

Courbes de pondération

Des sons de même pression acoustique mais de fréquences différentes sont perçus par l'oreille humaine comme étant de force sonore différente. Il est possible d'approcher ce comportement dépendant de la fréquence de l'ouïe humaine à l'aide d'un filtre de pondération. Il existe quatre courbes de pondération différentes pour les bruits aériens : les pondérations A, B, C et D (voir figure 1).

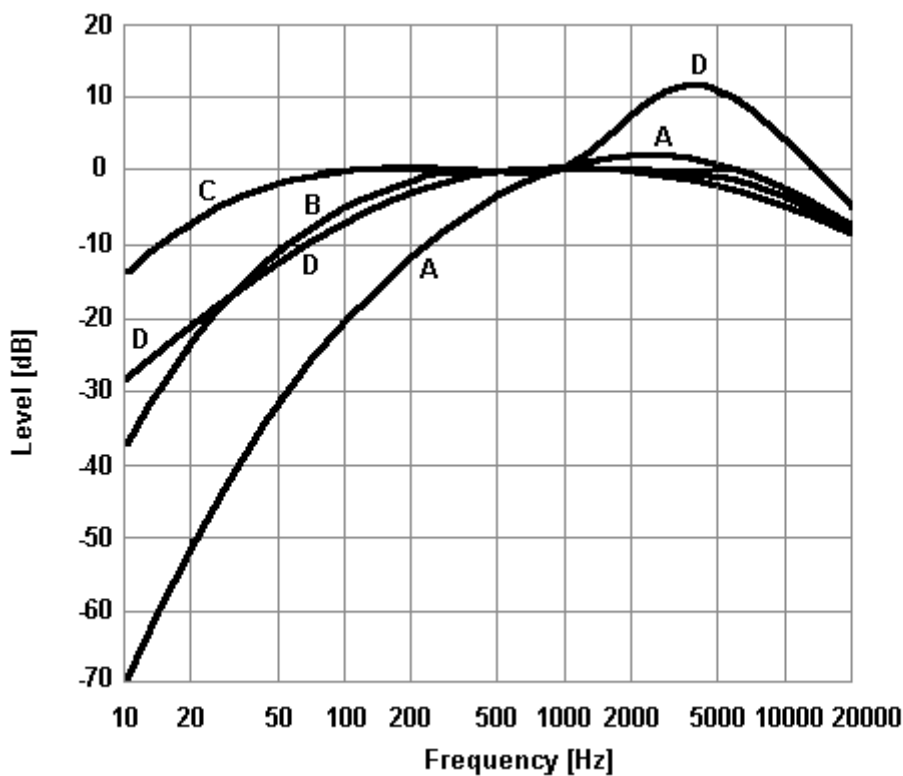


Figure 1 : Courbes de pondération

L'allure des courbes de ces filtres de pondération est sensée reproduire sous forme inversée les courbes d'iso-sonies (courbes des niveaux obtenues pour des sons purs de fréquence différente et produisant une même force sonore) - norme ISO 226. La courbe de pondération A correspond à l'allure de la courbe d'iso-sonie à 20-40 phone environ, la courbe de pondération B, à celle à 50-70 phone et la courbe de pondération C, à celle à 80-90 phone. C'est en général la courbe de pondération A qui est appliquée¹. La pondération D est plutôt utilisée dans les cas d'exception : pour les niveaux très élevés et les nuisances provoquées par les avions.

¹ La courbe de pondération A est également utilisée dans la pratique pour les signaux supérieurs à 20-40 phone.

Une analyse de niveau, par exemple pondérée en utilisant le filtre A, donne pour résultat le niveau de pression acoustique pondéré A en [dB]².

Ce type de pondération peut être réalisé dans ArtemiS à plusieurs points du traitement du signal.

La pondération fréquentielle peut être réalisée dans la zone des filtres d'un projet ArtemiS dans la zone temporelle avant de lancer une analyse ou aussi dans la zone des analyses avec une analyse (disponible par exemple dans l'analyse d'1 n-ième d'octave, l'analyse par FFT ou l'analyse du niveau). Dans les analyses basées sur une FFT, la pondération fréquentielle est réalisée dans le domaine fréquentiel, alors que dans les analyses non basées sur une FFT, elle est réalisée dans le domaine temporel, comme dans la zone des filtres.

