

## Analyse d' $1/n$ -ième d'octave – par FFT – Ondelettes

Une simple analyse de niveau ne suffit pas à la plupart des analyses acoustiques car le niveau n'est pas le seul facteur déterminant dans la perception d'un évènement sonore : la répartition du niveau par rapport à la fréquence joue également un rôle important. Différentes analyses permettant de déterminer le niveau sonore par rapport à la fréquence seront présentées dans cette *Application Note* : l'analyse utilisant une série de filtres avec des filtres d' $1/n$ -ième d'octave, l'analyse de Fourier (FFT) et l'analyse en ondelettes. Le fonctionnement de ces analyses et leurs avantages et inconvénients y seront expliqués. La résolution fréquentielle joue dans ce cas un rôle important, mais aussi la résolution temporelle de chaque analyse. C'est la raison pour laquelle les analyses représentées en fonction du temps y seront plus particulièrement décrites.

### Analyse d' $1/n$ -ième d'octave

Dans l'analyse d' $1/n$ -ième d'octave, le signal à analyser est divisé en fractions de signal par une série de filtres numériques avant de déterminer le niveau. La série de filtres est composée de plusieurs filtres d'une largeur d' $1/n$ -ième d'octave combinés en parallèle. Un filtre d'octave est un filtre dont la fréquence limite supérieure est respectivement égale au double de la fréquence limite inférieure et les filtres d' $1/3$  d'octave (« tiers d'octave ») divisent les bandes d'octave en trois autres parties. Les filtres d'octave, ou filtres d' $1/n$ -ième d'octave, n'ont donc pas de largeur de bande constante absolue, mais une largeur de bande constante relative, c.-à-d. que les bandes de fréquence sont équidistantes sur une échelle fréquentielle logarithmique. Reportée sur une échelle fréquentielle linéaire, la largeur du filtre augmente de manière logarithmique (voir figure 1).

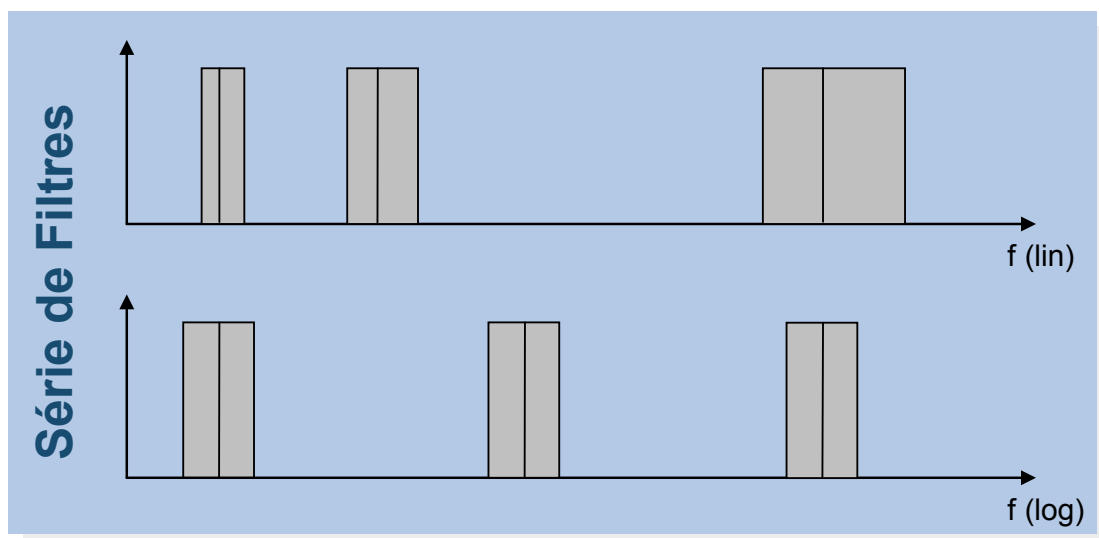


Figure 1 : Représentation schématique de la largeur de filtre sur une échelle fréquentielle linéaire et une logarithmique

Un filtre d'octave ayant une fréquence centrale de 63 Hz a une largeur de 44 Hz, alors qu'un filtre 1/3 d'octave ayant la même fréquence centrale n'a qu'une largeur de 14,5 Hz. La largeur des filtres augmente avec la fréquence. Un filtre d'octave ayant une fréquence centrale de 16 000 Hz a une largeur de 11 360 Hz. Le filtre 1/3 d'octave ayant cette fréquence centrale a une largeur de 3 650 Hz.

Les effets sur les résultats d'analyse de l'utilisation de filtres larges en haute fréquence sont expliqués dans la suite à partir de bruits blanc et rose. Le bruit blanc a une densité d'énergie spectrale qui ne dépend pas de la fréquence, c.-à-d. que son niveau reste constant sur l'ensemble du domaine fréquentiel. Si un bruit blanc est analysé avec une série de filtres composée de filtres d'1/3 d'octave, le diagramme indique une courbe croissante car des fréquences trop élevées font augmenter la largeur du filtre et que plus d'énergie revient donc à une bande de filtre (voir figure 2, à gauche). Si un bruit rose est analysé avec la même série de filtres, et que son amplitude est de 3 dB de moins par octave à des fréquences élevées, on obtient alors approximativement la même puissance dans chaque bande de filtre. La chute de la puissance du bruit rose à des fréquences élevées est compensée par le filtre plus large utilisé. L'analyse d'1/n-ième d'octave de bruits roses donne donc une courbe qui ne dépend pas de la fréquence (voir figure 2, à droite).

