

# Intérêt de la baropodométrie dynamique dans l'analyse de la chirurgie du pied plat valgus de l'adulte\*

E. TOULLEC, L.S. BAROUK

Polyclinique de Bordeaux-Tondu, 151, rue du Tondu, F-33000 Bordeaux, France

**Résumé :** Si les examens complémentaires classiques dans l'exploration du pied plat valgus ne concernent que l'analyse statique, la baropodométrie dynamique, facile en pratique courante, permet une approche plus fonctionnelle de cette pathologie dans une optique de thérapeutique conservatrice dans les stades non arthrosiques et partiellement réductibles. Nous rapportons une série de pieds plats valgus analysés avant et après une chirurgie d'allongement du calcaneus selon Evans. Cette étude nous a permis de définir différents types de pied plat valgus en fonction notamment de la prédominance du valgus ou de l'abduction de l'avant-pied par rapport à l'arrière-pied, d'apprécier nos résultats après une ostéotomie d'Evans et d'analyser l'évolution postopératoire pour guider la prise en charge podologique et kinésithérapeutique.

**Mots clés :** Pied plat valgus – Plateforme de marche – Ostéotomie du calcaneus

## Baropodometry in flatfoot surgery

**Abstract:** Whereas the usual examinations in the exploration of the flatfoot only concern static analysis, the dynamic baropodometry is easy in standard practice and allows a more functional approach to the disease and its treatment. We report our experience of dynamic prints of the flatfoot before and after a calcaneal lengthening osteotomy described by Evans. This technique is useful to define different kinds of flatfoot according to the main deformity, abduction or valgus, to assess the results after traditional surgery and evaluate the evolution of the results so as to choose the appropriate postoperative care.

**Keywords:** Flatfoot – Calcaneal osteotomy – Footprint

## Introduction

L'exploration du pied plat valgus comporte en première intention les radiographies de face et de profil en charge qui permettent de préciser l'importance de la déformation (angle de Shade, pente calcanéenne, angle de Kite, divergence talo-calcanéenne...), de localiser le siège de l'effondrement de l'arche médiale, de rechercher une atteinte arthrosique associée, de préciser une déformation de

l'avant-pied associée (hallux valgus le plus souvent). Parfois, on s'aidera d'un bilan scanographique pour préciser une atteinte arthrosique sous-talienne ou médio-tarsienne, et surtout de l'échographie ou de l'IRM pour analyser l'atteinte du tendon tibial postérieur, le plus souvent à l'origine de la symptomatologie douloureuse.

En dehors de ces examens statiques, qui ne nous permettent pas toujours une compréhension suffisante de la physiopathologie et, en conséquence, de l'attitude thérapeutique à avoir, il a paru intéressant de nous aider d'un examen dynamique aisément utilisable en consultation quotidienne, la baropodométrie dynamique, afin de mieux connaître les pieds plats valgus et les résultats de nos techniques chirurgicales.

Notre étude a permis l'analyse des pieds plats valgus avant et après une technique d'ostéotomie d'allongement du calcaneus selon Evans, associée ou non à d'autres techniques au niveau du médio-pied et de l'avant-pied.

