

SOMMAIRE

INTRODUCTION GENERALE.....	1
CHAPITRE I : Les notions de base sur le signal stabilométrique	
I.1. Introduction.....	4
I.2. Posturographie.....	4
I.3. Enregistrements à l'aide de capteurs magnétiques.....	5
I.4. Décomposition du signal stabilométrique.....	6
I.5. Base de données utilisée.....	7
I.6. Conclusion.....	9
CHAPITRE II : Analyse par transformée en ondelettes des signaux stabilométriques	
II.1. Introduction.....	11
II.2. Etude théorique sur les ondelettes.....	11
II.3. Résultats et discussions.....	17
II.4. Conclusion.....	23
Chapitre III : Analyse par paquets d'ondelettes des signaux stabilométriques	
III.1. Introduction.....	25
III.2. Etude théorique.....	25
III.3. Résultats et discussions.....	27
III.4. Conclusion.....	36
CONCLUSION GENERALE.....	37
BIBLIOGRAPHIE.....	38

Résumé :

Le but de notre travail est la décomposition du signal stabilométrique en trois signaux (tendance, excursion et tremblements). L'approche par paquets d'ondelettes est utilisée. Elle offre une librairie d'ondelettes organisées en fonction de leurs propriétés d'analyse et de localisation temps-échelle. La décomposition par paquets d'ondelettes du signal stabilométrique est intéressante dans la mesure où l'on peut ne conserver que les paquets qui reflètent bien le signal initial pour le critère choisi. Durant l'élaboration de ce travail, l'ensemble de nos tests ont été réalisés sur une base de données réelle faite dans le laboratoire LESSI de Paris12.

Mots clés : signal stabilométrique, transformée en ondelettes, transformée par paquets d'ondelettes.

Abstract:

In our work, we suggest stabilogram decomposition in three components (trend, rambling, trembling). The approach of wavelet packet is used. Decomposition wavelet packet of stabilometric signal is interesting. It offers a wavelet library organized according to their analysis properties and time-scale localization. During the development of this work, all of our tests were performed on a real database made in the LESSI laboratory Paris12.

Keywords: stabilometric signal, wavelet transform, wavelet packets transform.

INTRODUCTION GENERALE

L'homme se singularise par sa station debout érigée appelée aussi posture orthostatique. Pour maintenir cette position malgré la force de pesanteur, l'individu s'appuie sur un squelette dont les articulations sont rigidifiées par des contractions musculaires organisées par le système nerveux Central qui prend en compte de nombreuses informations sensorielles issues de la somesthésie, du vestibule et/ou de la vision.

L'étude de la posture orthostatique présente un grand intérêt pour l'analyse du déficit du contrôle de l'équilibre qui peut être lié à la pathologie, au vieillissement, ou aux contraintes environnementales [1].

Une méthode d'analyse de l'équilibre consiste à utiliser une plate-forme de forces qui permet d'extraire le déplacement du centre de pression selon les directions médio-latérale (**ML**) et antéropostérieure (**AP**).

La représentation des coordonnées du centre des pressions en fonction du temps constitue le stabilogramme. Les paramètres extraits du stabilogramme s'avèrent comme des variables clés pour surveiller la dégradation de l'équilibre.

Ainsi notre travail est divisé en trois parties :

Le premier chapitre rappelle d'abord quelques notions de base sur le signal stabilométrique (postural). Nous décrivons ensuite le principe d'enregistrement qui se fait à l'aide des capteurs magnétiques. Ensuite, on va présenter les différentes composantes qu'on peut obtenir par décomposition du stabilogramme. Ce chapitre s'achève par la présentation de la base de données sur laquelle s'appuiera l'ensemble de nos tests.

Dans le deuxième chapitre, une analyse par transformée en ondelettes des signaux stabilométriques, sera faite. Nous entamons ce chapitre par une étude théorique sur les ondelettes et leurs utilités dans le domaine du traitement du signal. Les différents résultats obtenus par application de la transformée en ondelettes sur les signaux stabilométriques, seront présentés et discutés.

La caractéristique principale de la transformée en ondelettes est de permettre une analyse à des résolutions variables selon les échelles d'analyse. Un phénomène lent de longue durée ne nécessite pas une bonne localisation temporelle, tandis que les événements rapides sont traités avec une résolution temporelle précise, au détriment de la précision fréquentielle. L'approche par paquets d'ondelettes est différente : elle offre une librairie d'ondelettes organisées en fonction de leurs propriétés d'analyse et de localisation temps-fréquence, et donc de filtrage passe-bande, selon une architecture d'arbre binaire. Cette architecture permet alors de mettre en œuvre des algorithmes de recherche de bases adaptées à la fois aux propriétés temps-fréquence souhaitées et au signal analysé. La décomposition en paquets d'ondelettes est intéressante dans la mesure où l'on peut ne conserver que les paquets qui reflètent bien le signal initial pour le critère choisi.

Ainsi dans le dernier chapitre, une analyse par paquets ondelettes des signaux stabilométriques sera faite. Les résultats obtenus vont montrer l'efficacité de cette méthode dans la décomposition des signaux posturaux.

CHAPITRE I :

Les notions de base sur le signal stabilométrique

CHAPITRE I : Les notions de base sur le signal stabilométrique

I.1. Introduction :

Ce chapitre rappelle d'abord quelques notions de base sur le signal stabilométrique (postural). Nous décrivons ensuite le principe d'enregistrement qui se fait à l'aide des capteurs magnétiques. Ensuite, on va présenter les différentes composantes qu'on peut obtenir par décomposition du stabilogramme. Ce chapitre s'achève par la présentation de la base de données sur laquelle s'appuiera l'ensemble de nos tests.

I.2. POSTUROGRAPHIE [2]:

La posturologie en pratique courante dispose d'un examen paraclinique : la posturographie (stabilométrie). La posturographie est la mesure des déplacements du centre de pression suivant les trois directions (x, y, z) au moyen d'une plate-forme de force dite de stabilométrie. Cette dernière permet d'étudier successivement la posture en condition orthostatique et dynamique selon un protocole expérimental normalisé. La posturographie statique consistait à enregistrer les déplacements du centre de pression des sujets, testés en posture érigée, et ayant pour consigne de se maintenir le plus détendu possible. La posturographie dynamique se fait sur des plates-formes mobiles asservies par les oscillations du sujet ou motorisées. La posturographie statique renseigne sur les performances et la stratégie, la posturographie dynamique renseigne sur les ajustements posturaux.

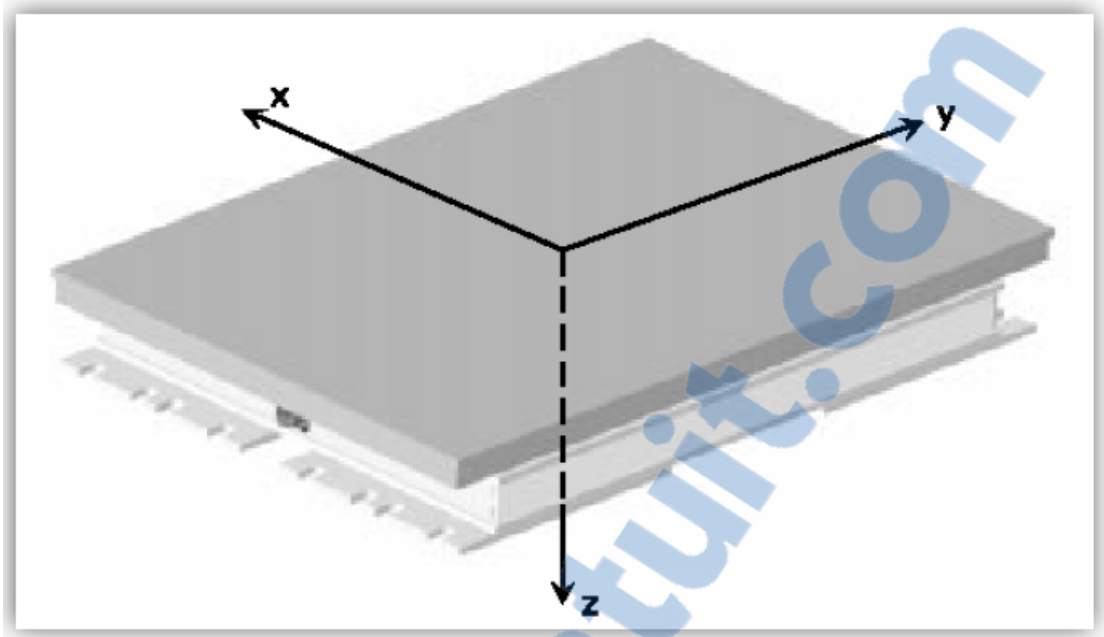


Figure I.1 : Plate-forme de forces

I.3. Enregistrements à l'aide de capteurs magnétiques [3]:

Le dispositif (Figure I.1) est fondé sur l'utilisation des champs magnétiques pulsés. Il se compose d'une antenne placée au sol, contenant trois bobines coplanaires à champ pulsé et d'un récepteur, constitué lui aussi de trois bobines coplanaires, mesurant de manière simultanée les trois composantes du signal électromagnétique issu de l'antenne. Une carte d'acquisition permet la coordination entre la partie émettrice et les capteurs. Les capteurs de position délivrent la position tridimensionnelle mais également l'orientation de l'objet sur lequel ils sont fixés. Dès lors, nous disposons des déplacements médio-latéraux (ML), antéro-postérieurs (AP) et verticaux du centre de gravité (ou de toute autre partie du corps).

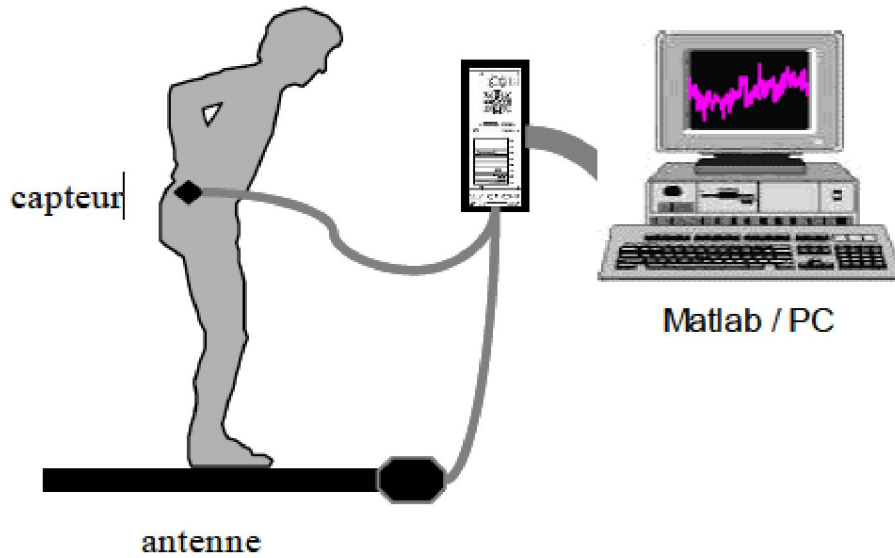


Figure I.2 : Le dispositif

I.4. Décomposition du signal stabilométrique [3]:

Le signal stabilométrique est composé de trois signaux qui sont la tendance (donne le déplacement principal du segment du corps considéré), l'excursion autour de cette tendance (caractérisée par des oscillations BF notables, déterministes) et finalement des tremblements autour du signal d'excursion (ce signal présente une structure plus complexe de nature chaotique). Cette hypothèse est valable pour les déplacements AP, ML, et Verticaux.

