

Chapitre 2

La transformée en ondelette

I. Introduction

Dans l'analyse d'un signal, Il est souvent intéressant de caractériser un signal par son spectre de fréquence. En effet, celui-ci met en évidence l'importance du fondamental ainsi que la décroissance plus ou moins rapide des amplitudes des harmoniques de rang élevé.

La Transformée de Fourier Fenêtrée (TF) a toujours occupé une place privilégiée dans l'analyse des signaux stationnaires, mais elle ne donne pas d'informations sur la date à laquelle une composante de fréquence se produit. Ce n'est pas un problème pour les signaux stationnaire, mais ne laisse place à l'amélioration lorsque des signaux non stationnaires sont impliqués.

Plusieurs solutions ont été proposées, ces solutions sont : la transformée de Fourier à fenêtre glissante mais cette méthode donnent une même résolution temporelle pour les hauts et les basses fréquences, donc l'analyse n'est pas idéale [12].

C'est dans ce contexte qu'intervient la transformée en Ondelettes qui propose une solution de compromis entre la résolution temporelle et la résolution fréquentielle.

II. Transformée de Fourier

La transformer de Fourier est une transformation d'un espace temporelle à un espace fréquentiel, elle est définie par l'équation :

$$X(f) = \int_{-\infty}^{+\infty} x(t) \exp^{-j2\pi ft} dt \quad (2.1)$$

La transformée de Fourier d'une fonction est donc la généralisation au cas non périodique du calcul des coefficients de Fourier d'une fonction périodique.

Pour calculer la valeur d'un coefficient de Fourier à la fréquence f , on multiplie le signal $x(t)$ par une exponentiel de fréquence f et on intègre sur tout le temps.

$$x(t) = \int_{-\infty}^{+\infty} X(f) \exp(j2\pi f t) df \quad (2.2)$$

II.1 Limitation de la transformée de Fourier

II.1.1 TF du Signal Stationnaire

Ce sont les signaux dont le contenu en fréquence ne change pas au cours du temps. Autrement dit, la composition en fréquences des signaux stationnaires est indépendante du temps. Dans ce cas, on n'a pas à connaître quels instants les composantes en fréquence existent : ces composantes en fréquence existent tout le temps. Par exemple, le signal suivant :

- $X = \sin(2\pi f_1 t) + \sin(2\pi f_2 t) + \sin(2\pi f_3 t)$

est un signal stationnaire car il présente des composantes de fréquence à $f_1=20$, $f_2=35$ et $f_3=50$ Hz à tout instant, comme illustré dans la figure ci-dessous :

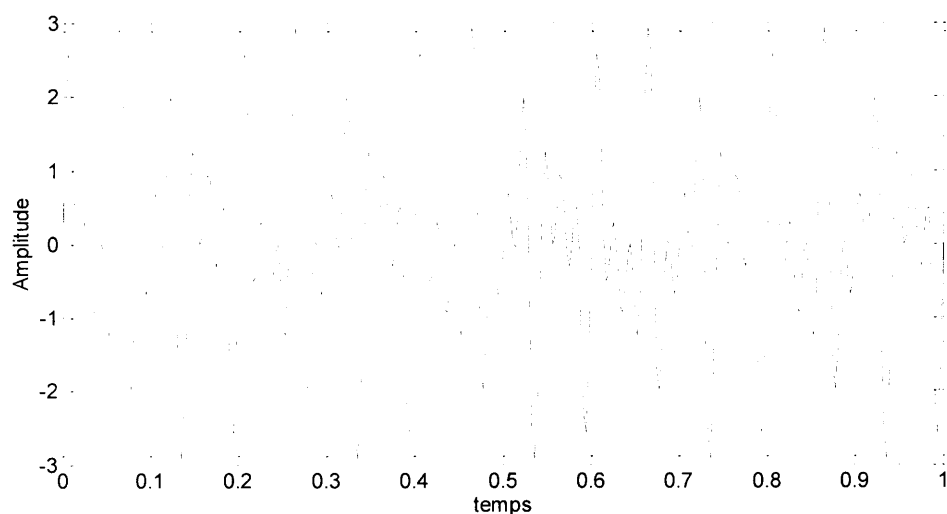


Figure 2.1 : Représentation temporelle d'un signal Stationnaire

Dans la figure (2.2) représentée le spectre en fréquence du signal "X", graphe du bas est une version agrandie montrant l'intervalle des fréquences qui présentent un intérêt

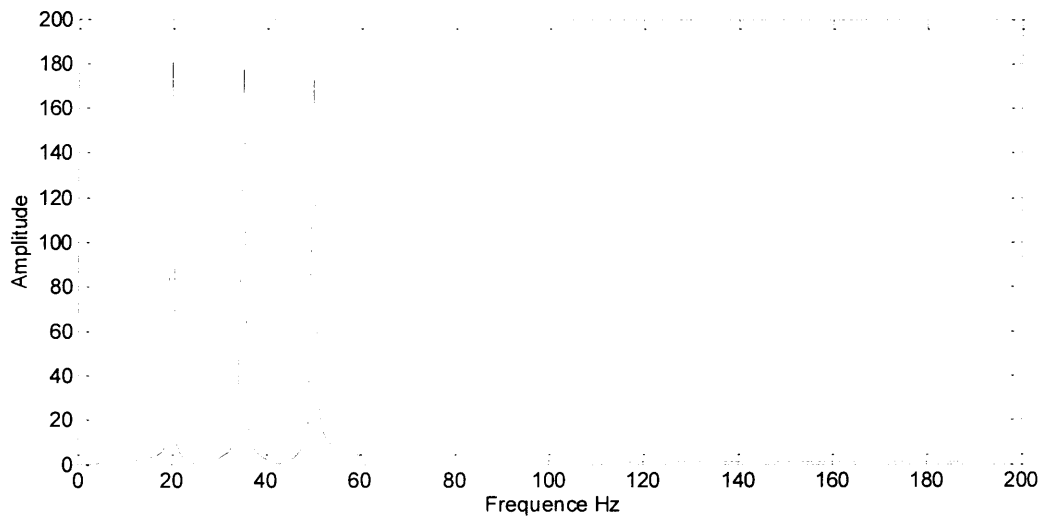


Figure 2.2 : Représentation spectrale d'un signal Stationnaire

On remarque que Les trois composantes spectrales sont parfaitement localisées et correspondent aux fréquences 20, 35et 50Hz.

II.1.2 TF du signal non Stationnaire

Un signal non-stationnaire est définit par opposition au signal stationnaire pour lequel toutes ses propriétés statistiques sont invariantes au cours de temps.

