



Lombalgie et orthèses plantaires

Low back pain and plantar insoles

• par Philippe Villeneuve¹, Podologue, Ostéopathe, MSc's

Président Association Posturologie Internationale et Sylvie Villeneuve¹, Podologue •

MOTS CLÉS : Orthèses plantaires, paradigme biomécanique, paradigme neurosensoriel, lombalgie chronique non spécifique, dysfonctions, remédiation.

Une cause très petite, qui nous échappe, détermine un effet considérable que nous ne pouvons pas ne pas voir, et alors nous disons que cet effet est dû au hasard.

Henri Poincaré, Science et Méthode, 1908

Résumé

Les lombalgies, notamment les lombalgies chroniques non spécifiques représentent un lourd fardeau pour la société par leurs fréquences et leurs coûts. Les podologues français participent au traitement des lombalgies, depuis le début du XXe siècle, en cherchant à corriger mécaniquement les dysmorphoses podales et en espérant ainsi traiter les étages sus-jacents. À la fin du XXe siècle, un nouveau paradigme neurosensoriel enrichit les premières pratiques orthétiques correspondant à un paradigme mécanique. Il est aujourd'hui objectivé que les orthèses plantaires à visée neurosensorielle (semelles de posture) modifient l'ensemble de la posture. Pour optimiser l'efficacité du traitement par orthèses plantaires de la lombalgie, il convient non seulement de traiter les dysmorphoses podales, mais également de mettre en évidence les zones nociceptives cutanées plantaires, les dysfonctions proprioceptives et neurales podales qui empêchent la bonne intégration des informations provenant des mécanorécepteurs plantaires. Une fois celles-ci traitées, le podologue pourra déterminer les zones plantaires à stimuler pour réguler la posture et effectuer une remédiation posturale efficace et ainsi traiter les lombalgies.

Summary

Low back pains, in particular the unspecific chronic low back pains represent a heavy burden for Society by their frequencies and their costs.

Since the beginning of the XXth century French podiatrists take part in the treatment of the low back pain. They try to mechanically correct the podal dysmorphoses hoping treating the joints above. At the end of the XXth century, a new neurosensory paradigm enriches the first orthetic practices. Today, it is objectified that the new plantar neurosensory orthotics (soles of posture) modify the whole posture.

In the treatment of the low back pain, to optimize their efficiencies, podal dysmorphoses should not only be treated but should also highlighted the plantar nociceptive zones as well as the proprioceptive and neural dysfunctions which prevent the good information integrations resulting from plantar mechanic-receivers. Once these handled, the podiatrist will be able to determine the plantar zones which need to be stimulated to regulate the posture and make that the postural remediation becomes efficient.

¹ Lien d'intérêt avec les sociétés Crispin et SIDAS

Introductions

Avant d'envisager le rôle des orthèses plantaires (OP) dans le traitement des lombalgies, nous présenterons rapidement le véritable fardeau pour la société qu'est la lombalgie chronique non spécifique (LCNS), pour laquelle les OP semblent indiquées. Puis nous décrirons l'évolution des concepts liés aux traitements par OP sur mesure, en deux périodes. On peut estimer que la première débuta en France au début du XX^e, dans la continuité d'une orthopédie mécanique de la prise en charge des pieds-bots. Les premiers podologues prenaient déjà en compte les relations entre les dysmorphoses podales et l'ensemble de la posture. Dans ce paradigme biomécanique, corriger les dysmorphoses podales permettrait de soulager leurs potentiels conséquences sus-jacentes douloureuses, telles les lombalgies.

Une seconde période débuta précisément en 1980, à Paris, suite aux recherches stabilométriques dirigées par Baron et indépendamment aux observations cliniques de Bourdiol et de son équipe. Ces deux chercheurs avaient compris que la plante du pied est un capteur sensoriel qui informe le système nerveux central et intervient dans la régulation de la posture. Le pied n'est plus un simple levier à faire basculer avec des cales.

Le paradigme neurosensoriel complète et enrichit le paradigme mécanique précédent, en ajoutant dans la conception des OP la neurostimulation des mécanorécepteurs podaux, notamment cutanés dans une vision neurophysiologique et cybernétique². Cette vision incite les praticiens à non seulement continuer à regarder la morphologie du pied et de la posture, comme leurs aînés, mais également à rechercher si des perturbations proprioceptives ou cutanées conscientes ou non perturbent l'intégration des stimulations plantaires provenant des OP.

Après avoir développé les résultats des recherches du traitement des lombalgies par OP, nous commenterons une recherche sur l'effet des semelles de posture sur les lombalgies chroniques non spécifiques (LCNS).

Lombalgies chroniques non spécifiques

Elles représentent la plus grande cause d'invalidité mondiale (1). Elles touchent 80% à 85% de la population (2). D'après Deyo (3), dans 85 % des cas il n'y a aucun diagnostic précis. Par exemple dans le cadre des pathologies discales il n'existe pas de corrélation entre imagerie médicale et symptomatologie, que ce soit au niveau de la radiographie (4) ou de l'imagerie par résonance nucléaire (IRM) (5). Les lombalgies sont avant tout un symptôme douloureux.

Dans 98 % des cas leurs étiologies sont d'ordre biomécaniques (hernies discales, canal lombaire étroit, musculaires, ligamentaires et articulaires (3). Les lombalgies présentent dans 90% des cas une évolution spontanée favorable avec disparition des symptômes avant trois mois (6). Les 10%, restant constituent les LCNS et représentent 70% à 80% des coûts de santé (7).

Des déséquilibres posturaux entraînant des tensions musculaires excessives participent vraisemblablement aux douleurs lombaires. Okada (8) a montré que l'activité électromyographique des muscles érecteurs du rachis est augmentée lorsqu'une personne adopte une posture plus antérieure. Cela modifie la répartition de l'activité musculaire qui est potentialisée au niveau des érecteurs spinae lombaires. L'hyperactivité musculaire consécutive à l'antériorisation de la posture augmente la fatigabilité et pourrait expliquer certaines lombalgies (9, 10) Fig 1.

Les seules dysmorphoses podales ou troubles posturaux ne permettent pas d'expliquer toutes les lombalgies dont les étiologies sont complexes et souvent multifactorielles. Par exemple, elles peuvent être associées à des troubles viscéraux, comme l'ont montré Smith & al (11, 12) sur une cohorte de plus de 30 000 femmes. Une association significative entre rachialgies et symptômes gastro-intestinaux, incontinence urinaire et troubles respiratoires fut mise en évidence. De plus ils ont précisé que les femmes souffrant d'incontinence et des troubles

² CNRTL : Science qui utilise les résultats de la théorie du signal et de l'information pour développer une méthode d'analyse et de synthèse des systèmes complexes, de leurs relations fonctionnelles et des mécanismes de contrôle, en biologie, économie, informatique, etc.

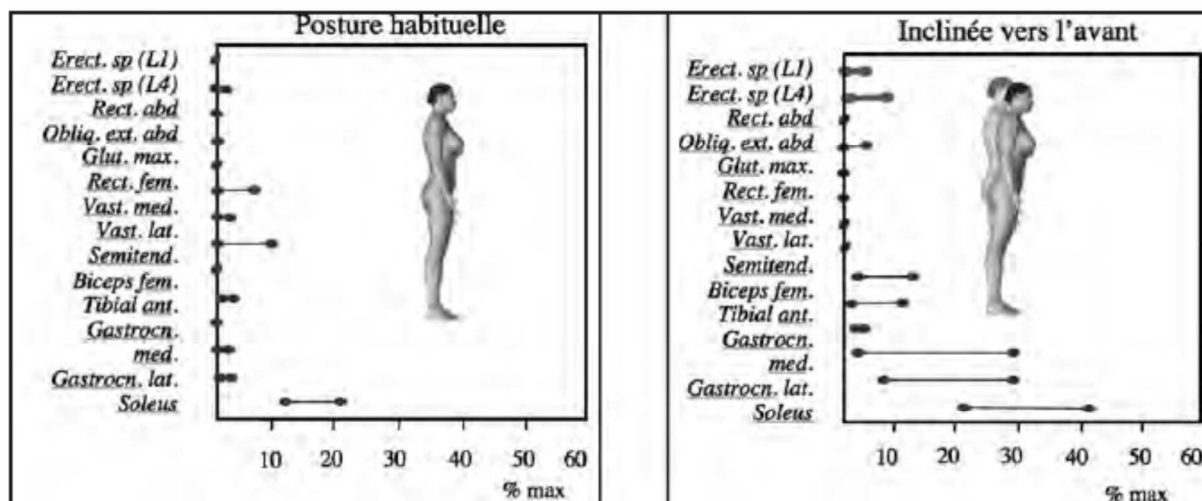


Figure N° 1 - Activité électromyographique en fonction de l'inclinaison du corps d'après Okada 1970

Remarquez l'augmentation EMG au niveau des erector spinae L1 et L4 lors de l'inclinaison antérieure

respiratoires avaient un risque accru de développer des rachialgies. Les émotions sont également liées à la régulation posturale et aux douleurs lombaires. Dès 1979, Soulaïrac et Baron (13) ont observé stabilométriquement que le comportement postural chez les traumatisés crâniens et les dépressifs était différent. Les traumatisés crâniens oscillent « dans toutes les directions, sans aucune organisation » alors que les dépressifs oscillent « toujours et uniquement en direction antéro-postérieure » Fig 2.