Exemple : soit un signal stabilométrique AP mesuré à 60 Hz pendant 10 minutes (Figure I.2). A l'issue de cette décomposition, nous disposons du signal de tremblements (Figure I.3) et de la composition de la tendance et du signal d'excursion (Figure I.4). Le signal de la figure I.4 peut aussi être décomposé en deux : la tendance (Figure I.6) et l'excursion (Figure I.5)

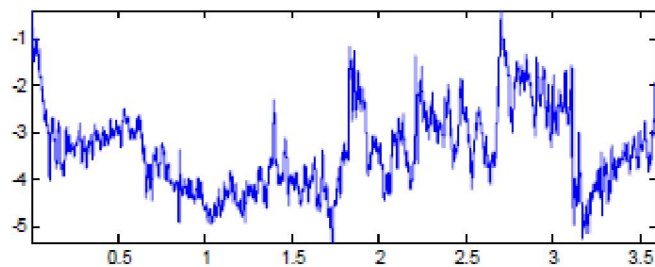


Figure I.2 : Signal stabilométrique

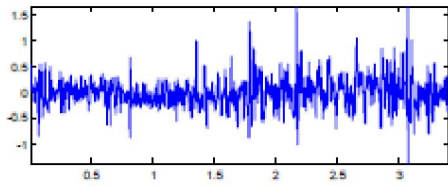


Figure I.3 : Tremblements

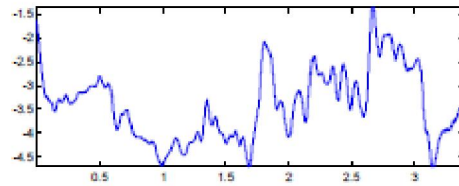


Figure I.4 : tendance + excursion

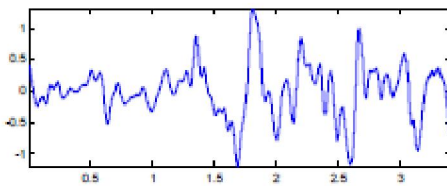


Figure I.5. Excursion

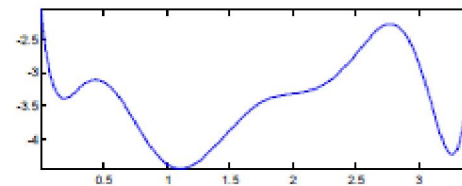


Figure I.6. Tendence

I.5. Base de données utilisée :

Les différents résultats présentés dans le cadre de ce mémoire ont été testés sur les différents enregistrements d'une base de données réalisée dans le laboratoire LESSI de l'université Paris 12.

La base de données en question contient 25 enregistrements, obtenus à partir de 25 sujets étudiés par le laboratoire LESSI.

a. Caractéristiques de 25 sujets sains :

Prénom	Nom	Age	Sex	Taille	Poids
Mejdi	MSEDDI	14	M	1,67	64
Sarah	LACHENY	19	F	1,6	52
Mohamed	ZOUAGHA	20	M	1,8	72
Naima	NANTON	20	F	1,74	62
Rémy	LUCIANI	20	M	1,91	65
Camille	PANAY	21	F	1,6	55
Gregory	BARAST	21	M	1,82	80
Samuel	SOPHIE	21	M	1,78	95
Yvon	QUENUM	21	M	1,92	84
Florian	VIGREUX	23	M	1,86	70
Solene	GAUDRY	23	F	1,75	66

Mahamadou	SISSOKO	24	M	1,78	76
Samir	RAHMAI	24	M	1,75	55
Dhouha	MAATAR	27	F	1,76	70
Fabien	SAKANGA	27	M	1,92	89
Salma	HAJJEM	27	F	1,6	55
Fazia	AIBOUD	28	F	1,65	62
Emerey	YEZBAK	29	M	1,86	90
Emre	ZEYBEK	29	M	1,9	105
Tip	TIP	30	M	1,7	80
Tahar	BRARAHINI	31	M	1,72	60
Amir	NAKIB	32	M	1,85	90
Fournier	REGIS	35	M	1,65	60
Amine	NAITALI	37	M	1,675	80
Mostefa	MERAH	38	M	1,85	87
Moyenne		25,64		1,7646	72,96
Ecart-type		6,02688421		0,1035004	14,463978
					2

Tableau I.1

b. Caractéristiques des sujets jeunes :

Prénom	Nom	Age	Sex	Taille	Poids
Mejdi	MSEDDI	14	M	1,67	64
Sarah	LACHENY	19	F	1,6	52
Naima	NANTON	20	F	1,74	62
Mohamed	ZOUAGHA	20	M	1,8	72
Rémy	LUCIANI	20	M	1,91	65
Camille	PANAY	21	F	1,6	55
Gregory	BARAST	21	M	1,82	80
Samuel	SOPHIE	21	M	1,78	95
Yvon	QUENUM	21	M	1,92	84
Solene	GAUDRY	23	F	1,75	66
Florian	VIGREUX	23	M	1,86	70
Mahamadou	SISSOKO	24	M	1,78	76
Samir	RAHMAI	24	M	1,75	55
Dhouha	MAATAR	27	F	1,76	70
Salma	HAJJEM	27	F	1,6	55
Fabien	SAKANGA	27	M	1,92	89
Fazia	AIBOUD	28	F	1,65	62
Moyenne		22,3529412		1,75941176	68,9411765
Ecart-type		3,60453146		0,10819373	12,5173409

Tableau I.2

c. Caractéristiques des sujets adultes :

Prénom	Nom	Age	Sex	Taille	Poids
Emerey	YEZBAK	29	M	1,86	90
Emre	ZEYBEK	29	M	1,9	105
Tip	TIP	30	M	1,7	80
Tahar	BRARAHIN I	31	M	1,72	60
Amir	NAKIB	32	M	1,85	90
Fournier	REGIS	35	M	1,65	60
Amine	NAITALI	37	M	1,675	80
Mostefa	MERAH	38	M	1,85	87
Moyenne		32,625		1,775625	81,5
Ecart-type		3,5831949		0,09883021	15,3808787

Tableau I.3

I.6. Conclusion :

Dans ce chapitre des notions de base sur le signal stabilométrique (postural) ont été présentés. Une description brève des principes d'enregistrement du stabilogramme a été faite. Une décomposition du signal stabilométrique, nous a montré les différentes composantes qu'on peut obtenir. Durant l'élaboration de ce travail, l'ensemble de nos tests vont être réalisés sur une base de données réelle faite dans le laboratoire LESSI de Paris12.

CHAPITRE II :
Analyse par transformée en ondelettes des signaux
stabilométriques

Chapitre II : Analyse par transformée en ondelettes des signaux stabilométriques

II.1. Introduction :

Dans ce chapitre, une analyse par transformée en ondelettes des signaux stabilométriques, sera faite. Nous entamons ce chapitre par une étude théorique sur les ondelettes et leurs utilités dans le domaine du traitement du signal. Les différents résultats obtenus par application de la transformée en ondelettes sur les signaux stabilométriques, seront présentés et discutés.

II.2. Etude théorique sur les ondelettes :

II.2.1. Définition de l'ondelette :

Une ondelette notée $\psi(t)$ représente une courte oscillation de moyenne nulle. Un exemple est illustré sur la figure II.1.

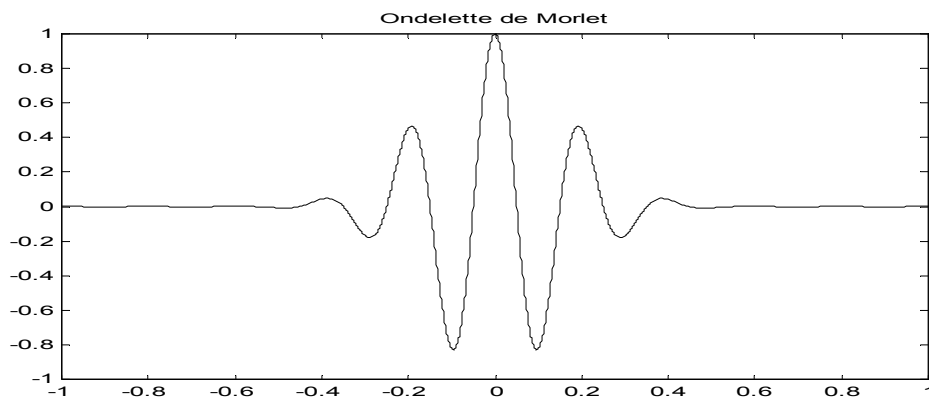


Figure II.1 : Exemple de fonction d'ondelette (ondelette de Morlet)

II.2.2. Domaines d'applications de la décomposition en ondelettes :

Les domaines d'application de la décomposition en ondelettes sont vaste est se résumant comme suits :

- Elle est utilisée à des fins de détection des signaux transitoires.
- Elle est utilisée dans les domaines de détection des contours dans les images, dans la compression et le traitement de la parole.
- Détection des paramètres des signaux électro-pysiologiques tel que les paramètres du signal électrocardiogramme ECG (complexe QRS, l'onde P, l'onde S ...) aussi l'analyse de l'EEG , ou bien l'EMG.

II.2.3. Analyse temps-échelle (transformation en ondelettes) : [4]

II.2.3.1. Historique et description de la méthode :

Lorsqu'on parle de représentation temps-échelle (RTE), on pense classiquement aux ondelettes. Les premiers travaux liés à la théorie des ondelettes sont apparus dans les années 30 à l'occasion des études de Lusin et Caldéron. Mais c'est en 1975 que Jean Morlet définit pour la première fois la transformation en ondelettes (TO). La validité théorique n'a été confirmée que 9 ans plus tard, en 1984, par Alex grossman.

L'analyse en ondelettes constitue une suite logique des travaux abordés dans le cadre de l'analyse temps-fréquence. L'apport de cette technique est l'utilisation d'une famille d'atomes temps-fréquence obtenue en dilatant et en translatant une ondelette analysante. La famille d'ondelette est déduite à partir d'ondelette mère $\psi(t)$ par la formulation suivante :

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

Avec a correspondant au facteur d'échelle. Ainsi définir $|a| < 1$ dilate la fonction $\psi(t)$ et prendre $|a| > 1$ la comprime. b correspond au paramètre de translation.

Le paramètre d'échelle a de la transformée en ondelettes est comparable à celui du paramètre fréquence de la transformée de Fourier à court terme (TFCT).

L'analyse en ondelette consiste donc, en une représentation temps-échelle du signal à analyser suivant la configuration suivante :

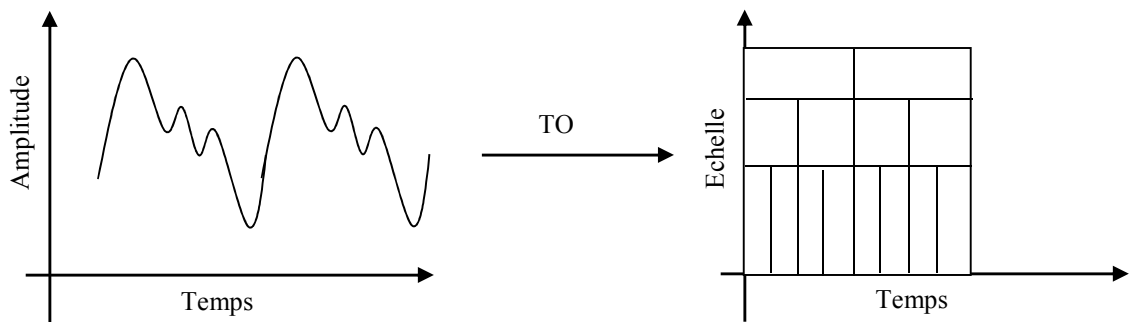


Figure II.2 : Analyse temps-échelle (TO)

L'analyse temps-échelle nous conduit à deux types de transformations en ondelettes : continues (TOC) et discrètes (TOD).

II.2.3.2. Boîtes de Heisenberg d'atomes d'ondelettes :

L'écart-type en temps est proportionnel au facteur d'échelle a tandis que l'écart-type en fréquence est inversement proportionnel à a .

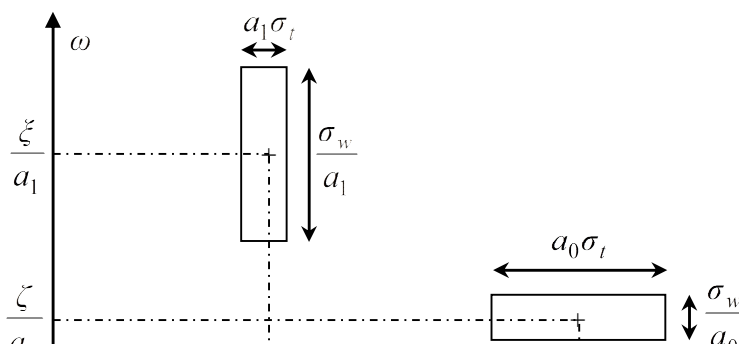


Figure II.3 : Boîtes de Heisenberg d'atomes d'ondelettes

II.2.3.3. La transformation en ondelettes continue (TOC) :

La transformation en ondelettes continue (TOC) d'un signal $x(t)$ est donnée par :

$$W(a, b) = \frac{1}{\sqrt{a}} \int_{-\infty}^{+\infty} \Psi\left(\frac{t-b}{a}\right) x(t) dt$$

Où $\Psi(t)$ est l'ondelette mère analysante. a est un facteur d'échelle de dilatation temporelle et b est un facteur de translation dans le temps.

