

## Les paramètres du test de piétinement de Fukuda sont-ils valables?

P,M, GAGEY \*, G, BIZZO n. & O, DEBRUILLE \*\*\*

\* APAS, "Centre hospitalier Sainte-Anne Paris et \*\*\*Tokyo Institute of Technology, Tokyo

*Are Fukuda's stepping test parameters valid?*

*From Fukuda's parameters it is possible to calculate the theoretical trajectory that the subject would have followed to reach the final position of the test if his gait had been perfectly regular. The comparison between this theoretical trajectory and the real -recorded- trajectory shows the description of the test by Fukuda's parameters to be valid. The outstanding quality of this clinical test is thus reaffirmed, giving ground for a strict review of its technique,*

La manœuvre de la marche en étoile de *Babinski-Weill* (*Babinski* et *Nageotte*, 1902, *Babinski*, 1904) et le test de piétinement d'*Unterberger* (1938 ; *Hirsch* 1940) se partagent la faveur des cliniciens lors de l'examen de la voie " vestibulo-spinale ". On doit cependant reconnaître que l'introduction par *Fukuda* (1959) d'une mesure du test de piétinement avantage sérieusement cette méthode. Encore faut-il que les paramètres qu'il a proposés expriment ce qui s'est réellement passé au cours de l'examen. En effet, c'est seulement lorsque le patient a achevé le test que sont relevés les paramètres; cette position finale a-t-elle un rapport avec la trajectoire suivie au cours du test? Les paramètres de *Fukuda* sont-ils une expression valable de l'examen?

Pour répondre à cette question nous avons comparé la trajectoire réelle du sujet, enregistrée pendant l'examen, à la trajectoire théorique calculée à partir des paramètres de *Fukuda*.

### Matériel et méthode

*Mise au point sur la technique du test de piétinement*

On ne dira jamais assez à quel point le test de piétinement est un test fragile, sensible aux variations d'un grand nombre de facteurs, Gageons que tous ceux qui, à l'avenir, s'occuperont de ce test ajouteront ici ou là l'une ou l'autre précaution technique qui rendront le test de plus en plus reproductible. Mais déjà aujourd'hui, après 20 ans d'histoire, il est utile de faire le point sur l'évolution de sa pratique,

La technique décrite par *Fukuda* en 1959 demandait au sujet de se mettre debout, les pieds l'un contre l'autre, au centre de la piste de l'*Ashibumikensa* (Figure 1), puis, après qu'on ait bandé ses yeux, d'étendre les deux bras devant lui et de "plier et lever haut un genou puis l'autre" et de continuer à piétiner ainsi sur place. Après 5,0 pas, en général, le sujet stoppait et on mesurait les paramètres de sa position finale: distance parcourue, angle de déviation par rapport à une marche droit devant lui, angle de *spin* ou de "manège" comme - saient les anciens auteurs français :

Mais déjà *Fukuda* insistait sur certaines précautions:

- il faut que le sujet piétine en souplesse, sans être contracté,
- le rythme du piétinement est précisé: 110 pas par minute,
- la pièce de l'examen doit être calme, sans éclairage latéral, tous bruits ou lumières qui pourraient fournir des repères spatiaux au patient doivent être évités,
- toute stimulation giratoire, toute stimulation des conduits auditifs externes et a fortiori des tympans, sont à proscrire dans les minutes qui précèdent l'examen,

Depuis ce texte princeps de *Fukuda* de nombreuses précisions ont été formulées :

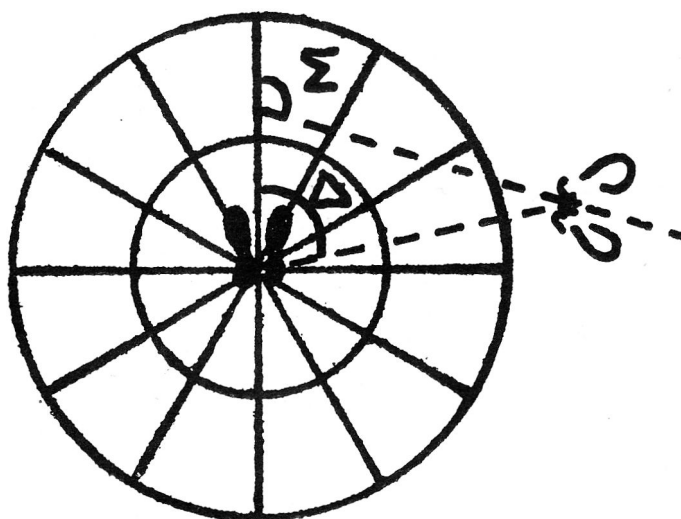


figure 1 - Les paramètres de Fukuda du test de piétinement, au nombre de quatre, sont :

