

Communauté Française de Belgique  
HAUTE ECOLE PAUL HENRI-SPAAK  
Département Paramédical

Kinésithérapie



**Intérêt de la pratique des Propriofoot  
sur la stabilité articulaire de la cheville chez le sujet sain.  
Objectivation à l'aide de la plate-forme de force FootWork Pro.**

Promoteurs :

- WATHIONG Patricia  
Kinésithérapeute sportive
- OESTREICHER Eric  
Podologue sportif

Mémoire présenté par  
VANKERKHOVE Nicolas  
pour l'obtention du diplôme de  
master en kinésithérapie

Année académique 2008-2009



Communauté Française de Belgique  
HAUTE ECOLE PAUL HENRI-SPAACK  
Département Paramédical

Kinésithérapie



**Intérêt de la pratique des Propriofoot  
sur la stabilité articulaire de la cheville chez le sujet sain.  
Objectivation à l'aide de la plate-forme FootWork Pro.**

Promoteurs :

- WATHIONG Patricia  
Kinésithérapeute sportive
- OESTREICHER Eric  
Podologue sportif

Mémoire présenté par  
VANKERKHOVE Nicolas  
pour l'obtention du diplôme de  
master en kinésithérapie

Année académique 2008-2009

## REMERCIEMENTS

Je tiens à remercier tout particulièrement Madame Patricia Wathiong, ma promotrice de mémoire, pour m'avoir guidé dans ce travail et me faire bénéficier de ses connaissances, de son expérience, et de ses conseils avisés.

Un grand merci à monsieur Eric Oestreicher, mon co-promoteur, pour son aide et pour m'avoir fourni le matériel et les locaux nécessaires à la réalisation de mes expériences.

Merci également à la firme « Kinequanon » pour m'avoir fourni les Propriofoot, matériel indispensable à la réalisation de cette étude.

Je suis reconnaissant à mes vingt-quatre sujets\* qui ont gentiment accepté de me donner de leur temps libre afin de participer à cette étude.

Je tiens à remercier tout le corps professoral de l'ISEK pour le savoir qu'ils m'ont transmis.

Enfin, merci à tous mes proches ; parents, grands-parents et beaux-parents, Marine, Nicolas, Sandrine, ainsi que tous mes amis\*, pour leur aide, leur confiance et leur soutien.

\* Basile et Lionel (BNL), Pierre, Peter, Denis, Tanguy, Tomtom, Seb, Romain, Mika, Mitch, Mik, Nicolas I, Charles, Rémi, Matéo, Steph, Arnaud, Nicolas II, Alex, Lolo, Tibo, Jérôme, Piet, Alexia, Francois, Emmeline et Aurélie

<b>I.</b>	<b><u>INTRODUCTION</u></b>	<b>5</b>
<b>II.</b>	<b><u>RAPPELS THEORIQUES</u></b>	<b>8</b>
1.	ANATOMIE	9
2.	BIOMECANIQUE	12
3.	PROPRIOCEPTION	15
3.1.	DEFINITION	15
3.2.	RAPPELS NEURO-ANATOMIQUES	16
3.2.1.	Les récepteurs articulaires	16
3.2.2.	Les récepteurs musculaires	18
3.2.3.	Le système labyrinthique	20
3.2.4.	Les récepteurs visuels	20
4.	REEDUCATION PROPRIOCEPTIVE DE LA CHEVILLE	21
<b>III.</b>	<b><u>PROTOCOLE EXPERIMENTAL</u></b>	<b>23</b>
1.	POPULATION	24
2.	LES PLAQUETTES PROPRIOFOOT	26
3.	APPAREIL DE MESURE UTILISE LORS DE L'ETUDE	28
3.1.	LA PLATE-FORME DE FORCE	28
3.1.1.	Intérêt de la plate-forme de force	28
3.1.2.	Description de l'appareil	29
3.1.3.	Installation du sujet et protocole utilisé	29
3.2.	LE LOGICIEL D'ACQUISITION DES DONNEES	30
4.	L'ENTRAINEMENT SUIVI	31
4.1.	LIEU DE L'ENTRAINEMENT	31
4.2.	PLANNING DE L'ENTRAINEMENT	31
4.3.	DESCRIPTION DES SEANCES D'ENTRAINEMENT	32
4.3.1.	Première séance	32
4.3.2.	Deuxième séance	33
4.3.3.	Troisième séance	34
4.3.4.	Quatrième séance	34
4.3.5.	Cinquième séance	35

<b>IV. <u>RESULTATS</u></b>	<b>36</b>
<b>1. PRESENTATION DES RESULTATS</b>	37
1.1.ANALYSE STATIQUE	37
1.2.ANALYSE DYNAMIQUE	39
<b>2. ANALYSES STATISTIQUES</b>	40
2.1.ACQUISITION STATIQUE	41
2.2.ACQUISITION DYNAMIQUE	43
<b>V. <u>DISCUSSION</u></b>	<b>45</b>
<b>1. DISCUSSION DES RESULTATS</b>	46
<b>2. LIMITES ET POINTS FORTS DE L'ETUDE</b>	49
<b>VI. <u>CONCLUSION</u></b>	<b>51</b>
<b>VII. <u>BIBLIOGRAPHIE</u></b>	<b>53</b>
<b>VIII. <u>ANNEXES</u></b>	<b>56</b>
- Annexe 1. Feuille de consentement	57
- Annexe 2. Description des séances six, sept, huit, neuf et dix	59
- Annexe 3. Tableaux des valeurs enregistrées lors de l'étude	63
- Annexe 4. Représentation de l'axe de Henke	65

# I. INTRODUCTION

# INTRODUCTION

---

La cheville est le complexe articulaire qui relie le pied (point d'appui avec le sol) et le reste du corps. C'est elle qui en supporte le poids et qui doit s'adapter aux déséquilibres infligés par celui-ci ou par le sol.

Souvent exposée aux traumatismes articulaires que sont les entorses de cheville, touchant les personnes sédentaires comme les sportifs de haut niveau, sa prise en charge thérapeutique, qu'elle soit médicale ou rééducative, est bien connue de tous.

Pourtant, depuis plusieurs années, il est constaté une recrudescence non-négligeable des complications concernant cette pathologie, soit sous forme de douleurs résiduelles péri-articulaires, soit sous forme d'instabilité chronique objectivée par des épisodes d'entorses à répétitions plus ou moins graves et dont les facteurs déclenchant sont de moins en moins francs<sup>1</sup>.

Une partie importante de la rééducation ou de la prévention de ce phénomène repose sur le travail proprioceptif, autrement appelé « reprogrammation neuromusculaire ».

Dans ce domaine, Freeman a été le premier thérapeute à utiliser des plateaux instables pour stimuler les capteurs proprioceptifs de la cheville.

Loïc PARIS et Jérôme BAICRY, deux kinésithérapeutes du sport, se sont aperçus que le matériel proposé dans le cadre de ces reprogrammations neuromusculaires n'était pas toujours adapté aux exigences de celles-ci. Le défaut principal étant de proposer un débattement angulaire tel que les participations du genou et de la hanche deviennent prédominantes dans les tentatives de stabilisation du sujet. De plus, la taille des plans instables utilisés jusqu'ici ne permettait pas de dissocier, de façon sélective, l'avant-pied de l'arrière-pied.

Ces deux kinésithérapeutes ont donc mis au point un outil de rééducation proprioceptive, appelé Propriofoot, qui selon eux, permet de combler les différents manques cités précédemment.

