

Benoît PALLAS

**Etude expérimentale sur l'intérêt
d'un traitement ostéopathique sur
la posture d'un patient atteint d'un
hallux valgus avec étude
stabilométrique**

mémoire pour l'obtention du DO-FERO

REMERCIEMENTS

Je tiens tout d'abord à adresser ma reconnaissance à mes professeurs de l'Institut Dauphine d'Ostéopathie de m'avoir ouvert aux nombreux visages de l'ostéopathie, ainsi que de m'avoir transmis leur passion pour un métier aussi complet humainement.

Je tiens à exprimer ma gratitude à Monsieur Jean-François Hennebicq pour son encadrement en tant que directeur de mon mémoire. Je le remercie également de m'avoir inspiré ce thème et de son enseignement en posturologie clinique au sein de l'I.D.O. Sa pédagogie et ses conseils ont été catalyseur de la rédaction et de l'achèvement de ce manuscrit.

Je remercie particulièrement mes camarades, et mes proches, pour leurs encouragements, nombreuses relectures et aides pour donner du sens à mes phrases et pensées.

J'exprime un grand remerciement à M Jean-Claude Manfé, podologue, ami de longue date, qui par son expérience et ses nombreuses notions de posturologie, m'a permis d'effectuer cette expérience en me laissant utiliser sa plateforme de stabilométrie. Son implication et ses conseils m'ont aidé à mettre noir sur blanc mes résultats et leurs analyses.

SOMMAIRE

I. INTRODUCTION	1
II. RAPPEL ANATOMIQUE DU PIED.....	4
II.A Cheville et arrière-pied	4
II.B Médio-pied et avant-pied	12
II.C Conclusion	18
III. RAPPEL BIOMECHANIQUE DU PIED	19
III.A Les principaux concepts biomécaniques	20
III.B Biomécaniques de la cheville et du pied	23
III.C La marche	31
III.D Conclusion.....	33
IV. PHYSIOPATHOLOGIE DE L'HALLUX VALGUS	35
V. MATERIEL ET METHODE	41
V.A Posturographie	41
V.A.1 Principe des plateformes.....	41
V.A.2 La plateforme de stabilométrie	42
V.A.3 Normes	44
V.A.4 Justification de l'utilisation de la stabilométrie	46
V.B Posturologie	49
V.B.1 Les récepteurs.....	49
V.B.2 Epine irritative plantaire.....	53
V.B.3 Etude de la posture de patients atteints d'hallux valgus.....	54
V.B.4 Influence de l'ostéopathie sur la posture.....	55
V.B.5 Tests posturaux	56
V.B.6 Les syncinésies musculo-articulaires (SMA).....	59
V.B.7 L'étude de Serge HELBERT	60
VI. LE PROTOCOLE	62
VI.A Matériel utilisé	63
VI.B Choix des patients	64
VI.C Déroulement des tests.....	65
VI.D Choix des techniques.....	66
VI.E Conclusion.....	76
VII. RESULTATS ET DISCUSSION	78
VII.A Résultats	78
VII.B Analyse des résultats	82
VII.C Conclusion	84
VII.D Discussion.....	85
VIII. CONCLUSION	88
IX. BIBLIOGRAPHIE.....	91

Tables des illustrations

Figure 1. Insertions des muscles intrinsèques de l'hallux sur l'appareil sésamoïdo-phalangien	11
<i>In Leemrijse T., Valtin B., Pathologie du pied et de la cheville, Issy-les-Moulineaux, Elsevier-Masson, 2009.</i>	
Figure 2. Morphogenèse du squelette de l'avant-pied	14
<i>In Bouysset M. (et al.), Pathologie ostéo-articulaire du pied et de la cheville : approche médico-chirurgicale, Paris ; Berlin ; Heidelberg [etc.], Springer, 2003.</i>	
Figure 3. Principaux concepts biomécaniques	20
<i>In Herisson C., Aboukrat P., Rodineau J., Pathologie microtraumatique du pied, Montpellier, Sauramps médical, 2003.</i>	
Figure 4. Arche médiale et mécanisme de treuil	30
<i>In Klein P., Sommerfeld P., Biomécanique des membres inférieurs : bases et concepts, bassin, membres inférieurs, Issy-les-Moulineaux, Elsevier-Masson, 2008.</i>	
Tableau 1. Résultat sur les 18 patients	78
Tableau 2. Test unipodal non maintenu 30sec yeux ouverts	79
Tableau 3. Test des extenseurs indique une perte de force debout non retrouvée assis	79
Tableau 4. Observation d'une déviation basse ou totale à la verticale de Barre	80
Tableau 5. Patients ne présentant pas de tests aphysiologiques et ayant une observation à la ligne de BARRE normal	80
Tableau 6. Patients présentant tous les tests a physiologiques et une observation basse ou totale à la verticale de BARRE	80
Tableau 7. Patients présentant au moins un test aphysiologique ou une déviation à la ligne de BARRE	81
Graphique 1. Valeurs de paramètres avant et après traitement	79
Graphique 2. Analyse des différences de paramètres mesurés en fonction des résultats aux tests posturaux.....	83

I. INTRODUCTION

Le pied joue un rôle très important dans notre posture, dans la façon de nous adapter à notre environnement mais aussi à lutter contre la gravité. Cet élément est pour moi le premier contact avec le monde qui nous entoure et de cette perception, nous pourrions nous adapter et proposer une réponse aux stimuli extérieurs. C'est bien sûr l'outil de notre locomotion et la résultante de notre marche. D'après ces informations évidentes, il est naturel de penser que l'ostéopathe aura un grand intérêt à ce que son patient ait un pied le plus fonctionnel possible. Mais dans quelle mesure et sous quel angle mesurer la fonctionnalité d'un pied et sa répercussion sur la posture ? Quel est le lien avec le motif de consultation du patient ? Il n'y a pas aujourd'hui de consensus en ostéopathie pour donner au pied un ordre de priorité. Normal, étant donné qu'on ne peut pas déterminer l'action d'un traitement ostéopathique à l'avance mais seulement en attester son action à partir de faits subjectifs, à savoir ressentis du patient par rapport à son motif de consultation.

Mais face à un défaut du pied, il devient alors évident que cet élément a un intérêt à être pris en compte lors de la prise en charge ostéopathique du motif de consultation. C'est alors que lors de mes consultations, je me suis retrouvé face à des patients atteints d'un hallux valgus parfois bilatérale. Il était donc normal de se demander si prendre en charge cette pathologie dans le fonctionnement de mes patients était important ou seulement secondaire.

Après des heures de recherche, le résultat était bien maigre : 4 mémoires dont la plupart concerne la complémentarité de l'ostéopathe et du podologue. Rien sur l'abord global du corps chez un patient atteint d'hallux valgus et sur les conséquences posturales. Pourtant la prévalence de cette déformation est de 23 % chez les 18-65 ans et 35 % après 65ans. Une femme sur trois sera porteuse de cette pathologie. Alors nous nous demandons pourquoi les ostéopathes ont si peu d'intérêt pour ce sujet, il est pourtant quasi certain d'en rencontrer dans nos cabinets. Notre profession qui est basée sur la notion de globalité ne peut pas ignorer les répercussions de cette déformation sur le corps et la posture dans son ensemble.

Or, on sait grâce aux études de certains posturologues, notamment podologues, et en particulier Serge HELBERT, que ces patients présentent un déficit d'appui antérieur et un défaut de la phase propulsive lors de la marche. Cette observation objectivée par la mesure sur plateforme de stabilométrie permet de mettre en lien la posture et cette déformation du pied.

Mais alors que proposer comme traitement et comment être sûr de son efficacité ? Très vite en analysant cette pathologie, on se rend compte qu'il est pratiquement impossible et prétentieux d'améliorer un hallux valgus sur le plan anatomique, à savoir diminuer l'angle de valgisation du premier rayon. De plus, le traitement d'un hallux valgus sur le plan anatomique et esthétique n'est pas adapté à la pratique de l'ostéopathie. A savoir, si des techniques que nous utilisons et même décrites dans la littérature comme réductrices d'un hallux en dysfonction d'ABD, il ne serait pas raisonnable d'affirmer que l'action de ces techniques soient durables dans le temps et agissent sur la déformation. Il faudrait donc, à la manière d'un kinésithérapeute, traiter le patient au minimum une fois par semaine pendant plusieurs mois pour espérer tenter de réduire un hallux valgus. Un mémoire sur cet aspect de la pathologie n'aurait donc aucun intérêt.

Comment alors avoir une interaction bénéfique sur ce problème podal ? Il devient évident que le seul moyen de prendre en charge cette pathologie est d'étudier les effets qu'elle a sur la posture. Le pied a toujours été présenté comme l'une des entrées primaires du système postural fin et il est donc judicieux de se demander si un traitement ostéopathique peut améliorer les informations véhiculées par le pied au système postural d'aplomb. En d'autre terme, peut-on démontrer que l'ostéopathe va améliorer la posture chez ces patients et donc diminuer les contraintes sur celle-ci ?

Pour cela, d'autres questions sont à se poser : comment montrer les effets d'un traitement ostéopathique pour ce type de patient ? Quoi mesurer et avec quel outil ? Au vu des informations données, la réponse s'impose d'elle-même, il faut évaluer la posture du patient ainsi que ces appuis podaux avant et après traitement. Pour cela, il va falloir utiliser, à la manière de certains posturologues, une plateforme de stabilométrie. Cet objet permet de se confronter à des normes, base de critique de l'efficacité du traitement, mis en place par Pierre-Marie GAGEY et l'association de posturologie internationale. Mais faut-il encore mettre en place un

traitement. Pour cela, un protocole sera construit à partir de l'étude de la pathologie hallux valgus et des études effectuées sur la tripode podale et son évaluation par des tests utilisés par les posturologues.

Il faudra donc dans un premier temps présenter la pathologie et la biomécanique du pied pour comprendre le schéma de fonctionnement du patient en statique et lors de la marche.

Dans un deuxième temps, une présentation sera effectuée de l'outil de mesure, la plateforme de stabilométrie, ainsi que l'étude de la posture d'un individu.

Dans un troisième temps, la présentation et la justification d'un protocole ainsi que le déroulement de l'expérimentation seront décrits.

Enfin les résultats seront présentés et analysés, suivi d'une discussion sur l'ensemble du mémoire.

II. RAPPEL ANATOMIQUE DU PIED

De nombreux livres ont décrit l'anatomie de façon analytique et extensive. Le but de ce chapitre n'est pas de reprendre ces notions en répétant l'ordre immuable de leur représentation rigoureuse et exhaustive. Ce chapitre concerne une analyse sectorisée sur la description des principaux sites que sont la cheville, l'arrière-pied et l'avant-pied dans le but d'observer sur quel terrain l'hallux valgus se développe et d'en apercevoir les conséquences anatomiques. Cela étant, il est difficile d'extraire des notions anatomiques d'un seul de ces sites sans prendre en considération le pied et la cheville dans leur ensemble et sans les inclure également dans l'architecture générale du membre pelvien tant chacun des segments de celui-ci interagit et intervient de façon bien définie dans la biomécanique du pas.

La cheville, l'arrière-pied et l'avant-pied se succèdent segment par segment, et dans une perspective résolument fonctionnelle : leur constitution squelettique, leurs appareils articulaires et leurs principaux acteurs musculaires.

L'anatomie vasculaire, nerveuse et le système suro-achilléo-plantaire sont ensuite traités de façon globale.

II.A Cheville et arrière-pied

- Articulation talocrurale

L'articulation talocrurale unit le talus à la mortaise tibiofibulaire. De nature trochléenne et donc mono axiale, elle est le siège des mouvements de flexion et d'extension du pied.

Le talus y est la pièce mécanique cardinale située à la jonction entre le pilon tibial et les articulations de l'arrière-pied. Il possède un corps central, une tête antérieure et un col étranglé, situé à l'union de ces deux parties. On lui décrit également trois processus : un médial, un latéral et un postérieur.

La face supérieure du talus, articulaire, fortement convexe sagittalement, décrit un arc d'environ 120° et forme la trochlée talienne. Légèrement concave transversalement, elle est parcourue par une gorge peu profonde dont l'axe regarde vers l'avant et légèrement latéralement et délimite ainsi, avec l'axe sagittal, un angle d'environ 15°, responsable du valgus physiologique du pied.

La face médiale du corps du talus s'oppose à la malléole médiale. Stabilisée dans sa partie inférieure rugueuse par le puissant ligament collatéral médial.

A l'opposé, la face latérale s'articule avec la malléole fibulaire par l'intermédiaire d'une surface malléolaire latérale. Au sommet cette éminence donne insertion aux ligaments talofibulaires antérieurs et talocalcanéen latéraux.

La face postérieure du corps du talus se prolonge en pente douce par le processus postérieur du talus qui reste extra-articulaire mais présente un rapport étroit avec la gaine synoviale du tendon du muscle long fléchisseur de l'hallux. Celui-ci creuse un profond sillon, oblique en bas et médialement qui est bordé par deux tubercules saillants :

- Le tubercule latéral est d'ordinaire plus marqué. Par son sommet, il donne insertion au ligament talofibulaire et talocalcanéen postérieur.
- Le tubercule médial sert pour sa part de point d'appui aux ligaments tibiofibulaire postérieur et talocalcanéen médial.

Les éléments squelettiques de la pince articulaire tibiofibulaire ainsi constituée sont stabilisés par les faisceaux fibreux denses des ligaments talofibulaires antérieur et postérieur. Le ligament tibiofibulaire interosseux s'y ajoute dont le versant distal est en rapport avec le cul-de-sac synovial de l'articulation talocrurale et dont la partie proximale est en continuité avec la membrane interosseuse de la jambe.

Si, en pratique, l'articulation tibiofibulaire distale est presque immobile, l'on y observe pas moins, dans la dynamique de la cheville, de faibles déplacements tantôt rotation, tantôt translation axiale qui impliquent la fibula. Ainsi, au cours de la flexion dorsale extrême du pied, la trochlée du talus dispose sous la mortaise tibiofibulaire sa plus large surface et écarte donc la malléole latérale en dehors d'environ 1 à 2 mm. Il en résulte une légère ascension et rotation médiale de la fibula. A l'inverse, lors de la flexion plantaire ou extension de la cheville, la malléole latérale se déplace vers le bas et médialement afin de resserrer la pince

bimalléolaire sur la partie postérieure, plus étroite, de la trochlée talaire. Fonctionnellement, cette translation du piston fibulaire est engendrée par la contraction des muscles fibulaires et surtout par celle du muscle long fléchisseur de l'hallux qui y prend appui. Elle s'accompagne d'une mise en tension de la membrane interosseuse de la jambe, qui, avec la butée dynamique du tendon du fléchisseur de l'hallux à la face postérieure du talus, assure la pleine fixité de la cheville lorsqu'elle est en fin de course de flexion plantaire.

- **Complexe ligamentaire stabilisateur de la cheville**

L'articulation talocrurale, que nous venons de décrire, est stabilisée médialement par un important complexe ligamentaire qui, de chaque côté, comprend plusieurs faisceaux fibreux disposés en deux plans.

Le ligament collatéral médial ou ligament deltoïde

Triangulaire et très résistant, le ligament collatéral tibial ou médial est tendu entre la malléole médiale et les deux os du tarse postérieur. Mais, se prolongeant en avant jusque sur le tarse antérieur, il contribue également au soutien de l'arche plantaire médiale. Toutes ses fibres quittent le sommet de la malléole tibiale et se disposent en deux couches :

- la couche profonde, courte et solide, qui contient deux faisceaux. Le ligament tibiotalaire antérieur qui s'insère sur la face médiale du col du talus et le ligament tibiotalaire postérieur qui s'insère sur la face médiale du corps du talus jusqu'au tubercule médial du processus talaire postérieur.

- la couche superficielle qui s'étale pour former une vaste lame triangulaire à base distale tendue entre le tibia, en haut, et le complexe calcanéonaviculaire en bas. A noter que des interconnexions fibreuses existent souvent entre le ligament deltoïde, le rétinaculum médial de la cheville et la gaine ostéofibreuse du muscle long fléchisseur de l'hallux.

Le ligament collatéral latéral

Encore appelé ligament collatéral fibulaire, l'appareil ligamentaire latéral de la cheville tire son origine de la malléole fibulaire et est composé de trois faisceaux clairement distincts :

- le ligament talofibulaire antérieur, quadrilatère et plat, se compose de deux bandes fibreuses distinctes séparées qui livrent passage à un pédicule vasculaire destiné à l'articulation talocrurale. Cette disposition explique l'hématome immédiat et souvent important lors des entorses sévères de la cheville, avec rupture de ce ligament. Ses fibres s'insèrent au bord antérieur et à la face latérale de la malléole fibulaire pour se terminer sur le versant latérale du col du talus.

- le ligament calcanéofibulaire, épais et résistant, s'insère sur la partie distale du bord antérieur de la malléole latérale et se termine sur la trochlée du calcaneus, située sur la face latérale du calcaneus. Participant à la fois à la stabilité de l'articulation talocrurale et à celle de l'articulation subtalaire, le faisceau moyen du ligament collatéral fibulaire possède une isométrie spécifique ; tendu en position neutre, il se détend en extension du pied et s'étire en dorsiflexion.

- le ligament talofibulaire postérieur, aplati et de forme trapézoïdale, s'étend de la face postérieure du corps du talus au tubercule latéral du processus talaire postérieur. Il présente sur sa face dorsale une légère gouttière qui complète latéralement la paroi antérieure de la gaine ostéofibreuse du tendon du muscle fléchisseur de l'hallux.

- Articulation subtalaire

Le talus repose sur la face supérieure de calcaneus. Il s'y articule par l'intermédiaire de trois surfaces condyliennes, l'une concave, deux convexes, qui sont conscrites par deux capsules fibreuses distinctes et stabilisées par de nombreux ligaments.

L'articulation subtalaire, proprement dite, rapproche la surface calcanéenne postérieure du talus et la surface talaire postérieure du calcaneus qui, en contrepartie, est fortement convexe. Les deux surfaces opposées présentent chacune une forme ovale dont le grand axe regarde en direction antérolatérale. L'interligne articulaire autorise des mouvements de glissement, de roulement et de rotation qui s'opèrent par rapport à un axe de fonction oblique, orienté vers le haut, vers l'avant et médialement.

L'articulation subtalaire postérieure est ellipsoïde ou condylienne avec donc deux degrés de liberté. Lorsque le talus est coincé dans la mortaise tibiofibulaire, le calcaneus s'y déplace, selon l'expression de Farabeuf, comme un bateau agité

par la houle, qui roule (rotation médiale ou latérale) autour de son axe sagittal, tange (flexion-extension) autour de son axe transversal et vire (abduction-adduction) autour de son axe vertical.

L'articulation subtalaire antérieure rapproche les surfaces calcanéennes antérieure et moyenne du talus, toutes deux légèrement convexes, avec les surfaces articulaires homologues, concaves, existant sur la face supérieure du calcaneus, en regard du sustentaculum tali. Le centre articulaire de cet interligne talocalcanéen antérieur correspond très exactement au centre de courbure de la tête du talus et donc à celui de l'interligne talonaviculaire.

L'articulation talonaviculaire est de type sphénoïde et possède trois degrés de liberté en raison de la courbure régulière de la tête du talus. En pratique, il convient donc de séparer clairement l'articulation subtalaire proprement dite, postérolatérale, de l'articulation talo-calcaneonaviculaire, antéromédiale, qui fonctionnellement doit être rattachée à l'articulation médiotarsienne de Chopart. Ces deux entités d'ailleurs sont anatomiquement séparées par le sinus du tarse, qui contient le ligament talocalcanéen interosseux, qui a été comparé à une haie élevée entre les deux secteurs articulaires. Ce ligament comble partiellement le sinus du tarse et forme une cloison inclinée à environ 45° entre le plan sagittal et frontal. Il forme ainsi un appareil de contention solide que certains ont comparé aux ligaments croisés de la cheville.

Dans l'articulation talo-calcaneonaviculaire, la tête du talus a un axe, appelé angle de rotation de la tête, qui est oblique de 45° en direction supérolatérale. Elle répond à la face postérieure, concave et elliptique de l'os naviculaire. En bas, celle-ci continue par le fibrocartilage qui renforce la face supérieure du ligament calcaneonaviculaire plantaire, puis avec les surfaces talaire antérieure et moyenne du calcaneus. Ainsi se forme, sous la tête et le col du talus, une vaste cupule articulaire comprenant plusieurs segments squelettiques distincts réunis entre eux par un labrum, que certains auteurs ont même comparé à l'acétabulum du pied ou *coxa pedis* de Pisani. Prolongeant le sustentaculum talien en avant, le ligament calcaneonaviculaire plantaire, parfois appelé ligament glénoïde, est la clé de voûte de cet édifice qui supporte, en puissant hamac, la tête du talus au-dessus du vide. Il constitue aussi la composante principale du *spring ligament* des Anglo-

saxons dont la défaillance participe très certainement à la genèse d'un pied plat valgus de l'adulte.

Le ligament bifurqué, autrefois appelé ligament en Y de Chopart appartient à la fois à l'articulation calcanéonaviculaire et à l'articulation calcanéocuboïdienne. Très solide, il s'insère proximale sur la face dorsale du calcaneus puis se dirige en deux faisceaux dont l'un, dit naviculaire, s'attache sur la partie dorsolatérale de l'os naviculaire et dont l'autre, dit cuboïdien, se termine sur la partie dorsomédiale de l'os cuboïde. A son origine il est recouvert et renforcé par les insertions du muscle court extenseur des orteils et par les expansions latérale, intermédiaire et inférieure du rétinaculum des extenseurs.

Les faisceaux ligamentaires de l'articulation subtalaire ajoutent leur fonction stabilisatrice à celle des ligaments collatéraux de l'articulation talocrurale et contrôlent la liberté des mouvements coordonnés engendrés dans l'articulation subtalaire et dans l'articulation talo-calcanéonaviculaire, dans tous leurs axes de liberté. Les mouvements simples d'ABD et d'ADD du pied s'opèrent essentiellement dans l'articulation subtalaire proprement dite et leurs freins ligamentaires principaux sont représentés par les ligaments talocalcanéens périphériques et interosseux. Les mouvements de flexion-extension et de rotation médiale et latérale siègent à l'inverse dans l'interligne talo-calcanéonaviculaire. Les mouvements complexes associent des déplacements simultanés dans les différentes articulations en série et se traduisent le plus souvent par l'inversion ou éversion du pied.

- Tendons stabilisateurs du talus et appareil tendineux fléchisseur

En complément des structures ligamentaires rigides, que nous venons de décrire, des structures plus dynamiques interviennent de toute évidence dans la stabilisation du talus.

Le muscle tibial postérieur

Puissant inverseur du pied, le tendon du muscle tibial postérieur est issu d'un corps musculaire qui est appuyé sur la face postérieure du tibia, la membrane interosseuse et le corps de la fibula.

Arrivé au niveau de la cheville, il s'entoure d'une gaine synoviale propre et s'engage dans un couloir ostéofibreux qui longe la partie postéromédiale de la malléole médiale, puis chemine le long de la médiale du talus.

Il se termine à la face plantaire du tarse antérieur. Il stabilise le tarse postérieur en bas et médialement. A son extrémité, il se divise en trois faisceaux d'insertion terminaux :

- le faisceau antéromédial est le plus puissant, il se projette sur la tubérosité de l'os naviculaire, sur la capsule inférieure de l'articulation cunéonaviculaire et sur la face plantaire du 1^{er} cunéiforme.

- Le faisceau moyen ou intermédiaire est très profond et croise en oblique la voûte plantaire. Ses fibres s'épuisent sur la face plantaire des 2^e et 3^e cunéiformes et du cuboïde, sur la base des trois métatarsiens centraux et sur la face plantaire de l'os. Ses fibres participent à la constitution du plafond du canal des tendons fibulaires.

- Le faisceau collatéral est arciforme et se termine sur la face plantaire du sustentaculum tali.

Ce muscle, dont la terminaison se fait donc sur tous les os du tarse à l'exception du talus, possède un rôle important dans l'inversion et l'extension du pied ainsi que dans la coaptation de tous les interlignes centraux et plantaires. Nous soulignerons que, de plus, ce tendon est protecteur du ligament calcanéonaviculaire plantaire (*spring ligament*).

