

Ventilation et contrôle postural : la controverse

En 1968, Gurfinkel, au cours d'une étude des perturbations stabilométriques de 160 tumeurs du cerveau, a découvert une relation entre contrôle postural et ventilation : à notre connaissance, il a été le premier à la décrire.

Mais comment donc a-t-il pu faire cette découverte? Il n'a pas été aidé par l'analyse fréquentielle du signal stabilométrique qui, en pratique clinique, n'était pas d'usage courant à cette époque. Or, sur les simples stabilogrammes de ces malades qu'il observait à l'œil nu, il est difficile d'admettre que son attention ait pu être attirée uniquement par la parenté du rythme des oscillations posturales — toujours très complexes — avec le rythme de la ventilation ! Alors, comment a-t-il pu découvrir cette relation ? Manifestement, il la cherchait. D'ailleurs, il l'avoue implicitement car il demandait à ses patients de «respirer profondément 8 à 10 fois de suite au rythme qu'ils voulaient» et aussi de «rester en apnée 15 à 20 secondes». Il cherchait donc cette relation et il la cherchait comme réponse à sa question théorique de cybernéticien : le contrôle postural est-il un contrôle en boucle fermée ou en boucle ouverte ? Nashner dans sa thèse (1970) avait radicalement opté pour un contrôle en boucle fermée, Gurfinkel n'était pas convaincu. Il était même convaincu du contraire, lorsqu'il nous a présenté à nouveau ses résultats, à Smolenice, en 1973. Le rythme ventilatoire ne passe pas sur les stabilogrammes de sujets normaux, même lorsque ces sujets respirent profondément (fig. 1), parce que, pense et dit Gurfinkel, ces perturbations de la stabilité du corps sont prévues par le système nerveux central qui anticipe une action destinée à les neutraliser. L'annulation des effets déstabilisants de la ventilation était, pour Gurfinkel, l'évidence même que le contrôle postural fonctionne en boucle ouverte, en prévision.

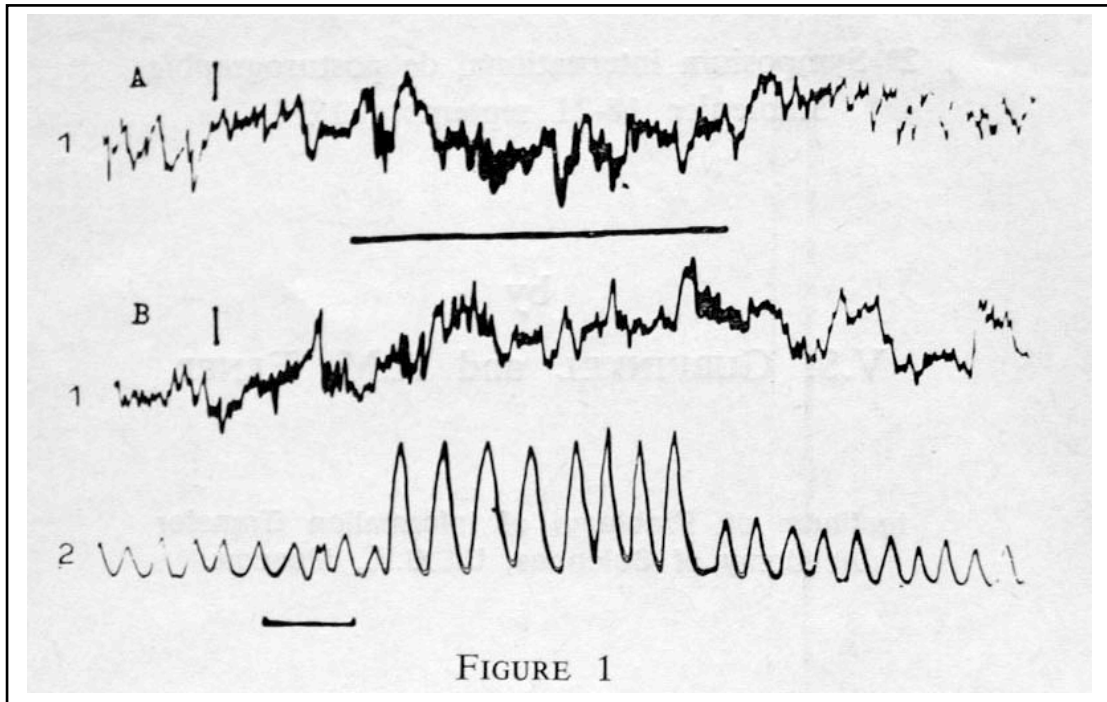


FIG.1 – Exemple de stabilogramme normal

1 : stabilogramme avant-arrière :

A : enregistrement yeux fermés,

B : enregistrement du test de respiration profonde. Aucune différence n'est visible pendant la durée de la respiration profonde.