Le résultat de la transformation en ondelettes continue (TOC) est donc des coefficients W fonction de a (facteur d'échelle) et de b (facteur de translation).

Les coefficients $W(a,b)$ décrivent la corrélation entre le signal à analyser et l'ondelette mère analysante.

La transformation en ondelettes continue (TOC) produit une représentation temps-échelle similaire à celle de la représentation temps-fréquence produite par la transformée de Fourier à court terme (TFCT).

II.2.3.4. La transformation en ondelettes discrète (TOD) :

Lorsque les paramètres d'échelle et de translation a et b prennent des valeurs discrètes avec :

$$a = 2^j \quad \text{et} \quad b = n.2^j, \quad \text{Où } j \text{ et } n \text{ sont des nombres entiers.}$$

On obtient alors la transformation en ondelettes discrètes (TOD) définie par la relation suivante:

$$W(i, m) = 2^{-\frac{i}{2}} \sum_{n \in \mathbb{Z}} x(n) \Psi\left(\frac{n}{2^i} - m\right)$$

L'inconvénient majeur de la transformée en ondelettes discrète (TOD) est qu'elle produit un nombre élevé de coefficients pour représenter un signal exigeant un temps de calcul élevé pour reconstituer le signal d'origine.

La transformée en ondelettes discrète décompose le signal en deux parties :

- les approximations qui correspondent à la basse fréquence
- les détails qui correspondent à la haute fréquence

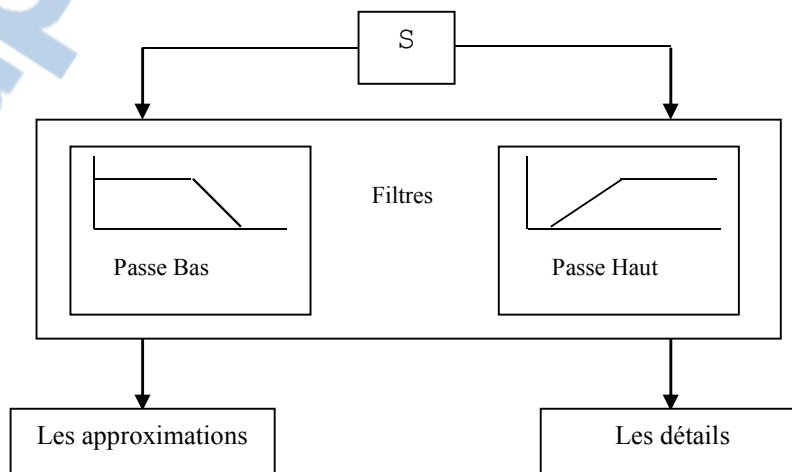


Figure II.4.

Le processus de décomposition peut être réitérée, de sorte qu'un signal peut être décomposé en plusieurs composantes de basse résolution : ceci s'appelle l'arbre de décomposition d'ondelette (voir figure ci-après).

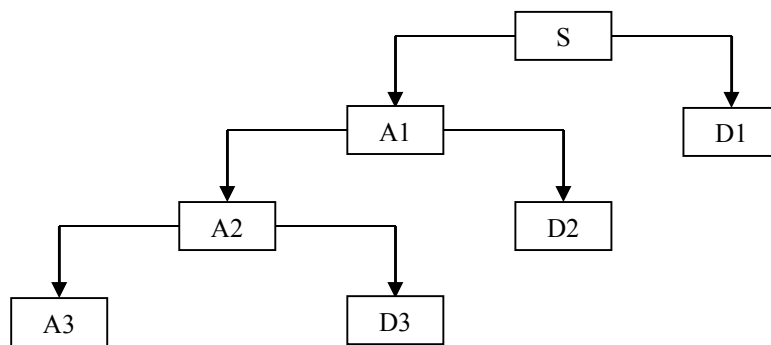


Figure II.5. Décomposition en multi niveau

II.2.4. Familles d'ondelettes :

Au contraire de la transformée de Fourier, les ondelettes offrent la possibilité de choisir parmi telle ou telle ondelette analysante qui semble la plus

adaptée avec l'application voulue. Dans ce contexte, il y a nécessité de représenter quelques familles d'ondelettes les plus connues en traitement du signal.

II.2.4.1. Ondelette de Haar :

Elle est classée parmi les ondelettes les plus anciennes, et définie par sa fonction d'ondelette Ψ et sa fonction d'échelle Φ , le désavantage de cette ondelette est qu'elle est discontinue donc il n'est pas possible d'approximer les signaux continus d'une manière très adéquate.

II.2.4.2. Ondelette de Daubechies :

C'est une famille d'ondelettes orthogonales, on note N l'ordre de l'ondelette dbN dont elle contient l'ondelette de Haar $db1$. A l'exception de $db1$, cette famille d'ondelettes n'a pas une expression explicite.

II.2.4.3. Ondelette de Symlets :

Elle constitue la famille d'ondelettes approximativement symétriques. Proposée par Daubechies comme une modification de la famille dbN dont les propriétés des deux types sont similaires ($sym1$ c'est l'ondelette de Haar).

II.2.4.4. Ondelette de Meyer :

Elle est classée parmi les ondelettes les plus anciennes, introduite par Meyer au milieu des années 1980. C'est une ondelette orthogonale infiniment dérivable et définie par sa fonction d'ondelette Ψ et sa fonction d'échelle Φ dans le domaine fréquentiel.

II.2.5. Avantages et inconvénients de la transformée en ondelettes :

Les avantages qu'offrent la transformée en ondelettes (TO) dans l'analyse temps-échelle sont les suivants :

- travailler en sous bandes avec la possibilité de séparer les composantes du bruit du reste du signal,
- la transformée en ondelettes offre une grande aptitude à prendre en charge plusieurs traitements numériques du signal de façon quasi simultanée (fenêtrage, débruitage, détection, filtrage et reconstitution du signal),

Les inconvénients de la transformée en ondelettes sont les suivants :

- les ondelettes n'existent pas à un instant spécifique ou à une fréquence spécifique. Elles sont bien localisées dans le temps en fréquence mais pas avec une grande précision,
- l'un des inconvénients majeur de la transformée en ondelettes est qu'elle nécessite un bon choix d'ondelette mère analysante pour les différentes applications en traitement numérique du signal. En effet, le choix de l'ondelette utilisée pour la décomposition temps-échelle est le point le plus important. Celui-ci a une influence sur la résolution en temps et en fréquence du résultat. Nous ne pouvons modifier de cette manière les caractéristiques de la transformée en ondelettes (les basses fréquences ont une bonne résolution fréquentielle mais une mauvaise résolution temporelle ; les hautes fréquences ont une bonne résolution temporelle et une mauvaise résolution fréquentielle), mais nous pouvons toutefois augmenter la résolution fréquentielle totale ou la résolution temporelle totale. Ceci est directement proportionnel à la largeur de l'ondelette utilisée. Dans notre travail, nous avons pris en considération l'ondelette de daubeshies.

II.3. Résultats et discussions :

Dans notre étude, une décomposition par transformée en ondelettes discrète des signaux stabilométriques sera faite. Les différents algorithmes présentés dans le cadre de ce mémoire ont été testés sur les différents enregistrements d'une base de données faites au niveau du laboratoire LESSI (université Paris

12), dans laquelle chaque personne est placée suivant quatre positions différentes à savoir : pied-écarté & yeux fermés (PE-YF), pied-écarté & yeux ouverts (PE-YO), pieds serrés & yeux fermés (PS-YF), pieds serrés & yeux ouverts (PS-YO). La base de données en question contient plusieurs enregistrements, obtenus à partir de plusieurs sujets.

Afin de tester l'efficacité de la transformée en ondelette à bien décomposer le signal stabilométrique, un choix est fait sur plusieurs sujets présentant les quatre positions possible. Cependant, et comme a été décrit dans la partie théorique de ce chapitre, le choix de l'ondelette mère est très important dans l'analyse en ondelette que ça soit discrète ou continue. Une étude comparative est alors faite par le choix de deux types d'ondelette (Haar et daubechies).

Sur les figures suivantes II.6 à II.13 une décomposition du signal stabilométrique est alors faite en exploitant toutes les positions possibles à savoir :

- Cas n°1 : Pieds-écartés & Yeux fermés (PE-YF) ;
- Cas n°2 : pieds -écartés & yeux ouverts (PE-YO) ;
- Cas n°3 : pieds serrés & yeux fermés (PS-YF) ;
- Cas n°4 : pieds serrés & yeux ouverts (PS-YO) ;

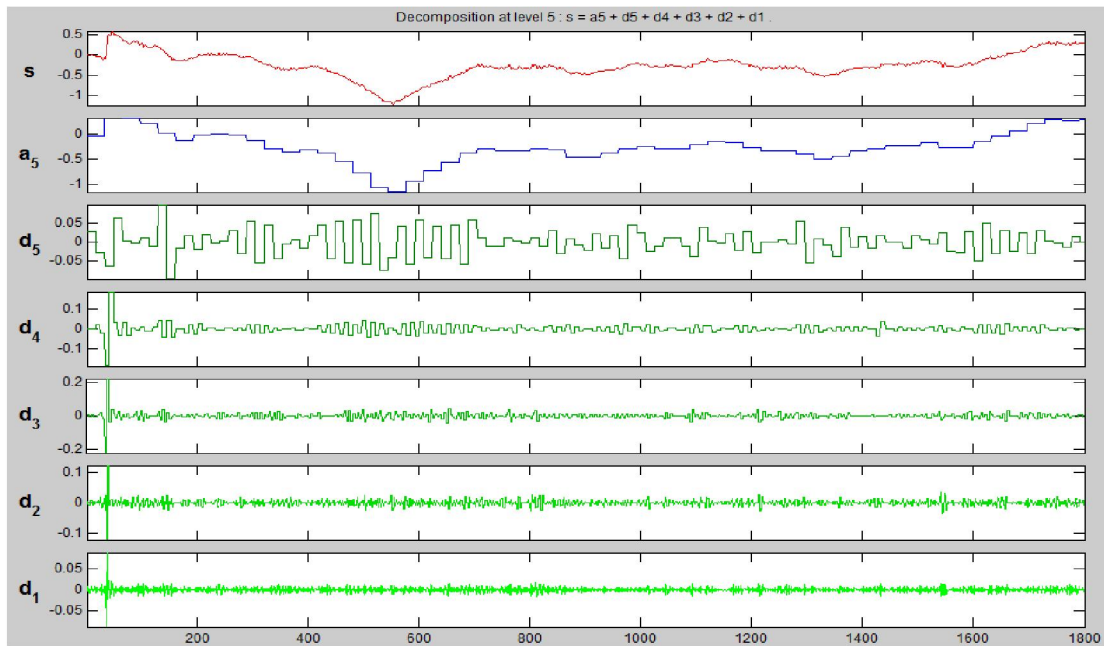


Figure II.6 : Analyse par transformée en ondelettes discrète des signaux stabilométriques (Ondelette de Haar : Niveau 5),
Cas n°1 : Pieds-écartés & Yeux fermés (PE-YF)