Très récemment, il a été confirmé que les émotions telles la peur, le catastrophisme et la dépression influencent significativement la lombalgie et le handicap qu'elle constitue (14). Elles modifient également la proprioception musculaire de la cheville (15).

La diversité des étiologies permet de comprendre que le seul paradigme biomécanique est insuffisant à expliquer les lombalgies chroniques. Evidemment, tous les patients avec des dysmorphoses podales ne

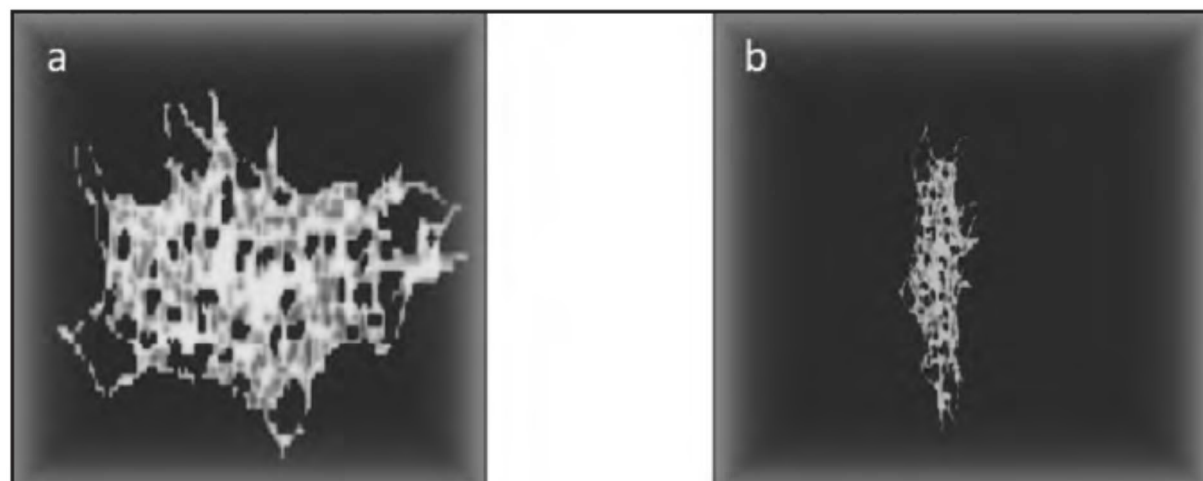


Figure N° 2 - Tracés stabilométriques chez les traumatisés crâniens (a) et les dépressifs (b)
Soulaïrac, Lucas & Baron 1979

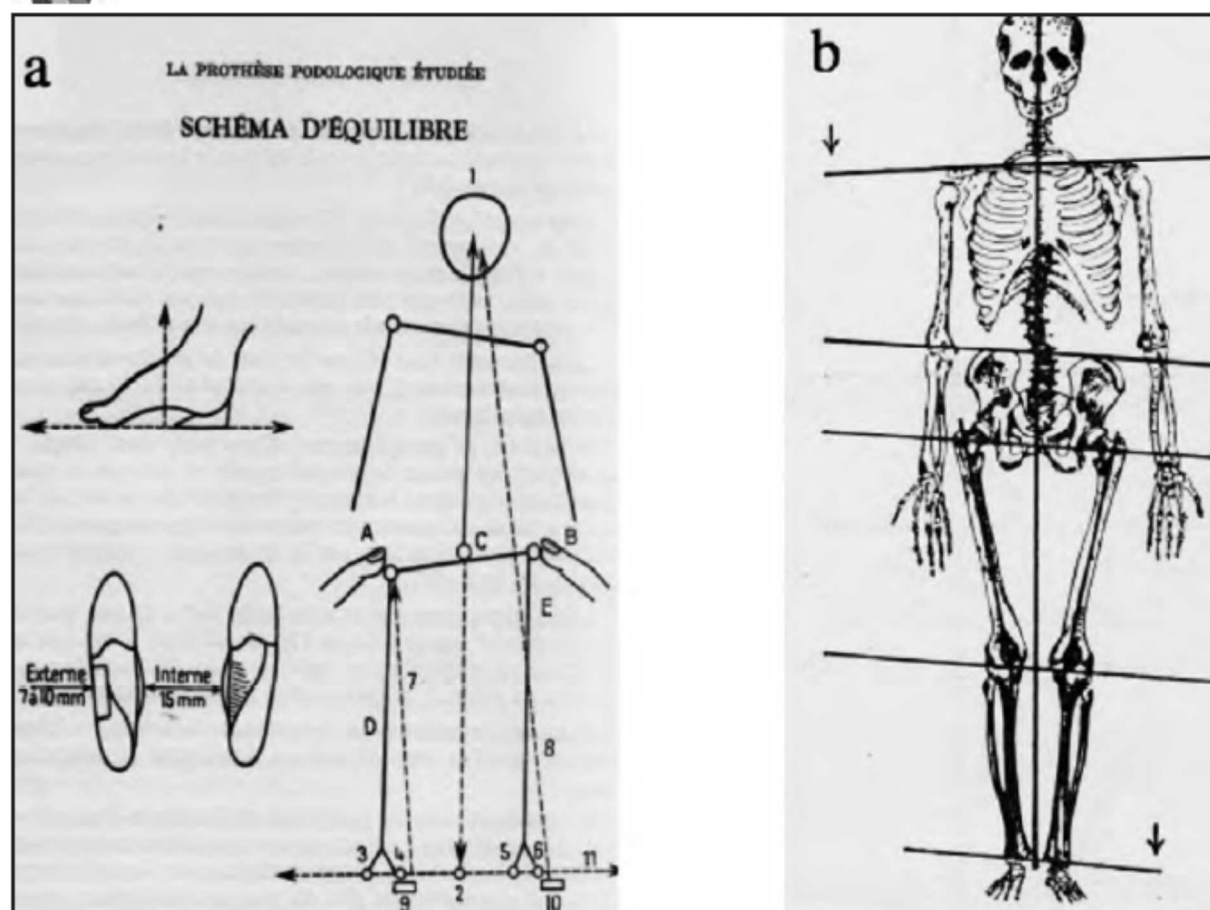


Figure N° 3 - Les premiers podologues prennent en compte l'ensemble de la posture
Illustrations provenant des ouvrages de Bégégère 1955 (a) et de Ledos 1956 (b)

présentent pas de rachialgies. Aujourd'hui, il paraît important pour les cliniciens de s'orienter sur un modèle plus ouvert, tel celui de Waddell & al (16), ou modèle biopsychosocial de la douleur chronique et de l'incapacité, qui prend en compte les aspects : sensitifs, cognitifs, affectifs, comportementaux et environnementaux.

Traitement des lombalgies par orthèses plantaires

Les traitements orthopédiques effectués aux XVIII et XIX^{es} siècles étaient constitués de renfort en acier fixé au niveau de la chaussure. Dans leur continuité les premières semelles dénommées orthopédiques de la fin du XIX^e siècles étaient surtout conçues en série, et réalisées en acier et en liège. L'objectif de ces semelles était tout particulièrement de soulager les pieds plats

douloureux. Peu après, des podologues français firent la relation entre les dysmorphoses podales et les douleurs sus-jacentes notamment les lombalgies. Ce n'est qu'à la fin du XX^e grâce à l'essor des neurosciences qu'apparut un autre paradigme neurosensoriel, basé sur la stimulation des mécanorécepteurs podaux et leurs actions dans le contrôle postural.

Dysmorphoses podales et posture

Au début du XX^e siècle, les premiers podologues traitent les lombalgies

Les deux premiers ouvrages sur les orthèses plantaires décrivent l'expérience acquise par deux grands cliniciens qui ont publié leurs expériences, à la fin de leur vie professionnelle. Ils décrivent les premières semelles orthopédiques sur mesure destinées à traiter les lombalgies. Bregégère en 1955 (17) montra la

répercussion des asymétries podales sur les ceintures pelviennes et scapulaires et comment la correction de la base podale permet d'équilibrer le bassin. Il avait également déjà constaté que « *la semelle trop haute est un danger* ». Un an après, Ledos dans son livre (18) objectiva au moyen de radiographies du bassin que des asymétries podales peuvent entraîner de pseudos inégalités des membres inférieurs et ceci jusqu'à deux centimètres. Il précisa également que « *toutes algies : lombaires, cervicales, sciatiques, devraient donner lieu à l'examen systématique du pied* ».