L'élément « Pondération A/B/C » de la zone des filtres permet de filtrer toutes les voies ou seulement les voies sélectionnées d'un signal avant l'analyse.

L'avantage de cet élément est que l'on peut réaliser une pondération fréquentielle voie par voie. Cela signifie qu'en présence d'un fichier contenant plusieurs voies, toutes les voies de bruit aérien peuvent être soumises à une pondération A, sans que toutes les autres voies (accélération et vitesse de rotation) ne soient pondérées. On ne soumet donc à une pondération que les voies qu'il est judicieux de soumettre à cette pondération. La figure 2 représente la page de propriétés de l'élément de pondération de la zone des filtres.

Une fois la pondération fréquentielle sélectionnée dans la zone des filtres, on peut sélectionner l'analyse désirée dans la zone des analyses.

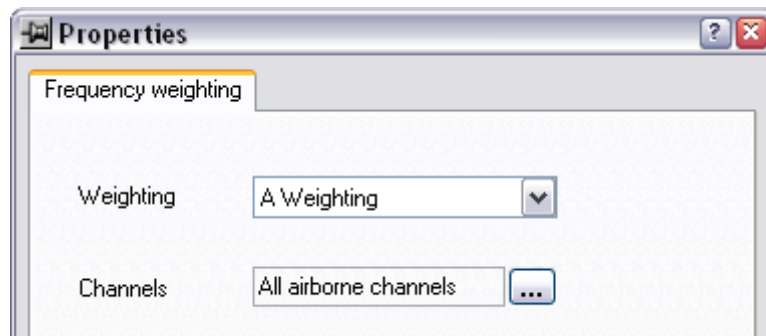


Figure 2 : Page de propriétés de l'élément de pondération fréquentielle

L'autre méthode permettant de réaliser une pondération A est disponible directement sur la page de propriétés de nombreuses analyses, comme décrit ci-dessus. La figure 3 représente la page de propriétés de l'analyse par FFT moyennée. On peut par exemple sélectionner la pondération A dans le champ de la pondération fréquentielle (en anglais, « Spectral Weighting »).

² Pour économiser de la place dans les diagrammes, l'application d'un filtre de pondération peut également être indiquée en ajoutant une indication à côté de l'unité du niveau de pression acoustique, par exemple, « dB(A) [SPL] ».

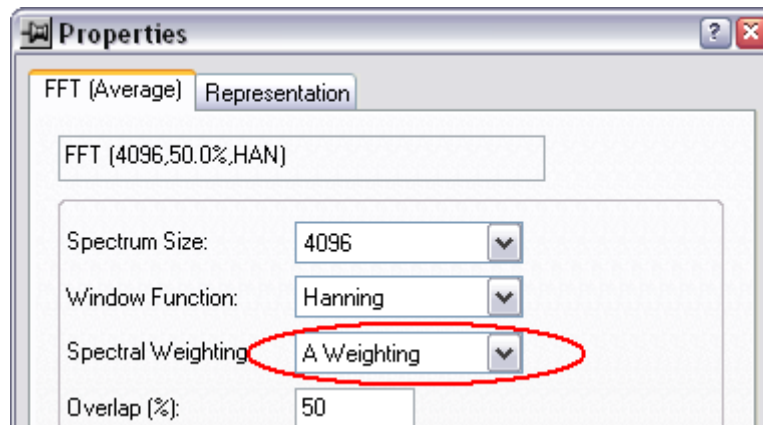


Figure 3 : Page de propriétés de l'analyse par FFT moyennée

La pondération dans la zone des filtres peut également être réalisée dans le domaine temporel, et la pondération A de l'analyse par FFT est tout simplement additionnée dans le domaine fréquentiel après que la transformée de Fourier ait eu lieu³. Cette différence n'entraîne normalement qu'une divergence minimale.

