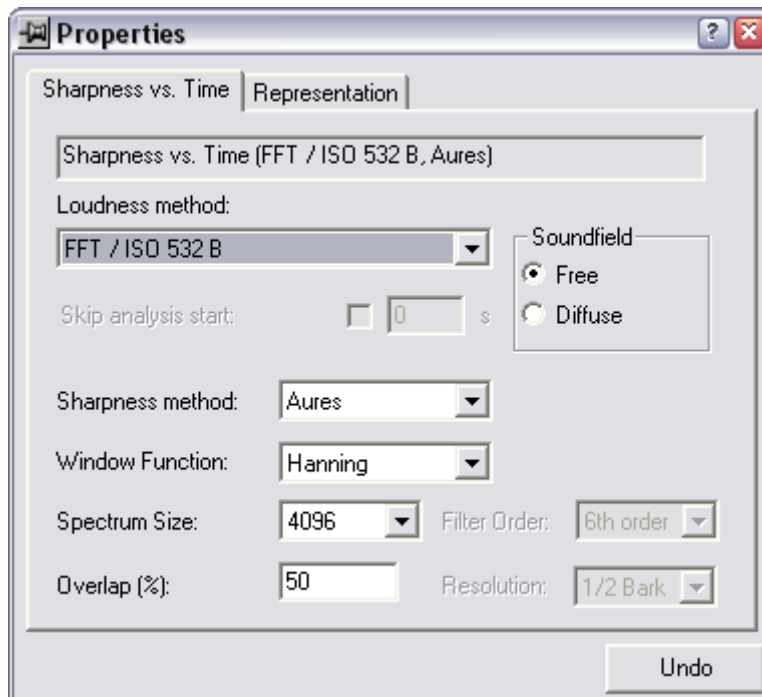


Figure 5 : Page de propriétés de l'analyse de l'acuité dans ArtemiS

Les résultats de ces trois méthodes se distinguent de la manière suivante : von Bismarck a mis une méthode de calcul au point qui repose sur la répartition de la sonie spécifique sur la tonie. La méthode concerne des bruits ayant la même sonie, c.-à-d. que l'influence exercée par la sonie absolue sur l'acuité n'est pas prise en compte. Aures a, suite à d'autres résultats, corrigé la formule indiquée par von Bismarck et a modifié la règle de calcul de manière à ce que l'influence de la sonie soit prise en compte. La méthode de calcul „DIN 45692“ a des similarités avec celle développée par von Bismarck. La méthode « DIN 45692 » correspond à la norme DIN 45692, qui standardise le calcul de l'acuité. Le choix de la méthode de calcul « DIN 45692 » pour l'acuité implique automatiquement que le système calcule la sonie (angl. "Loudness Method") selon la méthode « DIN 45631 / A1”.

La différence citée existant entre les méthodes de calcul fait fortement varier les résultats de l'analyse de l'acuité. Il est donc recommandé de toujours indiquer la méthode de calcul lorsque vous entrez la valeur d'acuité afin d'éviter tout malentendu.

La différence existant entre les deux méthodes de calcul est expliquée sur la figure 6 à l'aide de deux exemples de bruit (courbe verte : calcul d'après Aures, courbe rouge : calcul d'après von Bismarck, courbe turquoise : DIN 45692). L'importante différence entre ces deux méthodes est clairement reconnaissable. De plus, la figure montre que cette différence dépend du type de bruit concerné. Sound 1 contient un bruit blanc et Sound 2 le bruit d'un moteur électrique.

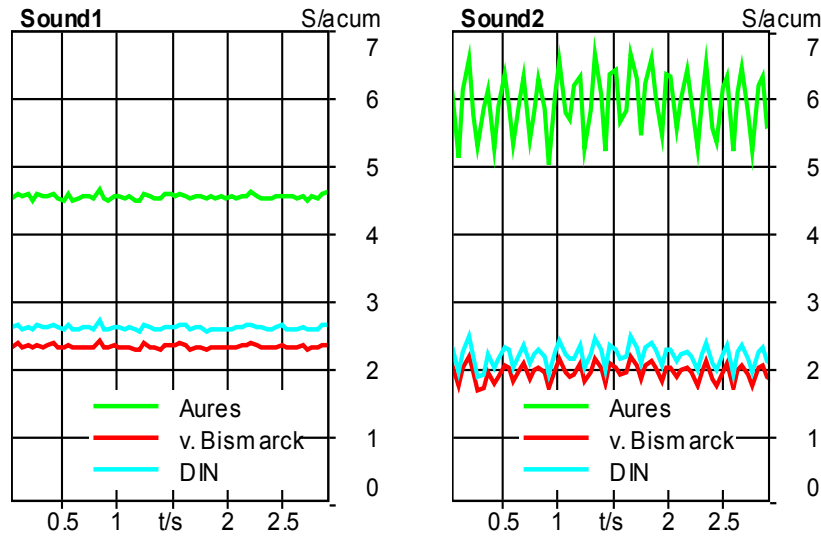


Figure 6 : Comparaison des méthodes de calcul pour l'acuité, courbe verte : « Aures », courbe rouge : « von Bismarck », courbe turquoise : « DIN 45692 »