---

<sup>1</sup> BAICRY J., PARIS L., « Rééducation de la cheville et du pied : du nouveau dans la proprioception », FMT Mag, 2004, p.12

Cet outil thérapeutique se présente sous forme de quatre plaquettes en résine de 10cm<sup>2</sup>, différenciables l'une de l'autre par leurs couleurs et leurs supports. Elles sont utilisées par paires et permettent, par leurs multiples possibilités de combinaison et leurs faibles débattements angulaires, de travailler de manière beaucoup plus précise et sélective la reprogrammation neuromusculaire de la cheville.

Au travers de notre étude, nous voulons voir l'intérêt que pourrait apporter la pratique d'un entraînement proprioceptif à l'aide des Propriofoot, sur la stabilité articulaire de la cheville de sujets sains. Nous allons mesurer des paramètres à l'aide d'une plate-forme de force et tenter de mettre en avant une quelconque évolution.

## **II. RAPPELS THEORIQUES**

# 1. ANATOMIE

La cheville est un complexe articulaire unissant la jambe et le pied, qui présente une double utilité ; il supporte le poids du corps et permet d'orienter la voûte plantaire dans toutes les directions lors de la marche, pour l'adapter aux accidents de terrain.

Ce complexe met en contact un os du tarse, le talus, avec les extrémités inférieures du tibia et de la fibula. L'ensemble étant entouré d'un manchon fibreux appelé capsule.

L'articulation tibio-tarsienne, est composée de la mortaise tibiofibulaire et de la poulie talienne (fig.1).



**Figure 1 : Représentation de l'articulation tibio-tarsienne ; vue postérieure (illustration Frank H. Netter<sup>2</sup>)**

La mortaise est constituée par les extrémités distales du tibia et de la fibula. Celles-ci sont solidement unies par les ligaments tibio-fibulaire antérieur et tibio-fibulaire postérieur.

Les parois supérieure et interne de la mortaise appartiennent au tibia, la paroi externe appartient à la fibula. La partie médiale de la mortaise (malléole médiale) est plus courte que la partie latérale (malléole externe). Cette configuration anatomique permet d'expliquer que le mouvement d'inversion du pied soit plus ample et plus fréquent que le mouvement d'éversion. (Tableau 1.)

Cheville		
Flexion	Extension dorsale du pied	20 à 30°
Extension	Flexion plantaire du pied	30 à 60°
Pied		
Adduction	Pointe du pied latéralement	15 à 20°
Abduction	Pointe du pied médialement	15 à 20°
Rotation méd.	Pronation	50°
Rotation lat.	Supination	20°
Inversion	Rotation médiale + adduction + extension	30°
Eversion	Rotation latérale + abduction + flexion	25°

**Tableau 1 : Définition et amplitudes de mouvements (B.COUDRET et al<sup>3</sup>)**

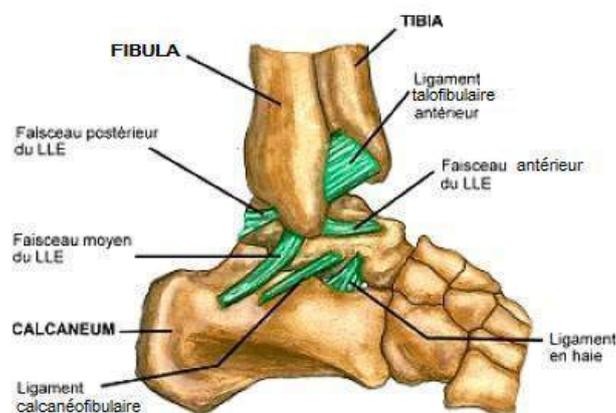
<sup>2</sup> FRANK H. NETTER, « Atlas d'anatomie humaine », Broché, 2007, p.507

<sup>3</sup> B.COUDRET et al, « Traumatisme récent de la cheville » ; Elsevier Masson, 2007.

La stabilité de cette articulation est assurée de manière active par les muscles périarticulaires (tableau 2), et de manière passive par la congruence osseuse et par les ligaments latéraux.

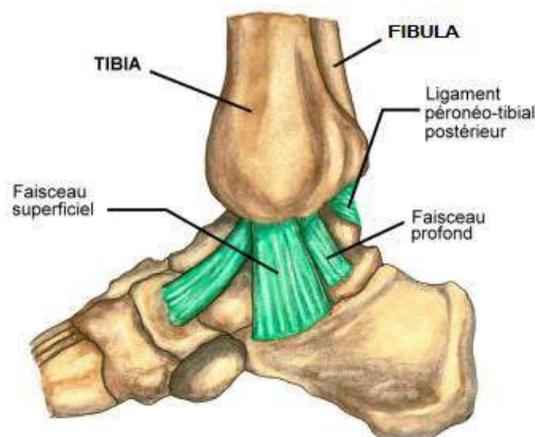
Le ligament latéral externe, nommé aussi le ligament collatéral latéral possède un rôle essentiel, il limite la laxité de la cheville en inversion et évite la subluxation antérieure et latérale de l'astragale. Ce ligament consiste en trois faisceaux distincts (fig. 2):

- le faisceau postérieur horizontal (talofibulaire postérieur)
- le faisceau moyen (calcanéofibulaire)
- le faisceau antérieur (talofibulaire antérieur). Ce ligament empêche les mouvements de tiroir antérieur de l'astragale. Il est le plus sollicité lors de l'inversion, c'est aussi le premier lésé.



**Figure 2 : Représentation du LLE (tiré de « La cheville » J.P BESNIER<sup>4</sup>).**

Le ligament latéral interne, ou ligament collatéral médial (fig. 3) est constitué de deux plans, profond et superficiel. Il est 20 à 50% plus résistant que le ligament latéral externe et a pour fonction principale de verrouiller l'articulation. Il bloque l'articulation lors de l'éversion et de la rotation externe.



**Figure 3 : Représentation du LLI (tiré de « La cheville » J.P BESNIER).**

<sup>4</sup> BESNIER J.P, « La cheville », Frison-Roche, Paris, 1992.

