

# L'intervalle balistique

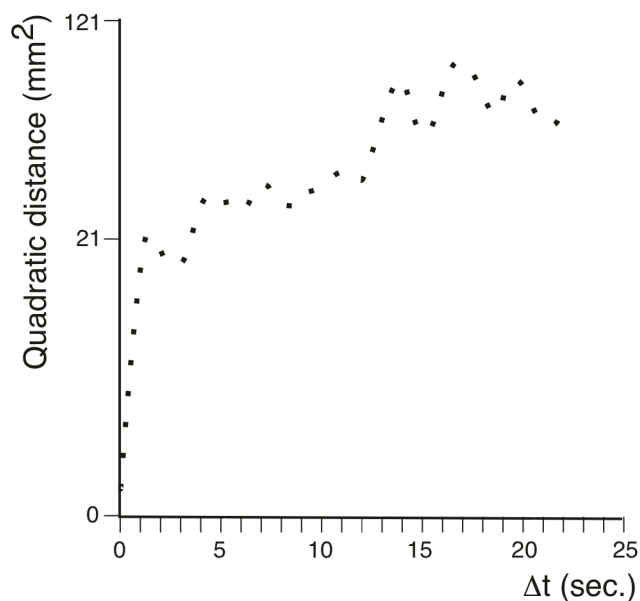
Pierre-Marie Gagey

## Introduction

Nous manquons d'un paramètre stabilométrique qui nous donne des informations sur la vitesse de réaction du système postural d'aplomb et pourtant ces informations sont contenues dans une analyse de ce signal, connue et utilisée depuis 1993, l'analyse de diffusion de la série temporelle des positions du centre de pression [Collins et De Luca, 1993]. Le problème consiste donc uniquement à trouver le meilleur moyen d'extraire ces informations de cette analyse.

## L'information contenue dans l'analyse de diffusion

Cette analyse manifeste que le signal stabilométrique comporte deux parties (fig. 1) qui regroupent d'abord les états du système séparés par des intervalles temporels de moins d'une seconde, les phénomènes observés y sont aléatoires [Collins et De Luca, 1993], alors que les phénomènes observés dans l'autre partie, au-delà d'une seconde, sont contrôlés. L'interprétation de cette analyse par Collins et Col. est confirmée par l'analyse statistique du spectre d'amplitude du signal stabilométrique [Gagey et al., 1985] qui montrait déjà une césure autour de 1 Hertz entre des phénomènes de stabilité et de stabilisation [DA Winter et Coll. (1995)]. Et les analyses de diffusion faites sur la série temporelle des positions du centre de gravité: ne comportent plus qu'une seule partie (Gagey, non publié).



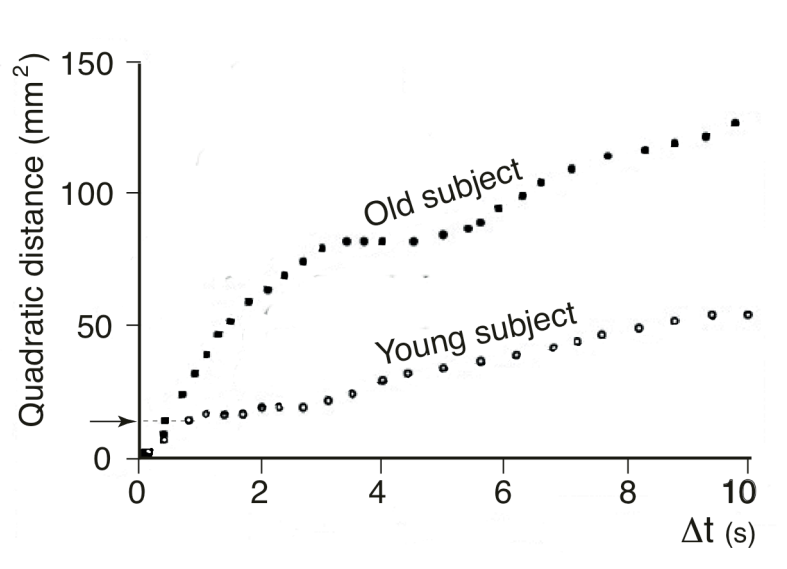
(Analyse\_1-a.pdf)

Figure 1. — Analyse de Diffusion du vecteur centre de pression d'un sujet normal.