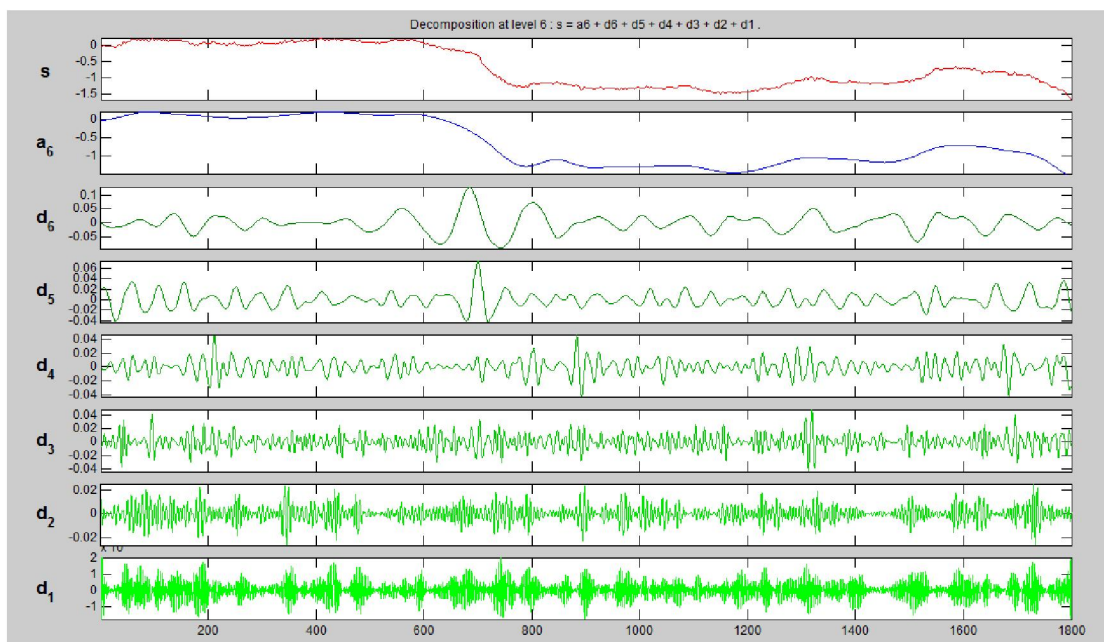


Figure II.7 : Analyse par transformée en ondelettes discrète des signaux stabilométriques (Ondelette de Daubechies ordre 7 (DB7): Niveau 6),
Cas n°1 : Pieds-écartés & Yeux fermés (PE-YF)

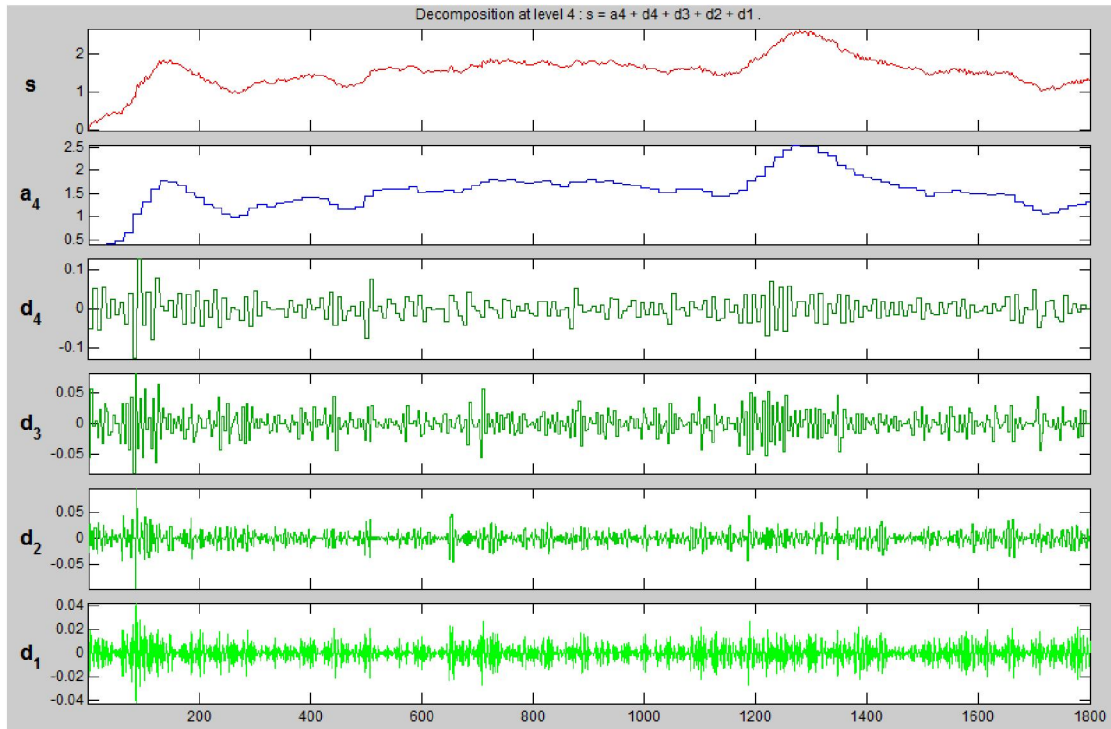


Figure II.8 : Analyse par transformée en ondelettes discrète des signaux stabilométriques (Ondelette de Haar : Niveau 4),
Cas n°2 : pieds -écartés & yeux ouverts (PE-YO)

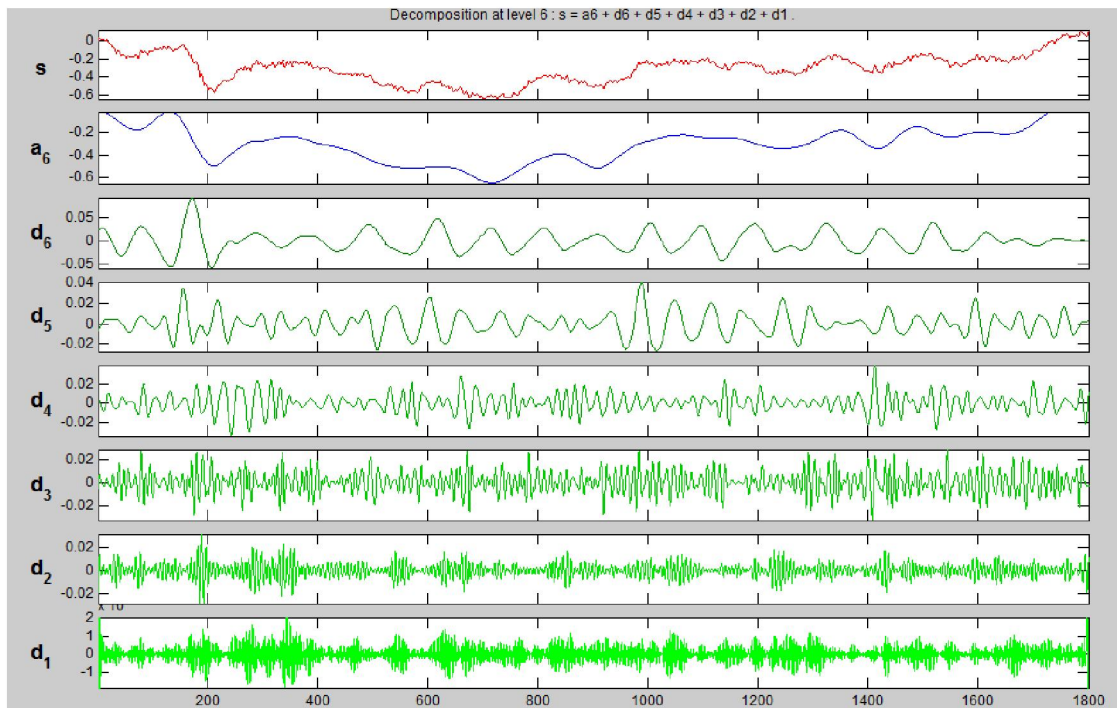


Figure II.9 : Analyse par transformée en ondelettes discrète des signaux stabilométriques (Ondelette de Daubechies ordre 7 (DB7): Niveau 6),

Cas n°2 : pieds -écartés & yeux ouverts (PE-YO)

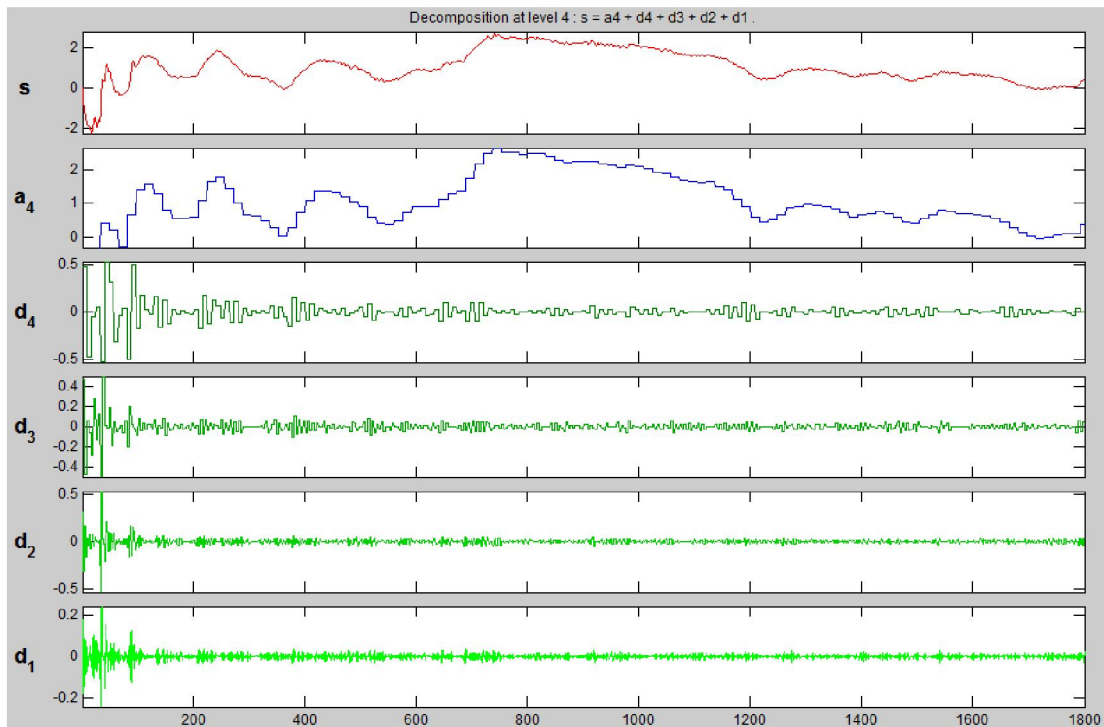


Figure II.10 : Analyse par transformée en ondelettes discrète des signaux stabilométriques (Ondelette de Haar : Niveau 4),
Cas n°3 : pieds serrés & yeux fermés (PS-YF)

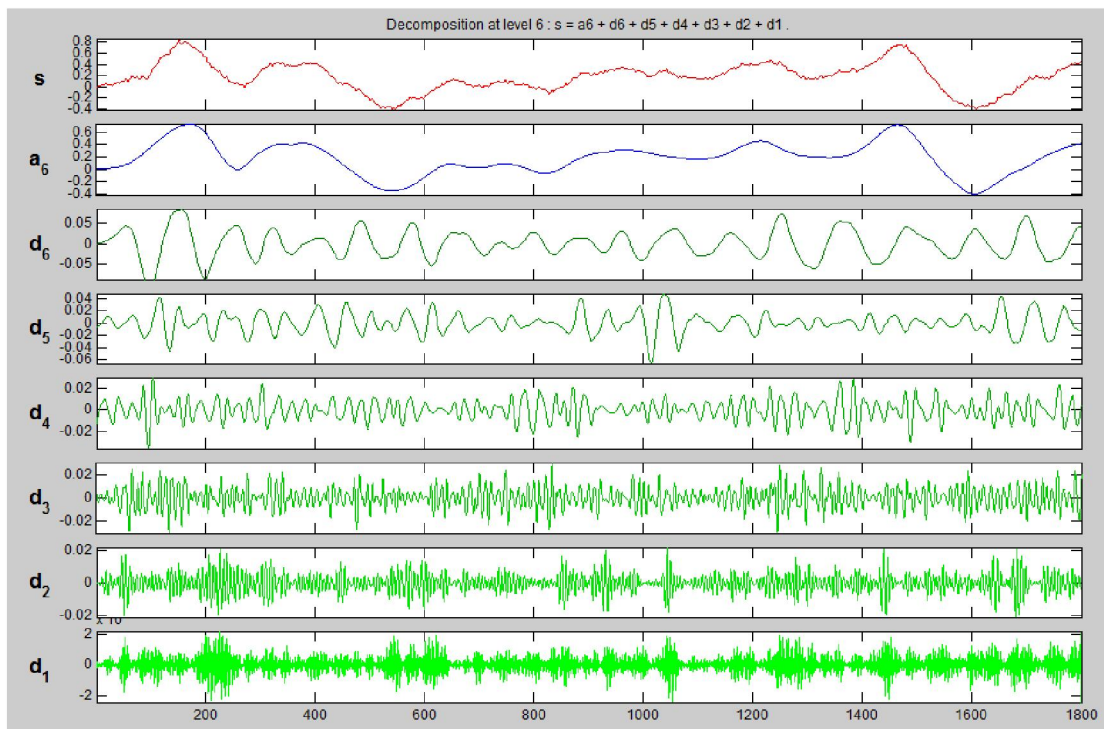


Figure II.11 : Analyse par transformée en ondelettes discrète des signaux stabilométriques (Ondelette de Daubechies ordre 7 (DB7): Niveau 6),