Muscles	Insertions proximales	Insertions distales	Innervation tronculaire et radulaire	Action
Gastrocnémien	Chef latéral : condyle latéral du fémur Chef médial: surface poplitée du fémur	Face postérieure du calcaneus	Nerf tibial (S1, S2)	Fléchisseur plantaire du genou et de la cheville
Soléaire	Face postérieure de la tête de la fibula, crête oblique et bord médial du tibia	Face postérieure du calcaneus	Nerf tibial (S1, S2)	Fléchisseur plantaire de la cheville
Long fibulaire	Face latérale et supérieure de la fibula	Base du 1er métatarsien et cunéiforme médial	Nerf fibulaire superficiel (L5, S1, S2)	Eversion du pied et participation à la flexion plantaire
Court fibulaire	Face latérale et inférieure de la fibula	Processus styloïde de la base du 5e métatarsien	Nerf fibulaire superficiel (L5, S1, S2)	Eversion du pied et participation à la flexion plantaire
3e fibulaire	Face médiale et inférieure de la fibula et membrane interosseuse	Base du 5e métatarsien	Nerf fibulaire profond (L5, S1)	Fléchisseur dorsal de la cheville et éversion du pied
Long extenseur des orteils	Condyle latéral du tibia et face médiale de la fibula	Phalanges distales et intermédiaires des orteils 2-5	Nerf fibulaire profond (L5, S1)	Extension des orteils 2-5 et participe à la flexion dorsale de la cheville
Long extenseur de l'hallux	face médiale de la fibula et membrane interosseuse	face dorsale de la base de la phalange distale de l'hallux	Nerf fibulaire profond (L5, S1)	Extension de l'hallux et flexion dorsale de la cheville
Court extenseur des orteils	Face supérieur du calcaneus et rétinaculum des extenseurs	Phalanges intermédiaires des orteils 2-5	Nerf fibulaire profond (L5, S1)	Etends les orteils 2-5 au niveau des MP
Tibial antérieur	Condyle latéral et face latérale du tibia	Partie inféro-médiale du cunéiforme médial et base du 1er métatarsien	Nerf fibulaire profond (L4, L5)	Flexion dorsale de la cheville et inversion du pied
Tibial postérieur	Membrane interosseuse, face postéro-inférieure du tibia et face postérieure de la fibula	Tubérosité du naviculaire, os cunéiforme, cuboïde et base des métatarsiens 2-4	Nerf tibial (L4, L5)	Flexion plantaire de la cheville et inversion du pied
Long fléchisseur de l'hallux	Face postéro-inférieure de la fibula et membrane interosseuse	Base plantaire de la phalange distale de l'hallux	Nerf tibial (S2, S3)	Flexion plantaire de l'hallux et participe à la flexion plantaire de la cheville
Long fléchisseur des orteils	Face postéro-inférieure du tibia	Bases plantaires des phalanges distales des orteils 2-5	Nerf tibial (S2, S3)	Flexion plantaire des 4 derniers orteils, participe à la flexion plantaire de la cheville et maintient l'arche longitudinale du pied

**Tableau 2 : Muscles de la jambe (tiré de Joshua Cleland, « Examen clinique de l'appareil locomoteur », Masson, 2007, pp. 336-339)**

## 2. BIOMECANIQUE

Le pied doit faire face à toutes sortes de situations lors de la marche, les adaptations mécaniques de celui-ci seront donc multiples.

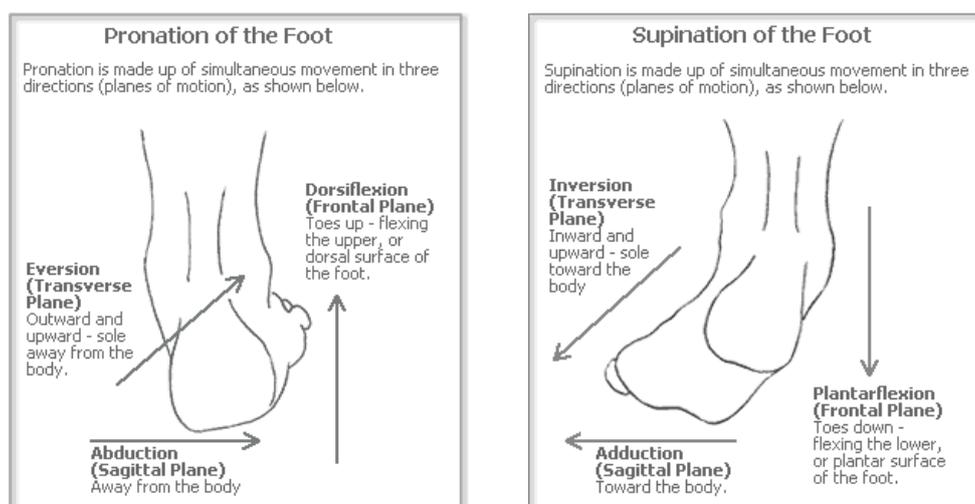
Il va devoir : (SIMON L.)<sup>5</sup>

- assurer la stabilité générale du corps lorsque ce dernier est à l'état de repos ;
- adapter et amortir la transmission des forces descendantes et ascendantes au cours de la marche ;
- associer de façon instantanée, à la fois l'élasticité à la réception et la rigidité à la propulsion.

Pour pouvoir réaliser ses fonctions, les mouvements du pied se réalisent autour de l'axe transversal de l'articulation talo-crurale et autour d'un axe qui traverse les trois plans anatomiques du corps, *l'axe de Henke*. (cf. annexe 4).

L'axe de Henke est une ligne virtuelle qui représente l'axe autour duquel bouge l'ensemble de l'arrière-pied. Il est orienté obliquement de haut en bas, de dedans en dehors et d'avant en arrière. A noter qu'il n'existe pas de mouvement pur au niveau de l'arrière-pied, mais plutôt une combinaison de deux mouvements complexes réalisés autour de cet axe.

Il s'agit de l'**inversion** (combinaison de flexion plantaire, supination et adduction) et de l'**éversion** (combinaison de flexion dorsale, pronation et abduction). (fig. 4 et 5).



Figures 4 et 5 : Représentation des mouvements d'éversion (pronation) et inversion (supination) du pied.  
(Tiré de [www.root2being.me.uk](http://www.root2being.me.uk), 2008 Root2Being™)

<sup>5</sup> SIMON.L. « Le pied du sportif », Masson, 1979.

L'axe transversal de l'articulation talo-crurale passe par la pointe de la malléole médiale et par la pointe de la malléole latérale. C'est autour de cet axe qu'ont lieu les mouvements de **flexion dorsale**, ou extension, et de **flexion plantaire**, ou flexion.

Selon W. Platzer<sup>6</sup> : (fig. 6)

Les muscles responsables de l'**éversion [C]** (élévation du bord latéral du pied) sont :

- le muscle long fibulaire (rouge),
- le muscle court fibulaire (bleu),
- le muscle long extenseur des orteils (jaune),
- le muscle troisième fibulaire (orange).

Participent à l'**inversion [D]**, (élévation du bord médial du pied) :

- le muscle triceps sural (rouge),
- le muscle tibial postérieur (bleu),
- le muscle long fléchisseur de l'hallux (jaune),
- le muscle long fléchisseur des orteils (orange),
- le muscle tibial antérieur (vert).

La **flexion plantaire [B]** est réalisée par :

- le muscle triceps sural (rouge),
- le muscle long fibulaire (bleu),
- le muscle court fibulaire (jaune),
- le muscle long fléchisseur des orteils (vert),
- le muscle tibial postérieur (brun).