Il est impossible de dire quelle méthode de calcul est la plus adaptée. Son choix doit être fait en fonction du choix du bruit analysé et du problème posé. Comparée aux valeurs d'acuité d'après « von Bismarck », l'échelle de valeurs d'acuité d'après « Aures » est plus grande, c.-à-d. que les différences existant entre les différents bruits apparaissent de manière plus accentuée. Les bruits pouvant être mieux séparés du fait que la différence entre les valeurs d'acuité soit plus grande, cette méthode de calcul peut par exemple être utilisée pour une application où les bruits sont sensés être répartis sur la base des résultats d'acuité dans les deux catégories « correctes » ou « incorrectes ». Il peut cependant également arriver que la prise en compte de la sonie dans la méthode d'après « Aures » ne corresponde pas à la perception subjective de la personne testée pour certains exemples de bruit. Avec la méthode de « von Bismarck » ou de « DIN 45692 », le calcul de l'acuité pourrait alors entraîner une corrélation plus élevée entre les jugements des personnes testées et les résultats du calcul de l'acuité.

### Remarque

Pour la mise en oeuvre de ce qui est présenté dans cette note applicative, vous devez disposer de la version de base d'ArtemiS (code 4600) et du module ArtemiS de psychoacoustique de base « ATP02 » (code4602).

Des questions ou commentaires à l'auteur? Ecrivez nous un courriel (si possible en Anglais) à l'adresse suivante : [imke.hauswirth@head-acoustics.de](mailto:imke.hauswirth@head-acoustics.de).

## Renvois bibliographiques

- [1] Zwicker, E., « Psychoakustik », Springer-Verlag 1982
- [2] Zwicker, E., « Unterteilung des hörbaren Frequenzbereichs in Frequenzgruppen », *Acustica* **10**, 185 (1960)
- [3] Aures, W., « Berechnungsverfahren für den Wohlklang beliebiger Schallsignale, ein Beitrag zur gehörbezogenen Schallanalyse », thèse de doctorat, TU München, 1984
- [4] Fastl, H. and Schmid, W., « Comparison of Loudness Analysis Systems », *Proceedings INTERNOISE 97 (Budapest, Hongrie)*, 25-27 août, pages 981-986
- [5] Zwicker, E., « Dependence of post-masking on duration », *J. Acoust. Soc. Am.*, Vol 75, No. 1, janvier 1984
- [6] Glasberg, B.R. und Moore, B.C., « Computation of Loudness of Steady Sounds », *J. Acoust. Soc. Am.*, Vol 120, 585-588, 2006

## Annexe

Lors du calcul de la sonie en fonction du temps avec des filtres de 4<sup>ème</sup> ordre, les signaux de sortie de la série de filtres de tiers d'octave passent d'abord par un filtre passe-bas. Le modèle de sonie spécifique est ensuite calculé d'après la norme ISO 532 B. Pour cela, les sonies centrales sont pondérées avec un filtre spécial ayant pour effet qu'elles croissent rapidement avec une impulsion et qu'elles décroissent à des vitesses différentes indépendamment de la durée de l'impulsion.

À l'issue de ce filtrage, la sonie totale est déterminée par intégration des sonies spécifiques. Elle est alors également passée par un filtre passe-bas pour simuler la dépendance de la sonie de la durée de l'impulsion. La sensation de sonie maximale est atteinte avec des durées d'impulsion supérieures à environ 100 – 200 ms. Avec des impulsions plus courtes, la sensation diminue de telle manière qu'une réduction de la durée d'impulsion d'un facteur égal à 10 entraîne environ une sonie divisée par deux. La procédure est représentée de manière schématique sur la figure A.1.

