

# **ANALYSE MATHÉMATIQUE PAR DÉCOMPOSITION EN ONDELETTES DES SIGNAUX STABILOMÉTRIQUES**

## **Avantages par rapport à l'approche classique de la FFT**

### **INTRODUCTION**

Traditionnellement, le contenu fréquentiel des enregistrements stabilométriques est déterminé à l'aide de l'analyse de Fourier utilisée sous sa forme numérique, la FFT (Fast Fourier Transform). Cette approche a été longtemps justifiée par l'absence de méthodes d'analyse fréquentielle permettant une double résolution temps-fréquence, et ce fut le cas de nombreuses autres disciplines de recherche très éloignées de la posturologie. Toutefois, les méthodes mathématiques ont évolué, et on assiste aujourd'hui à l'apparition de nouvelles techniques d'analyse fréquentielle, dont la décomposition en ondelettes (Daubechies, 1991) qui fait l'objet de ce travail.

En effet, cette méthode est largement appliquée dans des domaines très variés, de l'analyse sismologique à la reconnaissance de la voix en passant par l'identification des « signatures » radar (Meyer, 1992), mais elle n'avait encore jamais été utilisée en posturologie. Nous sommes les premiers à l'avoir éprouvée dans ce champ thématique, avec pour objectif de démontrer les avantages qu'elle présente pour le traitement du signal stabilométrique par rapport à la FFT, ainsi que les écueils qu'elle permet d'éviter en comparaison des méthodes classiques d'analyse.

---

1. UMR 6595 « IUSTI », Université de Provence/CNRS.

2. UMR 6149 « Neurobiologie Intégrative et Adaptative », Université de Provence/CNRS  
- Case 361 - 13397 Marseille Cedex 20.

## PRESENTATION DE LA METHODE MATHEMATIQUE DE DECOMPOSITION EN ONDELETTES

Puisque ce travail concerne principalement les résultats et avantages d'application de la méthode des ondelettes au traitement des signaux stabilométriques, et non son fondement mathématique en lui-même, seuls quelques exemples d'application seront fournis afin de mieux appréhender et comprendre les bases de cette méthode.

La décomposition en ondelettes fournit une « carte » en coordonnées temps-fréquence, sur laquelle les puissances sont représentées par des courbes de niveau, similaires à celles représentées dans les cartes géographiques d'état major. Sur la figure 1 est présenté un enregistrement d'un signal composé de deux fréquences constantes successives à 1 Hz (de l'instant  $t = 0$ s à l'instant  $t = 15$ s) puis à 0,25 Hz (de  $t = 15$ s à  $t = 51,2$ s). La décomposition en ondelettes ainsi que la FFT correspondante sont représentées sur la figure. Etant donnée la régularité du signal, on peut aisément identifier sur la FFT les deux pics de puissance, à 0,25 Hz et à 1 Hz. L'apport de la méthode de décomposition en ondelettes apparaît ici clairement, puisque l'on observe non seulement les valeurs des deux fréquences, mais aussi le moment précis du passage de 1 Hz à 0,25 Hz, à l'instant  $t = 15$ s. Cette information ne peut être donnée par la FFT puisque l'hypothèse sous-jacente à la transformée de Fourier est basée sur l'existence d'un signal périodique. Le résultat de la décomposition en ondelettes permet donc une lecture tri-dimensionnelle (3D : bas de la Fig. 1), avec le temps, la fréquence et la puissance des fréquences codée en couleurs, les faibles puissances correspondant aux couleurs froides (bleu) et les puissances élevées étant représentées par des couleurs chaudes (jaune/orange/rouge).

On pourrait présenter des situations plus compliquées correspondant par exemple à une évolution constante de la fréquence dans le temps (augmentation linéaire de 0,1 Hz à 1,9 Hz en 51,2 s). Comme on pouvait s'y attendre, la FFT ne peut fournir dans ce cas de figure d'autre information que la limite supérieure de la fréquence (2 Hz). L'avantage de la décomposition en ondelettes est de fournir la possibilité de connaître à chaque moment de l'enregistrement quelle est la « fréquence instantanée » du signal et sa puissance.

Par ailleurs, lorsque l'on est en présence de signaux bruités, la FFT n'est plus d'aucune utilité. Elle ne peut dégager aucune information pertinente. Au contraire, la décomposition en ondelettes permet de retrouver une fréquence « noyée » dans le bruit.