- la distance entre le point de départ et le point d'arrivée:  $D$ ,
- l'angle de déviation de la marche:  $\Delta$ ,
- l'angle de spin ou de "manège" :  $\Sigma$ ,
- le nombre de pas:  $N$ ,

L'exactitude de la position des bras est importante, et la meilleure position n'est pas l'horizontale mais les bras à 45 degrés (*Delwaide, Fiegel et Richelle*, 1977). (Nous n'avons pas la pratique du choix du balancement des bras proposé par *Fukushima, Yamamoto et al.*, 1979)).

La position de la tête peut modifier complètement le test par le jeu du réflexe nucaal, à telle enseigne qu'on peut faire trois test de piétinement différents selon que la tête est au repos, tournée à droite ou tournée à gauche (*Ushio, Hinoki et al.*, 1977). Il y a là un choix possible dans la conduite du test; en tous cas la position de la tête est à surveiller.

La situation yeux ouverts cachés par un boîtier qui ne close pas les paupières sensibilise le test (*Hamann, Vidal et al.*, 1979).

La position des yeux dans les orbites modifie le test (*Gagey*, 1983), c'est pourquoi nous demandons au sujet de contrôler volontairement cette position des yeux en regardant un repère placé à la face interne du boîtier-cache qu'il porte devant les yeux.

Le rôle du rythme du piétinement a été réétudié avec précision par *Okubo, Oku et et.*, (1981) qui proposent un rythme de 1,2 Hz, à peine plus rapide que celui indiqué par *Fukuda*, soit environ 140 pas par

minute. Pour donner ce rythme au sujet il est utile de disposer d'une sorte de métronome (montre "pace runner" par exemple).

La répétition du test enfin entraîne une légère modification systématique de la réponse (Norré, Peeraer et Vandebek, 1979), il y a donc lieu de présenter sous un mode aléatoire toute séquence de tests répétés.

L'ensemble des consignes données au malade (tenir la tête droite, les bras à 45 degrés, regarder le repère, bien lever les genoux, suivre le bip-bip du métronome) sollicite, nous semble-t-il, un niveau de vigilance suffisant pour ne pas ajouter d'autre consigne de contrôle pour ce facteur cependant capital.

Par contre il nous paraît opportun d'entraîner quelque peu le sujet à une exécution relaxée de toutes ces consignes, "comme un automate", avant de commencer les mesures.

### Calcul de la trajectoire théorique

Le calcul de la trajectoire théorique (Gagey et Debruille, 1979) repose sur une hypothèse: la distance parcourue,  $D$ , les angles de déviation,  $\alpha$ , et de spin,  $\omega$ , observés après  $N$  pas sont la somme de  $N$  déplacements élémentaires identiques. Cette hypothèse est confusément incluse dans le principe même de la notation de Fukuda, mais elle ne peut être formulée de façon aussi ferme par un clinicien trop accoutumé aux "bruits" qui viennent perturber toute observation.

Soit  $O_j X_j$ ,  $O_j Y_j$  le référentiel du sujet, mobile avec lui, considéré au  $i$  e pas, et dirigé respectivement vers la droite du sujet et devant lui.

Par hypothèse l'angle  $\alpha$  entre les axes  $O_j-1Y_{j-1}$  et  $O_j Y_j$  est égal à  $\alpha/N$ ; soit  $\omega$  le complémentaire de  $\alpha$ .

Par hypothèse l'abscisse et l'ordonnée du point  $O_i$  sur le référentiel  $O_j X_j$ ,  $O_j Y_j$  sont des constantes appelées respectivement  $a$  et  $b$  (Figure 2) :

