

# PODOMÉTRIE ÉLECTRONIQUE DEUX ANNÉES D'EXPÉRIENCE : RAPPORT PRÉLIMINAIRE

M. LIBOTTE<sup>1</sup>, P. ZYGAS<sup>2</sup>, S. GIUDICI<sup>1</sup>, B. NOEL<sup>1</sup>

Les auteurs présentent leur expérience de deux années d'utilisation du système EMED de mesure dynamique des pressions plantaires :

- choix du matériel ;
- réalisation de l'examen ;
- apport de ce type d'examen en chirurgie du pied.

Les conclusions envisagent les problèmes spécifiques liés à l'utilisation de ce nouveau procédé diagnostique.

**Keywords** : electronical podometry.

**Mots-clés** : podométrie électronique.

pathologie du pied. La réalisation de radiographies debout complète utilement cet examen. L'analyse visuelle, ou mieux le recours à la vidéo, permettent l'appréciation dynamique et même tridimensionnelle de la marche. Quoi qu'il en soit, ces différents procédés ne permettent que des mesures statiques ou, au mieux, une appréciation qualitative des forces et des pressions supportées par le pied pendant la marche. Actuellement les progrès de l'informatique et de la technologie amènent sur le marché de nouveaux outils qui permettent d'obtenir des mesures dynamiques au cours de la marche et du mouvement.

## 1. INTRODUCTION

La station debout et la marche par transfert de la charge d'un pied sur l'autre sont deux des caractéristiques exclusives de l'homme. Si ce changement fondamental du mode de locomotion présente l'avantage décisif de libérer les membres supérieurs pour des tâches différentes, il impose une augmentation appréciable des sollicitations mécaniques sur les membres inférieurs. Les forces sont considérables et s'exercent sur une surface réduite (un seul pied ou partie de pied). Malgré les remaniements adaptatifs qui ont remodelé l'architecture du membre inférieur, le support de la charge corporelle demeure un problème critique qui concerne de près ou de loin la très grande majorité des problèmes rencontrés en pathologie du pied. Le moyen le plus simple d'apprécier les charges supportées par le pied est l'analyse des empreintes en charge par le biais du podoscope ou d'empreintes encrées. Cet examen représente une des étapes fondamentales du diagnostic en

## 2. CHOIX DU MATÉRIEL

On trouve actuellement sur le marché trois types d'appareillage permettant l'obtention de mesures dynamiques de la force et/ou de la pression au cours de la marche :

- les plates-formes de force ;
- le pédobarographe ;
- les podomètres électroniques.

*Les plates-formes de force* (type Kistler) permettent l'analyse dynamique et tridimensionnelle des forces et des moments de force sous le pied d'appui. Ce matériel est très précis, mais ne fournit

<sup>1</sup> Département d'Orthopédie-Traumatologie, Centre Hospitalier Etterbeek-Ixelles, 63 Rue J. Paquot, 1050 Bruxelles, Belgique.

<sup>2</sup> Service d'Orthopédie-Traumatologie, Hôpital Universitaire Brugmann, 4 Place Van Gehuchten, 1020 Bruxelles, Belgique.

Correspondance et tirés à part : M. Libotte, Av. des Hélio-tropes 13, 1030 Bruxelles, Belgique.

d'informations que pour le pied dans son ensemble et sans permettre l'appréciation locale de la force ou de la pression dans différentes régions du pied. Par ailleurs, le coût élevé de ces plate-formes les a confinées aux laboratoires de recherches fortunés.

*Le Pédobarographe* de Betts *et al.* (1) est basé sur un système optique. Les travaux de J. Hughes *et al.* notamment (4, 5) ont démontré l'utilité et la fiabilité de cet appareillage. Son acquisition en Europe n'est pas facile actuellement.