## APPLICATION DE LA METHODE DES ONDELETTES AU TRAITEMENT DES SIGNAUX STABILOMETRIQUES

Cette analyse mathématique par décomposition en ondelettes a été appliquée aux enregistrements stabilométriques de sujets examinés en position debout, au repos, sur une plate-forme de force classique. Les déplacements du centre de pression (CdP) ont été recueillis sur une période de 51,2 s et échantillonnés à

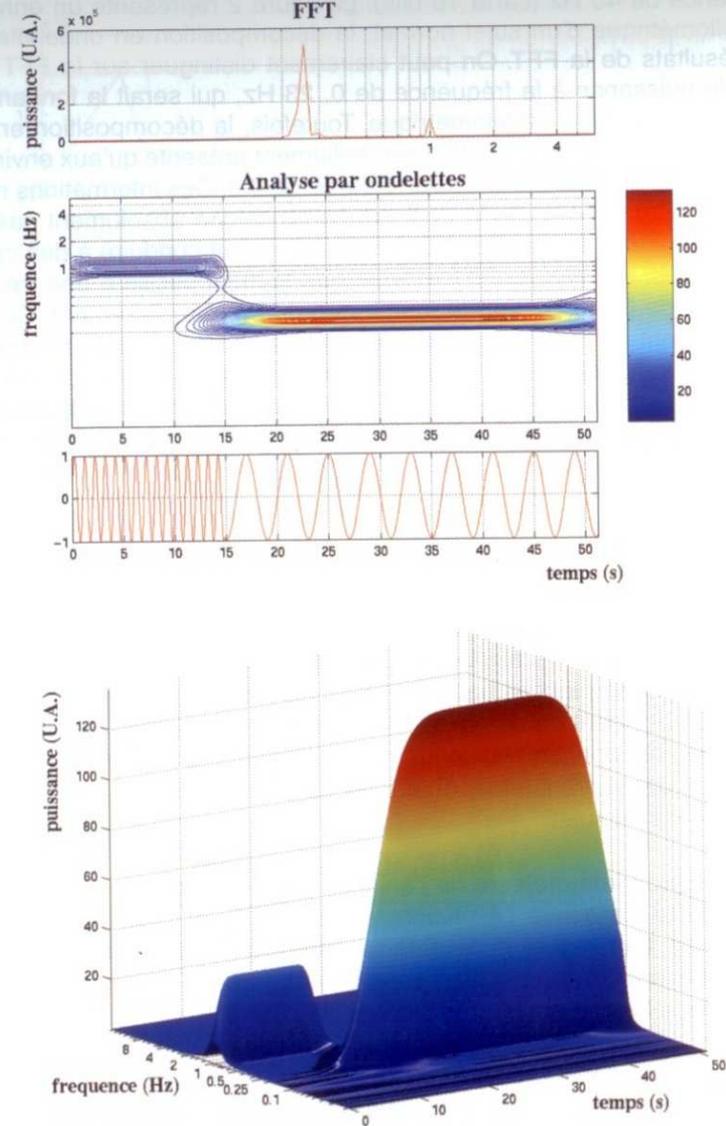


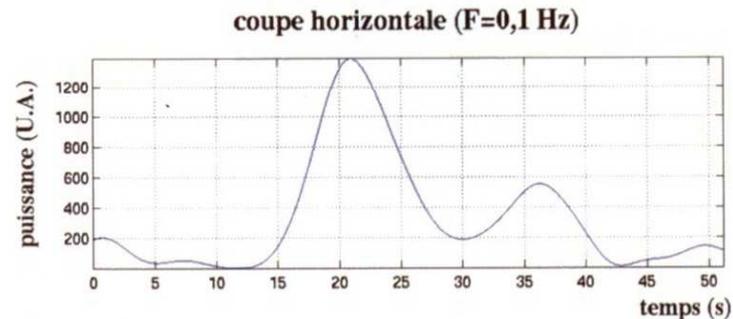
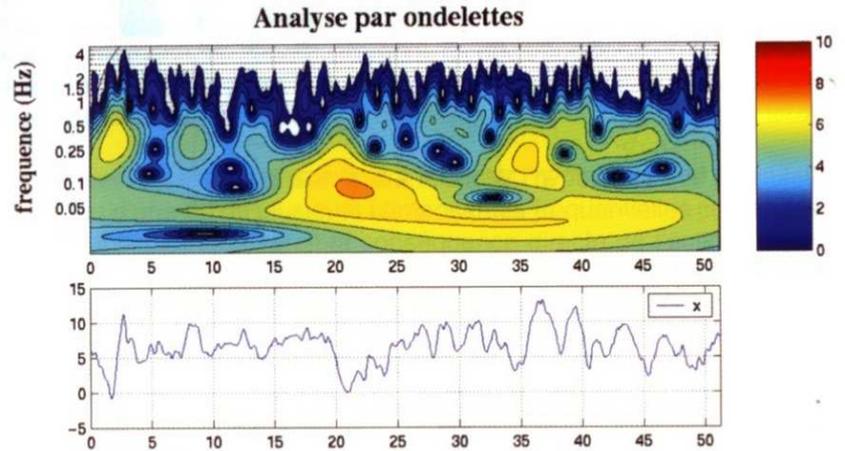
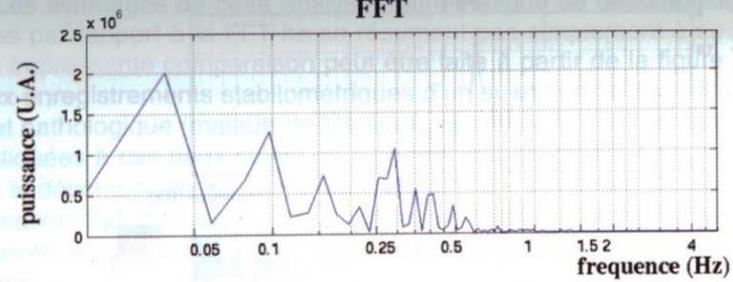
Figure 1 : Illustration du principe de l'analyse mathématique par décomposition en ondelettes et avantages par rapport à l'analyse de Fourier

