

Analyse Fréquentielle

(premier niveau)



Jacky DUMAS - François LAMBERT

Sommaire

| | |
|---|----|
| 1. Avant propos | 3 |
| 2. FFT | 4 |
| 2.1. Bref historique | 4 |
| 2.2. Fonctionnement théorique de la FFT | 4 |
| 2.3. Numérisation (Echantillonnage) | 5 |
| 2.4. Repliement | 6 |
| 2.5. Fenêtrage temporel | 10 |
| 2.5.1. Fenêtre rectangulaire | 13 |
| 2.5.2. Fenêtre de Hanning | 14 |
| 2.5.3. Fenêtre de Hamming | 15 |
| 2.5.4. Fenêtre de Kaiser-Bessel | 15 |
| 2.5.5. Fenêtre Flat Top | 16 |
| 2.5.6. Résumé | 16 |
| 2.6. Résultat du calcul de la FFT | 17 |
| 2.7. Effet de palissade | 20 |
| 2.8. Zoom FFT | 22 |
| 2.9. Durée d'examen / résolution fréquentielle | 23 |
| 2.10. Moyennage | 24 |
| 2.10.1. Moyennage linéaire : | 24 |
| 2.10.2. Moyennage exponentiel : | 24 |
| 2.10.3. Max. par bandes | 24 |
| 2.10.4. Max. Lin | 24 |
| 2.10.5. Max. A | 24 |
| 2.11. Recouvrement | 25 |
| 2.12. PWR, RMS, PSD, ASD, ESD. | 27 |
| 2.12.1. RMS | 27 |
| 2.12.2. PWR | 27 |
| 2.12.3. PSD | 27 |
| 2.12.4. ASD | 28 |
| 2.12.5. ESD | 28 |
| 2.13. Notion de temps réel | 29 |
| 2.14. Conclusion | 30 |
| 3. Filtrage numérique | 31 |
| 3.1. Bref historique | 31 |
| 3.2. Principe des filtres par octave et 1/3 d'octave | 31 |
| 3.2.1. Bandes passantes des octaves et tiers d'octaves normalisés | 33 |
| 3.3. Numérisation (Echantillonnage) | 34 |
| 3.4. Repliement | 34 |
| 3.5. Méthode de calcul | 34 |
| 3.5.1. Fonctions de transfert des filtres et propriétés | 34 |
| 3.5.2. Translation d'un octave vers le bas | 34 |
| 3.5.3. Filtre passe-bas (Anti-repliement) | 34 |
| 3.5.4. Analyse en bande d'octave | 34 |
| 3.5.5. Analyse en bandes de tiers d'octave | 35 |
| 4. Comparaison de la méthode filtrage numérique et de la méthode de synthèse FFT pour l'obtention des spectres octave et tiers d'octave | 36 |
| 5. FFT contre Octave/Tiers d'octave | 40 |
| 6. <u>Annexe 1</u> : Classification des signaux | 41 |
| 7. <u>Annexe 2</u> : résolution fréquentielle du logiciel dBFA version 1.4 | 42 |
| 7.1. Mode temps différé | 42 |
| 7.2. Mode temps réel (carte dB2+) | 49 |
| 8. <u>Annexe 3</u> : Recomposition des spectres tiers d'octave en mode temps différé | 50 |
| 8.1.1. Définitions | 51 |
| 8.1.2. Synthèse tiers d'octave | 51 |
| 8.1.2.1. Limites fréquentielles | 51 |
| 8.1.2.2. Algorithme de recomposition | 51 |

1. Avant propos

Cette présentation se veut simple et concrète. Aussi, nous ne ferons pas une démonstration de notre savoir faire en traitement du signal et nous tenterons plutôt de vous faire sentir et comprendre les phénomènes mis en jeu lors d'une analyse FFT. Aussi, nous développerons les résultats que l'on peut attendre de ce type d'analyse et les principaux "pièges" qu'il faut éviter afin de ne pas sombrer dans la désespérance des déçus de la FFT.

A une approche mathématique pure, nous avons préféré une approche physique et démonstrative.

Les problèmes de cette méthode d'analyse fréquentielle que nous allons vous présenter ici, sont simplement liés à son approche mathématique et aux outils de calcul FFT qui sont utilisés pour l'améliorer. Ils sont les mêmes pour tous les instruments.

Nous traiterons seulement de l'analyse monovoie, c'est à dire de transformation dans le domaine fréquentiel de l'historique d'un signal.

Aussi, nous aborderons l'analyse par filtrage numérique permettant notamment les analyses en fréquence par bandes octave et tiers d'octave.

Il est à remarquer que les spectres octave et tiers d'octave peuvent être obtenus par recomposition FFT ou par filtrage numérique. Nous comparerons ces deux techniques.

Quand un passage sera spécifique à l'instrumentation 01 dB, il sera présenté en italique afin de ne pas la confondre avec la théorie bien qu'elle en découle.

2. FFT

2.1. Bref historique

Nous devons nos connaissances du traitement du signal en majeure partie au Baron Joseph FOURIER (Auxerre 1768 - Paris 1830) qui, en étudiant la propagation de la chaleur, découvrit les séries trigonométriques dites séries de FOURIER. Il améliora ce puissant outil mathématique pour l'appliquer à tout type de signal. Depuis une vingtaine d'années seulement, les outils électroniques ont permis de mettre en application ces formules mathématiques, grâce notamment aux américains COOLEY et TUKEY. Ils ont donné naissance à l'algorithme de calcul FFT (Fast Fourier Transform) que l'on retrouve dans la plupart des analyseurs du marché.

2.2. Fonctionnement théorique de la FFT

Théorème de Fourier : Toute fonction continue est décomposable en série de FOURIER. Si de plus cette fonction est périodique de période T , le nombre de termes de la décomposition est fini.

On peut alors écrire la fonction comme une somme de sinus (ou de cosinus)

$$f(t) = A_0 + A_1 \sin(2\pi t / T) + A_2 \sin(2\pi t / 2T) + \dots + A_n \sin(2\pi t / nT)$$

où A_i est le coefficient de la série de FOURIER à la fréquence $f_i = 1/iT$.

Dans la pratique cela veut dire que l'on peut décomposer notre fonction comme une somme de sinus (cosinus) de périodes multiples de la période de base de notre fonction. Les coefficients représentent alors (si on se débrouille bien dans notre calcul) le niveau "énergétique de chacune des fréquences élémentaires".

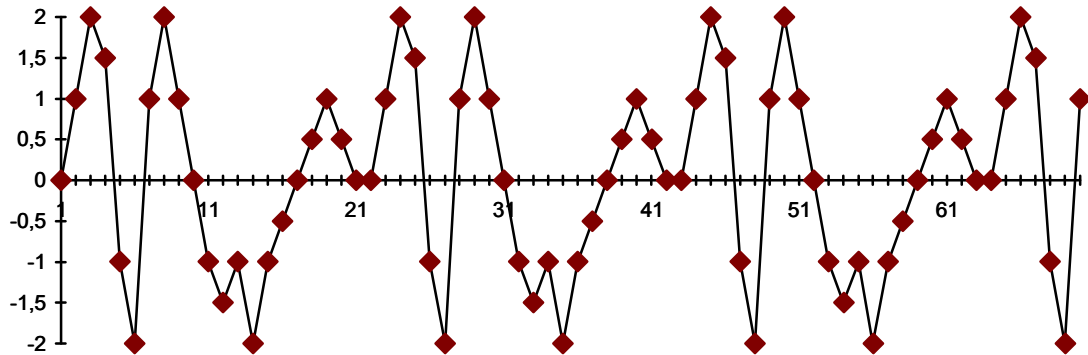
L'application principale de l'analyse FFT est donc la mise en évidence des périodicités du signal et le calcul de "l'énergie" contenue dans le signal pour chacune des fréquences.

Aussi, l'analyse FFT sert à observer des signaux qui ne sont pas périodiques (aléatoires par exemple). Cette extension de capacité du calcul FFT, qui n'est pas naturelle pour ce type de signal, appelle à la plus grande prudence dans l'interprétation des résultats.

La transformée de Fourier est une des méthodes (la plus utilisée aujourd'hui) pour représenter un phénomène temporel dans le domaine fréquentiel. Cette représentation fréquentielle est une image parmi d'autres possibles du phénomène étudié. Il existe d'autres méthodes plus complexes mais plus efficaces. La compréhension de la FFT aide cependant à mieux les comprendre.

2.3. Numérisation (Echantillonnage)

Le signal physique complet n'est pas étudié en pratique. En fait, seule la représentation numérique du signal est utilisée pour réaliser les calculs voulus. La numérisation du signal est une transformation discrète du signal physique considéré comme continu dans le sens mathématique du terme.



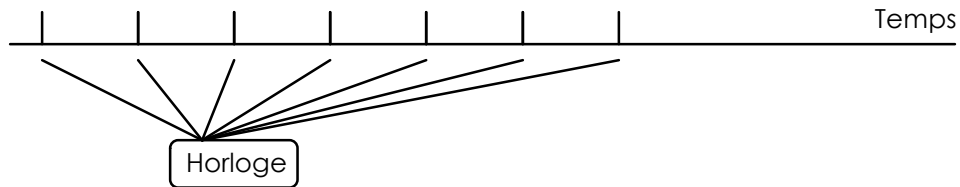
Exemple de signal numérisé.

Le signal est donc vu comme une suite de points prenant des valeurs d'amplitude différentes. Cette synthèse de l'information ne va pas sans poser quelques problèmes que nous allons évoquer ci-après. En effet, cette numérisation du signal déforme sa nature et peut influencer sa signification.

2.4. Repliement

Cet effet vient du fait que le Convertisseur Analogique Numérique ou CAN est "aveugle" en dehors des moments où il ne fait pas sa conversion.

En effet, un CAN fonctionne sur le principe suivant :

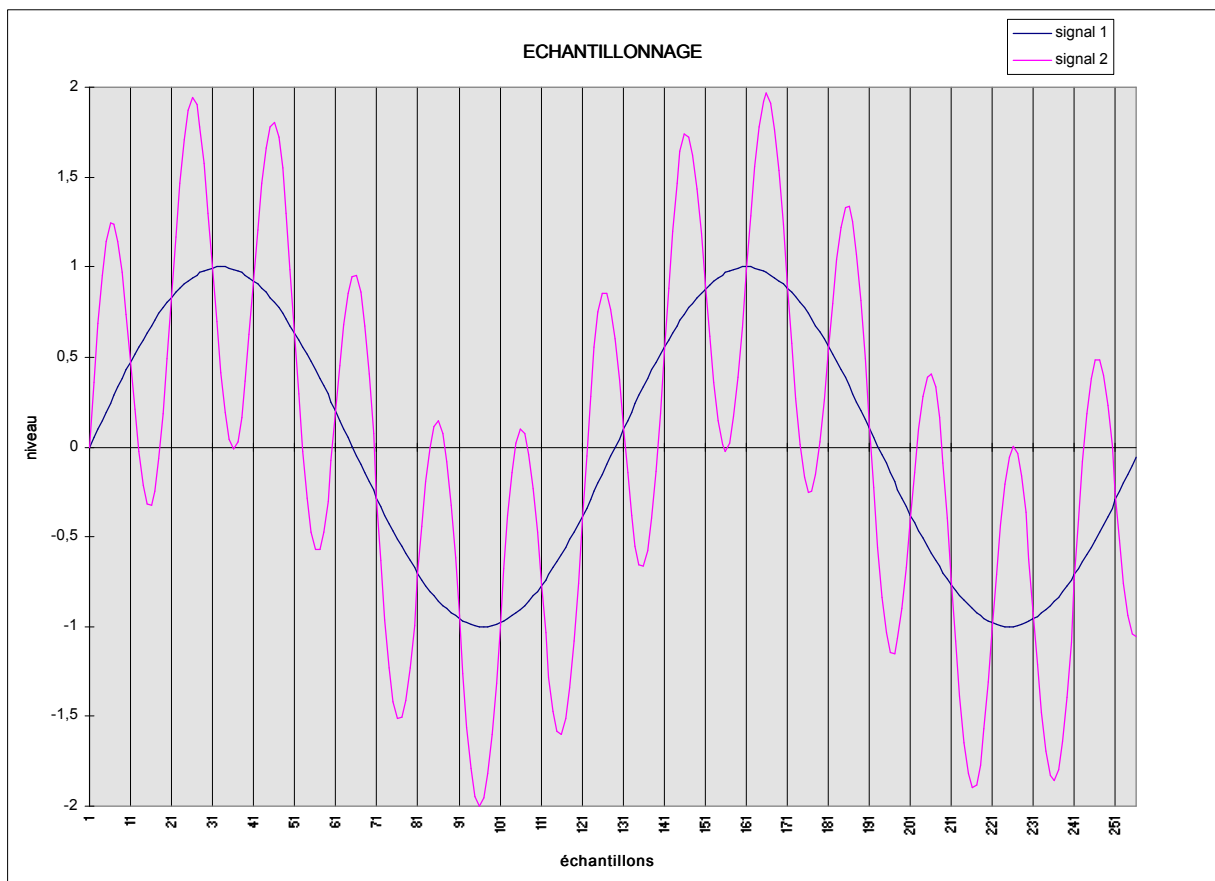


Déclenchement du CAN en fonction du temps

L'horloge est programmée pour fournir au CAN des impulsions à des intervalles de temps fixes et constants de période $T = 1/F_e$ (F_e = fréquence d'échantillonnage notée aussi F_s (sampling frequency)).

A réception du top de l'horloge, le CAN effectue sa conversion quasi instantanément. Il y a donc perte de l'information contenue entre les impulsions.

Du point de vue du convertisseur, les deux signaux ci dessous sont donc rigoureusement identiques.



Exemple de 2 signaux identiques du point de vue du CAN

Seuls les signaux dont le contenu fréquentiel est strictement inférieur à la fréquence d'échantillonnage, peuvent être analysés correctement. De plus, cette constatation ne suffit pas. En fait, l'échantillonnage va créer des fréquences artificielles qui ne sont pas représentatives du phénomène physique. Un effet de repliement est constaté (voir illustration ci-après).

Figure a :

Un signal continu et invariable (ne présentant aucune variation d'amplitude) est échantillonné à la fréquence F_s .

Le signal numérisé caractérise correctement le phénomène analogique.

Figure b :

Un signal alternatif de fréquence F_s est échantillonné à la fréquence F_s .

Le Signal numérisé est identique à celui de la figure (a) mais ne représente pas le phénomène analogique.

Figure c:

Un signal alternatif de fréquence F ($F \ll F_s$) est échantillonné à la fréquence F_s .

Le signal numérisé caractérise correctement le phénomène analogique.

Figure d:

Un signal alternatif de fréquence légèrement supérieure à la fréquence F_s est échantillonné à la fréquence F_s .

Le Signal numérisé est identique à celui de la figure (c) et ne représente pas le phénomène analogique. Il apparaît une fréquence fictive plus basse. C'est le phénomène de repliement.

Pour éviter l'apparition de ces fréquences de repliement, il faut respecter le principe du théorème de Shannon disant qu'il faut au moins (c'est à dire plus que) 2 échantillons pour décrire un signal sinusoïdale.

Si une fréquence d'échantillonnage (F_s) est au moins 2 fois plus élevée que la fréquence maximale à mesurer (F_{\max}) et si un filtre anti-repliement est calé sur cette fréquence (F_{\max}), la condition imposée est alors bien vérifiée.

Pour ce faire, les analyseurs sont équipés de filtres anti-repliement (un par voie) qui sont des filtres passe bas de très forte pente éliminants ainsi la partie haute fréquence des signaux qui perturberait l'interprétation de l'analyse spectrale.

La présence d'un filtre anti-repliement relié à la fréquence d'échantillonnage est donc indispensable à une mesure correcte.

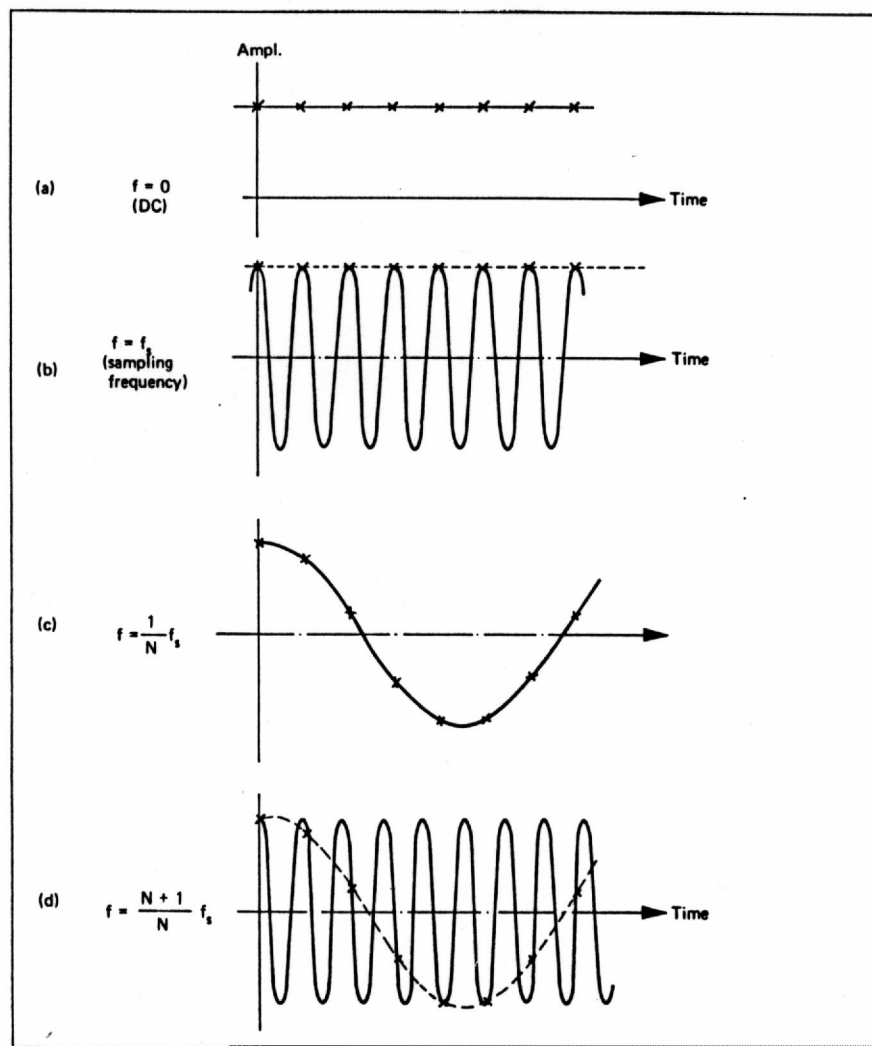
Sa fréquence de coupure doit être égale à moins de la moitié de la fréquence d'échantillonnage.

Souvent, une fréquence maximale d'analyse et une fréquence d'échantillonnage reliées par $F_{\max} = 2.56 * F_s$ sont choisies. En effet, il est impossible de réaliser un filtre anti-repliement avec une pente infiniment raide. Une marge de sécurité est donc prise pour permettre d'éliminer les effets de repliement sur la plus grande dynamique possible (généralement 80 dB utile).

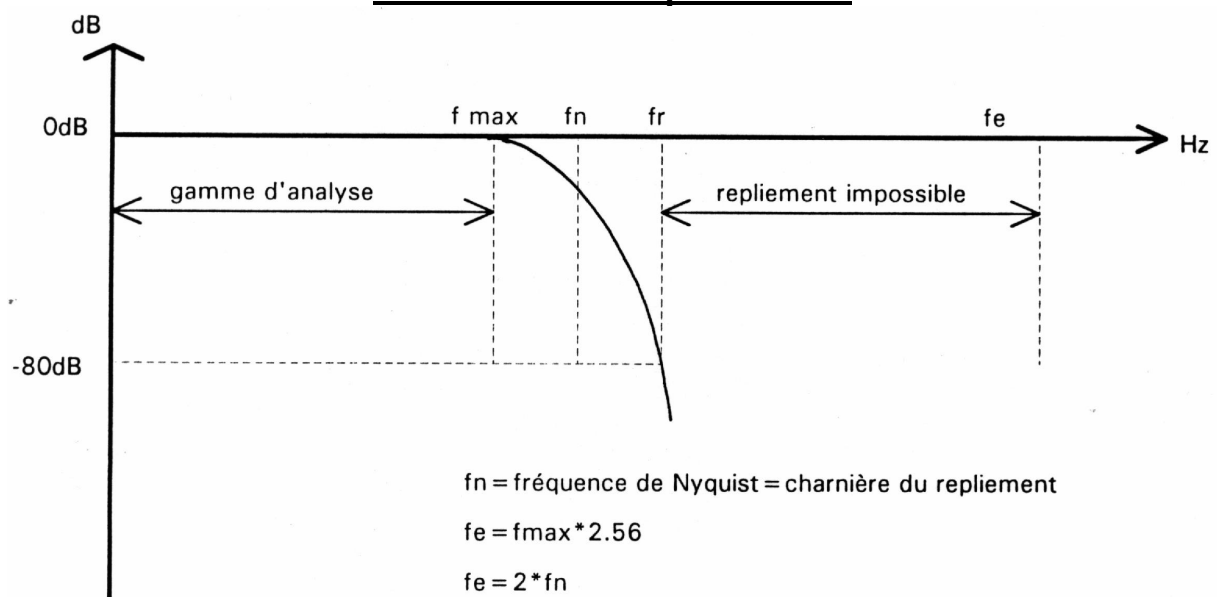
L'illustration ci-après le montre.

Dans la pratique, ce problème est éludé par les systèmes 01dB qui ne vous demande que la fréquence maximum du signal que vous voulez analyser et, en fonction de cela, règle la fréquence d'échantillonnage et le filtre anti-repliement le mieux adapté pour vous offrir une mesure de qualité .