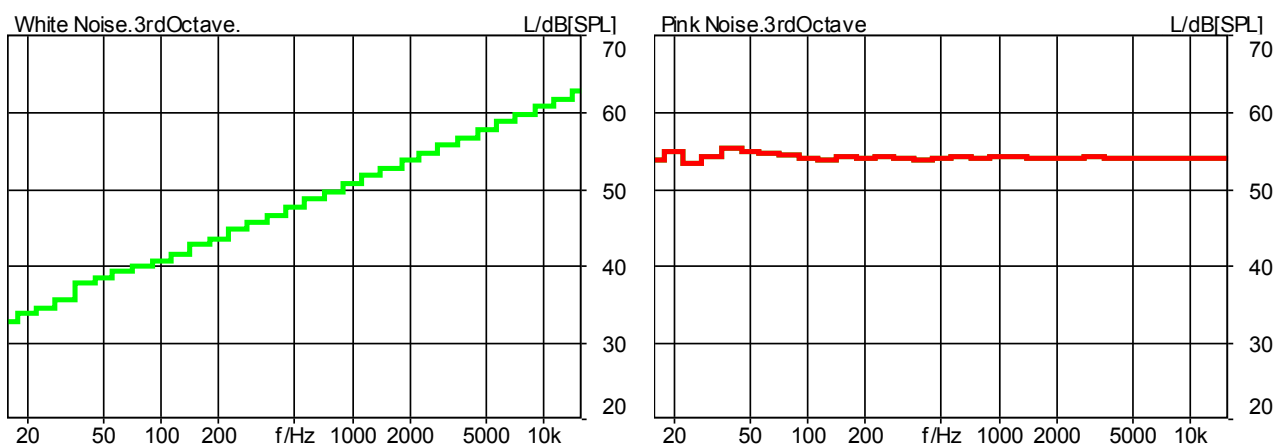


Figure 2: Analyse du niveau de tiers d'octave d'un bruit blanc (à gauche) et d'un bruit rose (à droite)

Le résultat d'une analyse de 1/n-ième d'octave peut être obtenu soit en calculant un spectre moyen soit un spectrogramme par rapport au temps ou à la vitesse de rotation. ArtemiS dispose pour cela des analyses « 1/nth Octave » (1/n-ième d'octave), « 1/nth Octave (Peak Hold) » (1/n-ième d'octave (valeur de crête)), « 1/nth Octave vs. RPM » (1/n-ième d'octave vs. réf.) et « 1/nth Octave vs. Time » (1/n-ième d'octave vs. temps).

La figure 3 représente la page de propriétés de l'analyse « 1/nth Octave vs. Time » (1/n-ième d'octave vs. temps). Vous pouvez y entrer les différents paramètres pour l'analyse. Sur la figure, la méthode « Filter »<sup>1</sup> (Filtre) a été sélectionnée pour le calcul de l'analyse. Avec cette méthode, on obtient les sous-bandes à l'aide d'une série de filtres numériques. Le champ « Filter Order » (Ordre du filtre) est activé lorsque la méthode « Filter » (Filtre) est sélectionnée. Vous disposez aussi de filtres de quatrième et sixième ordre.

<sup>1</sup> Cette méthode nécessite l'option ArtemiS ATP 04. Par défaut, seule la méthode „DFT“ est sélectionnable.

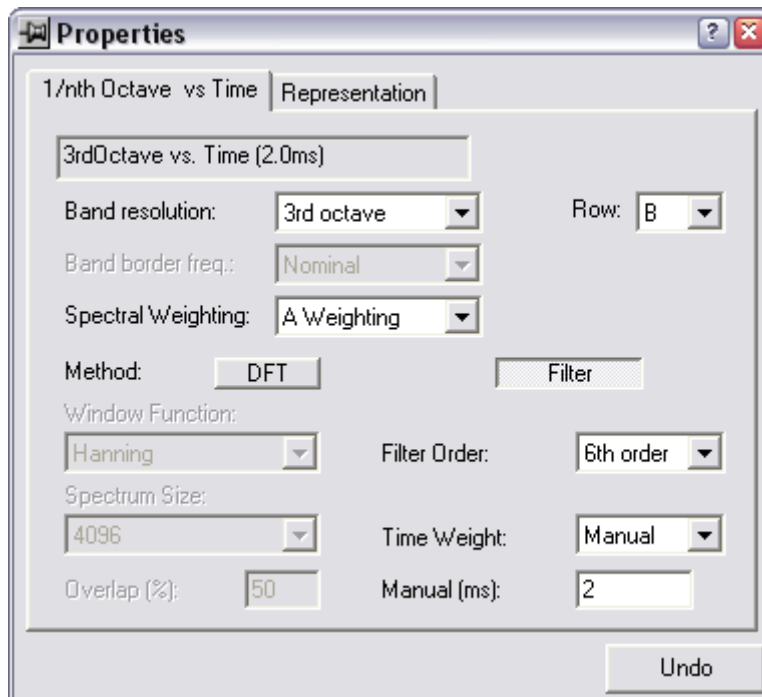


Figure 3: Page de propriétés de l'analyse « 1/nth Octave vs. Time » (1/n-ième d'octave vs. temps)

Les filtres de sixième ordre sont conformes à la norme ANSI S 1.11 et IEC 1260. Les filtres d' $1/3$  d'octave de quatrième ordre sont conformes à (l'ancienne) norme DIN 45652. Avec la méthode « DFT », les sous-bandes sont calculées en additionnant les lignes spectrales concernées du spectre DFT. Contrairement au traitement continu du signal de la méthode « Filter » (Filtre), celui de la méthode « FFT » se fait bloc par bloc, c'est-à-dire que le signal est partagé en blocs de grosseur égale à la valeur indiquée sous la variable grandeur de DFT (engl « Spectrum Size ») (« Fenêtrage »). Aucun fenêtrage du signal ne devant être fait avec la méthode « Filter » (Filtre), nous vous recommandons de la préférer à la méthode « DFT ». Elle est décrite ci-dessous.

La largeur de bande du filtre est déterminée dans la première boîte de sélection de la page de propriétés (« *Band resolution* » - Résolution de bande). Vous pouvez sélectionner des filtres pour des octaves ou des fractions d'octaves. Les filtres de largeur de tiers d'octave sont particulièrement adaptés pour reproduire la perception humaine car la largeur du filtre de tiers d'octave supérieure à 500 Hz correspond approximativement aux groupes de fréquence de la psychoacoustique.