La figure 4 représente le résultat d'une analyse par FFT calculée avec une fonction de fenêtrage de Hanning. Le diagramme comprend deux courbes : la courbe bleue représente la pondération A réalisée dans la zone des filtres, c'est-à-dire avant l'analyse dans le domaine temporel, la courbe rouge représente la pondération A additionnée après la transformation de Fourier. La différence existant entre les deux courbes est faible et uniquement perceptible dans le domaine des basses fréquences.

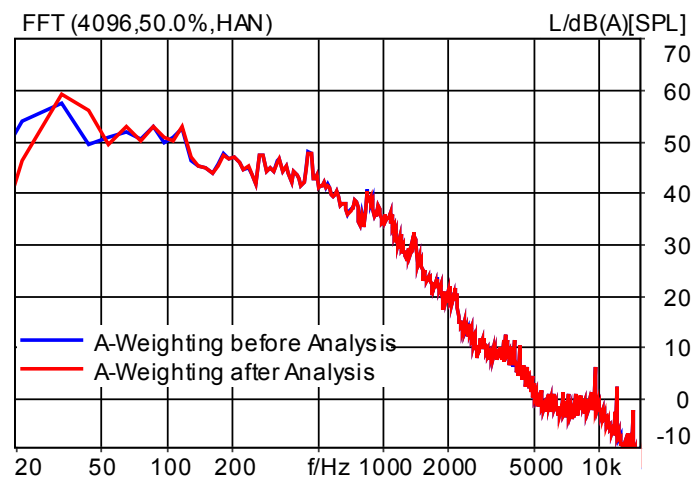


Figure 4 : Analyse FFT moyennée avec pondération A avant (courbe bleue) et après l'analyse (courbe rouge).

³ Ceci ne vaut que pour la pondération fréquentielle de toutes les analyses basées sur la FFT, cela ne s'applique donc par exemple pas à l'analyse du niveau par rapport au temps « Niveau vs temps ».

Cas d'applications particuliers

Parenthèse : Fonction de fenêtrage avec l'analyse par FFT

Pour que la transformée de Fourier puisse être réalisée, le signal doit être divisé dans le temps (fenêtré). Le signal d'origine est alors divisé en plusieurs blocs de N échantillons. Ce fenêtrage du signal entraîne néanmoins un effet de « leakage ». Une suite périodique du signal temporel est implicite lors de l'analyse des blocs du signal, 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. La perte d'énergie du signal vers des 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 de « 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.

Lorsque l'on utilise la fenêtre rectangulaire, le signal est uniquement divisé en petites portions, il n'est ni affiché ni dissimulé. Avec un signal dont le spectre contient des domaines fréquentiels qui ont un niveau similairement élevé, utiliser une fenêtre rectangulaire entraîne des résultats d'analyse faussés. La figure 5 représente le résultat d'une analyse par FFT d'un signal calculée avec une composante élevée de signal à basse fréquence. La courbe rouge représente le résultat de l'analyse par FFT réalisée avec une fenêtre rectangle. La courbe verte représente l'analyse par FFT du même signal, mais avec une fenêtre de Hanning pour réduire l'effet de « leakage ». Le bruit qui était déjà analysé dans la figure 4 reste le même. L'analyse par FFT de la figure 5 n'a néanmoins pas encore été soumise à une pondération fréquentielle.