Ces premières observations cliniques sont aujourd'hui soutenues par les résultats de recherches objectivant l'effet des orthèses plantaires par des questionnaires de qualité de vie et d'évaluation de la douleur, malheureusement avec une méthodologie perfectible. Mais d'autres recherches faisant appel à des mesures stabilométriques, cinématiques et électrophysiologiques démontrent la relation entre la position du pied et des répercussions posturales sus-jacentes.

Des recherches du début du XXI^e confirment les intuitions des pionniers

Nous commencerons par les relations entre dysmorphoses podales et stabilité posturale.

Répercussion des dysmorphoses podales sur les lombalgies et la stabilité posturale

Menz & al (19), ont montré qu'une pronation peut contribuer à générer des lombalgies chez les femmes, puis Kendall & al (20) lors d'une méta-analyse montrèrent l'association entre hyperpronation et lombalgie mécanique. De plus, les dysmorphoses podales sont susceptibles de perturber la stabilité posturale bipodale (21, 22) et unipodale (23) ainsi que la stabilité locomotrice (24). Mais l'aspect morphologique n'est pas le seul à prendre en compte, car comme l'écrivait Lewen en 1941(25) : « *A flatfoot may give a good performance whereas a high-arched foot may be incompetent* ³ ».

Les orthèses plantaires contribuent à la diminution de la douleur lombaire et à l'amélioration de la fonction

Dès le début du XXI^e siècle de nombreux chercheurs ont objectivé grâce à des questionnaires de qualité de vie ou à une échelle visuelle analogique l'effet positif, significatif, des orthèses plantaires chez les lombalgiques. Shabat et al (26) ont montré un effet de vraies semelles comparées à des semelles placebo. Ferrari lui a confirmé l'amélioration chez les lombalgiques (27), les fibromyalgiques (28) et enfin sur des lombalgies, consécutives à des accidents de voiture (29). Avec les OP les patients utilisaient moins d'analgésiques. Landsman et al ont montré une efficacité, même pour des semelles fabriquées en série (orthèses du commerce) (30). Pour Cambron & al les orthèses plantaires diminuent la douleur (31) tout comme des reliefs directement inclus dans la chaussure qui améliorent de plus la fonction (32). Ils précisent que l'association de traitements manuels potentialise l'amélioration de la fonction. Quant à Castro-Méndez & al (33) ils utilisèrent les OP, lors de pronation et obtinrent une diminution de la douleur et une amélioration de la fonction. Mais une méta-analyse prenant en compte uniquement les essais contrôlés randomisés (34) ne trouve pas d'effet significatif en faveur de l'efficacité des orthèses plantaires dans la prévention et le traitement de la lombalgie. Car le petit nombre, la qualité méthodologique modérée et la forte hétérogénéité des essais disponibles réduisent la solidité des résultats obtenus. Néanmoins très récemment Papuga & Cambron (35) conclurent une autre méta-analyse de la sorte : « *il y a des recherches approfondies sur les mécanismes biomécaniques sous-jacents et des études pilotes prometteuses avec essais contrôlés randomisés qui commencent à émerger dans la littérature* »

Générer mécaniquement une pronation podale se répercute sur les étages sus-jacents.

Différents chercheurs ont mesuré les répercussions d'une pronation d'un ou des deux pieds sur les membres inférieurs, le bassin et le rachis grâce à des systèmes optocinétiques (36, 37, 38, 39). Une pronation podale unie ou bilatérale modifie les étages sus-jacents. L'éversion créée par des cales entraîne

3 Un pied plat peut offrir de bonnes performances, alors qu'un pied avec une voûte bien formée peut être inefficace.

une augmentation significative de la lordose lombaire et de la cyphose thoracique (40).

Les orthèses plantaires modifient l'activité électromyographique (EMG) des membres inférieurs et du rachis

Les OP modifient significativement l'activité électromyographique dans différentes situations : lors de la marche, pour les erector spinae et les gluteus medius comme l'ont montré Bird & al (41) et les muscles des jambes (42). Lack & al (43) quant à eux montrèrent des variations EMG des gluteus medius, lors de la montée d'une marche. Dingenen & al (44) étudièrent le passage d'une posture bipodale à unipodale, chez des sujets ayant une instabilité de cheville et constatèrent des modifications EMG des muscles de jambe et de cuisse.

Mais les pieds plats valgus ou en pronation, même si c'est la plus fréquente des dysmorphoses podales, représentent en fonction des études seulement 1 à 28 % de la population en fonction de l'âge, du sexe et des ethnies (45, 46, 47, 48, 49, 50). Les orthèses plantaires seraient-elles uniquement efficaces s'il existe des dysmorphoses podales ? L'expérience clinique montre que de nombreuses LCNS non associées à des dysmorphoses podales sont améliorées par des orthèses plantaires à visée neurosensorielle ou semelles de posture. Aujourd'hui de nombreux podologues, notamment français, considèrent la sole plantaire comme une entrée dans le système postural. Ils prennent en compte les dysmorphoses podales, mais ne s'y limitent pas et intègrent également le paradigme neurosensoriel.

Paradigme neurosensoriel et régulation posturale : les semelles de posture

Le concept neurosensoriel des orthèses podales se développe depuis la fin du XX^e siècle, il envisage le pied et notamment ses mécanorécepteurs cutanés plantaires comme des informateurs du système nerveux central (SNC). La stimulation de ces récepteurs permet de modifier la stabilité, la posture et le tonus musculaire ce qui contribuerait à moduler les douleurs rachidiennes.

Nous exposerons succinctement les grands principes du paradigme neurosensoriel du traitement par orthèses plantaires qui est développé dans un autre chapitre de cet ouvrage (Ch Viseu JP) - voir pages 140 et suivantes.

Pour comprendre le paradigme neurosensoriel appliqué aux orthèses plantaires, il convient tout d'abord de s'intéresser aux mécanorécepteurs de la sole plantaire, et à leurs seuils de perception. Un autre point fondamental est d'évoluer d'une pensée analytique à une pensée systémique (globale). La théorie des systèmes de régulation (cybernétique) nous enseigne qu'une transformation à un endroit d'un système se répercute sur l'ensemble du système.

Les seuils de perception des mécanorécepteurs

Les récepteurs sensoriels et sensitifs possèdent un seuil inférieur, en dessous duquel les stimulations ne sont pas encore codées et un seuil supérieur, au-delà duquel elles ne sont plus codées.

Les seuils inférieurs de perception des mécanorécepteurs plantaires

Kennedy en 2002 (51) a montré que leurs seuils inférieurs de perception sont très faibles, seulement de quelques dizaines de milligrammes ($\pm 0,03$ g). La moindre stimulation entraîne une décharge neuronale qui atteint les cornes postérieures de la moelle, dans lesquelles 70 % des fibres proviennent des afférences cutanées, 28 % seulement des afférences proprioceptives et le reste provient de la viscéroception (52). Puis l'information emprunte les voies de la sensibilité extra-lemniscate (faisceau paléo-spinothalamique). Après avoir parcouru la moelle, le tronc cérébral et le thalamus, les afférences cutanées se projettent au niveau cortical particulièrement au niveau de l'insula qui fait partie du système limbique (53) et des aires corticales somato-sensorielles (54). La représentation sensorielle du pied y est très importante, équivalente à l'ensemble du membre inférieur et du tronc. Alors que la représentation motrice du pied est moindre, elle est uniquement proportionnelle au reste du corps. Ceci démontre l'importance du rôle d'informateur du capteur podal et permet de comprendre que des stimulations

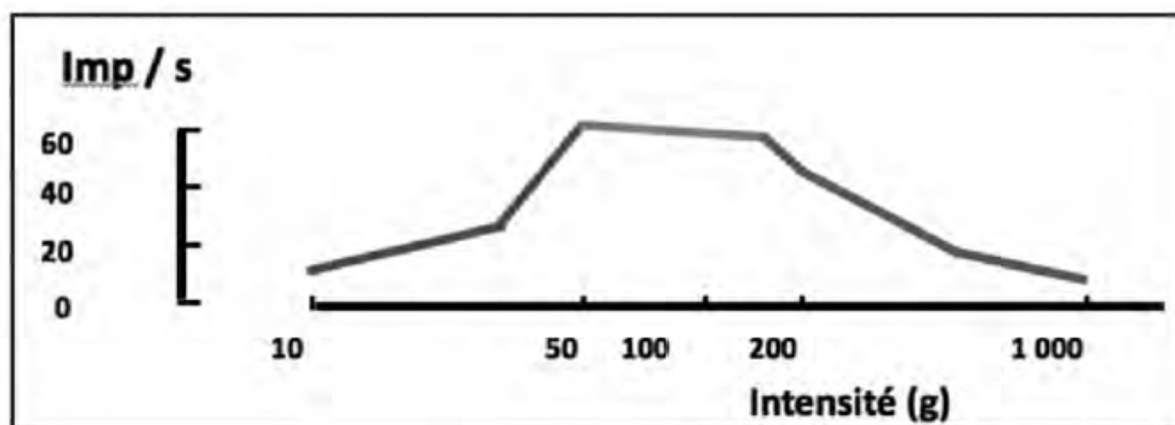


Figure N° 4 - Réponse des mécanorécepteurs en fonction de l'intensité du stimuli.
D'après Mei 1975

mécaniques très fines, voire non perçues modifient le contrôle postural. En 2000, une podologue Belge Anne Marie Leporck (55) a objectivé stabilométriquement que des stimulations plantaires très fines ($\pm 1/10^{\circ}$ de millimètre) entraînaient un effet significatif sur la surface d'oscillation, identique à celui obtenu avec un relief 69 fois plus important (7,6 mm). Plus tard des chercheurs (56) montrèrent que des stimulations plantaires non perçues, par les sujets, modifiaient néanmoins leur posture.