Outre la largeur de bande du filtre, la position du filtre peut également être déterminée. Vous pouvez sélectionner dans la boîte de sélection « Row » (Ligne) une des deux lignes de filtres qui peuvent être déplacées l'une vers l'autre de la moitié d'une largeur de bande. La ligne « B » est définie de manière à ce que 1 kHz corresponde à la fréquence centrale d'un filtre. Pour le paramètre « A » 1 kHz est la fréquence limite d'un filtre. On utilise en général la ligne « B ».

Dans la boîte de sélection « *Spectral Weighting* » (Pondération spectrale), vous pouvez activer une pondération de l'analyse avec un filtre A, B, C ou D. Ces filtres permettent de pondérer différents domaines fréquentiels avec différentes intensités. La pondération A est souvent utilisée pour analyser des signaux aériens. Cette pondération permet de prendre en compte la sensibilité de l'ouïe humaine dépendant de la fréquence car le filtre A correspond approximativement au seuil d'audition inversé d'une personne entendant normalement.

De plus, vous avez également la possibilité de déterminer une pondération temporelle (« *Time Weighting* ») sur la page de propriétés. Elle permet de lisser les courbes de niveau grâce à une intégration exponentielle. Elle a pour option « *Slow* » (Lent), « *Fast* » (Rapide), « *Impulse* » (Impulsif) et « *Manual* » (Manuel). Le temps d'intégration de « *Lent* » est d'1 s et de 125 ms avec « *Rapide* ». Avec « *Impulsif* », vous activez un détecteur crête disposant d'un temps d'intégration de 35 ms et d'un temps de décroissance de 1 500 ms. En sélectionnant « *Manuel* », vous pouvez déterminer le temps d'intégration que vous souhaitez dans le champ « *Manuel (ms)* ». Plus le temps d'intégration sélectionné est long, plus le résultat sera lissé. Utilisez un temps d'intégration de 2 ms pour prendre en compte le traitement de signal humain.

### Transformée de Fourier rapide

Cette analyse de Fourier repose sur un théorème mathématique formulé par J. B. Fourier. Il dit que : Tout signal périodique peut être représenté par une combinaison de signaux discrets de type sinus et cosinus, de différentes fréquences et amplitudes. La transformation discrète de Fourier (DFT) est la traduction pratique de ce théorème. Les résultats des DFT et FFT sont les spectres fréquentiels discrets d'un signal temporel échantillonné. La FFT est une forme simplifiée du calcul de la DFT. Avant d'appliquer la transformation il est nécessaire de partager le signal en blocs temporels contenant N valeurs. C'est ce qu'on appelle un fenêtrage. Les résultats des différents blocs sont moyennés dans une analyse moyenne (« *FFT(Average)* » - FFT (moyenne)). Les analyses par rapport au temps (« *FFT vs. Time* » - FFT vs. temps - et « *FFT vs. RPM* » - FFT vs. réf.) permettent de représenter les résultats des différents blocs l'un derrière l'autre dans un spectrogramme. Une analyse moyenne est adaptée pour des signaux stationnaires, alors qu'une analyse par rapport au temps l'est pour des signaux non stationnaires. Contrairement à l'analyse du niveau de tiers d'octave, l'analyse par FFT a une largeur de bande constante. Dans la figure 4 on montre la distribution des points de calcul d'une analyse FFT sur des échelles fréquentielles logarithmique et linéaire. Sur l'échelle linéaire, les points de calcul sont distribués de manière équidistante ; sur l'échelle logarithmique, ils sont plus rapprochés pour les hautes fréquences.

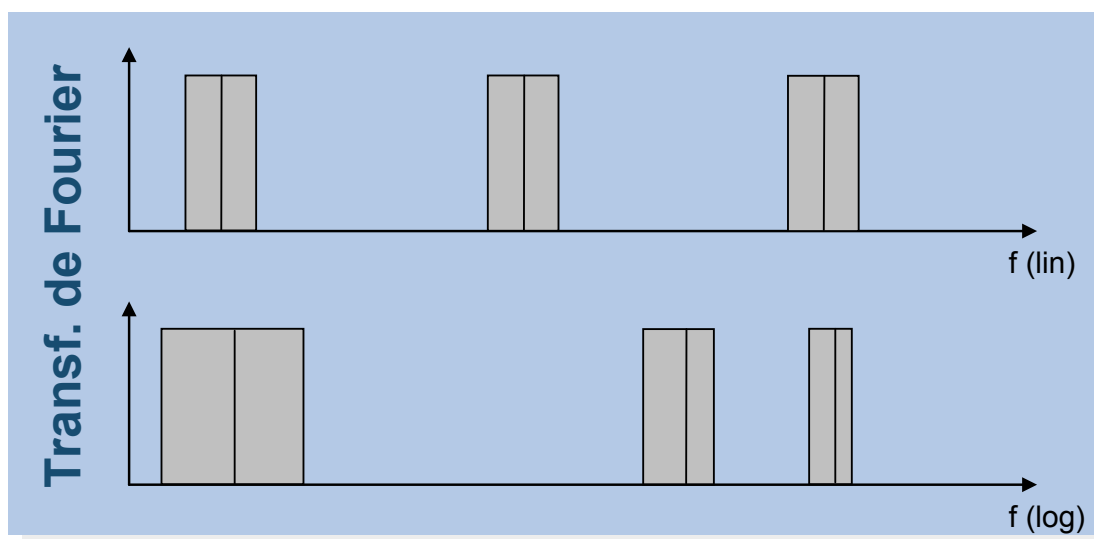


Figure 4: Représentation schématique des points de calcul d'une analyse FFT sur des échelles fréquentielles linéaire et logarithmique

Du fait de sa distribution constante des points de calcul, l'analyse par FFT produit une courbe indépendante de la fréquence pour les bruits blancs et l'analyse de bruits roses une courbe décroissante (voir figure 5).