Les muscles longs fléchisseurs des orteils et de l'hallux

Appuyés sur la face postérieure du squelette crurale, de part et d'autre du corps musculaire du muscle tibial postérieur, le tendon du fléchisseur commun des orteils présente une gaine ostéofibreuse dont les rapports anatomiques sont très intimes avec l'articulation talonaviculaire. Topographiquement, il constitue un repère chirurgical précieux et constant pour localiser avec précision l'orifice du sinus du tarse. Il se termine en quatre languettes tendineuses profondes sur la base des phalanges distales des quatre derniers rayons en s'insinuant, en les perforant, dans les quatre arches fibreuses formées par les deux bandelettes de chacun des tendons du court fléchisseur des orteils. Le muscle long fléchisseur des orteils permet en outre d'assurer un contact intime des orteils avec le sol, favorisant ainsi

la stabilité, et soulageant d'autant les têtes métatarsiennes d'une partie des contraintes qui leur sont transmises.

Le tendon du muscle fléchisseur propre de l'hallux s'insère sur les deux tiers distaux de la face postérieure de la fibula. Il présente de son côté des rapports étroits avec la face postérieure nue de la capsule articulaire talocrurale avant de glisser, par l'intermédiaire d'une gaine synoviale, dans le sillon oblique en bas et médialement qui sépare les deux tubercules postérieurs du talus. Le tendon suit ensuite un trajet antéropostérieur sous le sus-tentaculum tali puis sous le fibrocartilage glénoïdien de l'articulation talo-calcanéonaviculaire. Lors de son trajet dans la loge plantaire médiale, le tendon croise en outre le versant plantaire de l'appareil métatarso-phalangien du 1^{er} rayon, en s'insinuant entre les osselets sésamoïdes médial et latéral dans un canal ostéofibreux propre. Il se termine sur la

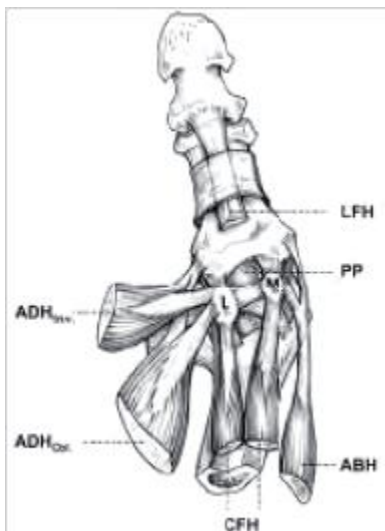


Figure 1. Insertion des muscles intrinsèques de l'hallux sur l'appareil sésamoïdo-phalangiens

face plantaire de la base de la phalange distale du gros orteil. Il est polyarticulaire, pontant huit articulations du pied. Ce muscle fonctionne essentiellement en isométrie et en excentrique, en d'autres termes, ce muscle se contracte pour fixer une position ou pour freiner un déplacement provoqué par une autre force. Il constitue ainsi une partie de suspension dynamique qui, s'ajoutant aux éléments statiques ligamentaires, supporte et fixe la tête du talus lors de la flexion plantaire de la cheville et de l'inversion du pied (annule le couple pronateur). De plus, sa réflexion derrière le

processus postérieur du talus lui donne une résultante de propulsion du talus et, de part son passage sous le sustentaculum tali, assure le soutien du talus. Après la levée du talon, le muscle continue d'exercer sa force au niveau du sustentaculum, ce qui entraîne la supination du calcanéum et le verrouillage du médio-pied (en association avec d'autres mécanismes). Il présente donc une importante fonction de stabilisation antigravitaire, notamment sur l'articulation talo-calcanéonaviculaire. Le rôle de ce muscle est avant tout d'être anti-extenseur de l'hallux, fonction primordiale à la propulsion. Il est innervé par le nerf tibial postérieur

II.B Médio-pied et avant-pied

- Articulations du tarse antérieur

Situé en devant du complexe talocalcanéen, le tarse antérieur est divisé par une syndesmose en deux secteurs distincts. Son secteur médial, disposé devant la tête du talus, comprend l'os naviculaire et les trois os cunéiformes. Son secteur latéral est constitué par le seul os cuboïde. L'articulation transverse du tarse, autrefois appelée médiotarsienne, unit le tarse antérieur au tarse postérieur et elle est constituée par les articulations calcanéocuboïdienne latérale et talonaviculaire du côté médial. Ces deux articulations juxtaposées sont clairement distinctes sur le plan morphologique mais possèdent en commun le ligament bifurqué.

Complexe latéral calcanéocuboïdien

Le cuboïde fait partie intégrante de la colonne latérale du pied.

Sa face plantaire est parcourue par une gouttière oblique en direction antéromédiale qui loge le tendon du muscle long fibulaire. Au côté dorsal de ce sillon, transformé à l'état frais en canal cuboïdien par un plancher fibreux, s'élève une crête saillante appelée tubérosité du cuboïde qui donne insertion aux muscles opposant du V, court fléchisseur du V et adducteur de l'hallux.

Sa face postérieure s'adosse à la face antérieure, dite cuboïdienne, du calcaneus. Ces deux surfaces sont conformes de façon réciproque, de manière à constituer une articulation synoviale en selle. L'interligne ainsi constitué est stabilisé en haut par le ligament calcanéocuboïdien dorsal et par le fort ligament bifurqué, en bas par le ligament calcanéocuboïdien plantaire et par le ligament plantaire long qui est étalé entre les deux processus de la tubérosité du calcaneus aux faces plantaires des quatre derniers métatarsiens.

Complexe médial cunéonaviculaire

L'os naviculaire et les trois cunéiformes rassemblés forment une articulation de type condyloïde dont la synoviale est en continuité avec celle des articulations cunéocuboïdiennes et intercunéiformes. Cet édifice à quatre pièces squelettiques est stabilisé par des ligaments cunéonaviculaires et intercunéiformes dorsaux, minces, ainsi que par des ligaments homonymes plantaires plus épais et résistants.

Sur le plan dynamique, l'essentiel de sa statique fonctionnelle est assurée par différents tendons qui s'appuient sur le complexe médial du tarse :

- Le tendon du muscle tibial antérieur, - qui contourne la face médiale de l'os naviculaire et se termine sur l'os cunéiforme médial et le versant médial de la base du 1^{er} métatarsien -, est le contrefort médial de l'ensemble.

- Les faisceaux médial et intermédiaire du tendon du muscle tibial postérieur viennent doubler, à la manière d'un hamac fibreux, le soutien ligamentaire plantaire de l'articulation cunéonaviculaire.

- Le tendon du muscle long fibulaire comme les fibres d'origine de la portion oblique du muscle abducteur de l'hallux complètent distalement les éléments de fixité de la moitié médiale du tarse antérieur.

- Anatomie du tunnel tarsien

Le tunnel tarsien est un canal ostéofibreux, ménagé au côté postéromédial de la cheville, entre la malléole tibiale et la face médiale du tarse postérieur. Fermé en surface, sous la peau, par le rétinaculum des muscles fléchisseurs des orteils, il contient les tendons du muscle tibial postérieur, des longs fléchisseurs des orteils et des longs fléchisseurs de l'hallux, ainsi que les artères tibiale postérieure et plantaire médiale, les veines satellites correspondantes et le nerf plantaire médial.

- Anatomie du premier rayon

Le 1^{er} métatarsien forme l'un des éléments osseux fondamentaux de l'arche médiale du pied. Articulé en avant avec la phalange proximale de l'hallux, il rencontre en arrière, au niveau de l'articulation de Lisfranc, la surface articulaire distale du 1^{er} cunéiforme.

Renforcée par des faisceaux ligamentaire tarsiens plantaires, l'articulation ainsi constituée permet un certain degré de mobilité du métatarsien en flexion et en extension. La forme des surfaces articulaires est telle que tout mouvement de flexion dorsale entraîne de façon automatique un mouvement d'adduction du 1^{er} métatarsien par rapport à l'axe du pied, ce qui explique parfaitement le défaut d'appui du 1^{er} rayon au sol qui s'observe lorsqu'une désaxation se produit à ce niveau.

A sa base, le métatarsien reçoit enfin les fibres d'insertions terminales du tendon du muscle long fibulaire, adducteur du 1^{er} rayon, qui ont pour effet de creuser l'arche plantaire transversale, en contrecarrant l'action abductrice des fibres tendineuses distales du muscle tibial antérieur qui prennent appui sur le côté médial de la base du 1^{er} métatarsien. Cette disposition particulière explique aisément les insuffisances d'appui au sol du 1^{er} rayon qui, consécutives au déséquilibre de ce couple de forces musculaires, se rencontrent dans l'hypotonie du muscle long fibulaire et dans certaines pathologies neuromusculaires.

Anatomiquement, le corps du 1^{er} métatarsien est plus court et plus épais que celui, plus long et plus écarté, du 2^e métatarsien qui occupe l'axe du pied. On note que cette distinction morphologique s'installe très tôt chez l'embryon lors du développement du métatarsien et s'accompagne chez le fœtus d'une diminution progressive de l'angle métatarsien qui, entre le troisième et neuvième mois de gestation, sépare les deux rayons. Par ailleurs, l'évolution embryologique de

l'orientation du 1^{er} métatarsien qui, d'une position d'abduction et de supination se déplace vers une position de rectitude, montre qu'il existe de nombreux morphotypes rotatoires de ce rayon osseux et par voie de conséquence, de nombreuses variations potentielles constituées entre l'axe de la diaphyse de l'os et l'inclinaison de sa surface articulaire distale. A l'âge adulte, cela prend l'apparence clinique définitive de diverses anomalies positionnelles de l'épiphyse articulaire distale du 1^{er} métatarsien, qualifiée par l'acronyme

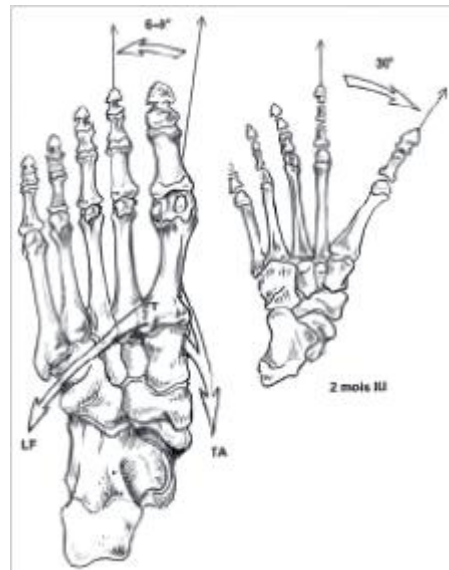


Figure 2. Morphogenèse du squelette de l'avant-pied

DMAA (*distal metatarsal articular angle*) des auteurs anglo-saxons.

La surface articulaire distale du 1^{er} métatarsien a la forme d'une trochlée asymétrique et s'articule d'une part, avec la base de la phalange proximale de l'hallux et d'autre part, avec les osselets sésamoïdes médial et latéral.

Sur le plan morphologique et fonctionnel, l'on peut donc comparer ce complexe sésamotrochléen aux articulations fémoropatellaire ou huméro-ulnaire.

Cette entité est reliée par cinq ligaments différents :

- les ligaments métatarsosésamoïdiens médial et latéral.
- les ligaments sésamoïdophalangiens médial et latéral.
- le ligament transverse intersésamoïdien qui forme le plafond du segment

initial de la gaine fibreuse du tendon du fléchisseur de l'hallux.

L'entité sésamoïdo-glénophalangienne constitue un ensemble articulaire dynamique soumis à des contraintes asymétriques d'origine musculaire et ligamentaire.

Le ligament transverse métatarsien profond, moyen de fixité indéformable, rattache très solidement le sésamoïde latéral à l'extrémité distale du 2^e rayon. A l'opposé, il n'existe aucune stabilisation médiale de la tête du 1^{er} rayon en raison de la position marginale de celui-ci sur le bord médial de l'avant-pied. Au surcroît de cette inégalité de soutien ligamentaire, les sésamoïdes reçoivent par ailleurs les insertions asymétriques des muscles intrinsèques du pied. Le sésamoïde latéral rassemble en effet sur son bord latéral l'insertion des deux puissants chefs oblique et transverse du muscle adducteur de l'hallux, auxquels s'ajoute encore le tendon distal du chef latéral du muscle court fléchisseur de l'hallux. De façon analogue mais asymétrique, le sésamoïde médial offre sur son bord médial un point d'insertion au tendon distal du chef médial du muscle court fléchisseur de l'hallux, et à celui, unique et robuste, du muscle abducteur de l'hallux.

Cette description anatomique et embryologique des surfaces, des axes, des ligaments et des muscles, qui s'organisent autour de la colonne osseuse médiale de l'avant-pied, rend en définitive parfaitement compte de l'instabilité intrinsèque du 1^{er} rayon. Elle constitue dès lors très certainement l'un des éléments pathogéniques fondamentaux qui expliquent la grande fréquence de sa déformation en hallux valgus. La tendance à expulser médialement la tête du 1^{er} métatarsien engendre une déviation d'axe, entraînant un mouvement supinatoire de l'appareil sésamoïdophalangien qui, pérennisé par la traction asymétrique des muscles intrinsèques du pied et principalement par celle de l'adducteur de l'hallux, se voit également entretenue, voire amplifiée, par la tangence que les tendons des muscles extrinsèques, à savoir principalement ceux des muscles long fléchisseur et long extenseur de l'hallux, prennent secondairement sur les déviations angulaires squelettiques.

- Appareil tendineux éverseur

Le muscle long fibulaire s'insère sur le 1/3 supérieur de la face latérale de la fibula. Il s'engage dans trois tunnels successifs :

- au dos de la malléole latérale, il est enfermé en surface par le rétinaculum fibulaire proximal, tendu entre la malléole fibulaire et la face latérale du calcaneus.

- sous la pointe de la pointe de la malléole latérale, ce rétinaculum présente deux arcades fibreuses qui s'attachent sur la trochlée fibulaire et sur la face latérale du calcaneus.

- Dans le creux de la face plantaire de l'os cuboïde.

Il se termine sur la face plantaire de la base du 1^{er} métatarsien et sur le 1^{er} cunéiforme. Ce muscle constitue l'équilibre latéral du muscle tibial postérieur, croisant la voûte plantaire selon l'autre diagonale. Avec le muscle tibial postérieur, il soutient ainsi transversalement la voûte plantaire.

Le muscle court fibulaire s'insère sur le 1/3 moyen de la face latérale de la fibula puis glisse sous le rétinaculum fibulaire proximal dans la gouttière rétro-malléolaire latérale puis se termine sur le processus styloïde de la base du 5^e métatarsien.

Le muscle 3^e fibulaire passe sous le rétinaculum distal des extenseurs pour se terminer sur la base dorsale du processus styloïde du 5^e métatarsien.

- Appareil tendineux extenseur

Les muscles longs extenseurs des orteils et de l'hallux s'attachent sur les 2/3 proximaux du bord antérieur de la fibula et sur le condyle latéral du tibia. Ils glissent sous les deux rétinaculum des extenseurs pour se terminer en une bandelette centrale et deux bandelettes latérales respectivement attachées sur les phalanges moyenne et distale de chaque rayon, tandis que le tendon du long extenseur de l'hallux se termine sur la base de la phalange distale et proximale de l'hallux. Ils permettent de creuser la voûte plantaire.

Le muscle tibial antérieur trouve son insertion proximale sur la face antérolatérale du tibia, sur la crête tibiale antérieure, sur le versant inférieur de la tubérosité tibiale antérieure et sur la membrane interosseuse avoisinante. Il glisse

sous le rétinaculum proximal des extenseurs et se finit sur un tubercule de la partie inféromédiale de la base du 1^{er} cunéiforme.

- Les canons du pied

L'aspect anatomique mais aussi radiographique de l'avant-pied permet de définir une formule digitale et une formule métatarsienne.

La formule digitale dépend de la longueur de l'hallux :

- L'avant-pied est égyptien lorsque l'hallux est plus long que le second, lui-même plus grand que le troisième et ainsi de suite. Retrouvé dans 50 % de la population normale et 70 % lorsqu'il existe un hallux valgus.

- L'avant-pied est carré quand les deux premiers orteils sont de la même longueur avec longueur décroissante du 3^e au 5^e orteil. Retrouvé dans 27 % de la population normale.

- L'avant-pied est grec lorsque le premier orteil est plus court que le second avec diminution de la longueur du 2^e au 5^e orteil. Retrouvé dans 23 % de la population normale.

La formule métatarsienne permet de distinguer un premier métatarsien plus court que le deuxième (index minus), aussi long que le deuxième (index plus minus), plus long que le deuxième (index plus). Les têtes des métatarsiens décrivent la parabole de Lelièvre.

II.C Conclusion

Offrant un rapide parcours de l'anatomie du pied et de la cheville, s'écartant délibérément des chemins balisés par son étude systématique et consacrée par les descriptions morphologiques classiques, le présent chapitre s'efforce de démontrer l'identité propre qui oppose, sur le plan ostéologique et syndesmologique, les différentes parties du pied.

La cheville et l'arrière-pied, véritable zone jonctionnelle, présentent également une structure osseuse et syndesmologique riche, renforcée d'un puissant système musculotendineux de soutien et de propulsion, capable de transformer les forces cinétiques axiales et compressives sur un mode tridimensionnel, apte à l'appui plantigrade.

L'instabilité intrinsèque du 1^{er} rayon, liée à ses variations de position angulaire et aux contraintes musculaires qui s'exercent sur lui, a été mise en évidence, avec l'ensemble de ses déterminants et donc des cibles anatomiques de sa correction ostéopathique.

III. RAPPEL BIOMECHANIQUE DU PIED

La condition vivante suppose une activité ininterrompue et l'adaptation permanente à de nouvelles conditions avec des intensités d'efforts variables. En tant que structure vivante chargée de transmettre les mouvements et les forces, le pied doit avoir des propriétés de déformations viscoélastiques avec possibilité de verrouillage et de relaxation instantanés. Cela lui permet aussi d'être une entité créatrice de mouvements, car il est animé par un système neurotendinomusculaire.

Il présente une structure ostéo-articulaire morcelée, agencée en forme d'hélice (empilement vertical de l'arrière-pied et étalement horizontal de l'avant-pied) et dont les éléments interconnectés par les parties molles sont capables de s'organiser en chaînes cinématiques. Cette organisation lui permet aussi de s'intégrer à la chaîne cinématique du membre inférieur tout en s'adaptant aux conditions variables de l'appui extérieur. Son activité principale est de supporter le poids et de transférer la charge corporelle durant la marche bipède, mais il doit aussi permettre d'accéder aux autres allures et aux divers modes de locomotion.

Le pied possède son organisation spatiale définitive dès le 3^e mois de la vie intra-utérine. Comme nous l'avons dit, la structure du pied s'apparente à une hélice, ce qui explique la position d'inversion spontanée en décharge. En charge, la stabilité de l'appui est primordiale, la transmission des forces et des mouvements au sein de la chaîne cinématique du membre inférieur est fondamentale. L'existence des muscles pontant plusieurs articulations et de connexions ligamentaires pluri-articulaires permet la simultanéité des mouvements grâce à des moyens de coordination. Les axes des pivots de locomotion articulaire (hanche-genou-cheville-métatarsophalangienne) sont globalement perpendiculaires au plan sagittal. Les articulations à axes obliques sont surtout destinées au contrôle des rotations pour adapter et équilibrer la chaîne cinématique.

Pendant le continuum harmonieux de la marche, le passage alternatif d'un état souple à rigide, pour transmettre les forces et conserver l'énergie, est permis

par sa structure de type hélicoïdale et par le contrôle de verrouillage-déverrouillage instantané des mouvements articulaires, notamment par la position du calcanéus. Il existe dans la chaîne cinématique du membre inférieur, trente-trois niveaux articulaires pour le pied et trois seulement pour le reste du membre inférieur avec la hanche, le genou et la cheville.

III.A Les principaux concepts biomécaniques

Le pied est mécaniquement une structure viscoélastique à compliance variable, ce qui le rend hautement adaptatif aux conditions mécaniques de son utilisation statodynamique et cinématique.

Aujourd'hui, la notion de support tripode et d'arche antérieure (FARABEUF, 1870) ne doit plus être retenue.

L'aspect dynamique a été depuis le début du XX^e siècle un souci constant d'étude. VON LANZ (1938) et plus tard PISANI (1974) proposent un « concept longitudinal », le pied calcanéen est dédié à la stabilité et à l'appui, tandis que le pied talien, avec les trois rayons médiaux et formant l'arche médiale, est plutôt dédié à la mobilité et à la propulsion. La

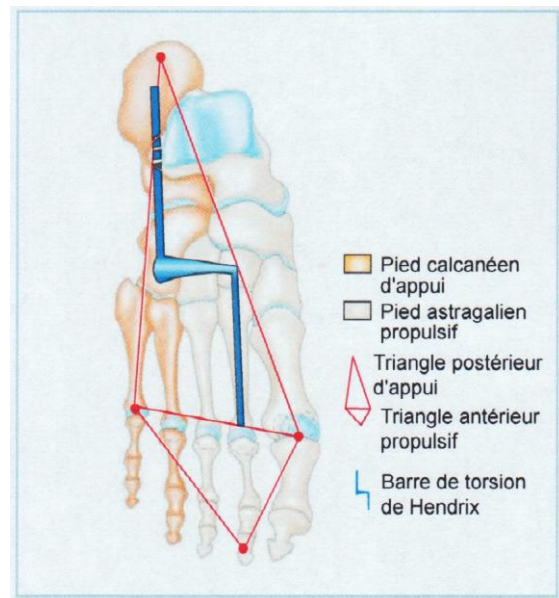


Figure 3. Principaux concepts biomécaniques

relation fonctionnelle entre les deux pieds calcanéen et talien est difficile à imaginer. HENDRIX, en 1934, décrit la barre de torsion du pied formée par le 2^e et 3^e cunéiformes et le cuboïde, avec ses deux bras de leviers que sont le calcanéus et le 2^e métatarsien.

En 1972, DOLTO introduit une notion complémentaire sur le plan dynamique, en distinguant le pied talaire du pied calcanéen. Le pied talaire correspond à la colonne médiale représentée par le talus, l'os naviculaire, les trois os cunéiformes et les trois premiers rayons. La colonne représentée par le pied talaire est souple et dédiée à la mobilité. Le pied calcanéen correspond à la

colonne latérale représentée par le calcanéus, le cuboïde et les deux derniers rayons. C'est une colonne rigide, ayant une fonction statique.

BONNEL et RABISCHONG insistent sur la notion de triangle dynamique de l'avant-pied qui assure le déroulé du pas et la propulsion faisant suite au triangle postérieur statique et s'articulant au niveau des articulations métatarsophalangiennes.

A la notion d'axe fixe, on substitue aujourd'hui la notion d'axes multiples mobiles et évolutifs. HUSON insiste sur la notion de déplacement hélicoïdal. C'est un mouvement spatial fini, caractérisé par le couplage de la rotation avec de petites translations le long des axes. Il insiste sur trois notions : la notion de système tarsien à mouvements interdépendants contraints, la notion d'avant-pied en chaîne cinématique libre (qui se ferme sur l'appui) et la notion de système médio-tarsien de coopération entre les deux grâce à la fixité d'appui au sol du 2^e métatarsien qui régit ainsi automatiquement l'inversion. Il permet de comprendre au niveau articulaire la transmission des mouvements entre la jambe et le pied, la rotation externe de la jambe inverse le pied et réciproquement. Ce concept présente plusieurs avantages :

- Fiabilité de fonctionnement avec précision et puissance
- Harmonie du mouvement avec sa réversibilité adaptative
- Et surtout grande vitesse de réaction

Le concept de Lamina pedis, décrit en 1969 par MAC-CONAILL et bien connu sous le terme de bloc calcanéopédieux, permet grâce au vrillage-dévrillage, d'expliquer en partie le phénomène de rotation contrariée entre l'arrière et l'avant-pied pour garantir l'appui plantigrade. Il faut y rajouter le concept de coxa pedis de Pisani, lequel permet d'intégrer le rôle des mouvements du ménisque osseux qu'est le talus dans les mouvements de vrillage (inversion du pied avec creusement de la voûte plantaire) et dévrillage (éversion du pied avec aplatissement de la voûte plantaire).

Ainsi, ces concepts permettent d'expliquer plusieurs aspects de la réalité comme simultanéité des mouvements, le mécanisme de torsion et de détorsion, l'économie de structures anatomiques avec possibilité de verrouillage-déverrouillage articulaire en combinant obliquité des surfaces articulaires par rapport à l'axe du mouvement global et un système ligamentaire adapté. Le

verrouillage articulaire est nécessaire pour supporter les contraintes sans dommage et le déverrouillage articulaire est nécessaire pour libérer les degrés de liberté, afin d'accroître la mobilité et les possibilités de mouvements. Le système est à la fois peu consommateur et conservateur d'énergie.