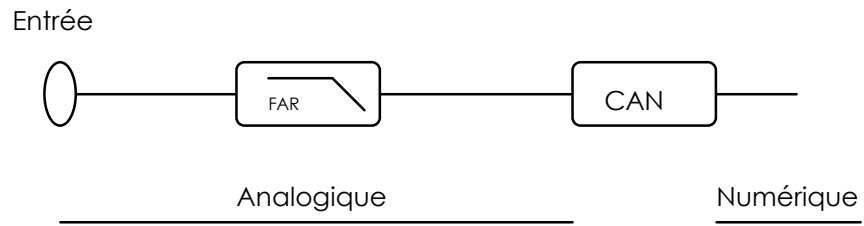
Illustration du repliement à l'échantillonnage



Filtre Anti-Repliement



Notre analyseur commence à se former :



Etage d'entrée d'un analyseur FFT

2.5. Fenêtrage temporel

Que faire de tous ces échantillons livrés par le CAN ?

Une portion du signal numérisé (bloc) est ensuite dirigé vers le circuit de calcul de la FFT. Le principe de fonctionnement de ces circuits spécialisés est le suivant :

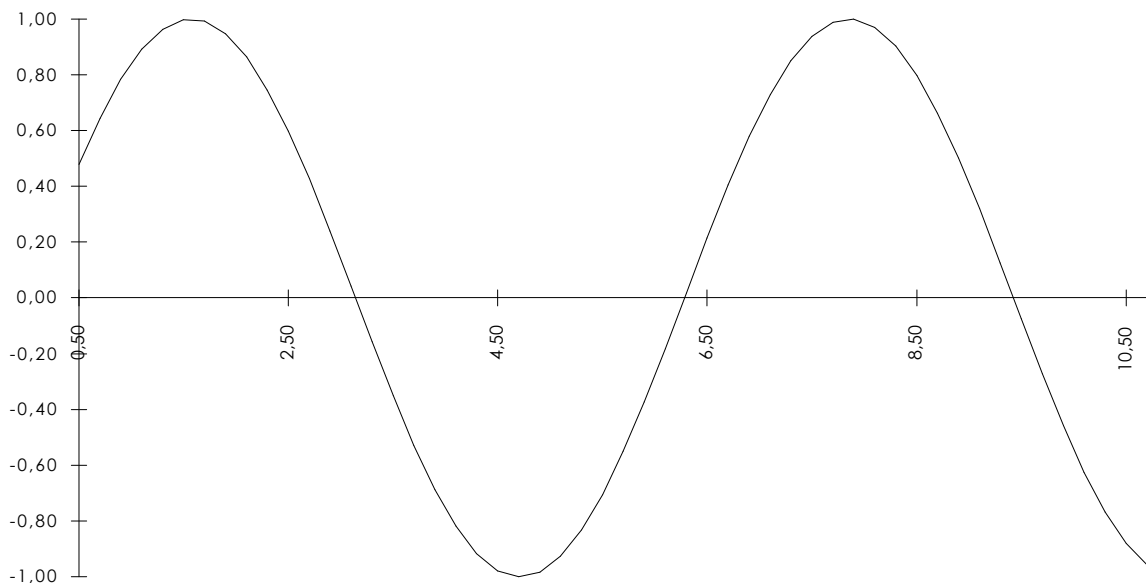
Le traitement commence par le remplissage d'une mémoire de taille donnée (généralement une puissance de 2. Par exemple, un bloc de $N = 1024 = 2^{10}$ échantillons temporels) qui sera la base temporelle d'analyse. Ces N échantillons temporels sont ensuite passés dans un algorithme de calcul FFT. Ce circuit spécialisé (matériel + logiciel) calcule en fait une transformée de FOURIER rapide (Fast Fourier Transform en anglais) qui est un processus optimisé en fonction du matériel utilisé, du nombre d'échantillons temporels dans le bloc, du type et du nombre de mémoires en présence, etc.

Mais à nouveau, un petit problème physique se pose.

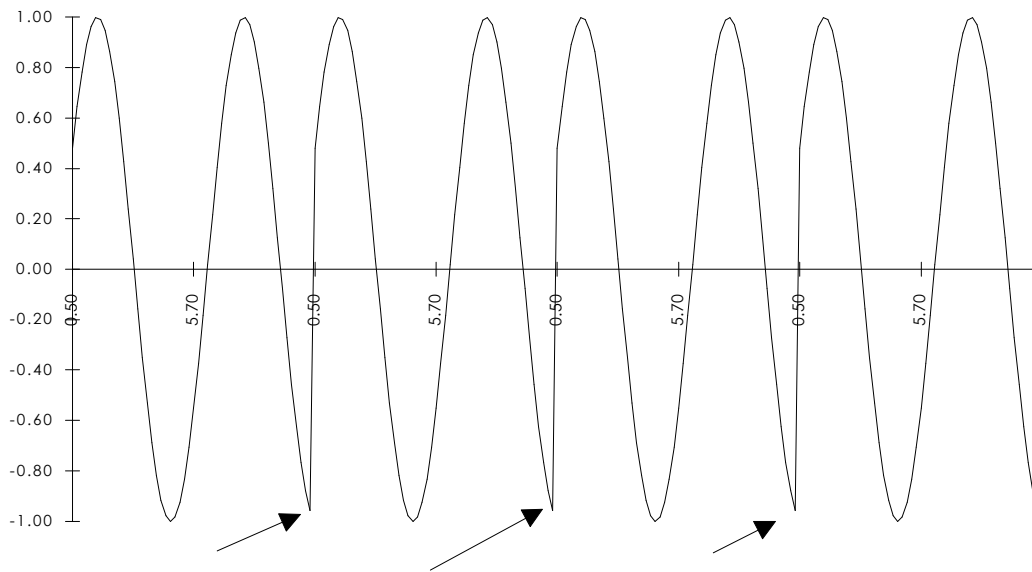
En effet, le signal que l'on cherche à mesurer est un signal physique, réel, non prédictible. Il est à priori non périodique, et même s'il l'était, sa période ne serait pas celle définie par la fréquence d'échantillonnage que nous avons choisi (en fait de période N/F_e = longueur du bloc temporel; avec N = nombre de points dans le bloc de calcul et F_e = fréquence d'échantillonnage).

Monsieur le baron Fourier nous indique dans ces formulations de travailler sur un temps infiniment long, sauf si la fonction est périodique. Aucune mémoire n'est suffisamment importante pour accueillir la totalité du signal !. Le fait de limiter la durée d'observation à un bloc de longueur donné entraîne comme conséquence de considérer notre signal comme périodique, de période égale à la durée d'observation (la longueur du bloc temporel).

Voyons cela sur un schéma :



On pense analyser cela!



On analyse en fait cela!

Cette périodisation artificielle crée des discontinuités dans le signal temporel. De telles discontinuités dans le domaine physique correspondent à des énergies infinies. Le résultat du calcul étant l'énergie contenue dans chacune des bandes, on comprend aisément que le résultat soit entaché d'erreur !.

Heureusement, si l'on peut dire, on ne travaille pas sur un signal continu mais sur un signal numérisé, ce qui fait que la discontinuité ne se traduit pas par un saut à énergie infinie mais par un saut de pente plus ou moins raide, donc une énergie plus ou moins importante qui vient s'ajouter au signal. L'erreur commise est alors proportionnelle à la "hauteur" de la discontinuité qui n'est plus que le fruit du hasard.

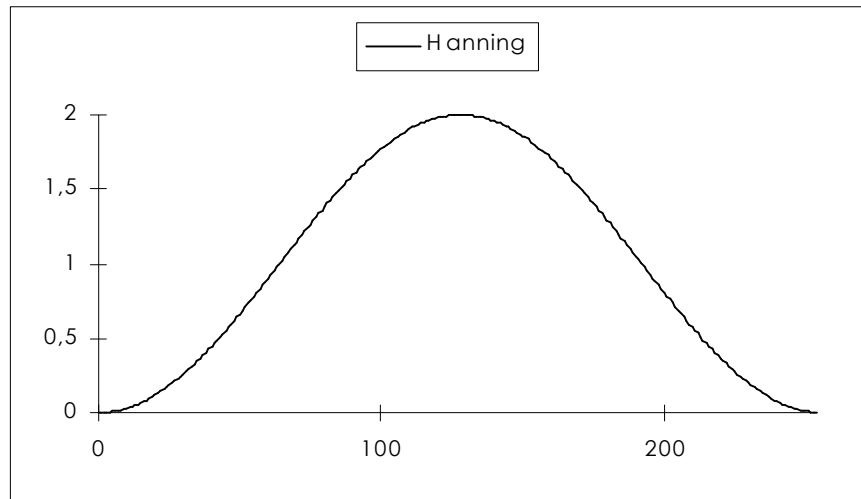
En fait on vient de regarder notre signal avec une fenêtre rectangulaire, c'est à dire que l'on a ouvert les yeux de l'analyseur à un moment donné dans la vie du signal, que ses yeux sont restés ouverts pendant la durée d'observation et que brutalement, ils se sont refermés à la fin de l'observation. L'analyseur a taillé dans le vif le signal. Il n'a respecté aucune périodicité.

Pour éviter les dégâts d'une telle fenêtre, certes simple à imaginer mais avec des conséquences fâcheuses sur l'estimation de l'énergie portée par le signal, on impose à l'analyseur de regarder le signal de façon différente, "en douceur". D'autres fenêtres temporelles sont alors utilisées.

A quoi vont elles servir ? A rendre le signal périodique sur la durée d'analyse.

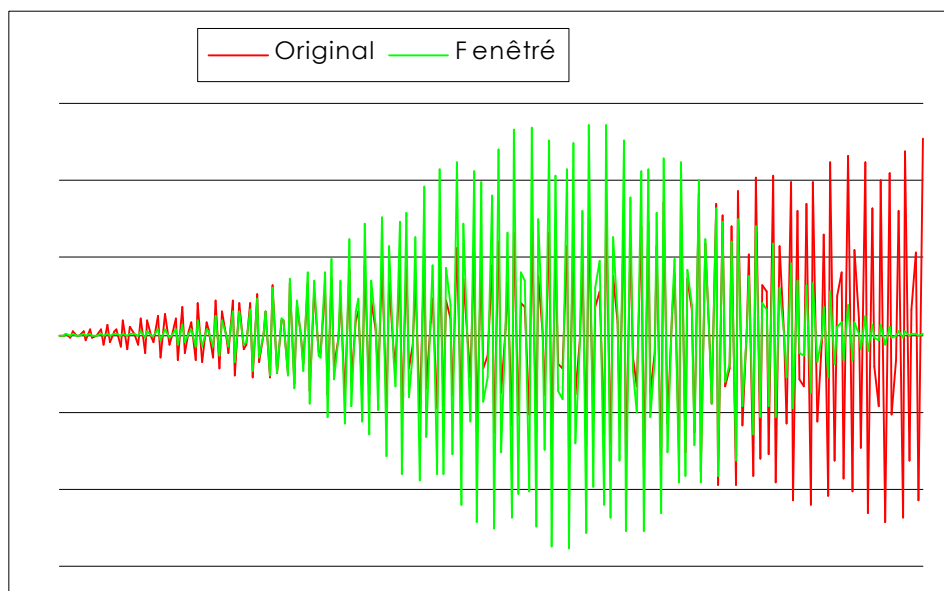
Pour ce faire on va multiplier le signal temporel dans la mémoire par une fonction temporelle périodique, de période égale à la durée d'examen du signal, qui commence par 0 et fini par 0.

En voici un exemple :



La fenêtre de Hanning

Partant de 0 et arrivant à 0 elle rend bien notre signal périodique sur la durée d'examen sans discontinuités brutales, bien qu'elle le déforme comme le montre le graphe ci dessous.



Effet de la fenêtre de Hanning sur une fonction

La définition d'une fonction utilisable en tant que fenêtre de pondération répond à la recherche du compromis suivant :

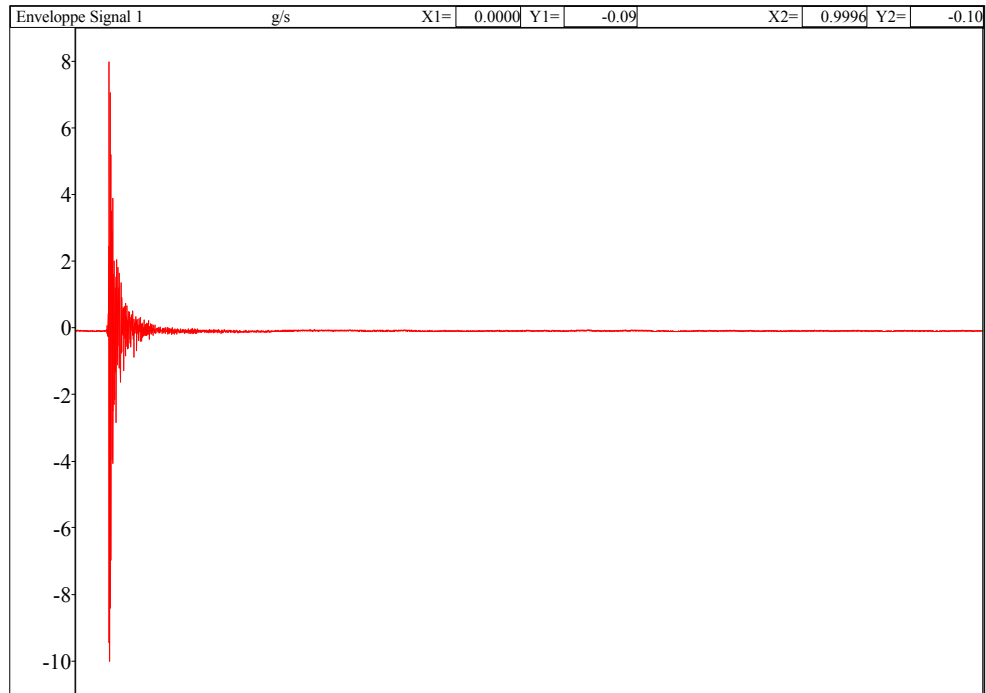
- Elle doit suffisamment déformer le signal temporel pour le rendre périodique.
- Elle doit respecter suffisamment le signal pour que les résultats trouvés restent réalistes.

De nombreux "mathématiciens" se sont penchés sur le problème et ont définis un certain nombre de fenêtres temporelles répondant à ce compromis en optimisant l'erreur maximale commise sur le niveau mesuré et la résolution fréquentielle. Les fenêtres seront donc à choisir en fonction du type de signal analysé et du compromis désiré.

2.5.1.Fenêtre rectangulaire

C'est la plus simple, Elle correspond en fait à aucune pondération.

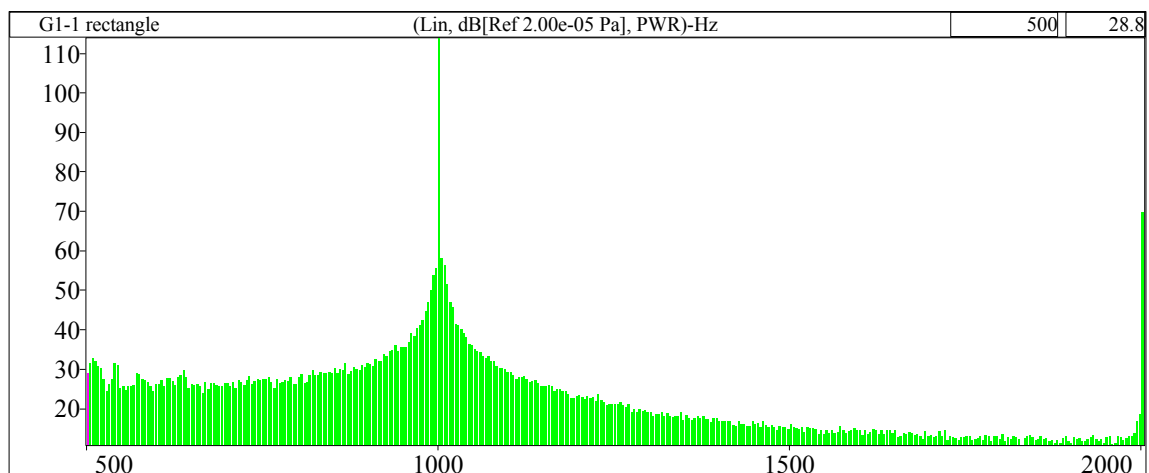
Elle n'est à utiliser que dans les cas où la totalité du signal peut être incluse dans la mémoire de calcul, c'est à dire des signaux très courts, qui partent de 0 et arrivent à 0, comme par exemple les signaux impulsionnels.



Exemple de signal impulsionnel

Le signal n'est pas déformé.

Dans le cas d'un signal périodique de longueur supérieure à la fenêtre, la valeur de fréquence est respectée, mais l'amplitude peut varier de manière importante suivant la valeur de la fréquence vraie du phénomène par rapport à la résolution fréquentielle de l'analyse (voir l'effet palissade).



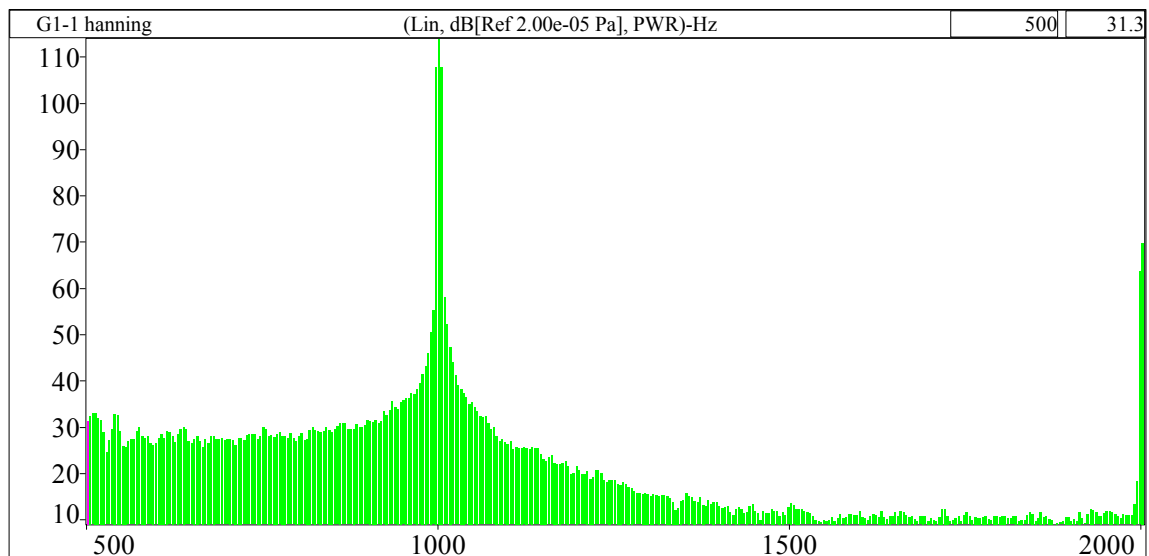
Spectre obtenu avec Rectangulaire

2.5.2.Fenêtre de Hanning

C'est de loin la fenêtre la plus utilisée.

Elle est à utiliser pour l'analyse des signaux pseudo-stationnaire (par exemple le bruit d'une machine).

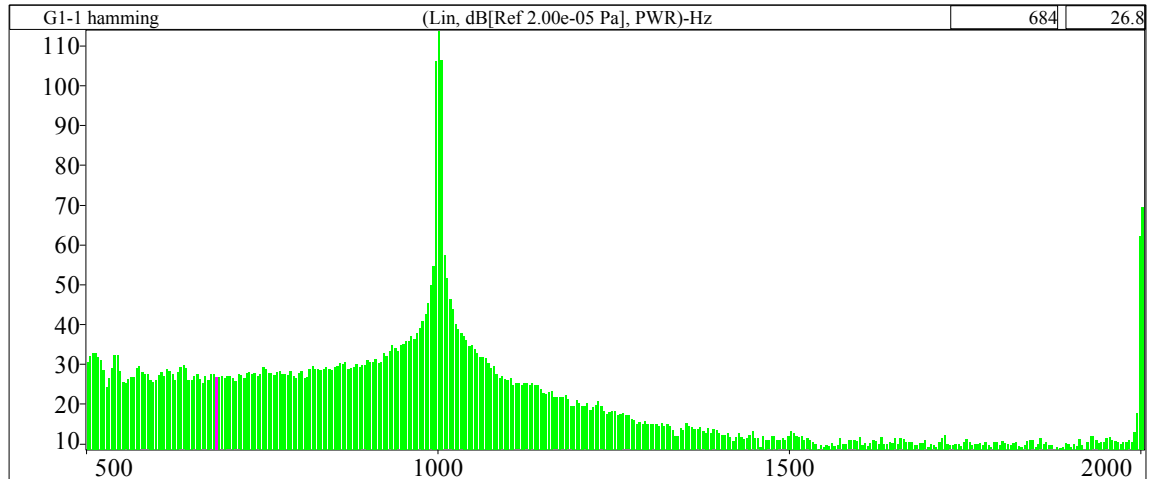
C'est celle qui optimise le mieux le compromis résolution fréquentielle / résolution en amplitude (qui sont antinomiques voir paragraphe 2.9).