*Les podomètres électroniques* recourent à l'analyse par des capteurs électroniques des variations de courant induites par la pression au niveau d'une trame barosensible. Actuellement on trouve essentiellement trois appareils sur le marché (les 2 premiers sont très semblables) :

- l'Électropodographe (firme BJL) ;
- Le PEL 38 (firme Midi Capteurs) ;
- le système EMED (firme Novel).

Pour de tels systèmes de mesure, l'élément essentiel est le capteur :

— est-il fiable, en d'autres termes, pour une sollicitation mécanique définie, donnera-t-il toujours la même réponse ?

— sa plage de sensibilité coïncide-t-elle avec l'ordre de grandeur des pressions engendrées au cours de la marche et pour des sujets de taille et de poids différents ?

— y a-t-il un nombre suffisant de capteurs par unité de surface pour permettre des mesures précises ?

Un autre point important est le traitement de l'information de base, toujours abondante, fournie par le système de mesures. En d'autres mots, quelles sont les possibilités du logiciel informatique de traitement des données ? Enfin, d'intérêt scientifique secondaire, mais cruellement réel, le coût de l'appareillage est à prendre en considération. Le tableau I reprend les principales caractéristiques de deux systèmes actuellement disponibles (données fournies par le constructeur).

Nous avons opté pour le système EMED-SF, élaboré au départ des travaux de Hennig et Nicol (3) car la fiabilité de l'appareillage est attestée par des références sérieuses et suffisantes dans la littérature (2, 5, 6). Par ailleurs, la conception d'ensemble du système paraît bien intégrée, autorisant des développements au départ du matériel de base (semelles dynamométriques par exemple).

Le matériel actuellement utilisé comprend :

- une plate-forme 48 × 31 × 1,5 cm/1344 capteurs (2 capt./cm<sup>2</sup>) ;
- un Pédographe EMED-SF muni du logiciel de base, d'un clavier et d'un lecteur de disquette de 5"1/4 ;
- un moniteur couleur type EGA ;
- une imprimante couleur à jet d'encre Sharp JX-72 FC ;
- un ordinateur IBM compatible Compaq AT 286 (disque dur de 40 Mb) équipé du logiciel Multimask pour l'analyse de différents paramètres d'appui dans des secteurs particuliers du pied définis par l'examineur.

Tableau I. — Comparaison des principales caractéristiques :  
EMED-SF/PEL 38  
(Données publiées par les constructeurs en 1989)

	EMED-SF	PEL 38
nb. capteurs /cm	2	1
sensibilité N/cm <sup>2</sup>	1 à 127	0,3 à 60
sensibilité kg/cm <sup>2</sup>	0,1 à 13	0,03 à 6,1
mesure de la pression	directe (N/cm <sup>2</sup> )	indirecte (% du max.)
gait line	oui	oui
nb. images/sec.	75	40
mountain picture	oui	non
marge d'erreur	5%	8 à 15%
prix htva FB en 89	1.500.000	350.000

La plate-forme est incorporée dans un trottoir de marche de 5 mètres de long sur 1 mètre de large. Au cours de l'examen, le patient est invité à marcher normalement sur la surface de marche de manière à ce qu'un pied tombe sur la plate-forme. Une fois que le patient réalise cela correctement sans altérer sa marche, trois mesures sont enregistrées pour chaque pied et stockées sur disquettes pour évaluation ultérieure. L'analyse statistique de ces trois mesures permet de minimiser les variations intra-individuelles de chaque pas (6). Cette analyse est réalisée ultérieurement par le même examinateur. Les images les plus significatives sont imprimées sur papier et les résultats de l'analyse sont définitivement stockés sur disquettes.