- Notions de cinématique

Chaque articulation possède des degrés de liberté et lorsqu'elles sont reliées entre elles, elles forment une chaîne cinématique possédant une infinité de degrés de liberté intrinsèque. L'approche dynamique non linéaire du mouvement développé par BERSTEIN et repris par VAN EMMERIK permet de passer à la compréhension de la dynamique individuelle et des possibilités compensatrices des mouvements. Il faut remarquer l'intérêt des mécanismes de coordination, afin de simplifier les systèmes de contrôle. En effet, pour se mouvoir de façon fluide dans l'espace-temps et dans un système gravitationnel, il faut pouvoir verrouiller ses articulations pour les rigidifier, ensuite il faut pouvoir relâcher graduellement ou instantanément, afin de construire un mouvement coordonné. Une articulation doit aussi pouvoir participer à plusieurs types de mouvements et donc à plusieurs structures de coordination. Cela permet de concevoir que le pied est capable automatiquement de changer de comportement grâce à un agencement nouveau de sa structure en fonction des contraintes qu'il subit.

Par ailleurs, une construction en porte à faux grâce à son déséquilibre potentiel, est un moyen astucieux qui permet d'orienter le mouvement et d'en économiser les structures de contrôle, il en existe trois dans le pied. Le membre inférieur réalise avec le pied une chaîne cinématique fermée en appui, les rotations sont automatiquement transmises d'une extrémité à l'autre. La rotation médiale du fémur entraînant la jambe provoque la pronation ou éversion du pied et inversement, la rotation latérale du fémur provoque l'inversion du pied. Chaque niveau articulaire permet une modulation dans la transmission.

En position debout « statique », le squelette et la pesanteur jouent dans le même sens vers l'effondrement de la voûte médiale, provoquant un dévissage et un aplatissement du bloc calcanéopédieux. Ce sens unique de flambage met en tension le système capsuloligamentaire et surtout le système musculotendineux disposé dans le sens opposé de l'effondrement.

Le tarse se comporte comme un mécanisme contraint dont les mouvements sont prédéfinis, prédictibles et immuables. Cela permet à la fois le réglage fin, l'harmonie des mouvements, la stabilité et la transmission de forces importantes.

L'avant-pied, au contraire, est un mécanisme libre non contraint. Mais en appui, il ferme la chaîne cinématique du membre inférieur et l'intègre. Il permet ainsi la modulation des mouvements en les amplifiant ou en les absorbant. Si le pied doit s'adapter à une inclinaison donnée du support, il va réaliser un remodelage de sa forme dans lequel l'avant-pied va réagir de façon asymétrique. L'éversion du support entraîne l'éversion du pied couplée à la dorsiflexion de la cheville, l'avant-pied se remodèle dans la même direction en éversion. L'inversion du support entraîne l'inversion du pied couplée à la flexion plantaire de la cheville, mais au niveau de l'avant-pied, on assiste à un remodelage minimum et plus ou moins dans la même direction.

III.B Biomécanique de la cheville et du pied

- Cheville et tarse postérieur

Les rôles principaux de la cheville sont la locomotion et la transmission. Elle représente le deuxième pivot de la marche en assurant un arc de mouvements de flexion-extension dans le plan sagittal et associée aux mouvements de l'articulation sous-talienne, elle contribue aussi à réaliser la transmission des mouvements de rotation de la jambe au pied.

La cheville est fonctionnellement couplée au mouvement des articulations de l'arrière-pied et du médio-pied, c'est un complexe articulaire qui agit en mode contraint.

Les deux articulations sont superposées et réalisent un empilement stable. Elles présentent un encastrement qui contribue à la stabilité en charge, tenon mortaise pour la cheville et double courbure inversée pour l'articulation sous-talienne.

La fibula est réunie à la face latérale du tibia par une syndesmose renforcée par les ligaments tibiofibulaires inférieur, antérieur et postérieur, ce qui confère à la pince tibiofibulaire une certaine souplesse adaptative et une capacité de serrage élastique assurée par la précontrainte ligamentaire.

Le tibia postérieur, les fibulaires et les fléchisseurs des orteils sont actifs et réalisent de concert un haubanage actif de la cheville et de l'arrière-pied.

Sous la charge, la stabilité de la cheville dépend surtout de la géométrie des surfaces articulaires, qui assure la congruence, plutôt que de l'action des ligaments en tant que coaptateurs passifs. Un millimètre de déplacement latéral du talus, par défaut de réduction fracturaire, par exemple, diminue la surface de contact de 42 % (RONCONI dans *The foot, biomechanics, pathomechanics and kinetics*). En raison de l'incongruence entre le tenon talien et sa mortaise, le talus doit glisser et tourner lors de la flexion sagittale.

En position debout et durant la marche, la cheville est en instabilité potentielle ; sauf au moment de pleine charge, quand la congruence articulaire augmente avec la mise en contact du toit de la mortaise, tandis que l'amplitude de la rotation diminue. Tout le problème de cette zone jonctionnelle, véritable nœud de transmission tridimensionnel, est en effet le transfert des mouvements de la jambe au pied et vice versa. Dans l'articulation sous-talienne, talus et calcaneus se déplacent en sens inverse. Le valgus calcaneen induit par la rotation médiale de la jambe ou la pronation de l'avant-pied, provoque une extension-pronation-adduction du talus. Le phénomène inverse se produit pour le mouvement de varus calcaneen. En charge, il existe en plus un glissement antérieur du talus qui induit une tension du ligament interosseux et un autoblocage osseux. En fonction de la position du pied, les forces dans les ligaments varient. De même, selon les forces, le rôle des ligaments diffère. Quand elles sont faibles, ils guident les mouvements articulaires et quand elles sont fortes, ils ont plus une fonction de contention et de protection.

- Fibula et syndesmo tibiofibulaire

La fibula, os principal du pied selon DESTOT, pose entre autre le problème de sa mobilité et de la transmission des charges. Son rôle ne peut se concevoir qu'avec le complexe ligamentaire qui lui est annexé assurant par un mouvement de rotation axiale un serrage élastique du talus nécessaire à l'adaptation transversale lors de la marche en particulier en terrain accidenté.

La membrane interosseuse joue un rôle non négligeable dans la stabilité de la cheville, la section de 4 cm distaux augmente l'inversion et la rotation du pied

(UCHIYAMA dans *Distal fibula length needed for ankle stability*). La position postérieure de la fibula serait un facteur favorisant les entorses (Mcdermott dans *Variations in fibular position*).

- Médio-pied et articulation de Chopart

Il détient la clé des rapports fonctionnels entre l'arrière et l'avant-pied. Le médio-pied assure la transition entre un système contraint dont les mouvements sont prédéterminés et un système non contraint à mouvements libres représenté par l'avant-pied. En effet, en chaîne ouverte sans appui, si la flexion plantaire du pied s'accompagne d'inversion et si, à l'inverse, la flexion dorsale s'accompagne d'éversion, les orteils demeurent toujours libres de bouger quelle que soit leur position. L'éversion est la position normale du pied en charge ; en décharge pour obtenir cette position, il faut recourir à la contraction musculaire. En charge, seule l'articulation de Chopart, - dont les deux composantes talonaviculaire et calcanéocuboïdienne ont alors des axes de mouvements parallèles -, est déverrouillée et permet des mouvements dans le plan sagittal pour l'adaptation au sol. D'une part, lorsque le pied va dans l'inversion, les autres articulations verrouillées se déverrouillent, mais celle de Chopart commence alors à se verrouiller et diminue sa mobilité dans le plan sagittal.

Le compartiment latéral est plus dédié à la stabilité.

- L'avant-pied

L'avant-pied est à la fois un capteur sensoriel et sensitif, un système amortisseur et propulseur avec un bras de levier à géométrie variable. C'est un véritable talon antérieur, mais très sophistiqué, il est crucial pour l'équilibre structurel du pied, en son absence (amputation de Lisfranc ou de Chopart) le pied restant se déformera irrémédiablement en varus équin.

Chaque rayon peut être assimilé à une poutre composite formée par l'association du système des parties molles et de la chaîne ostéo-articulaire. Le fonctionnement de chaque rayon est autonome et les cinq rayons sont certes interdépendants entre eux, mais aussi avec les structures en amont. C'est la partie du pied qui subit un maximum de contraintes. Il subit au minimum 1000 impacts par kilomètres.

Les structures anatomiques sont agencées en différents systèmes passifs à fonctionnement automatique. Cela leur permet d'amortir, répartir, supporter et diriger la charge tout en assurant la protection des téguments et des structures internes. Ces systèmes sont couplés à la fonction neuromusculaire.

L'avant-pied est capable, grâce à la perfection de son organisation fonctionnelle, de compenser une perte d'une partie de ses composants structurels. Mais la perte de l'harmonie de la parabolite distale est préjudiciable, le blocage de l'articulation de Lisfranc latérale est invalidant, le blocage d'une articulation métatarsophalangienne latérale, surtout médiane, est incompatible avec la marche. L'amputation des têtes métatarsiennes empêche la fonction propulsive et entrave le jeu normal de la cheville.

Les rayons ont une mobilité sagittale préférentielle et ils sont capables d'un enroulement total (grasp) en flexion plantaire grâce aux articulations trochoïdes interphalangiennes. Par contre, étant donné la prédominance de l'appareil fibrotendineux en plantaire, sa mise en tension lors de la flexion dorsale ou extension rigidifie automatiquement les orteils. On constate que l'appareil capsulaire est très épais en plantaire, renforcé par la plaque fibrocartilagineuse, et que les ligaments collatéraux sont plus développés sur le versant latéral. L'appareil tendinomusculaire est disposé en deux systèmes distincts extrinsèque et intrinsèque. Cette disposition permet la rigidification des orteils pour favoriser leur appui plantaire. Sous l'effet de ces actions combinées, l'orteil se présente en flexion plantaire et en rectitude, avec la pulpe parallèle au sol. Les fléchisseurs courts et longs des orteils peuvent alors donner respectivement la fixation et la puissance à cet appui.

La flexion du premier métatarsien, comme pour le genou, s'accompagne d'une rotation automatique en pronation du métatarsien avec alignement des axes du métatarsien et de la phalange, et donc du système tendineux avec disparition du valgus physiologique. Ce mécanisme permet de centrer la force propulsive et équilibrer les moments rotatoires axiaux déstabilisants. Cela est compromis dans l'hallux valgus, ce qui rend la déformation évolutive.

Le 2^e métatarsien est, lui, le plus fixe grâce à son puissant haubanage ligamentaire sur tout le pourtour de sa base.

L'interdépendance des rayons entre eux ne peut se concevoir qu'avec l'ensemble du pied auquel l'avant-pied est relié par les articulations du Lisfranc médial, médian et latéral, ayant chacune une cavité synoviale indépendante. Le Lisfranc médial conditionne la mobilité tridimensionnelle du 1^{er} métatarsien qui prolonge l'arche médial. Le Lisfranc médian est remarquable par la fixité du 2^e métatarsien, la fixité relative du 3^e métatarsien et, par un véritable système d'emboîtement réciproque, il est le bras de levier distal de la barre de Hendrix. Le Lisfranc latéral est la partie la plus mobile du pied calcanéen.

L'aponévrose plantaire est le lien pratiquement inélastique entre la grosse tubérosité du calcanéus et les bases phalangiennes, en particulier grâce à son robuste contingent médial avec l'appareil phalangosésamoïdien de l'hallux. Elle transmet les forces entre l'avant et l'arrière-pied jusqu'à trois fois le poids du corps, stocke et restaure environ 17 % de l'énergie durant le pas. Toute pronation excessive du pied augmente le stress à son niveau. Elle est fondamentale pour réguler de façon automatique les mouvements d'éversion-inversion du pied et favoriser tel ou tel appui au niveau de la parabole distale. Il y a interdépendance avec le membre inférieur homolatéral dans le concept de chaîne cinématique, mais aussi avec le membre opposé (auquel on peut rattacher le reste du corps) pour la locomotion.

La charge dynamique engendre des forces de compression, de cisaillement et de torsion à répartir et transférer. Pour cela, les structures anatomiques s'agencent en mécanismes capables d'assumer de telles contraintes. Si le coussinet talonnier présente une structure particulière qui lui confère des propriétés d'amortissement viscoélastique, la sole plantaire au niveau de l'avant-pied est étroitement connectée avec les tendons et les articulations. Cette trame fibreuse connecte les têtes métatarsiennes, les bases des premières phalangiennes, les capsules articulaires avec leurs ligaments et les plaques plantaires, ainsi que les gaines des tendons fléchisseurs. Ce réseau fibreux est mis en tension par les métatarsiens sous l'effet de la charge. Il se comporte comme une véritable toile d'araignée tridimensionnelle, telle qu'une déformation engendrée en un endroit sera transmise à distance et amortie par l'ensemble du système. Ce mécanisme automatique et précis est à la base de l'autorégulation de la posture et en statique du transfert oscillant de la charge.

On distingue deux systèmes principaux :

- Un système transversal formé par le ligament intermétatarsien transverse qui s'oppose à l'écartement des têtes et de l'appareil sésamoïdien par son insertion sur le sésamoïde latéral.

- Un système longitudinal composé de l'aponévrose plantaire qui se divise en deux contingents, l'un profond vers le squelette et l'autre superficiel qui adhère à la peau.

L'harmonie de la courbure distale métatarsienne est une nécessité pour le fonctionnement équilibré de l'avant-pied et la répartition harmonieuse des pressions. Cela a été empiriquement reconnu très tôt, ainsi que l'importance de sa restauration dans les cas pathologiques. Tout déséquilibre entre les deux entités crée des forces cisailantes et des hyperpressions responsables de lésions des parties molles stabilisatrices.

Il est admis que la perte de la fonction et de la force du gros orteil tend à surcharger les métatarsiens latéraux. Il est admis aussi qu'un métatarsien trop court a tendance à transférer la charge sur ses voisins. Les bras de levier osseux métatarsiens sont d'une importance capitale, étant donné leur rôle à la fois de tenseurs et d'appui directionnel.

- Architecture ostéo-articulaire

La bonne façon d'augmenter la résistance mécanique d'une structure rigide est de la fragmenter et de relier les pièces obtenues par des moyens de fixation autorisant de petits mouvements pouvant absorber de l'énergie et retarder la rupture. C'est exactement le cas du pied formé de plusieurs pièces osseuses réunies par de nombreux ligaments et susceptibles de déformations contrôlées.

L'architecture ostéo-articulaire est adaptée à la charge et s'agence dans un système de poutres cintrées et d'arches sur lesquelles alterne la charge. LELIEVRE en 1967 a distingué les trois points d'appui principaux du pied au sol : talon, tête des 5^e et 1^{er} métatarsiens. Ces trois points d'appui réalisent un triangle d'appui au sol. Entre ces points d'appui, on a pu définir une voûte soutenue par trois arches : une arche antérieure, une arche médiale bien creusée et une arche latérale moins apparente.

L'arche antérieure est tendue entre la tête du 1^{er} et du 5^e métatarsiens. Cette arche n'existe cependant qu'en dehors de la station en charge. La concavité inférieure de cette arche se poursuit d'avant en arrière et apparaît au niveau des trois os cunéiformes et de l'os cuboïde qui constituent une véritable arche romane. Le cunéiforme intermédiaire représente la clef de voûte de cette arche. A la différence de l'arche tendue entre la tête des métatarsiens, cette dernière persiste en charge.

L'arche médiale est définie entre l'appui cal-canéen et la tête du 1^{er} métatarsien. Elle comprend d'avant en arrière le 1^{er} métatarsien, dont seule la tête appuie sur le sol par l'intermédiaire des os sésamoïdes, le cunéiforme médial, l'os naviculaire, le talus et le calcaneus. La tête du talus représente la clef de voûte de cette arche qui ne peut conserver sa concavité que grâce aux structures ligamentaires et musculaires. L'arche médiale est souple grâce à la mobilité du talus sur le calcaneus.

L'arche latérale est tendue entre l'appui calcaneen et la tête du 5^e métatarsien. Elle est plus courte et plus basse que l'arche médiale et ne comporte que trois pièces osseuses : le 5^e métatarsien ne reposant sur le sol que par sa tête, le cuboïde suspendu au-dessus du sol et le calcaneus reposant sur le sol par l'intermédiaire de ses tubercules latéral et médial. Cette arche est peu élevée, moins apparente et prend appui sur le sol par l'intermédiaire des parties molles. Elle est rigide.

A partir de l'architecture du pied telle qu'elle a été définie, ont été décrits des angles dont les principaux sont représentés par :

- L'angle d'ouverture du pas entre l'axe du pied (représenté par le 2^e métatarsien) et l'axe sagittale du déplacement, ouvert de 15° latéralement.
- L'angle de la ferme médiale (angle de Djian) faisant 125° à 10° près. Cet angle est formé par la droite joignant le pôle inférieur du sésamoïde médial de l'hallux au point le plus bas de l'articulation talonaviculaire et par la droite joignant ce dernier point au point le plus bas de la face inférieure du calcaneus.
- L'angle de la ferme latérale faisant 145° à 10° près. Cet angle est formé par l'axe du calcaneus et l'axe du 5^e métatarsien.
- L'angle d'aplomb du pied au sol (valgus calcaneen) faisant 85°. Cet angle est formé par l'axe du calcaneus dans le plan frontal et par l'horizontale représentant l'appui au sol.

Les métatarsiens ont une concavité vers la plante pour mieux résister à la compression-flexion. Les extrémités de chaque arche, en appui au sol, sont reliées par l'aponévrose plantaire jouant le rôle d'entrait. Elle est fixée en continuité avec le tendon d'Achille à la grosse tubérosité du calcanéus et s'attache distalement aux plaques plantaires des articulations métatarsophalangiennes et à la base des premières phalanges ainsi qu'aux sésamoïdes du gros orteil. Ainsi, par le simple fait de la flexion dorsale des orteils (active ou passive) et selon le mécanisme de treuil (windlass mecanism), l'entrait est mis en tension, le pied se raccourcit et peut ainsi bander son armature squelettique pour creuser les arches (il se raccourcit en s'inversant). Cela augmente sa force d'appui au sol. En même temps, la peau et les parties molles plantaires sont mises en tension et durcies. Lorsque le pied subit le poids du corps, il a tendance à écartier ses points d'appui, ce qui provoque la mise en tension de l'entrait et entraîne l'abaissement au sol des orteils. Dans la mesure où la contraction du long fléchisseur de l'hallux est isométrique et où le gros orteil est fixé au sol, la flexion dorsale de la métatarsophalangienne

proximale provoquée par la bascule en avant du sujet provoque la flexion plantaire de la tibiotalienne. Ce mécanisme synergique à la contraction des jumeaux et à l'effet de treuil de l'aponévrose plantaire est un facteur

important d'économie d'énergie pendant la marche. En outre, en cas de besoin de puissance pour accélérer la marche ou franchir un obstacle, ce muscle peut par recrutement de ses fibres subvenir à ces besoins.

Si le système était symétrique, le contrôle de la composante rotatoire des mouvements serait très difficile. L'existence de porte-à-faux articulaires, par décalage des points d'appui, permet de prévoir le sens du déséquilibre, mais aussi

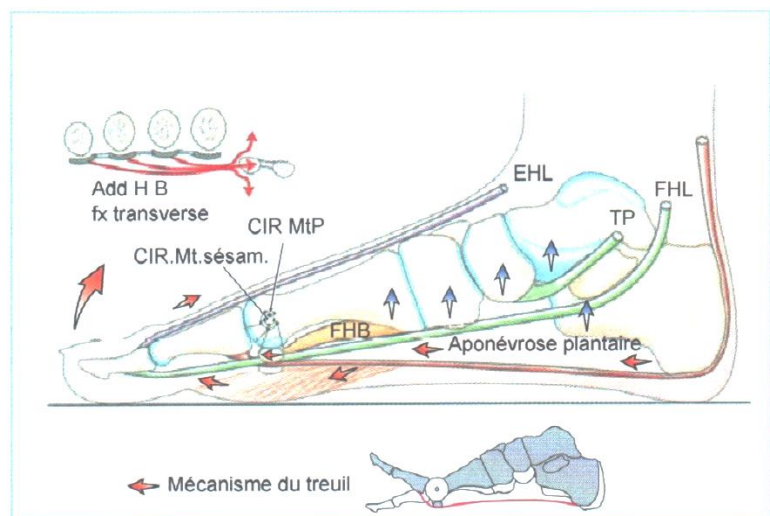


Figure 3. Arche médiale et mécanisme de treuil

d'utiliser ce dernier en organisant de façon économique et efficace les moyens de rééquilibrage.

Les trois porte-à-faux sont :

- Au niveau de l'arrière-pied, le calcaneus se trouve décalé latéralement par rapport au talus qui reçoit la charge corporelle. C'est l'empilement talocalcanéen qui crée passivement un couple de force éverseur de l'arrière-pied.

- De la même façon, au niveau de la barre de torsion de Hendrix, le décalage transversal entre la deuxième tête et la tubérosité postérieure du calcaneus crée sous la charge, un couple de force éverseur pour tout le pied

- Au niveau de l'avant-pied, un porte-à-faux horizontal est formé par la parabole distale des têtes métatarsiennes créant un couple supinant de l'avant-pied, avec effet inverseur sur le pied.

III.C La marche

La marche a été définie par PLAS (1983) comme un mode de locomotion bipède avec activité alternée des membres inférieurs et maintien de l'équilibre dynamique. Les différents pourcentages du cycle de la marche montrent le roulement du pied au sol, puis la phase de passage du pas hors appui :

- La phase taligrade, de 0 à 15 %, où le talon attaque le sol avec un contact maximum sur la tubérosité du calcaneus. Les muscles concernés sont les abducteurs de hanche, les extenseurs de genou, le tibial postérieur et les muscles fibulaires.

- La phase plantigrade, de 15 à 40 %, où le pied entre en plein contact avec le sol. 3/5 du poids du corps se répartit sur la facette postérolatérale et la tubérosité du calcaneus tandis que 2/5 se répartit sur l'avant-pied et sur la voûte médiale. La cheville est en position neutre. Les muscles concernés sont les abducteurs de hanche, le quadriceps et les fléchisseurs plantaires.

- La phase digitigrade, de 40 à 60 %, où le talon décolle du sol, l'appui passant vers l'avant-pied sur les têtes métatarsiennes. Les muscles concernés sont l'iliaque, les abducteurs de hanche, les pelvi-trochantériens, le soléaire, les fléchisseurs plantaires et les muscles rétromalléolaires médiaux et latéraux.

- La phase non portante ou pendulaire, de 60 à 100 %, où s'opère une triple flexion des articulations puis une extension du genou pour allonger le pas et rotation latérale de la hanche. Les muscles concernés sont les fléchisseurs de hanche, les abducteurs de hanche, le gracile, les ischiojambiers et les releveurs de pied.

- Distribution de la charge pendant la marche

A 30 % du cycle de la marche, juste avant la levée du talon, toute la charge est sur l'avant-pied et progresse de latéral en médial, les orteils commencent à prendre la charge à 35 % du cycle pour atteindre un maximum à 50 % du cycle correspondant au tiers de la charge totale. L'avant-pied est en charge pendant la moitié de la phase d'appui. La progression du centre de pression, qui représente la ligne de progression du centre de gravité à travers le pied portant, fournit des informations sur le mode et le temps de distribution de la charge au niveau des différentes zones du pied. Ainsi, après un parcours rapide légèrement décalé en dedans dans le talon et le médio-pied, le centre de pression entre 30 et 50 % du cycle, ralentit au niveau de l'avant-pied et se dirige vers le première espace et la première tête, avant d'accélérer de nouveau, au niveau de l'hallux. L'avant-pied porte trois fois plus de charge que l'arrière-pied.

La surface d'appui maximum de l'avant-pied est un peu plus du tiers de la surface totale d'appui du pied et diminue rapidement alors que la charge augmente, il convient alors de recruter une zone d'appui supplémentaire que sont les orteils. L'efficacité de cette zone d'appui supplémentaire dépend de la capacité de verrouillage des chaînes cinématiques des orteils. Efficace, elle soulage la charge des têtes métatarsiennes.

La force verticale comprime les structures sur la surface d'appui, ce qui se traduit par une pression. Cette pression est nuisible pour les tissus car en plus de ses effets mécaniques, elle bloque la vascularisation, aussi la considération de son temps d'appui est fondamentale. En dehors de la complexité des conditions techniques, de multiples facteurs peuvent influencer les pressions, ce qui rend compte de leur variabilité et de leur difficulté d'interprétation (morphologie du pied, stratégie posturale, stabilité ligamentaire, type de chaussage, âge...). Néanmoins, il existe un seuil de normalité qui ne devrait pas excéder $10\text{kg}\cdot\text{cm}^{-2}$. Il faut

garder en mémoire que la pression n'est pas la charge mais une résultante du mode de transfert de cette charge. Cela sous-entend la mise en jeu et l'efficacité de tous les systèmes d'amortissement de cette charge.