Spectre obtenu avec Hanning

2.5.3.Fenêtre de Hamming

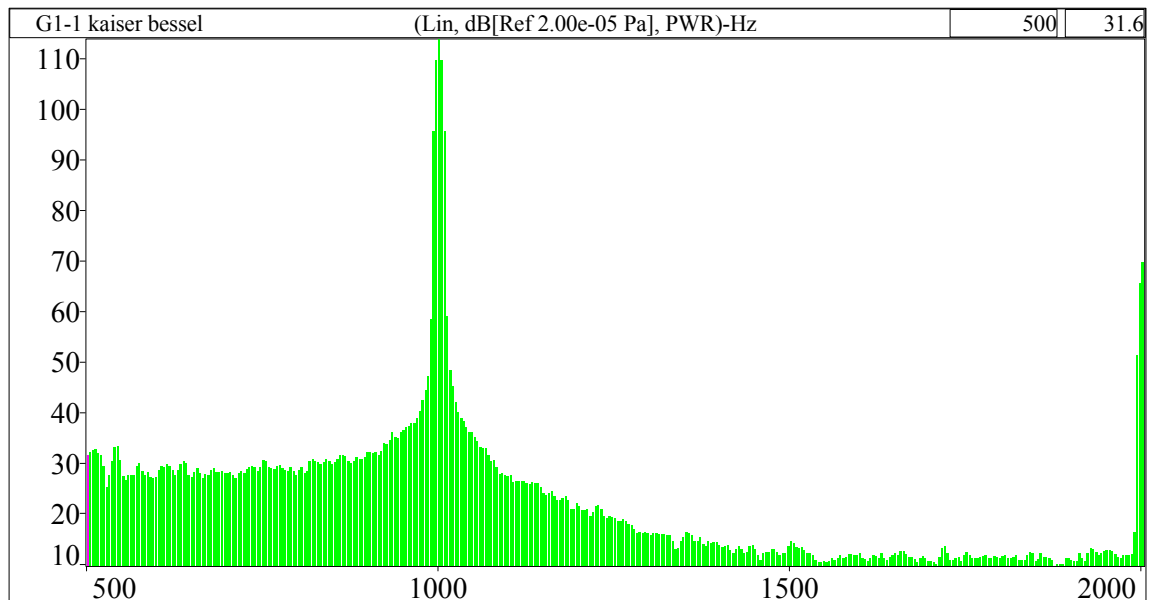
La fenêtre de Hamming est dérivée de la fenêtre de Hanning (même utilisation) mais l'accent a été mis sur la résolution fréquentielle (donc au détriment de la résolution en amplitude). Elle est à conseiller lors de la recherche de la fréquence "exacte".



Spectre obtenu avec Hamming

2.5.4.Fenêtre de Kaiser-Bessel

La fenêtre de Kaiser-Bessel est l'optimisation inverse de Hamming dans le sens où est la résolution en amplitude est optimisée (au détriment de la résolution fréquentielle). Elle est à conseiller lors de la recherche du niveau "exacte".

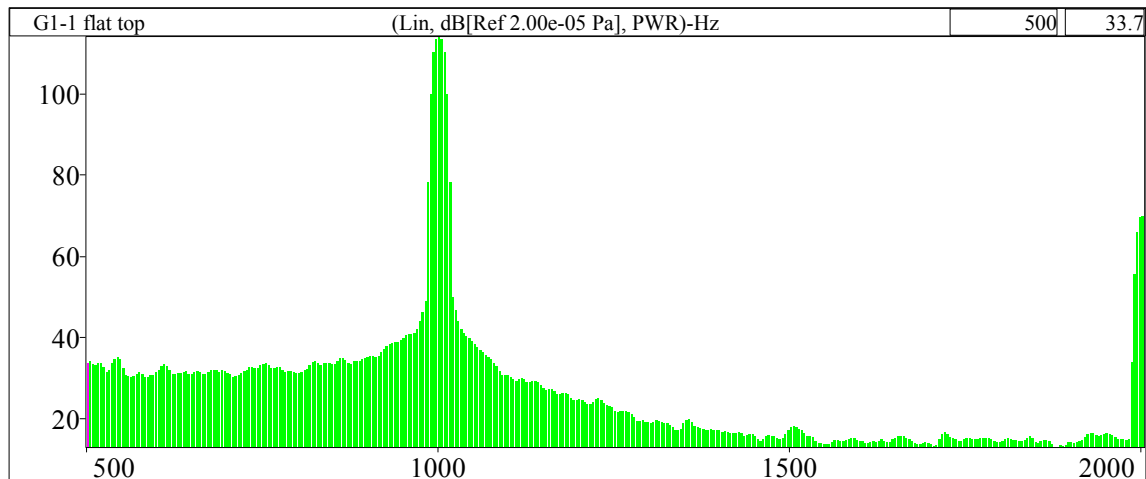


Spectre obtenu avec Kaiser-Bessel

2.5.5.Fenêtre Flat Top

C'est la seule fenêtre qui donne l'amplitude exacte d'une raie de mesure. Par contre, sa résolution fréquentielle est très mauvaise, ce qui interdit toute utilisation lorsque le spectre est composé de plusieurs fréquences caractéristiques proches les unes des autres.

C'est une fenêtre à utiliser pour l'étalonnage.



Spectre obtenu avec Flat Top

2.5.6.Résumé

En résumé, le tableau suivant montre les caractéristiques essentielles de chaque fenêtre temporelle couramment utilisée.

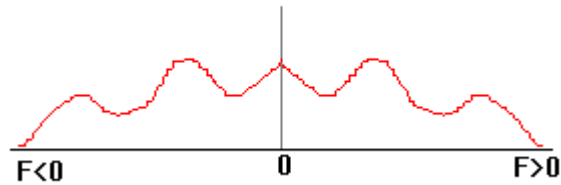
| Fenêtre | Bruit* | Erreur max. (dB) | Utilisation |
|---------------|--------|------------------|--|
| Rectangulaire | 1 | 3.9 | Tout le signal entre dans un bloc temporel |
| Hanning | 1.50 | 1.4 | Signal pseudo-stationnaire |
| Hamming | 1.36 | 1.8 | Meilleure résolution en fréquence |
| Kaiser-Bessel | 1.8 | 1.0 | Meilleure résolution en amplitude |
| Flat Top | 3.77 | 0.01 | Etalonnage |

* Largeur de bande passante de bruit (image de la sélectivité fréquentielle).

L'erreur max est fonction de la position de la fréquence vraie du phénomène physique par rapport aux fréquences de calcul régulièrement espacées de la résolution fréquentielle de l'analyse (N/Fe) (voir effet de palissade).

2.6. Résultat du calcul de la FFT

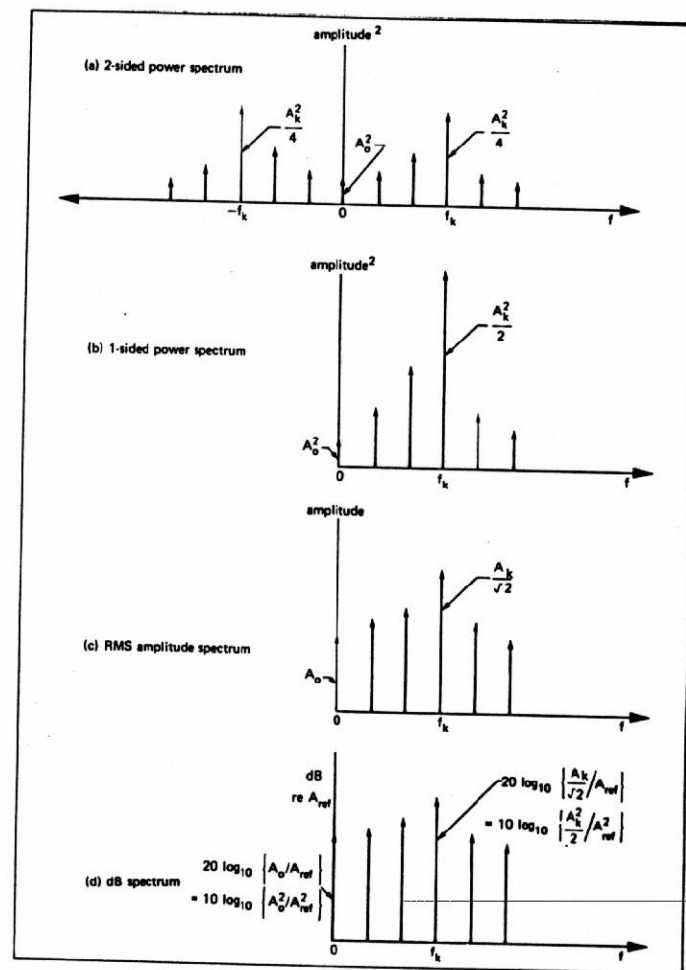
Après toutes les mésaventures arrivées à notre signal, le résultat de calcul est un spectre symétrique (voir ci dessous).



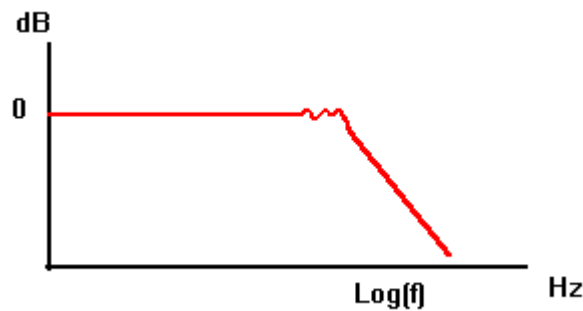
Symétrie de la FFT

Donc 1024 points temporels donne 1024 lignes FFT réparties de part et d'autre de la composante continue. Ne sont retenues que 513 lignes FFT car notre signal temporel est un signal réel. Le résultat est "rabattu" pour obtenir la valeur énergétique de chaque raies (voir ci après).

Spectre Unilatérale



Mais notre signal était passé dans un filtre passe bas très raide (le filtre anti-repliement). Un filtre raide introduit de l'oscillation c'est à dire qu'il entache d'erreur les bandes haute fréquence (voir ci dessous).



Oscillation d'un filtre

Les filtres anti-repliement sur les systèmes d'acquisition 01dB ne possèdent pas cette oscillation. La pente est respectivement de 120 dB/octave (CAN de type sigma delta avec filtre anti-repliement intégré) pour les cartes type dBX et de 160 dB/octave (filtre anti-repliement avant le convertisseur) pour le boîtier CONCERTO.

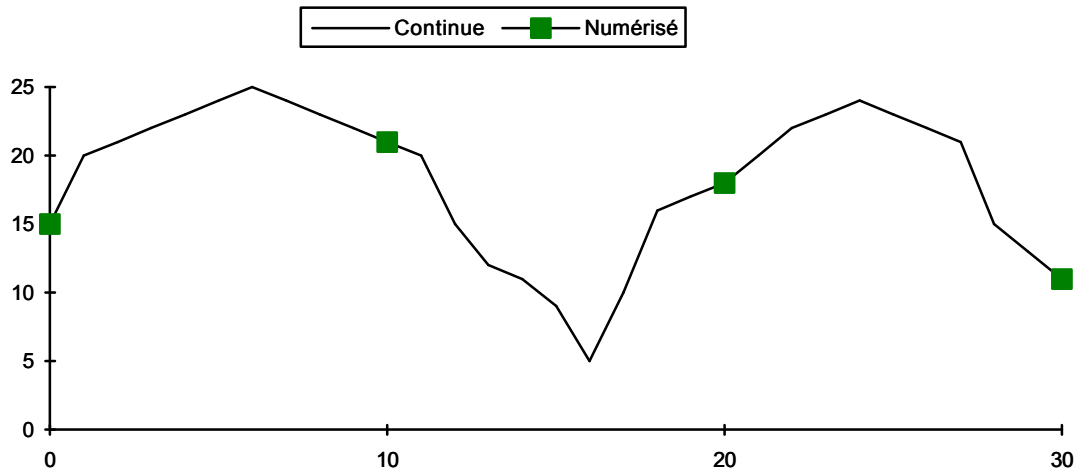
De plus on souhaite ne pas prendre de repliement, il faut donc retirer les raies hautes. Sur les 512 lignes FFT on en retient que 401 ($512 / 2,56$).

Ces relations sont vraies pour tous les analyseurs. Voici par exemple ce que peut faire un analyseur 01dB pour son mode temps différé.

| Nbre de points temporels | Résultat FFT | Lignes retenues |
|--------------------------|--------------|-----------------|
| 256 | 128 | 101 |
| 512 | 226 | 201 |
| 1024 | 512 | 401 |
| 2048 | 1024 | 801 |
| 4096 | 2048 | 1601 |
| 8192 | 4096 | 3201 |

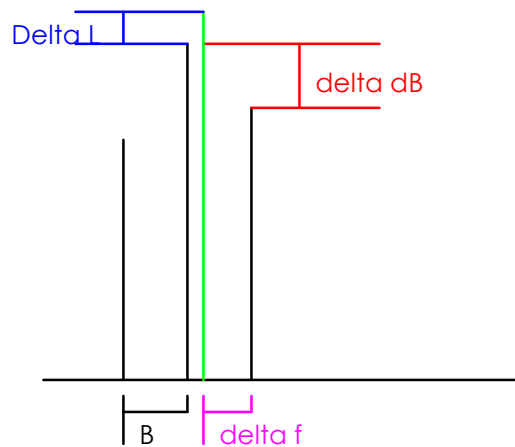
2.7. Effet de palissade

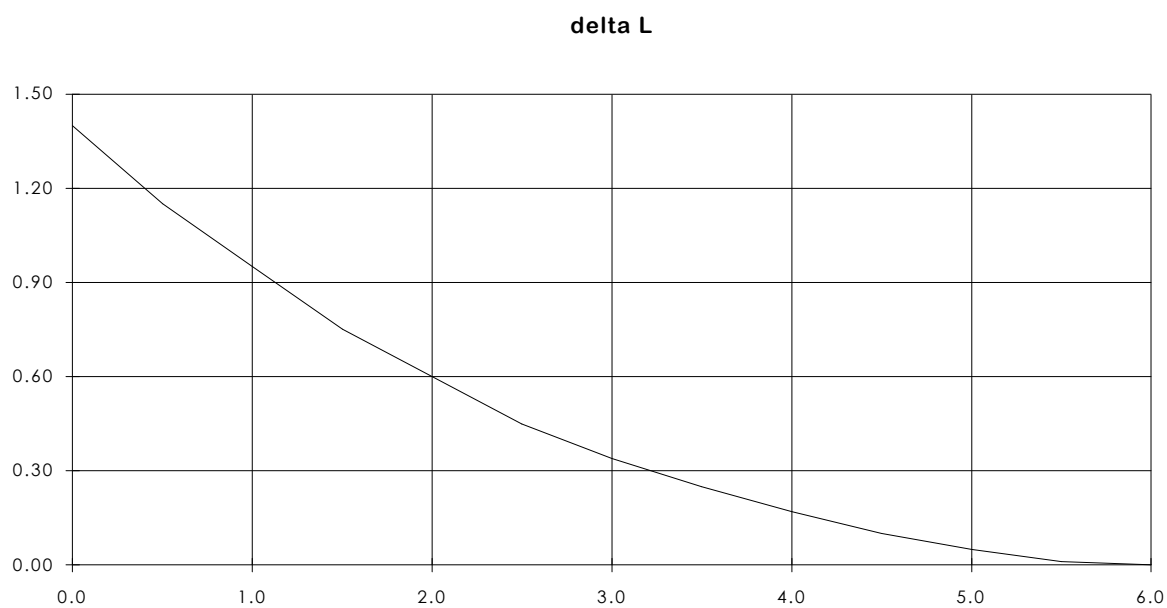
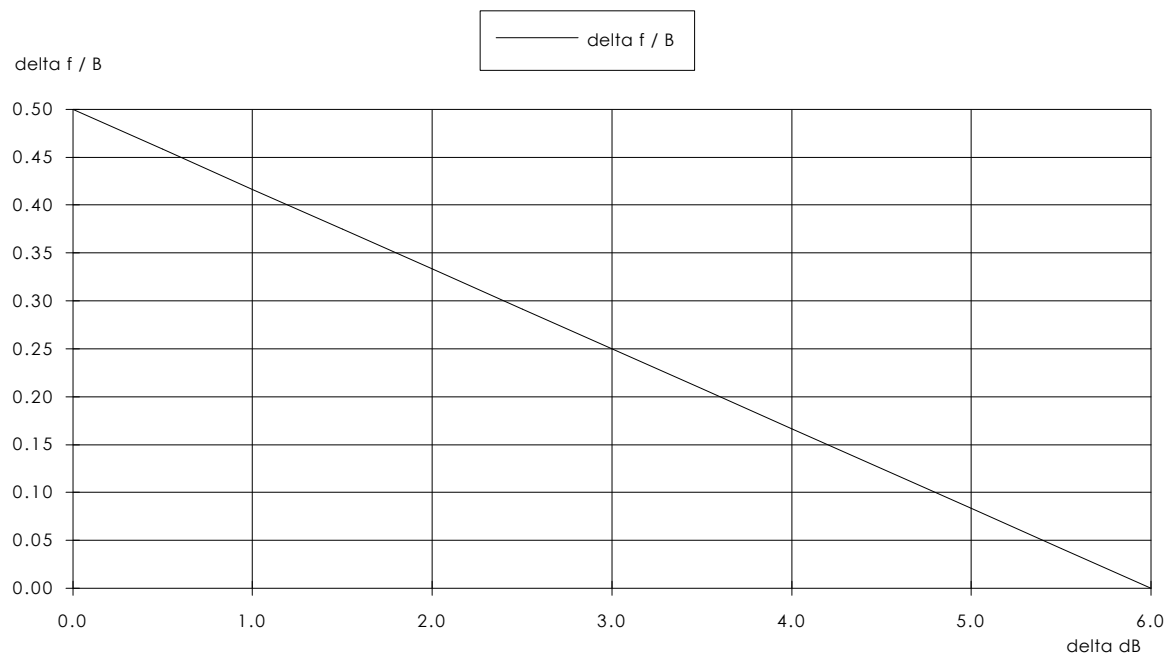
Cet effet est dû au fait que l'on travaille sur un signal numérisé, c'est à dire discret. Les valeurs trouvées sont celles des points calculés. Si un phénomène physique a une manifestation à une fréquence réelle comprise entre deux raies de calcul, sa traduction se fera par une répartition de l'énergie sur les bandes adjacentes.



Effet palissade sur un spectre.

Néanmoins pour un signal périodique, il est possible de retrouver la fréquence vraie et le niveau vrai si l'on connaît le type de fenêtre et la résolution fréquentielle utilisée. Voici par exemple comment faire dans le cas de la fenêtre de Hanning.

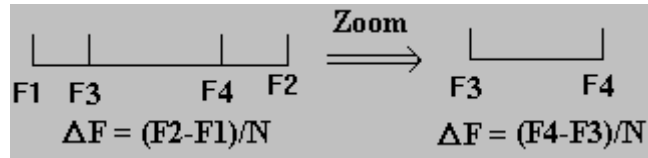




Pour éviter d'avoir à "compenser" l'effet palissade, il est possible par exemple de faire un zoom qui va augmenter la résolution fréquentielle au niveau du pic de mesure et diminuer l'effet palissade.

2.8. Zoom FFT

Cette technique particulière va permettre de concentrer l'analyse fréquentielle sur une zone de fréquence où des précisions sur le contenu énergétique sont recherchées. Le traitement du signal sera un peu plus complexe que d'habitude de manière à présenter à l'algorithme FFT des échantillons représentatifs de la zone de fréquence d'intérêt. Sans rentrer dans les détails de ce traitement, le zoom FFT nécessitera d'observer plus longtemps le signal pour obtenir une meilleure précision fréquentielle.



Le zoom FFT implanté dans les logiciels 01dB utilise la technique de la translation de fréquence.

Le principe de base de cette technique est très simple : il consiste à traduire la gamme de fréquence considérée afin de la centrer autour de 0, d'appliquer un filtre passe-bas et de rééchantillonner le signal afin d'augmenter la résolution

Définition:

F_c : Fréquence centrale de la gamme devant être zoomée

Z_f : Facteur de Zoom. Il représente le facteur de zoom à appliquer pour obtenir la gamme de fréquence désirée. Il est calculé comme suit :

$$Z_f = \frac{\text{Largeur de bande}}{F_{\max} - F_{\min}}$$

Les valeurs F_{\min} et F_{\max} définies par l'utilisateur sont réajustées afin que le facteur de zoom suive une progression géométrique de raison 2. La largeur de bande correspond au spectre de départ (0 Hz - $F_{\text{ech}}/2.56$)

Z_b : Bande passante Zoomée. Il représente la bande passante zoomée et se calcule comme suit : $Z_b = F_{\max} - F_{\min}$

Translation de fréquence: La translation est effectuée en multipliant le signal d'entrée (numérisé) par une fonction exponentielle complexe (vecteur tournant normé à f_c) comme suit :

$$e^{-i2\pi f_c t}$$

Cette opération mathématique translate la gamme de fréquence considérée originellement centrée autour de f_c autour de 0.

Filtrage passe-bas et sur-échantillonnage: La bande passante est réduite à $Z_b/2$ en appliquant un filtre passe-bas. Lorsque le filtrage est effectué, un sur-échantillonnage de facteur Z_f est appliqué. Ce sur-échantillonnage est nécessaire afin d'obtenir au moins $2 \cdot Z_f$ échantillons par périodes de la fréquence maximum considérée (F_{\max}). Le sur-échantillonnage conduit à une réduction de la cadence des spectres d'un facteur Z_f .

Calcul FFT: Une fois que toutes ces opérations sont effectuées, une analyse FFT classique est appliquée produisant un spectre bandes fines centré autour de F_c

Le Zoom FFT par translation de fréquence présente de multiples avantages tels que : facteur de zoom élevé, analyse temps réel, pas de stockage du signal. Cependant, il doit être appliqué à des signaux ayant une bonne stabilité car il doit rester inchangé pendant la période de temps où le spectre zoomé est produit.

2.9. Durée d'examen / résolution fréquentielle

L'un des points faibles de l'analyse FFT réside dans son propre mode de fonctionnement. En effet, avant de pouvoir analyser un signal, il faut remplir la zone mémoire avec les échantillons temporels.