Les différents niveaux de pression enregistrés par les capteurs sont reproduits à l'écran par le biais d'une échelle colorimétrique (fig. 1). Pour les

mesures dynamiques, le multiplexeur enregistre les variations de pression au niveau de chacun des capteurs à raison de 2 mesures/seconde pour un maximum de 150 mesures. Ceci représente environ 50 à 60 images successives pour la durée normale d'une phase d'appui (de l'ordre de 600 à 800 msec.). Ces images séquentielles sont stockées en mémoire. En fin d'enregistrement l'écran affiche une image artificielle reprenant pour les différents capteurs sollicités au cours de l'appui la pression maximale enregistrée par chacun d'eux. Cette image appelée MPP (maximum pressure picture) présente en superposition sur l'empreinte colorimétrique la courbe d'évolution du point d'application de la résultante des forces au cours de la phase d'appui (gait line). Trois graphiques superposés représentent l'évolution temporelle de la pression (P), de la force (F) et de la surface (A pour area) (fig. 1).

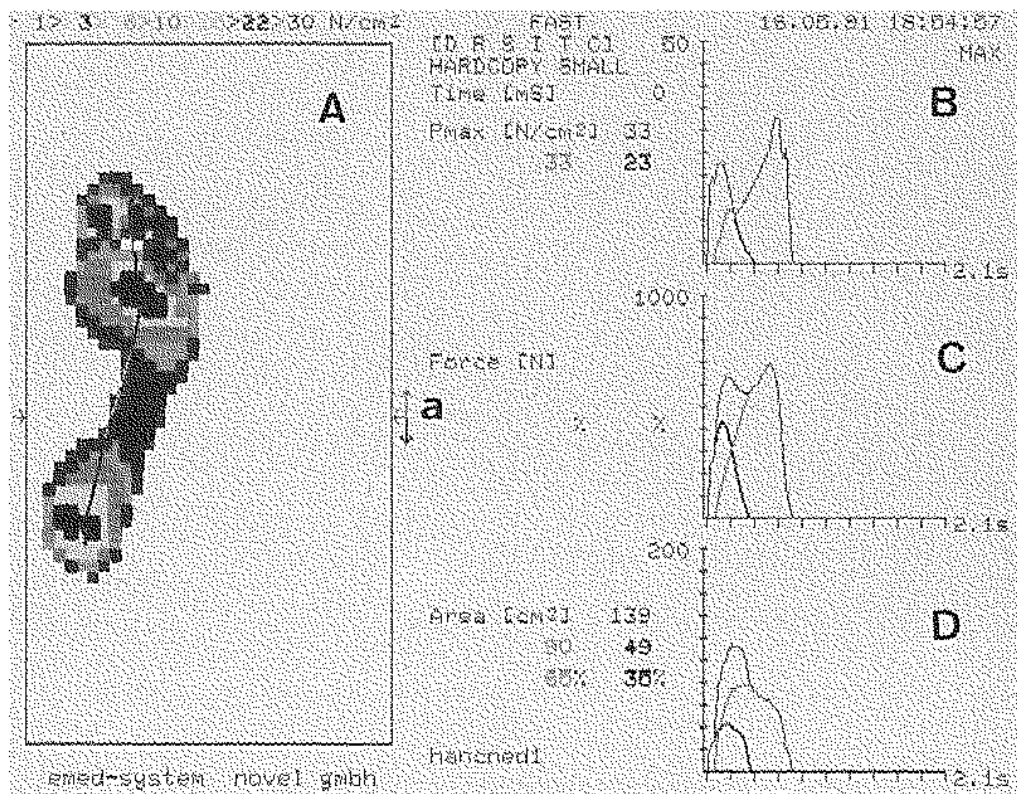


Fig. 1. — Image obtenue à l'écran du système EMED.

- Image MPP surmontée de l'échelle colorimétrique. «Gait line» en surimpression sur l'empreinte colorée.
  - Courbe d'évolution temporelle de la pression.
  - Courbe d'évolution temporelle de la force.
  - Courbe d'évolution temporelle de la surface d'appui.
- a. Curseur permettant de diviser à la demande la plate-forme en deux champs distincts.