$$\begin{aligned} O_0 A_1 &= O_1 E = a, \\ O_0 B_1 &= O_2 E = b. \end{aligned}$$

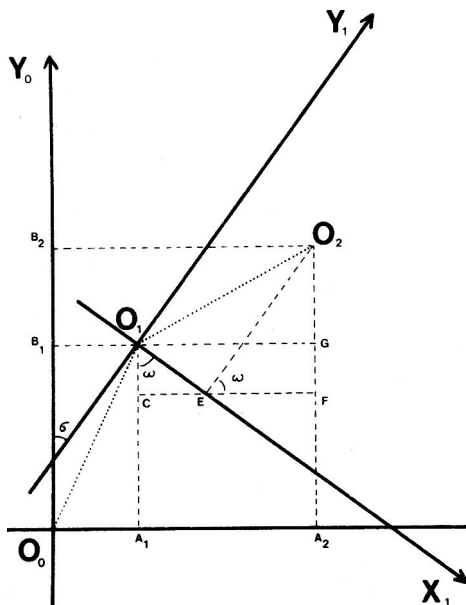


figure 2 - Calcul de la trajectoire théorique à partir des paramètres de Fukuda.

↑

↑

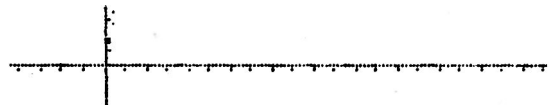


figure 3 - Tracé d'une trajectoire théorique.

Cette courbe théorique retrace la démarche qu'un sujet aurait dû suivre, si elle avait été parfaitement régulière. Pour atteindre la position finale du test définie par les paramètres de Fukuda suivants:  $D = 30$  cm,  $\Delta = 30$  degrés,  $\Sigma = 45$  degrés,  $N = 50$ .

Par convention les angles  $\alpha$  et  $\omega$  mesurés par rapport à l'axe  $O_0 Y_0$  sont négatifs lorsqu'ils sont situés dans le deuxième cadran (à gauche de la position de départ du sujet).

On peut écrire d'après la figure 2 :

$$\begin{aligned} O_0 A_1 + A_1 A_2 &= O_0 A_1 + CE + EF \\ a + a \sin \alpha + b \cos \alpha &= O_0 B_1 + B_1 B_2 \\ O_0 B_1 + F_0 B_2 - FG &= O_0 B_1 + b \sin \alpha + a \cos \alpha \end{aligned}$$

Et par conséquent d'une façon très générale:

$$\begin{aligned} O_0 A_j &= a(1 + \sin \alpha + \dots + \sin(i-1)\alpha) \\ &\quad + b(\cos \alpha + \dots + \cos(i-1)\alpha) \\ O_0 B_j &= b(1 + \sin \alpha + \dots + \sin(i-1)\alpha) \\ &\quad + a(\cos \alpha + \dots + \cos(i-1)\alpha) \end{aligned}$$

Formule (1)

Relation qui reste vraie quel que soit le cas de figure.

Soit  $x$  et  $y$  les coordonnées de la position finale  $O_n$  dans le référentiel  $O_0 X_0$ ,  $O_0 Y_0$ ,

Soit  $\alpha = \alpha/n$

$$\begin{aligned} O_0 A_n &= x \\ &= D \cos \alpha \\ &= a(1 + \sin \alpha + \dots + \sin(n-1)\alpha) \\ &\quad + b(\cos \alpha + \cos 2\alpha + \dots + \cos(n-1)\alpha) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} O_0 B_n &= y \\ &= D \sin \alpha \\ &= b(1 + \sin \alpha + \dots + \sin(n-1)\alpha) \\ &\quad - a(\cos \alpha + \dots + \cos(n-1)\alpha) \end{aligned}$$

Comme l'angle  $\alpha$  est le complémentaire de  $\omega$ , on peut écrire:

$$D_{\cos} \sim \dots = a(1 + \cos \alpha + \dots + \cos(n-1)\alpha) + b(\sin \alpha + \dots + \sin(n-1)\alpha)$$

$$D_{\sin} \sim \dots = b(1 + \cos \alpha + \dots + \cos(n-1)\alpha) - a(\sin \alpha + \dots + \sin(n-1)\alpha)$$

En passant en notation complexe:

$$D_{e^{j\alpha}} \sim \dots = a(1 + e^{j\alpha} + \dots + e^{j(n-1)\alpha}) + b(j(1 + e^{j\alpha} + \dots + e^{j(n-1)\alpha}) - j(1 + e^{j\alpha} + \dots + e^{j(n-1)\alpha}))$$

$$= a(1 + e^{j\alpha} + \dots + e^{j(n-1)\alpha}) + jb(1 + e^{j\alpha} + \dots + e^{j(n-1)\alpha}) - ja(1 + e^{j\alpha} + \dots + e^{j(n-1)\alpha})$$

$$= a(1 + e^{j\alpha} + \dots + e^{j(n-1)\alpha}) + jb(1 + e^{j\alpha} + \dots + e^{j(n-1)\alpha}) - ja(1 + e^{j\alpha} + \dots + e^{j(n-1)\alpha})$$