## Matériel et méthodes

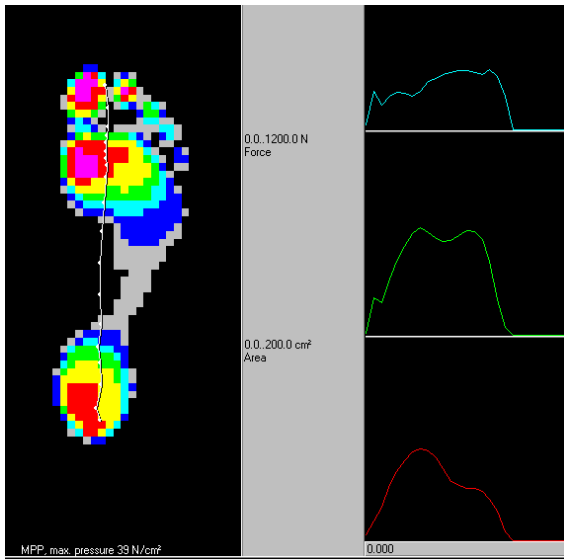
### L'analyse baropodométrie

Pour cette étude, nous avons utilisé la plateforme Emed-SF (novel-Munich), plateforme à multicateurs avec une résolution de 4 capteurs/cm<sup>2</sup>. La plateforme était incorporée entre 2 planches réalisant une piste de marche permettant d'axer la marche et d'éviter l'effet « marche d'escalier ». L'analyse portait sur le deuxième pas de marche et au moins 3 analyses étaient enregistrées après quelques passages d'essai.

L'analyse portait sur l'aspect global de l'empreinte avec une mesure de la pression en chaque point (repérée par une zone de couleur en fonction de la pression), ainsi que le déroulement vidéo du pas avec localisation de chaque temps sur les courbes de pression maximale, de force et d'aire d'appui en fonction du déroulement du pas (Fig. 1).

Une analyse complémentaire sur la moyenne des pas pouvait se faire par des logiciels associés, novel-ortho et novel-win, le problème étant le choix des critères essentiels de comparaison des empreintes du fait du nombre important de paramètres.

\* Les figures de cet article sont disponibles en couleur sur le site [springerlink.com](http://springerlink.com)



**Fig. 1.** L’empreinte dynamique de synthèse normale avec les courbes de pression maximale (bleu), de force (vert) et d’aire d’appui (rouge)

### Notre série

Notre étude a porté sur 30 pieds plats valgus symptomatiques de stade 2-3 analysés par baropodométrie dynamique avant ostéotomie d’Evans et 21 après, ceci devant un échec du traitement médical bien conduit, de 1999 à 2003. Il s’agissait de 10 hommes et 16 femmes dont l’âge moyen était de 50 ans (15 à 76 ans).

Tous les patients ont eu un bilan clinique, des photographies numériques dans 3 plans en charge (vue interne du pied pour l’affaissement de l’arche interne, vue de face pour l’abduction de l’avant-pied et l’hallux valgus éventuel, et vue de l’arrière-pied pour le valgus), des radiographies des pieds en charge de face et de profil, dans certains cas un cliché cerclé de Méary et une analyse baropodométrie avant et après chirurgie.

### La technique chirurgicale

Tous les patients ont été opérés selon l’ostéotomie d’allongement du calcaneus décrite par Evans [2, 5], technique conservatrice qui permet une correction de l’abduction de l’avant-pied par une rotation du médio-pied et de l’avant-pied autour de la tête du talus.

Le patient est installé en décubitus dorsal avec un coussin sous la fesse homolatérale de manière à mettre en évidence l’aile iliaque antérieure pour la prise de greffon.

L’intervention se déroule sous garrot pneumatique.

Dans un premier temps, la rétraction du tendon d’Achille est traitée soit par un allongement percutané selon Green, soit, lorsque cette rétraction cède le genou fléchi, par une section des fibres aponévrotiques des gastrocnémiens au genou (ce qui nécessite une installation en décubitus ventral dans un premier temps).

Le second temps consiste à allonger les tendons fibulaires par une incision 4 centimètres au-dessus de la malléole latérale selon la procédure de Green.

La troisième incision se situe en regard de la face latérale de la grande apophyse du calcaneus et de l’articulation calcanéocuboïdienne. Elle permet de libérer au préalable l’aponévrose plantaire latérale pour faciliter l’ouverture de l’ostéotomie.

L’articulation calcanéocuboïdienne est repérée latéralement en conservant bien les éléments capsulo-ligamentaires dorsaux et plantaires pour éviter une subluxation calcanéocuboïdienne.

L’ostéotomie débute 15 mm en proximal de la calcanéocuboïdienne et est orientée parallèlement à l’articulation calcanéocuboïdienne ou légèrement en avant. Un greffon cortico-spongieux de 2 cm de largeur, 1 cm d’épaisseur sur le bord latéral, 4 mm sur le bord médial est prélevé au niveau iliaque.