2 : Pneumogramme.

Echelle de temps : 10s. (D'après Gurfinkel, 1973, avec la permission de l'éditeur)

Et Gurfinkel fournissait une preuve de cette évidence : Une lésion du cerveau, supposée endommager les centres du contrôle postural, supprime le contrôle anticipé des déstabilisations posturales dues à la ventilation ; chez 65 tumeurs du cerveau «au cours des mouvements de respiration profonde, on observe une augmentation considérable (2 à 4 fois) de l'amplitude des oscillations posturales, principalement avant-arrière, au rythme de 15-20 par minute» synchrones aux enregistrements pneumographiques (fig.2).

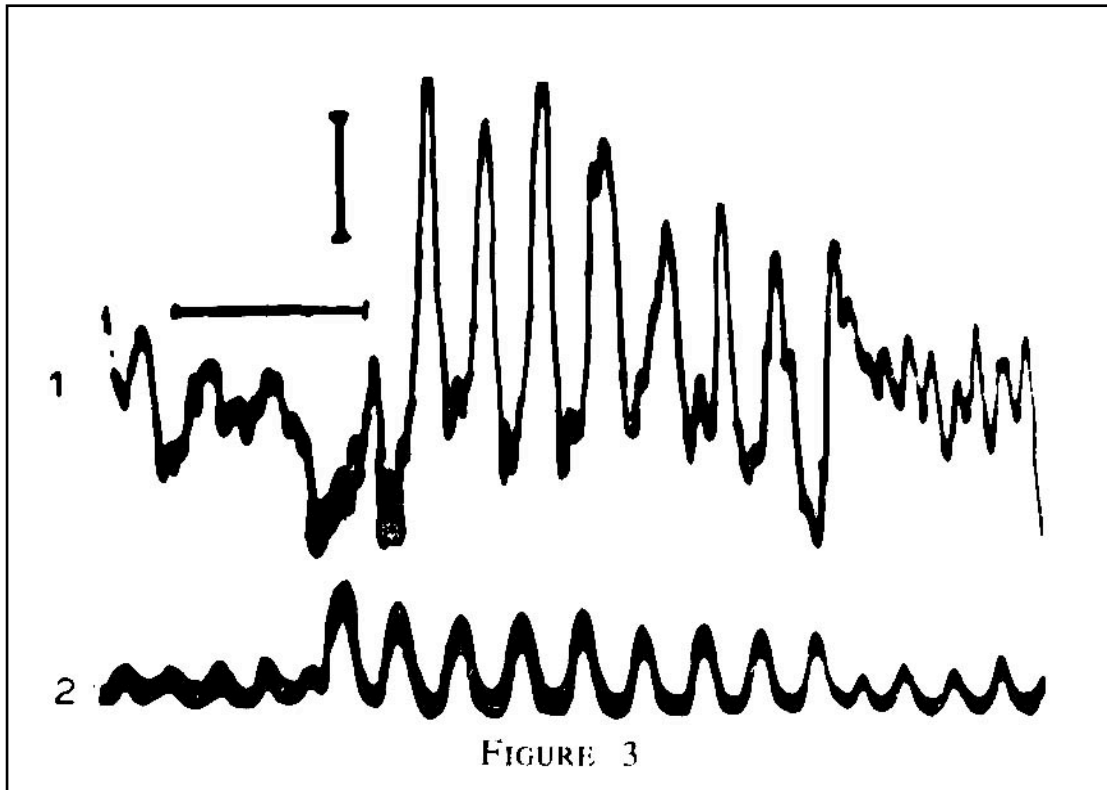


FIG.2. — Exemple de stabilogramme d'un patient souffrant d'une tumeur du lobe frontal.

1 : stabilogramme avant-arrière. Le rythme ventilatoire apparaît

2 : Pneumogramme.