La première partie du signal, correspondant à des écarts temporels,  $\Delta t$ , de moins d'une seconde, représente des phénomènes stochastiques, selon Collins et De Luca (1993), confirmé par Gagey et Coll.,(1985).

On peut remarquer que tous les points expérimentaux de cette analyse de diffusion représentent une distance parcourue en fonction d'un temps, l'équation aux dimensions est donc celle d'une vitesse,  $LT^{-1}$ , une vitesse de stabilisation pour les points de la première partie.

Collins et Coll. (1995), puis Lacour et Coll. (2008) ont constaté que la courbe expérimentale de l'analyse de diffusion variait d'une manière assez systématique avec l'âge des sujets (fig. 2).



[Age\_et\_Diffusion-a.pdf]

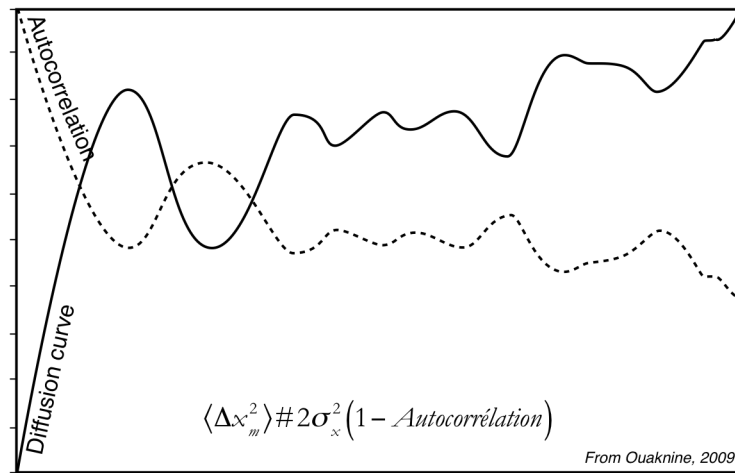
FIG. 2 — Analyses de diffusions comparées d'un sujet âgé et d'un sujet jeune (d'après Collins et coll., 1995)

La petite flèche, sur l'échelle des distances, pointe une position identique du sujet âgé et du sujet jeune, mais atteinte plus lentement par le sujet jeune. Cette même distance est atteinte dans les deux cas pour des intervalles de temps de moins d'une seconde.

On constate sur la figure 2 que les mêmes vitesses (pointées sur le schéma par la petite flèche) sur la courbe du sujet âgé et sur celle du sujet jeune, sont atteintes plus vite par le sujet âgé. Donc ce qui différencie ces sujets est l'accélération des phénomènes de stabilisation.

**Extraire cette information**

Extraire cette information de la courbe expérimentale de Collins aurait sans doute été compliqué si Ouaknine ne nous avait pas aidé en remarquant que cette courbe de Collins est topologiquement équivalente à la fonction d'autocorrélation (fig. 3) et que les équations des deux courbes sont très semblables (Ouaknine, 2009).



(Analyse de diffusion/ Ouaknine équivalence-a. pdf)