La fixation se fait alors avec une vis 3,5 spongieuse oblique partant du fragment le plus distal de la grande apophyse vers le *sustentaculum tali*.

Le valgus de l’arrière-pied et l’affaissement de l’arche interne du pied sont aussi corrigés au moins partiellement par cette technique mais il est parfois nécessaire d’y associer une technique d’abaissement du 1<sup>er</sup> métatarsien (ostéotomie de scarf abaissante [1], ostéotomie d’addition basale dorsale du 1<sup>er</sup> métatarsien ou arthrodèse cunéométatarsienne type Lapidus).

D’autre part, la rétraction du tendon d’achille souvent associée au pied plat et la rétraction des tendons fibulaires nécessitent un allongement de ces tendons selon la technique de Green.

En revanche, le tendon tibial postérieur n’a été réparé que dans quelques cas devant les bons résultats obtenus sans geste chirurgical à ce niveau, comme si le tendon détendu par la restructuration architecturale du pied grâce aux ostéotomies guérissait spontanément.

L’immobilisation postopératoire comporte une botte plâtrée 45 à 60 jours selon la technique réalisée sur le 1<sup>er</sup> métatarsien, puis une orthèse stabilisatrice de cheville 1 mois pour débiter la mobilisation de la cheville en maintenant les stabilisateurs de la cheville fortement modifiés. La rééducation s’oriente vers le renforcement de ces muscles stabilisateurs dans un premier temps et on ne conseille pas de débiter le travail proprioceptif avant 4 mois postopératoires. Une semelle orthopédique avec un coin supinateur postérieur est prescrite pour au moins 1 an.

## Résultats

### Les caractéristiques des pieds plat valgus et classification

Analyse de l’empreinte dynamique de synthèse

Si l’empreinte podoscopique classique distingue 3 degrés de pied plat valgus selon la largeur de l’appui du médio-

ped [3], la baropodométrie dynamique montre 3 types d'appui au médio-pied : l'empreinte du médio-pied large telle qu'elle est visualisée au podoscope (60 % des cas), l'absence d'appui du médio-pied par prédominance du valgus donnant la fausse empreinte de pied creux (11 % des cas) et l'hyperappui médial du médio-pied dans les valgus majeurs ou les hypermobilités du 1<sup>er</sup> rayon (29 % des cas).

Le valgus de l'arrière-pied est défini par une excentration médiale de l'appui talonnier et ce valgus se majore parfois lors de la progression de l'appui se traduisant par une direction médiale de la ligne des centres de pression.

Il existe parfois une abduction de l'avant-pied par rapport à l'arrière-pied qui se traduit par une convexité du bord latéral de l'empreinte. Cependant, l'angulation est difficile à mesurer entre l'axe du talon et l'axe du 2<sup>e</sup> rayon pris comme référence. Dans le plan horizontal, il faut aussi considérer la rotation externe ou angle du pas entre l'axe du 2<sup>e</sup> rayon et la ligne de progression de la marche. Il arrive que le patient corrige cette rotation pour que le pied soit bien positionné sur la plateforme. Dans notre série, 40 % des pieds sont en abduction, 35 % en rotation externe et 25 % axés.

Au niveau de l'avant-pied, l'hallux valgus est fréquemment associé (45 % des cas). On ne note aucun cas associé à des métatarsalgies.

Enfin, une hyperpression est constatée sous la tête du 1<sup>er</sup> métatarsien (pression supérieure à 30 N/cm<sup>2</sup> dans 70 % des cas), ce qui traduit la poussée nécessaire au pied pour la propulsion après l'affaissement de l'arche interne.

#### Analyse des courbes

La courbe de pression maximale montre un pic en fin de pas confirmant le plus souvent l'hyperappui sous la tête du 1<sup>er</sup> métatarsien. Dans 2 cas, nous avons constaté un double pic, le premier lié à un appui sous le 1<sup>er</sup> cunéiforme, l'autre sous la tête du 1<sup>er</sup> métatarsien.