Les seuils supérieurs de perception des mécanorécepteurs plantaires

Un autre point essentiel est lié aux limites supérieures des mécanorécepteurs qui seraient de l'ordre de 100 à 200 grammes (57, 58) Fig 4.

Au-delà de ce seuil, il existe une saturation des récepteurs qui ne codent plus les informations. Cela a pour conséquence que des reliefs plantaires épais peuvent être paradoxalement moins efficaces posturalement que des plus fins. La limite de l'efficacité des stimulations pour la régulation posturale serait d'environ 3 mm (59).

Les stimulations plantaires entraînent des modifications posturales systémiques

Nous avons vu précédemment que c'était déjà une évidence pour les premiers podologues. À la fin du XXe siècle une podologue, Dessenne et une orthoptiste

Schoenstein (60) ont montré qu'une stimulation plantaire : un élément médio-interne® (EMI) de 1 mm modifiait le bilan orthoptique. Aujourd'hui l'effet systémique des stimulations plantaires est scientifiquement objectivé. Tout d'abord quelques mots sur le concept de systémique. La systémique (du grec ancien systema : ensemble organisé) est une méthode scientifique qui privilégie une approche globale et qui prend en compte les interactions entre les diverses composantes du système. Elle vise à dépasser les limites des approches réductionnistes.

Récemment Bent et Lowrey (61) ont montré pour la première fois une relation significative entre afférences cutanées podales et muscles du membre supérieur (deltoïde postérieur et triceps brachial). Notre confrère Arnaud Foisy avec Zoi Kapoula et son équipe (62) ont objectivé instrumentalement l'effet de stimulations plantaires de 3 mm sur l'oculomotricité (amplitude tonique de vergence).

De récentes études d'imagerie par résonance magnétique fonctionnelle ont précisé les localisations corticales des stimulations plantaires. Le gros orteil aurait des représentations corticales plus importantes dans l'aire somato-sensorielle primaire (S1) (54). Il est également intéressant de constater que des stimulations tactiles du pied consistant en de douces caresses effectuées avec l'index, induisent des réponses corticales plus fiables sur les différentes aires de Brodmann (1, 2, 3b) formant S1 par rapport aux vibrations ou aux tapotements (63).

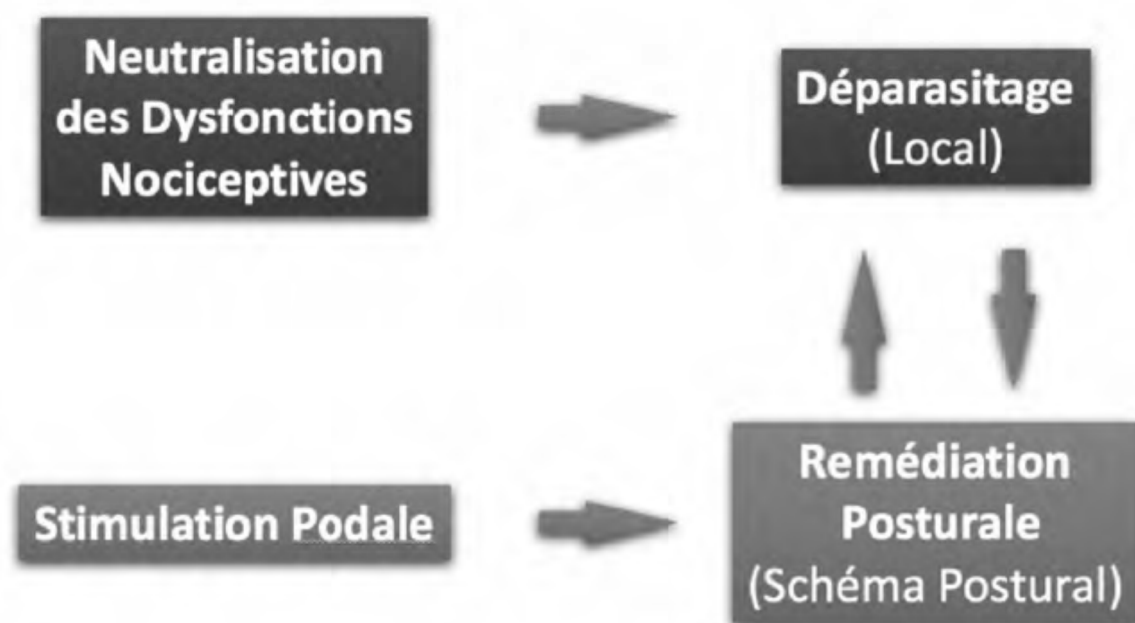


Figure N° 5 - Les deux phases du traitement par semelles de posture :

1 Déparasitage

2 Remédiation posturale

En résumé, il est aujourd'hui démontré que les seuils de perception des mécanorécepteurs plantaires sont très performants, ce qui permet de comprendre que de subtils reliefs placés sous le pied manifestent des modifications du SNC, notamment au niveau cortical. De subtiles stimulations plantaires entraînent des modifications posturales de l'ensemble de la posture. En 1991, Parpay et Villeneuve dénommèrent ces orthèses : semelles de posture (64).

Historique des semelles de Posture, les deux principales étapes

La première étape débuta à Paris en 1980, avec deux équipes différentes, l'une constituée de scientifiques (laboratoire de stabilographie de l'hôpital Saint Anne) dirigés par Jean Baptiste Baron (directeur de recherche au CNRS) et l'autre de cliniciens, dont un médecin René Bourdiol était le chef de file. L'équipe de Baron publia ses travaux scientifiques sur les variations stabilométriques induites par des reliefs d'un millimètre (mm) sous la sole plantaire (65). Bourdiol et son équipe rédigèrent un ouvrage : Pied et Statique (66) qui décrivait l'effet sur le rachis, de reliefs d'un ou deux mm localisés spécifiquement sous

le pied. Les deux grandes notions de la régulation posturale : la position (66) et la stabilité (65) pouvaient être modifiées par de fines stimulations plantaires. La seconde étape est liée, quelques années plus tard, à la rencontre entre le docteur Pierre Marie Gagey, président de l'Association Française de Posturologie et un jeune podologue Philippe Villeneuve. Gagey élève de Baron apportait le côté scientifique et la clinique posturologique. Villeneuve également élève de Baron, mais aussi de Bourdiol apportait le côté traitement podologique par orthèses plantaires. La réunion de leurs connaissances et idées permit d'établir les grands principes des semelles de posture : de subtils reliefs plantaires en fonction de leurs localisations génèrent des réactions posturales prédictibles et orientées (67). De récentes recherches que nous citerons peu après (paragraphe Stimulation plantaire et remédiation posturale) tendent à le confirmer.

En 1988, la première conférence sur la relation entre les pieds, compris comme capteurs, et la régulation posturale fut faite par Villeneuve aux Entretiens de Podologie, puis publiée l'année d'après dans la Revue de Podologie (68). La première description des semelles de posture ainsi que des éléments et barres

les constituant et les bases de l'examen clinique furent décrits en 1991, lors des Entretiens de Podologie (64). Ces premières notions complétèrent la prise en compte du traitement des dysmorphoses podales, comme cela se faisait classiquement.

Les semelles de posture aujourd'hui

Avant d'envisager le moindre traitement par semelles de posture et de stimuler le capteur podal, il faut vérifier que les informations provenant des récepteurs cutanés plantaires ne soient pas brouillées, parasitées par des dysfonctions cutanées, proprioceptives ou neurales. Le cas échéant, il conviendra de les mettre en évidence et de les traiter ou de les neutraliser.

Dès 1990, nous avons identifié que l'efficacité des stimulations plantaire est parfois entravée par « des souffrances du pied qui peuvent être conscientes ou inconscientes », ou « des troubles proprioceptifs des membres inférieurs » (67). Nous nous intéresserons tout d'abord aux zones nociceptives cutanées plantaires.