La durée de remplissage de la mémoire va être la durée minimale pendant laquelle il faut observer le signal pour pouvoir l'analyser (c'est à dire sa sélectivité temporelle).

Si on échantillonne à la fréquence F_e et que l'on doit prendre N_e échantillons, il nous faudra attendre un temps $T = N_e/F_e$ secondes (1024 points à 51.2 kHz = 20 ms).

La résolution fréquentielle obtenue est $B = F_e/N_e$ Hz (1024 points à 51.2 kHz = 50 Hz).

Le produit $BT = F_e/N_e * N_e/F_e = 1$.

Si l'on veut mesurer un signal avec une résolution de 1 Hz, il nous faudra l'examiner pendant au moins 1 seconde, avec une résolution de 2 Hz pendant 0.5 s, 0.5 Hz pendant 2 s, et ce quelque soit l'instrument de mesure utilisé.

Les limites de résolution temporelle et de résolution fréquentielle sont données par le produit $BT = 1$.

On ne peut observer un signal fluctuant rapidement avec une bonne résolution fréquentielle.

Il faudra toujours composer entre la résolution fréquentielle (nombre de lignes d'analyse à $F_e = \text{cste}$) et la résolution temporelle (longueur du bloc $1/F_e$).

| Nbre de raies | T(s) | B(Hz) |
|---------------|--------|-------|
| 50 | 0.0025 | 400 |
| 100 | 0.0050 | 200 |
| 200 | 0.01 | 100 |
| 400 | 0.02 | 50 |
| 800 | 0.04 | 25 |
| 3200 | 0.16 | 6.25 |

Exemple de sélectivité pour $F_e = 51.2$ kHz et $F_{\text{max}} = 20$ kHz

Pour l'analyse de phénomènes fortement fluctuant ou de durée très courte, il faudra utiliser d'autres techniques d'analyse (Transformée de Fourier Court Terme, Ondelettes, Wigner ville, etc...) qui feront l'objet d'un autre stage de formation.

2.10.Moyennage

Ce qui sort du calcul de la FFT est un "spectre instantané". Ce spectre instantané ne représente qu'une partie de la vie énergétique du signal en fonction de la fréquence.

En pratique, un moyennage sur les spectres instantanés est effectué pour obtenir un "auto spectre" noté G1-1. En fait, on regarde le signal plus longtemps (comme le disait FOURIER) et l'estimation de l'énergie s'en trouve améliorée. Bien entendu, cette estimation va dépendre de la nature même du signal (voir en annexe classification des signaux).

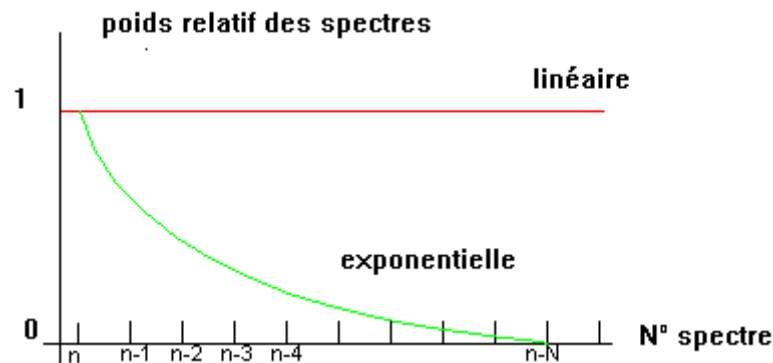
2.10.1.Moyennage linéaire :

Chaque spectre instantané est compté avec un poids identique dans la moyenne. Le résultat est le niveau énergétique total contenu dans chaque bande d'analyse (raie FFT) pendant la durée de mesure (équivalent d'un Leq).

2.10.2.Moyennage exponentiel :

Le dernier spectre instantané entré à un poids équivalent aux n premiers spectres instantanés mesurés. Il s'agit en fait d'une moyenne glissante dont le lissage est assuré par le nombre de moyennes choisies (équivalent d'un SPL Fast ou Slow).

Le schéma ci dessous résume ces deux types de moyennage



2.10.3.Max. par bandes

Il s'agit de retenir pour chacune des bandes de calcul le niveau maximum obtenu pour chaque spectre du moyennage.

2.10.4.Max. Lin

Il s'agit de retenir parmi les N spectres du moyennage celui qui donne le niveau global Linéaire le plus important.

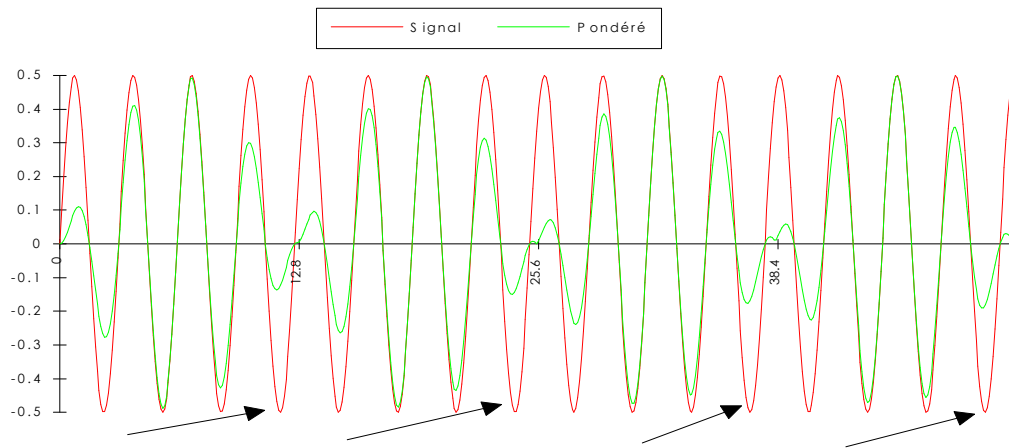
2.10.5.Max. A

Il s'agit de retenir parmi les N spectres du moyennage celui qui donne le niveau global pondéré A le plus important.

2.11. Recouvrement

Nous avons vu que la fenêtre temporelle modifie notre signal temporel notamment au début et à la fin du signal.

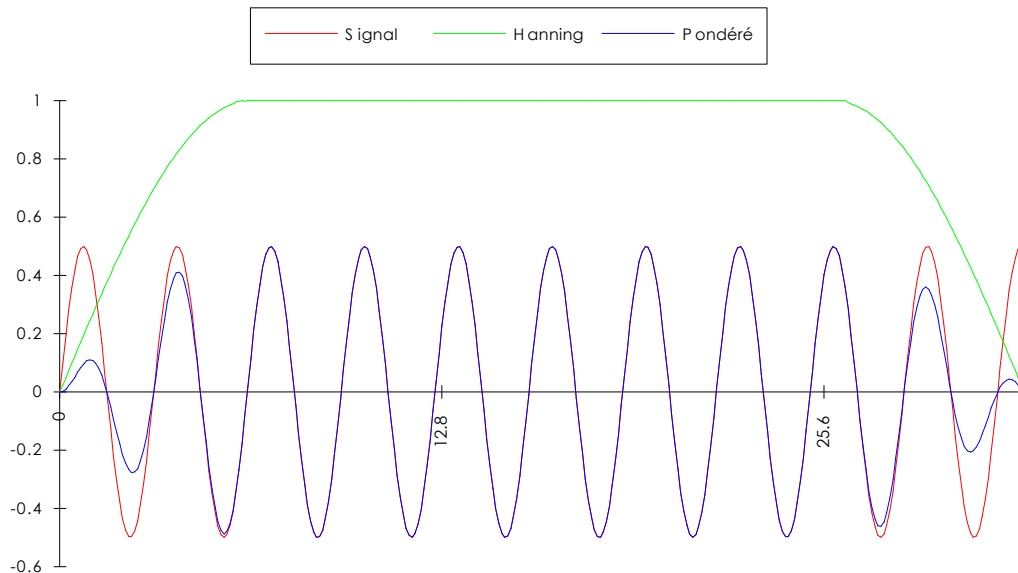
Si l'analyse est faite en prenant des blocs immédiatement voisins les uns des autres voici ce qui se passe :



Hanning 0% recouvrement

Tous les échantillons temporels ne sont pas pris avec le même coefficient de pondération. Il y a donc des zones qui sont comptées moins que d'autres (zones de début et de fin de fenêtre temporelle qui par construction débutent et finissent par 0). Si un phénomène de fort niveau arrive lors d'une de ces zones, il n'est pas pris en compte correctement.

Pour éviter cela, on recouvre les zones d'examen les unes par rapport aux autres de façon à ce que chaque échantillon soit compté avec au total un poids équivalent.



Hanning recouvrement 66%

Seul un recouvrement adapté à la fenêtre utilisée peut vous garantir une bonne mesure.

A titre indicatif, voici pour les fenêtres les plus courantes, les recouvrements à utiliser qui en théorie donne un résultat correcte et ceux choisis par la plus grande majorité des utilisateurs.

| Fenêtre | Théorique | Pratique |
|---------------|-----------|----------|
| Hanning | 66 | 50/75 |
| Flat Top | 50 | 50/75 |
| Rectangulaire | 0 | 0 |

2.12.PWR, RMS, PSD, ASD, ESD.

Afin de bien comprendre ces notions, nous ferons une analogie avec le domaine électrique. Lorsque vous voulez indiquer ce qui est disponible sur une prise électrique vous dites "c'est du 220 volts" et vous parlez de la valeur efficace électrique disponible. Si vous voulez donner un peu plus d'information sur la puissance disponible, vous dites "c'est du 220 v 16 a (soit 3520 watt)" et vous parlez alors en puissance.

Dans le domaine de la mesure du bruit et des vibrations, on peut aussi s'intéresser à la valeur efficace (RMS) ou à la puissance (PWR) d'un signal.

2.12.1. RMS

Root Mean Square (Racine carrée de la moyenne des carrés ou valeur efficace).

$$\text{Valeur efficace (RMS)} = \left(\frac{1}{T} \int_0^T x^2(t) dt \right)^{\frac{1}{2}}$$

La valeur efficace est l'image de l'énergie contenue dans un signal. Elle est exprimée en unité physique (m/s^2 , m/s , m ou g pour les vibrations par exemple). Elle est très bien adaptée pour les composantes déterministes du spectre (raies pures).

2.12.2. PWR

Power (Puissance).

$$\text{Power} = (\text{Valeur efficace})^2$$

Le niveau de puissance est l'image de la puissance contenue dans le signal. Elle est exprimé en unité physique au carré (g^2 par exemple). Elle est très bien adaptée pour les composantes déterministes du spectre (raies pures).

Il est donc normal de ne pas lire les mêmes niveaux exprimés en unité physique RMS et PWR. Par contre ils sont identiques quand ils sont exprimés en dB,

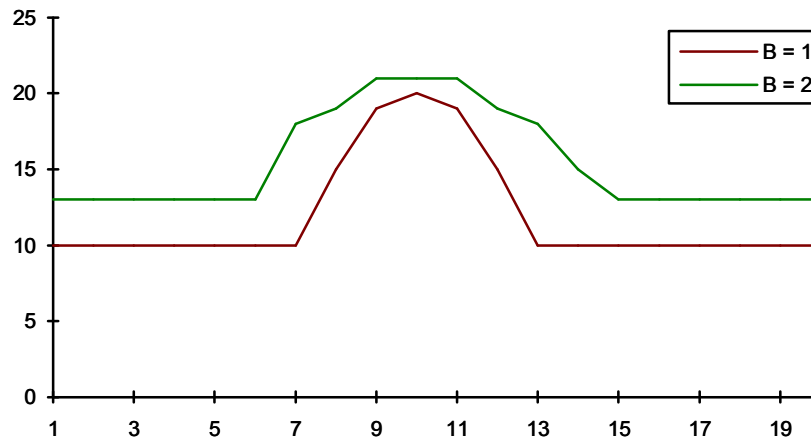
$$\text{car } 20 \log_{10} (P/P_0) = 10 \log_{10} (P^2/P_0^2).$$

2.12.3. PSD

Power Spectral Density (Densité Spectrale de Puissance)

Lorsque l'on veut comparer deux mesures faites dans des conditions différentes, on est très vite confronté à la l'influence de la largeur de bande d'analyse sur l'amplitude d'une raie de mesure.

En effet, la totalité de l'énergie réelle du signal est réparties sur plusieurs bandes (effet de fenêtre et de palissade). Si ces bandes n'ont pas la même largeur, la répartition sera différente (voir ci dessous).



Effet de la largeur de bande

Pour éviter ce genre d'influence, il suffit de ramener le niveau mesuré à celui que l'on trouverait avec une largeur de bande de 1 Hz (il suffit de diviser par B).

$$\text{PSD} = \text{Power} / B$$

C'est l'image de la puissance en densité spectrale. L'unité est exprimée en U^2 / Hz (exemple g^2 / Hz).

Cette unité est adaptée aux signaux aléatoires stationnaires.

2.12.4. ASD

Amplitude Spectral Density (Densité Spectrale d'Amplitude).

$$\text{ASD} = \text{PSD}^{1/2}$$

C'est l'image de la valeur efficace en densité spectrale pour un signal non impulsionnel. Elle est exprimée en $(U^2 / \text{Hz})^{1/2}$.

2.12.5. ESD

Energy Spectral Density (Densité spectrale d'énergie)

$$\text{ESD} = \text{PSD} * \text{Temps d'observation}$$

C'est l'image de l'énergie contenue dans un signal transitoire qui par définition commence et finit par 0. Elle est exprimée en $(U^2 * s / \text{Hz})^{1/2}$. En effet, ce type de signal contient une quantité finie d'énergie. Il ne peut être caractérisé en terme de puissance qui sera dépendante de la longueur d'enregistrement.

2.13. Notion de temps réel

On parle d'analyse en temps réel lorsque la totalité du signal examiné est analysé par l'instrument. Tant que l'on reste temps réel, aucun événement ne peut nous échapper et l'on peut décrire de façon correcte le phénomène examiné.

Dés que l'on dépasse cette fréquence, des parties du signal temporel peuvent échapper à l'analyse et le résultat de calcul peut être fortement faussé.

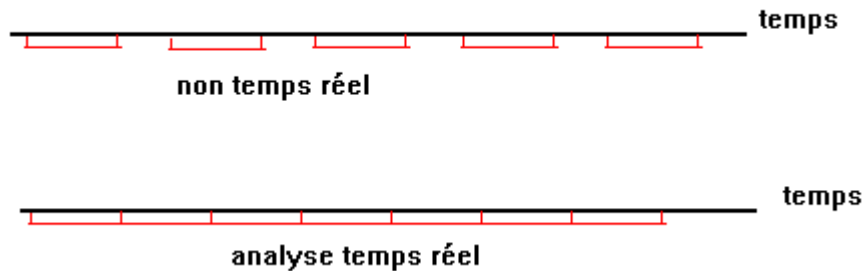


Illustration de la notion de temps réel

Pour être temps réel, l'analyseur doit calculer plus vite qu'il n'acquière le signal temporel (jonglage entre les 2 buffers d'entrée).

La durée de remplissage dépend de la fréquence d'échantillonnage, du nombre de raies d'analyse (donc du nombre de points du signal temporel) et du recouvrement. Plus on monte en fréquence, plus ce temps est court.

La durée de calcul dépend du nombre de voies de mesure, du type de calcul à effectuer et du nombre de raies de calcul. Ce temps est fixe pour ces paramètres fixes.

Il y a donc un moment où le temps d'acquisition devient égal au temps de calcul : c'est la fréquence temps réel.

Un certain nombre de paramètres extérieurs peuvent venir perturber ce temps de calcul comme par exemple l'affichage du résultat (sur les systèmes mono-tâche ou monoprocesseurs).

Il est donc important de savoir quelles sont les performances temps réel d'un système et dans quelles conditions elles ont été obtenues.

Attention à ne pas confondre cette notion avec la fréquence maximale à laquelle peut travailler l'analyseur. Rien n'interdit d'examiner un signal jusqu'à 20 kHz avec une fréquence temps réel de 5 kHz. Seul 1/4 du signal sera examiné, mais on peut le faire !

Attention aussi à ne pas confondre cela avec l'analyse en temps différé. En effet, on peut être temps réel 20 kHz lors d'une analyse temps différé car sur un signal correctement enregistré, on peut prendre le temps de calculer les spectres en prenant compte tous les échantillons temporels.

Les systèmes 01dB vous offrent une sécurité absolue côté temps réel car leurs performances sont telles que vous serez toujours temps réel, quoi qu'il arrive.

2.14.Conclusion

L'analyse FFT est utilisée pour la description du signal temporel dans le domaine fréquentiel avec une résolution fréquentielle constante sur une échelle linéaire de fréquence. La résolution peut être très fine pour chercher avec précision les composantes périodiques des signaux acoustiques ou vibratoires. L'analyse FFT est une opération par bloc temporel qui nécessite des compromis permanents (choix de la résolution, de la fenêtre d'observation,.....). Les lectures de niveau sont généralement dépendantes de la fenêtre d'observation. L'aspect temps réel de l'analyse va dépendre de la vitesse des processeurs par rapport à la fréquence d'échantillonnage et le nombre de voies à traiter. Les paramètres suivants sont à retenir:

- **Fréquence d'échantillonnage** = F_e ou F_s . Exprimée en Hz. Cadence à laquelle le signal est regardé par l'analyseur. $F_e = 1/\Delta t$ avec Δt = période ou intervalle d'échantillonnage en seconde (s).
- **Nombre de points temporels du calcul FFT** = N (1024 points par exemple). Nombre d'échantillons temporels utilisés dans le bloc mémoire pour l'algorithme FFT.
- **Résolution temporelle** = T . Exprimée en seconde (s). Longueur du signal nécessaire pour obtenir un spectre instantané ou Longueur du bloc de calcul. $T = N \cdot \Delta t$.
- **Résolution fréquentielle** = B (Bandwidth) ou Δf . Exprimée en Hz. Résolution ou finesse d'analyse du spectre FFT. $\Delta F = 1/T = F_e/N$.

3. Filtrage numérique

3.1. Bref historique

Cette technique de traitement du signal vient de la nécessité d'obtenir des spectres octave ou 1/3 octave pour la mesure acoustique de manière temps réel pour substituer les moyens analogiques souvent séquentiels qui étaient jusqu'à maintenant utilisés. En effet, les signaux acoustiques ne sont généralement pas stables et il était difficile d'avoir une bonne idée du contenu énergétique dans toutes les bandes d'octave en même temps.

En fait, l'analyse en fréquence par bandes tiers d'octave correspond à la résolution fréquentielle de l'oreille humaine.

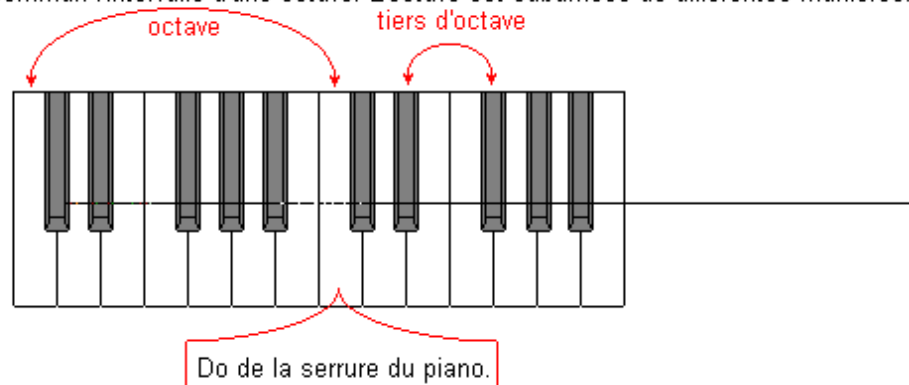
3.2. Principe des filtres par octave et 1/3 d'octave

On utilise également des échelles logarithmiques pour la fréquence, aussi bien en musique qu'en acoustique appliquée.

Ces échelles se basent sur la notion d'intervalle, rapport de deux fréquences.

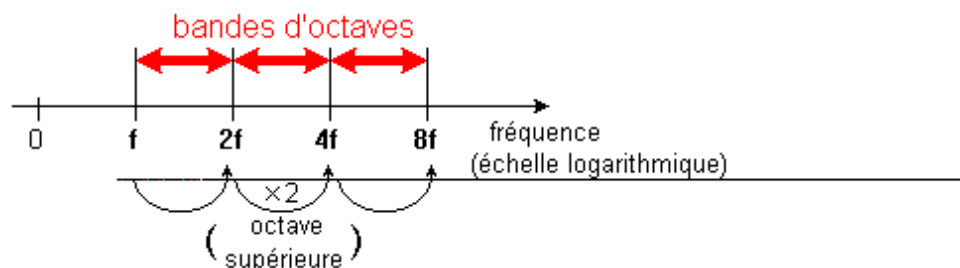
C'est en musique qu'a été introduite la notion d'**intervalle**. Les intervalles musicaux *portent des noms selon la valeur du rapport*.

En musique, les *gammes* sont des échelles de fréquence dont il existe une grande diversité mais ayant pratiquement toutes en commun l'intervalle d'une octave. L'octave est subdivisée de différentes manières.



Le spectre d'un son est composé d'un grand nombre de valeurs de fréquences et des niveaux correspondants. Dans la pratique, pour caractériser le bruit par un ensemble de valeurs réduit, on découpe le domaine des fréquences en bandes d'**octaves** ou de **tiers d'octaves**.

La largeur d'une bande d'octave est telle que sa fréquence supérieure vaut le double de sa fréquence inférieure.