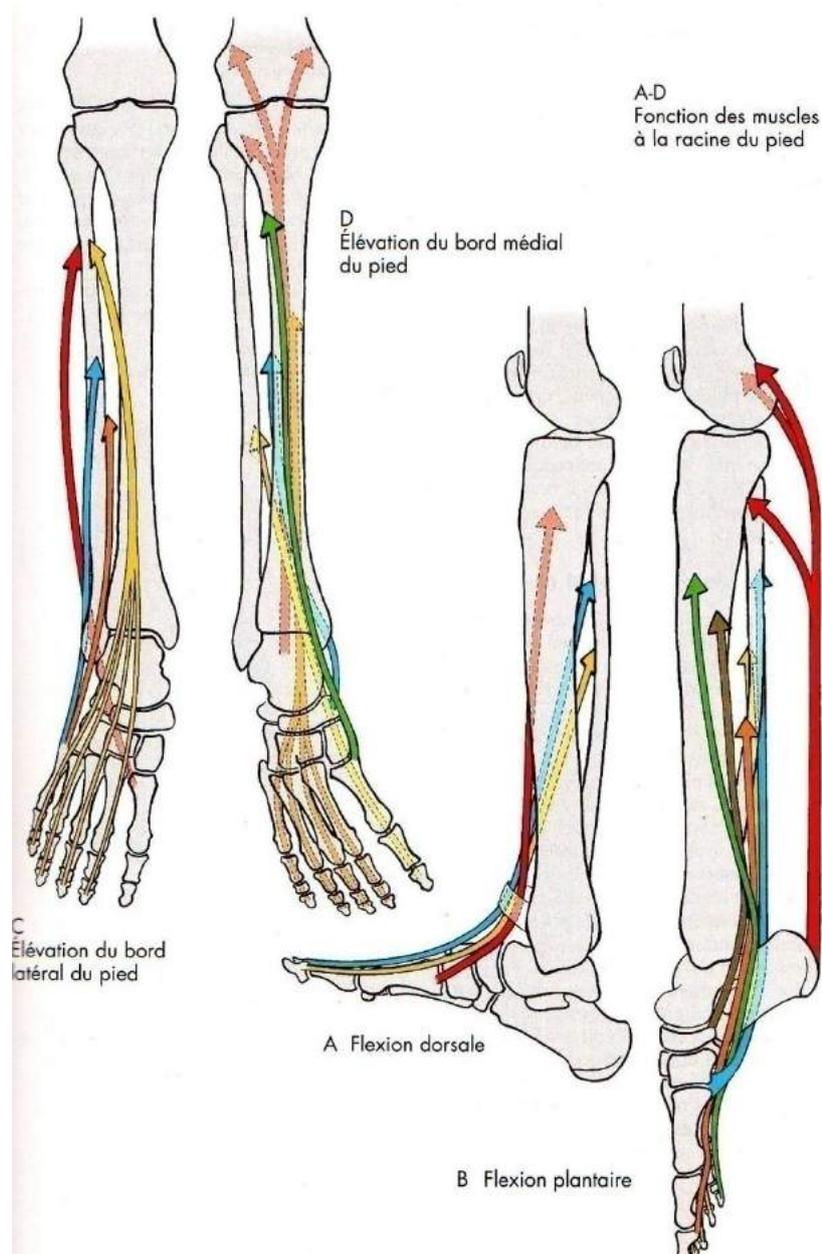
*Remarque* : le muscle triceps sural est le plus important de la flexion plantaire, les autres ont une action très marginale.

Participent à la **flexion dorsale [A]** :

- le muscle tibial antérieur (rouge),
- le muscle long extenseur des orteils (bleu),
- le muscle long extenseur de l'hallux (jaune).

---

<sup>6</sup> WERNER PLATZER, « Appareil Locomoteur », Atlas de poche d'anatomie, Flammarion, 2007, pp.266-267



**Figure 6 : Fonction des muscles à la racine du pied (tiré de WERNER PLATZER, « Appareil Locomoteur », Atlas de poche d'anatomie, Flammarion, 2007, p.267)**

## 3. PROPRIOCEPTION

---

En physiologie, la **proprioception** désigne l'ensemble des récepteurs, voies et centres nerveux impliqués dans la perception, consciente ou non, de la position relative des parties du corps les unes par rapport aux autres (Sherrington, 1906 ; Delmas, 1981).

Actuellement on tend à utiliser le terme de proprioception pour décrire l'ensemble des récepteurs, voies et centres nerveux impliqués dans la perception de la position du corps dans son environnement, ce qui est fort différent. Cette dérive sémantique entraîne une confusion entre la proprioception et les entrées du système postural, classiquement impliquées dans la perception de la position du corps dans son environnement.

Nous allons, au travers de quelques études, tenter de clarifier cette notion de proprioception qui demeure mal définie.

### 3.1. DEFINITION

Selon SHERRINGTON (1906), premier à définir ce terme, la proprioception est le processus d'intégration au niveau du système nerveux central (SNC) d'informations afférentes liées à la position articulaire, au mouvement et à la force. Ces afférences contribuent à des sensations conscientes (« sens musculaire »), à la statique générale (« équilibre postural ») et à la statique segmentaire (« stabilité articulaire »).

En 1992 MATHEWS définit la notion de « sens musculaire » en distinguant quatre modes d'action musculaire : la posture, le mouvement passif, le mouvement actif et la résistance au mouvement.

D'après NASHNER et al.<sup>7</sup> (en 1993), la stabilité articulaire se définit comme étant une combinaison de processus sensoriels, moteurs et biomécaniques. L'équilibre d'une articulation dépend donc des signaux sensoriels émis par les récepteurs spécifiques périphériques. Pour NASHNER et al. La cheville, supportant le poids du corps, serait la première articulation à jouer un rôle important dans le maintien de l'équilibre.

---

<sup>7</sup> NASHNER L, Mc COLLUM G., "The organization of human postural movements a formal basis and experimental synthesis", Behav Brain Sci., 1985; 8: 135-172.

LEPHART et al.<sup>8</sup> démontre en 1997 que la proprioception est une partie de la sensibilité de l'être humain constituée de la reconnaissance de la kinesthésie (sensation de mouvement articulaire) et du sens positionnel articulaire.

## 3.2. RAPPELS NEURO-ANATOMIQUES

Les **récepteurs proprioceptifs**<sup>9</sup> regroupent les récepteurs *kinesthésiques* (récepteurs articulaires, musculaires et cutanés) et les récepteurs *vestibulaires*.

Selon la définition de Sherrington<sup>10</sup>, les récepteurs sont les *propriocepteurs* que l'on trouve :

- dans les structures péri-articulaires (capsule, périoste, tendons, ligaments) avec principalement des terminaisons libres, les corpuscules de Ruffini et Pacini (sensibles à la pression et à la douleur) et les organes tendineux de Golgi.
- dans les muscles : avec les fuseaux neuro-musculaires.

### 3.2.1. LES RECEPTEURS ARTICULAIRES<sup>11</sup>

Il existe quatre types de récepteurs articulaires : les terminaisons nerveuses libres, les corpuscules de Pacini, les organes de Golgi et les corpuscules de Ruffini.

#### a) Les corpuscules de Pacini :

les **corpuscules de Pacini** (fig. 7) sont situés dans le tissu sous-cutané, juste au-dessous du derme (l'hypoderme) et dans les régions profondes du corps, comme les membranes inter-osseuses, les articulations et le mésentère. Ils sont de forme ovale ou sphérique et peuvent s'étendre sur 2mm le long de l'axe d'une terminaison nerveuse.

Les corpuscules de Pacini sont extrêmement sensibles et peuvent répondre à des déformations cutanées de quelques microns. Ce sont des mécanorécepteurs à adaptation rapide.

Les corpuscules de Pacini de la main et du bout des doigts sont essentiels à la discrimination tactile. Les récepteurs de Pacini situés dans les articulations ou le mésentère détectent les vibrations transmises au squelette et servent à détecter les vibrations provenant du sol ou d'autres éléments qui supportent le corps.

---

<sup>8</sup> LEPHART SM, PINCIVERO DM, GIRALDO JL, FU FH., "The role of proprioception in the management and rehabilitation of athletic injuries", Am J Sports Med. 1997; 25(1) : 130-137

<sup>9</sup> LATASH M.L, « Bases neurologiques du mouvement », Bruxelles, De Boeck Université 2002.

<sup>10</sup> BLOUIN et BERGERON, « Proprioception ou reprogrammation neuro-musculaire de la cheville », Amicale des kinés bourbonnais, 1995.

<sup>11</sup> KEVIN D. ALLOWAY, « Neurosciences Médicales », Bruxelles, De Boeck Université 2002.

b) Les corpuscules de Ruffini :

les **corpuscules de Ruffini** (fig. 8) sont des structures encapsulées en forme de fuseau, et ressemblent aux organes tendineux de Golgi des jonctions musculo-tendineuses.