- Adaptation du pied aux différentes allures

Par sa forme en parabole harmonieuse, l'avant-pied peut choisir une infinité de pivots de mouvements. Le 2^e métatarsien, par sa fixité, représente en quelque sorte le levier de vitesse qui permet de changer de rapport. Les pics de pression au niveau des métatarsiens moyens diminuent, alors qu'ils augmentent dans la marche lente. Tout se passe comme si le pied, avec la vitesse, passait de plus en plus rapidement du talon vers l'hallux. Plus la vitesse augmente, plus l'avant-pied prend la charge et subit le premier contact.

Quand la vitesse augmente, et sous l'effet du transfert de poids vers le pied opposé, l'avant-pied utilise la fonction stabilisatrice et propulsive de l'arche médiale et du premier rayon. Plus rapidement, le pivot de mouvement passe sous l'extrémité de l'hallux, c'est le 4^e pivot ou *advanced axis* de BOSJEN MOLLER. Cette séquence d'allongement des bras de levier propulsif est compromise, par exemple, dans le pied plat qui a du mal à verrouiller son arche médial et dans l'hallux valgus par l'impossibilité du verrouillage final de la métatarso-phalangienne.

A ce moment final du pas, la charge à vaincre se dissipe, tandis que la force propulsive est maximum. Toute la puissance musculaire sert à l'accélération, puis au maintien de l'allure. Ainsi cette possibilité d'accélération et de maintien d'une vitesse reflète le bon fonctionnement biomécanique de l'avant-pied et du pied.

III.D Conclusion

Le pied est un organe exceptionnel à la fois mécanique, sensitif et sensoriel. Son caractère viscoélastique et son architecture à géométrie variable rigidifiable lui permettent de régir la transmission des forces et des mouvements de façon précise, coordonnée et synchronisée. Dans un continuum fluide, il est capable d'amortir en se relâchant (lors du choc élastique talonnier), d'emmagasiner de

l'énergie puis de la restituer pour passer à la phase propulsive en se rigidifiant (phase de décollage des orteils).

Le couple articulaire talocrural et sous-talien est caractérisé par le jeu du talus, os « flottant » d'une particulière dureté, transmetteur instantané d'impulsions et d'énergie. Il obéit sur le mode contraint à une mécanique puissante et extrêmement précise, avec une augmentation automatique de la surface d'appui associée à une diminution de la mobilité avec la charge.

La parabole distale de l'avant-pied représente un porte-à-faux oblique sur un plan horizontal, son harmonie et son absence de symétrie procurent un déséquilibre permanent à l'assise métatarsienne avec un moment supinateur. Cela permet, grâce aux oscillations du pied, l'ajustage de l'équilibre et la variation protectrice des zones de pression. Pendant la marche, l'avant-pied permet ainsi de freiner et de diriger la charge du pied calcanéen vers le pied talien (pied de la performance), puis vers le pied controlatéral pour assurer la locomotion bipède. En charge, cette parabole distale a tendance à rouler sur son grand rayon de courbure, ce qui favorise au repos l'appui sur le pied calcanéen, et lors de la marche lente, la sortie du pas sur les métatarsiens latéraux. Les dysharmonies de longueur relative des métatarsiens peuvent, à la sortie du pas, entraîner des pathologies de surcharge.

Le pied talien, auquel appartient l'arche médiale, et le 1^{er} métatarsien présentent un gradient de mobilité décroissant vers son extrémité distale. Inversement, le pied calcanéen, auquel appartiennent les arches latérales formées par le 4^e et 5^e métatarsiens, est de plus en plus mobile vers son extrémité distale, surtout au niveau du 5^e métatarsien.

Le 3^e cunéiforme, grâce à sa position clé entre les deux pieds talien et calcanéen et ses rapports anatomiques, apparaît comme l'os de la jonction et de la cohésion des arches.

Le pied structural ne peut être corrélé directement à son comportement dynamique. Un pied déformé peut présenter des distributions de pressions normales et inversement, un pied d'apparence normale peut présenter des pics de pression anormaux. Les séquences dynamiques force-appui-pression-coordination interne anatomofonctionnelle sont subtiles et peuvent être longtemps compensées en cas de dysfonctionnement.

IV. PHYSIOPATHOLOGIE DE L'HALLUX VALGUS

Nous n'aborderons pas les étiologies particulières neurologiques, traumatiques, inflammatoires, pour ne traiter que l'hallux valgus statique, pathologie plurifactorielle, aux multiples visages anatomocliniques.

L'hallux valgus, -du latin hallus (gros orteil) et valgus (dirigé en dehors)-, possède, à mes yeux, trois caractéristiques : une grande fréquence (c'est la pathologie la plus fréquente de l'avant-pied), une grande variabilité (il n'y a pas un, mais des hallux valgus) et une considérable capacité de nuisance. Non content d'altérer le premier rayon, l'hallux valgus peut entraîner, à la manière de dominos qui tombent en cascade, plusieurs pathologies secondaires des rayons latéraux : déstabilisation métatarsophalangienne, bursopathies inter ou sous-capitométatarsienne, et pourquoi pas une prévalence à développer le névrome de Morton...

Cette nuisance, directe ou indirecte, hisse l'hallux valgus au premier rang des pathologies de l'avant-pied.

La prédominance féminine est franche, jusqu'à 15 femmes pour 1 homme. Cette prédominance est la somme de plusieurs facteurs :

- Un dimorphisme sexuel : une nouvelle technique de mesure de la taille et de la forme des os du pied a contribué à mettre en évidence, contrairement aux données classiques, un dimorphisme du squelette du pied. En effet, les auteurs FERRARI, HOPKINSON et LINNEY ont constaté, chez la femme, une adduction plus marquée du 1^{er} métatarsien et une abduction plus importante de l'hallux qui expliqueraient une prédisposition féminine à l'hallux valgus.

- Une forte influence du chaussage : la chaussure féminine, étroite à bout triangulaire, joue certainement un rôle, important quoique non exclusif, dans la survenue et l'évolution de l'hallux valgus, affection que le Japon découvrit avec l'arrivée de la chaussure de type occidental au détriment des chaussures traditionnelles. Ces chaussures, de par leur forme, exercent une forte pression valgusante sur l'hallux, d'autant plus que celui-ci est plus long et s'accompagne d'un 1^{er} métatarsien court. La présence d'un haut talon, qui surélève le premier

rayon et surcharge les métatarsiens moyens, aggrave les conséquences mécaniques de l'hallux valgus sur ces derniers. Enfin, ce type de chaussure entraîne un conflit avec la saillie médiale de la tête du 1^{er} métatarsien (nommé classiquement exostose) à l'origine de bursopathies et d'inflammations douloureuses (désignées sous le vocable « oignon »), principal acteur de la mauvaise tolérance de l'hallux valgus.

- Il s'emblerait enfin qu'une laxité ligamentaire plus importante chez la femme constitue également un facteur favorisant.

Une étude historique, dirigée par MAFART B., du chaussage au Moyen Age a souligné l'importance des facteurs environnementaux dans la genèse de l'hallux valgus.

- Révélations cliniques

L'hallux valgus peut être responsable de gênes variables :

- Simple désagrément esthétique.

- Conflit douloureux en regard de la saillie médiale du métatarsien (exostose) gênant le chaussage. Une bursite réactionnelle se développe et majore les douleurs. La répétition du conflit de l'exostose avec la chaussure peut provoquer l'irritation d'une branche sensitive de nerf saphène.

- Douleur articulaire de localisation supérolatérale proche du 1^{er} espace inter métatarsien, en rapport le plus souvent avec une arthrose associée.

- Un cor douloureux d'un 2^e orteil déformé en griffe.

- Une métatarsalgie par syndrome de surcharge du 2^e rayon.

- Un névrome de Morton, d'apparition secondaire n'est pas rare.

- Une métatarsalgie médiane par avant-pied rond.

- Pourquoi un hallux valgus

Du fœtus à l'adulte, le 1^{er} métatarsien subit une horizontalisation, une adduction et une dérotation. On conçoit qu'une telle évolution peut laisser place à de nombreux cas de figures.

Si la genèse de l'hallux valgus reste toujours difficile à affirmer, on peut cependant reconnaître des facteurs prédisposant :

- Brièveté du 1^{er} métatarsien, plus court que le 2^e métatarsien (index minus) associé à un excès de longueur du gros orteil (hallomégalie) constituent la disposition idéale pour l'apparition d'un hallux valgus. Cela expliquerait les formes « familiales » de l'hallux valgus.

- La chaussure exerce un facteur valgus au niveau du gros orteil sur ce pied prédisposé et accentue la déformation en valgus. L'hallux a besoin d'agripper (« grasping ») pour fonctionner ce qui est impossible sur les sols artificiels des villes et surtout chez certains modèles de chaussures féminines inhibant toutes les activités des orteils par manque de place. La mise au repos forcé de l'hallux favorise l'accentuation de son abduction physiologique. Le conflit pied-chaussure peut engendrer :

- Une réaction inflammatoire en regard de la saillie interne de la tête du premier métatarsien, plus ou moins hypertrophiée
- Une bursite aigüe du « bugnon d'hallux valgus » soumis à un frottement excessif avec la chaussure.
- Un durillon douloureux sur le bord médial de l'avant-pied et du gros orteil.
- Une complication unguéale de l'hallux, avec l'ongle incarné, déformation de la plaque unguéale et onycholyse.

- Un pied plat valgus peut s'ajouter dans lequel l'allongement de l'arche médiale, favorisé par l'élévation passive du 1^{er} métatarsien et donc son horizontalisation, augmente les contraintes valgusantes sur le gros orteil et une hyperlaxité ligamentaire (surtout chez les obèses). Lors du déroulement du pas, le valgus passif de l'hallux produit notamment une sortie de pas sur le bord médial de l'hallux.

- La disposition en varus du 1^{er} métatarsien, favorisée par un interligne 1^{er} cunéiforme/1^{er} métatarsien oblique favorise l'hallux valgus précoce surtout si le 1^{er} métatarsien est long.

- Il en est de même si la tête du 1^{er} métatarsien est arrondie, avec une crête intersésamoïdienne peu marquée ou inexistante. Cette disposition expliquerait une plus grande mobilité de la tête du 1^{er} métatarsien par rapport à la première phalange et à la plaque sésamoïdienne.

- Modifications anatomiques

Pour les raisons décrites ci-dessus, le gros orteil dévie progressivement en valgus (déviation externe), ainsi qu'une pronation. Le métatarsien dévie, lui, en varus. Les sésamoïdes paraissent se déplacer vers le 1^{er} espace métatarsien mais en réalité c'est la tête du 1^{er} métatarsien qui se déplace en dedans, la position du sésamoïde latéral étant fixée par rapport au 2^e métatarsien.

L'hypermobilité de l'articulation métatarsophalangienne de l'hallux et la fragilité de l'équilibre musculaire vont expliquer l'auto-aggravation des déformations et le dysfonctionnement musculaire :

- Le muscle abducteur de l'hallux suit la translation latérale de l'appareil sésamoïdien et devient plantaire. Le seul muscle « anti-valgus » a perdu sa fonction et n'est plus que fléchisseur de l'hallux. Cette migration plantaire du tendon explique la pronation de la phalange proximale de l'hallux. Ce muscle en devenant plantaire perd aussi sa fonction de rapprochement par poussée du 1^{er} métatarsien vers le second. Le 1^{er} métatarsien peut alors se déplacer médialement.

- Les muscles court fléchisseur et adducteur de l'hallux migrent en position latérale et accentuent la déviation en dehors de l'hallux.

- Le long extenseur de l'hallux ainsi que son long fléchisseur prennent le trajet le plus court de la corde de l'arc et pérennisent ainsi la déformation en accentuant la déviation en dehors de la phalange.

L'usure progressive de la crête intersésamoïdienne ne peut que favoriser ce glissement de l'appareil sésamoïdien.

Les structures capsuloligamentaires latérales se rétractent et fixent la déformation. La déviation permanente du gros orteil en valgus s'accompagne d'un raccourcissement relatif de l'appareil capsuloligamentaire latéral et d'une faillite de la stabilité suite à la distension de l'appareil ligamentaire médial.

Cet appareil distendu accueille le déplacement en médial de la tête du 1^{er} métatarsien accompagnant le métatarsus varus formant ainsi « l'oignon ». Le conflit, inévitable, entre la face médiale de la tête du 1^{er} métatarsien et la chaussure, est à l'origine d'un remaniement osseux de la partie médiale de la tête appelé « exostose ».

On retrouvera une déformation globale de l'avant-pied donnant un aspect de pied étalé, triangulaire, plus ou moins associé à des griffes avec cors douloureux qui auront comme conséquences sur la statique :

- L'étalement de la palette métatarsienne surcharge les métatarsiens moyens et notamment le deuxième. Les métatarsiens extrêmes (1^{er} et 5^e) perdent leur fonction d'appui, et l'hyperlaxité de l'interligne tarso-métatarsienne renforce la surcharge sur les métatarsien moyens. Par ailleurs ces métatarsiens moyens vont se verticaliser, ce qui augment leur angle d'attaque au sol, par rupture de l'équilibre entre les muscles interosseux et muscles longs au profit de ces derniers.

- La rétraction en griffe de l'orteil fait perdre à la phalange proximale sa fonction d'appui, ce qui majore la charge sur la tête métatarsienne.

La luxation de l'articulation métatarsophalangienne termine souvent cette évolution naturelle.

- Types anatomocliniques d'hallux valgus

- Hallux valgus congénital, défini par l'apparition de la déformation avant l'âge de 15 ans. Il présente comme caractéristiques anatomiques une tête métatarsienne très arrondie, rendant instable l'articulation, et une DMMA (distal metatarsal articular angle) importante. La DMMA mesure l'angle entre la surface articulaire de la tête et la ligne médio-diaphysaire du 1^{er} métatarsien. L'hallux valgus congénital conduit aux déformations les plus sévères après 50 ans sans traitement.

- Hallux valgus commun, qui présente un pied souple sans hyperlaxité avec une déformation plus ou moins marquée.

- Hallux valgus pied laxo avec pied triangulaire. Cette forme peut s'aggraver par apparition d'un valgus de l'arrière pied qui est fréquemment associé à un pied plat.

- Hallux valgus « pied tonique », qui est une forme particulière où il existe un contraste entre la forte saillie de la tête métatarsienne et un faible hallux valgus. Le métatarsus varus est modéré. Il s'agit d'un pied rigide sans laxité.

- Hallux valgus arthrosique, constatation radiologique d'une arthrose avec ou sans retentissement clinique. La douleur, lorsqu'elle est présente, est provoquée par la flexion plantaire forcée de l'hallux. Ce type d'hallux valgus a la

particularité de conserver un cartilage correcte sur la partie latérale de la tête métatarsienne.

- Hallux valgus majeur du sujet âgé, déformation longtemps négligée.
- Hallux récidivé, opération chirurgicale non efficace avec parfois aggravation et enraidissement.

- Radiologie

Les modifications radiologiques de la position du sésamoïde latéral, sur la radiographie de face, peuvent servir de classification en trois stades :

- Sésamoïde latéral à cheval sur la corticale latérale, c'est l'hallux valgus débutant avec un métatarsus varus d'environ 12°.
- Sésamoïde latéral entièrement découvert dans le 1^{er} espace intermétatarsien, c'est l'hallux valgus modéré avec un métatarsus varus compris entre 16 et 18° et avec souvent un retentissement clinique sur le 2^e rayon.
- Sésamoïde latéral vu de profil dans le 1^{er} espace intermétatarsien, c'est l'hallux valgus sévère avec un métatarsus varus supérieur à 20°, un valgus phalangien supérieur ou égal à 40°. Ce sésamoïde est souvent avec une couronne ostéolytique plus importante à l'origine proximale du court fléchisseur de l'hallux.

Toutes ces formes anatomiques et fonctionnelles de l'hallux valgus justifient un traitement propre permettant de limiter l'évolution ou du moins son retentissement fonctionnel et notamment postural avant d'envisager un geste opératoire. Les traitements chirurgicaux de l'hallux valgus ne font pas encore l'objet d'un consensus, chaque cas étant un cas particulier avec une déformation plus ou moins importante, un terrain différent et une adaptation variable au chaussage du pied déformé. A ce jour, il n'existe pas de remède médical efficace permettant de réduire la déformation d'un hallux valgus mais plusieurs traitements médicaux permettant d'en limiter l'évolution.

V. MATERIEL ET METHODE

V.A Posturographie

La physique aide à comprendre les mécanismes de la marche. L'homme évolue à la surface de la terre dans le champ gravitationnel. Celui-ci provoque sur lui l'apparition d'une force qui l'entraîne vers le bas. Afin de se déplacer, de nouvelles forces doivent être créées pour remonter son centre de gravité et le propulser vers l'avant.

La composante verticale du poids du sujet (due à la gravité) comprime les structures du pied contre le sol, ce qui soumet la plante à une pression variable selon la zone d'appui. Cette pression lorsqu'elle dépasse un seuil de résistance des tissus est nuisible, notamment en bloquant la vascularisation et en déclenchant un influx nociceptif conscient ou inconscient.

L'étude des appuis est donc une des formes d'explorations fonctionnelles caractérisant soit les conséquences des pathologies du pied, soit le travail du pied pour l'individu considéré, quelles que soient les incapacités prévisibles du fait de pathologie d'organes ou de systèmes autres que le pied.

V.A.1 *Principe des plateformes*

Une plateforme de baropodométrie est une surface, où des capteurs de forces sont juxtaposés, qui peuvent être de technologie à résistance ou capacitance variable (l'intensité d'une force appliquée sur un matériau fait varier sa résistance ou sa capacité électrique), voire à capteurs à fibre optique pour essayer de saisir la valeur des forces de cisaillement, chacun de ces capteurs donne plusieurs fois par seconde une intensité électrique proportionnelle à la force qui lui est appliquée. Ce signal électrique est ensuite transféré (par câble ou par système sans fil) à un système informatique (souvent un micro-ordinateur portable) qui fait la synthèse des mesures de l'ensemble des capteurs durant une période de temps donné, puis les enregistre sur un support magnétique.

Le volume des données numériques est égal au nombre de capteurs de la plateforme multiplié par la fréquence d'acquisition. Par exemple, une plateforme de 60×30 cm avec 4 capteurs.cm⁻² fonctionnant à 50Hz génère chaque seconde 360 000 valeurs numériques différentes. A partir de ces données l'ordinateur calcule les différentes valeurs de pression, temps d'appui, barycentre, etc. Pour faciliter l'interprétation, les résultats sont mis à l'image sur l'écran figurant les zones de même valeur par une même couleur, ce qui permet de dessiner par exemple l'image isobarique du pied si l'on s'intéresse aux pressions. L'empreinte reste une image en deux dimensions pour une réalité biomécanique en trois dimensions, la lecture d'une empreinte peut donc être considérée comme une analyse indirecte de la biomécanique du pied.

En dehors de la complexité des conditions techniques, de multiples facteurs peuvent influencer les pressions, ce qui rend compte de leur variabilité et de leur difficulté d'interprétation. Il faut être attentif aux conditions d'enregistrement. Les principaux facteurs de variation sont la morphologie du pied, la stratégie posturale, la compliance des tissus mous, la stabilité ligamentaire, l'activité musculaire, le type de chaussage, l'âge, l'épaisseur du capiton plantaire et l'activité du sujet.

Analyser la biomécanique du pied revient à réfléchir sur les propriétés du pied considéré comme un système régulé, produisant de l'information et exécutant des commandes, dont les propriétés mécaniques s'exercent en trois dimensions. Analyser l'appui revient à considérer le pied comme interface entre le corps et le support, interface dont le comportement dépend à la fois des propriétés du support d'information qu'elle-même transmet, et de la qualité ou des choix tactiques des éléments et des systèmes sus-jacents.

V.A.2 La plateforme de stabilométrie

Depuis VIERORDT (1860) qui fixait une plume sur la tête de ses sujets pour inscrire les oscillations corporelles sur une feuille enduite de noir de fumée, jusqu'à l'apparition des plateformes de forces couplées à un ordinateur - un siècle plus tard -, les tentatives de mesures en posturologie se sont heurtées aux mêmes difficultés, trouver un appareillage qui :

- ne modifie pas le phénomène observé,
- fournisse un signal analysable.

Dans ce dessein, le sujet est placé debout dans un appareil qui asservit, aux mouvements du centre de gravité du sujet, les mouvements de son environnement visuel et/ou de la plateforme sur laquelle repose ses pieds. Le défi technologique d'un tel appareillage est considérable, notamment pour obtenir des délais de réponse des systèmes mécaniques qui soient cohérents avec la rapidité des réponses du système nerveux central de l'homme.

La plateforme de stabilométrie mesure, à chaque instant d'échantillonnage, la position du point d'application des forces de réaction qui s'opposent au déplacement de la plateforme sous l'impulsion de la masse corporelle, autrement dit : la position du centre de pression, exprimée dans un référentiel à deux dimensions dont le plan coïncide avec celui du polygone de sustentation et dont l'origine est située, par convention, au barycentre du même polygone. Ce centre de pression n'est pratiquement jamais confondu avec la projection du centre de gravité du sujet sur le plan du polygone de sustentation car le corps de l'homme n'est pratiquement jamais en état d'équilibre, mais le centre de pression se déplace continuellement de part et d'autre de la projection du centre de gravité pour la stabiliser. Le centre de pression présente donc des oscillations rapides, non contrôlées, autour des oscillations plus lentes, contrôlées du centre de masse.

- Mesures stabilométriques et interprétation

A partir de ce signal, il est possible d'obtenir la plupart des mesures qui intéressent le thérapeute :

- La position moyenne de la verticale de gravité, X-moyen et Y-moyen, car la moyenne fait disparaître les bruits du centre de pression, c'est le **stato-kinésigramme**. Lorsqu'il est anormal, c'est le contrôle du tonus qui est en cause.

- La fonction d'intercorrélation entre les oscillations posturales frontales (X : droite-gauche) et sagittales (Y : avant-arrière) permet de tester leur indépendant, c'est le **stabilogramme**. Lorsqu'il est anormal, cela indique une asymétrie du tonus de posture.

- L'écart-type par rapport à cette position moyenne, dont l'expression rigoureuse est fournie par **la surface** de l'ellipse de confiance contenant 90 % des

positions échantillonnées du centre de pression. Lorsqu'elle dépasse sa limite supérieure de normalité, alors il y a une anomalie de la précision et de l'efficacité du contrôle des oscillations posturales.

- La dépense énergétique du sujet pour contrôler sa posture orthostatique peut être grossièrement évaluée par le rapport entre la longueur totale des déplacements du centre de pression et la surface à l'intérieur de laquelle il évolue : paramètre de longueur en fonction de la surface, **LFS**. Ce paramètre permet de lire la tactique posturale du sujet, une grande dépense d'énergie (LFS anormal) pour une surface normale ou un sujet qui ne réagit pas à son instabilité (LFS normal mais surface anormale).

- Chez l'homme debout immobile, la verticale de gravité tombe toujours en avant de l'axe tibio-tarsien ce qui crée, par rapport à cet axe, un couple tendant à faire chuter le sujet en avant. Il existe donc constamment un couple égal et de sens contraire produit par la mise en tension des muscles des loges postérieures de jambes et qui s'oppose à cette chute. Plus le sujet est penché en avant, plus la tension de ces muscles s'accroît et inversement. Cette tension musculaire est traduite par le paramètre **VFY**. S'il est bas, alors le tonus est augmenté souvent corrélé avec un LFS bas et une surface normale.

- L'intégration des afférences visuelles dans le contrôle postural est évaluée par le **Quotient de Romberg**, rapport entre les paramètres de surface avec les yeux ouverts et fermés. Nous n'étudierons pas ce paramètre pour notre étude car nous ne voulons prendre en compte le poids du capteur visuel chez ces patients.

-

V.A.3 Normes

Ces normes proviennent de quatre études statistiques sur plateforme normalisée et publiées dans Normes 85 de l'Association Française de Posturologie (AFP).