Cas n°3 : pieds sérés & yeux fermés (PS-YF)

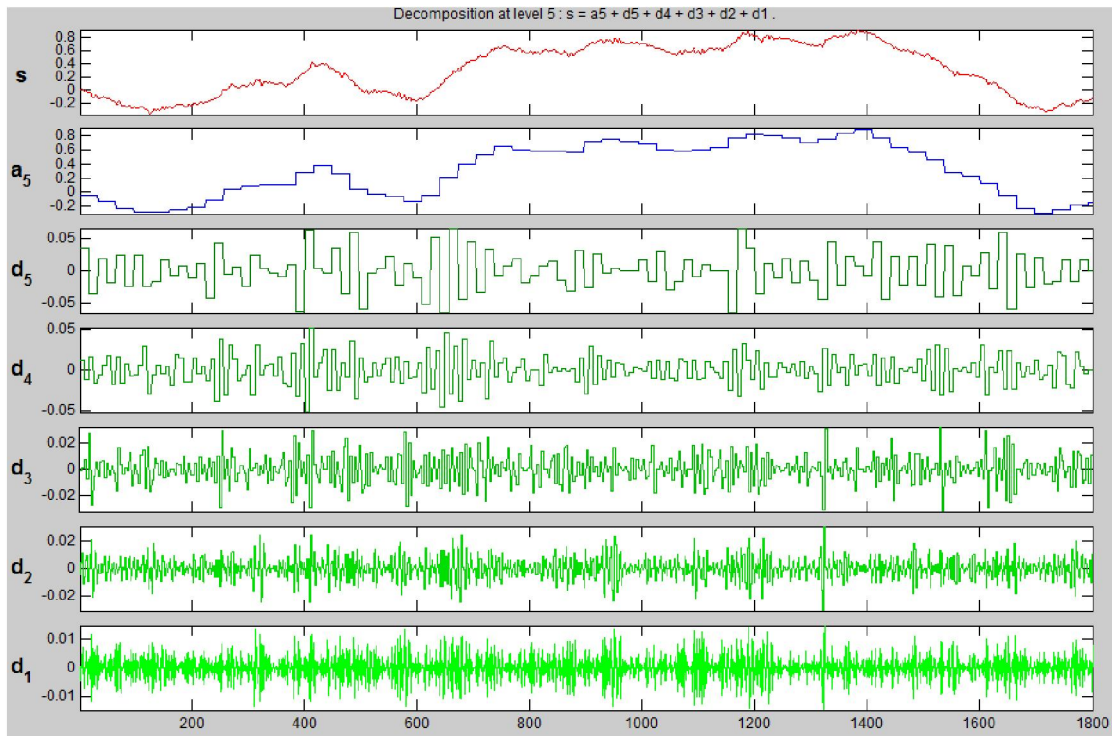


Figure II.12 : Analyse par transformée en ondelettes discrète des signaux stabilométriques (Ondelette de Haar : Niveau 4),
Cas n°4 : pieds sérés & yeux ouverts (PS-YO)

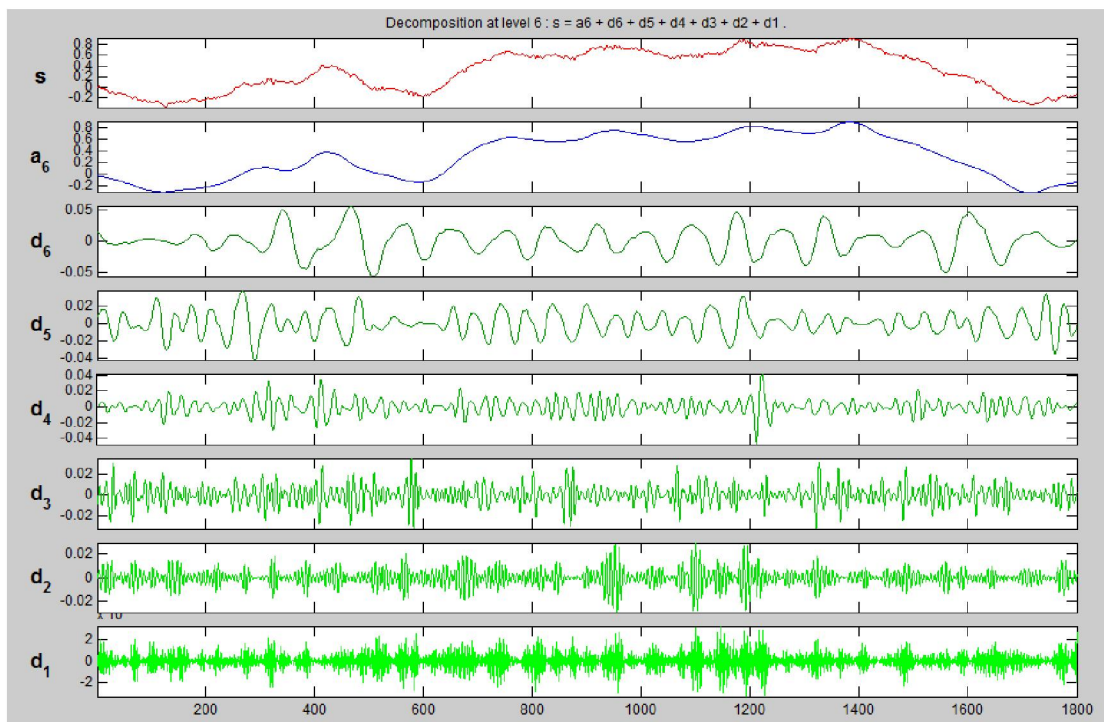


Figure II.13 : Analyse par transformée en ondelettes discrète des signaux stabilométriques (Ondelette de Daubechies ordre 5 (DB5): Niveau 6),

Cas n°4 : pieds sérés & yeux ouverts (PS-YO)

D'après les différents résultats obtenus et montrés sur les figure II.6 jusqu'au II.13. L'application des deux types d'ondelettes ont permis de faire une observation claire et nette sur la différence d'analyse résultante du choix d'ondelette mère. En effet l'ondelette DB7 ou encore DB5 nous paraît très adaptés dans l'analyse des signaux stabilométriques.

II.4. Conclusion :

Dans ce chapitre, une présentation générale et simplifiée de la transformée en ondelettes a été faite. La transformée en ondelettes discrète a été utilisé pour analyser et décomposer les signaux stabilométriques. L'application des deux types d'ondelettes (Daubechies et Haar) ont permis de faire une observation claire et nette sur la différence d'analyse résultante du choix d'ondelette mère. Dans le chapitre suivant, une décomposition par paquet d'ondelette sera faite.

Chapitre III :
Analyse par paquets d'ondelettes des signaux stabilométriques

Chapitre III : Analyse par paquets ondelettes des signaux stabilométriques

III.1. Introduction :

La caractéristique principale de la transformée en ondelettes est de permettre une analyse à des résolutions variables selon les échelles d'analyse. Un phénomène lent de longue durée ne nécessite pas une bonne localisation temporelle, tandis que les événements rapides sont traités avec une résolution temporelle précise, au détriment de la précision fréquentielle. L'approche par paquets d'ondelettes est différente : elle offre une librairie d'ondelettes organisées en fonction de leurs propriétés d'analyse et de localisation temps-fréquence, et donc de filtrage passe-bande, selon une architecture d'arbre binaire. Cette architecture permet alors de mettre en œuvre des algorithmes de recherche de bases adaptées à la fois aux propriétés temps-fréquence souhaitées et au signal analysé. La décomposition en paquets d'ondelettes est intéressante dans la mesure où l'on peut ne conserver que les paquets qui reflètent bien le signal initial pour le critère choisi.

Dans ce chapitre, une analyse par paquets ondelettes des signaux stabilométriques sera faite. Les résultats obtenus vont montrer l'efficacité de cette méthode dans la décomposition des signaux posturaux.

III.2. Etude théorique :

III.2.1. que veut dire paquets d'ondelettes ?

Dans la décomposition en paquets d'ondelettes, chaque paquet représente l'information relative à tout le signal dans une bande de fréquence donnée. Le calcul des coefficients des paquets d'ondelettes est également rapidement présenté.

III.2.2. Historique :

Les premiers travaux liés à l'introduction de la transformée en paquets d'ondelettes dans la décomposition des signaux sont apparus à l'occasion des études de Coifman, Meyer et Wickerhauser. Ces études ont permis un passage entre les niveaux en utilisant à la fois les approximations et les détails, alors qu'en analyse par transformée en ondelette chaque niveau est calculé en passant seulement les approximations du niveau précédent.

Dans la décomposition par transformée en ondelettes, les espaces d'approximations V_j sont décomposés et on garde intacts les espaces de détails W_j . Dans la décomposition en paquets d'ondelettes, on opère encore sur les espaces de détails pour en déduire de nouvelles bases.

Dans La figure III.1, on applique cette décomposition à V_{j+1} mais aussi à W_{j+1} et on redécompose chacun des sous espaces obtenus en utilisant le même banc de filtres associé à l'analyse multirésolution.

Pour mieux illustrer la décomposition en paquets d'ondelettes associée à la construction des bases, on donne le schéma suivant : Soit $j \in \mathbb{Z}$, pour chaque échelle j , les valeurs possibles du paramètre n qui numérote les paquets sont : $0, 1, \dots, 2^j - 1$. Dans la suite dans le cas de décomposition en paquets d'ondelettes, l'espace V sera remplacé par W (figure III.1).

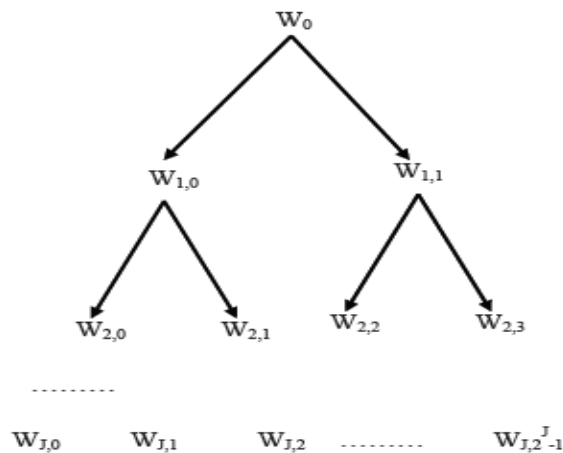


Figure III.1 : Décomposition en paquets d'ondelettes à l'ordre J .

Les paquets d'ondelettes sont indexés par trois paramètres : l'échelle, l'index et la position. **J** peut être interprété comme un paramètre d'échelle, **n** comme un index de chaque nœud de l'échelle **j** et **k** comme un paramètre de localisation temporelle. Pour les différentes valeurs de **j** et **n** la décomposition en paquets d'ondelettes est organisée en arbres. L'arbre tracé à la figure III.2 est créé pour un niveau de décomposition égal à **quatre**.