Dans le contexte déterministe, on appelle signal non-stationnaire un signal dont le contenu fréquentielle change dans le temps. Il suffit qu'une seule propriété statistique ou une seule composante fréquentielle soit variable dans le temps pour que l'on puisse parler de signal non-stationnaire. Si, par exemple, dans un signal il y a une dérive d'une fréquence au cours du temps ou un saut de moyenne temporelle. Alors il s'agit d'un signal non-stationnaire sur l'intervalle (0 – 29ms) c'est un cosinus à 10 Hz, sur l'intervalle (30 – 60 ms) c'est un cosinus à 20 Hz, sur l'intervalle (60 – 90ms) c'est un cosinus à 30 Hz.

Comme illustré dans la figure ci-dessous :

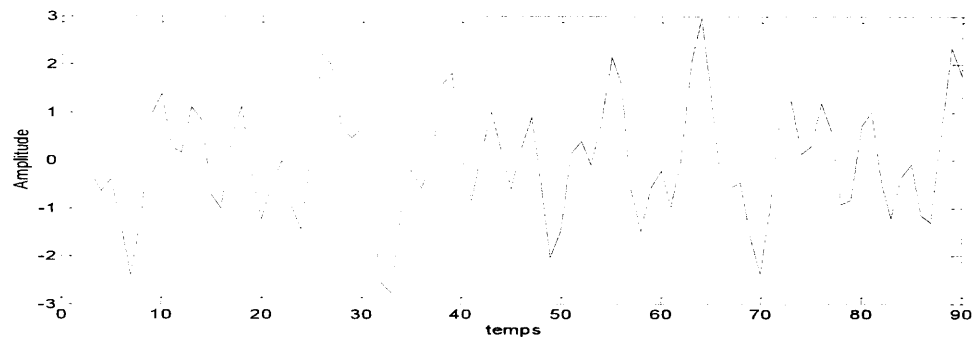


Figure.2.3 : Représentation temporelle d'un signal Non Stationnaire

Pour le signal de la Figure 2.4, nous avons que dans le premier intervalle nous avons la composante de plus haute fréquence et dans le dernier intervalle la composante de plus basse fréquence. Pour ces signaux, donc, les composantes de fréquence n'apparaissent pas en permanence.

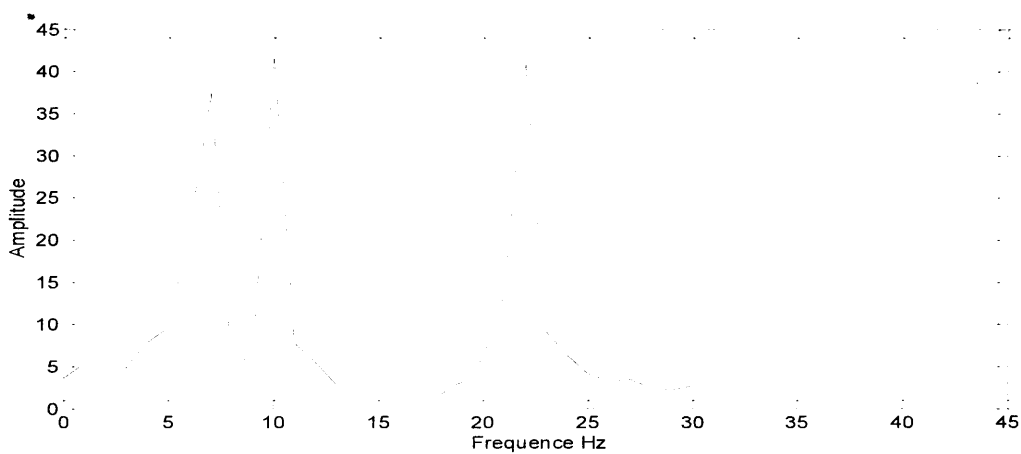


Figure 2.4 : Représentation spectrale d'un signal non stationnaire

On Remarque l'absence d'une propriété de localisation, la transformée de Fourier permet de dire en quelles quantités les fréquences existent mais elle ne dit pas à quels instants ces fréquences sont présentes.

II.3 Transformer de Fourier à court terme(TFCT)

Un outil permettant de remédier au limitation de la transformée de Fourier est la transformée de Fourier à court terme défini par l'équation suivante

$$TFCT(t,f) = \int_{-\infty}^{+\infty} X(\tau)h * (\tau - t) * \exp(-j. 2. \pi. f\tau).d\tau \tag{2.3}$$

- $x(t)$: représenter le signal.

- h^* : la conjuguée de la fenêtre d'analyse $h(t)$, la figure 2.5 représentée la transformée de Fourier à court terme.

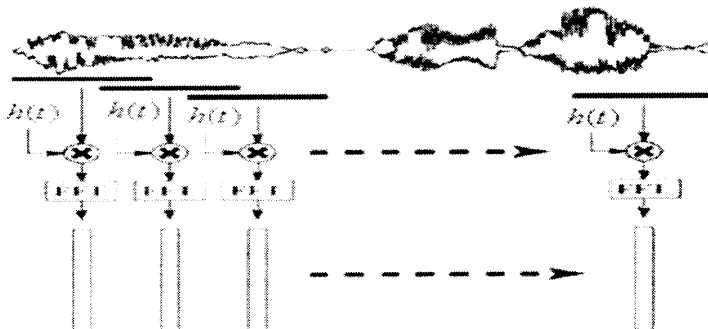


Figure 2.5 : Illustration de la transformée de Fourier à court terme

On peut noter un inconvénient majeur de la TFCT. En effet, la fenêtre est de longueur fixe ce qui est un handicap important lorsqu'on veut traiter des signaux dont les variations peuvent avoir des ordres de grandeur très variable comme c'est le cas pour les signaux non stationnaires.

Par ailleurs, on remarque qu'il pourrait être intéressant de faire varier la taille de la fenêtre non seulement par translation mais également par dilatation et contraction en fonction des caractéristiques du signal et de ce que l'on veut mettre en évidence. C'est précisément ce qui nous a amené à la représentation de type ondelettes.

II.3.1 Inconvénients de la TFCT

- Une fois la fenêtre choisie, la résolution fréquentielle et temporelle sont à leur tour définitivement fixe.
- Le signal doit être stationnaire dans la fenêtre utiliser par la TFCT.
- Une fenêtre étroite permet d'obtenir une bonne localisation du signal en temps par contre la localisation fréquentielle sera mauvaise.
- Une fenêtre temporelle large conduit à une mauvaise résolution temporelle et une bonne résolution fréquentielle

III. Transformée en Ondelette

III.1 Définition d'ondelette

Soit Ψ une ondelette présente des oscillations (comme une onde), mais limitées dans le temps (où le non de « petite onde »), et possédant une énergie concentrée dans le temps, et à valeur moyenne nulle. Elle doit être bien localisée en temps et en fréquence [13].