Les épines irritatives d'appui plantaire conscientes et inconscientes

En 1996, Lepork et Villeneuve (69) ont dénommé ces « souffrances » conscientes ou inconscientes, perturbant le tonus et la régulation posturale : épines irritatives d'appui plantaire (EIAP). Ils décrivent leurs objectivations cliniques et stabilométriques, ainsi que leurs traitements. Il convient de neutraliser ces zones nociceptives (EIAP), avant d'envisager la remédiation

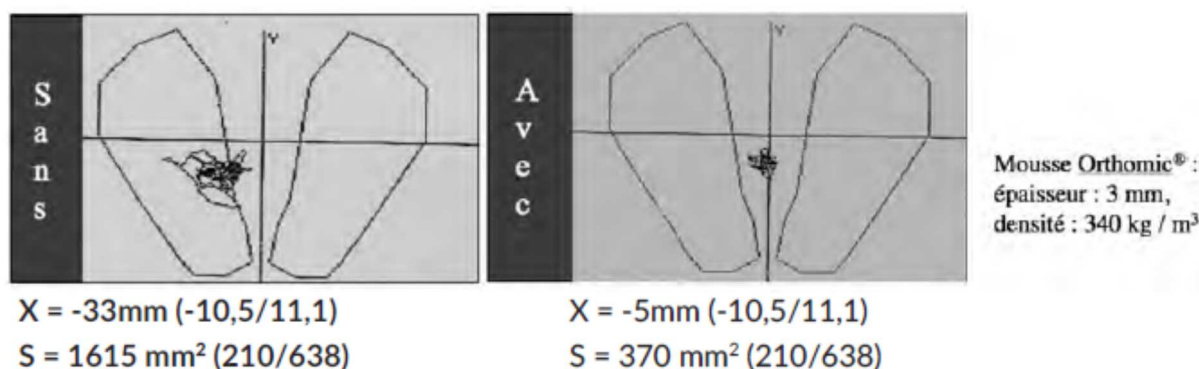
posturale (voir ci-dessous, chapitre Stimulation plantaire et remédiation posturale). Des éléments antérieurs déchargeront les zones perturbatrices, lorsqu'elles sont antérieures, un capitonnage neutralisera les postérieures. L'objectivation stabilométrique - avec et sans interposition de mousse sous les pieds de population asymptomatique - des EIAP a montré qu'elles pourraient être retrouvées chez 20% (70) des sujets asymptomatiques, voire chez 37,5 % (71) Fig 6.

Elles seraient présentes dans 35% d'une population de rachialgiques (70) et influeraient sur le contrôle postural. Foisy et Kapoula (72) confirmèrent que les EIAP entraînent une inefficacité de l'extéroception plantaire et ainsi empêchent la bonne intégration des informations plantaires. Par exemple, elles neutralisent l'effet des stimulations plantaires sur le contrôle oculomoteur. Il est probable que des dysfonctions proprioceptives entraînent également des perturbations de l'intégration des stimulations plantaires.

Blocages articulaires, dysfonctions proprioceptives et neurales

Si pour le clinicien, la limitation cinétique signe l'hypertonie musculaire et le blocage articulaire, pour le physiologiste nous sommes en rapport avec un message proprioceptif erroné.

Il convient que le clinicien dépasse la seule hypomobilité locale, pour comprendre son retentissement sur le SNC. Comme le dit Jean Pierre Roll (73) : « l'immobilité



Résultats stabilométriques hors de normes, intervalle de confiance à 95%

Figure N° 6 - Exemple d'enregistrements stabilométriques sans et avec mousse, yeux fermés.

La mousse entraîne des variations de surface les yeux ouverts et fermés et sur l'axe médio-latéral (significatives individuellement). Villeneuve 1996

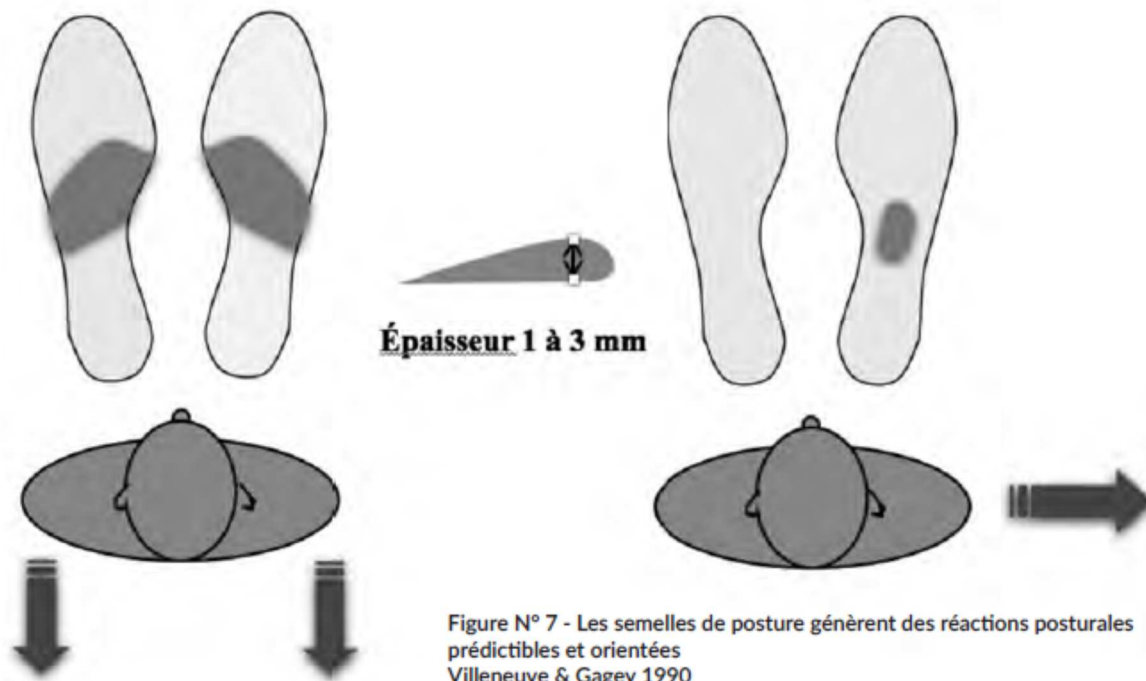


Figure N° 7 - Les semelles de posture génèrent des réactions posturales prédictibles et orientées
Villeneuve & Gagey 1990

d'un membre prive le SNC de toutes les informations sensorielles habituellement associées à sa mobilisation et "efface", dans le cerveau, l'image même du mouvement ».

Si l'immobilité d'un segment articulaire perturbe l'intégration centrale de l'information, les messages anormaux des muscles en hypertonie, qui protègent l'articulation dysfonctionnelle, la perturbent également. Les scientifiques savent perturber avec des vibrations les informations proprioceptives. Il est connu que des vibrations stimulant un groupe musculaire créent un message proprioceptif qui est interprété de manière erronée par le SNC (53). Ce qui bien évidemment empêchera l'intégration des stimulations plantaires.

Pour les troubles proprioceptifs, un traitement manuel adapté restaurera la cinétique articulaire et restituera la physiologie proprioceptive (74). Plus récemment, il a été décrit qu'un étirement d'un nerf, suite à une entorse par exemple génère une perturbation de la vitesse de conduction motrice du nerf fibulaire profond qui perdure dans le temps (75). Ces dysfonctions neurales pourront être traitées par saturation neurale (76).

Lorsque les EIAP conscientes et inconscientes et les dysfonctions proprioceptives et neurales seront traitées, il sera alors possible de passer à la seconde partie du traitement la remédiation posturale.

Stimulation plantaire et remédiation posturale

Le terme remédiation est habituellement utilisé en pédagogie. Raynal et Rieunier (77) apportent la définition suivante : « a la même racine que remède, et, dans le domaine des sciences de l'action, est synonyme d'action corrective ou mieux, de régulation ». Franck et Berthoz (78) utilisent remédiation cognitive, dans le cadre de la psychothérapie. Plus récemment Buckinx et Villeneuve (79) l'associent aux semelles de posture qui « permettent d'effectuer une remédiation posturale, un changement du schéma corporel » pérenne dans le temps.

Nous avons précédemment évoqué que les semelles de posture génèrent des réactions posturales prédictibles et orientées (67). Janin a confirmé que des stimulations plantaires antérieures (Barre antérieure® - BA-), reculent le centre des pressions (80) et que des stimulations plantaires médiales (EMI®, 3 mm) latéralisent le centre des pressions (81). Foisy & al (82) ont objectivé des stimulations plantaires médianes (élément médio-externe EME® & EMI®, 3 mm) modifient la stabilité posturale et la position antéro/postérieure. Très récemment, Viseux & al (83) ont montré l'effet de stimulation posturale (BA® et Barre

Postérieure®) légèrement plus épaisses chez les personnes âgées dans le plan sagittal et frontal - Fig 7.