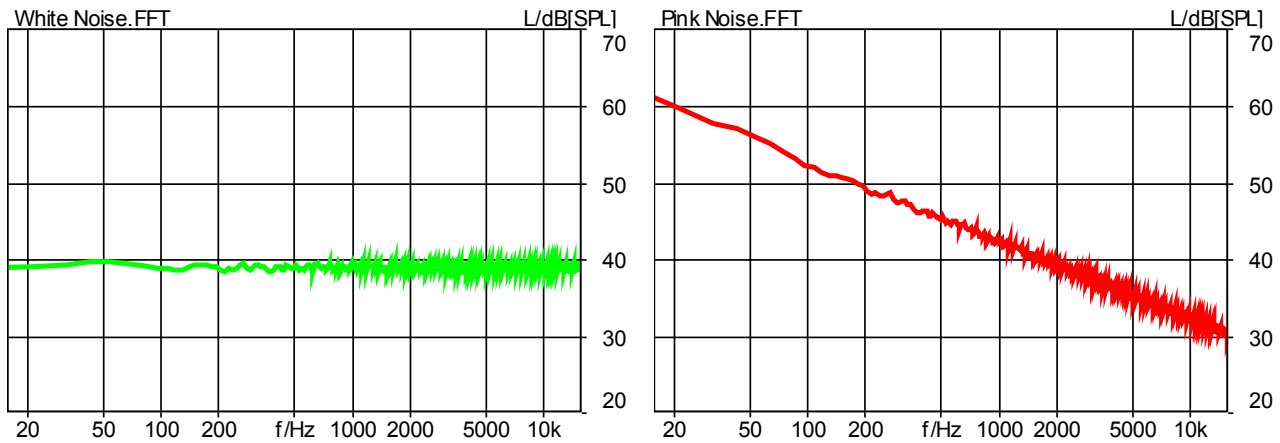


Figure 5: Analyse par FFT d'un bruit blanc (à gauche) et d'un bruit rose (à droite)

La figure 6 montre la page de propriétés de l'analyse « FFT vs. time » (FFT vs. temps), qui sera détaillée par la suite. Vous pouvez sélectionner la longueur des blocs de l'analyse dans la boîte de sélection « Spectrum size » (taille du spectre). Un bloc long donne une bonne résolution fréquentielle, alors qu'un bloc court permet une bonne résolution temporelle. En raison du fenêtrage temporel, l'analyse par FFT est soumise à un compromis temporel et fréquentiel : A une résolution fréquentielle élevée correspond toujours une faible résolution temporelle et inversement. Mais vous pouvez, grâce au paramétrage de la taille de la fenêtre d'analyse, déterminer individuellement l'aspect important pour votre application. Une longueur de bloc de 4 096 échantillons correspond à une résolution temporelle de 0,093 secondes avec une fréquence d'échantillonnage de 44 100 Hz. La résolution fréquentielle est alors de 10,77 Hz. Vous pouvez améliorer la résolution fréquentielle (resp. temporelle) en prenant une longueur de bloc supérieure (resp. inférieure).

Vous pouvez déterminer le fenêtrage souhaité dans la boîte de sélection suivante (« Window Function » - Fenêtrage). Il vous permet de réaliser une pondération temporelle des sections de blocs afin de réduire l'effet de « leakage ». Comme nous l'avons déjà décrit, le signal temporel doit être divisé en blocs pour réaliser l'analyse par FFT. Une suite périodique du signal temporel est implicite lors de l'analyse de ces blocs, ce qui peut entraîner des zones de discontinuité sur les bords de la section du signal lorsqu'un tel bloc ne contient pas de multiple entier d'une période. Les zones de discontinuité entraînent des fréquences dans le spectre qui n'existent pas dans le signal original. Cette perte de l'énergie du signal vers les fréquences voisines de la fréquence originale est appelée l'effet « leakage ». Il peut être réduit en sélectionnant le fenêtrage adapté avec des fenêtrages approchant zéro en direction des bords. Le choix du fenêtrage ayant un effet sur le résultat de l'analyse, celui-ci doit également être sélectionné en fonction de l'application. La fenêtre de Hanning est adaptée pour de nombreuses applications car elle réduit l'effet « leakage » de manière très satisfaisante. Les autres fenêtrages sont optimisés pour des applications particulières. La fenêtre de Kaiser-Bessel dispose par exemple d'une très bonne résolution fréquentielle et devra être utilisée pour séparer les composantes tonales ayant des niveaux très différents.

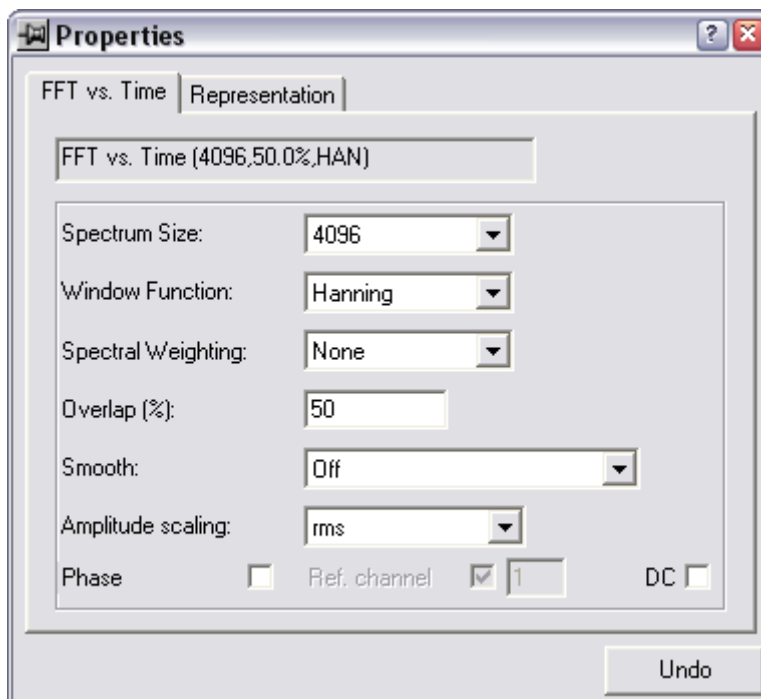


Figure 6: Page de propriétés de l'analyse « FFT vs. Time » (FFT vs. temps)

Il est possible de définir un recouvrement des fenêtres pour compenser la pondération temporelle du fenêtrage. Vous pouvez entrer le recouvrement souhaité en pourcent dans la fenêtre « Overlap[%] » (Recouvrement [%]). On utilise souvent un recouvrement de 50 % ou 66,67 % avec la fenêtre de Hanning. Un recouvrement de 50 % rectifie l'amplitude du fenêtrage, alors qu'un recouvrement de 66,67 % permet de maintenir la puissance constante.