Ils se rencontrent dans la capsule articulaire des membres mais sont aussi situés dans la partie profonde du derme.

Ces récepteurs ont un très faible seuil d'excitation et une adaptation lente pour un très léger mouvement de la capsule. Ils sont donc actifs dans toutes les positions de l'articulation, même si celle-ci est au repos. La fonction exacte des corpuscules de Ruffini n'est pas claire, car ils peuvent répondre à une stimulation externe, ou à une stimulation interne engendrée par une contraction musculaire.

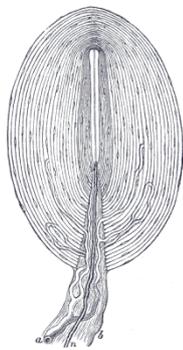


fig. 7

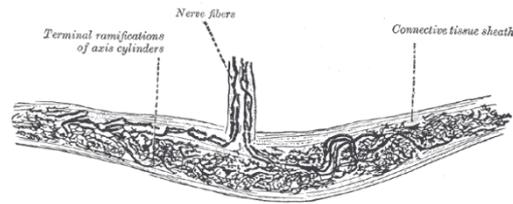


fig. 8

Figure 7 et 8 : Représentation d'un corpuscule de Pacini (7) et d'un corpuscule de Ruffini (8) (tiré de Henry Gray's *Anatomy of the Human Body*, Lippincott Williams & Wilkins; 30<sup>ème</sup> édition, 1985).

c) Les organes de Golgi :

les **organes de Golgi**, différents des organes situés au niveau de la jonction tendino-musculaire qu'on appelle les organes tendineux de Golgi, se situent dans les ligaments qui entourent les articulations (et non dans la capsule). Ils sont constitués d'amas de fibres de collagène entourés par des dendrites et enfermés dans une capsule formée de couches superposées. Les organes de Golgi ont une adaptation lente, mais un seuil d'excitation élevé aux stimuli mécaniques. Ils renseignent sur la position articulaire et sont totalement inactifs dans une articulation immobile.

d) Les terminaisons nerveuses libres :

les **terminaisons nerveuses libres** innervent les ligaments, les tendons, les vaisseaux sanguins, les méninges, le périoste, la cornée, les voies respiratoires et les capsules qui enveloppent les organes des cavités thoracique et abdominale ; Elles se terminent aussi dans tous les types de muscle, dont le myocarde.

Quel que soit le tissu dans lequel elles se terminent, la plupart des terminaisons nerveuses libres transportent des influx en rapport avec la perception de la douleur ou de la température. Les terminaisons nerveuses libres ont une adaptation lente et un seuil d'activation élevé. La majorité de ces récepteurs reste silencieuse lors de mouvements normaux, mais ils deviennent actifs lorsque les tissus articulaires sont sujets à des déformations importantes.

### 3.2.2. LES RECEPTEURS MUSCULAIRES <sup>12</sup>

Il existe deux types de récepteurs musculaires : les organes tendineux de Golgi (OTG) et les fuseaux neuromusculaires (FNM).

a) Les fuseaux Neuromusculaires (FNM) :

les **fuseaux neuromusculaires** sont des récepteurs sensoriels spécialisés, répartis dans tous les muscles striés qui répondent à l'étirement du muscle ; ils fournissent ainsi au SNC des informations concernant les changements de longueur du muscle. Les fuseaux neuromusculaires sont des fibres différenciées en fibres intrafusoriales se trouvant à côté d'autres fibres musculaires, les fibres extrafusoriales. Deux types de fibres intrafusoriales ont été caractérisés : la fibre à sac nucléaire et la fibre à chaîne nucléaire.

Les fuseaux neuromusculaires possèdent deux types d'innervation nerveuse au niveau sensitif, les fibres Ia et les fibres II. Ces fibres afférentes sensibles à l'allongement du muscle vont transmettre vers la moelle épinière une information qui sera intégrée par l'intermédiaire des motoneurones  $\alpha$  : c'est le réflexe myotatique (figure 9).

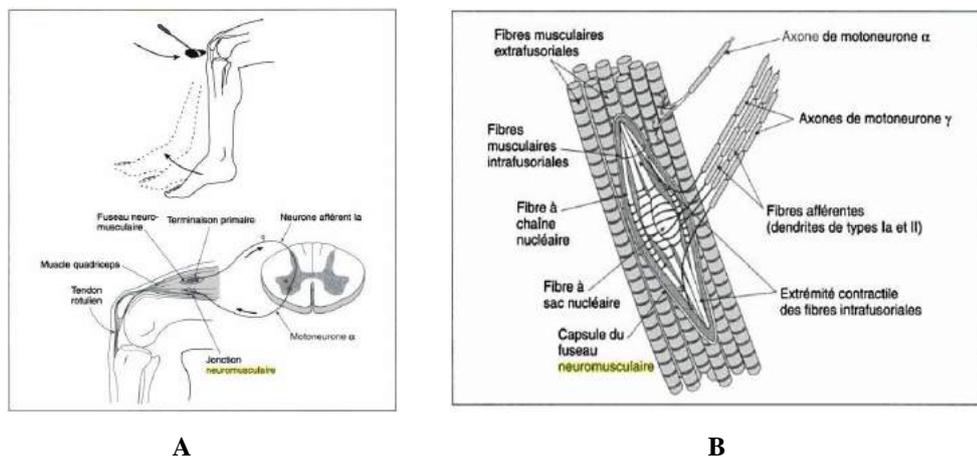
L'étirement d'un muscle et de ses fuseaux neuromusculaires provoque une série d'influx qui est envoyée directement aux motoneurones responsables de la contraction du muscle étiré. Le réflexe myotatique est donc une réponse à l'étirement du muscle, extrêmement rapide et reproductible, car il met en connexion monosynaptique, des fibres nerveuses de conduction très rapides.

---

<sup>12</sup> KEVIN D. ALLOWAY, « Neurosciences Médicales », Bruxelles, De Boeck Université 2002.

Les fibres musculaires intrafusoriales reçoivent une innervation efférente qui permet de préserver la sensibilité des fuseaux neuromusculaires quelle que soit la longueur du muscle. Les extrémités contractiles des fibres à sac et à chaîne nucléaires sont innervées par les motoneurones  $\gamma$  provenant de la corne antérieure. Les fibres intrafusoriales, en se contractant, maintiennent la tension de la région centrale du fuseau neuromusculaire quand le muscle se raccourcit lors de la contraction musculaire. Ce mécanisme permet aux fuseaux neuromusculaires d'être toujours prêts à fonctionner quelle que soit la longueur du muscle.

Les fibres musculaires intra- et extrafusoriales se contractent simultanément pendant le mouvement ; ce mécanisme est appelé *co-activation alpha-gamma*.



**Figure 9 : Représentation du circuit du réflexe myotatique en A et de l'innervation des fibres intra-et extrafusoriales en B (tiré de KEVIN D. ALLOWAY, Neurosciences Médicales, Bruxelles, De Boeck Université 2002).**

b) Les organes tendineux de Golgi (OTG)<sup>13</sup> :

les fuseaux neuromusculaires ne représentent pas la seule source d'information issue du muscle. Au niveau des muscles squelettiques, il existe un autre type de mécanorécepteurs, **l'organe tendineux de Golgi**. Ce type de récepteurs agit à la manière d'une jauge de contrainte, c'est-à-dire qu'il contrôle la tension du muscle ou la force de sa contraction. Les organes tendineux de Golgi sont situés entre les muscles et les tendons et ils sont innervés par des fibres sensorielles du groupe Ib.