Précédemment, en 1984, Burgess et al (84) avaient montré une modification des pressions plantaires avec un petit relief utilisé en posturopodie, en arrière des têtes métatarsiennes. Cet effet était annihilé par le port de chaussure de sport à semelle molle.

En 2013, une revue de la littérature menée par Christovão et al (85) conclua que les semelles posturales amélioraient l'équilibre et le contrôle postural. Très récemment Ferreira et al (86) ont montré des améliorations stabilométriques immédiates et après 3 mois de port de semelles posturales, chez des patients hémiparétiques, suite à un accident vasculaire cérébral.

Chez le lombalgique chronique, les semelles de posture diminuent la douleur et améliorent la fonction et la mobilité rachidienne

Une recherche antérieure (87) a permis d'évaluer l'apport des semelles de posture dans le cadre du traitement de LCNS. Elle a été réalisée par deux podologues (Ehring C, Kurzawa S) dans le cadre de leur mémoire de fin de formation en Posturopodie. Cinquante-sept patients souffrant de LCNS (douleurs lombaires quotidiennes depuis plus de trois mois

consécutifs) suivis dans deux cabinets de pratique libérale. Deux groupes furent constitués par tirage au sort dans chacun de ces cabinets, l'un dont le traitement est effectué par orthèse plantaire, l'autre recevant uniquement des soins de pédicurie (groupe contrôle).

Trois variables indépendantes ont été évaluées : l'intensité de la douleur lombaire avec l'échelle visuelle analogique (EVA), le retentissement fonctionnel physique par le questionnaire de Roland et Morris, validé en français (EIFEL) (88) et la mobilité rachidienne avec l'épreuve posturo-dynamique (89). Les différences entre groupes ont été évaluées par le test de Student, la corrélation entre critères par le test de Pearson.

Les résultats montrèrent qu'il n'existait pas de différence significative à l'inclusion entre le groupe traité et le groupe témoin et entre les trois critères évalués du groupe témoin avant et après huit semaines. Après huit semaines de port de semelles de posture la douleur, la fonction et la mobilité portant les furent significativement améliorés.

Ces résultats confirment les observations de nombreux cliniciens : les patients lombalgiques chroniques bénéficient de l'apport des semelles de posture et, plus généralement, des traitements posturaux.

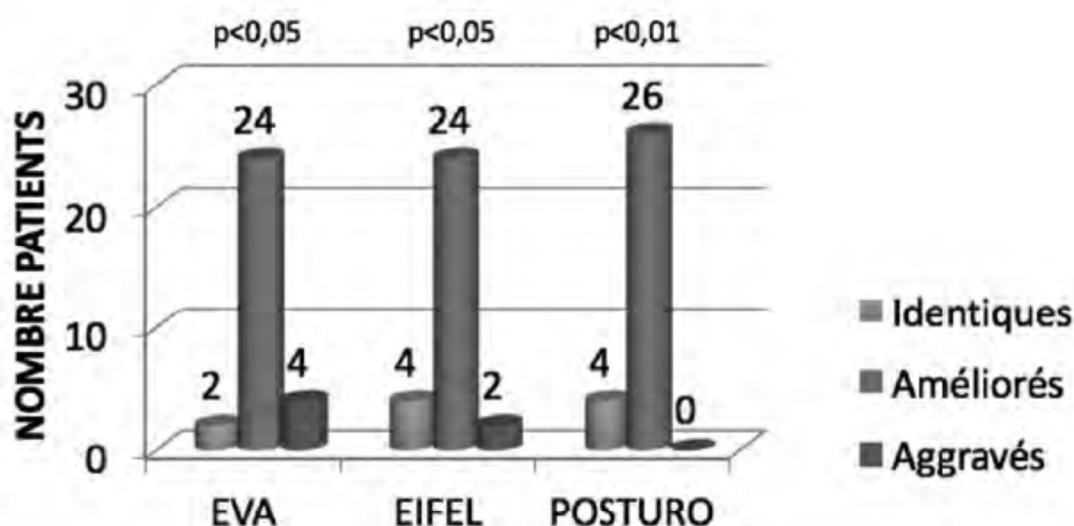


Figure N° 8 - Le port de semelles de posture diminue significativement la douleur et améliore significativement la qualité de vie et la mobilité rachidienne des lombalgiques chroniques non spécifiques.

Villeneuve Ph, Ehring C, Kurzawa S, Weber B 2011

L'encadrement législatif (liste des produits et prestations remboursables)⁴ précise depuis des dizaines d'années que les orthèses plantaires sont définies comme devant, entre autres : "corriger tout déséquilibre statique et dynamique du sujet". Et la Haute Autorité de Santé 2005 décrit les semelles de posture dans un de ses argumentaires : « les orthèses posturo-podales sont décrites à partir de 1988 (Villeneuve). Elles visent à influencer sur la posture du sujet en modifiant les informations de l'entrée podale du système postural. Ces orthèses qui agissent à partir du pied sont destinées à soulager les troubles chroniques de l'appareil locomoteur (Villeneuve 1996) ».

Conclusion

Au début du siècle précédent, les premiers podologues traitaient déjà la posture et les lombalgies de leurs patients par semelles orthopédiques. Mais, leurs visons étaient purement mécaniques, ce qui leur importait, était de corriger les dysmorphoses podales, en espérant une amélioration de la symptomatologie sus-jacente. À la fin du siècle apparut une vision plus neurophysiologique, informationnelle, le pied devenait une entrée sensorielle du système postural. Aujourd'hui, si dans la littérature internationale le niveau de preuve ne permet pas encore d'affirmer l'efficacité des OP dans le cadre des lombalgies chroniques, par contre l'effet des OP sur la posture et la stabilité est établi, notamment pour les semelles posturales. Pour potentialiser l'effet bénéfique des stimulations plantaires, il convient au préalable à leurs prescriptions d'évaluer et de traiter non seulement les dysmorphoses podales, mais également les dysfonctions nociceptives cutanées (EIAP) et proprioceptives ou neurales. La qualité de l'examen clinique étant le point indispensable à la qualité du traitement.

L'histoire des OP montre que leur conception, tout d'abord liée à un paradigme biomécanique, s'oriente depuis plus de trente ans vers un paradigme neurosensoriel qui le complète. Il est intéressant de remarquer le parallélisme entre les évolutions des neurosciences et celle de la prise en charge des patients souffrant de rachialgies chroniques,

notamment lombaires, par stimulations plantaires (semelles de posture).

Ces évolutions peuvent se résumer en quatre dates :

- 1980, la plante du pied devient une entrée du système postural Okubo (65). Bourdiol (66).
- 1990, les stimulations plantaires induisent des réactions posturales prédictibles et orientées Villeneuve & Gagey (67).
- 2000, des stimulations plantaires infraliminaires au seuil de perception conscient entraînent des réactions posturales Leporck (55).
- 2015 - Effet systémique des stimulations plantaires (EMI, EME). Modification de l'ensemble de la musculature posturale, jusqu'aux muscles oculomoteurs Foisy & al (62).

Bibliographie

- 1 Buchbinder R, Blyth FM, March LM, Brooks P, Woolf AD, Hoy DG. Placing the global burden of low back pain in context. *Best Practice & Research Clinical Rheumatology*. 2013 Oct; 27(5): 575-89. PubMed PMID: 24315140
- 2 WHO scientific group. *The burden of musculoskeletal diseases at the start of the new millennium. Report of a WHO scientific group*. Geneva: World Health Organization, 2003. Technical Report Series, No. 919. Forthcoming.
- 3 Deyo R. *Le mal de dos*. Pour la Science 1998;252
- 4 Corniola MV, Stienen MN, Joswig H, Smoll NR, Schaller K, Hildebrandt G, Gautschi OP. Correlation of pain, functional impairment, and health-related quality of life with radiological grading scales of lumbar degenerative disc disease. *Acta Neurochir (Wien)*. 2016 Mar;158(3):499-505.
- 5 Jensen MC, Brant-Zawadzki MN, Obuchowski N, Modic MT, Malkasian D, Ross JS. Magnetic resonance imaging of the lumbar spine in people without back pain. *N Engl J Med*. 1994 Jul 14;331(2):69-73
- 6 Andersson GB. Epidemiological features of chronic low-back pain. *Lancet* 1999;
- 7 Koes BW, van Tulder MW, Thomas S. Diagnosis and treatment of low back pain. *BMJ*, 2006;332:1430-4