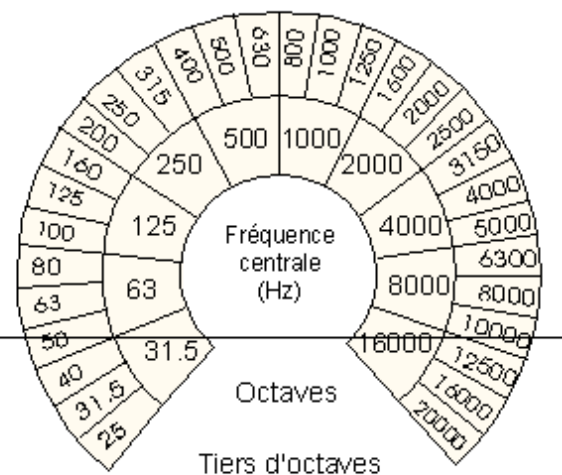


En acoustique appliquée, dans le but de simplifier les procédures de mesures et de permettre la comparaison directe de résultats, on utilise des **fréquences normalisées**.

Celles-ci sont définies par intervalles successifs au-dessous et au-dessus de la fréquence de référence de 1000 Hz.

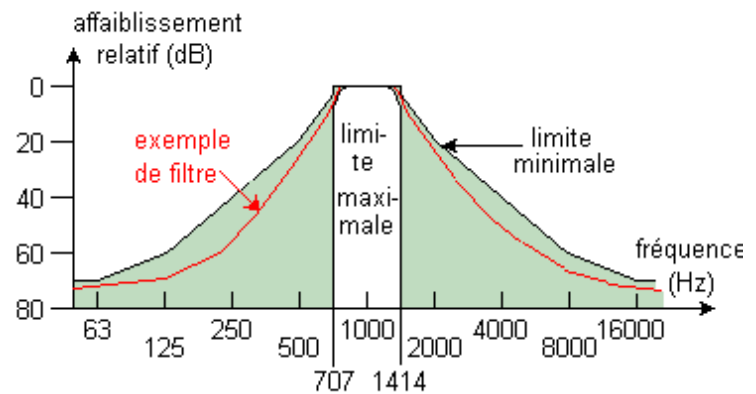
Chaque bande de fréquence normalisée est repérée par sa **fréquence centrale**.

Trois séries sont définies : en octave, en tiers d'octave et en demi-octave. Pour des raisons pratiques, les valeurs sont arrondies.



En acoustique on utilise principalement des **filtres d'octave** ou de **tiers d'octave** : ce sont des filtres dont les bandes passantes sont d'une octave ou d'un tiers d'octave. La **fréquence centrale** d'un filtre est la moyenne géométrique de ses fréquences de coupure. Pour un filtre d'octave elle est donc à une demi-octave des fréquences de coupure, et, pour un filtre en tiers d'octave, à un sixième d'octave.

La figure représente la fenêtre



La figure représente la fenêtre fréquentielle - ou courbe de réponse - d'un filtre d'octave centré sur la fréquence 1000 Hz, avec les limites normalisées minimale et maximale de ce filtre.

3.2.1. Bandes passantes des octaves et tiers d'octaves normalisés

| N° | Désignation | Bande passante tiers d'octave | Largeur | Bande passante octave | Largeur |
|----|-------------|-------------------------------|----------|-----------------------|----------|
| 43 | 20 KHz | 17.8-22.4 KHz | 4600 Hz | | |
| 42 | 16 KHz | 14.1-17.8 KHz | 3700 Hz | 11.2-22.4 KHz | 11200 Hz |
| 41 | 12.5 KHz | 11.2-14.1 KHz | 2900 Hz | | |
| 40 | 10 KHz | 8910-11200 Hz | 2290 Hz | | |
| 39 | 8 000Hz | 7080-8910 Hz | 1830 Hz | 5620-11200 Hz | 5600 Hz |
| 38 | 6 300 Hz | 5620-7080 Hz | 1460 Hz | | |
| 37 | 5 000 Hz | 4470-5620 Hz | 1150 Hz | | |
| 36 | 4 000 Hz | 3550-4470 Hz | 920 Hz | 2820-5620 Hz | 2820 Hz |
| 35 | 3 150 Hz | 2820-3550 Hz | 730 Hz | | |
| 34 | 2 500 Hz | 2240-2820 Hz | 580 Hz | | |
| 33 | 2 000 Hz | 1780-2240 Hz | 460 Hz | 1410-2820 Hz | 1410 Hz |
| 32 | 1 600 Hz | 1410-1780 Hz | 370 Hz | | |
| 31 | 1 250 Hz | 1120-1410 Hz | 290 Hz | | |
| 30 | 1 000 Hz | 891-1120 Hz | 229 Hz | 708-1410 Hz | 708 Hz |
| 29 | 800 Hz | 708-891 Hz | 183 Hz | | |
| 28 | 630 Hz | 562-708 Hz | 146 Hz | | |
| 27 | 500 Hz | 447-562 Hz | 115 Hz | 355-708 Hz | 355 Hz |
| 26 | 400 Hz | 355-447 Hz | 92 Hz | | |
| 25 | 315 Hz | 282-355 Hz | 73 Hz | | |
| 24 | 250 Hz | 224-282 Hz | 58 Hz | 178-355 Hz | 178 Hz |
| 23 | 200 Hz | 178-224 Hz | 46 Hz | | |
| 22 | 160 Hz | 141-178 Hz | 37 Hz | | |
| 21 | 125 Hz | 112-141 Hz | 29 Hz | 89.1-178 Hz | 89.1 Hz |
| 20 | 100 Hz | 89.1-112 Hz | 22.9 Hz | | |
| 19 | 80 Hz | 70.8-89.1 Hz | 18.3 Hz | | |
| 18 | 63 Hz | 56.2-70.8 Hz | 14.6 Hz | 44.7-89.1 Hz | 44.7 Hz |
| 17 | 50 Hz | 44.7-56.2 Hz | 11.5 Hz | | |
| 16 | 40 Hz | 35.5-44.7 Hz | 9.2 Hz | | |
| 15 | 31.5 Hz | 28.2-35.5 Hz | 7.3 Hz | 22.4-44.7 Hz | 22.4 Hz |
| 14 | 25 Hz | 22.4-28.2 Hz | 5.8 Hz | | |
| 13 | 20 Hz | 17.8-22.4 Hz | 4.6 Hz | | |
| 12 | 16 Hz | 14.1-17.8 Hz | 3.7 Hz | 11.2-22.4 Hz | 11.2 Hz |
| 11 | 12.5 Hz | 11.2-14.1 Hz | 2.9 Hz | | |
| 10 | 10 Hz | 8.91-11.2 Hz | 2.29 Hz | | |
| 9 | 8 Hz | 7.08-8.91 Hz | 1.83 Hz | 5.62-11.2 Hz | 5.62 Hz |
| 8 | 6.3 Hz | 5.62-7.08 Hz | 1.46 Hz | | |
| 7 | 5 Hz | 4.47-5.62 Hz | 1.15 Hz | | |
| 6 | 4 Hz | 3.55-4.47 Hz | 0.92 Hz | 2.82-5.62 Hz | 2.82 Hz |
| 5 | 3.15 Hz | 2.82-3.55 Hz | 0.73 Hz | | |
| 4 | 2.5 Hz | 2.24-2.82 Hz | 0.58 Hz | | |
| 3 | 2 Hz | 1.78-2.24 Hz | 0.46 Hz | 1.41-2.82 Hz | 1.41 Hz |
| 2 | 1.6 Hz | 1.41-1.78 Hz | 0.37 Hz | | |
| 1 | 1.25 Hz | 1.12-1.41 Hz | 0.29 Hz | | |
| | 1 Hz | 0.891-1.12 Hz | 0.229 Hz | 0.708-1.41 Hz | 0.708 Hz |
| | 0.8 Hz | 0.705-0.891 Hz | 0.183 Hz | | |

Les spectres octave et tiers d'octave sont donc à largeur de bande relative constante ($\Delta F/F = 70\%$ pour l'octave et 23% pour le tiers d'octave). Les spectres par bandes octave ou tiers d'octave ont donc une échelle logarithmique contrairement aux spectres bandes fines (FFT) à largeur de bande constante ($\Delta F = \text{constante}$; valeur dépendante de la résolution fréquentielle).

3.3. Numérisation (Echantillonnage)

Le principe est identique aux analyses FFT.

3.4. Repliement

Le principe est identique aux analyses FFT.

3.5. Méthode de calcul

L'analyse par filtrage numérique se réalise dorénavant en mode parallèle grâce aux processeurs actuels. Le mode parallèle consiste à calculer l'énergie dans chaque filtre en même temps. Il est ainsi possible de suivre tous les changements du signal et permis d'obtenir le spectre plus vite que les analyseurs séquentielles.

Les filtres numériques utilisés sont communément appelés : filtre récursif à 2 pôles. Le filtrage numérique est un filtre qui agit en continu sur un flux ininterrompu d'échantillons. Il produit un échantillon en sortie pour un échantillon en entrée. Pour produire l'échantillon de sortie, le filtrage numérique tient compte d'un nombre limité d'échantillons précédemment entrés.

3.5.1. Fonctions de transfert des filtres et propriétés

La fonction de transfert d'un filtre numérique récursif à 2 pôles (en utilisant la notation en z) est donnée par la formule suivante :

$$H(z) = \frac{A_0 + A_1 z^{-1} + A_2 z^{-2}}{1 - B_1 z^{-1} - B_2 z^{-2}}$$

où : A_0 , A_1 et A_2 sont les zéros du filtre et B_1 , B_2 sont les pôles du filtre.

Les coefficients définissent les propriétés du filtre telles que : la forme, la bande passante et le type (passe-haut, passe-bas,...). La fréquence de coupure d'un filtre numérique est définie par un coefficient qui représente la fréquence de coupure divisée par la fréquence d'échantillonnage. Un avantage important de ce type de filtre est que les propriétés ne dépendent que de la fréquence d'échantillonnage c.a.d. que lorsque la fréquence d'échantillonnage est modifiée, les propriétés du filtre sont inchangées mais celui-ci fournit des informations dans une autre bande de fréquence.

Lorsque les coefficients sont définis, le filtre donne des informations dans n'importe quelle bande de fréquence de l'axe des fréquences en ajustant la fréquence d'échantillonnage (inférieure à la fréquence maximum d'analyse donnée par la fréquence d'échantillonnage originale et le théorème de Shannon). Cependant, pour des raisons de repliement, il est nécessaire d'appliquer un filtre passe-bas lorsque la fréquence d'échantillonnage est modifiée.

3.5.2. Translation d'un octave vers le bas

Lorsque les propriétés du filtre sont connues, nous savons donc quelles sont indépendantes de la bande passante relative : elles ne dépendent que de la fréquence d'échantillonnage. Ainsi, pour déplacer un filtre d'un octave vers le bas, il suffit d'effectuer un sous-échantillonnage de facteur 2.

3.5.3. Filtre passe-bas (Anti-repliement)

Avant la translation du filtre par modification de la fréquence d'échantillonnage visible, un filtrage passe-bas est effectué afin d'assurer l'anti-repliement.

Le filtre anti-repliement utilisé est un filtre de Butterworth à 10 pôles : c'est en fait une batterie de 5 filtres Butterworth à 2 pôles en série.

3.5.4. Analyse en bande d'octave

La première étape est de définir les coefficients de façon à effectuer une analyse en bandes d'octave (forme, type, bande passante relative,...). Une fois que les coefficients sont connus, le principe de l'analyse en bande d'octave est d'appliquer ce filtre donnant des informations dans la bande supérieure, d'effectuer sur celui-ci un sous-échantillonnage de facteur 2 (avec filtrage passe-bas) puis de recommencer le calcul pour l'octave directement inférieur et ainsi de suite jusqu'à ce que la bande minimum désirée soit atteinte.

Pour le calcul de la bande supérieure, seul le filtre est appliqué sans filtrage passe-bas (il a déjà été appliqué lors de l'acquisition et la fréquence d'échantillonnage est déjà ajustée correctement).

Comme un facteur de sous-échantillonnage de 2 est appliqué, le temps de calcul de la bande supérieure représente au moins la moitié du temps total de calcul pour n'importe quel nombre de bandes.

Tout l'événement physique est pris en compte dans chaque filtre et les échantillons sont distribués à l'algorithme de filtrage passe bande de la manière suivante (exemple pour les bandes d'octave):

Numéro de l'échantillon

| Filtre d'octave | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|-----------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|
| 16 kHz | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X |
| 8 kHz | X | | X | | X | | X | | X | |
| 4 kHz | | X | | | | X | | | | X |
| 2 kHz | | | | X | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |

N échantillons sont pris pour le filtre d'octave le plus haut, puis N/2 pour le filtre d'octave inférieur, puis N/4 pour le filtre d'octave encore inférieur etc.....Aussi, le nombre total d'échantillons à traiter est en fait de $N + N (1/2 + 1/4 + 1/8 + \dots) = 2N$. Cela veut dire qu'il faut autant d'échantillons pour traiter le filtre d'octave supérieur (16 kHz) que tout les autres filtres d'octave.

3.5.5. Analyse en bandes de tiers d'octave

L'analyse en bandes de tiers d'octave est basée sur le même principe que l'analyse en bande d'octave excepté que 3 filtres sont appliqués au lieu de 1.

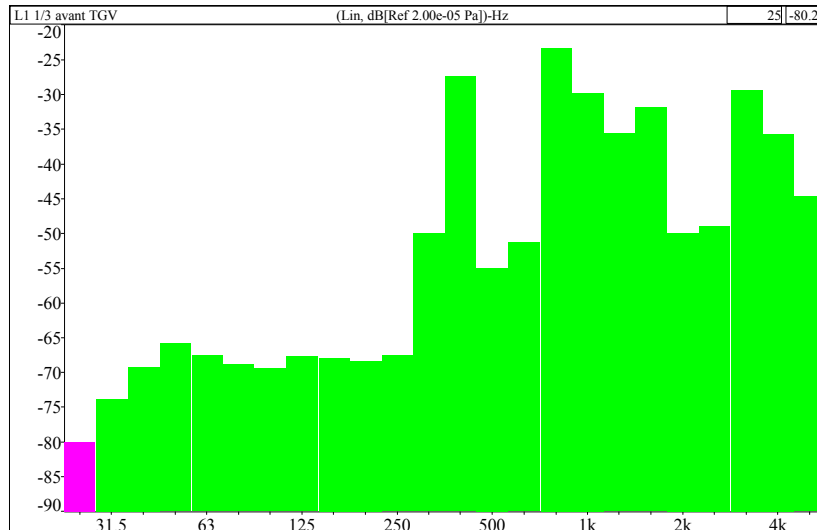
La première étape est donc de définir les coefficients pour les trois filtres afin qu'ils s'appliquent aux tiers d'octave haut, médium et bas d'une bande d'octave.

Lorsque les coefficients des filtres sont connus, le principe de l'analyse en bandes de tiers d'octave est d'appliquer les trois filtres sur le signal (donnant les informations des trois tiers d'octave constituant une bande d'octave), d'effectuer sur celui-ci un sous-échantillonnage de facteur 2 (avec filtrage passe-bas) puis de recommencer le calcul sur le signal sous-échantillonné. Et ceci jusqu'à ce que la bande minimum requise soit atteinte.

En pratique, les filtres récursifs deux pôles sont mis en cascade pour obtenir les pentes nécessaires respectant la normalisation CEI 225. On obtient alors des filtres multipôles.

Le filtrage numérique réalisé dans le mode temps différé des systèmes 01dB se base sur du filtrage de 18 à 20 pôles suivant la fréquence centrale du filtre à traiter. Ceci permet d'atteindre la classe 0 qui est la meilleure du point de vue de la norme.

L'un des nombreux avantages du filtrage numérique est la possibilité de réaliser n'importe quelle pente et n'importe quelle fréquence centrale avec le même principe, en changeant uniquement les constantes de calcul.



Exemple de spectre tiers d'octave

4. Comparaison de la méthode filtrage numérique et de la méthode de synthèse FFT pour l'obtention des spectres octave et tiers d'octave

Les spectres par bandes d'octave et 1/3 d'octave peuvent être obtenus aussi par analyse FFT par recomposition et ceci de manière temps réel (sans perte d'échantillon) même si le calcul est réalisé en temps différé.

Les systèmes 01dB propose les deux techniques. Elles dépendent des moyens mis en oeuvre, c'est à dire des processeurs de signal et de leur micro programmation.

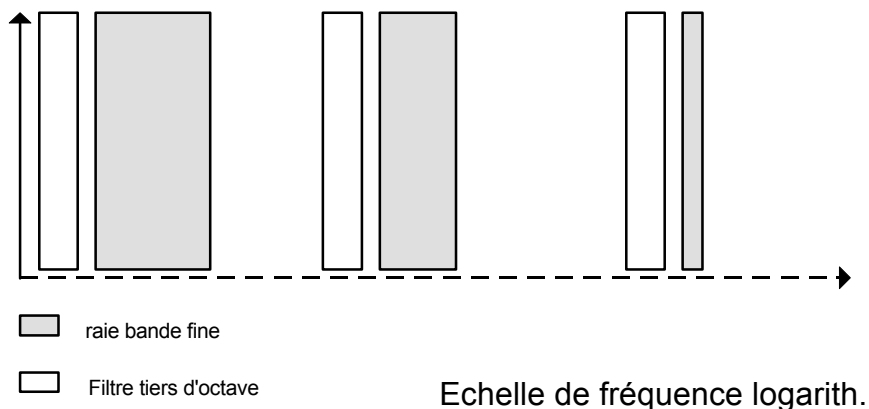
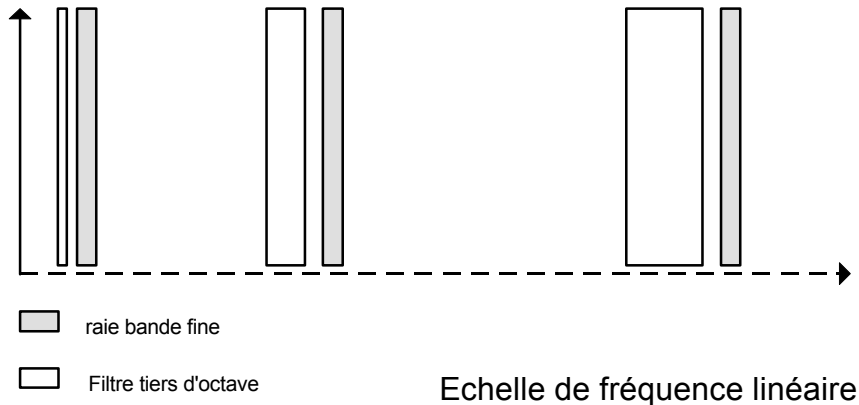
- Synthèse FFT: Avec la méthode FFT, les bandes d'octave ou de tiers d'octave seront synthétisées à partir du spectre de bande fine. Un minimum de lignes par bande étant nécessaire pour calculer une octave ou un tiers d'octave et le nombre maximum de points FFT dépendant du mode de fonctionnement (temps réel ou temps différé, la bande de fréquence la plus basse disponible pour l'analyse est limitée. Cependant, cette méthode est habituellement plus rapide que la méthode par filtrage numérique.
- Filtrage numérique: La méthode par filtrage numérique n'est limitée que par la fréquence d'échantillonnage et la durée du fichier signal. Elle prend généralement plus de temps que la méthode FFT.

| Type de spectre | Mode temps réel (carte dB2+) | Mode temps différé (CPU du PC 486 Dx minimum) |
|---|------------------------------|---|
| FFT | Oui | Oui |
| 1/3 octave et octave par synthèse | Oui en mode 2 et 3 passes | Oui en mode 1 passe |
| 1/3 octave et octave par filtrage numérique | Non | Oui |

Contrairement à l'analyse FFT, le filtrage numérique est un traitement continu c'est à dire qu'il n'y a aucune gestion de bloc et de recouvrement.

De même que l'analyse FFT est bien adaptée pour produire des spectres dont les filtres équivalents sont linéairement répartis sur l'axe des fréquences, le filtrage numérique produit des filtres logarithmiquement répartis sur l'axe des fréquences (octave, 1/3 d'octave, 1/N d'octave).

Pour obtenir un spectre 1/3 d'octave par synthèse FFT, il faut regrouper les lignes du spectre bandes fines par filtre et les pondérer pour être conforme à la norme CEI 225.