Echelle de temps : 10s. (D'après Gurfinkel, 1973, avec la permission de l'éditeur

Et ces patients présentent aussi une absence « des autres » ajustements posturaux préparatoires à l'action (fig. 3)

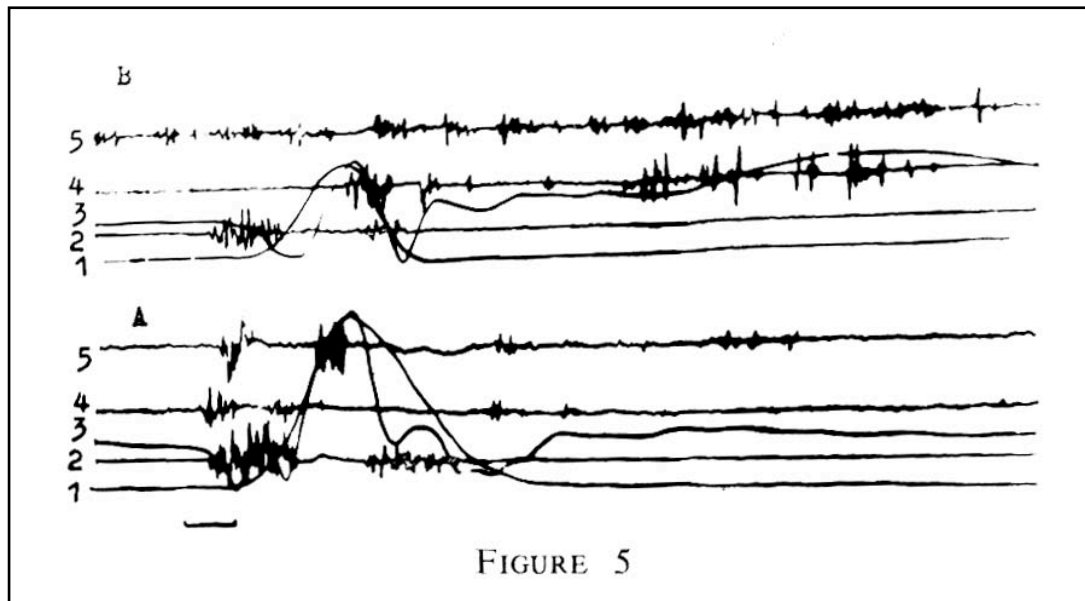


FIG.3 — Ajustements posturaux préparatoires à l'action de lever le bras.

A : Sujet normal. B : Patient souffrant d'une tumeur du lobe frontal.

1 : goniogramme huméral, 2 : EMG du m. deltoïde, 3 : stabilogramme avant-arrière, 4&5 : EMG des biceps cruraux droit et gauche. Chez le malade on ne voit pas d'activité des biceps cruraux avant le mouvement du bras (B, 4&5) . (D'après Gurfinkel, 1973, avec la permission de l'éditeur)

Donc, pensait Gurfinkel, cette synergie entre posture et ventilation, atteinte par les tumeurs du cerveau, est évidemment un ajustement postural préparatoire à l'acte de respirer, commandé par les structures nerveuses supérieures, qui disparaît en même temps que les autres ajustements posturaux préparatoires à l'action.

Gurfinkel montrait que cet ajustement postural était exécuté au niveau de la hanche (fig. 4)