La courbe des forces verticales montre une disparition du double dôme lorsque l'affaissement du pied n'est pas compensé par la force opposée lors de l'enjambée contrôlatérale.

La courbe de l'aire d'appui montre un plateau correspondant à une surface d'appui importante sur une grande durée du pas au lieu du dôme classiquement rencontré avec le pied normal.

#### Analyse cinétique

Cette analyse cinétique est très intéressante pour comprendre les caractéristiques de chaque pied.

À l'appui talonnier, on note la répartition des appuis et la progression (médial allant en latéral, central allant en médial ou central) et la surface d'appui (faible si valgus important, large si rotation latérale du pied).

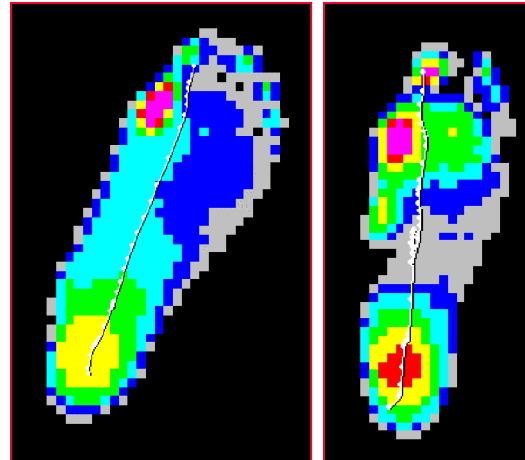


Fig. 2. Classification des pieds plats valgus en pied plat abductus (gauche) et pied plat valgus (droite)

À l'appui plantigrade, l'analyse porte sur la surface et l'orientation vers l'avant-pied : surface large dans l'axe de progression, mouvement d'abduction vers l'avant-pied, mouvement de bascule sur le bord médial du pied. On constate dans certains cas, un appui talonnier prolongé par faiblesse du tendon d'Achille ou défaut d'élan lors de la progression du pas.

À l'appui digitigrade, la progression se fait vers l'hallux le plus souvent, mais parfois vers le 2<sup>e</sup> orteil s'il existe une insuffisance fonctionnelle du 1<sup>er</sup> rayon.

L'analyse du rapport entre la force latérale et la force médiale montre que la force médiale est en général plus importante, expliquant le déséquilibre vers le membre inférieur opposé et les symptômes associés allant de la lombalgie à l'instabilité de cheville.

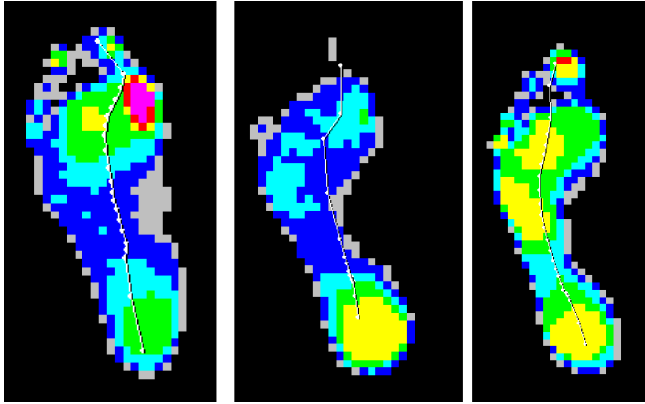
Cette déviation occasionne le ralentissement de la cadence.

Finalement, l'analyse de ces empreintes de pieds plats valgus de stade 2 montre l'absence de caractéristiques constantes permettant de définir le pied plat. En revanche, il permet de définir une classification fonctionnelle en distinguant le pied plat à valgus prédominant sans appui du médio-pied ou à appui uniquement médial dans les affaissements sévères, des pieds plats abductus avec un médio-pied large et une abduction de l'avant-pied ou une rotation latérale du pied (Fig. 2).