X-moyen (mm)

Y-moyen (mm)

X-moyen (mm)			Y-moyen (mm)		
X-moyen	Yeux ouverts	Yeux fermés	X-moyen	Yeux ouverts	Yeux fermés
Moyenne	-1,1	-0,3	Moyenne	-29,2	0,3
Limite inf.	-9,6	-10,3	Limite inf.	-57	-51,4
Limite sup.	-11,7	-11,1	Limite sup.	-1,5	-3,6

Surface (mm²)

X-moyen	Yeux ouverts	Yeux fermés
Moyenne	91	225
Limite inf.	39	79
Limite sup.	210	638

LFS

X-moyen	Yeux ouverts	Yeux fermés
Moyenne	1	1
Limite inf.	0,72	0,70
Limite sup.	1,39	1,44

VFY

X-moyen	Yeux ouverts	Yeux fermés
Moyenne	0	0
Limite inf.	-2,61	-4,73
Limite sup.	-3,59	-4,86

Quotient de Romberg

X-moyen	Yeux fermés
Moyenne	249
Limite inf.	112
Limite sup.	677

- Standardisation du protocole

L'utilisation d'une plateforme stabilométrique nécessite la standardisation du protocole qui assure la reproductibilité des examens de l'équilibre statique en position debout et la comparaison avec une population de référence. La première commission de normalisation a été confiée à KAPTEYN en 1983 au Japon. Seule l'Association Française de Posturologie (AFP) a normalisé le protocole et le traitement des données en 1988.

Selon les normes 85 de l'AFP, les sujets sont placés dans une cabine aux dimensions normalisées :

- La position des pieds est imposée afin de permettre la reproductibilité des paramètres car le changement de position des pieds influe sur les osculations latérales du sujet. Les pieds sont nus et les talons espacés de 2cm pour un angle d'ouverture de 30°.
- Les yeux sont ouverts et fixent un boîtier comprenant un fil à plomb sur un mur à hauteur du regard. Ils peuvent être fermés si on décide de varier les paramètres expérimentaux.
- La distance œil-objet doit être égale à 90cm, ce qui correspond à la distance de repos oculaire.

- La durée d'acquisition des signaux de la plateforme est de 51,2 secondes à une fréquence d'échantillonnage à 5Hz.

- Il faut veiller à respecter l'environnement qui comprend une norme visuelle avec un éclairage à 200lux de la cible visuelle.

- L'environnement sonore doit être stable, aucune émission de bruit ne doit être de nature à détourner l'attention du sujet placé en conditions d'examens.

- Enfin il faut assurer une maintenance de l'appareil et de ses composants réguliers (jauges de contraintes, surface, revêtement)

Des gabarits mobiles sont fournis lors de l'achat de plateformes normalisées par l'AFP ce qui facilite le positionnement des pieds.

Les plateformes normalisées AFP sont pour la France les plateformes de marque Medicauteurs, Dune, Satel, Technoconcept, Dynatronic.

V.A.4 Justification de l'utilisation de la stabilométrie

Les différentes parties du corps sont organisées entre elles dans des positions relatives selon une attitude d'ensemble : la posture. Elle est marquée par la nécessité de vaincre la force d'attraction terrestre, qui tend à entraîner le corps vers le sol. L'équilibre du corps nécessite que son centre de gravité se projette à l'intérieur du polygone podal de sustentation, délimité par la face interne des pieds.

En situation d'équilibre, la résultante des actions des surfaces d'appui doit être égale, et de sens opposé, à la résultante des autres forces extérieures. De plus, chaque partie indéformable du corps (la tête, les bras, le tronc, le bassin...) repose sur un segment sous-jacent, par une zone de contact très réduite, le poids de chaque segment exerce un moment au niveau de l'articulation sous-jacente en raison de la localisation excentrée de son centre de gravité propre. Il en résulte que les segments corporels ne peuvent, en règle générale, se tenir en équilibre les uns par rapport aux autres sans l'intervention de forces d'origine musculo-tendineuse ou ligamentaire. L'étude de l'adaptation posturo-cinétique concerne le pied à deux niveaux d'analyse clinique : le pied est déficient et agent perturbateur dans l'aptitude biomécanique du sujet, ou alors le pied est initialement sain mais sollicité de façon anormale du fait des déficiences sus-jacent du sujet. Celles-ci

révèlent des incapacités à s'équilibrer, à rester longtemps en équilibre sans subir des effets de fatigue, à ne plus être capables d'exécuter des gestes courants, du moins de la même manière selon que le pied est « en attaque » de l'action ou reste pour supporter le corps.

Des troubles statiques importants du pied perturbent l'équilibre et sur une plateforme statique le maintien de la posture se fera au prix de manifestations qu'il faudra bien reconnaître comme dynamiques. En fait, depuis BORELLI (1979) et sa verticale gravitaire, on sait représenter la recherche permanente de l'homme debout. La question est donc de pouvoir affirmer que l'obligation de stabilité est difficile à atteindre ou au contraire facile pour le sujet au cours de l'épreuve considérée. Stabilité et équilibre sont deux notions différentes puisqu'on peut manquer d'équilibre dans des conditions de stabilité pourtant favorable. S'interroger sur le rôle clinique du pied consiste à étudier son devenir pendant l'activité de stabilisation.

Les appareils d'examen des pressions plantaires fournissent aussi d'autres informations, notamment sur le temps de contact, les accélérations, le trajet du centre de pression, la symétrie de la marche, de la posture, de l'alignement des membres inférieurs. Connaître les pressions est ainsi utile en pratique clinique pour des mesures individuelles, des études comparatives, l'observation de l'évolution, du même pied sous divers aspects, diverses circonstances, le dépistage des prédispositions pathologiques, pour certaines prises de décisions thérapeutiques ou chirurgicales, pour finaliser un appareillage orthopédique, pour optimiser un geste sportif...

En étudiant les études menées par SNIJDERS (1986) et HELBERT (1997), on constate que les patients porteurs d'un hallux valgus ont une diminution de la force du long fléchisseur de l'hallux et un recul statistiquement significatif du centre de pression. Le déséquilibre ainsi créé provoque des déplacements relatifs des centres de gravité des différents segments anatomiques et la recherche d'un nouvel équilibre. Ces déplacements génèrent des oscillations du corps et des oscillations de la projection au sol du centre de gravité. L'outil stabilométrique semble donc le plus approprié à pouvoir exprimer l'efficacité et le changement sur la posture d'un traitement ostéopathe pour notre étude sur l'hallux valgus.

L'ostéopathe souffre d'un manque significatif de validation scientifique. Si, après une séance, le patient estime que sa douleur a diminué, il n'en est pas moins vrai qu'objectivement ses effets thérapeutiques sont rarement démontrés.

La posturologie considère le signal issu d'une plateforme de force comme un moyen fiable d'objectivation. Observer une modification de certains critères stabilométriques après des soins prodigués dans une logique ostéopathique peut faciliter le dialogue parfois difficile entre intervenants du système de soins en le fondant sur un document incontesté.

V.B Posturologie

Une posture est une attitude, définie par la position relative des segments corporels ainsi que par leur orientation dans l'espace. Plus généralement la terminologie posture transcende la simple description d'une géométrie corporelle particulière et sous-entend les mécanismes nerveux qui régulent les variations d'attitude, intentionnelles ou non. La finalité du contrôle postural est triple :

- Participer à l'élaboration des représentations spatiales.
- Assurer l'équilibre.
- Fournir une base de stabilité à l'action.

La recherche de l'équilibre est le facteur déterminant de l'organisation de la posture. Maintenir la posture de référence ou au contraire l'adapter à l'environnement implique de prendre en compte non seulement les contraintes internes (masses corporelles), mais également externes : gravité, stabilité des appuis sur un support et perturbation. Quoi de plus naturel, chez le bipède que les informations partent du pied. L'homme debout est un pendule inverse qui s'équilibre sur un triangle de sustentation harmonieux formé latéralement de deux pièces normalement symétrique : les pieds. Une déformation ou une asymétrie quelconque se répercutera toujours en amont et nécessitera une adaptation du système postural.

V.B.1 Les récepteurs

On distingue dans la peau des thermorécepteurs, des nocicepteurs, des mécanorécepteurs à bas seuil. Dans le cadre de la posture, les deux derniers nous intéressent. Nous parlerons aussi des récepteurs cutanés de la douleur : nocicepteurs classiques, mécanonocicepteurs, ou fibres silencieuses.

- Mécanorécepteurs de type I, reliés aux cellules de Meissner (réponse rapide tonique, sensible aux variations de pression) et aux cellules de Merkel (réponse lente phasique, sensible à la pression).

- Mécanorécepteurs de type II, reliés aux corpuscules de Pacini (réponse rapide tonique, sensible aux variations de pression) et aux corpuscules de Ruffini (réponse lente phasique, sensible à l'étirement).

- Mécanonocicepteurs, peu myélinisés (fibre fibres A δ), sensation de pique, coupure ou pincement.

- Nocicepteurs, constitués de terminaisons libres, non myélinisés, seuil d'activation élevé,

- Nocicepteurs polymodaux, non myélinisés (fibre de type C), réponse aux stimulations thermiques, chimiques et mécaniques fortes. Impliqués dans le système végétatif et en cause dans les inflammations neurogènes.

Dans la pathologie de l'hallux valgus, les nocicepteurs doivent modifier la zone d'appui pour diminuer leur stimulation. Mais on comprend bien que la douleur n'est pas celle exprimée par le patient, mais celle des informations nociceptives véhiculées qui ne sont pas obligatoirement « conscientisées » par le patient. La nociception non consciente est donc tout aussi responsable d'un trouble posturale qu'une douleur exprimée par le patient. C'est pourquoi ce mémoire se base sur l'hallux valgus clinique, objectivé par l'observation, et non le motif de consultation.

Les muscles, éléments importants du pied, aussi bien dans la statique que dans la dynamique, sont composés des fuseaux neuromusculaires (FNM). Ce capteur, innervé par des fibres Ia, est sensible à l'étirement qui provoque une contraction de celui-ci et une information spatio-temporelle au cerveau permettant le contrôle du geste, c'est le réflexe myotatique. C'est un réflexe fondamental permettant la conservation de la posture érigée en maintenant le tonus des muscles antigravitaires (muscles extenseurs). La force de gravité tend en permanence à allonger les muscles extenseurs de l'organisme et donc à activer les fuseaux neuromusculaires de ces muscles. Ces fuseaux vont exercer une décharge permanente de leurs afférences ; ces derniers, grâce à des collatérales d'étage, vont activer les corps cellulaires des motoneurones des muscles extenseurs. Grâce à l'innervation fusimotrice γ , le système nerveux central peut adapter la sensibilité statique et dynamique des fuseaux neuromusculaires et l'adapter aux besoins de la posture ou du mouvement. La boucle γ agit donc comme un modulateur du réflexe myotatique sous l'influence d'actions supra-spinales. Dans l'hallux valgus, le long fléchisseur de l'hallux va se retrouver tendu comme une corde d'arc et donc étiré. Cette information a pour conséquence une contraction permanente du LFH, situation non physiologique qui a pour conséquence l'impossibilité de recruter ses

fibres lors de la phase propulsive de la marche. L'hallux valgus, via l'information du FNM, aura donc un effet néfaste sur la marche et la dynamique du pied et donc une répercussion, par compensation, sur certaines chaînes musculaires et articulaires du corps. Ce phénomène sera développé lors de la présentation des syncinésies musculo-articulaire (SMA).

Les organes tendineux de Golgi (OTG) présents dans les tendons (10 % seulement) et dans les lames tendineuses intramusculaires des muscles penniformes et les aponévroses des muscles (90 %), sont innervés par des fibres Ib, myélinisés. Ils sont sensibles aux variations de tensions musculaires. Lors de la mise en jeu des organes tendineux de Golgi, des collatérales d'étage de leurs afférences vont, par l'intermédiaire d'un motoneurone inhibiteur, provoquer une diminution de la décharge de motoneurons α et donc une tendance au relâchement musculaire. Il s'agit en fait du réflexe myotatique inversé qui n'agit que dans des conditions extrêmes.

Les récepteurs articulaires sont nombreux au sein du complexe podal et permettent une perception du mouvement articulaire, ils sont innervés par des fibres II ou III.

Les extérocepteurs cutanés transmettent des informations aux muscles par l'intermédiaire des voies polysynaptiques, l'ajustement provoqué sera fonction de la sollicitation. Une partie des informations transitent également par les voies lemniscales et extralemniscales vers les centres supérieurs. Dans les conditions normales de fonctionnement, ces corpuscules donnent donc des boucles réflexes segmentaires qui interviennent dans l'ajustement du tonus de base des muscles et des informations suprasegmentaires, intégrées par l'ordinateur central. Lors de la marche, l'extérocepteur plantaire va permettre d'informer le système postural d'aplomb de l'appui au sol. La propulsion s'adapte alors aux contacts des pieds.

La contribution posturale du pied dépend à la fois des qualités de ses capteurs, de l'organisation des voies qui les desservent, de l'intégration et de l'usage qui peut en être fait. Le pied n'est pas pris comme une entité isolée mais intégré dans la gestion des autres entrées construisant l'aptitude posturo cinétique. L'organisation des capteurs au sein de l'architecture cutanée souligne l'importance des propriétés mécaniques de la peau et des articulations dans l'optimisation de leur fonctionnement. La fonction posturale du pied semble donc bien indis-

sociable de son aptitude biomécanique. Les traitements ostéopathiques pourraient être évalués selon ce double objectif, à savoir redonner un maximum de mobilité aux articulations du pied pour retrouver une bonne biomécanique et donc une bonne information proprioceptive qui aurait pour conséquence de compenser de mauvaises informations de la sole plantaire (impossible d'agir dessus en ostéopathie). Quand on parle du « pied » en tant que capteur ou adaptateur podal, cela englobe l'ensemble des deux pieds et de leurs constituants proprioceptifs et extéroceptifs.

- Les voies nerveuses

Les récepteurs sont sous la dépendance du nerf ischiatique par l'intermédiaire des nerfs tibiale et fibulaire commun. Les afférences cutanées, articulaires et musculaires convergent donc vers la moelle via les racines de L4 à S3 qui constituent le premier niveau d'intégration. Le deuxième niveau d'intégration est encéphalique qui fait intervenir la substance réticulée, le cervelet, les noyaux gris centraux, le cortex pariétal et frontal. On portera donc une attention ostéopathique particulière à l'étage des lombaires et sacro-iliaque. Nous savons que des informations nociceptives pourront avoir un retentissement sur le même étage au niveau du myotome, dermatome et viscérotome via la sensibilisation centrale qui crée une réponse souvent mal adaptée au niveau de l'étage considéré. On retrouve souvent une DSV (dysfonction somato-vertébrale) à cet étage qui se caractérise, selon RUMNEY, par :

- Texture des tissus anormale (tissue texture abnormality).
- Asymétrie des repères anatomique (asymetry).
- Restriction de la mobilité (restriction of motion).
- Tissus sensibles à la douleur (tenderness).

La structure originale du pied rend possible une grande variété de déformations qui interviennent dans la détermination des caractéristiques de la force de pression. L'innervation fonctionnelle du pied assure au système nerveux central, grâce à la richesse des récepteurs sensoriels, une information précise sur les caractéristiques de la force de pression et, grâce à des boucles nerveuses de rétroaction rapide, un contrôle permanent de la force de pression. Ainsi les

arguments physiques, d'anatomie, et de physiologie permettent de faire du pied l'organe fondamental de l'équilibration.

V.B.2 Epine irritative plantaire

Sous le nom d'épine irritative d'appui plantaire (EIAP), sont regroupées les zones de contact avec le sol, spontanément et consciemment douloureuse et les zones de contact entraînant des stimulations nociceptives infraliminaires. Les EIAP se définissent de la façon suivante :

- Ce sont des zones nociceptives podales conscientes ou non, qui lors de leur mise en contact avec l'environnement entraînent une modification de la posture ou de l'équilibre chez l'homme debout.
- Leur stimulation par une palpation appuyée doit réveiller la douleur.
- Leur inhibition doit entraîner des variations posturales cliniquement et instrumentalement objectivables.

Les terminaisons nerveuses libres sont vraisemblablement la voie de la douleur mais il semblerait que tous les récepteurs peuvent participer à la nociception si l'intensité de la stimulation est suffisamment importante. Les stimulations nociceptives entraînent chez l'homme une réponse de protection en flexion, ce qui en posture debout diminue ou supprime le contact avec le stimulus désagréable. L'étude de PRADEL A., PRADON D. et VUILLERME N. en fait la démonstration où, après expérience sur un groupe de dix personnes, une stimulation douloureuse, de type mécanique, de la sole plantaire dégrade le contrôle de la posture bipède chez les sujets avec contrôle sur plateforme de stabilométrie. Cette étude met en évidence l'importance des afférences nociceptives de la sole plantaire sur le contrôle postural bipède.

Si l'intensité de la stimulation est assez faible, voire infraliminaire, l'adaptation restera discrète pouvant facilement passer inaperçue lors de l'examen clinique. La présence d'une EIAP inconsciente se définit dès lors comme une pathologie cutanée potentiellement nociceptive modifiant l'origine plantaire des boucles de régulations de la posture. Il est clair que l'information sensorielle, dont le seuil de sensibilité est de peu inférieur à celui de la douleur, modifie les régulations des activités posturocinétiques. Le patient présentant un hallux valgus

est dans ce cas, c'est-à-dire une EIAP consciente ou non qui modifie sa posture. Elle entraîne pour celui-ci un évitement instinctif de l'appui sur la zone douloureuse. Le pied prend ainsi une position vicieuse (LELIEVRE, 1981), qui est, alors, une position antalgique varisante de l'avant-pied.

JANIN M. a montré dans une étude publiée dans *Posture et Locomotion* que lorsque la variation tactile plantaire permet une réafférentation correcte en diminuant l'information cutanée altérée par cette pathologie, la dynamique des pieds redevient normale lors de l'activité posturocinétique de la marche. En neutralisant une EIAP, il confirme sa potentialité nociceptive sur la locomotion et son origine dans l'altération des systèmes de contrôle des activités posturocinétiques.

Le but de l'examen clinique sera alors, par des tests posturo, de montrer cette modification et ainsi montrer que l'hallux valgus entraîne un trouble du système postural fin. La posturographie sera donc justifiée pour observer cette modification qui passe inaperçu à l'examen clinique. Bien sûr en fonction de la répercussion sur les stimuli nociceptifs de l'hallux valgus, on pourra percevoir à la verticale de Barré une déviation basse, c'est pour cela que cette observation sera comprise dans le protocole proposé.

V.B.3 Etude de la posture de patients atteints d'hallux valgus

Chez l'homme normal en position bipodale, les travaux de posturographie montrent que le centre des pressions podales, reflet de la ligne de gravité se situe en avant et en dedans des axes des mouvements du pied. La ligne de gravité, à la verticale du centre de masse, crée des hyperpressions podales antéro-internes qui peuvent entraîner des effondrements de l'arche interne tant statique que dynamique (KAPANDJI, 1977). L'antériorisation de la ligne de gravité augmente, en retour, l'activité musculaire du muscle soléaire. Cette hyperactivité soléaire recule le fût jambier chez la personne normale, ce qui augmente l'ouverture de l'angle pied-jambe et diminue la congruence articulaire de la cheville. L'augmentation des contraintes associée à la diminution de congruence au niveau de la cheville majore le valgus (VILLENEUVE 1992) et les hyperpressions antéro-internes.

Puisque la position de la ligne de gravité potentialise les contraintes au niveau de la partie antéro-interne du pied, on s'attendrait à une symptomatologie riche au niveau des appuis du premier rayon, en particulier lorsque le patient présente un hallux valgus. Mais il n'en est rien, les conséquences algiques de l'hallux valgus se manifestent soit par une inflammation cutanée en regard de la partie interne de l'articulation métatarsophalangienne de l'hallux, soit au niveau même de l'articulation. Confirmant cette interprétation, une étude de podométrie de COME (1999), sur une population présentant des hallux valgus asymptomatiques, montre qu'il existe un hypo-appui sous la tête du premier métatarsien. Les patients de l'étude de COME sont certes asymptomatiques mais il n'est pas exclu qu'une zone nociceptive infraliminaire n'ait entraîné chez eux une adaptation de la position du pied en varus, ce qui diminuerait la contrainte au niveau de la première tête. Nous sommes donc, comme déjà évoqué, dans le cas d'une épine irritative d'appui plantaire qui informerai le cervelet d'une information nociceptive (non consciente) qui engendre une réponse posturale de varus du pied et donc d'hypo-pression du premier rayon. Il y a donc une modification du système postural d'aplomb chez les sujets porteurs d'un hallux valgus.

V.B.4 Influence de l'ostéopathie sur la posture

Le traitement des dysfonctions mécaniques rachidiennes et des membres représente le motif de consultation le plus fréquent de la plupart des cabinets d'ostéopathie. Ces dysfonctions génèrent des réponses motrices inadaptées sur tout le territoire du motoneurone alpha et induisent des conséquences sur les afférences, sensibles ou sensorielles, de certaines des entrées du système postural d'aplomb.

Ainsi, FAUGOUIN A. et PLAS J. ont mesuré l'effet d'un traitement ostéopathique du pied sur la posture à l'aide d'enregistrement stabilométrique. En résumé, cette étude montre que le traitement ostéopathique de l'entrée podal a une influence certaine sur le fonctionnement du système postural fin en situation yeux fermés et ouverts en paramètre Y-moyen et en situation yeux fermés en paramètre X-moyen. De plus il est important de pointer la persistance à trois semaines des effets du traitement.

En lisant cette étude menée sur 30 sujets, il est intéressant d'expérimenter sur des patients atteints d'hallux valgus avec un protocole spécifique. Cela permettrait d'objectiver une vérité théorique ostéopathique ou au contraire de démontrer que les techniques ostéopathiques ne peuvent influencer la posture par un raisonnement théorique.

Nous pouvons noter aussi les études effectuées par DUJOLS A. qui montrent l'efficacité de techniques ostéopathiques avec objectivation par mesure stabilométrique. Cette étude montre notamment les variations statistiques sur 20mn, 48H et 7 jours de techniques HvBa sur C2 et C0, crânienne sur la relance du MRP et une manipulation de l'ATM coaptation-décoaptation et équilibre dynamique.

On peut encore citer les études stabilométriques de DEBUSSCHERE M. et SCHEIBEL A. qui montrent après techniques de haute vélocité et fascia des modifications de certains paramètres stabilométriques jusqu'à 7 jours.

Cette démarche intéressante permet d'objectiver l'efficacité d'une technique ostéopathique sans apporter une quelconque explication.

V.B.5 Tests posturaux

- Observation de la ligne de gravité

L'observation commence de profil. Nous prendrons comme repères le bord postérieur de l'apophyse styloïde du 5^e métatarsien, le grand trochanter, l'acromion et le tragus de l'oreille. Il faut noter que lors de l'observation de profil, le sujet susceptible de présenter un hallux valgus aura toutes les chances de présenter un scapulum antérieur et un sacrum postérieur, décrit par BOURDIOL R.J. Cette antériorisation de la ligne de gravité est certainement un des phénomènes qui explique le mieux les pathologies de contraintes fonctionnelles podales. En effet, cette avancée de la ligne de gravité tend, par la charge corporelle, à positionner le pied en pronation (KAPANDJI, 1977). Cette hyperpronation potentialise les contraintes au niveau du premier rayon jusqu'à le déformer (c'est le cas de l'hallux valgus), situation qui entraîne, en réaction une insuffisance d'appui du premier rayon. Il serait pertinent de mettre en corrélation les profils antérieurs retrouvés avant protocole chez ces individus sachant que ce profil entretient cette pathologie.

Pour la verticale de Barré, l'observation est de dos et les repères sont le vertex, épineuses de C7, T7, L3, le pli interfessier et le milieu des pieds écartés de 30°. Le sujet, comme pour l'observation de profil, reste immobile, détendu, bras le long du corps, les dents ne se touchent pas et le regard à hauteur des yeux. On pourra remarquer la déviation basse (pli interfessier et L3 déviés) présente chez les patients atteints d'une EIAP ainsi qu'une déviation totale (tous les repères du même côté). Le problème vient alors du bas, avec une dysfonction sur le capteur podal et nous sommes en présence d'une chaîne dysfonctionnelle montante. Il serait intéressant de comparer via des clichés, la verticale de Barré avant et après traitement.

- Appui unipodal

Le temps d'appui unipodal, élément du test de TINETTI, est reconnu initialement comme l'un des examens qui évalue le mieux le risque de chute traumatisante chez la personne âgée. En posturologie clinique, il permet d'apprécier la qualité de l'appui podal.

Le sujet est à proximité d'un support auquel il pourrait se raccrocher. L'examineur explique qu'il lui demande de se tenir sur un pied le plus longtemps possible. Il gardera son regard à l'horizontal, dents desserrées et bouche fermée. Il le prévient qu'il reste à côté de lui pour le soutenir si nécessaire. Il faudra vérifier que les genoux ne se touchent pas et soient à même hauteur. Il est précisé que le lever de la jambe doit amener la pointe du pied franchement au dessus du sol (minimum 1cm) et la jambe en appui complètement en extension. Il déclenche son chronomètre dès que le pied a quitté le sol. Ces indications seront répétées de façon identique pour l'autre pied dans les mêmes conditions.