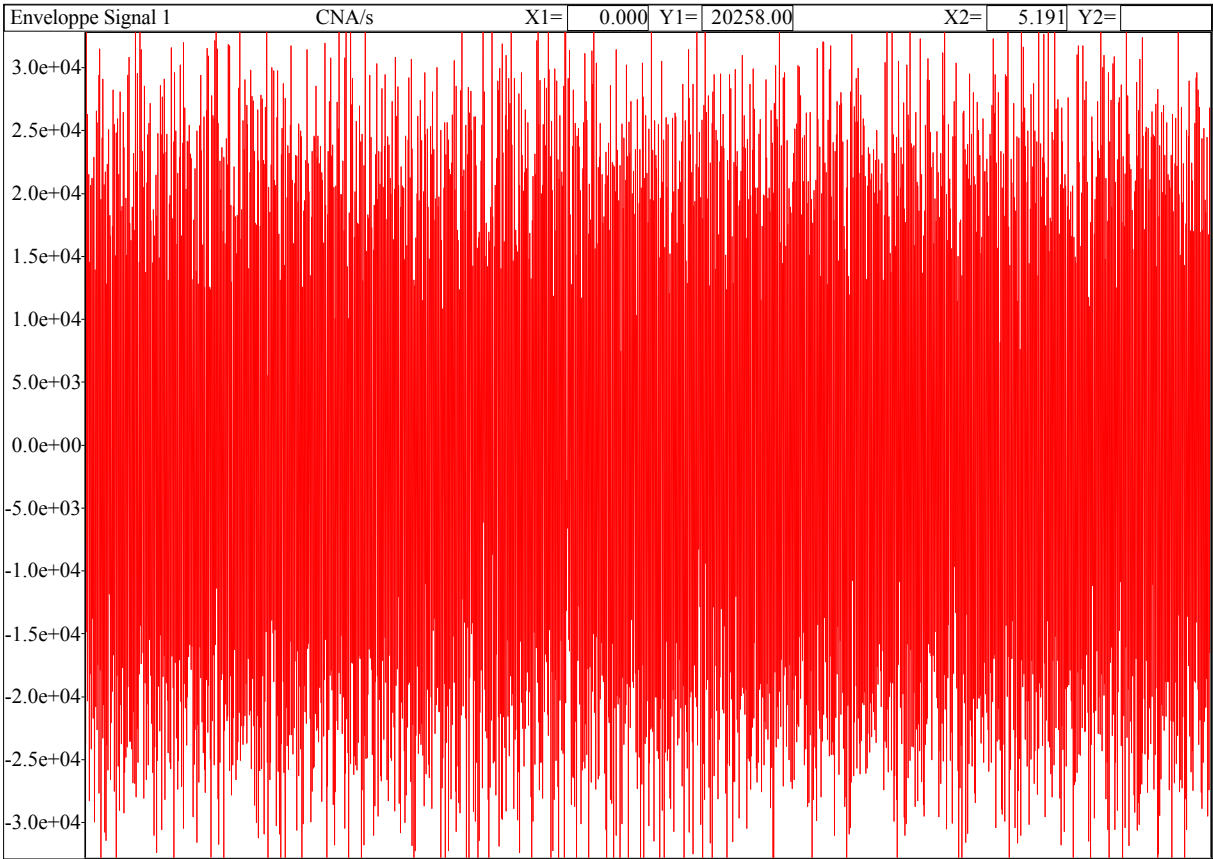
Il est évident qu'il y aura de moins en moins de lignes FFT pour recomposer les tiers d'octave les plus bas en fréquence. Aussi, il n'est pas possible de se contenter d'un seul spectre FFT pour composer un spectre 1/3 d'octave sur plusieurs décades (3 pour un spectre 1/3 octave 20 Hz - 20kHz) sauf s'il comporte de nombreuses lignes FFT.

Les analyses temps réel en octave et tiers d'octave sont recomposées à partir de trois passes FFT simultanées (F_{max} , $F_{max}/8$, $F_{max}/64$) calculées avec une fenêtre de HANNING et un recouvrement de 50%. Les spectres octave et tiers d'octave sont recomposés en temps réel en utilisant au minimum 7 lignes de FFT par bandes de fréquence de façon à décrire correctement la bande de fréquence selon la norme CEI 225. Dans ce cas, 3 décades sont couvertes. Le rafraîchissement du spectre tiers d'octave est lié à la passe FFT de meilleure résolution ($F_{max}/64$) et au recouvrement de 50%. Pour une analyse en tiers d'octave jusqu'à 20000 Hz, il sera de 640 ms.

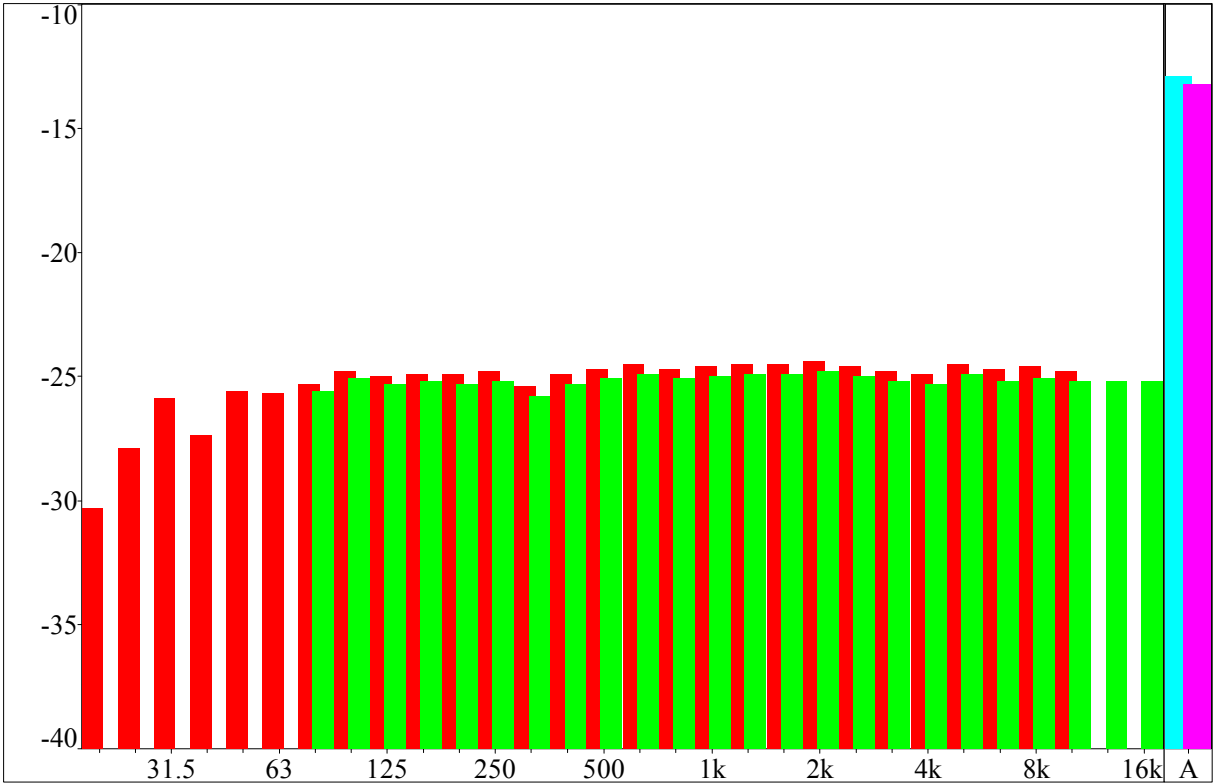
Les analyses temps différé en octave et tiers d'octave (mode synthèse FFT) sont recomposées à partir d'une seule passe FFT comportant un très grand nombre de lignes comme décrit en annexe 3. Les spectres octave et tiers d'octave sont recomposés en temps différé en utilisant au minimum 3 lignes de FFT par bandes de fréquence. Dans ce cas, à peine 3 décades sont décrites. Pour une analyse jusqu'à 20000 Hz, le rafraîchissement du calcul spectral sera de 55 ms en englobant le tiers d'octave 100 Hz.

Y a t'il une différence de résultats sur un spectre tiers d'octave obtenu par synthèse FFT et par filtrage numérique sur un même signal?

Cela va dépendre du type de signal. En fait, il n'y aura aucune différence pour un signal stationnaire.



Signal de bruit rose stationnaire aléatoire



Comparaison des résultats tiers d'octave obtenus par synthèse FFT et par filtrage numérique

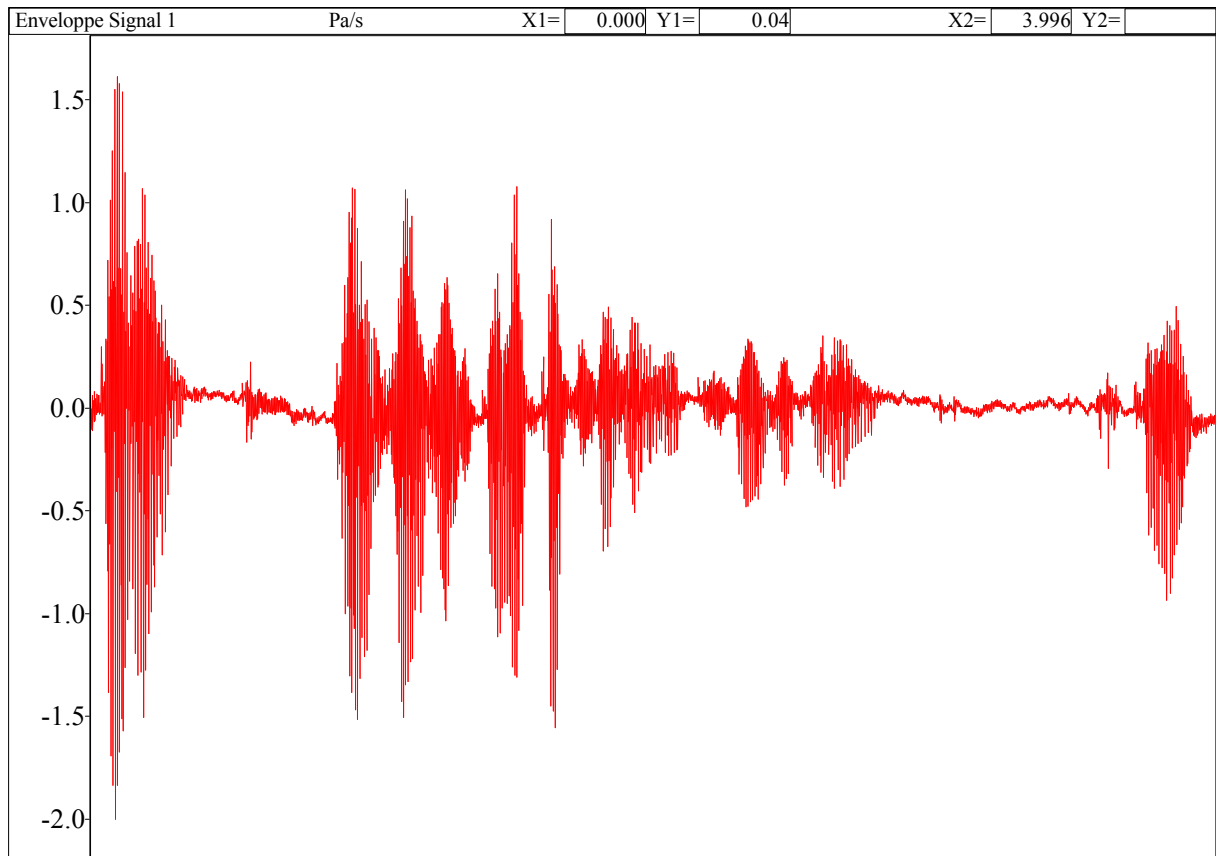
Les résultats sont très proches. Un écart de 0,3 dB existe cependant. Il est dû au fait que les pentes des filtres sont légèrement différentes entre les deux techniques. Cet écart est bien inférieur aux

tolérances des normes. L'analyse par filtrage numérique donne un spectre plus large en basse fréquence, tandis que la synthèse FFT est limitée à 100 Hz (voir annexe 3).

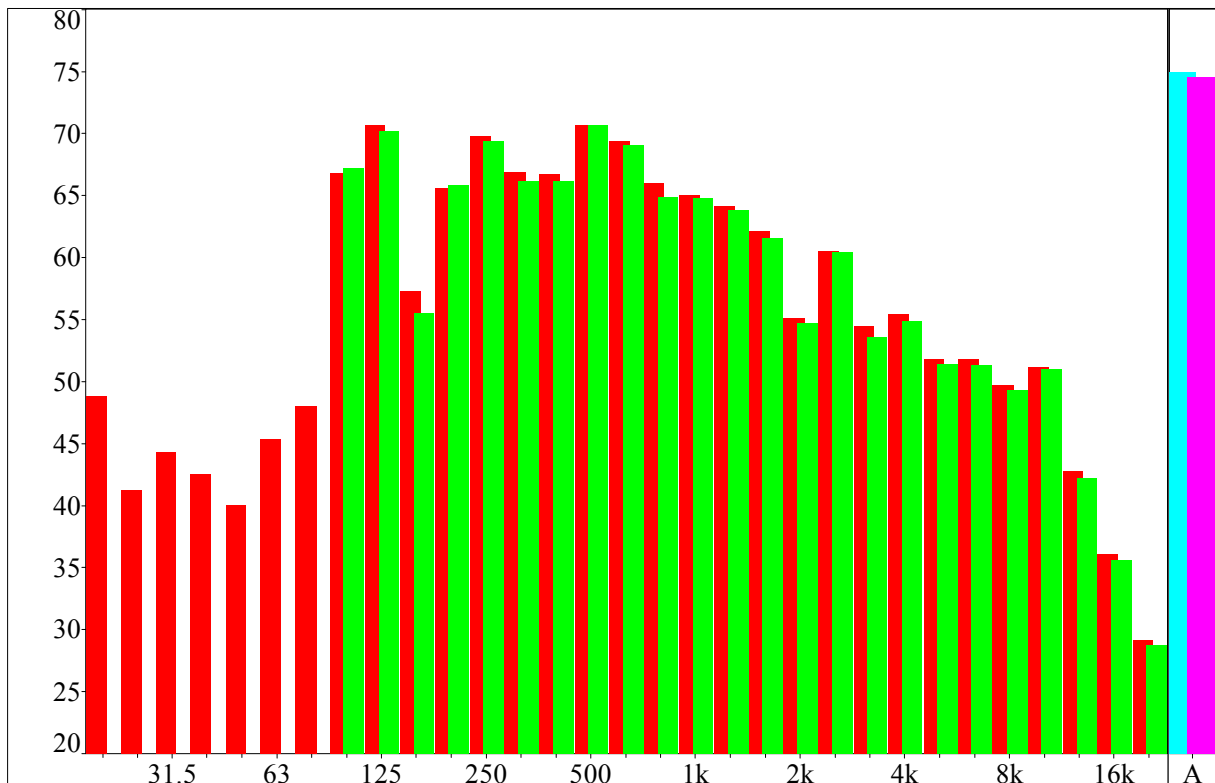
Des différences arriveront pour des signaux fortement instationnaires voire impulsifs.

En effet, les filtres numériques n'ont pas tous le même temps de réponse. Ce dernier est inversement proportionnel à la largeur de bande. Il sera long pour les basses fréquences et court pour les hautes fréquences (environ 200 ms pour le tiers d'octave 20 Hz et 100 fois moins pour 2000 Hz). Il y aura un lissage en basses fréquences si l'instationnarité est inférieure au temps de réponse .

Aussi, l'analyse FFT est une opération par bloc qui si on demande une grande résolution, sera très long. Les phénomènes impulsifs seront aussi "lissés" à cause de cette grande longueur. Par contre, aucun déphasage entre filtre n'est constatée.



Signal acoustique instationnaire



Comparaison des résultats tiers d'octave obtenus par synthèse FFT et par filtrage numérique

Les résultats sont également très proches. Un écart similaire au cas du signal stationnaire est constaté. Les spectres représentent la moyenne linéaire du signal sur 4 secondes (totalité du signal enregistré);

Dans le cas d'une moyenne plus courte qui enfermerait un phénomène impulsif, les écarts seraient plus grand. En effet, l'analyse par filtrage numérique amène un déphasage entre les filtres.

En résumé, les deux techniques sont similaires pour des signaux stationnaires. Le filtrage numérique sera privilégié car il donne un spectre plus large. Dans le cas de signaux impulsifs, la synthèse FFT sera préférée. Si des informations basses fréquences sont nécessaires alors il faudra choisir une fréquence d'échantillonnage plus faible pour utiliser la synthèse FFT sur des signaux transitoires.

5. FFT contre Octave/Tiers d'octave

L'analyse FFT est nécessaire pour la recherche de fréquences pures et pour obtenir une bonne résolution sur l'ensemble du spectre. Cette analyse nécessite des compromis (choix de la fenêtre, fréquence d'échantillonnage,...). C'est un outil de diagnostic

L'analyse par bandes d'octave ou tiers d'octave est nécessaire pour les mesures acoustiques car elle se rapproche de la sensibilité fréquentielle de l'être humain. Elle est aussi demandée dans la grande majorité des normes. Elle est utile lors de mesure sur machines tournantes dont la vitesse fluctue légèrement. La largeur de bande gomme cette fluctuation. Cette analyse est sans compromis et donc plus facile à utiliser. C'est un outil normatif et simplificateur en terme de résultats (moins de valeurs sur un spectre).

6. Annexe 1: Classification des signaux

- Les signaux sont déterministes quand ils traduisent un phénomène qui peut être décrit avec une précision raisonnable par une fonction mathématique et qui peut être prédit.

Ils peuvent être:

- ▽ Périodiques: sinusoïdaux ou complexes
- ▽ Non périodiques: Presque périodiques ou transitoires

- Les signaux sont aléatoires quand ils traduisent un phénomène qui ne peut pas être prédit et qui doit être décrit en termes de probabilité.

Ils peuvent être:

- ▽ Stationnaires: Ergodiques ou non ergodiques. Ergodique veut dire qu'un morceau temporel du signal est représentatif statistiquement du signal tout entier
- ▽ Non stationnaires: Mixtes ou spéciaux. Mixte veut dire que le signal est un mélange d'une partie périodique et d'une partie aléatoire.

7. Annexe 2: résolution fréquentielle du logiciel dBFA version 1.4

7.1. Mode temps différé

La résolution fréquentielle obtenue dans le logiciel dBFA version 1.4 pour le mode temps différé (analyse FFT à partir d'un signal enregistré avec une fréquence d'échantillonnage F_{ech}) est décrit ci-après:

La résolution de l'analyse est fonction:

- de la fréquence d'échantillonnage
- du nombre de lignes

et est donnée par la relation :

$$\Delta f = \frac{F_{ech}}{2,56 \times (\text{Nb lignes} - 1)}$$

Le temps d'acquisition nécessaire pour obtenir cette résolution est donné par la relation :

$$\Delta t = \frac{1}{\Delta f} = \frac{2,56 \times (\text{Nb lignes} - 1)}{F_{ech}}$$

Les tableaux ci-après montrent pour les systèmes CONCERTO et ARIA:

- Les fréquences d'échantillonnage accessibles à l'enregistrement du signal
- Les fréquences d'échantillonnage accessibles par décimation
- Les résolutions fréquentielles en fonction de la fréquence d'analyse souhaitée (F_{max})

dBFA Temps différé

Résolution en fonction de la fréquence d'analyse (Concerto)

Fréquences d'échantillonnage accessibles à l'enregistrement

| | | |
|----------------|-------|-------|
| F ech (Hz) | 48000 | 32000 |
| F analyse (Hz) | 20000 | 10000 |
| T ech (μs) | 20.83 | 31.25 |

| Résolution Nb lignes | d f (Hz) | tps acq. (ms) | d f (Hz) | tps acq. (ms) |
|-------------------------|-------------|------------------|-------------|------------------|
| 3201 | 5.86 | 170.7 | 3.91 | 256 |
| 1601 | 11.72 | 85.3 | 7.81 | 128 |
| 801 | 23.44 | 42.7 | 15.63 | 64 |
| 401 | 46.88 | 21.3 | 31.25 | 32 |
| 201 | 93.75 | 10.7 | 62.50 | 16 |
| 101 | 187.50 | 5.3 | 125.00 | 8 |
| 51 | 375.00 | 2.7 | 250.00 | 4 |
| 26 | 750.00 | 1.3 | 500.00 | 2 |

dBFA

Fréquences d'échantillonnage accessibles par décimation (Concerto)

| | | | | | | | | | |
|--------------------------------|---------|---------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Fréquence échantillonnage (Hz) | 48000 | 32000 | 24000 | 16000 | 12000 | 9600 | 8000 | 6400 | 6000 |
| Gamme d'analyse | 18750,0 | 12500,0 | 9375,0 | 6250,0 | 4687,5 | 3750,0 | 3125,0 | 2500,0 | 2343,8 |
| Facteur | | | | | | | | | |
| 1/2 | 24000 | 16000 | 12000 | 8000 | 6000 | 4800 | 4000 | 3200 | 3000 |
| 1/4 | 12000 | 8000 | 6000 | 4000 | 3000 | 2400 | 2000 | 1600 | 1500 |
| 1/5 | 9600 | 6400 | 4800 | 3200 | 2400 | 1920 | 1600 | 1280 | 1200 |
| 1/8 | 6000 | 4000 | 3000 | 2000 | 1500 | 1200 | 1000 | 800 | 750 |

| | | | | | | | | | |
|--------------------------------|--------|--------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Fréquence échantillonnage (Hz) | 4800 | 4000 | 3200 | 3000 | 2400 | 2000 | 1920 | 1600 | 1500 |
| Fréquence d'analyse | 1875,0 | 1562,5 | 1250,0 | 1171,9 | 937,5 | 781,3 | 750,0 | 625,0 | 585,9 |
| Facteur | | | | | | | | | |
| 1/2 | 2400 | 2000 | 1600 | 1500 | 1200 | 1000 | 960 | 800 | 750 |
| 1/4 | 1200 | 1000 | 800 | 750 | 600 | 500 | 480 | 400 | 375 |
| 1/5 | 960 | 800 | 640 | 600 | 480 | 400 | 384 | 320 | 300 |
| 1/8 | 600 | 500 | 400 | 375 | 300 | 250 | 240 | 200 | |

| | | | | | | | | | |
|--------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Fréquence échantillonnage (Hz) | 1280 | 1200 | 1000 | 960 | 800 | 750 | 640 | 600 | 500 |
| Fréquence d'analyse | 500,0 | 468,8 | 390,6 | 375,0 | 312,5 | 293,0 | 250,0 | 234,4 | 195,3 |
| Facteur | | | | | | | | | |
| 1/2 | 640 | 600 | 500 | 480 | 400 | 375 | 320 | 300 | 250 |
| 1/4 | 320 | 300 | 250 | 240 | 200 | | 160 | 150 | 125 |
| 1/5 | 256 | 240 | 200 | 192 | 160 | 150 | 128 | 120 | 100 |
| 1/8 | 160 | 150 | 125 | 120 | 100 | | 80 | 75 | |