Vous pouvez activer ou désactiver une pondération fréquentielle dans la boîte de sélection « Spectral Weighting » (Pondération spectrale). Comme pour l'analyse d'1/n-ième d'octave, vous disposez alors d'une pondération A, B, C ou D.

La fonction « Smooth » (Lissage) permet de lisser le spectre FFT calculé. Il est possible d'appliquer un lissage, par exemple si l'évolution spectrale est calculée dans le but de créer un filtre non-récurrent (FIR). Dans le champ « Echelonnage en amplitude » (eng « Amplitude scaling ») il est possible de sélectionner les 2 alternatives « Valeur Efficace » (engl « rms ») et « valeur pic » (engl « peak »). Dans le premier cas, chaque ligne FFT indique la valeur efficace et dans le deuxième cas la valeur pic est indiquée. Cette valeur pic est pour un sinus d'un facteur  $\sqrt{2}$  plus élevée que la valeur rms.

La dernière ligne de la page de propriétés permet d'indiquer si, et sous quelle forme, la phase doit être calculée. Il est à noter ici, que les propriétés de représentation du diagramme doivent éventuellement être adaptées sous le 2<sup>ème</sup> onglet (par ex : passer de « Standard » à « Amplitude/Phase (degré) » et avec une représentation complexe en 2 diagrammes).

## Ondelettes

L'analyse en ondelettes analyse le signal sonore à l'aide de paquets d'ondes compactes, des « ondelettes ». ArtemiS utilise pour cela les réponses impulsionnelles de différents filtres passe-bande comme fonction d'analyse en ondelettes.

Contrairement à l'analyse par FFT qui dispose d'une largeur de bande constante, l'analyse en ondelettes, comme l'analyse d'1/n-ième d'octave, possède une résolution fréquentielle qui a une largeur de bande constante relative. La figure 7 démontre la différence de résolution fréquentielle et temporelle dans l'analyse par FFT et l'analyse en ondelettes.

Le temps est représenté sur l'axe des X et la fréquence sur l'axe des Y. Une cellule étroite et haute représente une résolution temporelle élevée et une résolution fréquentielle basse, alors qu'une cellule plate et large représente une bonne résolution fréquentielle et une mauvaise fréquence temporelle. En raison du flou temporel et fréquentiel, les surfaces des cellules temporelles et fréquentielles sont toujours les mêmes dans la représentation.

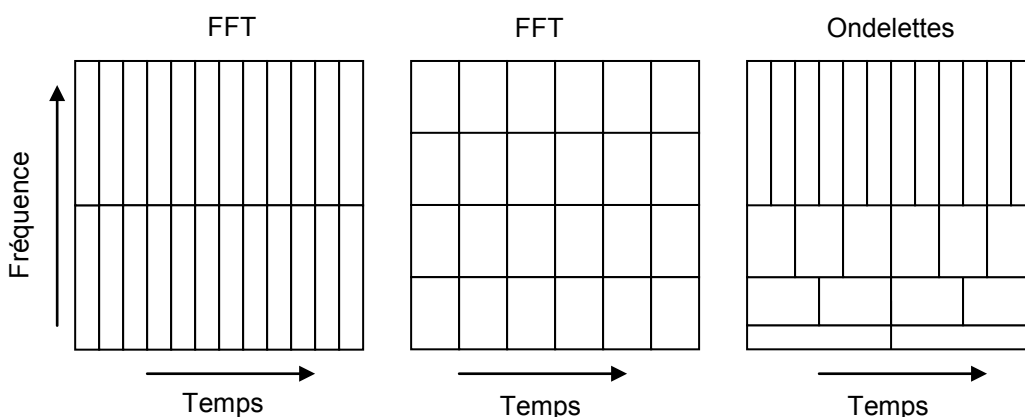


Figure 7: Résolution fréquentielle et temporelle dans l'analyse en ondelettes

Le graphique de gauche et celui du milieu montrent la résolution des analyses par FFT avec des fenêtrages différents. La figure de gauche montre la résolution d'une analyse par FFT avec une petite fenêtre (résolution temporelle élevée) et donc, une résolution fréquentielle réduite. La FFT du graphique du milieu a une fenêtre plus grande, donc une résolution temporelle plus basse, mais une meilleure résolution fréquentielle. Dans la FFT, la résolution temporelle comme la résolution fréquentielle sont constantes pour l'ensemble du domaine fréquentiel. Ce n'est pas le cas dans l'analyse en ondelettes, comme le montre le graphique de droite sur la figure 3. Avec des fréquences basses, l'analyse en ondelettes donne une résolution fréquentielle élevée, associée à une résolution temporelle basse. À de hautes fréquences, la résolution fréquentielle est plus mauvaise, mais la résolution temporelle est nettement meilleure. La taille des cellules reste toujours la même.

La résolution de l'analyse en ondelettes correspond approximativement à l'analyse effectuée par l'ouïe humaine.

La figure 8 montre la page de propriétés de l'analyse en ondelettes dans ArtemiS. Dans la première boîte de sélection, comme avec les autres analyses, vous pouvez activer une pondération spectrale qui pondère le spectre calculé avec un filtre A, B, C ou D.

Elle permet le paramétrage du filtre passe-bande dont la réponse impulsionnelle sera utilisée comme fonction pour l'analyse en ondelettes. En font partie le type de filtre, son ordre et sa qualité (« Filter Quality » - Qualité du filtre). Ce paramétrage permet de déterminer la pente des côtés du filtre et sa largeur. Un filtre étroit ayant une pente raide signifie alors une résolution de fréquence élevée, mais une résolution temporelle faible (et vice-versa).