La transformée en ondelette peut être définie comme étant la projection sur la base des fonctions ondelette. En d’autres mots, elle utilise une fonction de base appelée l’ondelette mère $\Psi(t)$ que l’on va translater et dilater pour recouvrir le plan temps-fréquence et analyser le signal. Elle possède deux variétés distinctes selon le type de variation utilisé.

III.2 Transformée en Ondelette continue(TOC)

La transformée en Ondelettes d’un signal $y(t)$ est une projection sur la base des fonctions Ondelettes $\Psi\left(\frac{t-b}{a}\right)$, la transformée continue en ondelette est donnée par la formule:

$$TO(a,b) = \frac{1}{\sqrt{a}} \int_{-\infty}^{+\infty} y(t) \cdot \Psi\left(\frac{t-b}{a}\right) dt, \text{ avec } a, b \in \mathbb{R}, a \neq 0 \tag{2.4}$$

- **a**: est le facteur d’échelle.
- **b**: est le paramètre de translation.

En posant :

$$\Psi_{a,b}(t) = \frac{1}{\sqrt{a}} \Psi\left(\frac{t-b}{a}\right) \tag{2.5}$$

Ou $\Psi_{a,b}(t)$ sont une famille d’Ondelettes analysantes générales à partir à d’une Ondelette « mère » $\Psi(t)$ par dilatation (facteur a) et translation (paramètre b).

III.3. Exemple d’ondelettes

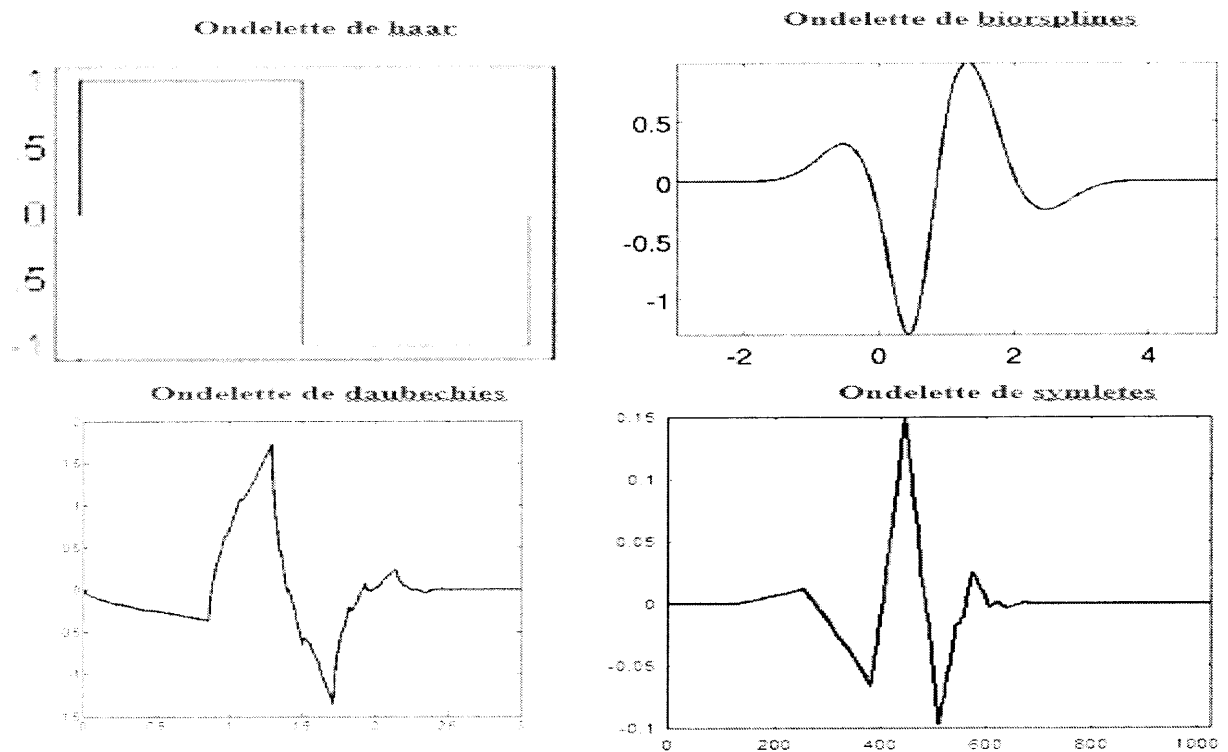


Figure 2.6 : Différent type d’ondelette

III.4 Illustration du changement d'échelle et de la translation

Le changement d'échelle sert à comprimer ou à dilater l'onde mère, ce qui permet d'analyser respectivement les hautes fréquences ou les basses fréquences contenues dans un signal tel que montré sur la figure 2.7 [14].

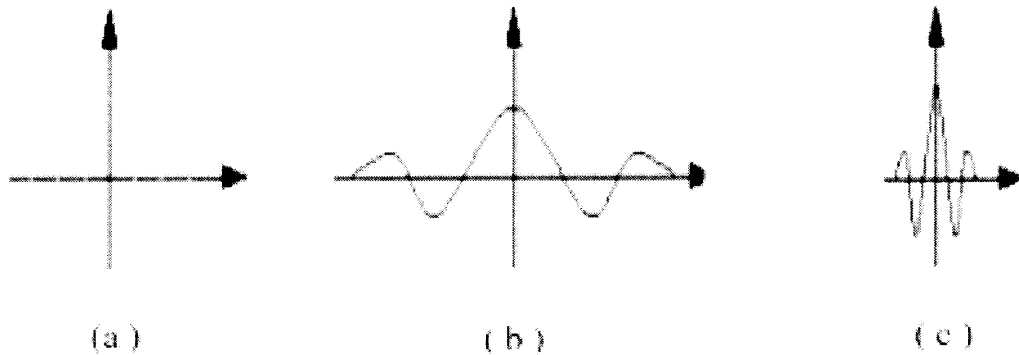


Figure 2.7: Illustration de la variation du facteur d'échelle, (a) l'Onde mère, (b) l'Onde pour $0 < a < 1$, (c) l'Onde pour $a > 1$

IV. Algorithme Pour Calcul des Coefficients

a) Facteur d'échelle « a »

Pour la Convenance, le procédé sera commencé à partir de l'échelle $a = 1$ et continuera pour les valeurs croissantes de a , i.e., l'analyse commencera à partir des haute fréquences et procédera vers les basses fréquences. Cette première valeur de a correspondra à l'ondelette la plus comprimée. L'ondelette est placée au début du signal au point qui correspond à $tempe=0$. La fréquence d'ondelette à l'échelle 1 est multipliée par le signal et puis intégrée sur tout le temps. Le résultant de l'intégration est alors multiplié par le nombre constant $1/\sqrt{a}$. Cett multiplication est pour la normalisation d'énergie de sorte que le signal transformé ait le même énergie à chaque échelle. Le résultat final est la valeur de la transformation, i.e., la valeur de la TOC au temps zéro et à l'échelle $a = 1$.