Un signal sinusoïdal à la fréquence de 1 Hz dont la fréquence passe à 0,25 Hz à l'instant  $t = 15$  s est soumis à une double analyse de Fourier (FFT) et à une analyse par décomposition en ondelettes. L'analyse de Fourier indique une harmonique à 0,25 Hz et une sous-harmonique à 1 Hz et laisse supposer à tort que le signal est constant dans le temps avec une fréquence fondamentale à 0,25 Hz. L'analyse par ondelettes montre clairement l'évolution du contenu fréquentiel dans le temps, avec un changement de fréquence à l'instant  $t = 15$  s. La décomposition en ondelettes donne donc des résultats fidèles à la réalité et fournit de plus une image tridimensionnelle du signal d'entrée. La partie basse de la figure illustre cette vue 3D avec la fréquence en fonction du temps et la puissance du contenu fréquentiel exprimée par un code couleurs, les couleurs chaudes correspondant aux puissances élevées et les couleurs froides aux puissances faibles.

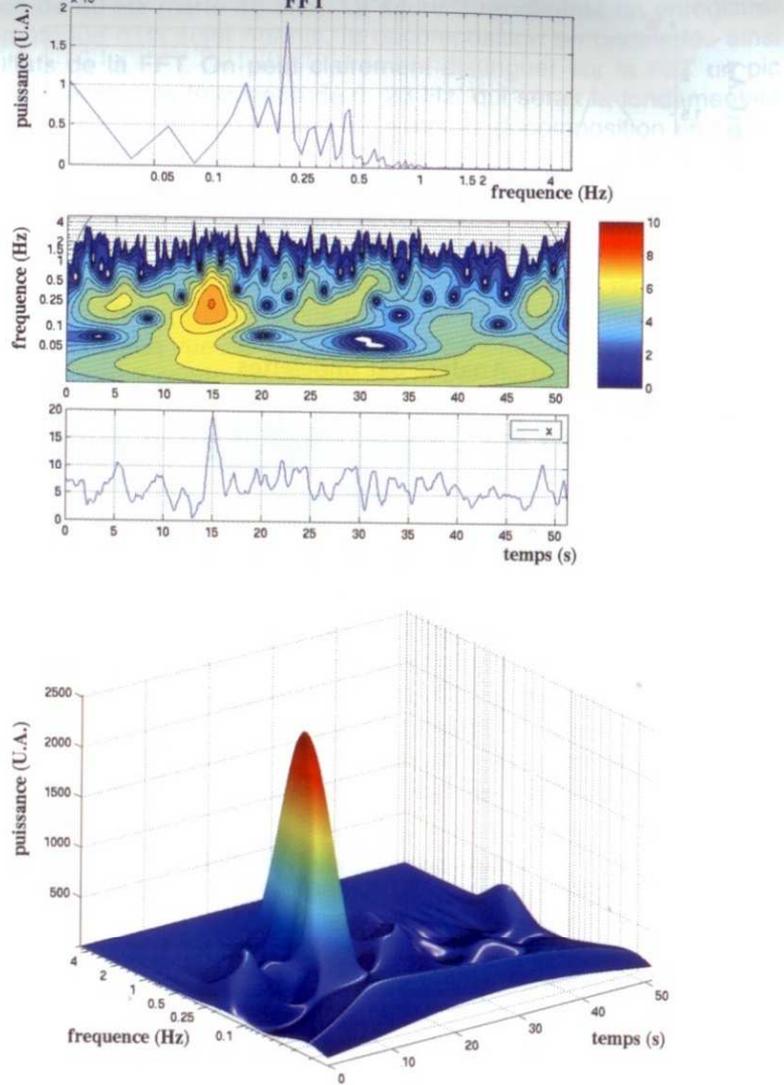
une fréquence de 40 Hz (carte 16 bits). La figure 2 représente un enregistrement stabilométrique d'un sujet normal, la décomposition en ondelettes ainsi que les résultats de la FFT. On peut clairement distinguer sur la FFT un pic maximal de puissance à la fréquence de 0, 23 Hz, qui serait la fondamentale contenue dans le signal stabilométrique. Toutefois, la décomposition en ondelettes montre que la fondamentale n'est réellement présente qu'aux environs de l'instant  $t = 15$  s, et pendant une courte durée de 4 s. Ces informations ne peuvent être extraites à partir de la FFT, qui ne renseigne absolument pas sur le paramètre fréquence en fonction du temps et qui peut conduire à des interprétations erronées. En effet, la FFT indique que le sujet oscille à une fréquence fondamentale de 0, 23 Hz tout le temps que dure l'enregistrement. Ce qui se révèle totalement faux. La vue 3D de la carte de décomposition en ondelettes présentée sur la figure 2 confirme qu'il s'agit d'un pic de fréquence à 0, 23 Hz qui pourrait, à la limite, être considéré comme un accident ou un artefact dans l'enregistrement (oscillation posturale due à une baisse de vigilance, fatigue, modification volontaire ou non mais transitoire de la répartition des forces d'appui au sol de chacun des deux pieds, ...).