⁴ Article L165-1 du code de la sécurité sociale Maj 13 10 2011

- 8 Okada M. Electromyographic assessment of the muscular load in forward bending posture. *J. Faculty of science, University of Tokyo* 1970, III (5), 311-336
- 9 Takahashi I, Kikuchi S, Sato K, Iwabuchi M. Effects of the mechanical load on forward bending motion of the trunk: comparison between patients with motion-induced intermittent low back pain and healthy subjects. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2007
- 10 Da Silva RA, Vieira ER, Cabrera M, Altimari LR, Aguiar AF, Nowotny AH, Carvalho AF, Oliveira MR. Back muscle fatigue of younger and older adults with and without chronic low back pain using two protocols: A case-control study. *J Electromyogr Kinesiol*. 2015 Dec; 25 (6): 928-36.
- 11 Smith MD, Russell A, Hodges PW. Is there a relationship between parity, pregnancy, back pain and incontinence? *Int Urogynecol J Pelvic Floor Dysfunct*. 2008 Feb;19(2):205-11.
- 12 Smith MD, Russell A, Hodges PW. The relationship between incontinence, breathing disorders, gastrointestinal symptoms, and back pain in women: a longitudinal cohort study. *Clin J Pain*. 2014 Feb;30(2):162-7.
- 13 Soulaïrac A, Baron JB, Lamit V, Lucas L. - Psychiatric and postsurographic approach in the study of post-concussion syndromes following head or whiplash injuries. Correlation and additional aspects. *Encephale*. 1979;5(2):151-9
- 14 Marshall PWM, Schabrun S, Knox MF. Physical activity and the mediating effect of fear, depression, anxiety, and catastrophizing on pain related disability in people with chronic low back pain. *PLoS One*. 2017 Jul 7;12(7):e0180788.
- 15 Ackerley R, Aimonetti JM, Ribot-Ciscar E. Emotions alter muscle proprioceptive coding of movements in humans. *Sci Rep*. 2017 Aug 16;7(1):8465.
- 16 Waddell G, Newton M, Henderson I, Somerville D, Main CJ. A Fear-Avoidance Beliefs Questionnaire (FABQ) and the role of fear-avoidance beliefs in chronic low back pain and disability. *Pain*. 1993 Feb;52(2):157-68.
- 17 Brégère A. La prothèse podologique étudiée et l'équilibre par la base Maloine Paris 1955 112 pages
- 18 Ledos M. Architecture et géométrie du pied. Édité par l'auteur 1956
- 19 Menz HB, Dufour AB, Riskowski JL, Hillstrom HJ, Hannan MT. Foot posture, foot function and low back pain: the Framingham Foot Study. *Rheumatology (Oxford)*. 2013 Dec;52(12):2275-82.
- 20 Kendall JC, Bird AR2, Azari MF. Foot posture, leg length discrepancy and low back pain--their relationship and clinical management using foot orthoses--an overview. *Foot (Edinb)*. 2014 Jun;24(2):75-80.
- 21 Cote KP, Brunet ME, Gansneder BM, Shultz SJ. Effects of Pronated and Supinated Foot Postures on Static and Dynamic Postural Stability. *J Athl Train*. 2005 Mar;40(1):41-46
- 22 Tsai LC, Yu B, Mercer VS, Gross MT. Comparison of different structural foot types for measures of standing postural control. *J Orthop Sports Phys Ther*. 2006 Dec;36(12):942-53.
- 23 Cobb SC1, Bazett-Jones DM, Joshi MN, Earl-Boehm JE, James CR. The relationship among foot posture, core and lower extremity muscle function, and postural stability. *J Athl Train*. 2014 Mar-Apr;49(2):173-80.
- 24 Wong L, Hunt A, Burns J, Crosbie J. Effect of foot morphology on center-of-pressure excursion during barefoot walking. *J Am Podiatr Med Assoc*. 2008 Mar-Apr;98(2):112-7.
- 25 Lewen P. The Foot and Ankle. Philadelphia, Pa: Lea & Febiger; 1941
- 26 Shabat S, Gefen T, Nyska M, Folman Y, Gepstein R. - The effect of insoles on the incidence and severity of low back pain among workers whose job involves long-distance walking. *Eur Spine J*. Eur Aug 2005;14(6):546-50.
- 27 Ferrari R. Responsiveness of the short-form 36 and oswestry disability questionnaire in chronic nonspecific low back and lower limb pain treated with customized foot orthotics. *J Manipulative Physiol Ther*. 2007 Jul-Aug;30(6):456-8.
- 28 Ferrari R. A cohort-controlled trial of the addition of customized foot orthotics to standard care in fibromyalgia. *Clin Rheumatol*. 2012 Jul;31(7):1041-5.

- 29 Ferrari R. Effects of customized foot orthotics on reported disability and analgesic use in patients with chronic low back pain associated with motor vehicle collisions. *J Chiropr Med*. 2013 Mar;12(1):15-9.
- 30 Landsman A, Defronzo D, Anderson J, Roukis T. Scientific assessment of over-the-counter foot orthoses to determine their effects on pain, balance, and foot deformities. *J Am Podiatr Med Assoc*. 2009 May-Jun;99(3):206-15.
- 31 Cambron JA, Duarte M, Dexheimer J, Solecki T. Shoe orthotics for the treatment of chronic low back pain: a randomized controlled pilot study. *J Manipulative Physiol Ther*. 2011 May;34(4):254-60.
- 32 Cambron JA, Dexheimer JM, Duarte M, Freels S. Shoe Orthotics for the Treatment of Chronic Low Back Pain: A Randomized Controlled Trial. *Arch Phys Med Rehabil*. 2017 Apr 30.
- 33 Castro-Méndez A, Munuera PV, Alborno-Cabello M. The short-term effect of custom-made foot orthoses in subjects with excessive foot pronation and lower back pain: a randomized, double-blinded, clinical trial. *Prosthet Orthot Int*. 2013 Oct;37(5):384-90.
- 34 Chuter V, Spink M, Searle A, Ho A. The effectiveness of shoe insoles for the prevention and treatment of low back pain: a systematic review and meta-analysis of randomised controlled trials. *BMC Musculoskelet Disord*. 2014 Apr 29;15:140.
- 35 Papuga MO, Cambron J. Foot orthotics for low back pain: The state of our understanding and recommendations for future research. *Foot (Edinb)*. 2016 Mar;26:53-7.
- 36 Khamis S, Yizhar Z. - Effect of feet hyperpronation on pelvic alignment in a standing position. *Gait Posture*. 2007 Jan;25(1)
- 37 Pinto RZ, Souza TR, Trede RG, Kirkwood RN, Figueiredo EM, Fonseca ST. Bilateral and unilateral increases in calcaneal eversion affect pelvic alignment in standing position. *Manual Ther*. 13, 6, 513-519, 2008.
- 38 Parker N., Greenhalgh A., Chockalingam N., Dangerfield P.H.—Positional relationship between leg rotation and lumbar spine during quiet standing. *Stud Health Technol Inform*. 140, 231-239, 2008.
- 39 Tateuchi H, Wada O, Ichihashi N. Effects of calcaneal eversion on three-dimensional kinematics of the hip, pelvis and thorax in unilateral weight bearing. *Hum Mov Sci*. 2011 Jun;30(3):566-73.
- 40 Farokhmanesh K, Shirzadian T1, Mahboubi M, Shahri MN. Effect of foot hyperpronation on lumbar lordosis and thoracic kyphosis in standing position using 3-dimensional ultrasound-based motion analysis system. *Glob J Health Sci*. 2014 Jun 17;6(5):254-60.
- 41 Bird AR, Bendrups AP, Payne CB. The effect of foot wedging on electromyographic activity in the erector spinae and gluteus medius muscles during walking. *Gait Posture*. 2003 Oct;18(2):81-91.
- 42 Murley GS, Bird AR. The effect of three levels of foot orthotic wedging on the surface electromyographic activity of selected lower limb muscles during gait.. *Clin Biomech (Bristol, Avon)*. 2006 Dec;21(10):1074-80.
- 43 Lack S, Barton C, Woledge R, Laupheimer M, Morrissey D. The immediate effects of foot orthoses on hip and knee kinematics and muscle activity during a functional step-up task in individuals with patellofemoral pain. *Clin Biomech (Bristol, Avon)*. 2014 Nov;29(9):1056-62.
- 44 Dingenen B, Peeraer L, Deschamps K, Fieuws S, Janssens L, Staes . Muscle-Activation Onset Times With Shoes and Foot Orthoses in Participants With Chronic Ankle Instability. *J Athl Train*. 2015 Jul;50(7):688-96
- 45 Bhoir MT. Prevalence of flat foot among 18-25 years old physiotherapy students:cross sectional study. *Indian Journal of Basic and Applied Medical Research*. 2014;3(4):272-78.
- 46 Ukoha U, Egwer OA, Okafor IJ, Ogugua PC, Igwenagu NV. Pes Planus:Incidence in adult population in Anambra state, Southeast Nigeria. *Indian Journal of Basic and Applied Medical Research*. 2012;3(3):166-68.
- 47 Ganapathy A, Sadeesh T, Rao S. Morphometric analysis of foot in young adult individuals. *World Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Sciences*. 2015;4(8):980-93.
- 48 Pfeiffer M, Kotz R, Ledl T, Hauser G, Sluga M. Prevalence of flat foot in preschool-aged children. *Pediatrics*. 2006;118(2):634-9.
- 49 Abdel-Fattah MM, Hassanin MM, Felembane FA, Nassaane MT. Flat foot among Saudi Arabian army recruits: prevalence and risk factors. *Eastern Mediterranean Health Journal*. 2006;12(1-2):211-7.