En d'autres termes, c'est la valeur qui correspond au point $b = 0$, $a = 1$ dans le plan temps-échelles.

b) Paramètre de translation « b »

L'ondelette à l'échelle $a = 1$ et ensuite transformée (ou décalée) vers la droite par une valeur $t=b$ à l'emplacement $t=b$, et l'équation (2.4) est calculée de nouveau pour obtenir la TOC au point $t=b$ et $a=1$ dans le plan temps-échelle. Ce procédé est répété jusqu'à ce que l'ondelette atteigne l'extrémité du signal. Une rangée des points sur le plan temps-échelle pour l'échelle $a = 1$ est maintenant accomplie. Puis, a est augmenté par une petite valeur. La transformation est continue, donc, b et a doivent être incrémentés d'une façon continue. Cependant, si cette transformée a besoin d'être calculée par un ordinateur, alors les deux paramètres sont augmentés par un pas suffisamment petit. Ceci correspond à l'échantillonnage du plan temps-échelle. Le procédé ci-dessus est répété pour chaque valeur de a . chaque calcul pour une valeur donnée de a remplit une rangée simple correspondante du plan d'échelle de temps. Quand le processus est complété pour toutes les valeurs désirées de a , TOC du signal a été calculé.

La procédure de calcul des coefficients $C(a, b)$ se fait comme suit : On multiplie le signal et la fonction analysante et l'on calcule l'intégrale du produit C'est un processus assez simple, en fait il se déroule en cinq étapes, comme illustrer dans figure. (2.8): [15][16].

1. prendre une Ondelette et on l'a comparé à une section au début du signal original
2. calculer les coefficient $C_X(a, b)$ qui représente le degré de corrélation de l'Ondelette avec cette portion du signal.
3. translater l'Ondelette vers la droite et on répète les étapes (1) et (2) jusqu'à ce que le signal soit couvert en entier.
4. dilater l'Ondelette et on répète les étapes une (1) à trois (3).
5. On recommence l'opération pour toutes les étapes à différentes échelles.

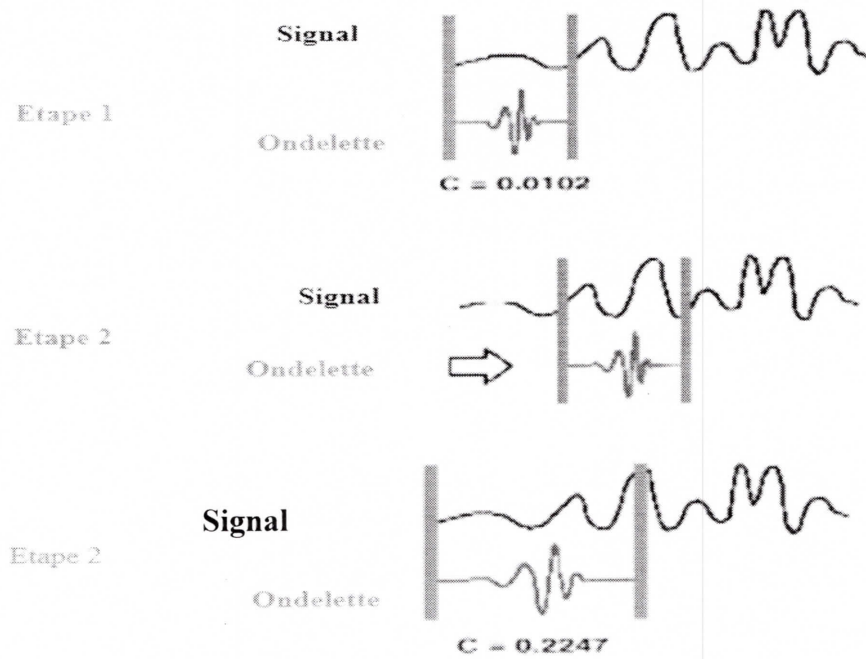


Figure.2.8: Les étapes de Calcul Les Coefficients.



V. Transformée en ondelette discrètes (TOD)

V.1 Définition de la TOD

La transformée en ondelette continue n’est pas applicable sur les signaux discrets. Dans le cas de la transformée discrète ou TOD, l’ondelette est translaté et dilaté selon des valeurs discrète des paramètres de décalage et translation.

La transformée en ondelette discrète consiste à trouver une fumaille($\Psi a_j, b_k$) ou a_j et $b_k \in z$, les coefficients d’échelle ‘a’ et de translation’ sont discrétises à l’aide des expressions suivant :

$$a_j = a_0^j \tag{2.6}$$

$$b_k = k \cdot a_0^j \tag{2.7}$$

Avec : $a_0 > 1 \in Z$ et $b_0 > 0 \in Z$

Les variables de discrétisations sont représentées par j et k, les fonctions de bases d’ondelette sont alors définies par l’expression suivant [17] :

$$\Psi_{j,k}(t) = a_0^{-j/2} \Psi(a_0^{-j}t - kb_0) \tag{2.8}$$

Deux algorithmes (rapides) sont envisageables :

- En prend $a_j=2^j, b_k=2^j k$, avec $k, j \in \mathbb{Z}$
- En prend $a_j=2^{-j}, b_k=2^{-j} k$, avec $k, j \in \mathbb{Z}$

Dans le cas au la famille d'ondelette est non orthogonalité, la transformée on ondelette sera redondante et également invariante en translation. La transformée d'ondelette est basée beaucoup plus sur l'utilisation de la complémentarité des deux filtres, passe-bas, et passe-haut.

V.2 Analyse multi-résolution

On construira une analyse multi résolutions à l'aide du son espace d'approximation V_j (génééré par la fonction échelle) emboîtés les uns dans autres, tel que le passage de l'un à l'autre soit résultat d'un changement d'échelle (zoom) . L'espace des détails W_j (génééré par la fonction Ondelette) vient compléter l'analyse. On peut définir pour V_j son complément orthogonal W_j dans V_{j-1}

On construira une analyse multi résolutions à l'aide du son espace d'approximation h_k (Génééré par la fonction échelle) emboîtés les uns dans autres, tel que le passage de l'un à l'autre soit résultat d'un changement d'échelle [18].

$$V_{j-1} = V_j \oplus W_j \tag{2.9}$$

Le schéma de la décomposition est représenté symboliquement sur la figure (3.4) dans laquelle la largeur des rectangles symbolisant les sous espaces est proportionnelle à la densité de l'échantillonnage réalisé par la projection du signal dans le sous espace.