Un curseur mobile permet de diviser à la demande l'empreinte colorimétrique en deux champs distincts pour lesquels les 3 paramètres sus-mentionnés seront également affichés (par exemple division de l'empreinte en arrière-pied et avant-pied). Ces données élémentaires sont obtenues immédiatement après la mesure, sans traitement informatique supplémentaire. Chacune des images séquentielles (et la MPP) peut être visualisée et imprimée. Il est également possible d'imprimer ces différentes images en grandeur réelle (1/1 picture) ou de figurer les variations de pression en pseudo-relief («mountain» picture). Le logiciel Multimask permet de définir au départ des données initiales jusqu'à 12 zones d'intérêts pour lesquelles les paramètres suivants seront calculés :

- (1) surface, (2) pression, (3) force,
- (4 + 5) durée d'appui en msec. et en % de la durée totale,
- (6) intégrale pression-temps, (7) intégrale force temps,
- (8/9) instant de la pression max. (en msec. et en %),
- (10/11) instant de la force max. (en msec. et en %).

Ces différents paramètres peuvent être calculés pour un seul enregistrement ou pour plusieurs enregistrements chez le même sujet. Dans ce dernier cas seront également affichés, pour ces variables, la déviation standard et le coefficient de variation.

Les mêmes calculs peuvent être effectués pour des enregistrements obtenus chez des sujets différents (statistiques pour des pathologies données).

### 3. EXPÉRIENCE CLINIQUE

Le système est opérationnel depuis février 1989. Sa mise en route n'a pas posé de problème particulier, bien que les auteurs ne soient ni techniciens ni informaticiens. La demi-journée d'initiation organisée par le constructeur et le manuel d'utilisation se sont avérés suffisants.

Jusqu'à ce jour, le matériel a fonctionné sans avarie. Durant certains après-midis caniculaires en été, il a parfois été nécessaire d'interrompre momentanément certains examens car il se produisait

des interférences liées à la chaleur. Début 1990, il s'est avéré nécessaire de recalibrer la plateforme car il y avait une erreur systématique de 15% en excès sur les mesures. Cette prestation fut réalisée gracieusement par le constructeur (durée d'immobilisation du matériel : 10 jours).

De février 1989 à octobre 1990, nous avons réalisé 555 examens (certains pré- et post-opératoires) :

- 332 cas de métatarsalgies, comprenant des hallux valgus, des hallux rigidus et des déformations d'orteils ;
- 36 cas post-traumatiques ;
- 84 cas de déformations dites statiques (essentiellement des pieds valgus ou creux) ;
- 18 pieds neurologiques essentiellement séquellaires (polio, neuropathies diabétiques) ;
- 85 cas de pathologies diverses ou dont les données cliniques n'ont pas été retrouvées.

Les analyses dynamiques se sont révélées fiables et précieuses dans le diagnostic et dans l'appréciation des résultats post-opératoires. Les affections particulièrement susceptibles de bénéficier de ce type d'investigations sont dans notre expérience :

- Les pieds insensibles (neuropathies surtout diabétiques) : détection des zones à risque et prévention ;
- Les métatarsalgies, essentiellement l'insuffisance du premier rayon ;
- les pieds valgus (plats ou creux) : distinction entre les valgus fonctionnellement normaux (déroulement normal du pas malgré un examen statique anormal) et les valgus pathologiques.

### 4. DISCUSSION ET CONCLUSION

Bien que l'analyse dynamique des pressions constitue un appoint appréciable dans le diagnostic des désordres fonctionnels du pied et de la marche, certains problèmes restent à résoudre :

- le manque de données de référence pour l'appréciation dynamique de la marche et, plus encore de la course. Actuellement l'évaluation des résultats reste une question d'expérience et d'esprit critique. La comparaison avec le pied controlatéral, si ce dernier est asymptomatique, est riche d'enseignement encore que critiquable sur le plan des principes.

Les publications récentes commencent néanmoins à combler cette lacune.

— *La récolte des données* devrait être uniformisée pour permettre :

a) la prise en compte des données cliniques et d'imagerie ainsi que les mesures dynamiques dans un seul fichier ;

b) l'établissement de corrélations entre les mesures statiques et dynamiques ;

c) l'analyse statistique et la comparaison de résultats inter-individuels pour la même pathologie.