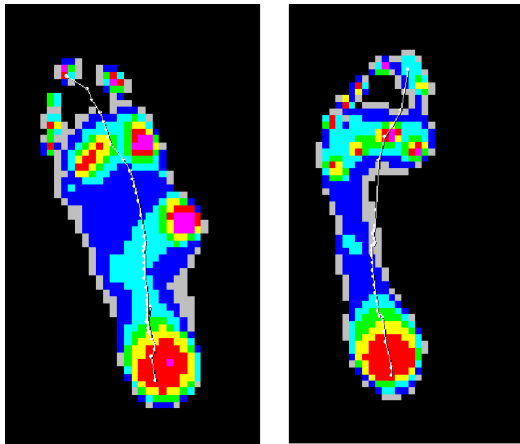
#### Les modifications des empreintes après chirurgie

Vingt-et-un patients ont été revus à plus de 6 mois d'une intervention d'Evans avec un bilan en baropodométrie dynamique (Figs 3 et 4).

Dans tous les cas, il est constaté une amélioration de l'empreinte avec une disparition de l'appui médial du médio-pied confirmant la reconstruction de l'arche médiale du pied.



**Fig. 3.** Modification de l'empreinte à 8 mois puis 2 ans après ostéotomie d'Evans et scarf abaissant dans un pied plat abductus



**Fig. 4.** Modification de l'empreinte à 1 an après ostéotomie d'Evans et arthrodesse cunéo-métatarsienne dans un pied plat valgus

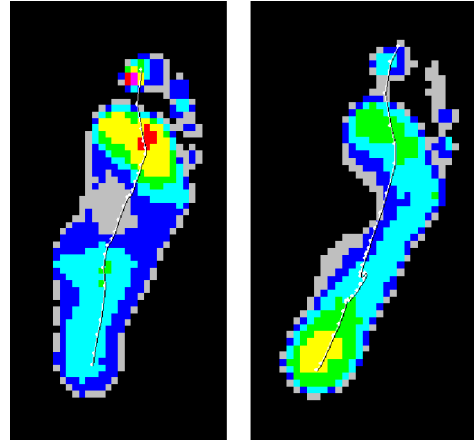
L'abduction est aussi constamment corrigée même dans les 2 cas où est apparu un tassement secondaire du greffon iliaque. L'hyperappui sous la tête du 1<sup>er</sup> métatarsien diminue de manière significative avec une disparition du pic sur la courbe du maximum de pression.

Il est noté dans 20 % des cas à 6 mois un défaut d'appui des orteils lié à la détente des fléchisseurs par la correction des pieds plats. L'analyse baropodométrique nous a permis d'analyser cette anomalie fonctionnelle et d'orienter la rééducation fonctionnelle et la confection des orthèses plantaires.

L'appui talonnier est significativement recentré dans la majorité des dossiers.

Dans un cas, on constate une majoration de l'appui latéral lié à un *metatarsus elevatus* qui semble secondaire à une ostéotomie de soustraction médiale et dorsale de l'os naviculaire associée à l'ostéotomie d'Evans.

Deux empreintes ont été insuffisamment corrigées avec un médio-pied resté un peu large, même si la pres-



**Fig. 5.** Modification de l'empreinte après ostéotomie de translation médiale du calcaneus. Notez l'augmentation de la rotation latérale du pied

sion est nettement diminuée : il s'agit de 2 cas neurologiques montrant les limites de l'intervention dans ces cas.

Le rapport de la force latérale sur la force médiale est constamment inversé, la force latérale orientant l'angle du pas et évitant la poussée médiale vers le membre inférieur opposé.

Nous avons comparé les empreintes obtenues par cette technique avec celles de la technique décrite par Myerson [4] associant une translation médiale du calcaneus et une réparation du tendon tibial postérieur par retension ou transfert tendineux. Les empreintes du pied après cette seconde technique montrent la translation de l'appui talonnier en médial, mais aussi une majoration de la rotation latérale du pied qui nous semble moins favorable à la correction du pied plat (Fig. 5). Ce défaut, visualisé en baropodométrie, se confirme par des résultats radiologiques moins satisfaisants que dans la technique d'Evans. Cependant, le rapport de la force latérale sur la force médiale montre une correction identique par les 2 techniques confirmant un résultat fonctionnel équivalent par ces 2 techniques.