| | | | | | | | | | |
|--------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|
| Fréquence échantillonnage (Hz) | 480 | 400 | 384 | 375 | 320 | 300 | 256 | 250 | 240 |
| Fréquence d'analyse | 187,5 | 156,3 | 150,0 | 146,5 | 125,0 | 117,2 | 100,0 | 97,7 | 93,8 |
| Facteur | | | | | | | | | |
| 1/2 | 240 | 200 | 192 | | 160 | 150 | 128 | 125 | 120 |
| 1/4 | 120 | 100 | 96 | | 80 | 75 | 64 | | 60 |
| 1/5 | 96 | 80 | | 75 | 64 | 60 | | 50 | 48 |
| 1/8 | 60 | 50 | 48 | | 40 | | 32 | | 30 |

| | | | | | | | | | |
|--------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Fréquence échantillonnage (Hz) | 200 | 192 | 160 | 150 | 128 | 125 | 120 | 100 | 96 |
| Fréquence d'analyse | 78,1 | 75,0 | 62,5 | 58,6 | 50,0 | 48,8 | 46,9 | 39,1 | 37,5 |
| Facteur | | | | | | | | | |
| 1/2 | 100 | 96 | 80 | 75 | 64 | | 60 | 50 | 48 |
| 1/4 | 50 | 48 | 40 | | 32 | | 30 | 25 | 24 |
| 1/5 | 40 | | 32 | 30 | | 25 | 24 | 20 | |
| 1/8 | 25 | 24 | 20 | | 16 | | 15 | | 12 |

| | | | | | | | | | |
|--------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|--|
| Fréquence échantillonnage (Hz) | 80 | 75 | 64 | 50 | 48 | 40 | 32 | 30 | |
| Fréquence d'analyse | 31,3 | 29,3 | 25,0 | 19,5 | 18,8 | 15,6 | 12,5 | 11,7 | |
| Facteur | | | | | | | | | |
| 1/2 | 40 | | 32 | 25 | 24 | 20 | 16 | 15 | |
| 1/4 | 20 | | 16 | | 12 | 10 | | | |
| 1/5 | 16 | 15 | | 10 | | | | | |
| 1/8 | 10 | | 8 | | | | | | |

dBFA: Résolution en fonction de la fréquence d'analyse (Concerto)

| | | | | | | | | | |
|----------------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|---------|
| F ech (Hz) | 48000 | 32000 | 24000 | 16000 | 12000 | 9600 | 8000 | 6400 | 6000 |
| F analyse (Hz) | 18750 | 12500 | 9375 | 6250 | 4687,5 | 3750 | 3125 | 2500 | 2343,75 |
| T ech. (µs) | 20,83 | 31,25 | 41,67 | 62,50 | 83,33 | 104,17 | 125,00 | 156,25 | 166,67 |

| Résolution | d f (Hz) | tps acq (ms) | d f (Hz) | tps acq (ms) | d f (Hz) | tps acq (ms) | d f (Hz) | tps acq (ms) | d f (Hz) | tps acq (ms) | d f (Hz) | tps acq (ms) | d f (Hz) | tps acq (ms) | d f (Hz) | tps acq (ms) | d f (Hz) | tps acq (ms) |
|------------|----------|--------------|----------|--------------|----------|--------------|----------|--------------|----------|--------------|----------|--------------|----------|--------------|----------|--------------|----------|--------------|
| Nb lignes | (Hz) | (ms) | (Hz) | (ms) | (Hz) | (ms) | (Hz) | (ms) | (Hz) | (ms) | (Hz) | (ms) | (Hz) | (ms) | (Hz) | (ms) | (Hz) | (ms) |
| 3201 | 5,86 | 170,67 | 3,91 | 256,00 | 2,93 | 341,33 | 1,95 | 512,00 | 1,46 | 682,67 | 1,17 | 853,33 | 0,98 | 1024,00 | 0,78 | 1280,00 | 0,73 | 1365,33 |
| 1601 | 11,72 | 85,33 | 7,81 | 128,00 | 5,86 | 170,67 | 3,91 | 256,00 | 2,93 | 341,33 | 2,34 | 426,67 | 1,95 | 512,00 | 1,56 | 640,00 | 1,46 | 682,67 |
| 801 | 23,44 | 42,67 | 15,63 | 64,00 | 11,72 | 85,33 | 7,81 | 128,00 | 5,86 | 170,67 | 4,69 | 213,33 | 3,91 | 256,00 | 3,13 | 320,00 | 2,93 | 341,33 |
| 401 | 46,88 | 21,33 | 31,25 | 32,00 | 23,44 | 42,67 | 15,63 | 64,00 | 11,72 | 85,33 | 9,38 | 106,67 | 7,81 | 128,00 | 6,25 | 160,00 | 5,86 | 170,67 |
| 201 | 93,75 | 10,67 | 62,50 | 16,00 | 46,88 | 21,33 | 31,25 | 32,00 | 23,44 | 42,67 | 18,75 | 53,33 | 15,63 | 64,00 | 12,50 | 80,00 | 11,72 | 85,33 |
| 101 | 187,50 | 5,33 | 125,00 | 8,00 | 93,75 | 10,67 | 62,50 | 16,00 | 46,88 | 21,33 | 37,50 | 26,67 | 31,25 | 32,00 | 25,00 | 40,00 | 23,44 | 42,67 |
| 51 | 375,00 | 2,67 | 250,00 | 4,00 | 187,50 | 5,33 | 125,00 | 8,00 | 93,75 | 10,67 | 75,00 | 13,33 | 62,50 | 16,00 | 50,00 | 20,00 | 46,88 | 21,33 |
| 26 | 750,00 | 1,33 | 500,00 | 2,00 | 375,00 | 2,67 | 250,00 | 4,00 | 187,50 | 5,33 | 150,00 | 6,67 | 125,00 | 8,00 | 100,00 | 10,00 | 93,75 | 10,67 |

| | | | | | | | | | |
|----------------|--------|--------|--------|----------|--------|--------|--------|--------|----------|
| F ech (Hz) | 4800 | 4000 | 3200 | 3000 | 2400 | 2000 | 1920 | 1600 | 1500 |
| F analyse (Hz) | 1875 | 1562,5 | 1250 | 1171,875 | 937,5 | 781,25 | 750 | 625 | 585,9375 |
| T ech. (µs) | 208,33 | 250,00 | 312,50 | 333,33 | 416,67 | 500,00 | 520,83 | 625,00 | 666,67 |

| Résolution | d f (Hz) | tps acq (ms) | d f (Hz) | tps acq (ms) | d f (Hz) | tps acq (ms) | d f (Hz) | tps acq (ms) | d f (Hz) | tps acq (ms) | d f (Hz) | tps acq (ms) | d f (Hz) | tps acq (ms) | d f (Hz) | tps acq (ms) | d f (Hz) | tps acq (ms) |
|------------|----------|--------------|----------|--------------|----------|--------------|----------|--------------|----------|--------------|----------|--------------|----------|--------------|----------|--------------|----------|--------------|
| Nb lignes | (Hz) | (ms) | (Hz) | (ms) | (Hz) | (ms) | (Hz) | (ms) | (Hz) | (ms) | (Hz) | (ms) | (Hz) | (ms) | (Hz) | (ms) | (Hz) | (ms) |
| 3201 | 0,59 | 1,71 s | 0,49 | 2,05 s | 0,39 | 2,56 s | 0,37 | 2,73 s | 0,29 | 3,41 s | 0,24 | 4,10 s | 0,23 | 4,27 s | 0,20 | 5,12 s | 0,18 | 5,46 s |
| 1601 | 1,17 | 853,33 | 0,98 | 1,02 s | 0,78 | 1,28 s | 0,73 | 1,37 s | 0,59 | 1,71 s | 0,49 | 2,05 s | 0,47 | 2,13 s | 0,39 | 2,56 s | 0,37 | 2,73 s |
| 801 | 2,34 | 426,67 | 1,95 | 512,00 | 1,56 | 640,00 | 1,46 | 682,67 | 1,17 | 853,33 | 0,98 | 1,02 s | 0,94 | 1,07 s | 0,78 | 1,28 s | 0,73 | 1,37 s |
| 401 | 4,69 | 213,33 | 3,91 | 256,00 | 3,13 | 320,00 | 2,93 | 341,33 | 2,34 | 426,67 | 1,95 | 512,00 | 1,88 | 533,33 | 1,56 | 640,00 | 1,46 | 682,67 |
| 201 | 9,38 | 106,67 | 7,81 | 128,00 | 6,25 | 160,00 | 5,86 | 170,67 | 4,69 | 213,33 | 3,91 | 256,00 | 3,75 | 266,67 | 3,13 | 320,00 | 2,93 | 341,33 |
| 101 | 18,75 | 53,33 | 15,63 | 64,00 | 12,50 | 80,00 | 11,72 | 85,33 | 9,38 | 106,67 | 7,81 | 128,00 | 7,50 | 133,33 | 6,25 | 160,00 | 5,86 | 170,67 |
| 51 | 37,50 | 26,67 | 31,25 | 32,00 | 25,00 | 40,00 | 23,44 | 42,67 | 18,75 | 53,33 | 15,63 | 64,00 | 15,00 | 66,67 | 12,50 | 80,00 | 11,72 | 85,33 |
| 26 | 75,00 | 13,33 | 62,50 | 16,00 | 50,00 | 20,00 | 46,88 | 21,33 | 37,50 | 26,67 | 31,25 | 32,00 | 30,00 | 33,33 | 25,00 | 40,00 | 23,44 | 42,67 |

| | | | | | | | | | |
|----------------|------|--------|---------|------|-------|-----------|------|---------|----------|
| F ech (Hz) | 1280 | 1200 | 1000 | 960 | 800 | 750 | 640 | 600 | 500 |
| F analyse (Hz) | 500 | 468,75 | 390,625 | 375 | 312,5 | 292,96875 | 250 | 234,375 | 195,3125 |
| T ech. (ms) | 0,78 | 0,83 | 1,00 | 1,04 | 1,25 | 1,33 | 1,56 | 1,67 | 2,00 |

| Résolution | d f (Hz) | tps acq (ms) | d f (Hz) | tps acq (ms) | d f (Hz) | tps acq (ms) | d f (Hz) | tps acq (ms) | d f (Hz) | tps acq (ms) | d f (Hz) | tps acq (s) | d f (Hz) | tps acq (s) | d f (Hz) | tps acq (s) | d f (Hz) | tps acq (s) |
|------------|----------|--------------|----------|--------------|----------|--------------|----------|--------------|----------|--------------|----------|-------------|----------|-------------|----------|-------------|----------|-------------|
| Nb lignes | (Hz) | (ms) | (Hz) | (ms) | (Hz) | (ms) | (Hz) | (ms) | (Hz) | (ms) | (Hz) | (s) | (Hz) | (s) | (Hz) | (s) | (Hz) | (s) |
| 3201 | 0,16 | 6,40 s | 0,15 | 6,83 s | 0,12 | 8,19 s | 0,12 | 8,53 s | 0,10 | 10,24 s | 0,09 | 10,92 | 0,08 | 12,80 | 0,07 | 13,65 | 0,06 | 16,38 |
| 1601 | 0,31 | 3,20 s | 0,29 | 3,41 s | 0,24 | 4,10 s | 0,23 | 4,27 s | 0,20 | 5,12 s | 0,18 | 5,46 | 0,16 | 6,40 | 0,15 | 6,83 | 0,12 | 8,19 |
| 801 | 0,63 | 1,60 s | 0,59 | 1,71 s | 0,49 | 2,05 s | 0,47 | 2,13 s | 0,39 | 2,56 s | 0,37 | 2,73 | 0,31 | 3,20 | 0,29 | 3,41 | 0,24 | 4,10 |
| 401 | 1,25 | 0,80 s | 1,17 | 0,85 s | 0,98 | 1,02 s | 0,94 | 1,07 s | 0,78 | 1,28 s | 0,73 | 1,37 | 0,63 | 1,60 | 0,59 | 1,71 | 0,49 | 2,05 |
| 201 | 2,50 | 0,40 s | 2,34 | 0,43 s | 1,95 | 0,51 s | 1,88 | 0,53 s | 1,56 | 0,64 s | 1,46 | 0,68 | 1,25 | 0,80 | 1,17 | 0,85 | 0,98 | 1,02 |
| 101 | 5,00 | 200 | 4,69 | 213,33 | 3,91 | 0,26 s | 3,75 | 0,27 s | 3,13 | 0,32 s | 2,93 | 0,34 | 2,50 | 0,40 | 2,34 | 0,43 | 1,95 | 0,51 |
| 51 | 10,00 | 100 | 9,38 | 106,67 | 7,81 | 0,13 s | 7,50 | 133,33 | 6,25 | 160,00 | 5,86 | 0,17 | 5,00 | 0,20 | 4,69 | 0,21 | 3,91 | 0,26 |
| 26 | 20,00 | 50 | 18,75 | 53,33 | 15,63 | 64,00 | 15,00 | 66,67 | 12,50 | 80,00 | 11,72 | 0,09 | 10,00 | 0,10 | 9,38 | 0,11 | 7,81 | 0,13 |

| | | | | | | | | | |
|----------------|-------|--------|------|------------|------|----------|----------|----------|-------|
| F ech (Hz) | 480 | 400 | 384 | 375 | 320 | 300 | 356 | 250 | 240 |
| F analyse (Hz) | 187,5 | 156,25 | 150 | 146,484375 | 125 | 117,1875 | 139,0625 | 97,65625 | 93,75 |
| T ech. (ms) | 2,08 | 2,50 | 2,60 | 2,67 | 3,13 | 3,33 | 2,81 | 4,00 | 4,17 |

| Résolution | d f (Hz) | tps acq (s) | d f (Hz) | tps acq (s) | d f (Hz) | tps acq (s) | d f (Hz) | tps acq (s) | d f (Hz) | tps acq (s) | d f (Hz) | tps acq (s) | d f (Hz) | tps acq (s) | d f (Hz) | tps acq (s) | d f (Hz) | tps acq (s) |
|------------|----------|-------------|----------|-------------|----------|-------------|----------|-------------|----------|-------------|----------|-------------|----------|-------------|----------|-------------|----------|-------------|
| Nb lignes | (Hz) | (s) | (Hz) | (s) | (Hz) | (s) | (Hz) | (s) | (Hz) | (s) | (Hz) | (s) | (Hz) | (s) | (Hz) | (s) | (Hz) | (s) |
| 3201 | 0,15 | 6,67 | 0,13 | 8,00 | 0,12 | 8,33 | 0,12 | 8,53 | 0,10 | 10,00 | 0,09 | 10,67 | 0,11 | 8,99 | 0,08 | 12,80 | 0,08 | 13,33 |
| 1601 | 0,30 | 3,33 | 0,25 | 4,00 | 0,24 | 4,17 | 0,23 | 4,27 | 0,20 | 5,00 | 0,19 | 5,33 | 0,22 | 4,49 | 0,16 | 6,40 | 0,15 | 6,67 |
| 801 | 0,60 | 1,67 | 0,50 | 2,00 | 0,48 | 2,08 | 0,47 | 2,13 | 0,40 | 2,50 | 0,38 | 2,67 | 0,45 | 2,25 | 0,31 | 3,20 | 0,30 | 3,33 |
| 401 | 1,20 | 0,83 | 1,00 | 1,00 | 0,96 | 1,04 | 0,94 | 1,07 | 0,80 | 1,25 | 0,75 | 1,33 | 0,89 | 1,12 | 0,63 | 1,60 | 0,60 | 1,67 |
| 201 | 2,40 | 0,42 | 2,00 | 0,50 | 1,92 | 0,52 | 1,88 | 0,53 | 1,60 | 0,63 | 1,50 | 0,67 | 1,78 | 0,56 | 1,25 | 0,80 | 1,20 | 0,83 |
| 101 | 4,80 | 0,21 | 4,00 | 0,25 | 3,84 | 0,26 | 3,75 | 0,27 | 3,20 | 0,31 | 3,00 | 0,33 | 3,56 | 0,28 | 2,50 | 0,40 | 2,40 | 0,42 |
| 51 | 9,60 | 0,10 | 8,00 | 0,13 | 7,68 | 0,13 | 7,50 | 0,13 | 6,40 | 0,16 | 6,00 | 0,17 | 7,12 | 0,14 | 5,00 | 0,20 | 4,80 | 0,21 |
| 26 | 19,20 | 0,05 | 16,00 | 0,06 | 15,36 | 0,07 | 15,00 | 0,07 | 12,80 | 0,08 | 12,00 | 0,08 | 14,24 | 0,07 | 10,00 | 0,10 | 9,60 | 0,10 |

| | | | | | | | | | |
|----------------|--------|------|------|----------|------|-----------|--------|---------|-------|
| F ech (Hz) | 200 | 192 | 160 | 150 | 128 | 125 | 120 | 100 | 96 |
| F analyse (Hz) | 78,125 | 75 | 62,5 | 58,59375 | 50 | 48,828125 | 46,875 | 39,0625 | 37,5 |
| T ech. (ms) | 5,00 | 5,21 | 6,25 | 6,67 | 7,81 | 8,00 | 8,33 | 10,00 | 10,42 |

| Résolution | d f (Hz) | tps acq (s) | d f (Hz) | tps acq (s) | d f (Hz) | tps acq (s) | d f (Hz) | tps acq (s) | d f (Hz) | tps acq (s) | d f (Hz) | tps acq (s) | d f (Hz) | tps acq (s) | d f (Hz) | tps acq (s) | d f (Hz) | tps acq (s) |
|------------|----------|-------------|----------|-------------|----------|-------------|----------|-------------|----------|-------------|----------|-------------|----------|-------------|----------|-------------|----------|-------------|
| Nb lignes | (Hz) | (s) | (Hz) | (s) | (Hz) | (s) | (Hz) | (s) | (Hz) | (s) | (Hz) | (s) | (Hz) | (s) | (Hz) | (s) | (Hz) | (s) |
| 3201 | 0,06 | 16,00 | 0,06 | 16,67 | 0,05 | 20,00 | 0,05 | 21,33 | 0,04 | 25,00 | 0,04 | 25,60 | 0,04 | 26,67 | 0,03 | 32,00 | 0,03 | 33,33 |
| 1601 | 0,13 | 8,00 | 0,12 | 8,33 | 0,10 | 10,00 | 0,09 | 10,67 | 0,08 | 12,50 | 0,08 | 12,80 | 0,08 | 13,33 | 0,06 | 16,00 | 0,06 | 16,67 |
| 801 | 0,25 | 4,00 | 0,24 | 4,17 | 0,20 | 5,00 | 0,19 | 5,33 | 0,16 | 6,25 | 0,16 | 6,40 | 0,15 | 6,67 | 0,13 | 8,00 | 0,12 | 8,33 |
| 401 | 0,50 | 2,00 | 0,48 | 2,08 | 0,40 | 2,50 | 0,38 | 2,67 | 0,32 | 3,13 | 0,31 | 3,20 | 0,30 | 3,33 | 0,25 | 4,00 | 0,24 | 4,17 |
| 201 | 1,00 | 1,00 | 0,96 | 1,04 | 0,80 | 1,25 | 0,75 | 1,33 | 0,64 | 1,56 | 0,63 | 1,60 | 0,60 | 1,67 | 0,50 | 2,00 | 0,48 | 2,08 |
| 101 | 2,00 | 0,50 | 1,92 | 0,52 | 1,60 | 0,63 | 1,50 | 0,67 | 1,28 | 0,78 | 1,25 | 0,80 | 1,20 | 0,83 | 1,00 | 1,00 | 0,96 | 1,04 |
| 51 | 4,00 | 0,25 | 3,84 | 0,26 | 3,20 | 0,31 | 3,00 | 0,33 | 2,56 | 0,39 | 2,50 | 0,40 | 2,40 | 0,42 | 2,00 | 0,50 | 1,92 | 0,52 |
| 26 | 8,00 | 0,13 | 7,68 | 0,13 | 6,40 | 0,16 | 6,00 | 0,17 | 5,12 | 0,20 | 5,00 | 0,20 | 4,80 | 0,21 | 4,00 | 0,25 | 3,84 | 0,26 |

| | | | | | | | | | |
|----------------|-------|-----------|-------|----------|-------|--------|-------|----------|--|
| F ech (Hz) | 80 | 75 | 64 | 50 | 48 | 40 | 32 | 30 | |
| F analyse (Hz) | 31,25 | 29,296875 | 25 | 19,53125 | 18,75 | 15,625 | 12,5 | 11,71875 | |
| T ech. (ms) | 12,50 | 13,33 | 15,63 | 20,00 | 20,83 | 25,00 | 31,25 | 33,33 | |

| Résolution | d f | tps acq | d f | tps acq | d f | tps acq | d f | tps acq | d f | tps acq | d f | tps acq | d f | tps acq | d f | tps acq | |
|------------|------|---------|------|---------|------|---------|------|---------|------|---------|------|---------|------|---------|------|---------|--|
| Nb lignes | (Hz) | (s) | (Hz) | (s) | (Hz) | (s) | (Hz) | (s) | (Hz) | (s) | (Hz) | (s) | (Hz) | (s) | (Hz) | (s) | |
| 3201 | 0,03 | 40,00 | 0,02 | 42,67 | 0,02 | 50,00 | 0,02 | 64,00 | 0,02 | 66,67 | 0,01 | 80,00 | 0,01 | 100,00 | 0,01 | 106,67 | |
| 1601 | 0,05 | 20,00 | 0,05 | 21,33 | 0,04 | 25,00 | 0,03 | 32,00 | 0,03 | 33,33 | 0,03 | 40,00 | 0,02 | 50,00 | 0,02 | 53,33 | |
| 801 | 0,10 | 10,00 | 0,09 | 10,67 | 0,08 | 12,50 | 0,06 | 16,00 | 0,06 | 16,67 | 0,05 | 20,00 | 0,04 | 25,00 | 0,04 | 26,67 | |
| 401 | 0,20 | 5,00 | 0,19 | 5,33 | 0,16 | 6,25 | 0,13 | 8,00 | 0,12 | 8,33 | 0,10 | 10,00 | 0,08 | 12,50 | 0,08 | 13,33 | |
| 201 | 0,40 | 2,50 | 0,38 | 2,67 | 0,32 | 3,13 | 0,25 | 4,00 | 0,24 | 4,17 | 0,20 | 5,00 | 0,16 | 6,25 | 0,15 | 6,67 | |
| 101 | 0,80 | 1,25 | 0,75 | 1,33 | 0,64 | 1,56 | 0,50 | 2,00 | 0,48 | 2,08 | 0,40 | 2,50 | 0,32 | 3,13 | 0,30 | 3,33 | |
| 51 | 1,60 | 0,63 | 1,50 | 0,67 | 1,28 | 0,78 | 1,00 | 1,00 | 0,96 | 1,04 | 0,80 | 1,25 | 0,64 | 1,56 | 0,60 | 1,67 | |
| 26 | 3,20 | 0,31 | 3,00 | 0,33 | 2,56 | 0,39 | 2,00 | 0,50 | 1,92 | 0,52 | 1,60 | 0,63 | 1,28 | 0,78 | 1,20 | 0,83 | |