La somme des n-1 premiers termes d'une progression géométrique de raison r = - [o est:

$$\frac{1 - e^{-jn\alpha}}{1 - e^{-j\alpha}}$$

Donc

$$D_{e^{j\alpha}} \sim \dots = (a + jb) \frac{1 - e^{jn\alpha}}{1 - e^{j\alpha}}$$

$$= (a + jb) \frac{1 - e^{jn\alpha}}{1 - e^{j\alpha}} \frac{1 - e^{-jn\alpha}}{1 - e^{-j\alpha}}$$

$$= (a + jb) \frac{1 - e^{jn\alpha} - e^{-jn\alpha} + e^{-j(n-1)\alpha}}{2 - e^{-j\alpha} - e^{j\alpha}}$$

(a + jb)

$$\frac{(1 - (\cos \alpha + j \sin \alpha)^n) - (\cos \alpha - j \sin \alpha)^n + (\cos(n-1)\alpha - j \sin(n-1)\alpha)}{2 - 2 \cos \alpha}$$

En quittant la notation complexe :

$$D_{\cos} \sim \dots = (2-2\cos \alpha) + a(1 - \cos \alpha - \cos(n-1)\alpha) - \cos n\alpha - b(-\sin \alpha - \sin(n-1)\alpha) + \sin n\alpha$$

$$D_{\sin} \sim \dots = (2-2\cos \alpha) + b(1 - \cos \alpha - \cos(n-1)\alpha) - \cos n\alpha + a(-\sin \alpha - \sin(n-1)\alpha) + \sin n\alpha$$

Posons:

$$F = 2-2\cos \alpha$$

$$A = 1 - \cos \alpha + \cos(n-1)\alpha - \cos n\alpha$$

$$B = -\sin \alpha - \sin(n-1)\alpha + \sin n\alpha$$

Il vient:

$$FD_{\cos} \sim \dots = aA - bB$$

$$FD_{\sin} \sim \dots = bA + aB$$

Sachant que  $\alpha = \pi/2 - \dots$

$$a = \frac{FD(A \sin \alpha - B \cos \alpha)}{A^2 + B^2}$$

$$b = \frac{FD(A \cos \alpha + B \sin \alpha)}{A^2 + B^2}$$

Connaissant a et b on peut donc tracer point par point la trajectoire théorique du sujet d'après la relation (1) :

$$X_j = a(1 + \sin w + \dots + \sin(i-1)w) + b(\cos w + \dots + \cos(i-1)w)$$

$$y_j = b(1 + \sin w + \dots + \sin(i-1)w) - a(\cos w + \dots + \cos(i-1)w)$$

En fait les mesures cliniques sont réalisées avec un certain degré d'imprécision que nous pouvons évaluer à au moins + ou - 5 degrés pour les angles et + ou - 5 centimètres pour les distances. La combinaison de ces erreurs amène donc

à exprimer, au mieux, la trajectoire théorique non par une seule courbe isolée mais par une fourchette comprise entre les plus extrêmes des courbes calculées à partir des huit combinaisons possibles d'erreurs de mesure (Figure 4).



figure 4 - Tracé d'une fourchette théorique de la trajectoire.

Comme les paramètres de Fukuda sont évalués approximativement lors de la mesure, à plus ou moins cinq centimètres, plus ou moins cinq degrés près, il convient de substituer à la trajectoire théorique unique une série de trajectoires correspondant à cet encadrement. Cette série de courbes constitue la fourchette théorique de la démarche réelle (Echelle 1 division = 0,89 cm).

### Enregistrement de la trajectoire réelle

En attendant la mise au point d'un appareil d'enregistrement électronique nous avons utilisé un procédé mécanique de traçage de la trajectoire réelle par perforation à chaque pas d'une feuille de papier étendue sur un tapis à poil ras, les mesures étant ensuite faites à la main.

### Comparaison des trajectoires théorique et réelle

Les paramètres de Fukuda relevés en fin de test et les coordonnées de chaque point de la trajectoire réelle ont été introduites dans un ordinateur utilisant un microprocesseur 6502. Le programme informatique visait simplement à l'édition superposée sur un même graphique de la trajectoire réelle et des trajectoires théoriques après leur calcul. Une partie du programme d'édition du tracé réel comportait une structure de lissage pour restreindre l'effet de balancement alterné de l'appui bi-podal (Figure 5).