Sur cet enregistrement recueilli chez un sujet jeune et normal les yeux fermés, les représentations 3D fournies par la décomposition en ondelettes des stabilogrammes en X (cas représenté dans la Fig. 2) ou en Y (non représenté) témoignent d'une grande stabilité posturale (présence de couleurs froides correspondant à des fréquences basses et plus élevées de très faible puissance), entachée d'un accident ou d'une correction à l'instant  $t = 15$ s. De l'analyse de Fourier, on pourrait conclure au contraire à la présence d'oscillations posturales constantes de basse fréquence, et au rôle de l'entrée visuelle dans la régulation posturale de ce sujet.

Une autre propriété majeure de l'analyse par décomposition en ondelettes est la possibilité de suivre l'évolution temporelle de la puissance d'une fréquence donnée. La figure 3 représente un enregistrement stabilométrique d'un sujet normal examiné en condition yeux ouverts. La FFT montre la présence d'une fréquence fondamentale très bien délimitée à 0, 1 Hz, et d'une sous-harmonique vers 0, 27 Hz. Avec la décomposition en ondelettes, on peut réaliser une « coupe » horizontale à la fréquence fondamentale de 0, 1 Hz et suivre ainsi l'évolution temporelle de la puissance de cette composante fréquentielle. On constate que la composante fréquentielle de 0, 1 Hz présente deux maxima dans le temps (vers  $t = 21$  s et  $t = 37$  s) et des valeurs très faibles, voire nulles, lors d'intervalles temporels importants (de  $t = 0$ s à  $t = 15$ s et de  $t = 40$ s à  $t = 51$ , 2s, sur cet exemple), représentant plus de la moitié de la durée totale de l'enregistrement du CdP. L'examen d'autres composantes fréquentielles met en évidence des phénomènes comparables, pour des moments d'enregistrement différents, attestant que *l'hypothèse de la constance des composantes fréquentielles dans le temps, explicite dans l'analyse de Fourier, est non fondée et doit être réfutée*. On peut en conséquence affirmer que le spectre fréquentiel des enregistrements stabilométriques est variable dans le temps et que la FFT ne peut rendre compte de la réalité des oscillations posturales, et donc du contrôle postural de sujets examinés avec cette méthode d'analyse.



**Figure 2 : Application de la méthode des ondelettes au signal stabilométrique**  
Illustration chez un autre sujet normal, dont on enregistre pendant 51,2 s les déplacements du centre de pression en X sur une plate-forme de force statique, de la supériorité de la méthode des ondelettes sur l'analyse de Fourier. Ce sujet présente, avec la FFT, une fondamentale à 0, 1 Hz et une sous-harmonique à 0, 24 Hz, que l'on retrouve sur la cartographie 3D fournie par la méthode des ondelettes, mais de manière non constante dans le temps. Ceci est confirmé par la coupe horizontale réalisée à la fréquence de 0,1 Hz qui montre clairement que ce contenu fréquentiel n'est pas constant dans le temps puisque la puissance est nulle avant  $t = 20$  s, maximale à  $t = 22$  s, se réduit par la suite, réaugmente à  $t = 37$  s et retrouve à nouveau une puissance nulle à  $t = 42$  s. Ce résultat invalide totalement l'analyse de Fourier pour le traitement des signaux stabilométriques, car les données et interprétations auxquelles elle conduit se révèlent erronées.