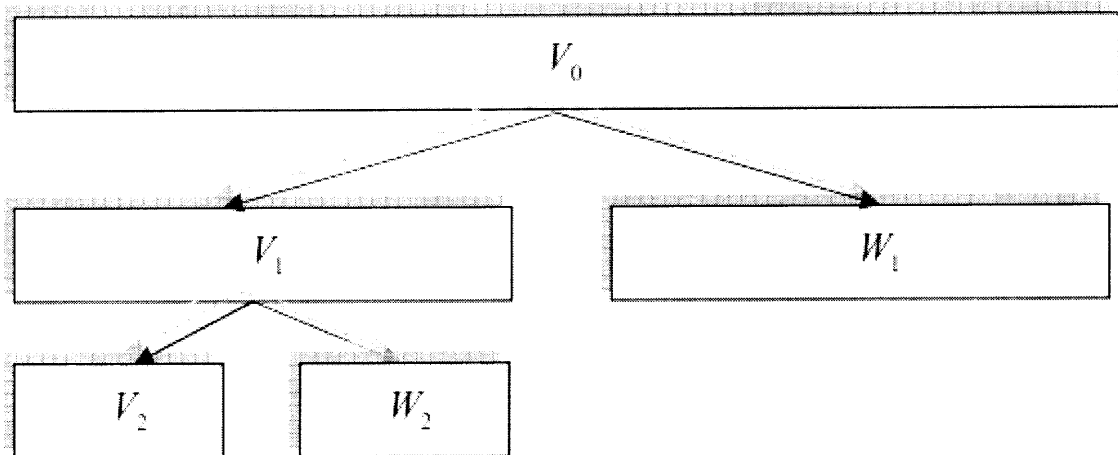


Figure 2.9 : Schéma d'analyse Multi-résolution [3].

La décomposition du signal en Ondelettes permet à l'utilisateur de s'adapter plus au signal selon on contenu fréquentiel pour extraire les informations utilisé. Dans ce cas tout changement de fréquence se traduira par un changement sur un plusieurs niveaux d'échelles. La classification sera appliquée sur certains signaux de détails et non sur le signal original [3].

VI. Transformée en ondelette rapide

VI.1 Etape de la décomposition

Mallat montré l'existence d'équations liant les coefficients d'approximation $a_j[k]$ et les coefficients de détail $d_j[k]$ obtus entre deux niveaux de résolution à l'aide des relations suivantes [19].

$$a_{j+1}[k] = \sum_{n=-\infty}^{\infty} h_0[n - 2k]a_j[n] = a_j * \bar{h}_0[2k] \tag{2.10}$$

$$d_{j+1}[k] = \sum_{n=-\infty}^{\infty} h_1[n - 2k]a_j[n] = a_j * \bar{h}_1[2k] \tag{2.11}$$

h_0 : Filtre passe-bas et h_1 : filtre passe-haut

La figure montre la procédure de décomposition d'un signal en coefficient d'approximation et de détail.

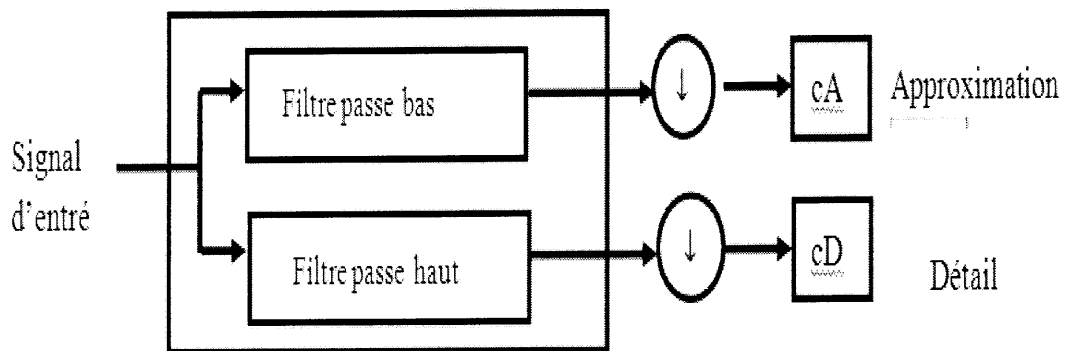


Figure 2.10 : Les coefficients d'approximation et détail [18].

L'autre possibilité de calcul à partir d'une transformée pyramidale est mise œuvre à l'aide de filtre numérique h_0 liée à la fonction d'échelle et un autre filtre h_1 lié à la fonction d'ondelette .l'algorithme peut être représenté par un banque de filtre d'analyse illustré par la figure suivant :

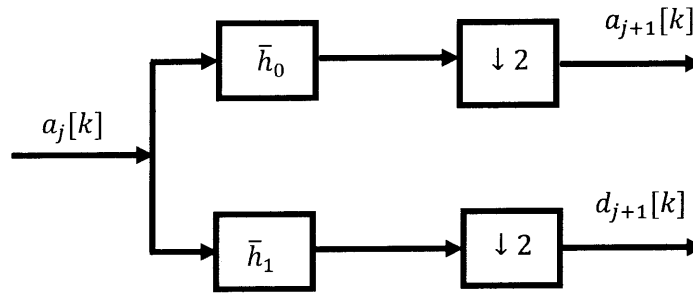


Figure 2.11: Décomposition en sous bande [18].

Pour calculer les coefficients $a_{j+1}[k]$ et $d_{j+1}[k]$ par filtrage des coefficients $a_j[k]$, d'une part par le filtre \bar{h}_0 et \bar{h}_1 , suivi par la décimation d'un facteur 2, cette opération appelée sous échantillonnage d'une facteur 2 est notée $\downarrow 2$, elle consiste à omettre un coefficient sur deux.

La déconvolution par ondelette d'un signal x d'une longueur de n échantillons consiste à initialiser $a_0[k]=x[k]$ et à utiliser le banc de filtres.

L'analyse multi résolution sur un nombre supérieure de niveaux s'obtient par la décomposition par la décomposition successive des signaux a_j et donc par une mise en cascade du banc de filtre jusqu'au niveau j_{max} désiré

La figure suivant illustré la déconvolution par ondelette à trois niveaux [20].