<sup>13</sup> M. F. BEAR, B. W. CONNORS, M. A. PARADISO, « Neurosciences à la découverte du cerveau », Ed. Pradel 2002.

Ils sont particulièrement sensibles aux changements de la tension musculaire et contrairement aux fuseaux neuromusculaires qui occupent une position parallèle à celle des fibres musculaires, les organes tendineux de Golgi sont positionnés en série par rapport à ces dernières. Cette organisation anatomique particulière permet à ces deux types de récepteurs sensoriels de transmettre à la moelle épinière des informations différentes mais complémentaires sur l'état du muscle. Les organes tendineux de Golgi travaillent donc en parallèle avec le fuseau neuromusculaire et sont à l'origine du réflexe myotatique inverse. Connectés au niveau de la moelle à un interneurone inhibiteur, ils induisent alors, par l'intermédiaire de fibres Ib, une inhibition de la contraction musculaire et donc une détente musculaire : c'est le réflexe myotatique inverse.

### **3.2.3. LE SYSTEME LABYRINTHIQUE<sup>14</sup>**

Les récepteurs labyrinthiques se situent au niveau de l'oreille interne. Ils sont sensibles à la force de gravité, aux accélérations linéaires et aux accélérations angulaires, dont les informations sont modulées au niveau des noyaux vestibulaires par des afférences rétinienne.

Les signaux vestibulaires sont impliqués dans au moins trois fonctions principales :

- ils contribuent de façon constante au maintien du tonus postural
- ils contribuent à l'orientation antigravitaire du corps et de ses segments
- ils sont à l'origine de réactions rapides aux accélérations linéaires et circulaires.

### **3.2.4. LES RECEPTEURS VISUELS**

Les récepteurs visuels au mouvement informent sur le déplacement de la tête et du corps par rapport à l'environnement.

Le système visuel permet donc de compléter ou de compenser le système vestibulaire en informant les centres cérébraux sur la situation réelle du corps dans l'espace.

---

<sup>14</sup> E. VIEL, « La marche humaine, la course et le saut », Edition Elsevier Masson, 2000.

## 4. REEDUCATION PROPRIOCEPTIVE DE LA CHEVILLE

---

L'altération de l'intégrité articulaire de la cheville suite à un traumatisme peut mener à une instabilité chronique constituant une perte fonctionnelle majeure. La rééducation proprioceptive ou reprogrammation neuromotrice est un élément clé de la prévention des récurrences d'instabilité chronique de cheville. Plusieurs études se sont succédées afin de définir le programme type d'entraînement proprioceptif au niveau de cette articulation.<sup>15</sup>

En 1965, **FREEMAN**, partant sur le postulat qu'une instabilité de cheville est due à une perturbation des récepteurs capsulo-ligamentaires à l'origine d'un défaut d'information proprioceptive entraînant une perte de contrôle articulaire, va créer des exercices à partir d'un plateau instable portant son nom et destinés à développer la coordination des muscles périarticulaires.

**DELPLACE** et **CASTAING** complètent en 1975 le concept de Freeman. Partant sur l'idée que si les récepteurs ligamentaires sont soumis à l'étirement ligamentaire, et qu'ils modulent leur influx en fonction de cet étirement à la manière des fuseaux neuromusculaires, alors une instabilité chronique induit un trouble de l'efficacité musculaire. Ces auteurs proposent donc d'éduquer les récepteurs sensoriels qui ne sont pas « intoxiqués » par la distension articulaire, afin de suppléer la défaillance des autres.

**THONNARD** démontre expérimentalement en 1988 certains points concernant les caractéristiques de la stabilisation de la cheville :

- le temps nécessaire à l'induction d'une lésion ligamentaire est inférieur au délai de la réponse neuro-musculaire appropriée.
- ces mécanismes de contrôle articulaire ne peuvent obéir à un simple système de réflexe médullaire mais doivent répondre à un phénomène d'anticipation.

Suite à ces constats, Thonnard met en place un modèle de reprogrammation neuro-musculaire basé sur une programmation de l'activité des motoneurones déclenchée de façon balistique pour répondre suffisamment rapidement à une situation à risque. L'apprentissage repose sur la répétition des exercices. Le patient apprend à intégrer les informations proprioceptives et extéroceptives cutanées et sensorielles pour concevoir des schémas moteurs adaptés.

---

<sup>15</sup> J. RODINEAU, G SAILLANT, « Les lésions ligamentaires récentes du coup de pied, Conduite pratique de la rééducation proprioceptive » par M Peyre, F Minchin et C. Delong, p. 193-198

En 1995 **LOFVENBERG**<sup>16</sup> trouve une augmentation significative du temps de réaction du long fibulaire et du tibial antérieur suite à une entorse de cheville. Le délai de réponse proprioceptive lors d'un déséquilibre de la cheville serait l'une des causes premières d'instabilité chronique.

**KONRADSEN**<sup>17</sup> en 2002 trouve une relation de cause à effet entre un déficit kinesthésique et un risque accru d'instabilité chronique de cheville. La réaction de défense active des muscles éverseurs successive à un mouvement lésionnel en inversion peut être augmentée dans le temps.

La capacité de recrutement de cette réaction doit être l'idée première de l'entraînement proprioceptif.

---

<sup>16</sup> LOFVENBERG R, KARRHOLM J, SUNDELIN G, AHLGREN O, "Prolonged reaction time in patients with chronic lateral instability of the ankle", Am. J. Sports. Med., 1995:23(4)

<sup>17</sup> L. KONRADSEN, "Sensory-motor control of the uninjured and injured human ankle", J. Of Electromyography and Kinesiology, 2002: 12, 199-203

## **III. PROTOCOLE EXPERIMENTAL**

# 1. POPULATION

---

La population que nous avons choisie pour cette étude, est un échantillonnage non aléatoire puisque nous avons pris des individus qui répondent aux critères de sélection suivants :

- sexe masculin
- n'ayant jamais subi de traumatismes des membres inférieurs
- ne participant pas à une autre étude portant sur les membres inférieurs
- n'ayant pas de problèmes neurologiques
- ayant entre 18 et 30 ans.

Nous avons choisi ces critères d'une part de manière à optimiser l'objectivité de nos résultats et d'autre part afin d'obtenir une étude significative.

Notre population est donc composée de **24** sujets sains répartis en deux groupes, le premier, composé de **12** sujets, qui effectuera un entraînement sur plaquette Propriofoot et le second, dit « groupe témoin », composé de **12** sujets qui n'effectuera aucun entraînement proprioceptif. Chaque groupe est ainsi composé de **12** sujets sains.

	Groupe Propriofoot	Groupe témoin
Age (en années)	23,9 ( $\pm$ 1,24)	23,5 ( $\pm$ 2,06)
Taille (en cm)	182 ,9 ( $\pm$ 6,41)	180,7 ( $\pm$ 3,33)
Poids (en kg)	82,5 ( $\pm$ 10,7)	74,5 ( $\pm$ 9,5)

**Tableau 3 : Description de la population (Moyenne  $\pm$  Ecart type)**

Dans une étude de 2002, BEYONN and al.<sup>18</sup> démontre que la jambe dominante est impliquée dans 92% des cas de pathologies de chevilles. Pour cette raison, notre étude se focalisera sur le pied dominant du sujet.