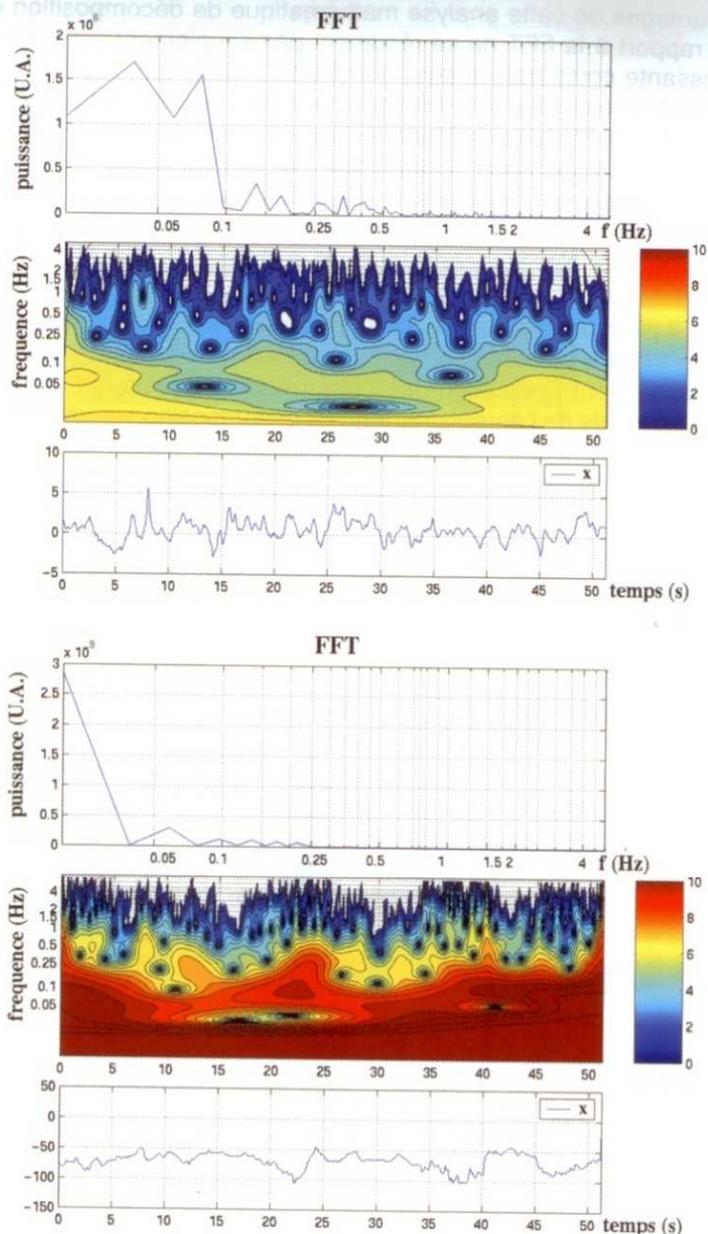
**Figure 3 : Intérêt de la méthode des ondelettes pour l'analyse du signal stabilométrique**

La figure compare les résultats obtenus avec la FFT et l'analyse en ondelettes appliquées sur un stabilogramme en X d'un sujet normal examiné pendant 51,2 s, les yeux fermés, sur une plate-forme de force statique classique (Synapsys). La FFT montre une fondamentale à 0,23 Hz et indique donc que le sujet présente des oscillations constantes dans le temps dans ce domaine fréquentiel. L'analyse en ondelettes montre que ce résultat est en fait dû à la présence d'un pic de fréquence à 0,23 Hz à l'instant  $t = 15$  s (zone orangée sur la carte 3D fournie par la décomposition en ondelettes). La cartographie 3D de ce sujet (partie basse de la figure) est typique d'un sujet très stable (prédominance des couleurs froides aux basses fréquences) qui, environ 15 s après le début de l'enregistrement, présente une oscillation de forte puissance à 0,23 Hz. A l'inverse de la FFT, la méthode des ondelettes montre qu'il s'agit vraisemblablement d'un artefact (fatigue ? report du poids d'une jambe sur l'autre ? perte d'attention ? ...) plus que d'un phénomène physiologique.

Les avantages de cette analyse mathématique de décomposition en ondelettes par rapport à la FFT ne se résument pas simplement à ce constat. Une très intéressante comparaison peut être faite à partir de la figure 4 présentant deux enregistrements stabilométriques d'un sujet normal (partie haute) et d'un sujet pathologique (malade de Ménière, partie basse). Les analyses de Fourier appliquées à ces deux sujets ne montrent pas de différences majeures tandis que la décomposition en ondelettes montre très clairement deux images 3D de coloration fort différente. Les amplitudes dans le domaine des basses fréquences sont plus élevées chez le sujet pathologique, et on distingue par ailleurs chez le sujet normal des « taches » blanches dans la bande de fréquences 0, 2 Hz – 0, 6 Hz, et particulièrement au niveau de la fréquence de 0, 5 Hz. Ces « trous » présents sur la représentation 3D du stabilogramme en X du sujet normal sont l'indication que cette fréquence présente une puissance nulle à ces moments de l'enregistrement. La décomposition en ondelettes appliquée au tracé du sujet pathologique ne montre pas de telles annulations de fréquences dans la gamme 0, 2 Hz – 0, 6 Hz.