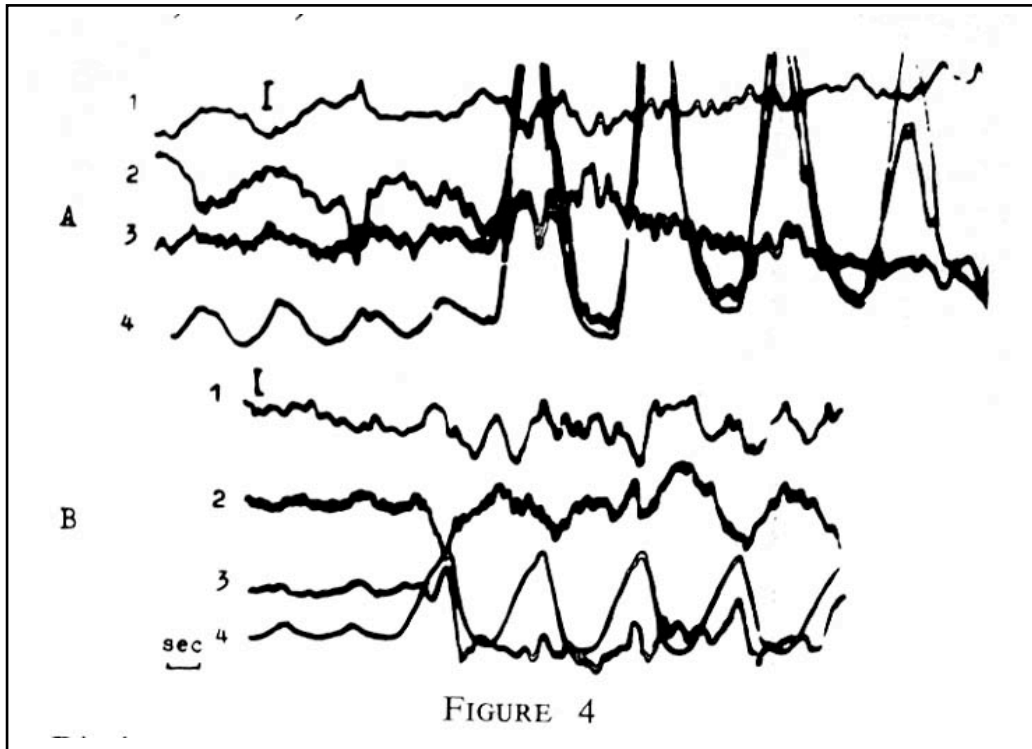


FIG.4 — Enregistrements des mouvements de la cheville et de la hanche pendant une respiration profonde.

A : Sujet normal. B : Patient souffrant d'une tumeur du lobe frontal.

1 : Stabilogramme avant-arrière ; 2 : goniogramme de cheville ; 3 : goniogramme de hanche ; 4 : Pneumogramme,

En A3 les mouvements de la hanche suivent les mouvements ventilatoires, mais non en B3. (D'après Gurfinkel, 1973, avec la permission de l'éditeur)

En 1976, Le Roux et coll. étudient la relation ventilation-posture sur le spectre d'amplitude des oscillations céphaliques, mesurées par une technique sonore. Selon les sujets, le rythme ventilatoire passe ou non sur ces spectres, mais les auteurs ne peuvent pas en dire davantage étant donné le petit nombre de sujets d'expérience.

La même année, Watanabe et coll. (1976) présentent une analyse statistique de paramètres stabilométriques de 10 sujets enregistrés dans trois situations : yeux ouverts puis yeux fermés en respiration spontanée, enfin yeux fermés sans respirer. Dans cette dernière situation, ils notent une réduction statistiquement significative des paramètres de longueur et de surface du statokinésigramme, confirmée par Caron et coll. (2004).

En 1981, Hunter et Kearny postulent que les mouvements ventilatoires doivent perturber le contrôle postural, bien que la chose ne soit pas évidente sur les simples stabilogrammes et FFT des sujets normaux. Mais leur interprétation de ce « silence ventilatoire » sur les enregistrements stabilométriques de sujets normaux est complexe : le rythme ventilatoire change donc il est moins manifeste, disent-ils, et le signal stabilométrique n'est pas stationnaire. De fait lorsque les sujets sont obligés de ventiler à un rythme précis, alors une simple technique de moyennage des mouvements du centre de pression fait apparaître le rythme ventilatoire du stabilogramme avec un décalage de phase sur la ventilation elle-même (fig.5). Mais les auteurs pensent qu'il existe aussi peut-être un mécanisme d'ajustement postural préparatoire à l'acte de respirer dont ils pensent avoir montré que la hanche n'en est pas l'effecteur.