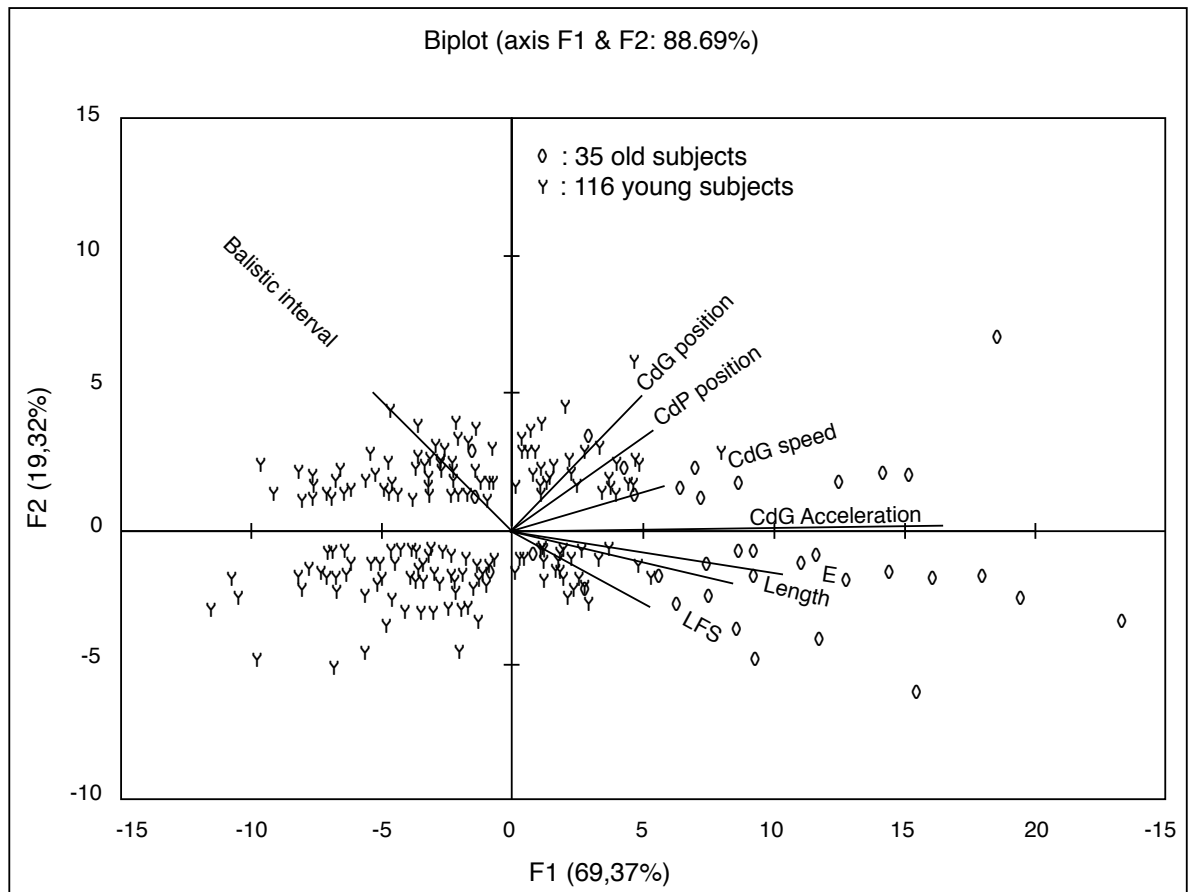
FIG. 3 — Courbe de diffusion et Autocorrélation

La courbe de diffusion et celle de l'autocorrélation sont topologiquement équivalentes et leurs équations sont pratiquement identiques (Ouaknine, 2009; ce schéma a été refait à partir du poster de 2009).

Sur la courbe d'autocorrélation de l'accélération du centre de gravité, il est donc possible de chercher cette différence mise en évidence par Collins et Coll. entre les sujets jeunes et les sujets âgés. Pour mesurer cette différence, Collins utilisait la pente de la droite des moindres carrés de la première partie de la courbe de diffusion. Avec la courbe d'autocorrélation il est habituel, et beaucoup plus simple, d'utiliser le décalage temporel correspondant à une valeur donnée du coefficient de corrélation.

Cette valeur discriminante du coefficient de corrélation a été déterminée expérimentalement à partir d'une cohorte de 35 sujets âgés ( $85 \pm 8$  ans) (Boutines et al., 2011) et d'une cohorte de 116 sujets jeunes ( $26 \pm 7$  ans) (Dudde et al, 2012) Après avoir vérifié par une analyse en composantes principales que l'accélération du centre de gravité distinguait bien les deux cohortes (fig. 4), une comparaison des courbes d'autocorrélation de l'accélération du centre de gravité de ces cohortes a permis de fixer au croisement de ces courbes avec la valeur 0,5 du coefficient de corrélation, une zone où elles étaient assez bien distinguées (fig. 5).