- 50 Chen JP, Chung MJ, Wang MJ. Flatfoot prevalence and foot dimensions of 5- to 13-year-old children in Taiwan. *Foot Ankle Intern* 2009;30(4):326-32.
- 51 Kennedy PM, Inglis JT. Distribution and behaviour of glabrous cutaneous receptors in the human foot sole. *J Physiol*. 2002 Feb 1;538(Pt 3):995-1002.
- 52 Delmas A. Voies et centres nerveux : introduction à la neurologie Masson. 1969
- 53 Kavounoudias A, Roll JP, Anton JL, Nazarian B, Roth M, Roll R. Proprio-tactile integration for kinaesthetic perception: an fMRI study. *Neuropsychologia* 2008 46: 567-575.
- 54 Akselrod M, Martuzzi R, Serino A, van der Zwaag W, Gassert R5, Blanke O. Anatomical and functional properties of the foot and leg representation in areas 3b, 1 and 2 of primary somatosensory cortex in humans: A 7T fMRI study. *Neuroimage*. 2017 Jun 17;159:473-487
- 55 Leporck AM. Modification unilatérale des pressions plantaires. Enregistrement stabilométrique et podométrie. « Pied équilibre et mouvement » (Ed Villeneuve Ph et Weber B), Masson Paris 2000 72-77
- 56 Priplata AA, Niemi JB, Harry JD, Lipsitz LA, Collins JJ. Vibrating insoles and balance control in elderly people. *Lancet*. 2003 Oct 4;362(9390):1123-4.
- 57 Mei N, Hartmann F, Roubien R. Functional characteristics of dental ligament mechanoreceptors in the cat. *J Biol Buccale*. 1975 Mar;3(1):29-39.
- 58 Villeneuve Ph, Jongit N, Villeneuve-Parpay S. Détermination du seuil maximal et minimal des baropresseurs podaux entraînant une variation du tonus postural. 9ème Réunion SERMLO Laboratoire de physiologie du mouvement CNRS-URA 631 Université Paris-sud XI. 1992
- 59 Janin M. Modification de critères posturaux par des éléments rétrocapitaux, dits barres antérieures, d'épaisseurs variées. In *Pied équilibre et traitement posturaux* coordination B Weber et Ph Villeneuve, Masson 2003
- 60 Desenne, C. Schoenstein. Etude préliminaire sur la modification du bilan orthoptique par stimulation plantaire. In *Pied équilibre et posture* Ph Villeneuve Frison-Roche 1996 175-188
- 61 Bent LR, Lowrey CR. Single low threshold afferents innervating the skin of the human foot modulate on going muscle activity in the upper limbs. *J Neurophysiol*. 2012 Dec 28.
- 62 Foisy A, Gaertner C, Matheron E, Kapoula Z. Controlling Posture and Vergence Eye Movements in Quiet Stance: Effects of Thin Plantar Inserts. *PLoS One*. 2015 Dec 4;10(12):e0143693.
- 63 van der Zwaag W, Gruetter R, Martuzzi R. Stroking or Buzzing? A Comparison of somatosensory touch stimuli using 7 T fMRI. *PLoS One* 10, 2015
- 64 Parpay S, Villeneuve Ph. Examen clinique postural. *Rev podologie* N° 59 1991. 37-44
- 65 Okubo J, Watanabe I, Baron JB. Study on influences of the plantar mechanoreceptors on body sway. *Agressologie*, 1980; 21, D: 61-70
- 66 Bourdiol RJ, Capelus F, Nguyen Tan H, Hatoum P. *Pied et statique*. Maisonneuve, Paris 1980
- 67 Villeneuve Ph, Helbert S, Gagey PM. Cinquième leçon de Posturologie . In *les huit leçons de Posturologie* Gagey PM, Bizzo G, Bonnier L, Gentaz R, Guillaume P, Marucchi C, Villeneuve Ph. Ed Association Française de Posturologie 1990.
- 68 Villeneuve Ph. Régulation du tonus postural par information podales. *Rev. Podologie*, 1989 49, 54-58
- 69 Leporck AM, Villeneuve Ph. Les épines irritatives d'appui plantaire ; objectivation clinique et stabilométrique. «Pied, équilibre et posture». Ed Ph Villeneuve, Frison-Roche, Paris 1996 131-138
- 70 Villeneuve Ph. Utilisation clinique de l'interposition de mousse sous les pieds. *Podologie* 1996 Expansion Scientifique Française, Paris 1996 109-117
- 71 Foisy A, Kapoula Z. Effet des Epines Irritatives d'Appui Plantaires sur le contrôle postural de sujets jeunes et sains. Poster. *Le Podologue*, 2016 Janvier , p28.
- 72 Foisy A, Kapoula Z. Plantar Exteroceptive Inefficiency causes an asynergic use of plantar and visual afferents for postural control: Best means of remediation. *Brain Behav*. 2017
- 73 Roll JP. Les muscles organes de la perception. *Pour la Science* 1998 N° 248

- 74 Villeneuve Ph. Traitement manuel du membre inférieur et du bassin. *Le Podologue* août 1992 12-20
- 75 Kleinrensink GJ, Stoeckart R, Meulstee J, Kaulesar Sukul DM, Vleeming A, Snijders CJ, van Noort A. Lowered motor conduction velocity of the peroneal nerve after inversion trauma. *Med Sci Sports Exerc.* 1994 Jul;26(7):877-83.
- 76 Villeneuve Ph. Apport du traitement manuel neural dans la douleur chronique. Du reboutement à l'essor des neurosciences. *La revue de l'ostéopathie* N°3-2 : 2012 p27-34
- 77 Raynal F, Rieunier A. Pédagogie : dictionnaire des concepts clés : Apprentissage, formation, psychologie cognitive. ESF 1998
- 78 Franck N, Berthoz A. Remédiation cognitive Elsevier-Masson Pratiques en psychothérapie 2012
- 79 Buckinx C, Villeneuve Ph. Apport du traitement manuel neural dans les algies du périmètre. *Mains Libres* 2015; 5.2 199-207
- 80 Janin M, Toussaint L. Variation du centre de pression lors de stimulations par éléments antérieurs d'orthèse. *Nouvelles méthodes de traitement du signal posturographique* Michel Lacour Solal 2004 153-166
- 81 Janin M, Dupui P. The effects of unilateral medial arch support stimulation on plantar pressure and center of pressure adjustment in young gymnasts. *Neurosci Lett.* 2009 Sep 25;461(3):245-8
- 82 Foisy A, Gaertner C, Matheron E, Kapoula Z (2015) Controlling Posture and Vergence Eye Movements in Quiet Stance: Effects of Thin Plantar Inserts. *PLoS ONE* 10(12): e0143693
- 83 Viseux F, Villeneuve Ph, Leteneur S, Barbier B. Effect of plantar stimulation on postural control in elderly. 2017 ISPGR World Congress - Fort Lauderdale, Florida, USA,
- 84 Burgess S, Jordan C, Bartlett R. The influence of a small insert, in the footbed of a shoe, upon plantar pressure distribution. *Clin Biomech (Bristol, Avon).* 1997 Apr;12(3):S5-S6
- 85 Christovão TC, Neto HP, Grecco LA, Ferreira LA, Franco de Moura RC, Eliege de Souza M, Franco de Oliveira LV, Oliveira CS. Effect of different insoles on postural balance: a systematic review. *J Phys Ther Sci.* 2013 Oct;25(10):1353-6.
- 86 Ferreira LAB, Galli M, Lazzari RD, Dumont AJL, Cimolin V, Oliveira CS. Stabilometric analysis of the effect of postural insoles on static balance in patients with hemiparesis: A randomized, controlled, clinical trial. *J Bodyw Mov Ther.* 2017 Apr;21(2):290-296.
- 87 Villeneuve Ph, Ehring C, Kurzawa S, Weber B. Plantar orthotics for patients with chronic low back pain (CLBP) decreases pain and improves spine function and mobility. *Scientific testing of orthotic devices* 2011
- 88 Coste J, Parc JM, Berge E, Delecoeuillerie G, Paolaggi JB. Validation française d'une échelle d'incapacité fonctionnelle pour l'évaluation des lombalgies (EIFEL) *Rev. Rhum. [Ed Fr]*, 1993, 60(5), 335-341. *Rev. Rhum. [Engl. Ed.]*, 1993, 60(5), 295-301.
- 89 Villeneuve Ph. L'épreuve posturo-dynamique. In *Entrées du Système Postural Fin. Sous la direction de Gagey P.M., & Weber B. Ed Masson Col Critique de la Posturologie* 1995 tome 1