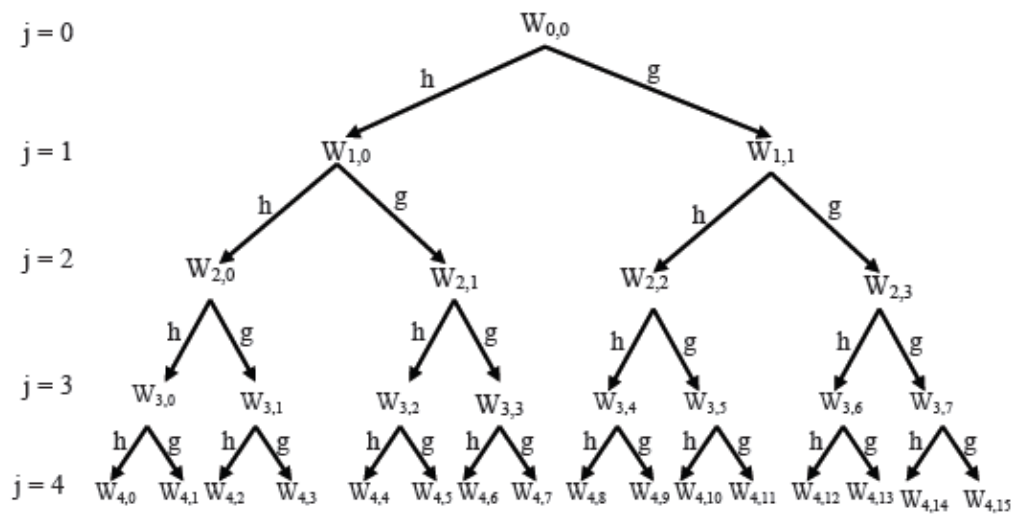


Figure III.2 : Arbre obtenu après décomposition en paquets d'ondelettes.

III.3. Résultats et discussions :

Afin de tester l'efficacité de la transformée par paquets d'ondelettes à bien décomposer le signal stabilométrique, le même choix est fait sur plusieurs sujets présentant les quatre positions possible. Comme a été signalé dans chapitre précédant, le choix de l'ondelette mère est très important. Ainsi, une étude comparative est alors faite par le choix de deux types d'ondelette (Haar et daubechies).

Sur les figures suivantes III.3 à III.10 une décomposition du signal stabilométrique est alors faite en exploitant toutes les positions possibles à savoir :

- Cas n°1 : Pieds-écartés & Yeux fermés (PE-YF) ;
- Cas n°2 : Pieds-écartés & yeux ouverts (PE-YO) ;
- Cas n°3 : Pieds serrés & yeux fermés (PS-YF) ;
- Cas n°4 : Pieds serrés & yeux ouverts (PS-YO) ;

Cas n°1 : Pieds-écartés & Yeux fermés (PE-YF)

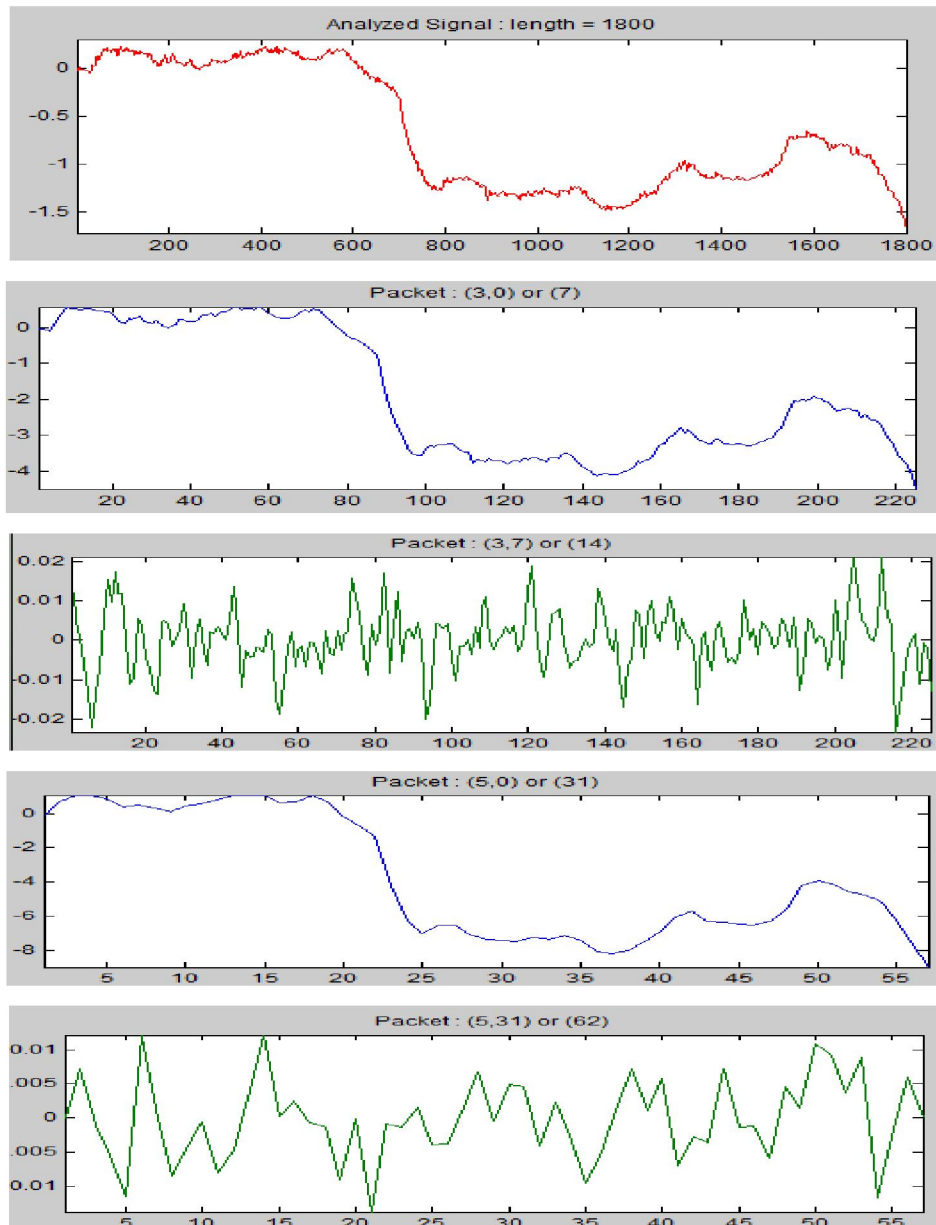


Figure III.3: décomposition en paquets d'ondelettes d'un stabilogramme au niveau 5 avec ondelette de Haar

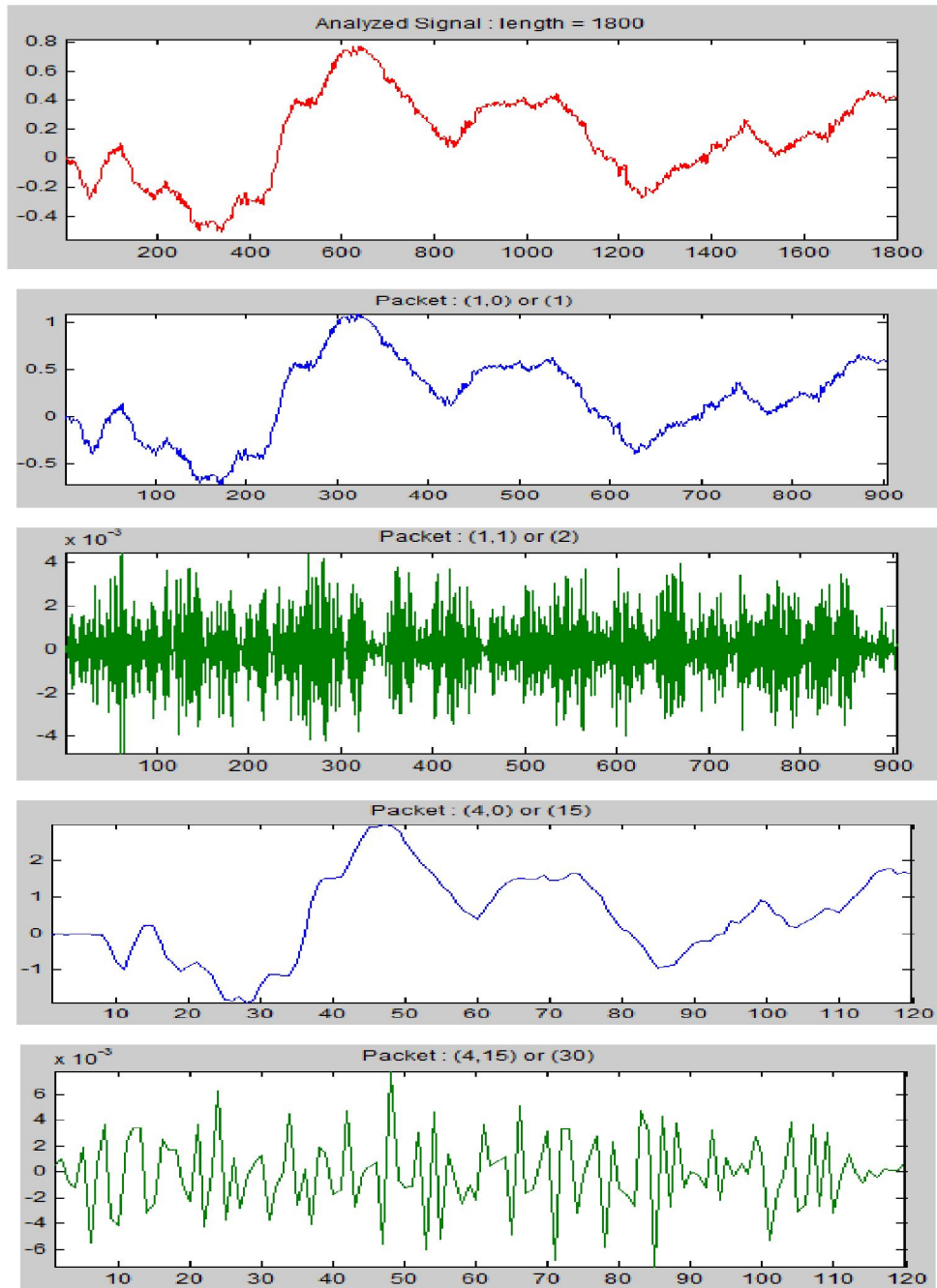


Figure III.4 : décomposition en paquet d'ondelette d'un stabilogramme au niveau 4 avec ondelette Daubechies d'ordre 5

Cas n°2 : pieds-écartés & yeux ouverts (PE-YO)

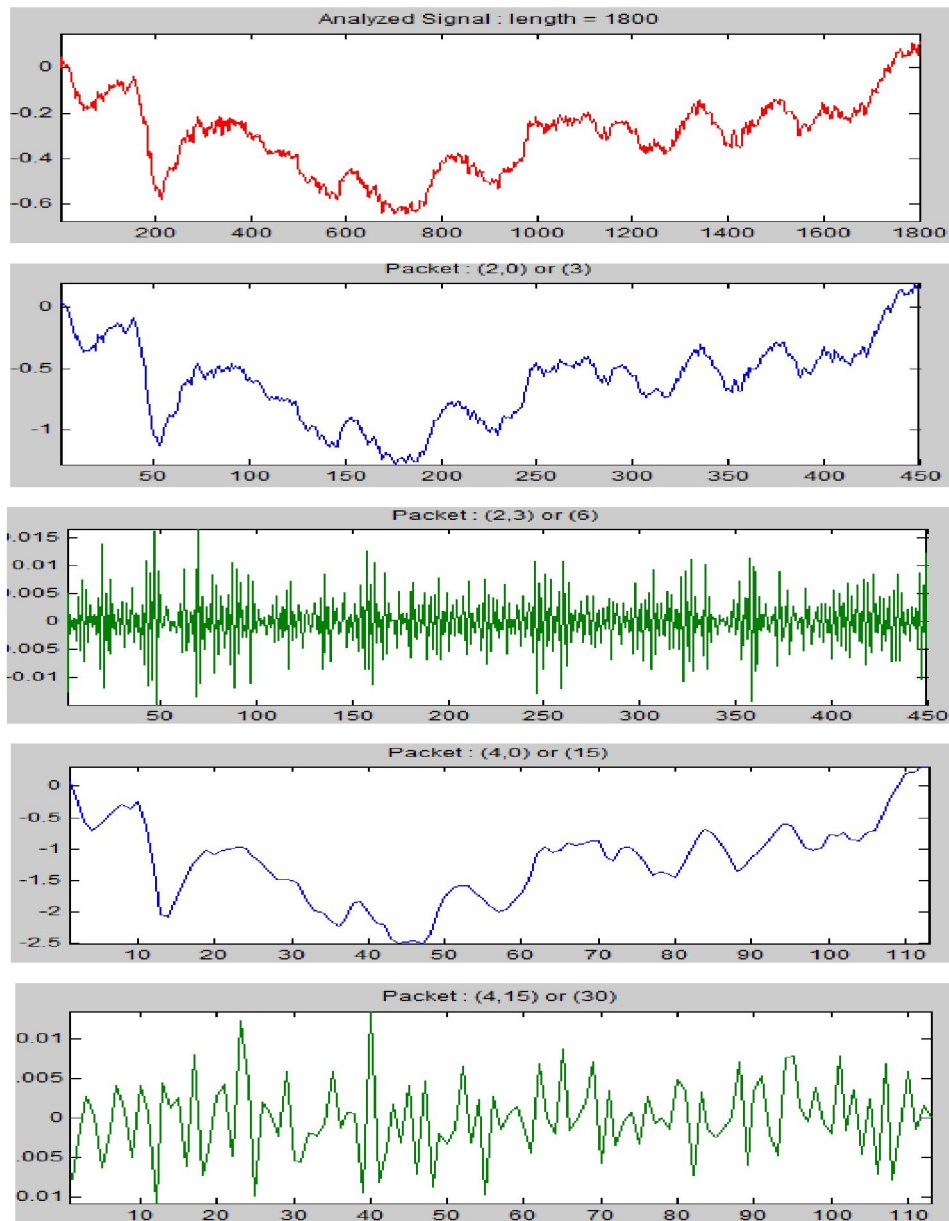


Figure III.5: décomposition en paquet d'ondelette d'un stabilogramme au niveau 4 avec ondelette de Haar