En fin d'édition des courbes par le calculateur la comparaison s'effectue par simple inspection du graphique.

### Résultats

Il y a des cas où la trajectoire réelle du sujet sort des limites de la fourchette théorique, il s'agit alors de démarche ataxique, cliniquement évidente, que Fukuda, déjà, recommandait de noter "ataxie" (Figure 6). il semble que dans ces cas on puisse en dire davantage par l'analyse séquentielle, nous y reviendrons dans la discussion.

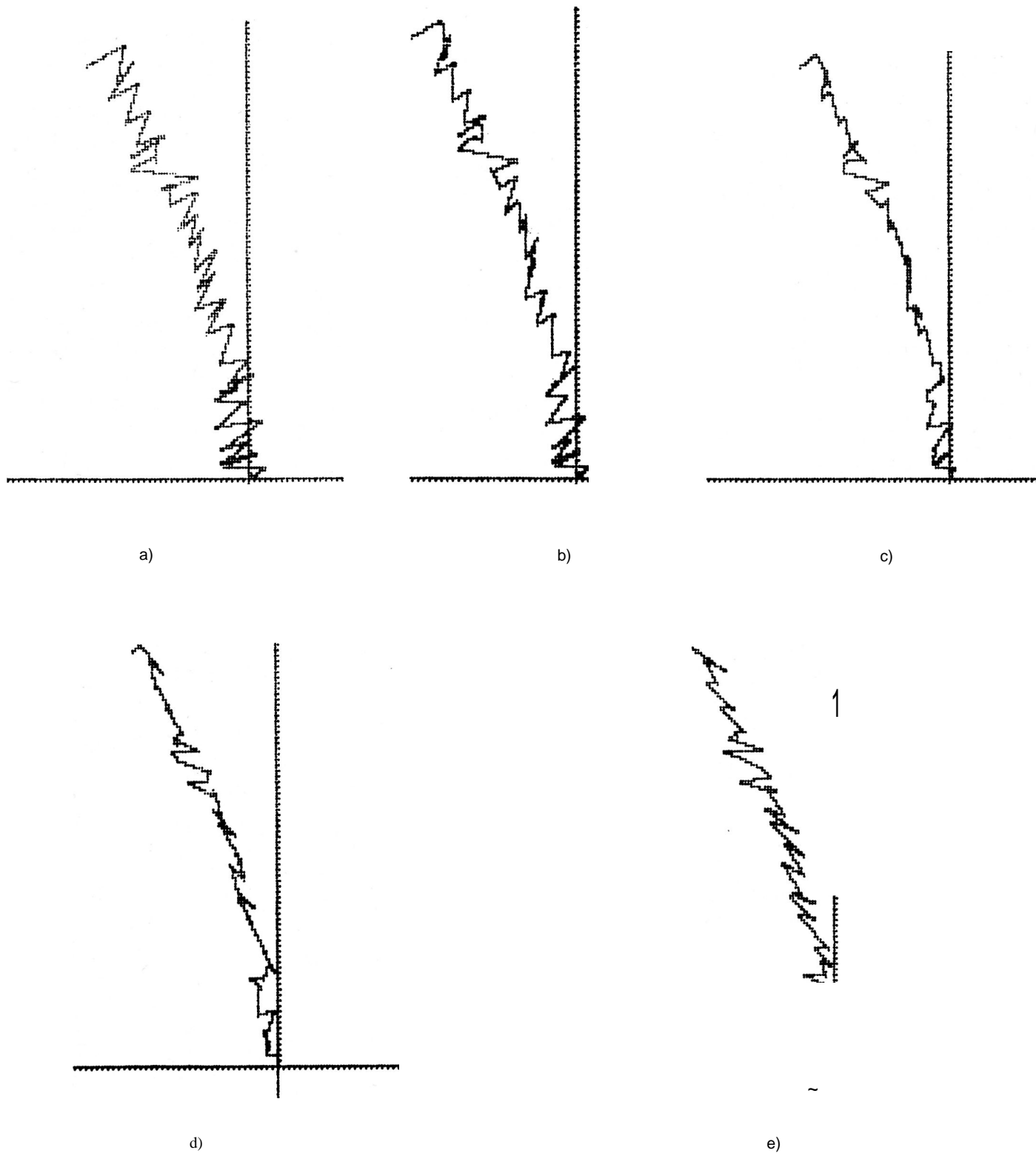


figure 5 - Lissage de la trajectoire réelle.