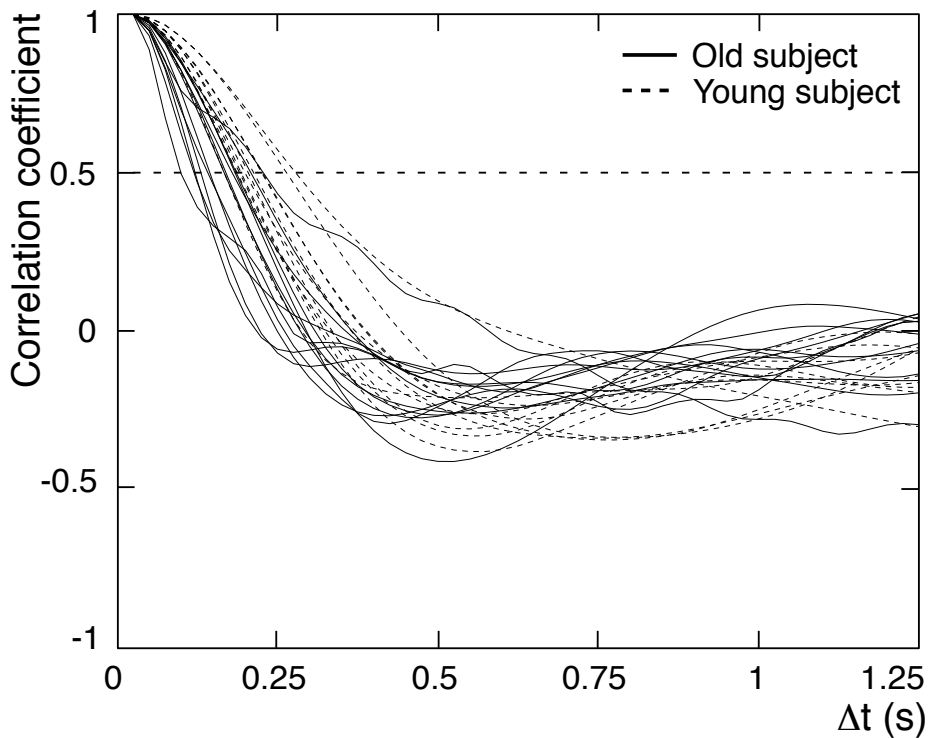
Nous proposons donc de définir par le délai temporel,  $\Delta t$ , correspondant au 0,5 crossing de la courbe d'autocorrélation de l'accélération du centre de gravité du sujet, un marqueur du temps de réaction du sujet (fig. 6).



(Analyse\_Diffusion/ACP\_Boutines\_1-2\_J-V\_YO\_8-a.pdf)

FIG. 4 — Analyse en composantes principales du facteur âge sous deux modalités: jeune (y) et vieux (o).

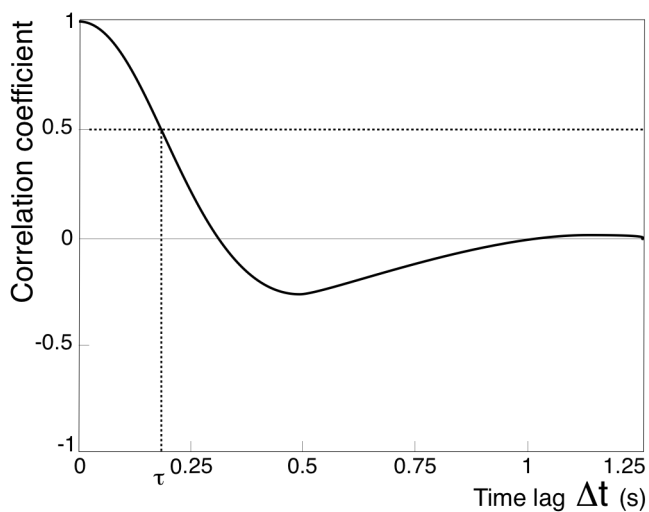
Les noms des 8 variables indépendantes sont écrits dans le prolongement de leur axe. Les deux cohortes sont clairement distinguées le long de l'axe 1, fortement corrélé à l'accélération du centre de gravité (0,965).



(Constante de temps / AutoCor\_Accé\_Jeunes\_Vieux-a.pdf)

FIG. 5 — Comparaison de courbes d'autocorrélation de l'accélération du centre de gravité de sujets jeunes et de sujets âgés.

La comparaison est limitée à 1,25 secondes de décalage temporel.



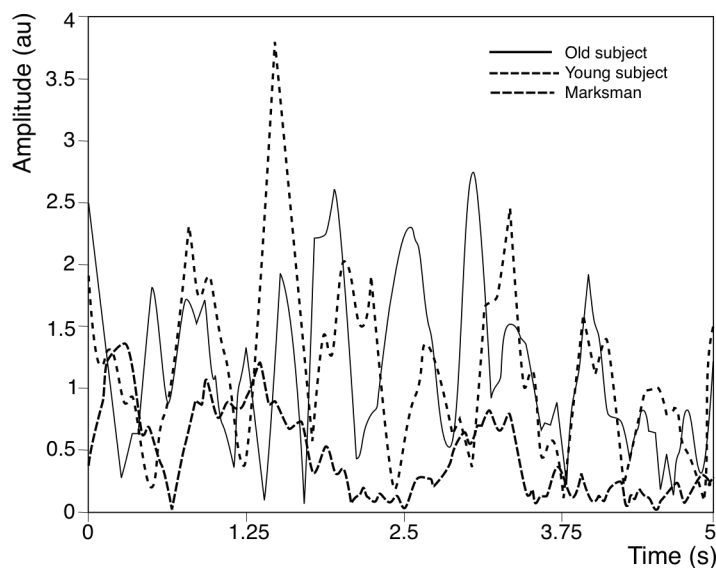
(Constante de temps / Constante\_temps\_Définition-a.pdf)