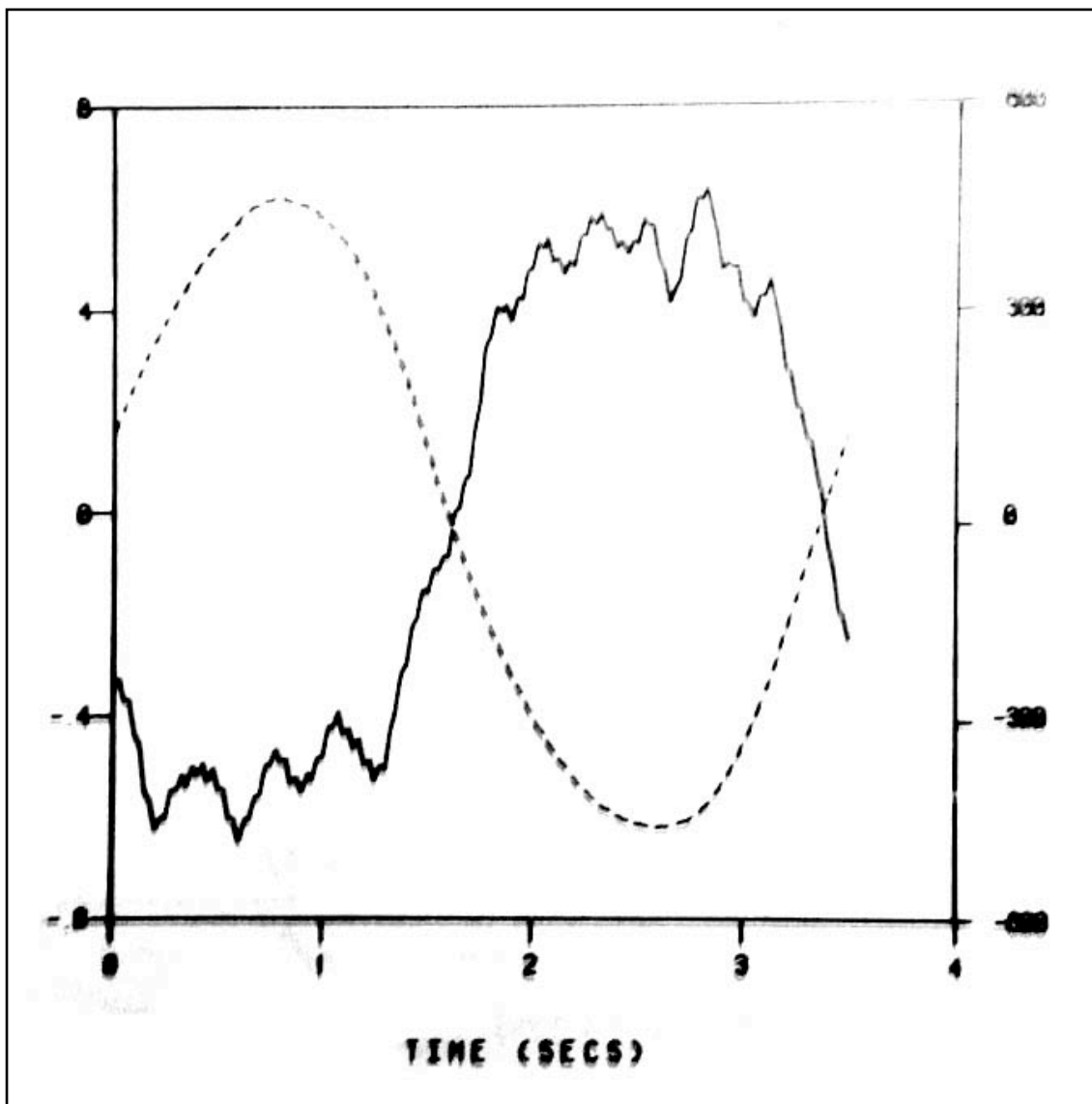


FIG.5 — Moyennes de 90 cycles de ventilation au rythme imposé de 17 cycles par minute.

Trait pointillé : mouvements ventilatoires. Trait plein : mouvements du centre de pression. (D'après Hunter & Kearny, 1981)

En 1986, sans penser un seul instant à la relation ventilation contrôle postural, Gagey réalise une première étude statistique des analyses fréquentielles du signal stabilométrique de 42 patients souffrant de lombalgies, il découvre l'existence d'un pic de fréquence massif dans la bande 0,16/0,26 Hz (fig.7), qui n'apparaît pas dans une statistique semblable portant sur 100 sujets normaux (fig.6).