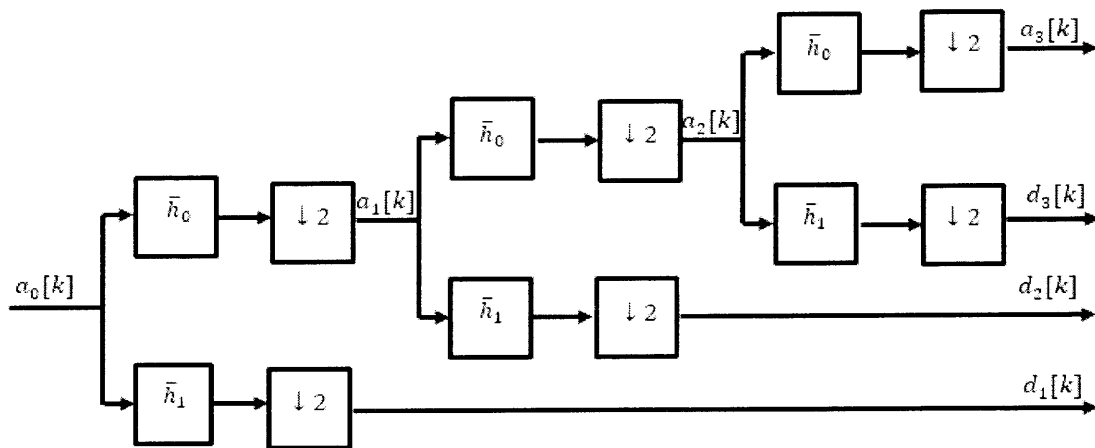


Figure 2.12: Déconvolution à une banque de filtres [18].

VI.2 Etape de la reconstruction

Pour synthétiser un signal, on le reconstruit à partir des coefficients d'ondelette.

$$a_j[k] = \sum_{n=-\infty}^{\infty} h_0[p - 2n]a_{j+1}[n] + \sum_{n=-\infty}^{\infty} h_1[p - 2n]d_{j+1}[n]$$

$$= a_{j+1} * \hat{h}_0 + d_{j+1} * \hat{h}_1 \tag{2.12}$$

Ou \hat{h}_1 est le signal résultant du sur-échantillonnage de h d'un facteur 2. Cette opération consiste en l'introduction de zéros entre les échantillons du signal d'origine, elle est définie pour tout n entier par :

$$\hat{h}[2n] = h[n] \text{ et } \hat{h}[2n + 1] = 0 \tag{2.13}$$

L'opération est notée $[2 \downarrow]$

Cette relation nous permet alors de construire l'algorithme rapide de reconstruction du signal a_j à partir de ses coefficients d'approximations et détails

L'algorithme de reconstruction peut être représenté par une banque de filtre comme illustré dans la figure suivant [19] :

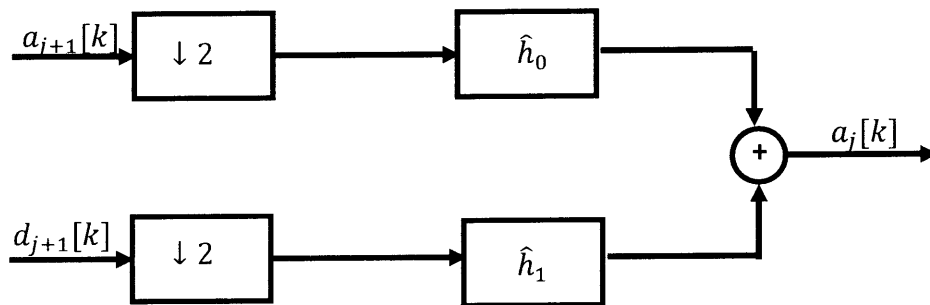


Figure 2.13 : La reconstruction par la banque de filtre

VII. Avantage l'analyse en Ondelettes

Le fait que la transformée utilise des fonctions bien localisées dans le plan Temps-Fréquence lui donne beaucoup d'avantages :

- La Résolution en fréquence de la transformée dépend du facteur de dilatation a par le principe d'Heisenberg, on peut donc choisir arbitrairement celle-ci suivant ce que l'on désire analyser.
- Pour les signaux physiques présentant des variations très rapides, des sauts, des marches, bref des discontinuités ; l'analyse en Ondelettes est adaptée car l'Ondelette va détecter ces variations et analyser celle-ci cette particularité rend l'analyse en Ondelettes complémentaire à l'analyse de fourrier. En effet, avec l'analyse de Fourier, les discontinuités d'un signal ne sont pas facilement analysables, car les coefficients des fréquences correspondances sont étalés dans toute la transformée.
- La localisation en temps est précieuse pour nombre d'application.

- La transformée en Ondelette peut représenter complètement et efficacement un signal quelconque en peu de coefficients [3].

VII. Analyse homomorphique basé sur la TO

I.1 Principe

A partir du principe de l'analyse homomorphique définie dans le chapitre précédent, on peut écrire

$$\log|S_w(f)| = \log|E_w(f)| + \log|V(f)| \quad (2.14)$$

$$S(w)=E(w) +V(w) \quad (2.15)$$

Not : Quand on applique le logarithme sur l'équation (3.3) le produit devient la somme.

De (3.5), on observe que le logarithme du spectre d'amplitude d'une trame pondérée du signal de parole est la somme de deux composantes spectrales : ou $E(w)$ est le logarithme de $|E_w(f)|$ du spectre d'amplitude de l'excitation pondérée, et $V(w)$ est le logarithme de $|V(f)|$ qui représente l'enveloppe spectrale. [20].

Le logarithme du spectre d'amplitude du signal de parole voisée peut être considéré comme constitué d'une variation lente (par rapport à la fréquence) représentant le contour due à la contribution du conduit vocal et d'une série d'harmoniques, caractérisée par une structure périodique.

L'algorithme de déconvolution de signal de parole par transformée en ondelette donne un outil efficace qui permet de séparer les deux composantes du spectre d'amplitude.

En effet, l'algorithme de décomposition par ondelette agit comme un banc de filtres [21], Cette propriété est utilisée pour séparer la composante harmonique et l'enveloppe spectrale. Les différentes étapes de la méthode de séparation illustrées par l'algorithme suivant définie dans la section suivante

I.2 Algorithme de déconvolution basé sur la transformée en ondelettes

Maintenant, notre tâche principale sera dans l'équation (3.5), nous allons appliquer la transformée en ondelettes sur le signal $S(w)$.