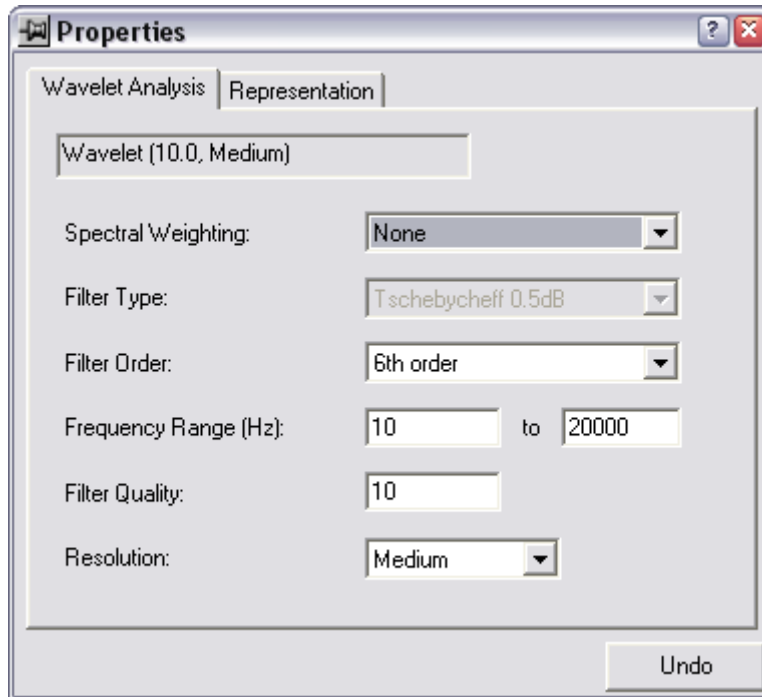


Figure 8: Page de propriétés de l'analyse « en ondelettes »

Le paramétrage du domaine fréquentiel devant être analysé (« Frequency Range (Hz) » - Domaine fréquentiel (Hz)) permet de limiter l'analyse au seul domaine qui vous intéresse. Vous pouvez déterminer la résolution nécessaire (« Resolution » - Résolution) dans le dernier champ de sélection de la page de propriétés. Avec une résolution élevée (« High » - Haute), 128 filtres passe-bande sont sélectionnés pour l'analyse du domaine fréquentiel sélectionné dans « Frequency Range » (Domaine fréquentiel), avec une résolution moyenne (« Medium » - Moyenne), 64, et avec une résolution basse (« Low » - Basse), 32. Un nombre plus élevé de filtres passe-bande entraîne, outre la résolution plus élevée, un temps de calcul plus long.

Comme pour l'analyse d'1/n-ième d'octave, une pondération temporelle est réalisée avec une intégration exponentielle dans l'analyse en ondelettes dans ArtemiS. La différence est que dans l'analyse en ondelettes, aucune constante temporelle n'est utilisée, mais plutôt une constante temporelle T dépendant de la fréquence avec :

$$T = \frac{1}{\text{Fréquence centrale du filtre passe – bande}}.$$

### Comparaison des différentes méthodes d'analyses

Deux bruits du domaine automobile seront analysés dans la section suivante. D'une part, le bruit produit lorsqu'une porte de voiture est fermée et d'autre part, le bruit d'un moteur dont le turbocompresseur émet un sifflement à haute fréquence nettement perceptible. La porte du véhicule produit un bruit court et à large bande. Le bruit de moteur a, au contraire, une composante tonale très marquée. Afin d'analyser ces bruits de manière judicieuse, il faut non seulement sélectionner l'analyse appropriée, mais aussi configurer les paramètres d'analyse corrects. Les paramètres d'analyse ne dépendent pas seulement du type de bruit, mais aussi de l'aspect du bruit qui doit être analysé. Cela signifie pour l'analyse du bruit de la fermeture de porte que,

bien que le bruit soit très court, une longueur de bloc longue doit tout de même être sélectionnée pour l'analyse par FFT si les différentes fréquences du bruit doivent être analysées.

Les figures suivantes démontrent la différence existant entre les analyses et l'effet d'un changement des paramètres. Les figures 9 et 10 représentent les résultats d'analyse du bruit de la fermeture de porte. Le diagramme de gauche montre chaque analyse d' $1/n$ -ième d'octave, le diagramme du milieu, une analyse par FFT et le diagramme de droite, une analyse en ondelettes. La différence existant entre les figures 9 et 10 est un paramètre d'analyse qui a été modifié pour le calcul. Les paramètres d'analyse suivants ont été utilisés :

$1/n^{\text{th}}$  Octave vs. Time ( $1/n$ -ième d'octave vs. temps) :

Bandes de fréquence	Band Resolution :	3 <sup>rd</sup> Octave -(fig. 9) / 12 <sup>th</sup> Octave – 1/12 <sup>e</sup> d'octave (fig. 10)
Pondération spectrale	Spectral Weighting spectrale :	None (aucune)
Méthode	Method :	filter (filtre)
Ordre du filtre	Filter Order :	6 <sup>th</sup> Order (6 <sup>e</sup> ordre)
Pondération temporelle	Time Weighting :	Manual (Manuelle)
Manuel (ms)	Manual (ms) :	2

FFT vs. Time (FFT vs. temps) :

Taille de la DFT	Spectrum Size :	512 (fig. 9) / 4 096 (fig. 10)
Fenêtrage	Window Function :	Hanning
Pondération fréquentielle	Spectral Weighting :	None (aucune)
Recouvrement (%)	Overlap (%) :	75
Lissage	Smooth :	Off

Ondelettes :

Pondération fréquentielle	Spectral Weighting :	None (aucune)
Type de filtre	Filter Type :	Tschebycheff 0,5 dB
Ordre du filtre	Filter Order :	6 <sup>th</sup> Order (6 <sup>e</sup> ordre)
Domaine fréquentiel	Frequency Range :	20 à 16 000 Hz.
Facteur de qualité du filtre	Filter Quality :	10
Résolution	Resolution :	Moyen (fig. 9)/élevé (fig. 10)