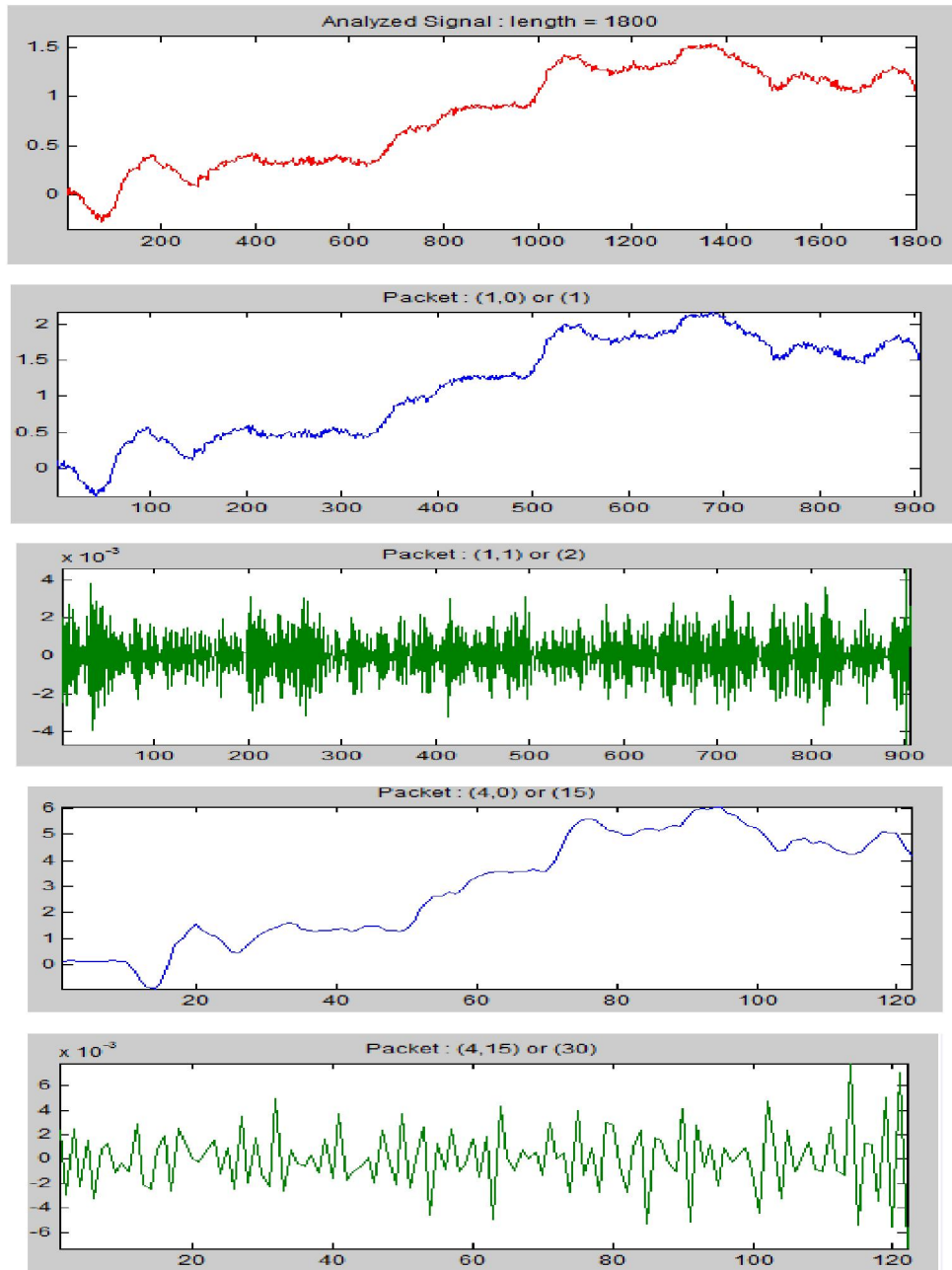


Figure III.6: décomposition en paquet d'ondelette d'un stabilogramme au niveau 4 avec ondelette Daubechies d'ordre 6.

Cas n°3 : pieds sérés & yeux fermés (PS-YF)

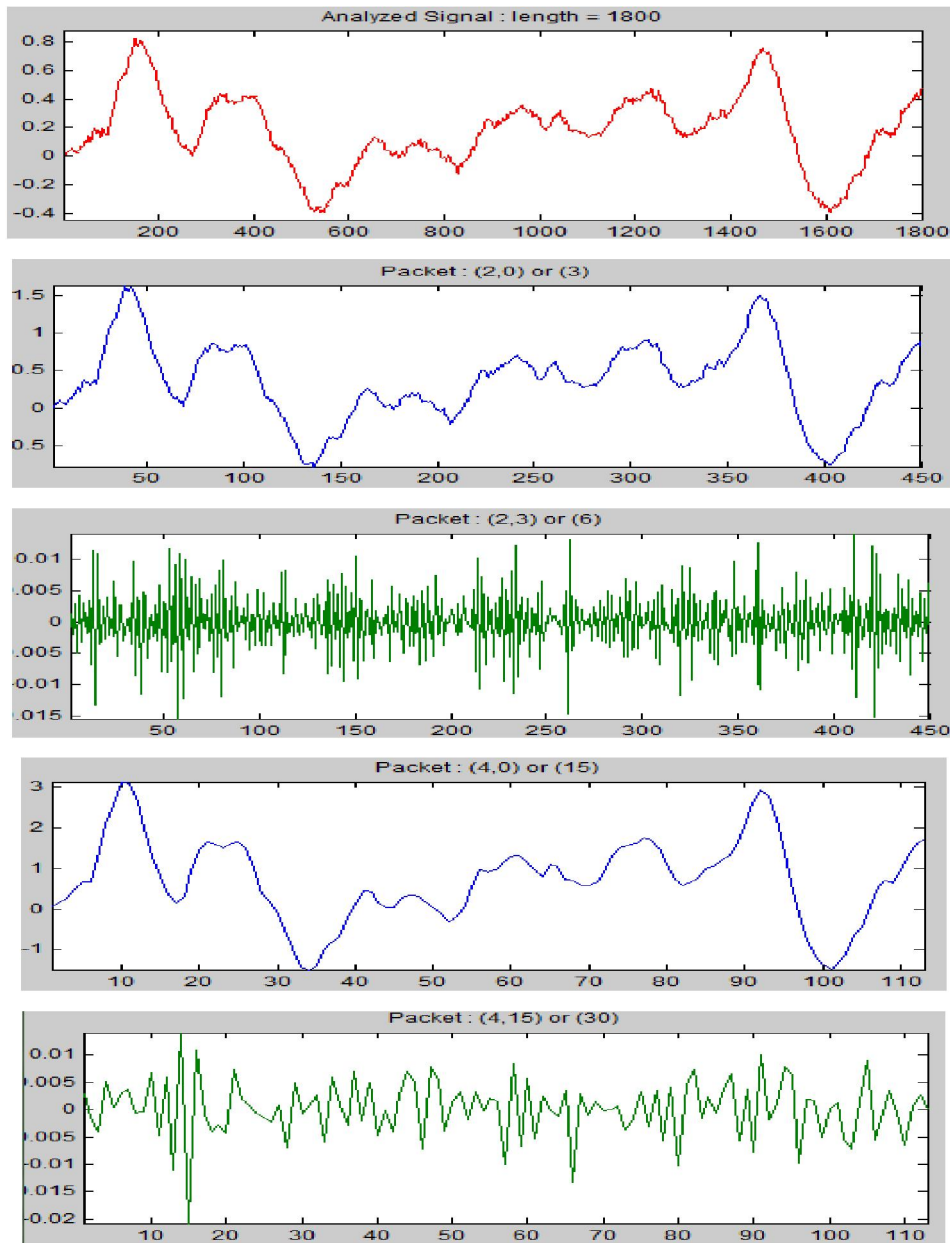


Figure III.7: décomposition en paquet d'ondelette d'un stabilogramme au niveau 4 avec ondelette de Haar

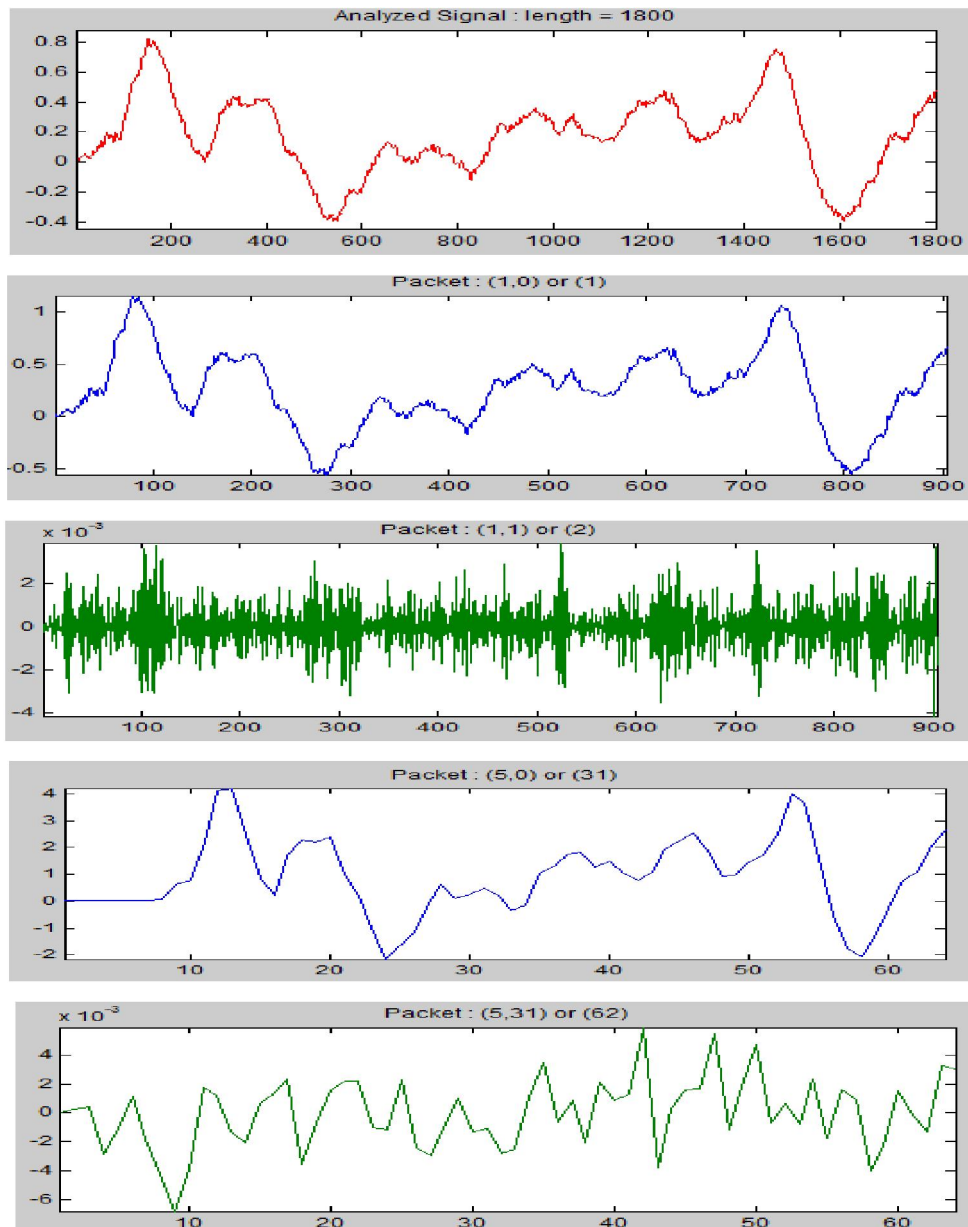


Figure III.8: décomposition en paquet d'ondelette d'un stabilogramme au niveau 5 avec ondelette Daubechies d'ordre 5