Celui-ci à été déterminé à l'aide de trois tests fonctionnels spécifiques :

- « The ball-kick test »<sup>19</sup> : nous regardons quelle jambe le sujet utilise lorsque celui-ci tape dans un ballon,
- « The step-up test »<sup>20</sup> : nous regardons avec quelle jambe le sujet débute la montée de l'escalier,
- « The balance recovery test »<sup>21</sup> : nous regardons avec quelle jambe le sujet se réceptionne lorsque nous le déséquilibrons vers l'avant en le poussant.

---

<sup>18</sup> BEYONN and al., "Predictive Factors for Lateral Ankle Sprains: A Literature Review", Journal of Athletic Training, 2002;37(4):376-380

<sup>19</sup> ZAKAS A. and al., « Bilateral isokinetic peak torque of quadriceps and hamstring muscles in professional soccer players with dominance on one or both two sides », J Sports Med Phys Fitness 2006;46:28-35

<sup>20</sup> HOFFMAN M. and al « Unilateral postural control of the functionally dominant and nondominant extremities of healthy subjects », J Athl Train 1998 ;33 :319-22

<sup>21</sup> VERHAGEN E. and al. « The effect of a balance training programme on centre of pressure excursion in one-leg stance », Clin Biomech 2005 ;20 :1094-100

## 2. LES PLAQUETTES PROPRIOFOOT

---

Les Propriofoot sont quatre plaquettes de 10 cm de côté, différenciables par leurs couleurs et leurs supports.

- La plaquette verte comporte deux demi-cylindres disposés parallèlement sur la longueur des deux côtés, lui assurant une stabilité parfaite.
  - Hauteur de la plaquette + demi-cylindre : 20mm
  - Longueur des demi-cylindres : 100mm
  - Rayon des demi-cylindres : 7mm
  
- Les plaquettes jaune et bleue sont identiques et possèdent deux demi-cylindres situés en leurs milieux et alignés l'un par rapport à l'autre, ce qui permet une instabilité dans en seul plan de l'espace.
  - Hauteur de la plaquette + demi-cylindre : 20mm
  - Longueur des demi-cylindres : 39mm
  - Rayon des demi-cylindres : 7mm
  
- La plaquette rouge présente une demi-sphère fixée en son centre permettant une instabilité dans tous les plans
  - Hauteur de la plaquette + demi-cylindre : 13mm
  - Rayon de la demi-sphère : 7mm

Elles sont utilisées par paires et permettent un grand nombre de combinaisons, tout en respectant une progression régulière dans la difficulté.



Figure 10 et 11 : Représentation des plaquettes Propriofoot, vues du dessous et du dessus.

Elles présentent plusieurs intérêts :

- ce sont les seules qui permettent de dissocier l'avant-pied de l'arrière-pied.
- leur faible débattement angulaire permet de cibler le travail sur la cheville et le pied en limitant l'action du système cérébelleux et de l'oreille interne responsable de l'équilibre général du corps.
- leur petite taille et leur simplicité d'utilisation autorisent un travail d'auto-rééducation en tout lieu. Elles ont donc un rôle à la fois préventif et curatif.

Lorsque les Propriofoot seront utilisés en auto-rééducation, nous pourrions proposer au sujet quatre étapes qu'il devra réaliser successivement avant de passer à un exercice plus difficile :

- équilibre unipodal, bras écartés
- équilibre unipodal, bras croisés
- équilibre unipodal, bras écartés, yeux fermés
- équilibre unipodal, bras croisés, yeux fermés

## 3. APPAREIL DE MESURE UTILISE LORS DE L'ETUDE

---

### 3.1. LA PLATE-FORME DE FORCE

#### 3.1.1. Intérêt de la plate-forme de force

Le but de notre étude étant de voir si nous pouvons apporter une amélioration des qualités stabilisatrices de la cheville d'un sujet sain par l'intermédiaire d'un outil rééducatif simple, nous avons choisi d'analyser les activités posturo-cinétiques de celui-ci.

Cette analyse consiste à mesurer l'aptitude qu'a l'individu de maintenir son équilibre dans les conditions statiques (posturographie statique) et son aptitude à se déplacer (fonction locomotrice: marche ou course).

La plate-forme de force est l'outil qui nous a semblé être le plus approprié.

En effet, cet appareil de mesure, fréquemment utilisé dans le cadre d'une autre profession paramédicale, la podologie, nous a permis d'obtenir, par le biais d'une acquisition statique et d'une acquisition dynamique, les résultats suivants :

#### 1. En statique :

- la position du centre de pression des pieds, avec l'évaluation des déplacements antéro-postérieurs et latéraux de celui-ci
- la répartition des masses
- la surface d'appui
- la position du centre de gravité
- la pression moyenne
- le point de pression maximal.

#### 2. En dynamique :

- la durée du pas
- la pression maximale
- la surface d'appui
- la courbe des forces
- la décomposition du pas en 3 phases (taligrade, plantigrade et digitigrade).

### 3.2.2. Description de l'appareil

L'appareil utilisé pour nos tests est la plate-forme de force **FootWork Pro** de la firme AM Cube, et les données sont analysées par le logiciel FootWork Pro 2.9.3.1.



#### FootWork Pro : Caractéristiques mécaniques

Surface active : 490 mm x 490 mm

Dimension : 645 x 520 x 25 mm

Epaisseur : 4 mm / 5 mm avec caoutchouc

Nombres de capteurs capacitifs :  
4 096 ( 64 x 64 ) capacitifs calibrés

Revêtement : Polycarbonate

Châssis : Composite, résistant 300 kg

Poids : 4 kg

Taille du capteur : 7.6 x 7.6 mm  
soit 2 capteurs / cm<sup>2</sup>

Précision : + ou - 5%

Figure 12: Plate-forme FootWork Pro

### 3.2.3. Installation du sujet et protocole utilisé

Afin de réduire les risques de blessure et pour que tous les sujets soient dans les mêmes conditions expérimentales, nous avons demandé à ceux-ci d'effectuer un échauffement de 10 minutes sans résistance sur vélo.

L'installation du sujet est celle que recommande le constructeur :

#### - Acquisition dynamique :

le sujet doit effectuer trois allers et retours, en passant avec le pied au milieu de la plate-forme.

Il est demandé au sujet de marcher le plus naturellement possible.

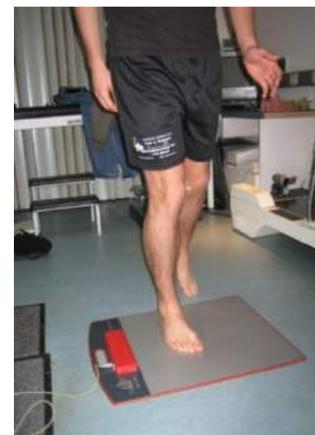


Figure 13: Acquisition dynamique

- Acquisition statique :

le sujet se positionne debout, les deux pieds sur la plate-forme, les bras sont détendus le long du corps, la tête et le tronc sont droits et les yeux sont ouverts.

La durée d'acquisition est de 20 secondes, durée pendant laquelle il est demandé au sujet de ne pas bouger et de garder le silence.