En utilisant la propriété du banc de filtre, nous avons séparé le signal $S(w)$ selon l'approximation et les détails comme suit:

$$\{a_k, d_k, d_{k-1}, d_{k-2}, d_{k-3}, \dots, d_3, d_2, d_1\} = DWT(S(w)) \quad (2.16)$$

Où **DWT** signifie la décomposition par transformée en ondelette discret

Selon les caractéristiques de domaine fréquentielle sur le signal $S(w)$.L'algorithme que nous utilisons pour la décomposition est comme la suit [22]:

1. Calcule du spectre d'amplitude du signal de parole $s(t)$, définit par l'équation 3.7, et illustré par la figure 3.1.

$$\log_{10}|\text{fft}(s(t)\text{ham}(t))| = \log_{10}|S(w)| \tag{2.17}$$

Ou la FFT présente la transformée de Fourier Rapide (notée par la suite FFT) est simplement une TFD calculée selon un algorithme permettant de réduire le nombre d'opérations et, en particulier, le nombre de multiplications à effectuer, elle est donnée par

$$x(k) = \sum_{n=0}^N x(n)e^{-2j\pi\frac{nk}{N}} \tag{2.18}$$

avec $k \in [0, N - 1]$

Et $s(t)$ est le signal du parole (voyelle/A/) et $\text{Ham}(n)$ est la fonction de la fenêtre de Hemming, définie par

$$w(n) = 0.54 - 0.46\cos\left(\frac{2\pi n}{M}\right) \tag{2.19}$$

Ou M présente l'ordre de la fenêtre

Le résultat est illustré par la figure suivant :

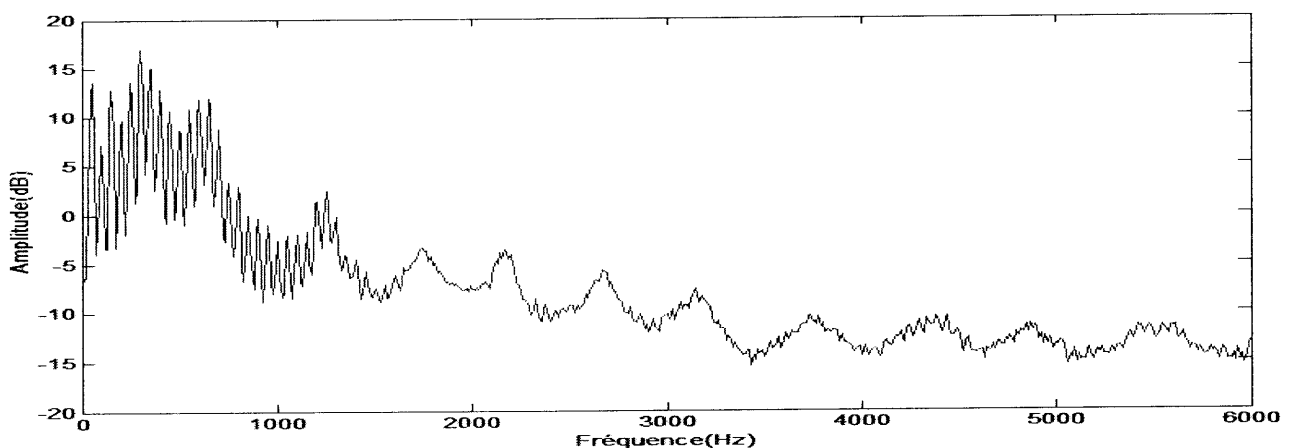


Figure 2.14: Le spectre d'amplitude de voyelle /A/

2. Décomposer le spectre d'amplitude. De [22], $k=8$ (niveau de décomposition), par conséquent, l'équation de séparation est comme suit :

$$\{a_8, d_8, d_7, d_6, d_5, d_4, d_3, d_2, d_1\} = DWT(S(w)) \tag{2.20}$$

Les résultats de décomposition sont illustrés dans la figure suivant :

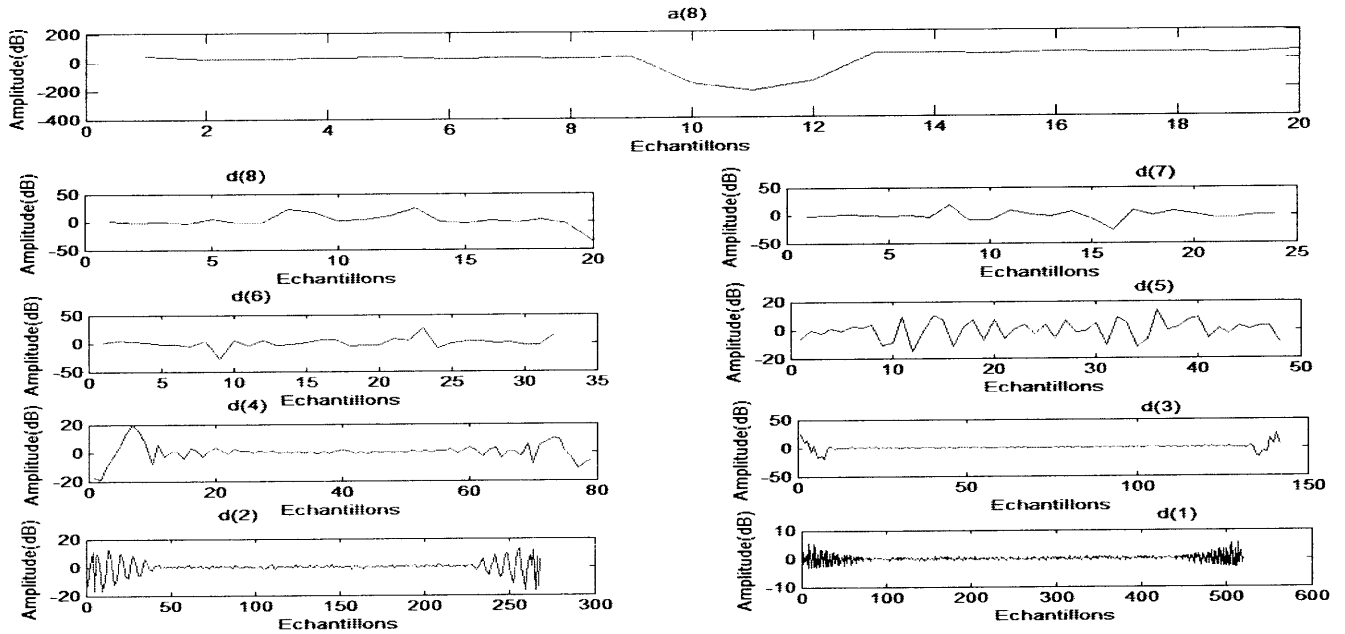


Figure 2.15 : Représentation de l’approximation et les détaille de voyelle de l’amplitude du spectre de la /A/

3. Construire la matrice D, défini par la formule suivante :

$$\begin{bmatrix} D_1 \\ D_2 \\ D_3 \\ D_4 \\ \vdots \\ D_k \end{bmatrix} = IDWT \begin{bmatrix} a_k & 0 & \dots & \dots & \dots & 0 \\ a_k & d_k & & & & 0 \\ a_k & d_k & d_{k-1} & 0 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_k & d_k & d_{k-1} & \dots & d_2 & 0 \end{bmatrix}$$

Remarque : Nous devons l’égalité entre les tailles de D1, D2, D3, D4 EtD8 et la taille du signal original, donc la taille de D1 est égale à la taille s(t) .ainsi de suit pour les autre (D2,..., D8).pour fait cette égalisation, on ajouter un vecteur des zéros à chaque signal Di, par exemple : $D1 = [a_8 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ \dots \ 0]$