Cas n°4 : Pieds serrés & yeux ouverts (PS-YO)

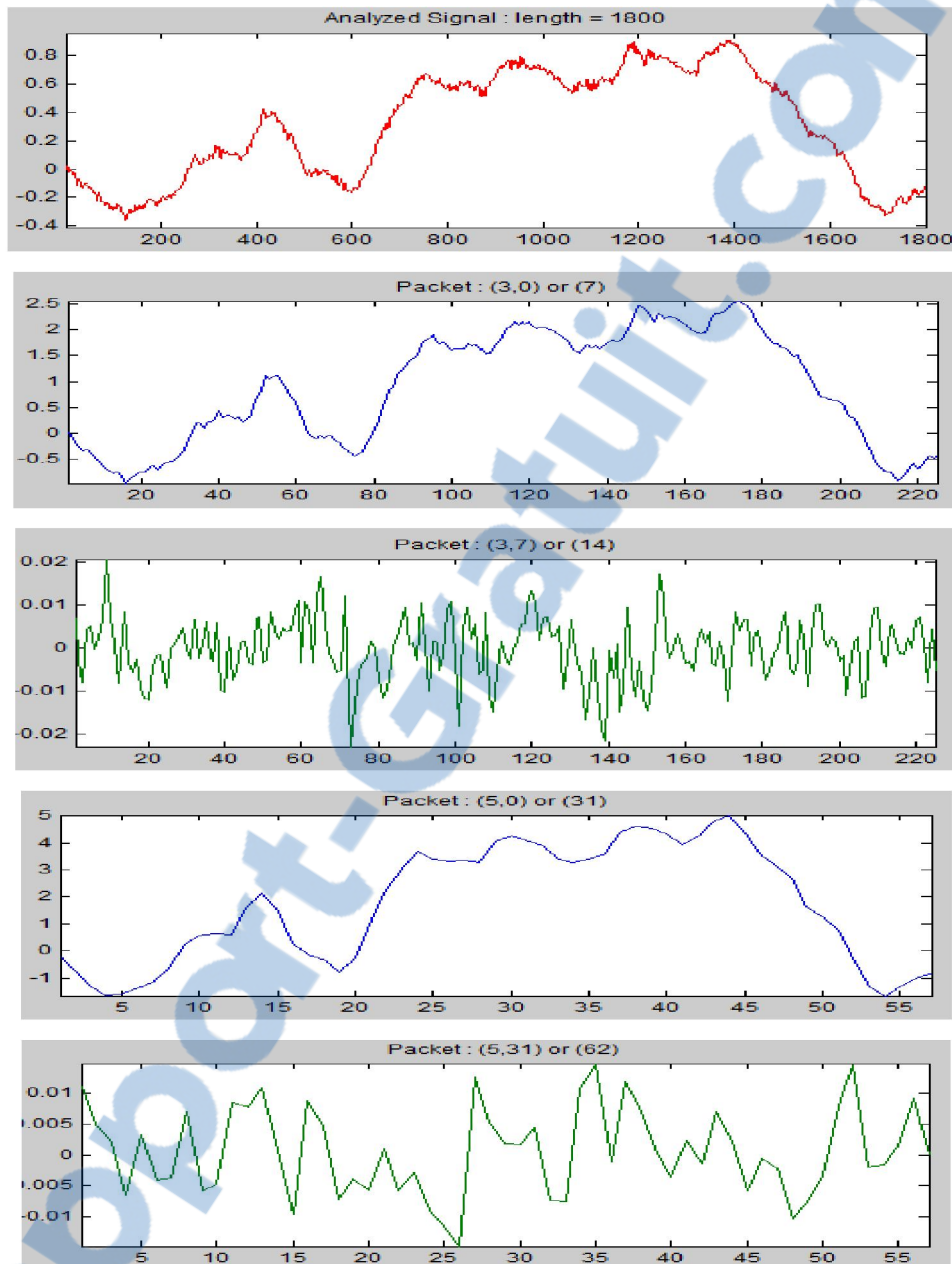


Figure III.9: décomposition en paquet d'ondelette d'un stabilogramme au niveau 5 avec ondelette de Haar

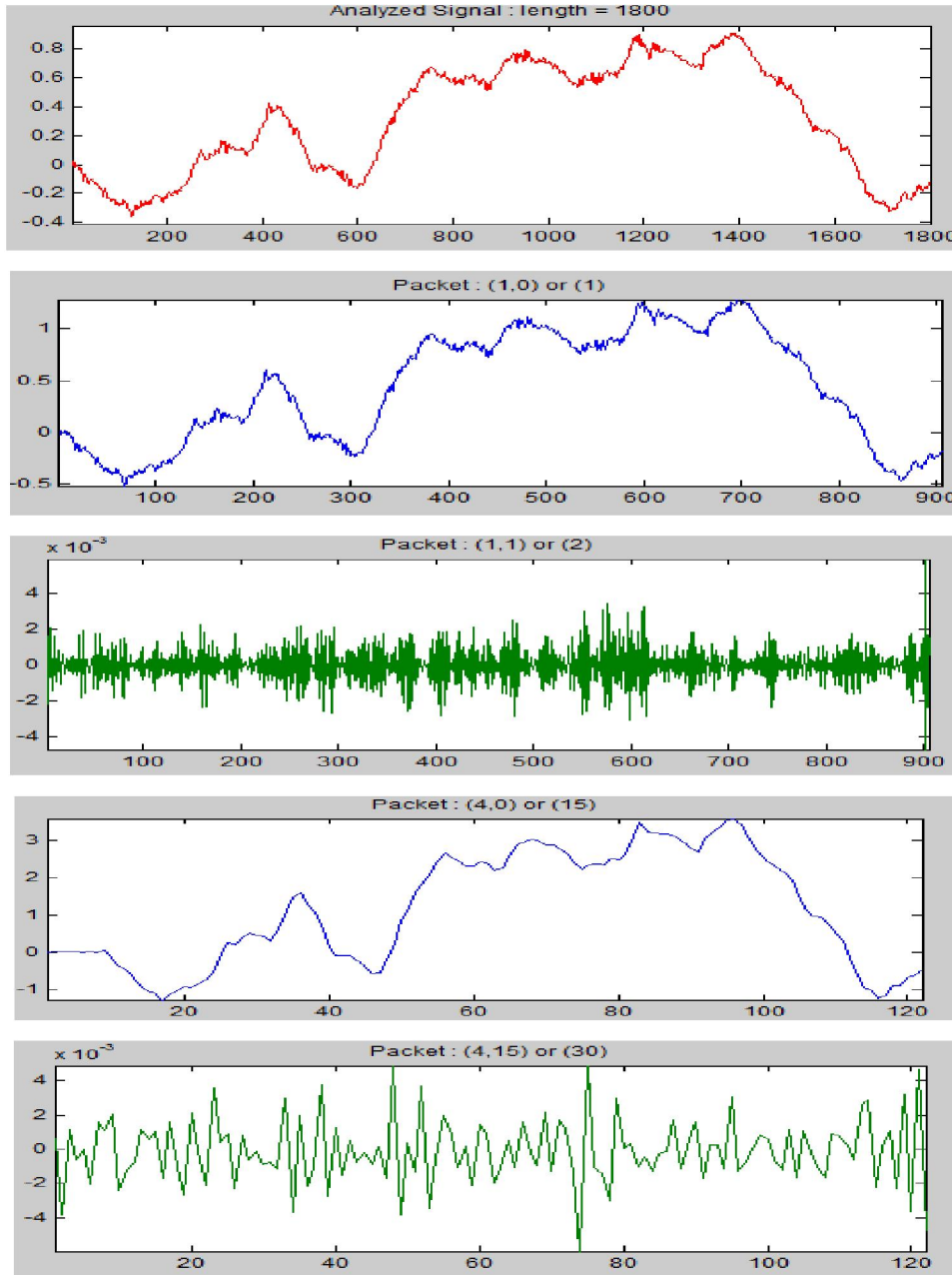


Figure III.10: décomposition en paquet d'ondelette d'un stabilogramme au niveau 4 avec ondelette Daubechies d'ordre 6.

D'après les différents résultats obtenus et montrés sur les figure III.3 jusqu'au III.10. L'application des deux types d'ondelettes ont permis de faire une observation claire et nette sur la différence d'analyse résultante du choix d'ondelette mère. En effet l'ondelette DB6 ou encore DB5 nous paraît très adaptés dans l'analyse des signaux stabilométriques par paquets d'ondelettes. Les résultats obtenus, nous ont montré que le faite d'avoir cette possibilité de

passage entre les niveaux en utilisant à la fois les approximations et les détails, on peut extraire beaucoup d'informations concernant le signal stabilométrique.

III.3. CONCLUSION :

Dans ce chapitre, une présentation générale et simplifiée de la transformée par paquets d'ondelettes a été faite. L'application des deux types d'ondelettes (Daubechies et Haar) ont permis de faire une observation claire et nette sur la différence d'analyse résultante du choix d'ondelette mère.

CONCLUSION GENERALE

Pour maintenir le corps en équilibre en position debout orthostatique, le système nerveux central doit réaliser les transformations appropriées et coordonnées des informations visuelles, vestibulaires et somesthésiques, et générer en permanence les réponses musculaires adaptées.

Des notions de base sur le signal stabilométrique (postural) ont été présentées. Une description brève des principes d'enregistrement du stabilogramme a été faite. Une décomposition du signal stabilométrique, nous a montré les différentes composantes qu'on peut obtenir. Durant l'élaboration de ce travail, l'ensemble de nos tests ont été réalisés sur une base de données réelle faite dans le laboratoire LESSI de Paris12.

La transformée en ondelettes discrète a été utilisé pour analyser et décomposer les signaux stabilométriques. L'application des deux types d'ondelettes (Daubechies et Haar) ont permis de faire une observation claire et nette sur la différence d'analyse résultante du choix d'ondelette mère.

Une autre application a été faite en utilisant la transformée par paquets d'ondelettes. L'application des deux types d'ondelettes (Daubechies et Haar) ont permis de faire une observation claire et nette sur la différence d'analyse résultante du choix d'ondelette mère.

Bibliographie

[1] Chiari L, Bertani A.,Cappello A. Classification of visual strategies in human postural control by stochastic parameters, Human Movement Science, Volume 19, Issue 6, (Decembre 2000), pp 817-842.

[2] Mekdad abderrahim, « Analyse et décomposition du signal stabilométrique », mémoire de Magister en électronique biomédicale soutenu en 2012 au département Génie Electrique et Electronique, Faculté de technologie, université de Tlemcen.

[3] Régis FOURNIER, Eric DELECHELLE, Jacques LEMOINE, « Décomposition et analyse du signal stabilométrique », GRETSI, Groupe d'Etudes du Traitement du Signal et des Images, 2001.

[4] Z.E. Hadj slimane « Cours et TP de traitement du signal avancée », Département Génie Electrique et Electronique, Faculté de Technologie, université de Tlemcen.