On observera dans un premier temps comment le pied réagit à l'appui unipodal. La réponse physiologique est que le calcaneus se verticalise qu'il soit en valgus ou en varus. Le temps que le patient reste en appui unipodal est de 30sec pour un adulte yeux ouverts et 15sec yeux fermés. Si le patient n'y arrive pas, alors on peut supposer qu'il y a une mauvaise intégration du capteur podal (extéro et proprioceptif) et que le système postural ne propose pas une stratégie qui lui permettrait de tenir en appui unipodal. Si la personne arrive à tenir les 30

secondes mais que le pied montre beaucoup d'oscillations (danse des tendons), on peut alors supposer que la proprioception du pied fait défaut.

Ce test clinique permet de supposer une interaction entre l'hallux valgus et un trouble de la statique unipodal du pied. Il faudrait refaire ce test après traitement pour observer son effet sur la redistribution stratégique du système postural d'aplomb en appui unipodal.

En revanche pour prendre en compte ce test il faut effectuer un test d'exclusion au préalable : le test d'antépulsion passive. Ce test simple à réaliser permet d'observer la stratégie adoptée par le patient à savoir de cheville ou de hanche. En effet si la personne est en stratégie de hanche, les réponses aux tests ne seront pas les mêmes et donc tout le traitement proposé ne sera pas quantifiable sur le plan de son efficacité. La publication de VILLENEUVE S. et al. dans *Posturologie clinique, dysfonctions motrices et cognitives* montrent en effet que la manœuvre d'antépulsion permet de définir, au-delà de 50 ans, un groupe de sujets en tactique de hanche. Il montre que chez ces patients le temps d'appui unipodal est proche de 5 secondes. Il sera donc effectué chez tous les patients de plus de 50 ans un test d'antépulsion passive qui sera un caractère d'exclusion dans le choix des patients. Ce test se réalise debout, pied nu, le regard horizontal, la bouche fermée et les dents desserrées. Le praticien explique au sujet que la poussée progressive qu'il va imprimer à son buste ne risque pas de le faire tomber et demande à être prévenu dès que le sujet sent les talons appuyer moins fort sur le sol. Il applique alors une main entre nombril et pubis et l'autre transversalement sous la pointe des omoplates. Il pratique alors avec sa main postérieure une poussée progressive et légère vers l'avant qu'il arrête dès que le patient sent une diminution de pression au niveau de ses talons. A ce moment le praticien apprécie avec sa main antérieure si le bassin du sujet a avancé ou reculé. Si le bassin avance alors on observe une tactique de pied et le contraire pour une tactique de hanche. Ces derniers seront donc exclus de l'étude menée dans ce mémoire.

- Test des extenseurs du poignet debout

Ce test est basé sur la relation permanente entre les groupes musculaires phasiques responsables du mouvement et les groupes musculaires tonico-phasiques responsables de la stabilité du corps. Le patient étant debout, ce test est

intéressant pour mesurer dans quelle mesure le système postural d'aplomb s'adapte aux différents capteurs et en particulier le capteur extéroceptif du pied (la sole plantaire). Selon les travaux de PIRET et BEZIERS, il existe une relation entre les muscles fléchisseurs, rotateurs médiaux et adducteurs des membres. En statique, ces muscles ont une synergie homolatérale (tactique tonico-phasique-homolatérale) alors qu'en dynamique, lors de la marche, ils ont une synergie croisée.

Ce test s'appuie sur le réflexe nucal décrit par MAGNUS et KLEIJN en 1924 : la rotation de la tête d'un côté augmente le tonus des extenseurs et des rotateurs externes du même côté.

Physiologiquement, la force des extenseurs du poignet, membre supérieur en antépulsion à 90° diminue lors d'une rotation homolatérale de la tête et une version controlatérale des yeux.

Le patient est debout, pieds écartés de 30°, tête droite, regard fixe devant une cible à plus de 4m, bouche fermée sans serrer les dents. Les membres supérieurs à tester en antépulsion à 90°, poignet en extension forcée.

Le praticien est debout face au patient, d'une main il soutient l'avant-bras du patient tandis que de l'autre main, il teste la force des extenseurs du poignet du patient en demandant de résister à la flexion qu'il induit.

Il demande ensuite une rotation de la tête du côté du bras tendu en gardant le regard à l'horizontal et les yeux fermés sans version oculaire puis reteste. Physiologiquement, on doit retrouver une perte de force du côté testé.

Il demande ensuite de tourner seulement les yeux du côté du bras tendu en gardant les yeux fermés. Physiologiquement, on doit retrouver une augmentation de la force de résistance. Si l'hallux valgus perturbe le capteur podal alors les résultats seront aphysiologiques. Il serait intéressant de refaire ce test après traitement pour observer l'influence de celui-ci sur le capteur podal.

V.B.6 Les syncinésies musculo-articulaires (SMA)

Ce principe développé par Serge HELBERT, Alain FAUGOUIN et Jean-François HENNEBICQ est basé sur le principe neurologique des syncinésies, c'est-à-dire la contraction involontaire d'un muscle ou d'un groupe de muscles en

réponse à une contraction volontaire d'un muscle ou d'un groupe de muscles survenant lorsqu'on effectue un mouvement. Ce principe leur permet d'imaginer un outil d'évaluation des différentes chaînes posturales toniques qui forment des syncinésies et qu'ils rattachent à des capteurs isolés du système postural d'aplomb.

Pendant la marche et les gestes fonctionnels, les membres supérieurs et inférieurs fonctionnent sous forme de syncinésies qui aboutissent à la formation de schémas. Ces schémas sont représentés par une chaîne musculaire avec un muscle starter partant de la ceinture scapulaire et un muscle terminal au niveau podal.

Il existe différentes SMA mais dans le cas de l'hallux valgus, la SMA latérale est la plus pertinente. Elle représente le temps digitigrade de la marche et notamment la propulsion via le long fléchisseur de l'hallux. La chaîne articulaire est représentée par le 1^{er} métatarsien, le naviculaire, le talus, la fibula et l'iliaque. La chaîne musculaire est définie par le long fléchisseur de l'hallux, le biceps fémoral, le tenseur de fascia lata, le grand adducteur, le piriforme, le petit fessier, le psoas, le grand dorsal et le rhomboïde. Les muscles starters sont le grand dorsal et rhomboïde et le long fléchisseur de l'hallux. Il est vrai que cette théorie ne fait pas l'objet d'une publication, mais néanmoins il me paraît important d'avoir une vision qui englobe ensemble l'hallux valgus et la marche. En effet les syncinésies sont des conséquences de l'observation de la marche et de la physiologie musculaire et articulaire pendant celle-ci. Cette vision permet de mettre l'appui podal et ses troubles au centre de la posture du patient. Lors de l'élaboration du protocole pour cette expérience, j'ai donc décidé d'intégrer la notion de SMA afin d'intégrer de façon globale la posture du patient.

V.B.7 L'étude de Serge HELBERT

Le constat d'un travail antérieur est le suivant : les sujets porteurs d'un hallux valgus présentaient des modifications massives de leur comportement de stabilisation debout au repos, en particulier un recul statistiquement très significatif de leur centre de pression et une diminution de la force du muscle long fléchisseur de l'hallux (LFH) doté du bras de levier le plus important sur le levier

inter-résistant du pied. Ces résultats forts surprenants l'amènent à poser cette problématique : cette relation entre recul du centre de pression et diminution de la force du LFH chez les porteurs de l'hallux valgus est-elle fortuite ?

Pour son étude il choisit 49 patients avec au moins un hallux valgus d'au moins 15° et 33 patients ayant un déficit du LFH sans hallux valgus. Il met en situation pieds nus, pieds chaussés et pieds chaussés avec orthèse sous capital placé sous la première tête du 1^{er} métatarsien pour chaque hallux valgus sur une plateforme de stabilométrie.

Son étude montre que sa pose d'orthèse entraîne une augmentation de la force du LFH mais aussi que le système postural d'aplomb s'adaptait en reculant le centre de gravité du sujet. Tout se passe comme si, faute de pouvoir produire une pression suffisamment forte à l'extrémité antérieure du bras de levier inter-résistant de l'arche interne du pied, le centre de pression recule, 10mm en moyenne, sur l'axe sagittal du patient. Il remarque aussi que le chaussage n'a pas modifié les paramètres stabilométriques.

Je cite sa conclusion : « *La cohérence mécanique mise en évidence par cette étude stabilométrique des hallux valgus attire l'attention sur le rôle des muscles du pied dans les phénomènes de stabilisation : en animant le clavier des métatarsiens et des orteils, ils modifient intensité et point d'application des forces de pression exercées par le pied sur le sol, et par conséquent la position du point d'application de la résultante de ces forces.* »

Serge HELBERT nous démontre donc que la déformation entraîne une réponse neuromusculaire directe sur le LFH. Le capteur podal est donc sûrement capable de perturber les boucles réflexes segmentaires qui interviennent dans l'ajustement du tonus de base des muscles et des informations suprasegmentaires, intégrées par l'ordinateur central.

L'orthèse proposée par HELBERT a permis de réguler cette information en créant un leurre, est-ce que l'ostéopathe peut en faire autant avec un traitement, c'est l'objet de ce mémoire.

VI. LE PROTOCOLE

Les pathologies podales d'hyperutilisation sont souvent asymétriques. L'observation des frottements créant des hyperkératoses montre volontiers des localisations symétriques, mais des gravités inégales. Dans l'hallux valgus, l'atteinte est souvent symétrique, comment savoir si un patient sera le plus déstabilisé sur le plan postural par l'un ou l'autre ? L'analyse selon la latéralité est souvent prise en défaut puisque gestes professionnels, passions sportives ou de loisirs s'opposent à cette déduction simple. Il est donc trop compliqué de justifier un traitement asymétrique en fonction de la latéralité seule, j'ai donc préféré mettre ce protocole sur les deux hallux valgus lorsqu'ils sont présents de façon bilatérale. De plus, comment savoir de quelle façon et quel pied perturbent le plus le corps ?

Le protocole est basé sur l'analyse faite à partir des précédents chapitres. Il est fondé sur la lecture de l'anatomie du pied et de sa biodynamique, ainsi que de la physiopathologie de l'hallux valgus. Ces chapitres nous permettent de comprendre les troubles de cette pathologie et de ses retentissements fonctionnels sur le pied. On peut donc mettre en place un certain nombre de techniques qui vont permettre de diminuer ces perturbations, notamment les tensions musculaires, ligamentaires et tissulaires. Mais s'arrêter à cette démarche reviendrait à ne rien faire, ce serait seulement faire un traitement très local sans s'intéresser au patient dans sa globalité. Pour permettre de prendre en compte cette globalité, pilier de l'ostéopathie, j'ai décidé d'introduire des concepts de posturologie appliqués à l'ostéopathie. En introduisant l'analyse de la posture dans cette étude, le patient se retrouve dans une vision globale du corps qui a pour référence sa posture. La meilleure façon de montrer l'intérêt de ce protocole sera donc d'analyser son effet sur la posture de ce patient.

Prendre comme référence la posture du patient nous oblige à effectuer des mesures précises et reproductibles, mais aussi à avoir un référentiel, une norme. La plateforme de stabilométrie est, pour l'instant, l'outil le plus adapté pour ce genre d'analyse. Grâce à GAGEY P.M., la mise en place des normes 85 nous permet de pouvoir comparer, analyser et reproduire les mesures faites sur

plateforme de stabilométrie. Cela permet aussi de pouvoir prendre comme référence d'autres études faites sur cet outil et de pouvoir en comparer les résultats. La posture du patient est donc mesurable et quantifiable, ce qui permet à cette étude de pouvoir être analysée, critiquée et comparée sur des bases scientifiques et des publications. Cet aspect permet aussi de répondre de façon plus juste à la problématique de ce mémoire : l'ostéopathe peut-il influencer la posture d'un patient atteint d'un hallux valgus ?

VI.A Matériel utilisé

La plateforme utilisée pour cette étude est la *WINPOSTURO* du fabricant Medicateurs. Cet outil a l'avantage d'être normalisé suivant les normes A.F.P. 85, la société est d'ailleurs membre de l'A.P.E. (Association Posture et Equilibre), ce qui permet une implémentation automatique des dernières évolutions validées par l'A.P.E.

La plateforme est gérée par le logiciel de stabilographie statique et dynamique *Winposture NV Software*. Ce logiciel permet la production de la totalité des données stabilométriques normalisées A.P.E. 85.

Pour cette étude, les paramètres de la plateforme, ainsi que les conditions d'enregistrement seront basés sur les normes 85 de l'A.F.P. :

- La position des pieds est imposée afin de permettre la reproductibilité des paramètres, car le changement de position des pieds influe sur les osculations latérales du sujet. Les pieds sont nus et les talons espacés de 2cm pour un angle d'ouverture de 30°.

- Les yeux sont ouverts et fixent un boîtier comprenant un fil à plomb sur un mur à hauteur du regard. Ils peuvent être fermés si on décide de varier les paramètres expérimentaux.

- La distance œil-objet doit être égale à 90cm, ce qui correspond à la distance de repos oculaire.

- La durée d'acquisition des signaux de la plateforme est de 51,2 secondes à une fréquence d'échantillonnage à 5Hz et une quantification de 12 bits.

- L'environnement sonore doit être stable, aucune émission de bruit ne doit être de nature à détourner l'attention du sujet placé en conditions d'examen.

Malheureusement il n'a pas été possible de quantifier l'éclairage à 200lux, ni de s'assurer de la maintenance de l'appareil et des ses composants.

Tous les enregistrements ont été réalisés yeux ouverts uniquement. Nous n'avons pas réalisé d'enregistrement yeux fermés, car les différentes études concernant la modification d'information du capteur podal en situation yeux fermés ne donnaient pas de réponses statistiquement significatives (OKUBO J., WATANABE L., BARON J.B., HELBERT S., FAUGOUIN A.).

Chaque patient a été enregistré avant et après application du protocole.

L'analyse statistique a porté sur tous les paramètres retenus pour leur intérêt : Xmoyen (position moyenne du centre de pression dans plan latéral), Ymoyen (position moyenne dans plan antéropostérieur), Surface (anomalie de la précision et de l'efficacité du contrôle des oscillations posturales), VFY (tonus des muscles de la loge postérieure) et LFS (dépendance énergétique pour le contrôle postural).

Pour chaque paramètre, a été réalisée une comparaison de moyenne entre les distributions des paramètres obtenus avant et après mise en place du protocole.

En ce qui concerne l'observation de la verticale de Barré, on utilisera un niveau laser Bosch utilisé dans le bâtiment, pour la construction de murs notamment.

VI.B Choix des patients

La définition d'un hallux valgus se fait en médecine à partir de clichés radiologiques montrant une déviation avec un métatarsus varus d'environ 12° (premier stade). Devant la difficulté de prendre ce critère en compte pour le choix des patients, j'ai préféré me baser sur l'observation visuelle d'une déviation vers l'intérieur du gros orteil. Il n'y a pas de limite dans la déviation, en revanche toutes personnes ayant subi une intervention chirurgicale au niveau du pied sont exclues de cette étude. En effet, les résultats seraient alors difficilement interprétables et le protocole ne serait plus spécifique à l'hallux valgus.

Pour la même raison, toutes personnes positives au test d'antépulsion passive sont exclues. Ces sujets sont alors passés en stratégie de hanche et le capteur podal n'a donc plus la même importance dans le système postural d'aplomb.

Il en sera de même avec toute personne : diabétique, du fait de la diminution pathologique de la qualité de la sole plantaire ; atteinte d'une pathologie affectant le vestibule ou causant un trouble de l'équilibre ; prenant des neuroleptiques ou antidépresseurs qui diminuent la qualité de la sole plantaire.

Les personnes choisies pour cette étude sont 16 femmes et 2 hommes qui ont entre 22 et 61 ans, tous porteurs d'un hallux valgus observables visuellement, fonctionnant en stratégie de cheville et sans antécédents chirurgicaux de l'avant-pied.

VI.C Déroulement des tests

Les tests sont effectués avant et après la mesure sur plateforme de stabilométrie. Ces tests représentent une partie importante du protocole. Ils vont permettre de pouvoir comparer les données cliniques des résultats de ces tests aux résultats de l'étude de la plateforme de stabilométrie. La question que nous nous posons est : y aura-t-il une corrélation entre l'approche clinique/pratique et l'analyse statistique ? Peut-on prédire les résultats de l'analyse stabilométrique à partir de tests posturologiques simples à mettre en place ?

Nous commencerons par une **observation** de la ligne de gravité, puis de la ligne de Barré. Nous noterons le profil antérieur ou postérieur, ainsi que les déviations dans le plan frontal observés. Les conditions d'examen seront les mêmes, ainsi que les consignes données aux patients. Cela permettra de pouvoir comparer les observations de façon plus juste.

Nous continuerons par le **test d'appui unipodal**, sur chaque pied, tenu 30sec yeux ouverts et 15sec yeux fermés. Il sera noté si le patient arrive à garder l'appui unipodal pendant la durée demandée et si la présence d'oscillations importantes a été observée.

Enfin, on demandera au patient de faire le **test des extenseurs du poignet** assis puis debout, les yeux ouverts. Les instructions devront être les mêmes et il sera demandé au patient de résister à la contrainte appliquée au niveau du poignet tout au long du test, soit environ 5sec. Cela permet au patient d'exercer la même force à chaque fois. Il sera noté si il existe une différence entre la position assise et debout et sachant que le capteur podal ne s'exprime pas assis.

VI.D Choix des techniques

Les techniques choisies seront justifiées et présentées dans les paragraphes suivants, en partant du principe que les muscles, les articulations, les nerfs et une meilleure vascularisation sont les éléments à améliorer, relâcher et libérer. Le protocole commence à la partie la plus distale du corps et en fonction de la position de réalisation des techniques pour des raisons pratiques. C'est aussi une routine plus simple à mettre en place. Afin que le patient soit le plus détendu et le plus confortablement installé, les techniques seront effectuées d'abord en décubitus puis en Latérocubitus et enfin en procubitus. Ces paramètres donnent l'enchaînement chronologique des techniques effectuées dans ce protocole.

Le patient est en décubitus

Traitement à viser articulaire :

- Technique du « tire-bouchon »

Cette technique, décrite par CHANTEPIE A., peut permettre un relâchement tissulaire de la capsule et ligamentaire au niveau de l'articulation métatarsophalangienne de l'hallux (MTP1). Le patient est en décubitus dorsal, le praticien est debout à la hauteur du pied. La main proximale saisit le coup du pied, les doigts reposent sur la face médiale et enserre la malléole médiale, le pouce enserre la malléole latérale et fixe le pied sur la table. L'index et le majeur de la main distale saisissent en pince « tire-bouchon » la phalange distale de l'orteil. Ils exercent une traction longitudinale dans l'axe du métatarsien jusqu'à la mise en tension, tandis que la main gauche exerce une pression vers la table. Le praticien, une fois la tension obtenue, peut induire des petits paramètres de rotation médiale et latérale afin d'obtenir un dégrillage. Le praticien peut alors relâcher progressivement sa traction et renouveler sa mise en tension : il s'agit d'une technique articulaire (TOG). Comme nous l'avons vu, dans l'hallux valgus, il y a une rétraction de la partie médiale (axe du pied) des ligaments et de la capsule de la MTP1 qui fixe la déformation, cette technique serait alors justifiée pour diminuer cette conséquence de cette pathologie.

- Cuboïde médial en position haute

Cette technique, décrite par TIXA S., peut permettre de corriger une dysfonction de rotation latérale favorisée par un pied creux. Le sujet est en décubitus, son genou est fléchi à 90°, le talon est planté dans la table et la jambe repose sur la cuisse proximale du praticien. L'index de la main distale du praticien désigne la face dorsale du cunéiforme médial où se pose la prise du praticien. La main distale va dans un premier temps « ouvrir » l'articulation concernée, à l'aide d'une inclinaison radiale et dans un deuxième temps recomprimer le tout avec la main proximale. Cette main va également se saisir de la base des 1^{er} et 2^e métatarsiens et va les tracter dans l'axe. La main proximale vient prendre appui par l'intermédiaire de la base de l'éminence hypothénar sur la face dorsale du cunéiforme médial. L'avant-bras du praticien plaque la jambe du sujet contre sa cuisse. Dans cette technique, l'impulsion brève et sèche est portée à l'aide d'une extension simultanée du coude et du poignet du praticien. La poussée sur la face dorsale du cunéiforme médial se fait de haut en bas. L'avant-bras proximal du praticien participe à la mise en compression du calcaneus sur la table. C'est une technique de haute vitesse et basse amplitude (HvBa). Dans la déformation de l'hallux valgus, nous avons observé que le long fléchisseur de l'hallux est raccourci et provoque une arche interne creusée. Des dysfonctions en restriction de mobilité vont alors apparaître, c'est le cas des dysfonctions du cunéiforme médial haut et du naviculaire haut. Ceci amène à la prochaine technique.

- Naviculaire en position haute

Cette technique, aussi décrite par TIXA S., est accompagnée d'une note expliquant que le patient présentant une statique postérieure avec appui sur le calcaneus favorise la contracture du tibia postérieur et, par voie de conséquence, peut favoriser un positionnement du tubercule de l'os naviculaire en position haute. C'est une justification de plus à la réalisation de cette technique. Le patient est en décubitus, le genou en extension. Le praticien debout face à lui s'empare du pied du sujet et l'amène en inversion. La main interne, avec la deuxième phalange du majeur, se place sur la face dorsale du tubercule du naviculaire. Le pouce est placé à la face plantaire du 1^{er} métatarsien. La main externe, avec le majeur, se plaque par dessus l'autre main. Le pouce de cette main contacte la face plantaire des 2, 3 et 4^e têtes de métatarsien, effectuant un contre-appui. Le praticien réalise

une extension des poignets couplée à une légère inclinaison ulnaire, ce qui entraîne une légère rotation médiale du naviculaire sur le talus. C'est une technique haute vitesse et basse amplitude (HvBa).

- Articulation talo-calcaneenne

Cette technique, décrite par HERMANN W., peut permettre un relâchement tissulaire de la capsule et ligamentaire au niveau de l'articulation sous-talienne. Le patient est en décubitus, pied sur la table. Le praticien est debout, en bout de table, en position de fente avec la jambe externe en avant. Il saisit le pied avec la main externe sous le calcaneus et la main interne vient sur le dos du pied. L'auriculaire de cette main est posé sur la tête du talus. La plante du pied est posée sur la poitrine du praticien. Il exerce une légère compression dans l'articulation et tandis que la main interne fixe le talus, la main externe effectue des mouvements de circumduction externe avec le calcaneus. Puis la direction des mains est changée et la main interne réalise des mouvements de circumduction interne tandis que l'autre main fixe le talus. Il s'agit d'une technique articulaire (TOG). En se basant sur les études de Serge HELBERT, les patients atteints d'hallux valgus ont une déportation de l'appui plantaire postérieur qui favorise donc la compression de l'articulation talo-calcaneenne. De plus, cette articulation contient le ligament talocalcaneen interosseux, comparable aux ligaments croisés du genou, dont un dysfonctionnement entraîne une diminution de la qualité de l'information proprioceptive de la cheville. Il est donc important que cette articulation fonctionne de façon optimale.

- Articulation talocrurale

Cette technique, décrite par HERMANN W., peut permettre un relâchement tissulaire de la capsule et ligamentaire au niveau de l'articulation talocrurale. La position des mains est identique à la précédente. Le praticien effectue alors une circumduction de la jambe, en initiant le mouvement à partir de son thorax et de son bassin. Les deux coudes restent alors diamétralement opposés et ne bougent pas. Puis le thérapeute échange ses mains dans un mouvement fluide et réalise alors une circumduction interne. Il s'agit d'une technique articulaire (TOG). Le long fléchisseur de l'hallux, avec des éléments statiques ligamentaires, supporte et fixe la tête du talus lors de la flexion plantaire de la cheville et de son inversion. De plus, sa réflexion en arrière du processus du sustentaculum tali, assure le

soutien du talus. On imagine qu'un défaut de ce muscle entraîne un effondrement du talus vers le bas et le dedans et donc une dysfonction du talus au sein de l'articulation talocrurale, d'où l'intérêt de cette technique qui redonne de la mobilité à la cheville.