Résolution en fonction de la fréquence d'analyse

(Cartes dBX)

dBFA

Résolution en fonction de la fréquence d'analyse (Carte dBX)

Fréquences d'échantillonnage accessibles à l'enregistrement

| | | | | |
|----------------|-------|-------|-------|--------|
| F ech (Hz) | 51200 | 25600 | 12800 | 5120 |
| F analyse (Hz) | 20000 | 10000 | 5000 | 2000 |
| T ech. (µs) | 19,53 | 39,06 | 78,13 | 195,31 |

| Résolution | d f | tps acq. | d f | tps acq. | d f | tps acq. | d f | tps acq. |
|------------|------|----------|-------|----------|--------|----------|-------|----------|
| Nb lignes | (Hz) | (ms) | (Hz) | (ms) | (Hz) | (ms) | (Hz) | (ms) |
| 3201 | 6,25 | 160 | 3,125 | 320 | 1,5625 | 640 | 0,625 | 1600 |
| 1601 | 12,5 | 80 | 6,25 | 160 | 3,125 | 320 | 1,25 | 800 |
| 801 | 25 | 40 | 12,5 | 80 | 6,25 | 160 | 2,5 | 400 |
| 401 | 50 | 20 | 25 | 40 | 12,5 | 80 | 5 | 200 |
| 201 | 100 | 10 | 50 | 20 | 25 | 40 | 10 | 100 |
| 101 | 200 | 5 | 100 | 10 | 50 | 20 | 20 | 50 |
| 51 | 400 | 2,5 | 200 | 5 | 100 | 10 | 40 | 25 |
| 26 | 800 | 1,25 | 400 | 2,5 | 200 | 5 | 80 | 12,5 |

dBFA

Fréquences d'échantillonnage accessibles par décimation

(Cartes dBX)

| | | | | | | | | | |
|--------------------------------|-------|-------|-------|-------|------|------|------|------|------|
| Fréquence échantillonnage (Hz) | 51200 | 25600 | 12800 | 10240 | 6400 | 5120 | 3200 | 2560 | 2048 |
| Gamme d'analyse | 20000 | 10000 | 5000 | 4000 | 2500 | 2000 | 1250 | 1000 | 800 |
| Facteur | | | | | | | | | |
| 1/2 | 25600 | 12800 | 6400 | 5120 | 3200 | 2560 | 1600 | 1280 | 1024 |
| 1/4 | 12800 | 6400 | 3200 | 2560 | 1600 | 1280 | 800 | 640 | 512 |
| 1/5 | 10240 | 5120 | 2560 | 2048 | 1280 | 1024 | 640 | 512 | |
| 1/8 | 6400 | 3200 | 1600 | 1280 | 800 | 640 | 400 | 320 | 256 |

| | | | | | | | | | |
|--------------------------------|------|------|------|-------|-----|--------|-----|-----|--------|
| Fréquence échantillonnage (Hz) | 1600 | 1280 | 1024 | 800 | 640 | 400 | 320 | 256 | 200 |
| Fréquence d'analyse | 625 | 500 | 400 | 312,5 | 250 | 156,25 | 125 | 100 | 78,125 |
| Facteur | | | | | | | | | |
| 1/2 | 800 | 640 | 512 | 400 | 320 | 200 | 160 | 128 | 100 |
| 1/4 | 400 | 320 | 256 | 200 | 160 | 100 | 80 | 64 | 50 |
| 1/5 | 320 | 256 | | 160 | 128 | 80 | 64 | | 40 |
| 1/8 | 200 | 160 | 128 | 100 | 80 | 50 | 40 | 32 | 25 |

| | | | | | | | | | |
|--------------------------------|------|-----|---------|-------|----|----------|--------|------|--------|
| Fréquence échantillonnage (Hz) | 160 | 128 | 100 | 80 | 64 | 50 | 40 | 32 | 20 |
| Fréquence d'analyse | 62,5 | 50 | 39,0625 | 31,25 | 25 | 19,53125 | 15,625 | 12,5 | 7,8125 |
| Facteur | | | | | | | | | |
| 1/2 | 80 | 64 | 50 | 40 | 32 | 25 | 20 | 16 | 10 |
| 1/4 | 40 | 32 | 25 | 20 | 16 | | 10 | | |
| 1/5 | 32 | | 20 | 16 | | 10 | | | |
| 1/8 | 20 | 16 | | 10 | | | | | |

Résolution en fonction de la fréquence d'analyse (Cartes dBX)

| | | | | | | | | | |
|-----------------------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|
| F ech (Hz) | 51200 | 25600 | 12800 | 10240 | 6400 | 5120 | 3200 | 2560 | 2048 |
| F analyse (Hz) | 20000 | 10000 | 5000 | 4000 | 2500 | 2000 | 1250 | 1000 | 800 |
| T ech. (µs) | 19,53 | 39,06 | 78,13 | 97,66 | 156,25 | 195,31 | 312,50 | 390,63 | 488,28 |

| Résolution | d f | tps acq | d f | tps acq | d f | tps acq | d f | tps acq | d f | tps acq | d f | tps acq | d f | tps acq | d f | tps acq | d f | tps acq |
|------------|------|---------|-------|---------|--------|---------|------|---------|------|---------|-------|---------|------|---------|-------|----------|-------|-----------|
| Nb lignes | (Hz) | (ms) | (Hz) | (ms) | (Hz) | (ms) | (Hz) | (ms) | (Hz) | (s) | (Hz) | (s) | (Hz) | (s) | (Hz) | (s) | (Hz) | (s) |
| 3201 | 6,25 | 160 | 3,125 | 320 | 1,5625 | 640 | 1,25 | 800 | 0,78 | 1,28 | 0,625 | 1,6 | 0,39 | 2,56 | 0,8 | 1,25 | 0,64 | 1,5625 |
| 1601 | 12,5 | 80 | 6,25 | 160 | 3,125 | 320 | 2,5 | 400 | 1,56 | 640 | 1,25 | 800 | 0,78 | 1280 | 1,6 | 0,625 | 1,28 | 0,78125 |
| 801 | 25 | 40 | 12,5 | 80 | 6,25 | 160 | 5 | 200 | 3,13 | 320 | 2,5 | 400 | 1,56 | 640 | 3,2 | 0,3125 | 2,56 | 0,390625 |
| 401 | 50 | 20 | 25 | 40 | 12,5 | 80 | 10 | 100 | 6,25 | 160 | 5 | 200 | 3,13 | 320 | 6,4 | 0,15625 | 5,12 | 0,1953125 |
| 201 | 100 | 10 | 50 | 20 | 25 | 40 | 20 | 50 | 12,5 | 80 | 10 | 100 | 6,25 | 160 | 12,8 | 0,078125 | 10,24 | 0,0976563 |
| 101 | 200 | 5 | 100 | 10 | 50 | 20 | 40 | 25 | 25 | 40 | 20 | 50 | 12,5 | 80 | 25,6 | 0,039063 | 20,48 | 0,0488281 |
| 51 | 400 | 2,5 | 200 | 5 | 100 | 10 | 80 | 12,5 | 50 | 20 | 40 | 25 | 25 | 40 | 51,2 | 0,019531 | 40,96 | 0,0244141 |
| 26 | 800 | 1,25 | 400 | 2,5 | 200 | 5 | 160 | 6,25 | 100 | 10 | 80 | 12,5 | 50 | 20 | 102,4 | 0,009766 | 81,92 | 0,012207 |

| | | | | | | | | | |
|-----------------------|------|--------|----------|-------|--------|--------|------|---------|--------|
| F ech (Hz) | 1600 | 1280 | 1024 | 800 | 640 | 400 | 320 | 256 | 200 |
| F analyse (Hz) | 625 | 500 | 400 | 312,5 | 250 | 156,25 | 125 | 100 | 78,125 |
| T ech. (µs) | 625 | 781,25 | 976,5625 | 1250 | 1562,5 | 2500 | 3125 | 3906,25 | 5000 |

| Résolution | d f | tps acq | d f | tps acq | d f | tps acq | d f | tps acq | d f | tps acq | d f | tps acq | d f | tps acq | d f | tps acq | d f | tps acq |
|------------|------|---------|------|---------|-------|----------|------|---------|------|---------|-------|---------|------|---------|-------|----------|--------|---------|
| Nb lignes | (Hz) | (ms) | (Hz) | (ms) | (Hz) | (ms) | (Hz) | (ms) | (Hz) | (ms) | (Hz) | (ms) | (Hz) | (ms) | (Hz) | (ms) | (Hz) | (ms) |
| 3201 | 0,5 | 2 s | 0,4 | 2,5 s | 0,32 | 3,125 s | 0,25 | 4 s | 0,2 | 5 s | 0,125 | 8 s | 0,1 | 10 s | 0,08 | 12,5 s | 0,0625 | 16 s |
| 1601 | 1 | 1 s | 0,8 | 1,25 s | 0,64 | 1,5625 s | 0,5 | 2 s | 0,4 | 2,5 s | 0,25 | 4 s | 0,2 | 5 s | 0,16 | 6,25 s | 0,125 | 8 s |
| 801 | 2 | 0,5 s | 1,6 | 625 | 1,28 | 781,25 | 1 | 1 s | 0,8 | 1,25 s | 0,5 | 2 s | 0,4 | 2,5 s | 0,32 | 3,125 s | 0,25 | 4 s |
| 401 | 4 | 250 | 3,2 | 312,5 | 2,56 | 390,625 | 2 | 0,5 s | 1,6 | 625 | 1 | 1 s | 0,8 | 1,25 s | 0,64 | 1,5625 s | 0,5 | 2 s |
| 201 | 8 | 125 | 6,4 | 156,25 | 5,12 | 195,313 | 4 | 250 | 3,2 | 312,5 | 2 | 0,5 s | 1,6 | 625 | 1,28 | 781,25 | 1 | 1 s |
| 101 | 16 | 62,5 | 12,8 | 78,125 | 10,24 | 97,6563 | 8 | 125 | 6,4 | 156,25 | 4 | 250 | 3,2 | 312,5 | 2,56 | 390,625 | 2 | 0,5 s |
| 51 | 32 | 31,25 | 25,6 | 39,0625 | 20,48 | 48,8281 | 16 | 62,5 | 12,8 | 78,125 | 8 | 125 | 6,4 | 156,25 | 5,12 | 195,3125 | 4 | 250 |
| 26 | 64 | 15,625 | 51,2 | 19,5313 | 40,96 | 24,4141 | 32 | 31,25 | 25,6 | 39,0625 | 16 | 62,5 | 12,8 | 78,125 | 10,24 | 97,65625 | 8 | 125 |

Mode temps réel (carte dB2+)

La résolution fréquentielle obtenue dans le logiciel dBFA version 1.4 pour le mode temps réel (analyse FFT sans perte d'échantillon et sans conservation du signal sur un support physique) dépend évidemment des mêmes paramètres.

Le tableau ci-après résume les valeurs:

| Fréquence d'échantillonnage Hz | Fréquence Max Hz | Résolution fréquentielle en Hz (401 lignes) | Longueur d'un bloc en ms (1024 points) |
|--------------------------------|------------------|---|--|
| 51200 | 20000 | 50 | 20 |
| 25600 | 10000 | 25 | 40 |
| 12800 | 5000 | 12.5 | 80 |
| 6400 | 2500 | 6.25 | 160 |
| 5120 | 2000 | 5 | 200 |
| 2560 | 1000 | 2.5 | 400 |
| 1280 | 500 | 1.25 | 800 |
| 640 | 250 | 0.625 | 1600 |
| 512 | 200 | 0.5 | 2000 |
| 256 | 100 | 0.25 | 4000 |
| 128 | 50 | 0.125 | 8000 |
| 64 | 25 | 0.0625 | 16000 |

En mode zoom temps réel, le facteur de zoom peut aller de 2 à 128 pour chaque fréquence d'échantillonnage comprise entre 512 Hz et 51200 Hz. Dans ce cas, la résolution fréquentielle correspondant à la fréquence d'échantillonnage est divisée par le facteur de zoom.

La meilleure résolution (0.0039 Hz) est obtenue avec la fréquence d'échantillonnage 512 Hz et un facteur de zoom de 128. Cette résolution est disponible pour un spectre de 1,56 Hz de bande placé dans la gamme 0 - 200 Hz.

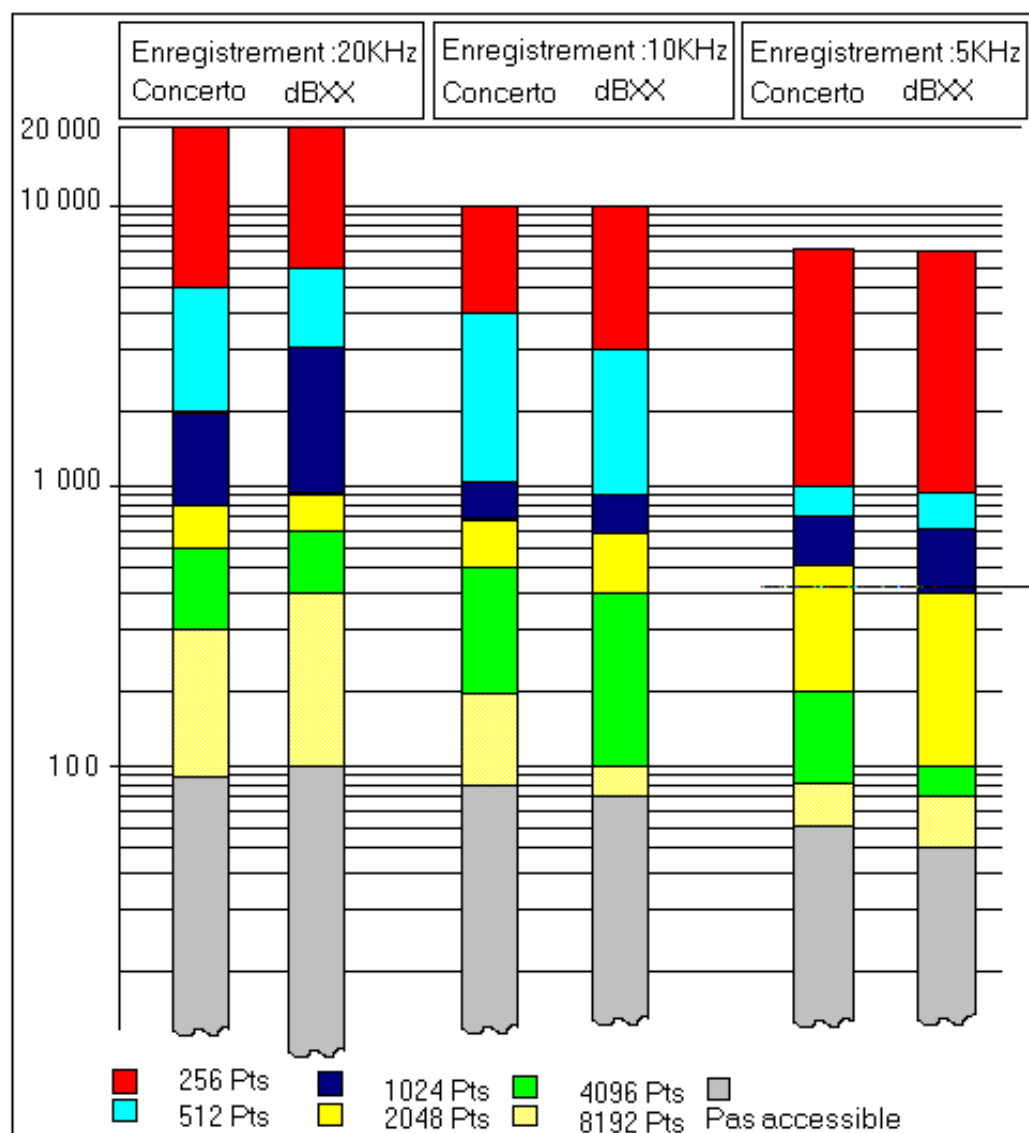
8. Annexe 3: Recomposition des spectres tiers d'octave en mode temps différé dans le logiciel dBFA version 1.4

En utilisant la synthèse FFT, les spectres octaves et tiers d'octave sont recomposés à partir des spectres bandes fines avec les paramètres suivants:

| Fenêtre FFT | Hanning |
|---|-------------------------------------|
| Recouvrement | 66 % |
| Nombre d'échantillons par bloc de données | 256 à 8192 par pas géométrique de 2 |
| Nombre minimum de lignes par bande de fréquence | 3 |

Comme dans tout processus de FFT, la bande de fréquence la plus basse possible à analyser est une fonction du nombre maximum de points de la FFT, du nombre minimum de lignes par bande et de la bande passante du signal enregistré. Le schéma ci-après résume le type de FFT utilisé en fonction de la bande de fréquence minimum pouvant être calculée (en tiers d'octave) :

Pendant une analyse FFT, les programmes 01dB sélectionnent la routine FFT qui utilise le nombre maximum de points et qui permet la bande de fréquence minimum désirée (si c'est possible). Sinon, le nombre maximum de points est sélectionné et l'analyse FFT est réalisée jusqu'à la bande de fréquence accessible la plus basse.



Les bandes de fréquences sont synthétisées à partir des spectres bandes fines. Cependant, pour satisfaire les exigences de la norme CEI 225, il est nécessaire d'avoir un nombre minimum de lignes FFT dans une bande de fréquence pour pouvoir la recomposer. Cette routine de calcul FFT est implantée dans les logiciels dBBATI, dBTRAIT et dBFA.

8.1.1.Définitions

X = Bande passante d'analyse.

N = Nombre maximum de lignes du spectre bandes fines.

DF = Espacement entre 2 lignes FFT donné par X / N .

Ns = Nombre minimum de lignes par bande de fréquence.

Fi = Fréquence correspondante au *i* ème échantillons du spectre bandes fines.

8.1.2.Synthèse tiers d'octave

8.1.2.1.Limites fréquentielles

En utilisant une seule passe de FFT, la résolution du spectre bandes fines (espacement fréquentiel de 2 lignes de calcul consécutifs) est égale à X / N

Lors de l'analyse temps différé, le nombre *N* de ligne minimum pour recomposer une bande de fréquence est fixé à 3. Les routines de calcul supportent de 256 points (110 lignes) à 8192 points (3720 lignes)

La bande de tiers d'octave minimum pouvant être recomposé doit avoir une largeur supérieure à :

$$(Ns+1) * \frac{X}{N}$$

par exemple $X=20$ kHz, $N= 3720$ et $Ns = 3$ conduisent à un tiers d'octave minimum dont la largeur doit être supérieure à 21.5 Hz. C'est le tiers d'octave 100 Hz.

8.1.2.2.Algorithme de recomposition

Nous décrivons ici l'algorithme appliqué pour la recomposition en tiers d'octave.

Soit la recomposition du tiers d'octave dont les limites sont *F1* et *F2*, le logiciel calcule pour les lignes FFT *Fi* de *i* = 1 à *N*+1, les intervalles (*Fi* - $DF/2$; *Fi* + $DF/2$).

Si $F1 > Fi + DF/2$ ou $F2 < Fi - DF/2$; la ligne considérée ne contribue pas au tiers d'octave considéré et est ignorée.

Si $F1 < Fi - DF/2$ et $F2 > Fi + DF/2$, la totalité de l'énergie de la ligne est affectée au tiers d'octave étudié.

Si $F1 < Fi + DF/2$ et $F2 < Fi + DF/2$, seulement une partie de l'énergie de la ligne est affectée au tiers d'octave. La contribution de la ligne est calculée de la manière suivante :

$$\frac{F2 - (Fi - \frac{\Delta F}{2})}{\Delta F}$$

Cette formule donne le pourcentage de l'énergie attribuée à la bande courante, le reste de l'énergie étant affecté aux bandes adjacentes suivant le même principe.

Approche pratique

vue globale au départ d'un phénomène inconnu soit par la visualisation du signal temporel qui donne a priori une idée sur une approche spectrale soit par connaissance de la machine sous test (cinématique et fonctionnelle)

maquette moteur / mediacooustic

bruit impulsif

bruit stationnaire

bruit déterministe

bruit aléatoire

curseur vrai niveau/ vraie fréquence

4FL: signaux réels (voir maquette à PARIS)

2JD: choc de structure libre et amortie

3FL: fréquences caractéristiques: balourd/engrènement/ jeu/ roulement/ cavitation/ bruit d'air/ fuites / résonance de structure (envoyé wave à FL)

1JD: transformée de signaux élémentaires sinus/ choc dirac/ pas dirac/ bruit aléatoire blanc rose/ carré/ triangle / modulation d'amplitude/ modulation fréquence; signal temporel/FFT/ Tiers octave