Ce dernier résultat nous a amené à formuler l'hypothèse que l'annulation de la puissance d'une ou de plusieurs composantes fréquentielles contenues dans le signal stabilométrique serait la conséquence directe de l'action du système de stabilisation posturale agissant soit par les structures centrales de régulation de la posture (Horstmann et Dietz, 1990; Massion, 1994; Winter, 1995; Caron et al., 2000; Mergner et al., 2002), soit par des mécanismes de feedback participant au contrôle multisensoriel de la posture (Mergner et al., 1993; Collins et De Luca, 1993; Borel et al., 2001; Mergner et al., 2002). *A contrario*, l'absence de réduction ou d'annulation de certaines puissances suggère soit un dysfonctionnement du système de stabilisation posturale, soit la non intervention d'un système de commande ou de rétroaction intervenant dans le contrôle de la posture. Il devrait donc être possible avec la méthode mathématique de décomposition en ondelettes de déterminer des signatures posturographiques différentes liées à l'âge, à des pathologies posturales ou au contexte environnemental dans lequel les sujets sont examinés.

Pour tester cette hypothèse, nous avons comparé les résultats obtenus chez un même sujet sain examiné en condition yeux ouverts et en condition yeux fermés (Fig. 5A), et les résultats de deux sujets différents, l'un normal et le second atteint de sclérose en plaque (Fig. 5B). La première situation visait à valider la méthode de décomposition en ondelettes dans une problématique portant sur l'influence de la vision dans le processus de stabilisation posturale, connue dans la littérature pour intervenir chez certains sujets (Lacour et al., 1997) dans la plage des basses fréquences (Amblard et al., 1976; Berthoz et al., 1979; Collins et De Luca, 1995; Dichgans et Brandt, 1978; Rougier, 2003). La seconde situation avait pour objectif de savoir si cette méthode était également capable de discriminer des sujets sains de sujets présentant d'autres pathologies que la maladie de Ménière dont on connaît les répercussions sur le système postural (Borel et al., 2002, 2004). Les comparaisons ont porté dans chaque situation sur le temps total d'annulation des composantes fréquentielles.



**Figure 4 : Méthode des ondelettes et signatures posturographiques**

Cette figure compare les cartographies 3D obtenues avec l'analyse en ondelettes chez deux sujets, l'un normal (tracé du haut), l'autre atteint de la maladie de Ménière (tracé du bas). Alors que la FFT ne permet pas de distinguer les 2 sujets, la méthode des ondelettes montre la présence de puissances beaucoup plus élevées chez le malade de Ménière, aussi bien dans la plage des basses fréquences que dans celle des fréquences plus élevées. Des études complémentaires sur des populations de sujets atteints de différentes pathologies du système postural (ou sur des sujets normaux placés dans des conditions environnementales différentes) devraient permettre de savoir si des pathologies et/ou des contextes s'accompagnent de signatures posturographiques différentes.

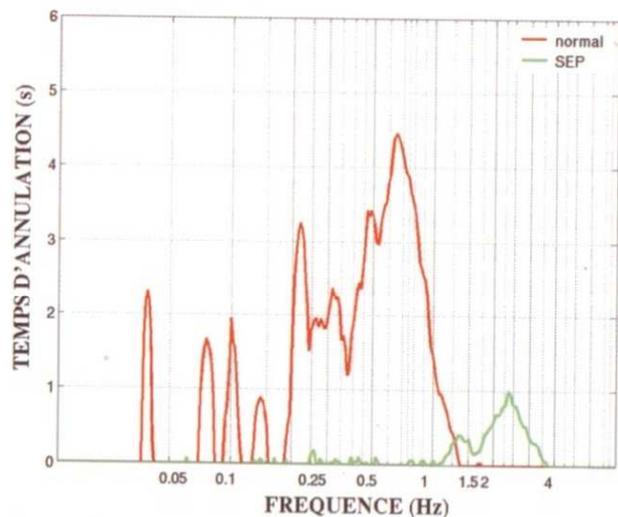
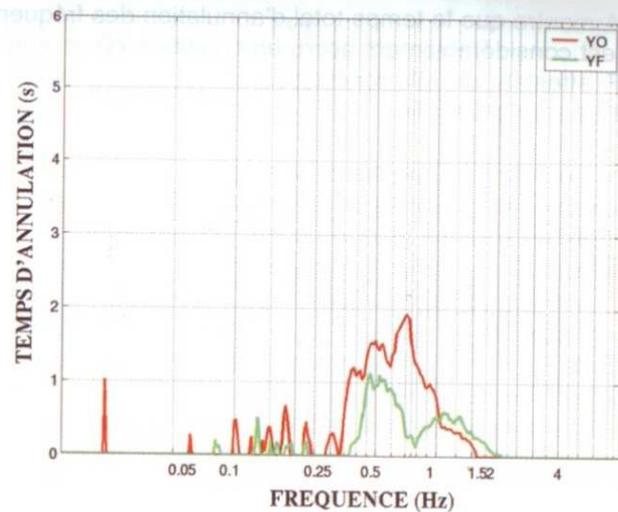
La figure 5A montre que le temps total d'annulation des fréquences basses (vers 0, 2 Hz) est considérablement accru en condition YO en comparaison de la condition YF, attestant du rôle fonctionnel de la vision dans la stabilisation posturale chez ce sujet particulier.