La figure A.2 représente la règle de calcul utilisant des filtres de 6<sup>ème</sup> ordre. Les différentes composantes représentées sont expliquées plus en détail ci-dessous :

- a) Calcul des niveaux de tiers d'octave en fonction du temps  
Pour le calcul, on utilise une série de filtres comportant 28 filtres Tschebycheff (ondulation peu importante) de 6<sup>ème</sup> ordre.
- b) Calcul de l'intensité (élévation au carré)  
Lors de cette étape du traitement, une élévation au carré permet de déterminer des valeurs d'intensité dépendant du temps à partir des signaux de bande de tiers d'octave.
- c) Calcul de la moyenne temporelle  
La pente temporelle des intensités est lissée par des filtres passe-bas.
- d) Calcul des sonies centrales  
Le calcul des sonies centrales est effectué ici d'après la norme ISO. Les signaux des filtres passe-bas 1 à 6, 7 à 9 et 10 et 11 sont regroupés pour ce calcul. Ceux des filtres passe-bas 12 à 28 sont traités séparément.

- e) Génération d'un temps de décroissance dépendant de la durée à l'aide d'un réseau de diodes  
On obtient cet effet avec la méthode utilisant les filtres de 4<sup>ème</sup> ordre en réalisant plusieurs filtrages à travers des passe-bas ayant des constantes temporelles différentes et en détectant ensuite les valeurs maximales. La méthode impliquant les filtres de 6<sup>ème</sup> ordre utilise un réseau de diodes décrit par Zwicker [5].
- f) Calcul de la sonie globale  
La répartition de la sonie spécifique est d'abord calculée à partir des 20 sonies centrales. Les sonies partielles spécifiques sont ensuite additionnées.
- g) Calcul de la moyenne temporelle de la sonie globale  
La sonie globale est filtrée à l'aide de deux filtres passe-bas de premier ordre (constante temporelle de 3,5 et 70 ms). L'addition pondérée de ces signaux donne ensuite la sonie totale.