La trajectoire réelle relevée à partir de la position de chacun des deux pieds doit être lissée pour être rapprochée d'une démarche de type monopodale étudiée par la fourchette théorique. La figure présente les résultats de cinq coefficients monopodaux de lissage:  $a = 0,5$  ..  $b = 1,5$  ..  $c = 2,5$  ..  $d = 3,5$  ..  $e = 4,5$ . Le coefficient monopodal qui donne le meilleur lissage est 3,5 (d), c'est-à-dire que chaque marque réelle laissée par chaque pied était environ à 3,5 centimètres du tracé non alterné.

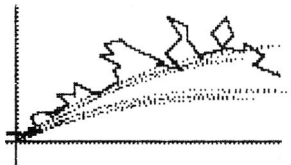


figure 6 - a) Démarche ataxique.

Le tracé réel est en dehors de la fourchette théorique. La seule notation qui convienne dans ce cas est "ataxie"; comme Fukuda l'avait déjà signalé, car les paramètres ne sont plus une représentation valable du test. Distance, 65, déviation 75 degrés, Spin 30 degrés, 50 pas, Echelle 1 division = 0,84 cm.

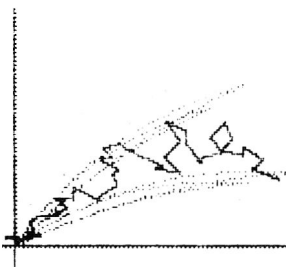


figure 6 - b) Enveloppe de la démarche ataxique.

Il est possible d'ajuster la fourchette théorique à la démarche ataxique en modifiant, d'après l'allure de la courbe réelle, le paramètre de déviation  $D$  et les coefficients d'approximation de la fourchette. Lorsque le tracé réel est correctement enveloppé on obtient alors de nouveaux paramètres qui reflètent mieux la déviation tonique et un coefficient d'approximation qui chiffre l'ataxie.

Le tracé réel est le même que celui de la figure 6 a, le paramètre  $D$  est passé de sa valeur observée: 75 degrés, à sa valeur ajustée: 65 degrés, mais ce dernier chiffre n'est valable qu'à plus ou moins dix degrés près.

Chez les sujets non ataxiques la trajectoire réelle reste remarquablement à l'intérieur de la fourchette des courbes théoriques dans ces cas les paramètres de Fukuda expriment de façon tout à fait valable l'ensemble du test (Figure 7).

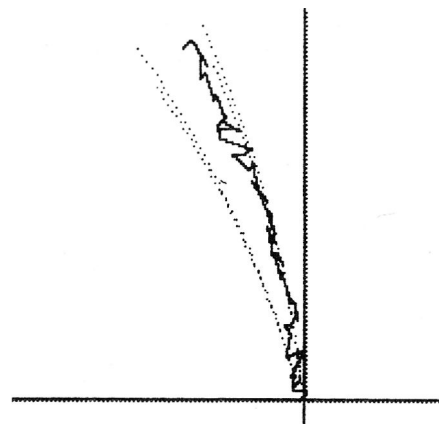


figure 7 - Démarche normale.

Le tracé réel reste parfaitement à l'intérieur de la fourchette théorique ..les paramètres de Fukuda expriment d'une façon parfaitement valable l'ensemble du test de piétinement. Distance 85 cm, déviation 20 degrés, Spins 20 degrés, 50 pas. Echelle: chaque division: 2 cm.

#### Discussion

Lorsqu'on mesure quelque chose il est toujours bon de se demander ce que l'on mesure: la réponse à cette question est loin d'être toujours évidente.

Il existe un certain consensus pour admettre que la déviation de la marche, en étoile ou en piétinant, reflète une asymétrie du tonus musculaire au niveau des membres inférieurs. Mais ce "reflet" n'est pas pur de tout mélange et personne n'a jamais prétendu mesurer cette asymétrie tonique en chiffrant la déviation de la marche.

Les ajustements posturaux qui préparent le sujet à l'appui unipodal enchaîné peuvent être plus ou moins bien réglés, entraînant un certain degré d'ataxie qui modifie la démarche et son terme. Et pourtant le sujet, même ataxique, dévie malgré tout d'un côté préférentiel, exprimant encore par sa démarche ses asymétries toniques.