- Malléole tibiale en position antérieure

Cette technique, décrite par CHANTEPIE A., pourrait faire reculer la malléole tibiale par rapport au talus. Cette manipulation permettrait de normaliser l'antériorisation du tibia due au raccourcissement du long fléchisseur de l'hallux qui est obligé de ramener la poulie tibiale en avant. Le patient est en décubitus. Le praticien est debout, sur le côté de la table à la hauteur du pied, la main proximale saisit le tibia au-dessus de la malléole, les doigts reposant à la face interne de la jambe, pouce sur la fibula, l'avant-bras étant perpendiculaire à la jambe. La main distale empaume le talon, l'avant-bras reposant à la face plantaire de façon à maintenir la cheville à 90°. La main proximale engage le tibia vers l'arrière, tandis que la main distale exerce une traction vers le haut (effet de couple) jusqu'à la barrière motrice. La normalisation est obtenue par une impulsion brève et de basse amplitude de la main proximale vers le plan de la table, sans perdre les paramètres engagés. C'est une technique haute vitesse et basse amplitude (HvBa). Cette manœuvre va permettre théoriquement de tendre le tendon du long fléchisseur pour pouvoir l'allonger et pourquoi pas le détendre (selon le réflexe myotatique inversé). De plus, la malléole se retrouve en dysfonction antérieure à cause du raccourcissement du LFH dû à cette tension. Cette technique peut permettre aussi à la talocrurale de retrouver sa physiologie biomécanique.

- Tête fibulaire postérieure

Cette technique, décrite par NICHOLAS A.S., permet de normaliser la tête fibulaire en avant tout en relâchant et étirant le muscle biceps fémoral. Le patient est en décubitus, le praticien se tient debout sur le côté. Il met sa main proximale dans la fosse poplitée, de telle sorte que l'articulation métacarpophalangienne de l'index se rapproche de la partie postérieure de la tête de la fibula. L'autre main contrôle le pied et la cheville en amenant le membre inférieur du patient en rotation externe, jusqu'à ce que la tête de la fibula rencontre sa barrière antérieure de restriction. Le patient porte le membre inférieur en rotation interne contre une contre-force ferme exercée par le praticien. Cette contraction isométrique est

maintenue pendant 5 secondes, puis on demande au patient de s'arrêter et de se relaxer. Après 3 secondes, où le patient est complètement relâché, le praticien tente de déplacer la fibula jusqu'à la nouvelle barrière de restriction en rotation externe. On redemande ces deux dernières étapes 3 fois. C'est une technique d'énergie musculaire. Les muscles ischiojambiers sont sursollicités et raccourcis à cause de la position statique postérieure chez le patient atteint d'hallux valgus. La traction du biceps entraîne donc une position postérieure de la tête fibulaire. De plus, par l'insertion du long fléchisseur de l'hallux sur la face postérieure de la fibula, la tension de ce muscle entraîne, là aussi, une position postérieure de la fibula. Cette manœuvre va avoir un impact sur ces deux situations.

- Articulation tibio-fémorale

Cette technique, décrite par HERMANN W., peut permettre un relâchement tissulaire de la capsule et ligamentaire au niveau de l'articulation du genou. Le patient est en décubitus, le praticien lui est sur le côté. Il prend le pied du patient entre ses cuisses en dehors de table. Une légère flexion du genou reste maintenue. Les avant-bras sont horizontaux et maintenus dans le prolongement l'un de l'autre. Le praticien effectue une traction et une circumduction externe, puis interne. Il s'agit d'une technique articulaire (TOG). Au vu des dysfonctions qu'on pourrait retrouver au niveau de la cheville, de la tête fibulaire et d'une tension des ischiojambiers, on peut penser que le genou subit des répercussions et compense ces dysfonctions. De plus, cette articulation contient les ligaments croisés qui réalisent un rôle très important pour la proprioception du membre inférieur au même titre que le ligament talocalcanéen interosseux. Là aussi, cette articulation permet d'améliorer l'influx proprioceptif en direction du cervelet et donc du maintien de la posture.

Traitement à viser musculaire

- Long fléchisseur de l'hallux

Cette technique, décrite par HEBGEN E., apporte un relâchement de ce muscle par la pression d'un point gâchette situé à la jonction entre le tiers moyen et le tiers caudal de la jambe, et un autre latéral à la ligne médiane, sur la face dorsale de la fibula. Ils sont palpés avec la main proximale à travers la musculature superficielle du mollet. Le muscle est étiré par une flexion dorsale

maximale du gros orteil et de cheville avec la main distale. On demande alors au patient de fléchir le gros orteil en exerçant une contre-résistance isométrique pendant 4sec. Après 4sec de relâchement, une nouvelle barrière motrice en flexion de l'hallux est trouvée et on répètera cette manœuvre 4 fois. C'est une technique d'énergie musculaire en utilisant le point gâchette du long fléchisseur de l'hallux.

A cette technique nous pouvons ajouter celle, décrite par JONES, qui consiste en amener dans une tension myofasciale minimale pour relâcher le muscle. Le patient étant en procubitus, nous la décrirons dans le paragraphe correspondant. Cette technique est très importante car le LFH est le « moteur » de l'hallux valgus et des répercussions posturales. Sa perte de force due à la tension de son tendon perturbe la marche dans sa phase propulsive. Il faut donc au maximum relâcher ce muscle pour qu'il revienne à sa physiologie initiale.

- Triceps sural et ischiojambiers

Cette technique d'étirement actif, décrite par LE CORRE F., permettra de relâcher les tensions de la chaîne musculaire postérieure dues au profil statique postérieur engendré par l'hallux valgus. Le patient est en décubitus tandis que le praticien est sur le côté. On demande au patient de fléchir sa cuisse, de croiser les doigts derrière et de la maintenir dans cette position. Le praticien saisit avec sa main distale le talon et il place sa main proximale au-dessus du genou. La mise en tension musculaire s'effectue en étendant la jambe jusqu'à une certaine résistance à la limite du seuil douloureux. La manœuvre consiste à demander au patient de baisser le talon pendant 3sec, puis relâcher. Après 8sec de repos, on obtient une nouvelle mise en tension et on recommence la manœuvre 3 fois. C'est une technique myotensive. La conséquence d'un appui podal postérieur est la mise en tension excessive des muscles postérieurs de jambe et de cuisse. Cette technique permettrait de gagner en viscoélasticité pour une meilleure régulation et réponse du système postural d'aplomb.

- Piriforme

Cette technique d'étirement actif, décrite par LE CORRE F., permettra de relâcher les tensions de la chaîne musculaire de la syncinésie musculo-articulaire latérale (SMA lat). Le patient est en décubitus et le praticien est sur le côté. Il saisit la jambe controlatérale du patient et la fléchit pour amener le genou dans son creux axillaire proximal. Il place son membre supérieur proximale contre la

cuisse controlatérale du patient et place ses doigts près du bord supérieur du grand trochanter pour y palper le piriforme controlatéral. Son avant-bras distal passe sous la jambe du patient et pose sa main sur l'avant-bras proximal. La mise en tension s'effectue pour porter la cuisse du patient en abduction et rotation interne à la limite du seuil douloureux. La manœuvre consiste à demander au patient d'écartier la cuisse vers le dehors pendant 3sec. Après 8sec de repos, on obtient une nouvelle mise en tension du piriforme en allongeant la jambe du patient et on recommence la manœuvre 3 fois. C'est une technique myotensive. Ce muscle, qui appartient aussi à la SMA lat, perturbé dans l'hallux valgus, est aussi responsable très souvent d'une irritation du nerf ischiatique. Il est responsable de sciatique tronquée, appelée syndrome canalaire du piriforme et donc théoriquement peut être à l'origine d'influx nociceptif sur le trajet du nerf et de dysfonctionnements d'innervation motrice et sensitive du nerf. On peut penser que ce muscle, s'il est spasmé, peut être à l'origine d'une mauvaise réponse motrice du long fléchisseur de l'hallux, du soléaire et du tibial postérieur et donc d'une mauvaise intégration au niveau du système postural d'aplomb.

- Grand dorsal

Cette technique, décrite par HEBGEN E., apporte un relâchement de ce muscle par la pression d'un point gâchette situé sur le bord libre du pli axillaire postérieur, à hauteur du milieu du bord latéral de la scapula. Le patient est en décubitus, tandis que le praticien est assis à la tête du patient. La main interne saisit le poignet du patient et amène une abduction à 120°, ainsi qu'une rotation interne pour étirer le grand dorsal. La main externe sera positionnée sur le point gâchette. On demande alors au patient de baisser le bras en exerçant une contre-résistance isométrique pendant 4sec. Après 4sec de relâchement, une nouvelle barrière motrice abduction et rotation interne du bras est trouvée et on répètera cette manœuvre 4 fois. C'est une technique d'énergie musculaire en utilisant le point gâchette du grand dorsal. Ce muscle, là encore fait partie de la chaîne musculaire de la syncinésie musculo-articulaire latérale (SMA lat) dont il en est un des moteurs. On peut donc penser qu'il est perturbé par l'hallux valgus lors de la marche.

- Rhomboïde

Cette technique, décrite par HEBGEN E., apporte un relâchement de ce muscle par la pression d'un point gâchette situé le long et à proximité du bord médial de la scapula. Le patient est en décubitus, tandis que le praticien est debout sur le côté. La main externe saisit le poignet du patient et amène sa main sur le cou du praticien et lui demande de s'y agripper. Le bras du patient est en extension. La main externe sera positionnée sur le point gâchette. On demande alors au patient de reculer son épaule en arrière, en exerçant une contre-résistance isométrique avec la main externe et son buste pendant 4sec. Après 4sec de relâchement, une nouvelle barrière motrice antépulsion de l'épaule est trouvée et on répètera cette manœuvre 4 fois. C'est une technique d'énergie musculaire en utilisant le point gâchette du rhomboïde. Ce muscle, là encore, fait partie de la chaîne musculaire de la syncinésie musculo-articulaire latérale (SMA lat) dont il en est un des moteurs.

Traitement à viser neurologique

- Nerf fibulaire profond et nerf cutané dorsal médial

Cette technique, décrite par BARRAL J-P., permet selon l'auteur de diminuer fortement la douleur chez les cas d'hallux valgus. En ayant une action sur ces nerfs qui participe à l'innervation de la capsule, il est alors peut-être possible de diminuer l'influx nociceptif remontant au système extra-lemniscal et donc d'améliorer la réponse extra-pyramidale sur le tonus postural. Le patient est en décubitus, le praticien sur le côté du pied. Le pouce de la main distale vient glisser le long de l'aponévrose dorsale du pied jusqu'à rencontrer une dépression. Les doigts sont posés sur la face plantaire. Dans cette dépression, on peut sentir un petit anneau fascial et surtout le nerf fibulaire profond et le cutané dorsal médial. On essaie d'abord de relâcher, voire « d'agrandir » la dépression et le collet fascial, ensuite on effectue une légère compression-induction des deux nerfs. On veut par cette technique et la suivante optimiser le message nerveux et d'en diminuer les perturbations.

- Plexus sacré

Cette technique, décrite par BARRAL J-P., permet selon l'auteur de diminuer fortement la douleur sur le trajet du nerf ischiatique. Le principe est d'étirer le

plexus sacré et le nerf ischiatique qui sont à l'origine de l'innervation du gros orteil et du long fléchisseur de l'hallux. On espère là encore améliorer la réponse neurologique du système postural du patient. Le patient est en décubitus avec la jambe fléchie. Le praticien est assis sur la table du même côté et place l'index de la main externe contre la partie supérieure de l'épine sciatique en le dirigeant en direction céphalique et en dedans. La main interne, en tenant le genou, va entraîner le membre inférieur en flexion-adduction pour mieux plaquer l'index. Puis le praticien amène une extension, abduction et rotation interne. Cette rotation permet d'étirer le plexus sacré tandis que l'index effectue une traction distale et vers le dehors. C'est une technique d'étirement neural.

Traitement à viser vasculaire

- Artère tibiale antérieure

Cette technique, décrite par BARRAL J-P., permet selon l'auteur d'améliorer la vascularisation sur le trajet de l'artère en activant les mécanorécepteurs sensibles à l'étirement. Le patient est en décubitus, le praticien est sur le côté. Après avoir préalablement repéré le pouls tibial entre les muscles tibial antérieur et extenseur des orteils, on fait deux points d'appui de part et d'autre avec les pouces face à face en direction céphalique et caudal. On effectue un étirement-induction de l'artère que l'on maintient 10sec. Ensuite on étire les artères métatarsiennes dorsales en faisant une traction-induction entre chaque orteil. Une meilleure vascularisation du pied permet un meilleur apport en oxygène au tissu et donc un meilleur fonctionnement des muscles et un relâchement tissulaire local. C'est le but de toutes ces techniques à viser vasculaire.

Le patient est en latérocubitus

Traitement à viser articulaire

- L5-S1 en postériorité

Cette technique, décrite par FISHER M. et ERIEAU B., permet de normaliser un déficit de mobilité entre les vertèbres L5 et S1. Pour effectuer cette technique, il faudra préalablement tester L5 par rapport à S1 et s'il y a présence d'une dysfonction, alors elle sera traitée. Etant donné la description large faite par les anatomistes sur les racines nerveuses du nerf tibial (de L5 à S2), une dysfonction

de L5 pourrait perturber sur le plan neurologique la réponse motrice de certains muscles actifs dans l'hallux valgus tels le long fléchisseur de l'hallux, les ischiojambiers, l'abducteur de l'hallux entre autre. Le thrust, chez certains auteurs, auraient une action neurologique à distance et c'est la raison pour laquelle cette technique a été intégrée à ce protocole. Le patient est en latérocubitus, proche de la table, hanche fléchie à 45° et genou fléchi à 90°. Le praticien est debout à hauteur du bassin. Il amène le rachis en rotation et extension jusqu'à l'étage interépineux L5-S1. Puis il amène la jambe hors de la table jusqu'à répercussion de l'espace interépineux L5-S1. Le praticien enroule le bassin du patient à 45° par rapport au plan de la table. L'avant-bras proximal est dans l'espace thoraco-brachial et l'autre sur la face externe de l'os iliaque. Il demande alors au patient de laisser tomber sa jambe vers le sol et thrust en effectuant un mouvement combiné de rotation du bassin vers le sol et descente du poids du corps. C'est une technique haute vitesse et basse amplitude (HvBa).

Traitement à viser vasculaire

- Artère tibiale postérieure

Cette technique, décrite par BARRAL J-P., permet selon l'auteur d'améliorer la vascularisation et donc aux articulations de remplir parfaitement ses fonctions sensibles, proprioceptives et motrices. Cette artère vascularise notamment le muscle long fléchisseur de l'hallux. Le patient repose du côté opposé à l'artère à manipuler. Le praticien est debout, face au patient. Après avoir repéré l'artère en arrière de la malléole tibiale, le praticien place un pouce proximement et l'autre distalement pour créer une traction distale maintenue. Il répète la technique 5 fois.

Le patient est en procubitus

Traitement à viser musculaire

- Long fléchisseur de l'hallux

Le praticien est debout du côté du pied à traiter. Il saisit avec sa main proximale le pied et amène une flexion à 90° de genou. Le pouce de cette main se place sur le sésamoïde interne (axe du pied). L'autre main saisit l'hallux entre pouce et index et l'amène en flexion plantaire, rotation interne et adduction (selon l'axe du pied). Cette position est maintenue 90sec. C'est une technique de tension

myofasciale minimale qui permet un relâchement de la capsule et de tous les tissus autour de l'articulation métatarsophalangienne du gros orteil. Elle est décrite comme justement efficace dans les cas d'hallux valgus.

- Abducteur de l'hallux

Cette technique, décrite par BARRAL J-P., crée un relâchement de ce muscle. Le patient est en procubitus, genou fléchi. Le pouce de la main proximale est posé sur la tubérosité calcanéenne (partie médiale du calcaneus) et l'autre pouce sur le sésamoïde médial du 1^{er} métatarsien. Les deux pouces s'écartent pour créer un étirement des deux insertions en faisant diminuer la concavité de la voûte plantaire. C'est une technique d'étirement musculaire. Ce muscle a besoin d'être traité dans l'hallux valgus car en suivant la translation latérale de l'appareil sésamoïdien il devient plantaire. Il ne joue plus son rôle « anti-valgus » et ne fait que renforcer les muscles fléchisseurs de l'hallux. En l'étirant, nous espérons diminuer son action sur l'arche interne du pied et améliorer la propulsion lors de la marche.

VLE Conclusion

Ce protocole est appliqué à tous les patients de cette étude de la même façon et dans le même ordre :

- Tests posturaux à chacun, les résultats sont notés puis regroupés pour former des sous-groupes.
- Premier enregistrement stabilométrique dans les conditions Normes 85.
- Techniques appliqués à tous les sujets en suivant le même ordre décrit.
- Deuxième enregistrement stabilométrique dans les mêmes conditions que précédemment.

Ce protocole est basé sur des techniques ayant fait l'objet de publication. Nous les avons choisies en fonction de ma technicité et de mon cursus d'apprentissage. Il semblait évident que la réalisation de ces techniques ne devait pas m'apporter de difficultés. Etre le plus à l'aise permet au protocole d'être le plus reproductif.

Il est vrai qu'il existe en ostéopathie autant de techniques que d'ostéopathes, le choix des manipulations à l'intérieur de ce protocole est donc arbitraire.

Néanmoins on peut penser que d'autres praticiens auraient préféré choisir d'autres techniques plus adaptées à leur pratique.

Dans l'ensemble les principes ostéopathiques fondamentaux ont guidé ces choix : globalité, interrelation structure-fonction, homéostasie et loi de l'artère.

VII. RESULTATS ET DISCUSSION

VII.A Résultats

Etude des paramètres Xmoyen, Ymoyen, Surface, VFY et LFS sur une cohorte de 16 patients atteints d'hallux valgus. Avant chaque mesure, les tests posturaux décrits précédemment sont effectués. Entre deux mesures, le protocole décrit précédemment est appliqué. Les mesures sont prises à l'aide d'une plateforme de stabilométrie *WINPOSTURO* du fabricant Medicapteurs aux normes AFP 85.

Tableau 1. Résultats sur les 18 patients.

	AVANT TRAITEMENT	APRES TRAITEMENT	DIFFERENCE	COMPARAISON	
				t de student	p
Xmoyen	-3,2	-2,8	0,4	1,92	0,072
Ymoyen	-36,8	-30,7	6,1	3,07	0,0069
Surface	400,6	295,3	104,7	14,91	$3,40 \cdot 10^{-11}$
VFY	-1,3	-0,8	0,5	3,95	0,001
LFS	0,8	0,6	0,2	1,88	0,077

T de student : t de student de la comparaison à zéro de la moyenne des différences observées entre la situation avant traitement et après traitement pour les différents paramètres relevés au sein de la cohorte « hallux valgus »

P : probabilité significative qui est la probabilité statistique que 2 groupes pris au hasard dans une même population aient des moyennes aussi différentes que les groupes réellement mesurés. On peut alors calculer la probabilité de se tromper en affirmant « c'est significatif ». $p < 0,01$ est considéré comme très significatif.

Les résultats de l'étude montre donc un résultat statistiquement très significatif pour les paramètres Ymoyen, Surface et VFY.

Graphique 1. Valeurs de paramètres avant et après traitement

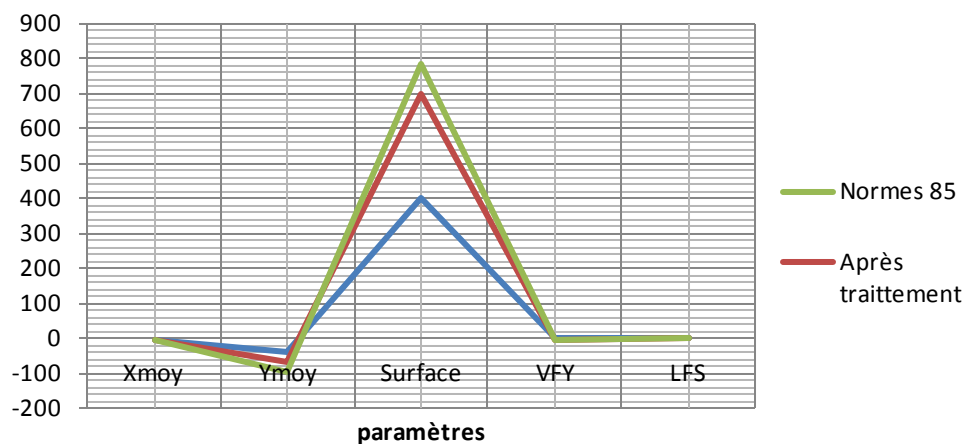


Tableau 2. Test unipodal non maintenu 30sec yeux ouverts : 10 femmes.

	AVANT TRAITEMENT	APRES TRAITEMENT	DIFFERENCE
Xmoyen	-4,6	-4,1	0,5
Ymoyen	-45,7	-36,1	9,6
Surface	506,5	303,2	203,3
VFY	-3,4	-1,5	1,9
LFS	1,7	1,4	0,3

Tableau 3. Test des extenseurs indique une perte de force debout non retrouvée assis : 7 femmes et 1 homme.

	AVANT TRAITEMENT	APRES TRAITEMENT	DIFFERENCE
Xmoyen	-4,3	-3,6	0,7
Ymoyen	-42,4	-37,2	5,2
Surface	508,2	304,1	204,1
VFY	-2,5	-1,1	1,4
LFS	1,3	1	0,3

Tableau 4. Observation d'une déviation basse ou totale à la verticale de BARRE : 9 femmes.

	AVANT TRAITEMENT	APRES TRAITEMENT	DIFFERENCE
Xmoyen	-3,7	-2,9	0,8
Ymoyen	-40,6	-33,2	7,4
Surface	403,2	297,1	106,1
VFY	-2,1	-1,2	0,9
LFS	0,9	0,5	0,4

Tableau 5. Patients ne présentant pas de tests aphysiologiques et ayant une observation à la ligne de BARRE normal : 6 femmes et 1 homme.

	AVANT TRAITEMENT	APRES TRAITEMENT	DIFFERENCE
Xmoyen	-2,2	-2,1	0,1
Ymoyen	-30,7	-25,9	4,8
Surface	295,2	289,1	6,1
VFY	-0,2	-0,1	0,1
LFS	0,3	0,2	0,1

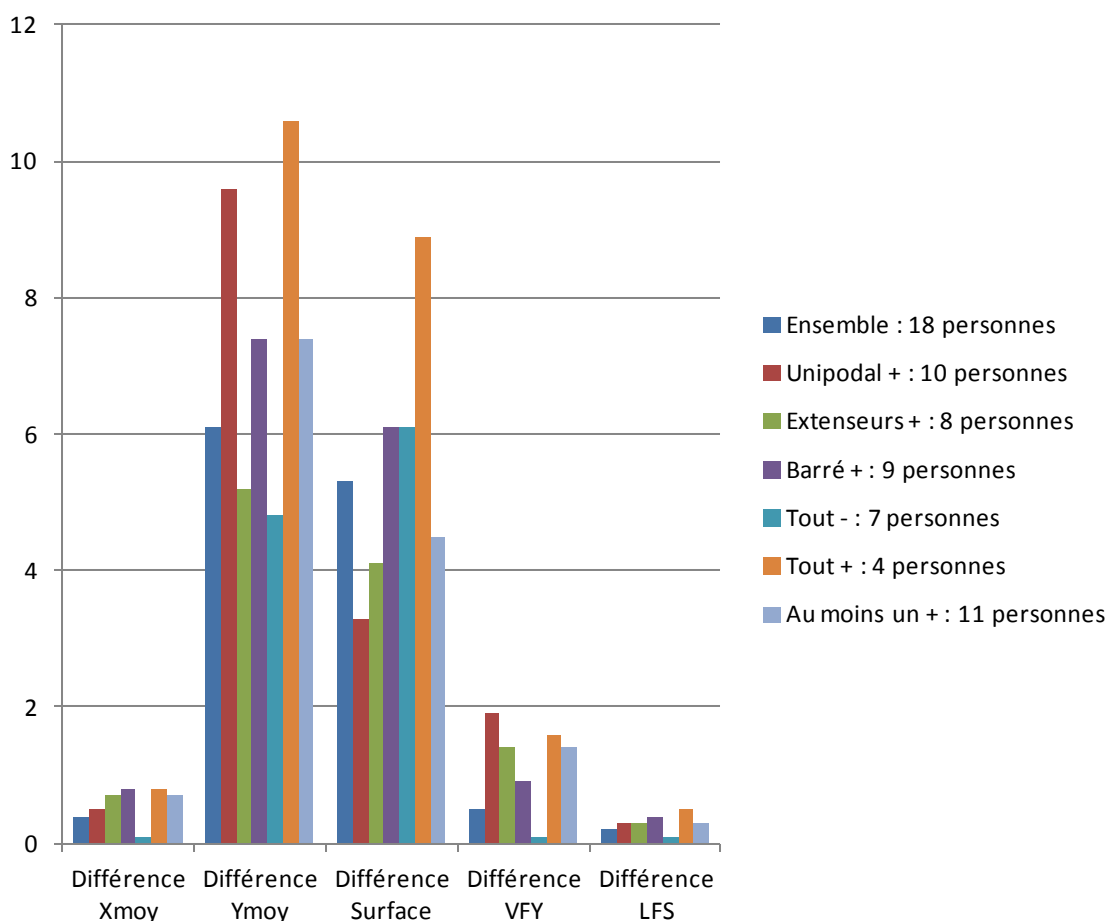
Tableau 6. Patients présentant tous les tests aphysiologiques et une observation basse ou totale à la verticale de BARRE : 4 femmes.