## Discussion

### *La baropodométrie dynamique*

Le problème de l'analyse de la marche en consultation courante est en premier lieu la nécessité d'avoir suffisamment de place. D'autre part, la marche normale est souvent trop rapide pour analyser les détails qui peuvent expliquer les anomalies fonctionnelles du patient. On peut bien s'aider d'une caméra numérique et analyser les résultats au ralenti sur l'écran de l'ordinateur. Cependant, il est souhaitable d'avoir des images dans les 3 plans de l'espace pour obtenir une analyse complète, ce qui nécessite encore plus de temps pour l'examen et une mémoire de stockage des données suffisante.

La baropodométrie nécessite une place limitée dans le cabinet de consultation, même s'il est nécessaire d'avoir une piste suffisante pour lancer la marche. L'analyse du 2<sup>e</sup> ou mieux du 3<sup>e</sup> pas permet d'apprécier un pas qui peut être considéré en cours de marche. La taille de la plateforme entraîne parfois des vices de positionnement lorsque le pied est en rotation externe importante, le patient corrigeant son pas par la hanche pour placer le pied sur la plateforme.

Il importe de placer la plateforme dans l'axe de marche ; ainsi, la plateforme doit être dans l'axe du pied gauche si c'est le pied gauche qui est analysé. La piste de marche doit donc être plus large que la plateforme pour que le patient puisse se positionner correctement.

Le patient doit faire plusieurs essais avant l'enregistrement afin de s'assurer de la normalité de la marche à la fois au niveau de la cadence et de l'axe de progression.

L'intérêt de la baropodométrie est d'avoir, à partir d'un examen dans un plan, une analyse dans l'espace par la répartition des pressions calculée par des logiciels associés. Certaines plateformes associent maintenant une analyse vidéo latérale du pied, permettant un support visuel de l'empreinte qui reste malgré tout assez abstraite. Rosebaum [6] a particulièrement étudié cette technique.

### *L'analyse des pieds plats valgus*

L'analyse des pieds plats valgus a permis de différencier plusieurs types de pieds plats, principalement le pied plat abductus avec un médio-pied large et une abduction de l'avant-pied par rapport à l'arrière-pied ou une rotation externe du pied, et le pied plat valgus avec l'image de faux pied creux ou d'hyperappui sous le bord médial du pied.

Sur le plan physiopathologique, on constate que la cassure de l'arche médiale du pied ne se produit pas au même niveau selon le type. En effet, dans le pied plat avec une rotation externe du pied ou faux pied creux, la cassure apparaît plutôt au niveau talo-naviculaire alors que dans le pied plat avec une abduction de l'avant-pied par rapport à l'arrière-pied ou avec un hyperappui sous le 1<sup>er</sup> cunéiforme, la cassure se situe au niveau de l'articulation cunéo-métatarsienne ou naviculo-cunéenne.

Il semblerait que si l'insuffisance fonctionnelle du tendon tibial postérieur est constante, c'est la rétraction des tendons fibulaires qui pourrait expliquer cette différence. Le pied plat avec abduction pourrait s'expliquer par une rétraction du tendon court fibulaire alors que le pied plat valgus serait davantage lié à une rétraction du tendon long fibulaire.

L'analyse baropodométrique dynamique montre ici un intérêt dans la compréhension physiopathologique du pied plat qui nécessitera encore des travaux de recherche. L'intérêt d'une classification intégrant le niveau de la cassure de l'arche médiale et les retractions tendineuses semblent se préciser et devrait conduire à

améliorer le traitement conservateur chirurgical des pieds plats valgus de stade 2.