FIG. 6 — Définition du paramètre

La valeur du paramètre est celle de l'abscisse,  $\tau$ , du 0,5 crossing de la courbe d'autocorrélation de l'accélération du centre de gravité du sujet.

## Discussion

Le marqueur du temps de réaction posturale proposé s'exprime à travers une fonction temporelle de l'accélération de son centre de gravité, ce qui nous invite à regarder comment cette accélération varie en fonction du temps (fig. 7). Nous constatons une succession de bouffées d'accélération séparées par des périodes de repos. Ce phénomène a déjà été décrit par P. Morasso (Baratto et al., 2002) sur simple inspection de l'évolution temporelle des positions du centre de gravité: tantôt il stagne dans une zone très limitée du polygone de sustentation, tantôt il est comme expédié vers une autre zone plus ou moins distante où il stagne à nouveau quelque temps. Et si l'on examine l'évolution de l'accélération en fonction du temps chez différents sujets, jeunes, âgés, sportifs de haut niveau (fig.7) on constate, en fonction des sujets, une franche différence de durée des intervalles entre les bouffées d'accélération, que nous proposons de nommer des « intervalles balistiques ».



*(Pics\_Accélération\_Trois\_SC-a.pdf)*

FIG. 7 — Courbes de l'accélération du centre de gravité en fonction du temps chez trois sujets différents: sportif de haut niveau, sujet jeune, sujet âgé.

## Conclusion

Un nouveau paramètre stabilométrique est proposé, "l'intervalle balistique", représenté par le décalage temporel,  $\Delta t$ , correspondant au 0,5 crossing de la fonction d'autocorrélation de l'accélération du centre de gravité. Ce paramètre exprime la stabilité posturale du sujet dans le temps, il sépare nettement les sujets jeunes des sujets âgés. Il n'est pas redondant avec un autre paramètre stabilométrique conventionnel.

## *Bibliographie*

- Baratto L., Morasso P.G., Re C., Spada G. (2002) A new look at posturographic analysis in the clinical context: sway-density vs. other parameterization techniques *Motor control*, 6 (3). p.246-270
- Boutines C, Gagey B, Gagey PM (2011) A "time constant" of the upright postural control system? ISPGR Congress, Akita 2011 (annulé en raison des événements de Fukushima)
- Collins J.J., De Luca C.J. (1993) Open-loop and closed-loop control of posture: a random-walk analysis of center-of-pressure trajectories. *Exp. Brain Res.*, 95: 308-318.
- Collins J.J., De Luca C.J., Burrows A., Lipsitz L.A. (1995) Age-related changes in open-loop and closed-loop postural control mechanisms. *Exp. Brain Res.*, 104, 3: 480-492.
- Dudde R, Muller G, Bourdeaux O, Weber B, Gagey B, Gagey PM (2012) The Marksman's motor control. I) Stabilometric study of the changes during training. [http://ada-posturologie.fr/The\\_Marksman.pdf](http://ada-posturologie.fr/The_Marksman.pdf)
- Gagey P.M. Bizzo G., Debrulle O., Lacroix D. (1985) The one Hertz phenomenon. In *Vestibular and visual control on posture and locomotor equilibrium*. Igarashi M., Black F.O., Karger, Basel, 89-92.
- Lacour M, Bernard-Demanzeb L, Dumitrescu M. (2008) Posture control, aging, and attention resources: Models and posture-analysis methods. *Clinical Neurophysiology* 38, 411— 421
- Ouaknine (2009) The Brownian diffusion revisited in it's application to postural sway. Proceedings of the XIX conference of the ISPGR, Bologna 21-25 June 2009 :218
- Winter DA, Eng P (1995) Human balance and posture control during standing and walking. *Gait & Posture* 3, 4: 193-214