### CONCLUSION

Au stade actuel de notre expérience, nous pouvons dire que les mesures dynamiques apportent incontestablement nombre d'informations précieuses. Toutefois l'utilisation d'un système de mesures dynamiques en clinique habituelle doit absolument répondre aux conditions suivantes :

— *L'examineur* doit avoir une connaissance approfondie de la marche, de la biomécanique et de la pathologie du pied. Il doit avoir aussi quelques clartés en informatique.

— *L'examen* — compte tenu du manque de normes de référence — doit toujours être interprété avec circonspection et considéré comme une partie seulement de l'examen du pied.. La collecte des données doit être rigoureuse. Le résultat de leur analyse doit être confronté aux données de l'examen clinique et de la radiographie.

Ce type d'examen doit être réalisé par des investigateurs entraînés et compétents, qui ont la possibilité de réaliser et d'interpréter un grand nombre d'examens afin d'être à même de sélectionner les indications appropriées, d'améliorer leurs performances dans l'appréciation des résultats et de fournir des normes statistiquement valables tant pour les sujets normaux que pour les différentes pathologies susceptibles de requérir cet examen.

### 5. BIBLIOGRAPHIE

1. Betts R. P., Duckworth T., Austin I. G., Crocker S. P., Moore S. Critical light reflection at a plastic/glass interface and its application to foot pressure measurements. *J. Med. Eng. Technol.*, 1980, 4, 136-142.
2. Heindinger F., Kurz B., Selbach R., Diebschlag W. Einsatzmöglichkeiten eines Druckverteilungsmessgerätes zur anthropometrischen und orthopädischen Fussdatenerfassung. *Z. Orthop.*, 1987, Heft 2, Band 125, 201-205.
3. Hennig E. M., Nicol K. Registration methods for time-dependent pressure distribution measurements with mats working as capacitors. *Int. S. Biomech.*, 1978, 2-A, 361-367.
4. Hughes J., Jagoe R., Clark P., Klenerman L. Pattern recognition of images of the pressure distribution under the foot from the pedobarograph. *J. Photographic Science*, 1989, B-37, 139-142.
5. Hughes J., Kriss S., Klenerman L. A clinician's view of foot pressure: a comparison of three different methods of measurement. *Foot Ankle*, 1987, 7, 277-284.
6. Hughes J., Pratt L., Linge K., Klenerman L. Reliability of pressure measurements: the EMED-F system. *Clin. Biomech.*, 1991, 6, 14-18.
7. Morlock M. A generalized three-dimensional six-segment model of the ankle and the foot. Thesis University of Calgary, Calgary, Alberta, Canada, 1990.
8. Schaff P., Kirsch D., Frey S., Mehnert H. Dynamische Druckverteilungsmessung unter der Fusssohle; Standardisierung der Pedographie. *Akt. Endokr. Stoffw.*, 1987, 127-131.

### SAMENVATTING

*M. LIBOTTE, P. ZYGAS, S. GIUDICI en B. NOEL. Electronische podometrie. Voorlopige evaluatie na 2 jaar.*

De auteurs rapporteren hun ervaring na 2 jaar gebruik van het EMED-systeem voor de dynamische meting van de plantaire druk :

- keuze van het materiaal
- techniek van het onderzoek
- bijdrage van dit onderzoek tot de voetchirurgie.

Bespreking van de specifieke problemen, gerezen bij het gebruik van deze nieuwe diagnostische techniek.

### SUMMARY

*M. LIBOTTE, P. ZYGAS, S. GIUDICI and B. NOEL. Electronical podometry.*

The authors relate their experience with the EMED system for the dynamic assessment of plantar pressure used in clinical practice for 2 years :

- how the measurement device was chosen ;
- how the examination is performed ;
- the usefulness of this type of examination in foot surgery.

They discuss the specific problems related to the application of this new diagnostic tool in clinical practice.