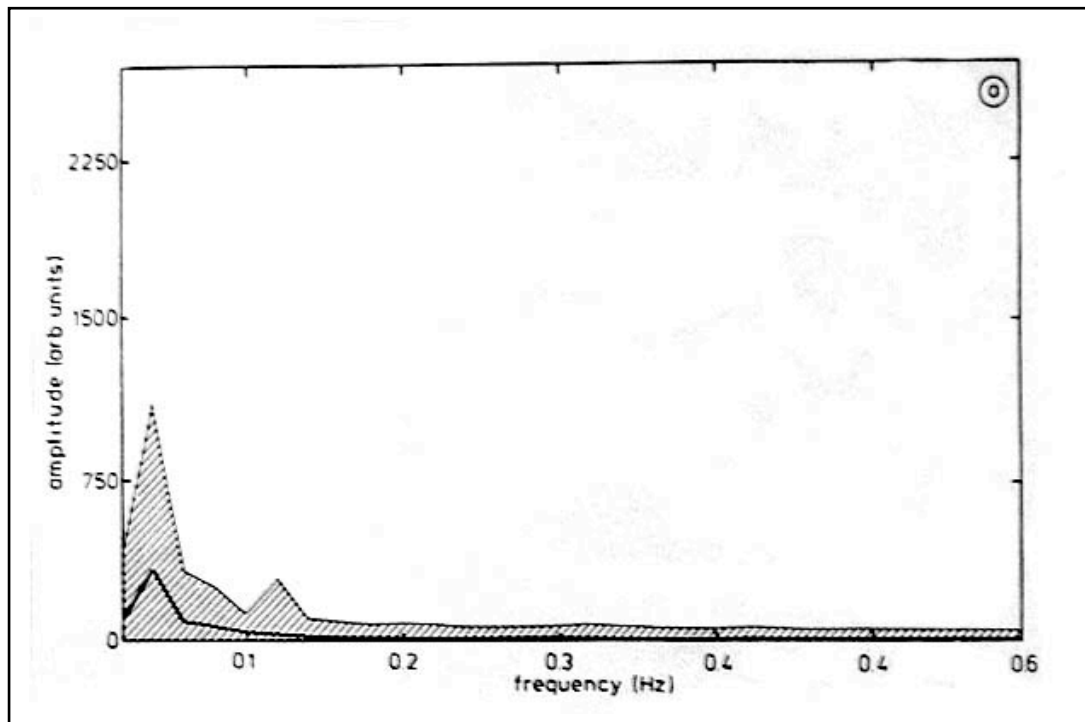


FIG. 6 — Médiane et 90^{ème} percentile des spectres d'amplitude des stabilogrammes avant-arrières de 100 sujets normaux.

(d'après Gagey, 1986)

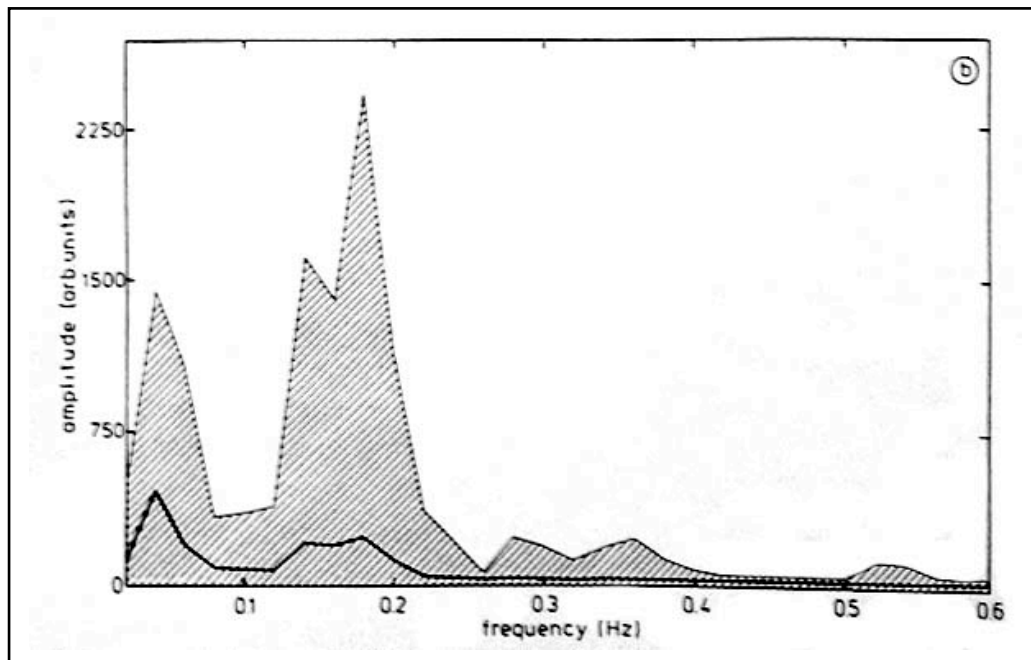


FIG. 7 — Médiane et 90^{ème} percentile des spectres d'amplitude des stabilogrammes avant-arrières de 42 patients souffrant de lombalgies.