En revanche, la figure 5B montre que le temps total d'annulation de nombreuses composantes fréquentielles contenues dans le signal stabilométrique du sujet atteint de sclérose en plaque est considérablement réduit en comparaison du sujet normal. Ce temps d'annulation réduit s'observe dans la plage des fréquences basses, suggérant que cette pathologie, à ce stade particulier d'évolution chez ce sujet donné, est source de perturbations posturales non corrigées. Par ailleurs, on observe un temps d'annulation plus important dans le domaine des fréquences élevées (de 2 Hz à 4 Hz). Ce résultat n'est pas surprenant si l'on considère d'une part que les sujets normaux ne présentent pas d'oscillations posturales dans ce domaine de fréquence (et donc le temps d'annulation est nul chez eux), tandis que les malades atteints de sclérose en plaque montrent des oscillations à ces fréquences, et le temps d'annulation pourrait alors témoigner chez eux de tentatives de corrections posturales. Ce paramètre pourrait donc constituer un bon indice dans le suivi de l'évolution et/ou de la rééducation des déficits posturaux liés à cette pathologie.

Dans les deux cas, il semble donc que la décomposition par ondelettes fournisse des signatures posturales qualitativement différentes et quantifiables à l'aide de paramètres comme le temps total d'annulation de composantes fréquentielles particulières. Il reste à confirmer ces résultats préliminaires sur des populations de sujets sains testés dans des conditions différentes d'environnement, et dans diverses pathologies affectant le système postural. Il reste également à éprouver la méthode des ondelettes dans d'autres secteurs d'application comme la rééducation, et à déterminer d'autres critères de quantification qui soient directement utilisables par le clinicien, ce qui est en cours de réalisation.

## CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

L'analyse mathématique des enregistrements stabilométriques par décomposition en ondelettes permet, grâce à l'introduction du couplage temps-fréquence, une meilleure analyse du signal stabilométrique qui doit conduire à une meilleure compréhension des mécanismes du contrôle postural. Cette analyse nous montre en effet qu'un concept classiquement admis en posturologie, celui de la constance temporelle des puissances des diverses composantes fréquentielles contenues dans le signal stabilométrique, n'est pas valide. L'analyse de Fourier a donc conduit à une vision inexacte des mécanismes de régulation posturale, éloignée de la vision plus physiologique que fournit la décomposition en ondelettes. En effet et par exemple, la révélation d'une fréquence fondamentale à 0, 2 Hz dans l'analyse de Fourier du signal stabilométrique a toujours été considérée chez le sujet sain comme la signature du rôle de la vision dans le contrôle postural, alors que les résultats obtenus avec la méthode des ondelettes peuvent conduire à des interprétations totalement différentes.



**Figure 5 A-B: Approche quantitative avec l'analyse en ondelettes**

Le calcul des temps d'annulation des fréquences contenues dans le signal stabilométrique constitue un index de l'intervention des mécanismes de contrôle de la posture. Ce paramètre et d'autres issus de l'analyse en ondelettes (logiciel PosturoPro, Société Framiral) met en évidence aussi bien le rôle de modalités sensorielles dans la régulation posturale que les défauts de régulation liés à une pathologie. Partie A: le tracé du haut compare les temps d'annulation (en secondes) dans la totalité de la gamme des fréquences (en Hz) de déplacements du centre de pression (CdP) d'un sujet normal examiné en condition yeux ouverts (YO) et en condition yeux fermés (YF). Le rôle de la vision peut ainsi être mis en évidence. Partie B: le tracé du bas compare les temps d'annulation obtenus à partir des stabilogrammes d'un sujet normal et d'un patient atteint de sclérose en plaque (SEP) examinés tous deux en condition YO. Notez l'absence d'annulation des puissances du contenu fréquentiel inférieur à 1 Hz chez le SEP et la présence de fortes annulations des puissances de ce même domaine fréquentiel chez le sujet normal. Notez également la présence de temps d'annulation des puissances des fréquences élevées (> 1,5 Hz) chez le SEP probablement liés aux oscillations à haute fréquence du CdP de ce patient, qu'il essaye de corriger.

L'analyse par décomposition en ondelettes s'inscrit dans une conception plus fonctionnelle de la régulation posturale, basée inversement sur l'idée que si le contrôle de la posture était parfait, alors aucun déplacement du CdP ne serait détecté et aucune composante fréquentielle ne serait contenue dans le signal stabilométrique. Mais seules les statues sont immobiles. L'objectif des systèmes de contrôle de la posture sont donc de réduire le plus possible l'amplitude des déplacements, et donc la puissance des composantes fréquentielles du stabilogramme. Ainsi, plus le temps total d'annulation d'une fréquence donnée est grand, et plus le sous-système neurobiologique sous-jacent est performant. On comprend ainsi que les composantes fréquentielles de basse fréquence voient leur puissance réduite ou annulée les YO en comparaison de la situation YF, pour un sujet visuel. On comprend aussi que, si à un moment donné et pour une raison particulière (perte d'attention, de vigilance, fatigue,...) le gain de la boucle de contrôle visuel diminue, apparaît alors une composante fréquentielle de forte puissance dans le tracé stabilométrique, qui peut être annulée par la suite si cette boucle de régulation est réactivée (cf. Fig. 2).