La comparaison des diagrammes représentés sur la figure 9 montre que les résolutions fréquentielles des différentes analyses se distinguent. Dans l'analyse par FFT, la résolution fréquentielle est la même dans l'ensemble du domaine fréquentiel. L'axe de la fréquence étant cependant représenté logarithmiquement, la résolution fréquentielle de l'analyse par FFT est plus mauvaise dans les zones de fréquence basse que dans celles de fréquence haute. L'analyse de niveau de tiers d'octave (fig. 9a) a, comme l'analyse en ondelettes (fig. 9c), une résolution fréquentielle qui reste constante sur l'axe de la fréquence logarithmique. La figure 9 montre également que les résultats des analyses basées sur une filtration numérique (analyse de niveau de tiers d'octave et ondelettes) ont un léger décalage avec des fréquences basses. Cette réaction est provoquée par les phénomènes transitoires des filtres numériques qui durent plus longtemps avec des filtres à basse fréquence. Un tel phénomène n'apparaît pas dans l'analyse par FFT et c'est la raison pour laquelle l'affichage des basses fréquences n'est pas déplacé dans ce diagramme.

La différence existant entre les diagrammes des figures 9 et 10 est la résolution fréquentielle plus élevée sur la figure 10. L'amélioration de la résolution fréquentielle a cependant aussi des effets négatifs. Pour l'analyse d' $1/n$ -ième d'octave (figure 9a et 10a), l'augmentation de la résolution de tiers à  $1/12^e$  d'octave entraîne simultanément des résultats temporels d'analyse se distinguant fortement à des fréquences basses. Pour l'analyse par FFT (figure 9b et 10b), la comparaison montre que la meilleure résolution fréquentielle (que l'on peut bien voir dans le domaine des fréquences basses) entraîne une résolution temporelle très limitée. L'effet des paramètres d'analyse modifiés n'est que très réduit sur l'analyse en ondelettes.

D'une manière générale, l'analyse en ondelettes rend de manière très satisfaisante la courbe fréquence-temps du bruit de la fermeture. Les deux autres analyses donnent cependant également d'importants détails si l'on prend en compte les avantages et les inconvénients des analyses en compte. L'analyse que vous choisirez dépend bien sûr aussi de vos préférences et de vos habitudes.

Un des avantages de l'analyse par FFT qui n'a pas encore été évoqué est son temps de calcul nettement plus court que celui de l'analyse en ondelettes. Si vous avez rapidement besoin de résultats d'analyse d'une grande quantité de données, ce type d'analyse est alors avantageux.

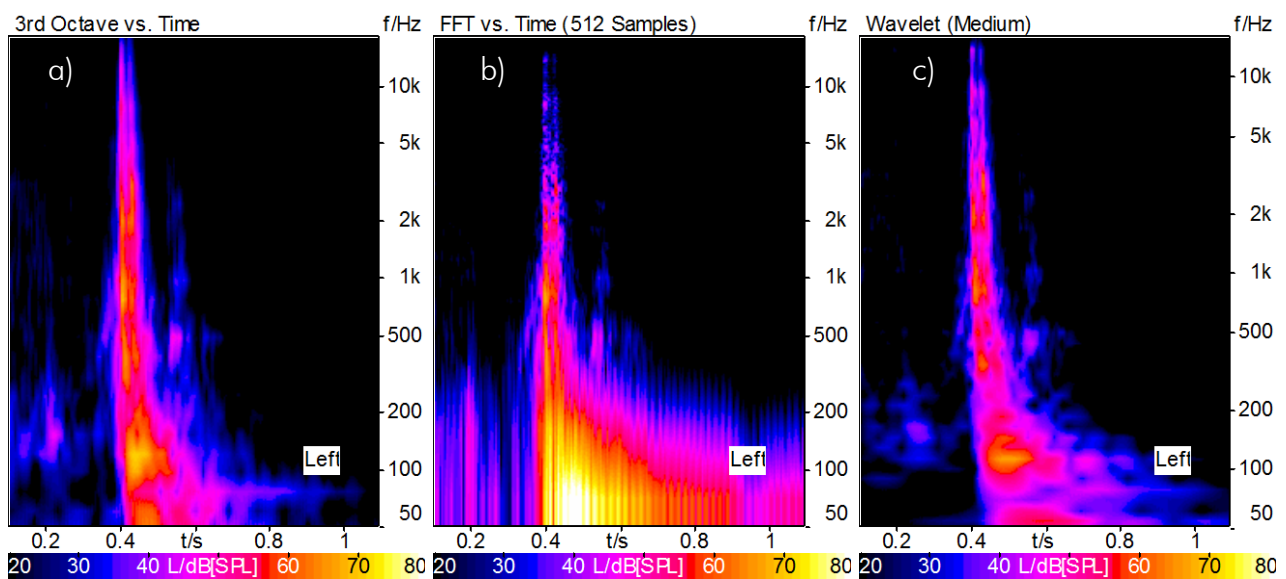


Figure 9: Résultat d'analyse d'un bruit de fermeture de porte ; diagramme de gauche : analyse du niveau de tiers d'octave, diagramme du milieu : analyse par FFT (taille de bloc : 512 échantillons), diagramme de droite : analyse en ondelettes (résolution : moyenne)