	AVANT TRAITEMENT	APRES TRAITEMENT	DIFFERENCE
Xmoyen	-4,2	-3,4	0,8
Ymoyen	-48,2	-37,6	10,6
Surface	595,2	389,1	206,1
VFY	-3,1	-1,5	1,6
LFS	1,9	1,4	0,5

Tableau 7. Patients présentant au moins un test aphysiologique ou une déviation à la ligne de BARRE : 10 femmes et un homme.

	AVANT TRAITEMENT	APRES TRAITEMENT	DIFFERENCE
Xmoyen	-4,2	-3,5	0,7
Ymoyen	-42,9	-35,5	7,4
Surface	506	301,5	204,5
VFY	-2,7	-1,3	1,4
LFS	1,3	1	0,3

Graphique 2. Analyse des différences des paramètres mesurés en fonction des résultats aux tests posturaux



VII.B Analyse des résultats

Les résultats portent sur 16 patients et regroupent les moyennes aux paramètres Xmoyen, Ymoyen, Surface, VFY et LFS. Ces mesures ont été prises avant et après application du protocole décrit. Ces mesures ont ensuite été regroupées en fonction du résultat aux tests posturaux et observations déjà décrites, effectués avant traitement. Au final 6 groupes ont été créés :

- **Test unipodal positif** : ces patients n'ont pas réussi à garder l'appui unipodal au moins 30sec yeux ouverts où les oscillations étaient très importantes durant le test. Ce groupe comporte 10 femmes. La moyenne de chaque paramètre a été calculée ainsi que la différence avant et après traitement.

- **Test des extenseurs positif** : ces patients ont montré une modification de la force musculaire entre la position assise et debout. La résistance à l'extension de poignet est plus faible debout qu'assis. Ce groupe comporte 7 femmes et un homme. La moyenne de chaque paramètre a été calculée ainsi que la différence avant et après traitement.

- **Déviations à la verticale de Barré positives** : ces patients présentent une déviation basse (des repères L3 et pli interfessier) ou une déviation totale (pli interfessier, L3, T7, C7 et vertex). Ce groupe comporte 9 femmes. La moyenne de chaque paramètre a été calculée ainsi que la différence avant et après traitement.

- **Tout négatif** : ces patients présentent des résultats physiologiques à tous les tests ci-dessus. Ce groupe comporte 6 femmes et un homme. La moyenne de chaque paramètre a été calculée ainsi que la différence avant et après traitement.

- **Tout positif** : ces patients obtiennent à chaque fois une réponse aphysiologique aux tests ci-dessus. Ce groupe comporte 4 femmes. La moyenne de chaque paramètre a été calculée ainsi que la différence avant et après traitement.

- **Au moins un positif** : ces patients ont un résultat aphysiologique à au moins un des tests réalisés. Ils font donc partie d'au moins un des 3 premiers groupes. Ce groupe comporte 10 femmes et un homme. La moyenne de chaque paramètre a été calculée ainsi que la différence avant et après traitement.

On remarque que les paramètres qui ont le plus été modifiés sont le Ymoyen, la Surface et VFY. La modification des autres paramètres est statistiquement

nulle. Cette observation est représentative de l'ensemble et de tous les groupes présentés ci-dessus.

En fonction des différents groupes, nous remarquons que la modification des paramètres est plus importante chez le groupe Tout positif. Les paramètres Ymoyen, la Surface et VFY ont en effet une différence notable et supérieure que dans les autres groupes. Ces patients ont donc réagi beaucoup plus que les autres au protocole de traitement mis en place. En revanche on observe que le groupe Tout négatif a très peu réagi au traitement.

Malgré le nombre peu important de patients, tout concorde vers l'hypothèse que les tests posturaux sont un moyen efficace d'évaluer la perturbation du capteur podal qui est objectivée avec les données stabilométriques. Le traitement ostéopatique est le plus actif sur la posture lorsque ces tests sont positifs. On note qu'il n'est donc pas nécessaire d'utiliser une plateforme stabilométrique pour démontrer l'influence d'une déformation du capteur podal sur la posture.

Il semble peu intéressant de prendre en compte les données des normes 85 et de les comparer à cette étude. Si les normes 85 ont le mérite d'exister, elles ont été établies de manière tout à fait arbitraire sur des sujets considérés comme normaux, car sans maladie particulière, sans traitement particulier et sans vertige. De plus, ces normes effectuées il y a 30 ans ont, certes, permis de mettre des chiffres en rapport avec le système postural d'aplomb mais ne sont pas représentatives de tout individu. Le matériel n'est plus le même et ces normes n'interprètent pas la posture du patient. Chacun a sa façon de réagir aux stimuli extérieurs avec sa propre stratégie posturale. Nous pensons que ces normes sont non comparables à un patient porteur d'un hallux valgus et que toute conclusion en rapport avec celles-ci ne serait pas justifiée. Chaque patient possède son propre fonctionnement postural, il paraît alors réducteur de comparer un patient à une norme. En revanche les données étudiées dans cette expérience correspondent aux conclusions de l'analyse de Serge HELBERT. On retrouve là aussi un recul significatif du centre de pression (un Ymoyen important).

L'analyse des données nous indiquent un changement de la posture d'un patient atteint d'hallux provoqué par un protocole ostéopatique créé en prenant comme référence l'anatomie, la biomécanique et la vision des posturologues. Ce changement se fait sur trois paramètres : l'Ymoyen, la Surface et VFY.

VII.C Conclusion

Ce mémoire nous permet de comprendre la posture du patient atteint de cette déformation mais aussi que l'ostéopathe peut interagir avec cette posture. Cette étude ne permet pas d'affirmer que telle ou telle technique a tel ou tel effet, mais seulement d'observer qu'un protocole basé sur des connaissances anatomique, biomécanique et posturale change les données stabilométriques. On observe un changement des paramètres de Surface, Ymoyen et VFY qui sont d'ailleurs les paramètres les plus éloignés des normes 85. Il semblerait donc que ces sujets :

- Ont une asymétrie du tonus postural. En effet, le paramètre Ymoyen est augmenté. Le patient positionne donc son centre de pression en arrière de son centre de gravité. Il évite donc l'appui antérieur, ce qui confirme un dysfonctionnement de l'arche antérieure et donc du temps digitigrade lors de la marche. Cette attitude permet une compensation du pied calcanéen et de diminuer la pression de la tête du 1^{er} métatarsien et l'influx nociceptive de la zone.

- Ont une instabilité sur le plan postural. En effet l'ellipse de surface montre que les centres de pression parcourent un trajet très important. Impossible pour le sujet de se stabiliser, il est toujours à la recherche de son équilibre. Les informations reçues par système postural d'aplomb sont donc constamment parasitées en position debout. La réponse posturale ne peut qu'être perturbée.

- Ont une viscoélasticité anormale des muscles postérieurs des jambes. Le paramètre VFY, qui est éloigné des normes, traduit une tension au niveau de ces muscles. Le sujet est donc toujours obligé de ramener son centre de pression en arrière pour éviter l'appui antérieur. Cela va entraîner alors une instabilité à trouver l'équilibre, surface augmentée, et une asymétrie du tonus postural, Ymoyen augmenté.

Ce qui ressort de cette étude est une corrélation des mesures stabilométriques et des tests posturaux effectués. Lorsque les tests posturaux ainsi que l'observation sont positifs, on retrouve alors des paramètres très éloignés des normes 85. Il semblerait que les tests cliniques posturaux permettent de juger et d'analyser la posture du patient. L'hallux valgus est un facteur de perturbation du système postural d'aplomb sans pouvoir comprendre la mesure. Malgré tout, il semblerait que l'hallux valgus associé à des tests posturaux révélateurs d'un

capteur podal perturbateur amène à envisager un trouble du système postural d'aplomb. Cette notion répond en partie aux questions posées dans l'introduction : quelle mesure et sous quel angle mesurer la fonctionnalité d'un pied et sa répercussion sur la posture ? Reste à prouver le lien avec le motif de consultation, élément non abordé dans cette étude qui ne peut être expliqué avec la plateforme de stabilométrie, ni aucun élément de mesure objectivable.

Cette étude des paramètres stabilométriques montrent cependant que l'ostéopathe peut avoir un effet sur la posture de ces patients. On peut même la comparer aux études effectuées par certains podologues ou le geste ostéopathique a des effets similaires aux semelles. Mais comment savoir si le protocole mis en place améliore la qualité de la réponse postural du patient car il serait réducteur de penser que parce que les paramètres stabilométriques après traitement se rapprochent des Normes 85, ils sont alors gages de bénéfices pour le patient. Difficile après cette étude de conclure sur l'intérêt d'un traitement ostéopathique sur des porteurs d'hallux valgus.

Néanmoins on peut émettre l'hypothèse que l'ostéopathe pourrait être un régulateur (ou perturbateur ?) du système postural d'aplomb dans le cadre d'un hallux valgus.

VII.D Discussion

Comme toute première étude expérimentale, nous avons des bons et mauvais points. Tout d'abord sur le nombre de patients que comporte cette expérience. 18 patients n'est pas suffisant pour émettre une conclusion mais seulement une hypothèse. Même s'il est vrai que ces chiffres sont cohérents aux autres études stabilométriques sur la posture des patients porteurs d'hallux valgus, les données après traitement sont difficilement exploitables car non comparables à d'autres études. Le nombre faible de patients est donc la première critique à faire.

Nous avons vu que les normes 85 ne peuvent être une référence pour cette étude, même si les études de Serge HELBERT permettent de donner une base de comparaison, il aurait été alors préférable de prendre un groupe sans hallux valgus. Le traitement proposé aurait alors montré si oui ou non il est spécifique sur cette population.

Cette étude néglige ensuite le port de chaussure qui peut influencer la posture d'un patient atteint d'hallux valgus. En effet, l'« oignon » entraîne un contact douloureux avec la chaussure lorsqu'il est présent. Cet élément peut donc changer la redistribution tonique et influencer la posture. Il aurait donc été intéressant de faire des mesures avec et sans chaussures et de les comparer.

Il aurait été intéressant de faire remplir un questionnaire aux patients choisis afin de connaître s'il y a une douleur rachidienne, de bassin, de genou ou de pied. Cela aurait permis de comparer les données recueillies avant traitement pour faire un lien entre des paramètres anormalement élevés et une douleur. Pourvoir y associer des douleurs à distance chez un patient porteur d'hallux valgus pourrait amener une discussion intéressante. En effet, par exemple chez une personne avec gonalgie et hallux valgus homolatéral, quel résultats aux tests posturaux et à l'enregistrement stabilométrique retrouverons nous et peut-on faire un lien entre les deux. Pour cela il aurait fallu concevoir et distribuer un questionnaire à chaque patient pour savoir notamment l'existence d'un motif de consultation aigüe ou chronique.

Il aurait été pertinent de faire des enregistrements stabilométriques à J+24^h, J+7J et J+3semaines pour analyser l'intérêt du traitement dans le temps. Cela n'a pu être réalisé pour des raisons de praticabilité.

Les tests posturaux n'ont pas été effectués après traitement car le sujet de ce mémoire traite avant tout d'ostéopathie et non de posturologie. Mais il aurait été intéressant d'observer les conséquences du traitement sur ces tests et de les comparer aux paramètres stabilométriques.

Le test des extenseurs reste un test opérateur-dépendant et donc présente des inconvénients liés à la sensibilité propre du praticien et à la variation de la mise en place du test.

Toutes les techniques sont bien sûr opérateur-dépendantes. Leur réalisation est donc en fonction du praticien, de sa formation et sur sa capacité à les effectuer. Il est donc impossible d'affirmer que le protocole réalisé a été le même pour chaque patient. De plus, ce protocole ne traite pas les dysfonctions retrouvées aux tests ostéopathiques mais seulement une image théorique des dysfonctions du corps de ces patients.

Il est à noter que les mesures ont été prises selon le protocole des normes 85 à l'exception de la vérification d'une norme visuelle avec un éclairage à 200lux de la cible visuelle et du non contrôle de la maintenance de l'appareil et de ses composants qui doivent être effectué régulièrement.

VIII. CONCLUSION

L'objet de ce mémoire est de savoir si un patient atteint d'hallux valgus aura une modification de sa posture et de savoir si l'ostéopathe peut avoir une influence sur celle-ci.

Dans un premier temps, il nous a été judicieux d'analyser sur le plan théorique l'anatomie et la biomécanique du pied. De cette analyse, il en ressort des éléments importants. Tout d'abord le muscle long fléchisseur de l'hallux met en lien le talus, - qu'il fixe et soutient -, et le 1^{er} rayon. On note ainsi son rôle antigravitaire sur l'articulation talonaviculaire. Par ailleurs, l'évolution embryologique dans le changement d'orientation du 1^{er} métatarsien explique les nombreuses anomalies positionnelles de l'épiphyse distale à l'âge adulte. La description anatomique rend compte de l'instabilité intrinsèque du 1^{er} rayon. Le pied est, sur le plan biomécanique, un système à la fois peu consommateur et conservateur d'énergie. Pour cela, en position debout, il doit pourvoir lutter contre l'effondrement de la voûte médiale. Il peut le faire à partir de la mise en tension du système capsuloligamentaire et surtout du système musculotendineux. Ce mécanisme automatique et précis est à la base de l'autorégulation de la posture et, en statique, du transfert oscillant de la charge. Tout déséquilibre crée des forces cisailantes et des hyperpressions responsables de lésions des parties molles. Pour cela il faut notamment un muscle long fléchisseur qui puisse fonctionner en contraction isométrique. Cet aspect permet, lorsque le gros orteil est fixé au sol, un mécanisme synergique avec les jumeaux et l'aponévrose plantaire engendrant une importante économie d'énergie pendant la marche.

Ensuite, fort de ces connaissances, il a fallu étudier l'hallux valgus, pathologie la plus courante de l'avant-pied. Cette analyse permet de montrer que tous les éléments cités au précédent paragraphe sont en défaut dans cette déformation du pied. On a donc des troubles anatomiques qui vont affecter la biomécanique du pied et le déroulement de la marche. Mais au niveau de la posture, nous ne savons pas quel est le trouble qui en résulte. Un pied d'apparence sain peut présenter des distributions de pressions anormales et inversement.

Le matériel qui nous a permis d'observer la posture est la plateforme de stabilométrie. Elle propose d'analyser l'appui. Cela revient à considérer le pied comme une interface entre le corps et le support, interface dont le comportement dépend à la fois des propriétés du support et de la qualité ou des choix tactiques des éléments et des systèmes sus-jacents. Cet outil calcule la posture, mais semble aussi le plus approprié pour exprimer l'efficacité et le changement dû à un traitement ostéopathique. Mais cette utilisation nécessite la standardisation d'un protocole, les normes 85, pour assurer reproductibilité et comparaison à une population de référence.

Ce choix d'outil de mesure est indissociable de la posturologie qui l'utilise dans ces expérimentations. Cette discipline considère le pied comme un capteur sensoriel et sensitif, un système amortisseur et propulseur qui renseigne constamment le cervelet et le noyau vestibulaire pour une régulation du système postural d'aplomb. L'hallux valgus est considéré comme une épine irritative d'appui plantaire modifiant l'origine plantaire des boucles de régulations de la posture. Un évitement instinctif de l'appui sur la zone douloureuse en résulte. Les études effectuées au sujet de l'hallux valgus montrent d'ailleurs un recul significatif du centre de pression et une diminution de la force du muscle long fléchisseur de l'hallux. Les tests posturaux permettent alors de montrer les troubles sur le système postural fin engendrés par cette pathologie.

A partir de toutes ces données et notions, nous avons donc mis en place un protocole ostéopathique. Le choix des techniques a été déterminé en rapport des zones et fonctions que l'hallux valgus va théoriquement modifier. Nous avons décidé d'y incorporer des tests posturaux avant traitement ainsi qu'une mesure sur plateforme stabilométrique avant et après traitement. L'étude porte sur 18 sujets porteurs d'hallux valgus et n'ayant aucun critère d'exclusion.

Les résultats de l'étude posent l'hypothèse que l'hallux valgus associé à des tests posturaux révélateurs d'un capteur podal perturbateur amène un trouble du système postural d'aplomb. On remarque d'ailleurs que le traitement ostéopathique mis en place est plus actif sur la posture lorsque ces tests sont positifs. On peut conclure que les sujets étudiés ont une asymétrie du tonus postural, une instabilité sur le plan postural, une viscoélasticité anormale des muscles postérieurs des jambes et que le traitement ostéopathique influence ces

paramètres. Il les influence sans savoir si c'est de façon positive ou négative mais on observe une diminution d'écart avec les normes 85. Facteur perturbant ou régulant, l'ostéopathe peut en tout cas affirmer qu'il modifie la posture du patient à travers une approche théorique anatomique, biomécanique et posturologique. Même si l'intérêt du traitement est difficilement interprétable, l'ostéopathe a indéniablement un rôle à jouer dans la prise en charge de cette pathologie.

Il serait intéressant de faire la même expérience mais sur des sujets porteurs d'hallux valgus et rachialgique ou porteurs d'hallux valgus et douleur du gros orteil. On pourrait alors comparer les mesures stabilométriques et les résultats aux tests posturaux en fonction de ces groupes. On émettrait alors l'hypothèse d'un lien entre douleur du gros orteil/rachialgie et hallux valgus qui perturberait le système postural d'aplomb. On pourra alors, par un questionnaire, mesurer les effets du protocole, non pas sur des valeurs stabilométriques, mais sur des motifs de consultation. Cette expérience pourrait permettre de faciliter le dialogue parfois difficile entre intervenants du système de soin en le fondant sur un document incontesté.

IX. BIBLIOGRAPHIE

ASSOCIATION FRANÇAISE DE POSTUROLOGIE, *Normes 85*, 1985

BAROUK L-S., BAROUK P., *Reconstruction de l'avant-pied*, Paris ; Berlin ; Heidelberg [etc.], Springer, 2005.

BARRAL J-P., CROIBIER A., *Nouvelle approche manipulative : membre inférieur*, Issy-les-Moulineaux, Elsevier-Masson, 2013, p. 231 - 347 – 363.

BOLAND V., *Logiques de pathologies orthopédiques en chaînes ascendantes et descendantes & méthode exploratoire des "Delta pondéral"*, Paris, Frison-Roche, 1996.

BOURDIOL R.J., *Pied et statique*, Moulins-lès-Metz, Maisonneuse, 1980.

BOUYSSSET M. (et al.), *Pathologie ostéo-articulaire du pied et de la cheville : approche médico-chirurgicale*, Paris ; Berlin ; Heidelberg [etc.], Springer, 2003.

BOUYSSSET M., MORVAN G., BIANCHI S., *Le pied : évolution et statique du pied, médio-pied, avant-pied, neuropathies canalaies, pied méconnu, pied rhumatismal, pied de l'enfant*, Montpellier, Sauramps médical, 2011.

BRICOT B., *La reprogrammation posturale globale*, Montpellier, Sauramps médical, 2009.

CHANTEPIE A., *Cahier d'ostéopathie n°1: concept ostéopathique de la posture*, Paris, Maloine, 2011.

CHANTEPIE A., PEROT J-F., TOUSSIROT Ph., *Ostéopathie clinique et pratique*, Paris, Maloine, 2010, p. 167.

DUFOUR M., PILLU M., *Biomécanique fonctionnelle : rappels anatomiques, stabilités, mobilités, contraintes : membres, tête, tronc*, Issy-les-Moulineaux, Elsevier-Masson, 2009.

FISCHER M., ERIEAU B., *Thrust, sémiologie, imagerie : indications en ostéopathie vertébrale : synthèse des tests et des normalisations structurelles avec thrust bassin-colonne vertébrale-côtes*, Issy-les-Moulineaux, Elsevier-Masson, 2009.

GAGEY P.M., WEBER B., *Entrées du système postural fin*, Paris ; Milan ; Barcelone, Masson, 1995.

GAGEY P.M., WEBER B., *Posturologie: régulation et dérèglements de la station debout*, Issy-les Moulineaux, Elsevier-Masson, 2005.

GOLDCHER A., *Podologie*, Issy-les-Moulineaux, Elsevier-Masson, 2012.

HEGBEN E., RICHTER P., *Points gâchettes et chaînes musculaires : ostéopathie et thérapie manuelle*, Paris, Maloine, 2013, p. 241.

HELBERT S., *Etude stabilométrique de l'hallux valgus en charge*, 1997.

HERISSON C., ABOUKRAT P., CLAUSTRE J-E., *Progrès en médecine et chirurgie du pied*, Montpellier, Sauramps médical, 2004.

HERISSON C., ABOUKRAT P., CORNU J-Y., *Pied et posturologie : actualités et perspectives*, Montpellier, Sauramps médical, 2001.

HERISSON C., ABOUKRAT P., RODINEAU J., *Pathologie microtraumatique du pied*, Montpellier, Sauramps médical, 2003.

HERMANN W., *Le traitement ostéopathique général : basé sur le body adjustment de Littlejohn et Wernham*, Paris, Maloine, 2013, p. 83.

JULIA M., HIRT D., PERREY S., *La proprioception*, Montpellier, Sauramps médical, 2012.

KLEIN P., SOMMERFELD P., *Biomécanique des membres inférieurs : bases et concepts, bassin, membres inférieurs*, Issy-les-Moulineaux, Elsevier-Masson, 2008.

LACOUR M., DUPUI Ph., MONTOYA R., *Physiologie, techniques, pathologies*, Marseille, Solal, 2003.

LACOUR M., DUPUI Ph., MONTOYA R., *Posture, exercice physique, vieillissement et pathologies*, Marseille, Solal, 2009.

LACOUR M., PERENNOU D., *Efficiences et déficiences du contrôle postural*, Marseille, Solal, 2006.

LACOUR M., *Posture et équilibre : entrées sensorielles, méthodes d'exploration et applications*, Montpellier, Sauramps médical, 1999.

LACOUR M., THOUMIE Ph., *De la recherche à la pratique clinique*, Marseille, Solal, 2008.

LACOUR M., WEBER B., *Bipédie, contrôle postural et représentation corticale : actualités de la recherche fondamentale, enseignements de la recherche clinique et applications*, Marseille, Solal, 2005.

LEEMRIJSE T., VALTIN B., *Pathologie du pied et de la cheville*, Issy-les-Moulineaux, Elsevier-Masson, 2009.

LEFEBVRE L., LACOUR M., *Posture et locomotion*, Marseille, Solal, 2011.

MARIN L., DANION F., *Neurosciences : contrôle et apprentissage moteur*, Paris, Ellipses, 2005.

MEDICAPTEUR, *Manuel d'utilisation WINPOSTURO*.

NICHOLAS A.S., NICHOLAS E.A., *Atlas des techniques ostéopathiques*, Paris, Maloine, 2011, P. 177 – 247..

TIXA S., EBENEGGER B., *Atlas de techniques articulaires ostéopathiques des membres. Tome 1, Les membres : diagnostic, causes, tableau clinique, réduction*, Issy-les-Moulineaux, Elsevier-Masson, 2010, P. 257.

VILLENEUVE Ph., *Pied, équilibre et mouvement*, Paris, Masson, 2000.

VILLENEUVE Ph., *Pied, équilibre et posture*, Paris, Éd. Frison-Roche, 1996.

VILLENEUVE Ph., *Pied, équilibre et rachis*, Paris, Frison-Roche, 1998.

WEBER B., VILLENEUVE Ph., *Posturologie clinique : comprendre, évaluer, soulager les douleurs*, Issy-les-Moulineaux, Elsevier-Masson, 2012.

WEBER B., VILLENEUVE Ph., *Posturologie clinique : tonus, posture et attitudes*, Issy-les-Moulineaux, Elsevier-Masson, 2010.

WEBER B., VILLENEUVE Ph., *Posturologie clinique : dysfonctions motrices et cognitives*, Issy-les-Moulineaux, Elsevier-Masson, 2007.