(d'après Gagey, 1986)

Cette observation sera confirmée par Guillemot et Duplan, en 1995, et en 1997, Gagey et Toupet précisent que non seulement les lombalgies, mais aussi toutes les affections qui s'accompagnent d'une asymétrie tonique importante des muscles paravertébraux, comme les névrites vestibulaires par exemple, sont susceptibles de provoquer l'apparition du rythme ventilatoire sur les stabilogrammes.

Entre-temps, pour Bouisset et Duchêne (1994), il était évident que, si les déplacements ventilatoires de la masse thoracique sont compensés, cela ne peut se faire que par des déplacements en sens inverse d'autres parties du corps qui annulent ainsi l'effet des déplacements de la masse thoracique. Ils ont donc enregistré leurs 10 sujets non seulement en situation debout, mais aussi en situation assis, pour réduire le nombre de parties du corps susceptibles d'être déplacées pendant la ventilation. Et effectivement ces auteurs montrent que l'impact de la ventilation sur les stabilogrammes est plus important en situation assis qu'en situation debout. Pourtant ils concluent que la réalité, ou au moins l'efficacité, de la synergie décrite initialement par Gurfinkel est douteuse car l'impact de la ventilation apparaît aussi sur les stabilogrammes de la moitié de leurs sujets d'expérience, en situation debout. [Malheureusement la publication de ces auteurs ne fait état d'aucun examen clinique pour s'assurer d'un minimum de symétrie tonique posturale des sujets d'expérience.]

Hodges et coll. (2002), puis Grimstone et coll. (2003) ont repris l'étude de cette relation ventilation et contrôle postural. Ils utilisent un dispositif expérimental enrichi : aux enregistrements des mouvements du centre de pression, ils ajoutent l'enregistrement vidéo des mouvements d'une douzaine de marqueurs ainsi que des enregistrements EMG de deux muscles du tronc et des cuisses. Les enregistrements sont pratiqués au cours de quatre situations différentes d'amplitude des mouvements de ventilation : ordinaire, volontairement augmentée, automatiquement augmentée par hypercapnie, nulle. Dans toutes ces situations, sauf l'apnée, on retrouve des mouvements segmentaires du cou, des hanches, des chevilles et du centre de pression, synchrones à la ventilation, mais leur amplitude en ventilation ordinaire est minime, presque nulle pour le centre de pression. Curieusement c'est au cours de l'augmentation automatique de l'amplitude des mouvements ventilatoires que les mouvements de la hanche sont les mieux corrélés à la ventilation, et c'est pratiquement dans cette seule situation qu'apparaissent des mouvements des genoux synchrones de la ventilation. Ces mouvements segmentaires sont, au moins partiellement, actifs car ils sont corrélés à une activité EMG principalement des muscles des gouttières vertébrales mais aussi des muscles abdominaux, et, à un moindre degré, des muscles des cuisses. L'efficacité de ces mouvements segmentaires, chez le sujet normal, pour amortir les effets posturaux des mouvements de ventilation se mesure par la différence entre l'importance des mouvements d'amplification thoracique, chiffrée par exemple par le recul de D7 en inspiration (de $2,7 \pm 0,4$ cm en ventilation normale à $7 \pm 1,2$ cm en ventilation volontairement augmentée), et l'amplitude minime des mouvements du centre de pression corrélés à la ventilation. Mais ces expériences ne permettent pas de dire si cette atténuation des effets posturaux des mouvements ventilatoires est due à un contrôle central, en boucle ouverte ou fermée, disent les auteurs.

Hamaoui dans sa thèse (2004) dont il a donné un premier aperçu (2002) reprend et développe l'idée de Kantor (2001). la mobilité du rachis est importante pour que fonctionne normalement cette synergie respiration contrôle postural qui réduit les effets perturbateurs des mouvements de ventilation sur la stabilité posturale.

Ainsi de 1968 à nos jours cette longue controverse sur les relations ventilation posture s'est progressivement orientée, comme d'elle-même, vers cette hypothèse d'une synergie fonctionnelle qui se jouerait au niveau du rachis lui-même, grâce à une organisation fonctionnellement performante des structures anatomiques vouées à la ventilation et à la stabilisation posturale : la synergie respi-statique.