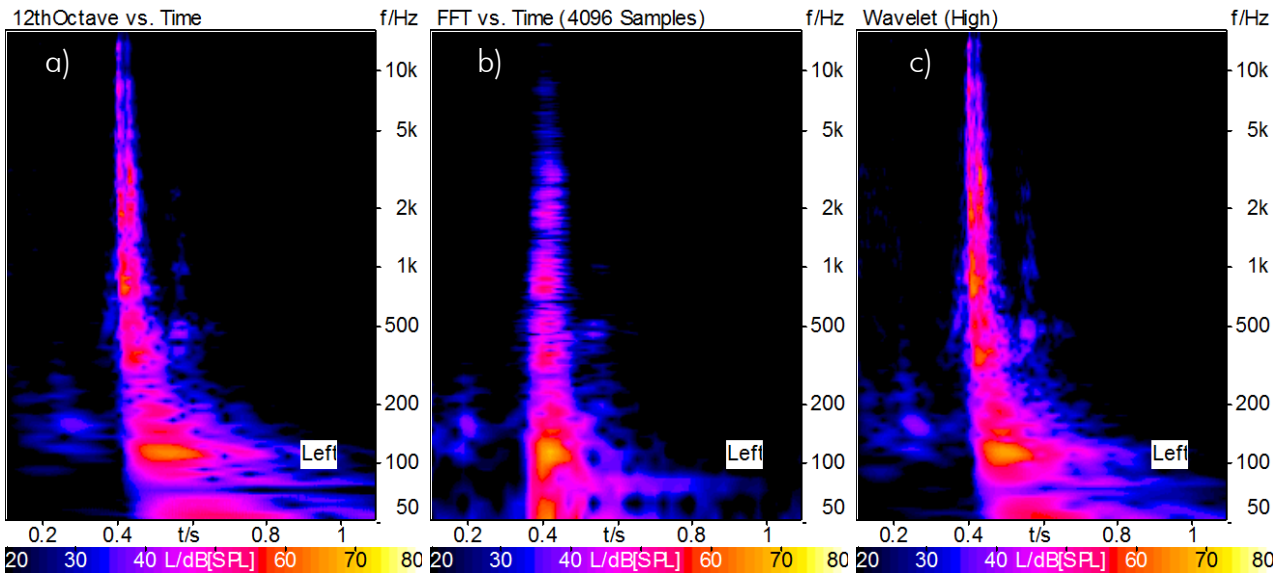


Figure 10: Résultat d'analyse d'un bruit de fermeture de porte ; diagramme de gauche : analyse d' $1/12^e$  d'octave, diagramme du milieu : analyse par FFT (taille de bloc : 4 096 échantillons), diagramme de droite : analyse en ondelettes (résolution : élevée)

La figure 11 représente les résultats d'analyse d'un bruit de moteur émettant un sifflement tonal. Les mêmes paramètres que ceux utilisés pour le bruit de fermeture de la porte ont été utilisés sur la figure 10. Si l'on compare les figures 11a, 11b et 11c, on constate que pour l'analyse de ces composantes tonales à haute fréquence, la longueur de bloc de 4 096 échantillons de l'analyse par FFT est particulièrement bien adaptée. Le sifflement du turbocompresseur compris entre 4 et 5 kHz peut être particulièrement bien reconnu avec cette analyse. Dans les deux autres analyses, la résolution fréquentielle ne suffit pas pour éliminer les composantes tonales à de hautes fréquences.

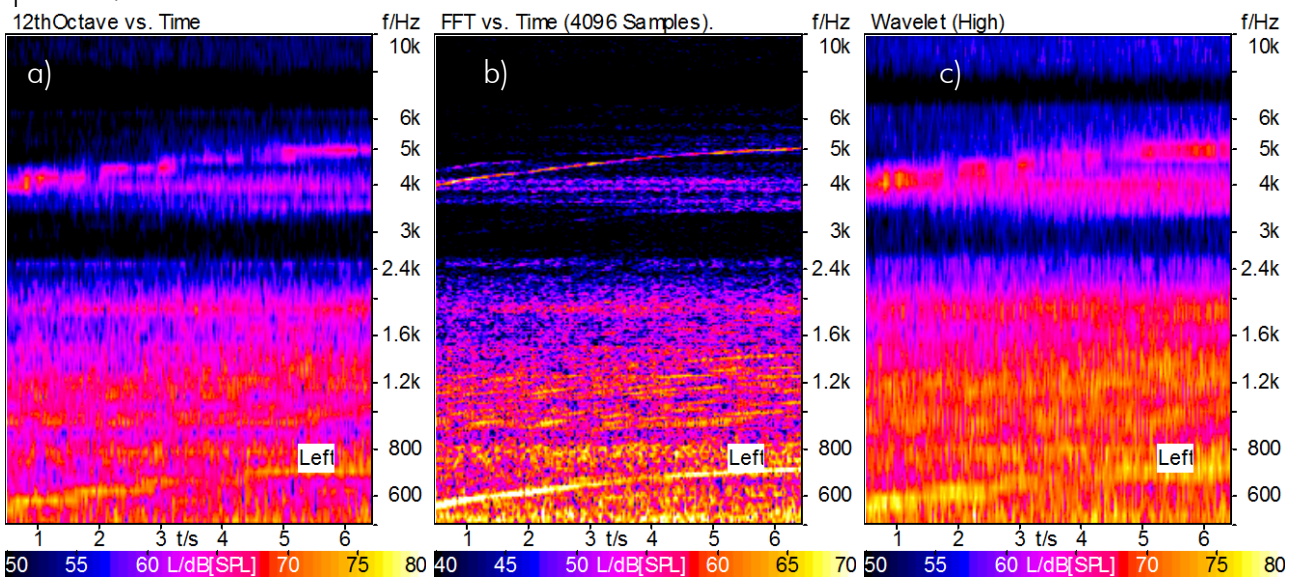


Figure 11: Résultat d'analyse d'un bruit de moteur ; diagramme de gauche : analyse d' $1/12^e$  d'octave, diagramme du milieu : analyse par FFT (taille de bloc : 4 096 échantillons), diagramme de droite : analyse en ondelettes (résolution : élevée)

## Note

Afin d'utiliser les fonctionnalités présentées dans cette note applicative vous avez besoin de la version de base d'ArtemiS (Code 4600), du module Analyse d'Octave ATP 04 (Code 4604) et du module d'Analyses Avancées ATP 07 (Code 4607).

Avez-vous des questions ou des remarques? N'hésitez pas à nous contacter à l'adresse suivante [imke.hauswirth@head-acoustics.de](mailto:imke.hauswirth@head-acoustics.de).