### *L'analyse des résultats après chirurgie*

La distinction entre pied plat abductus et pied plat valgus nous avait conduits à proposer une attitude thérapeutique adaptée à l'empreinte baropodométrique : indication d'une ostéotomie d'Evans dans les pieds plats abductus et d'une technique de translation médiale du calcaneus dans les pieds plats valgus. Cependant, nos résultats en baropodométrie montrant une moins bonne reconstruction architecturale après la technique de Myerson à la fois sur le plan radiologique et baropodométrique, nous ont conduit à réaliser l'ostéotomie d'Evans dans tous les cas. Certes, nous avons eu quelques mauvais résultats, mais il s'agissait surtout de pieds plats neurologiques ou arthrosiques. Même, les 2 cas de tassements du greffon secondairement ont eu des résultats passables (impression d'affaissement de l'arche médiale du pied non symptomatique). Nous nous sommes posés la question de l'importance à accorder aux 2 critères de résultat que sont la reconstruction architecturale et la dynamique du pied. Nous avons vu que si les deux techniques donnent la même correction de la force latéro-médiale, la morphologie du pied est significativement plus normalisée par l'ostéotomie d'Evans. Il sera intéressant d'apprécier l'évolution de ce résultat dans le temps pour confirmer l'intérêt de la technique d'Evans, plus agressive que la technique de Myerson du fait de la prise de greffon iliaque. Mais, il faudra aussi considérer l'allongement des tendons fibulaires réalisé uniquement dans la technique d'Evans, pour éviter l'hyperpression calcaneéo-cuboïdienne du fait de l'allongement du calcaneus, mais qui a aussi un intérêt pour traiter une des causes possibles du pied plat qu'est la rétraction des tendons fibulaires. L'ostéotomie de scarf du calcaneus décrite par Weil [7] peut être une des solutions à évaluer en baropodométrie mais nous pensons que l'ostéotomie est trop postérieure pour corriger l'abduction de manière aussi importante que dans l'ostéotomie d'Evans.

Nous voyons l'intérêt des études comparatives des techniques chirurgicales qui conduira probablement dans l'avenir à définir des indications plus précises en fonction du type de pied plat.

Enfin, le suivi de l'évolution des empreintes dans le temps permet dans le court terme de définir la prise en charge postopératoire adaptée au patient et aidera dans le futur à apprécier le résultat à long terme en définissant les critères de mauvaises évolutions qu'il faudra prévenir.

---

## **Conclusion**

Cette étude a permis des réflexions sur la dynamique du pied plat avant et après chirurgie. Les médecins et chirurgiens

giens du pied devront sans doute à l'avenir utiliser cet examen objectif qu'est la baropodométrie dynamique pour comprendre les pathologies du pied, en tenant compte de la fonction et des caractéristiques propres à chaque individu et poser ainsi les indications médicales ou chirurgicales adaptées. Auparavant, des travaux de recherche devront encore préciser les critères de normalité par rapport aux pathologies. La formation à cette technique d'apparence très scientifique est en conséquence à envisager dès maintenant. Pour permettre un investissement des cabinets médicaux dans cet examen assez coûteux, une reconnaissance par les organismes de prise en charge avec une cotation de l'acte serait à mettre en place. Un constat : les podologues utilisent de plus en plus cet examen, les chirurgiens orthopédistes infantiles ont commencé depuis quelques années, les chirurgiens du pied français commencent à peine à s'y intéresser...

---

## Références

1. Barouk LS (2003) Forefoot Reconstruction. Springer Verlag France, Paris
2. Evans D (1975) Calcaneo-valgus deformity. *J Bone Joint Surg* 57B: 270-8
3. Lelièvre J, Lelièvre JF (1981) Pathologies du pied. Masson, Paris, p. 431
4. Myerson MS, Corrigan J, Thompson F, Schon LC (1995) Tendon tranfert combined with calcaneal osteotomy for treatment of posterior tendon insufficiency: a radiological investigation. *Foot Ankle Int* 16: 712-8
5. Mosca VS (1995) Calcaneal lengthening for valgus deformity of the hindfoot - results in children who had severe symptomatic flatfoot and skewfoot. *J Bone Joint Surg* 77A (4): 500-2
6. Rosenbaum D, Becker HP (1997) Plantar pressure distribution measurements. Technical background and clinical applications. *Foot Ankle Surgery* 3: 1-14
7. Weil LS Jr, Roukis TS (2001) The calcaneal scarf osteotomy: operative technique. *J Foot Ankle Surg* 40: 178-82