Bibliographie

- BOUISSET S., DUCHENE J.L. — Is body balance more perturbed by respiration in seating than in standing posture? *NeuroReport* **5**: 957-960, 1994.
- CARON O., FONTANARI P., CREMIEUX J., JOULIA F. — Effects of ventilation on body sway during human standing. *Neuroscience Letters*, **366**, 1, 6-9, 2004.
- GAGEY P.M. — Postural disorders among workers on building sites. In: Bles W., Brandt Th. *Disorders of Posture and Gait*. Elsevier, Amsterdam: 253-268, 1986.
- GAGEY P.M., TOUPET M. — Le rythme ventilatoire apparaît sur les stabilogrammes en cas de pathologie du système vestibulaire ou proprioceptif. in Lacour M., Gagey P.M., Weber B. (Eds) *Posture et Environnement*. Sauramps, Montpellier, 11-28, 1997.
- GRIMSTONE S.K., HODGES P.W. — Impaired postural compensation for respiration in people with recurrent low back pain. *Experimental Brain Research* **151**, 218-224, 2003.
- GUILLEMOT A., DUPLAN B. — Étude de la prévalence des troubles posturaux au sein d'une cohorte de 106 patients lombalgiques. In: Gagey P.M., Weber B. Entrées du système postural fin. Masson, Paris: 71-77, 1995.
- GURFINKEL V.S. — On two types of static disturbances in patients with local lesions of the brain, *Agressologie*, **14**, D, 65-72, 1973.
- GURFINKEL V.S., ELNER A.M. — The relation of stability in a vertical posture to respiration in focal cerebral lesions of different etiology. *Zh Nevropatol Psikhiatr.*, **58**: 1014-1018, 1968 (en russe).
- GURFINKEL V.S., KOTS Y.M., PALTSEV E. — The compensation of respiratory disturbances of the erect posture of man as an example of the organization of interarticular interaction. In: Gurfinkel V.S., Fomin S.V., Tsetlin M.L. (Eds) *Models of the structural functional organization of certain biological systems*. MIT Press, Cambridge: 382-395, 1971.
- HAMAOU A., DO M.C., POUPARD L., BOUISSET S. — Does respiration perturb body balance more in chronic low back pain subjects than in healthy subjects? *Clinical Biomechanics*, **17**, 7, 548-550, 2002.
- HAMAOU A. — Rôle de la mobilité du rachis dans le maintien de l'équilibre postural : sujets sains et sujets lombalgiques. Thèse de Sciences, Université de Paris-Sud, 2004.
- HODGES P.W., GURFINKEL V.S., BRUMAGNE S., SMITH T.C., CORDO P.C. — Coexistence of stability and mobility in postural control: evidence from postural compensation for respiration. *Experimental Brain Research*, **144**, 3, 293-302, 2002.
- HUNTER I.W., KEARNY R.E. — Respiratory components of human postural sway. *Neurosci lett.*, **25**: 155-159, 1981.

- JEONG BY. — Respiration effect on standing balance. *Arch Phys Med Rehabil.*, **72**, 9, 642-5, 1991
- KANTOR E. — La compensation respiratoire est essentiellement due à la mobilité de la colonne. *Neuroscience letters* **308**, 126-132, 2001.
- KANTOR E., POUPARD L., LE BOZEC S., BOUISSET S. — Does body stability depend on postural chain mobility or stability area? *Neuroscience Letters*, **308**, 2, 128-132, 2001.
- LE ROUX J., GUEGUEN C., POULARD G., PRADO J. — Étude de la relation entre les mouvements ventilatoires et les mouvements du centre de gravité de l'homme en orthostatisme. *Agressologie*, **17**-A: 51-54, 1976.
- MILKOWSKI L.M., MYKLEBUST J.B., PRIETO T.E., KREIS D.U., MYKLEBUST B.M. — Interaction of respiration and postural sway. *Proc. Southern Biomed. Eng. Conf. New Orleans, LA.*, 1993.
- NASHNER L.M. — *Sensory feedback in human posture control*. Thèse de Sciences. M.I.T., Cambridge, 1970.
- RIMMER K.P., FORD G.T., WHITELAW W.A. — Interaction between postural and respiratory control of human intercostal muscles. *J. App. Physiol.*, **79**, 5: 1556-1561, 1995.
- VUILLERME N. — *Influence du blocage de la respiration dans le contrôle postural orthostatique*. Mémoire STAPS, Université J. Fourier, Grenoble, 1997.
- WATANABE I., OKUBO J., KADOKA S., TSUTSUMIUCHI K. — Postural equilibrium and respiratory rhythm. *Agressologie*, **17**, A: 45-50, 1976.