Ces deux aspects : précision des ajustements posturaux et asymétries toniques, peuvent être, sinon mesurés, du moins mieux cernés par le test de piétinement et son analyse séquentielle. Il suffit de chercher les courbes théoriques qui enveloppent entièrement la courbe réelle pour déterminer et la valeur la plus fiable de la déviation tonique exprimée par les paramètres de Fukuda ajustés et la précision avec laquelle cette déviation est exprimée, c'est-à-dire la précision des ajustements posturaux (Figure 6 b).

Ainsi l'étude de la validité des paramètres de Fukuda du test de piétinement nous conduirait-elle par l'analyse séquentielle à l'appréciation chiffrée non seulement d'une dysrégulation de l'activité tonique posturale de base, mais aussi d'une perturbation des ajustements posturaux préparatoires à l'action.

Tirés à part: Dr P.M. GAGEY  
APAS  
B.P.407  
F 75626 Paris Cédex 13

#### REFERENCES

Babinski J. (1904). *Introduction à la sémiologie des maladies du système nerveux.* Leve, Paris.

Babinski J. & Nageotte J. (1902). *Hémiasynergie, latéropulsion et myosis bulbaires avec hémianesthésie et hémiplégie croisées.* C.R. Sté Neurol. (Paris), Séance 17-04.

- Delwaide P.J., Figiel C. & Richelle C. (1977). *Effects of postural changes of the upper limb on reflexe transmission in the lower limb.* J. Neurol. Neurosurg. Psychiat., 40, 6 : 616-621.
- Fukuda T. (1959). *The stepping test. Two phases of the labyrinthine reflex.* Acta Oto-laryng. (Stockh.), 50,2: 95-108.
- Fukushima H., Yamamoto E., Morinaka S., Iwanaga S., Nakanishi M., Izumikawa F. & Hinoki M. (1979). *Correlation between movements of the upper and lower limbs during stepping in relation to body equilibrium.* Agressologie, 20, B: 147-148.
- Gagey P.M. (1983). *Influence of voluntary ocular movements on the stepping test.* Agressologie, 24, 3 :
- Gagey P.M. & Debrulle O. (1979). *Analyse séquentielle du test de piétinement. Son application à l'étude du réflexe nuca. Approche théorique.* Agressologie, 20, B: 125-126.
- Hamann K.F., Vidal P.P., Sterkers J.M. & Berthoz A. (1979). *A new test for postural disorders: an application of visual stabilization.* Agressologie, 20, B : 129-130.
- Hirsch C. (1940). *A new labyrinthine reaction. The waltzing test.* Ann. Otot. (Saint-Louis), 49 : 232.
- Norre M.E., Peeraer L. & Vandebeck E. (1979). *The stepping test evaluated by a recording technique.* Agressologie, 20, B: 127-128.
- Okubo J., Oku T., Tsutsumiuchi K., Watanabe S. & Ishida A. (1981). *Stepping movement control and response - a two dimensional analysis of dynamic control mechanisms.* Agressologie, 22, A : 17-22.
- Unterberger S. (1938). *Neue objective registrierbare Vestibularis Drehreaktion, erhalten durch Treten auf der Stelle. Der "Tretversuch".* Arch. klin. exp. Ohr-Nas-Kehlokop., 145 : 478-480.
- Ushio N., Hinoki M., Baron J.B., Gagey P.M. & Meyer J. (1977). *The stepping test with neck torsion: proposal of a new equilibrium test for cervical vertigo.* Pract. Otol, Kyoto, 69, Sup. 3 : 1369-1379 (en Japonais).

## RESUME

*Les paramètres du test de piétinement de Fukuda sont-ils valables?*

P.M. GAGEY, G. BIZZO & O. DEBRUILLE

Agressologie, 1983,24,7: 331-336

*A partir des paramètres de Fukuda il est possible de calculer la trajectoire théorique que le sujet aurait suivie pour arriver à cette position finale du test de piétinement si sa démarche avait été parfaitement régulière. La comparaison de cette trajectoire théorique à la trajectoire réelle, enregistrée, permet de valider la description du test proposée par les paramètres de Fukuda. Ainsi la qualité exceptionnelle de cet examen clinique est-elle réaffirmée et cela justifie une mise au point rigoureuse de ses conditions d'exécution.*