4. Calculer l’énergie ‘ b_i ’ entre chaque deux élément successive de la matrice D Sachant que :

$$b_i = \{b_1 b_2 b_3 \dots \dots b_{k-1}\}$$

$$Et \ b_i = \sum_{n=1}^N \frac{[D_{i+1} - D_i]^2}{N} \tag{2.21}$$

Ou l'énergie d'un signal est défini par $E = \int_{-\infty}^{+\infty} |D_i|^2 dt$

Les différent énergie entre les filtres passe-bande voisines sont illustrées par la figure suivant :

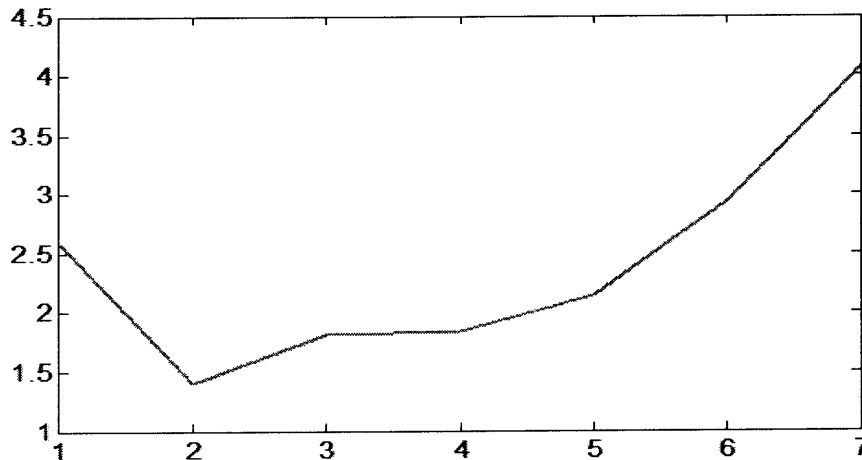


Figure 2.16: Les différent énergie entre les filtres passe-bande voisins

5. Définition l'indice j basée sur la différence d'énergie pour la reconstruction, on prend le premier minimum de vecteur $[b], b_{min}=b_j$ [22].
6. Donc, nous avons eu l'indice de séparation (j), cette clé sépare entre les basses fréquences et les haut fréquences, c.-à-d. dire : les basses fréquences sont les composant de $V(w)$ et les haut fréquences sont les composant de $E(w)$.

Les deux équations suivant illustrent ce que nous avons dit :

$$V(w) = IDWT(a_k, d_k, d_{k-1}, d_{k-2}, d_{k-3} \dots \dots d_j, 0,0,0,0,0,0,0,0) \tag{2.22}$$

$$E(w) = IDWT(0,0,0,0,0,0,0,0,0,0, d_{j+1}, \dots \dots \dots \dots, d_3, d_2, d_1) \tag{2.23}$$

Ou IDWT signifie la transformée inverse en ondelette discret

La figure .3.4 illustre le résultat de convolution obtenue par l'algorithme de déconvolution basé sur la transformée en ondelettes.

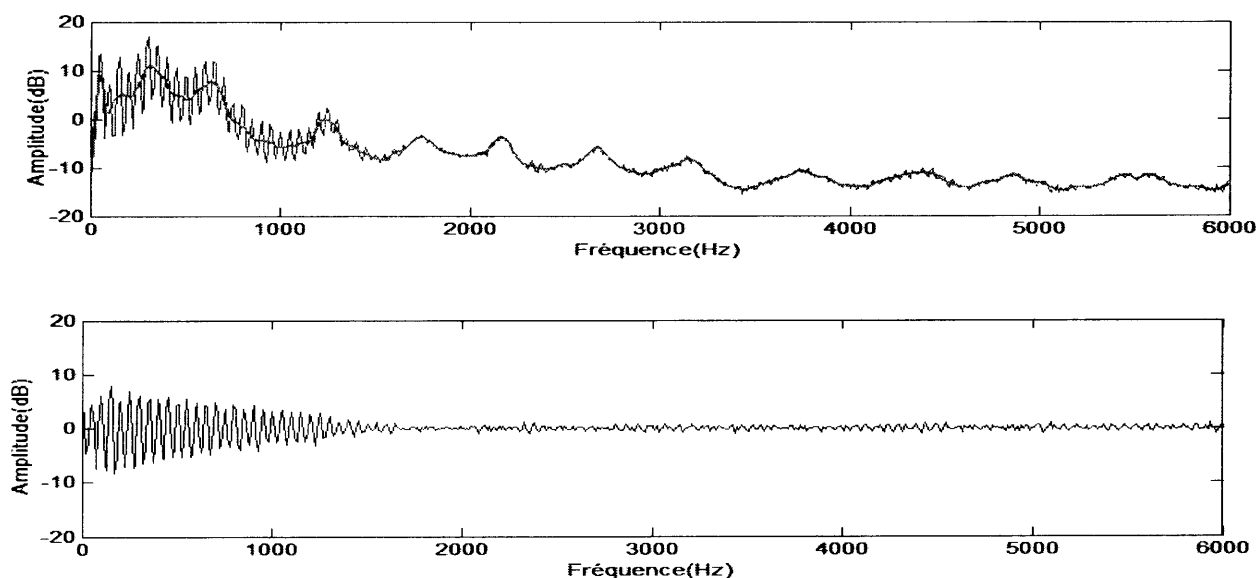


Figure 2.17:L'enveloppe spectral superposé au spectre d'amplitude de et

l'excitation glottique obtenue par l'algorithme de déconvolution basé sur la TOD

Ou la partie haut de la figure 3.4 représentée le spectre d'amplitude de notre signal ($S(w)$) et l'enveloppe superposée au spectre ($E(w)$) et la partie bas de la figure 3.4représentée l'excitation glottique de notre signal ($V(w)$).

VIII. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté la transformée de Fourier, qui est très utile pour donner des renseignements sur le comportement spectral des signaux cependant elle reste limite dans le cas des signaux non stationnaires .afin de répondre à ce problème, nous avons utilisé la transformée de Fourier à court terme(TFCT), cette dernier présente aussi des limitations, pour remédier aux limitations, la transformée en ondelette a été utilisé.

A travers l'analyse multi résolution, cet outil permet d'analyser un signal par le calcul de l'approximation considéré comme des versions lissées passe-bas du signal permettant de signaler des ruptures existence. L'utilisation des détails permettant de trouver les discontinuités ainsi que sauts ou variation en fréquence. La transformée en ondelettes a été présenté comme alternative de deconvolution du signal de parole par l'algorithme de séparation homomorphique basé sur la TO.