Ce raisonnement pour la vision est valable pour les autres entrées sensorielles du système postural (proprioception, vestibule, entrée podale) qui n'interviennent pas fonctionnellement dans les mêmes plages fréquentielles. Il l'est également pour des pathologies posturales résultant de lésions ou dysfonctionnements de structures nerveuses centrales impliquées dans la régulation posturale (cervelet, ganglions de la base, etc...). La méthode de décomposition en ondelettes du signal stabilométrique est donc potentiellement capable de mieux discriminer des effets sur le contrôle postural de modifications du contexte environnemental, de changements liés à l'âge ou à une pathologie, ou résultant d'une thérapie pharmacologique ou d'une rééducation.

Cet outil très puissant devrait trouver un champ d'application très large, tant auprès de la communauté des neurosciences fondamentales que de celle de la recherche clinique et des praticiens pour leur exploration fonctionnelle de routine. Nous avons élaboré un logiciel adapté à la clinique qui fournit d'autres paramètres que le temps d'annulation et qui, en dehors de la méthode de décomposition en ondelettes, incorpore d'autres outils novateurs tirés d'autres méthodologies de traitement du signal stabilométrique telle que la méthode fractale (software « PosturoPro », commercialisé par la Société Framiral).

## BIBLIOGRAPHIE

- Amblard, B., Crémieux, J. (1976). Role of visual motion information in the maintenance of postural equilibrium in man. *Agressol*, 17C, 25-36.
- Berthoz, A., Lacour, M., Soechting, J.F., Vidal, P.P. (1979). The role of vision in the control of posture during linear motion. *Prog Brain Res*, 50, 197-209.
- Borel, L., Harlay, F., Magnan, J., Lacour, M. (2001). How changes in vestibular and visual reference frames combine to modify body orientation in space? *Neuroreport*, 12, 2127-2131.

- Borel, L., Harlay, F., Magnan, J., Chays, A., Lacour, M. (2002). Deficits and recovery of head and trunk orientation and stabilization after unilateral vestibular loss. *Brain*, 125, 880-894.
- Borel, L., Harlay, F., Lopez, C., Magnan, J., Chays, A., Lacour, M. (2004). Walking performance of vestibular-defective patients before and after unilateral vestibular neurotomy. *Beh Brain Res*, 150, 191-200.
- Caron, O., Gélat, T., Rougier, P., Blanchi, J.P. (2000) A comparative analysis of the centre of gravity and centre of pressure sway paths in standing posture: an estimation of active stiffness. *J Appl Biomech*, 16, 234-247.
- Collins, J.J., De Luca, C.J. (1993). Open-loop and closed-loop control of posture: a random-walk analysis of center of pressure trajectory. *Exp Brain Res*, 95, 308-318.
- Collins, J.J., De Luca, C.J. (1995). The effects of visual input on open-loop and closed-loop postural control mechanisms. *Exp Brain Res*, 103, 151-163.
- Daubechies, I. (1991). The wavelet transform: a method for time-frequency localization. In: Haykin, S. (Ed), Vol 1, *Advances in spectrum analysis and array processing*. Prentice-Hall, pp 366-417.
- Dichgans, J., Brandt, T. (1978). Visual-vestibular interaction: effects on self-motion perception and postural control. In: Teuber HL (Ed), *Handbook of sensory physiology*.
- Horstmann, A., Dietz, V. (1990). A basic posture control mechanism: the stabilization of the centre of gravity. *Electroenceph Clin Neurophysiol*, 76, 165-176.
- Lacour, M., Barthélémy, J., Borel, L., Magnan, J., Xerri, C., Chays, A., Ouaknine, M. (1997). Sensory strategies in human postural control before and after unilateral vestibular neurotomy. *Exp Brain Res*, 115, 300-310.
- Mergner, T., Hlavacka, F., Schwëigärt, G. (1993). Interaction of vestibular and proprioceptive inputs. *J Vest Res*, 3, 41-57.
- Mergner, T., Maurer, C., Peterka, R.J. (2002). A multisensory posture control model of human upright stance. In: Prablanc C, Péllisson D, Rossetti Y (Eds), *Neural control of space coding and action production*. Prog Brain Res Meyer, Y. (1992). Wavelets and applications. In: Masson (Ed). *Research Notes in Applied Mathematics*, Vol 20, Paris.
- Rougier, P. (2003). The influence of having the eyelids open or closed on undisturbed postural control. *Neurosci Res*, 47, 73-83.
- Winter, D.A. (1995). Human balance and posture control during standing and walking. *Gait Posture*, 3, 193-204.