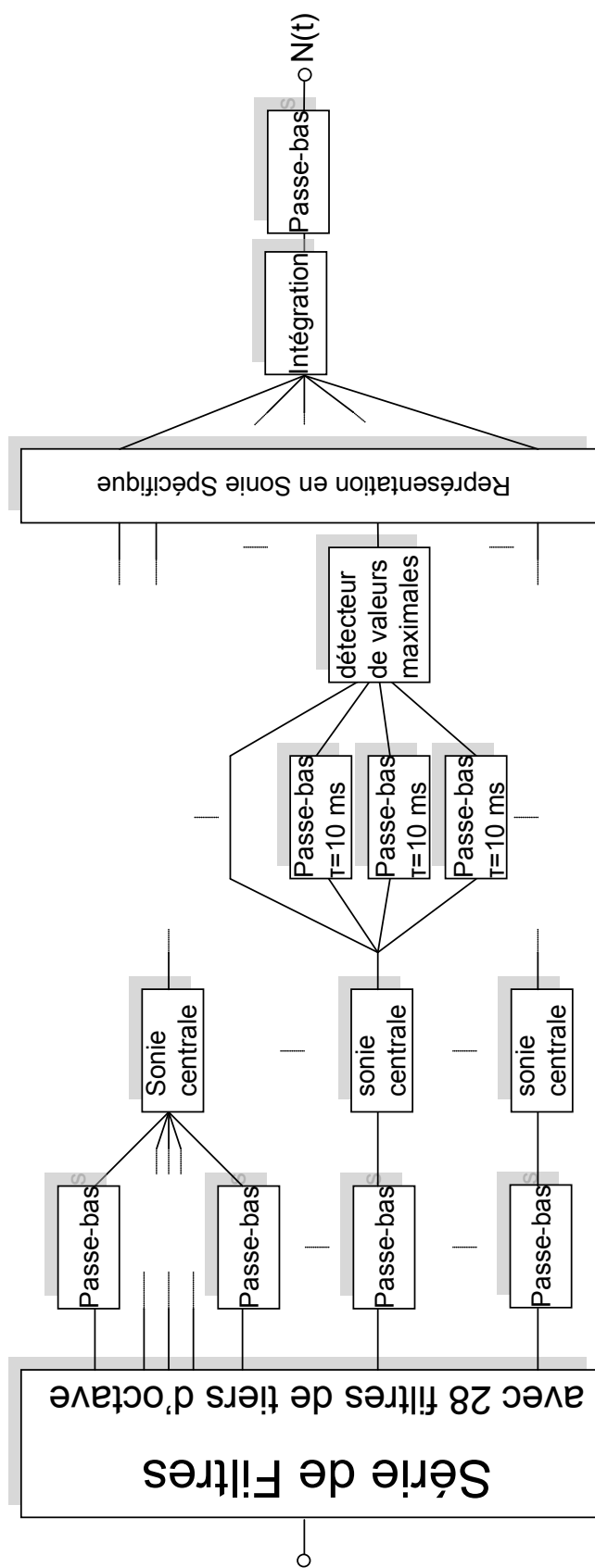


Figure A.1 : Calcul de la sonie avec des filtres de 4<sup>ème</sup> ordre

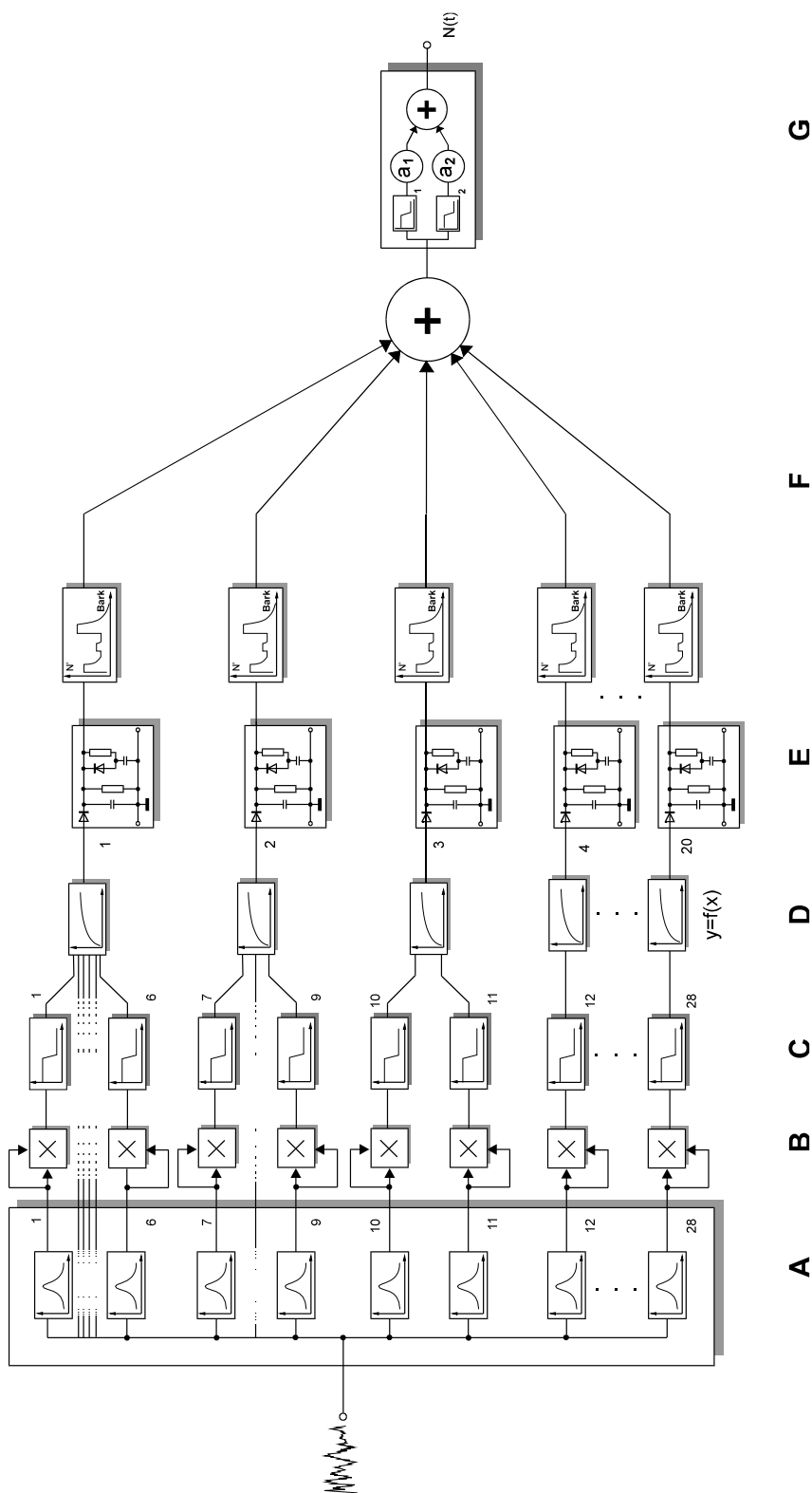


Figure A.2 : Calcul de la sonie avec des filtres de 6<sup>ème</sup> ordre