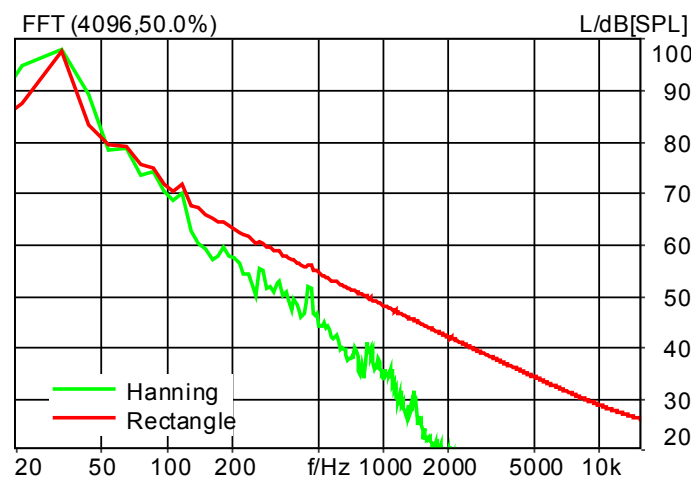


Figure 5 : Analyse par FFT moyennée avec fenêtre rectangle et fenêtre de Hanning

On voit très bien que, en calculant la FFT avec une fenêtre rectangle, la composante basse fréquence élevée du signal domine aussi les fréquences plus élevées et dissimule le spectre situé en-dessous. L'utilisation de la fenêtre de Hanning réduit nettement cet effet.

La fenêtre rectangle ne se prête pas aux signaux qui disposent d'un spectre composé de quelques domaines fréquentiels isolés ressortant fortement du reste du spectre. Il n'est recommandé d'utiliser ce type de fenêtre que dans des cas d'applications particuliers (par exemple, pour l'analyse de pseudo-bruits). Mais elle peut par exemple être nécessaire pour effectuer des comparaisons avec d'autres résultats d'analyse.

Application de la pondération A

L'exemple cité pour la fenêtre rectangle est idéal pour montrer la différence entre la pondération A dans le domaine temporel et la pondération A dans le domaine fréquentiel. En effet, si l'on calcule l'analyse par FFT sans fenêtrage, mais uniquement avec une fenêtre rectangle, les différences intervenant entre les résultats de cet exemple sont beaucoup plus claires. Sur la figure 6, les résultats de l'analyse par FFT sont représentés comme sur la figure 4, à la seule différence qu'une fenêtre rectangle a été utilisée pour le calcul.

On voit nettement que la différence entre les deux courbes est beaucoup plus grande dans le calcul sans fenêtrage. Ceci réside dans le fait que l'effet de « leakage » montré sur la figure 5 et apparaissant lorsque l'on utilise une fenêtre rectangle ne peut pas être évité si la pondération A n'est réalisée qu'après l'analyse dans le domaine spectral. Mais si la pondération A est réalisée avant l'analyse dans le domaine temporel, la composante basse fréquence élevée peut alors être réduite avant l'analyse par FFT de manière à ce que l'effet négatif de la fenêtre rectangle soit nettement minimisé.

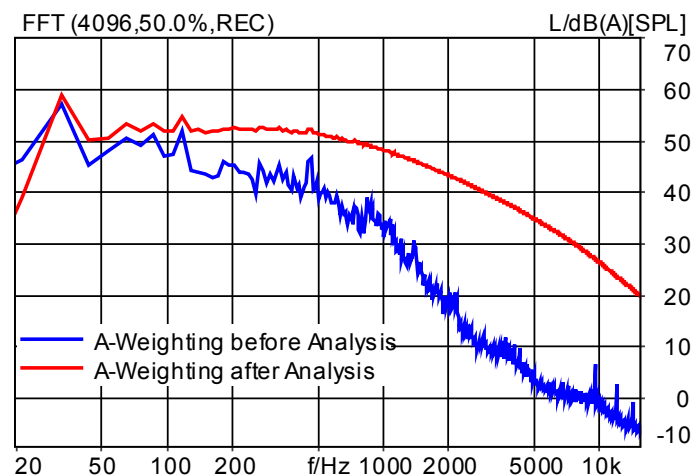


Figure 6 : Analyse FFT moyennée avec pondération A avant (courbe bleue) et après l'analyse (courbe rouge).

L'application de la pondération fréquentielle dans le domaine temporel ou fréquentiel n'a, d'une manière générale, que très peu d'incidence sur le résultat de l'analyse. En présence de formes de signal particulières ou si des paramètres d'analyse inadaptés sont utilisés, par exemple un mauvais fenêtrage, l'influence peut avoir une grande incidence sur le résultat de l'analyse.

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

Nous serons heureux de prendre connaissance de vos réactions !