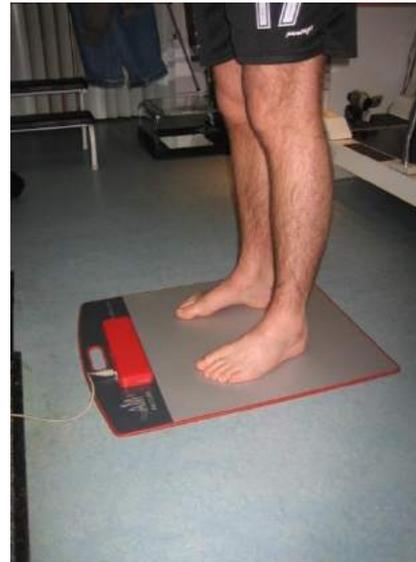


Figure 14 et 15 : Installation du sujet lors de l'acquisition statique

### 3.2. LE LOGICIEL D'ACQUISITION DES DONNEES

Le logiciel d'acquisition de la plate-forme de force est un outil indispensable pour objectiver et valoriser notre examen clinique. Nous avons choisi d'utiliser le logiciel fourni par la société AM Cube, à savoir le logiciel FootWork Pro 2.9.3.1.

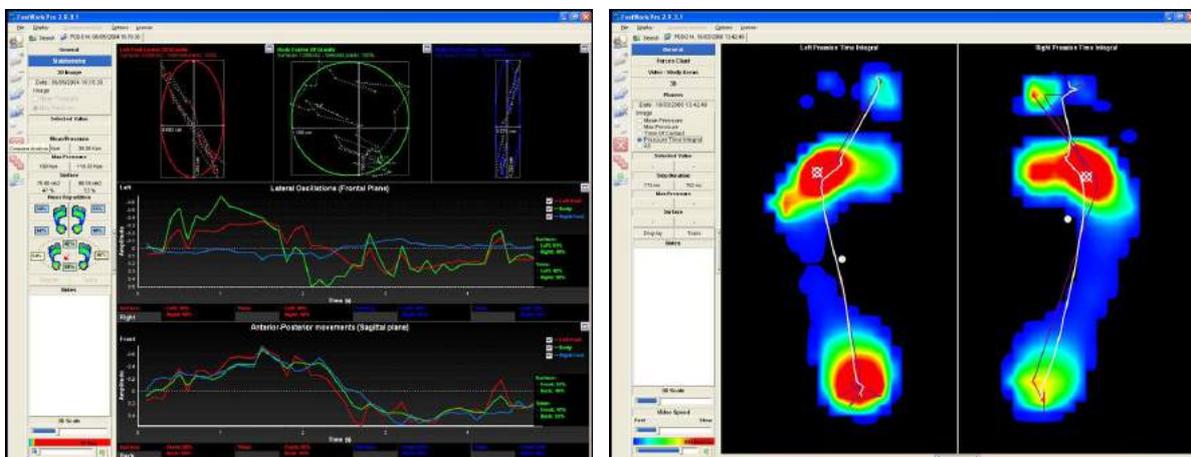


Figure 16 et 17 : Exemple de paramètres obtenus lors d'une acquisition statique et d'une acquisition dynamique avec le logiciel FootWork Pro 2.9.3.1.

## 4. L'ENTRAÎNEMENT SUIVI

### 4.1. LIEU DE L'ENTRAÎNEMENT

Les séances d'entraînement suivies par nos sujets se sont déroulées dans un cabinet de kinésithérapie suffisamment grand pour effectuer les différents exercices proposés par l'examineur.



Figure 18 : Cabinet de kinésithérapie servant à l'entraînement des sujets

### 4.2. PLANNING DE L'ENTRAÎNEMENT

La littérature et les fabricants des plaquettes Propriofoot ne définissant pas précisément le nombre de séances nécessaires, afin d'obtenir une rééducation proprioceptive significative, nous avons choisi, pour chaque sujet participant à l'étude, que la période d'entraînement s'étalerait sur une période de 10 séances de 20 minutes.

Toutes les séances sont précédées d'un échauffement de 10 minutes, afin de diminuer les risques de blessure.

Planning des sujets participant aux entraînements :

Plateforme	J1	J2	J3	J4	J5	J6	J7	J8	J9	J10	Plateforme 2
17 /01	20/01	22/01	24/01	26/01	28/01	30/01	01/02	03/02	05/02	07/02	10/02

Figure 2 : Organisation des séances d'entraînement pour le groupe Propriofoot

Planning de la population témoin :

Plateforme	Plateforme 2
17/01	10/02

Figure 3 : Organisation des séances de mesures pour la population du groupe témoin

### 4.3. DESCRIPTION DES SEANCES D'ENTRAINEMENT

Tous les exercices s'effectuent debout, en équilibre sur une jambe.

Le pied du sujet repose sur deux plaquettes choisies par l'examineur, le but de l'exercice étant de maintenir la position d'équilibre pendant une durée déterminée par celui-ci.

Un temps de repos est observé entre chaque situation.

Nous avons choisi de respecter certaines progressions pour les différentes situations :

- équilibre bras écartés (BE)
- équilibre bras croisés (BC)
- équilibre bras écartés et yeux fermés (BEYF)
- équilibre bras croisés et yeux fermés (BCYF).



#### 4.3.1. Première séance

Travail de l'arrière-pied spécifiquement :

- a) La plaquette jaune est placée sous l'arrière-pied, en orientant les demi-cylindres à 45° par rapport à l'axe du pied.

La plaquette verte est placée sous l'avant-pied.

- Exercice :

- BE 1'30'', Repos 1'
- BE 1'30'', Repos 1'
- BC 1'30'', Repos 1'
- BC 1'30'', Repos 1'



- b) La plaquette jaune est placée sous l'arrière-pied, en orientant les demi-cylindres à 45° par rapport à l'axe du pied (*diagonale inversée par rapport à l'exercice précédent*).

La plaquette verte est placée sous l'avant-pied.

- Exercice :

- BE 1'30'', Repos 1'
- BE 1'30'', Repos 1'
- BC 1'30'', Repos 1'
- BC 1'30'', Repos 1'



#### 4.3.2. Deuxième séance

Travail de l'arrière-pied spécifiquement :

- a) La plaquette jaune est placée sous l'arrière-pied, l'axe des demi-cylindres parallèles à celui du pied.

La plaquette verte sous l'avant-pied.

- Exercice :

- BE 1'30'', Repos 1'
- BE 1'30'', Repos 1'
- BC 1'30'', Repos 1'
- BC 1'30'', Repos 1'



- b) La plaquette rouge est placée sous l'arrière-pied.

La plaquette verte sous l'avant-pied.

- Exercice :

- BE 1'30'', Repos 1'
- BE 1'30'', Repos 1'
- BC 1'30'', Repos 1'
- BC 1'30'', Repos 1'



### 4.3.3. Troisième séance

#### Travail de l'avant-pied spécifiquement :

- a) La plaquette bleue est placée sous l'avant-pied, en orientant les demi-cylindres à 45° par rapport à l'axe du pied.

La plaquette verte est placée sous l'arrière-pied.

- Exercice :

- BE 1'30'', Repos 1'
- BE 1'30'', Repos 1'
- BC 1'30'', Repos 1'
- BC 1'30'', Repos 1'



- b) La plaquette bleue est placée sous l'avant-pied, en orientant les demi-cylindres à 45° par rapport à l'axe du pied (*diagonale inversée par rapport à l'exercice précédent*).

La plaquette verte est placée sous l'arrière-pied.

- Exercice :

- BE 1'30'', Repos 1'
- BE 1'30'', Repos 1'
- BC 1'30'', Repos 1'
- BC 1'30'', Repos 1'



### 4.3.4. Quatrième séance

#### Travail de l'avant-pied spécifiquement :

- a) La plaquette bleue est placée sous l'avant-pied, l'axe des demi-cylindres parallèle à celui du pied.

La plaquette verte est placée sous l'arrière-pied.

- Exercice :

- BE 1'30'', Repos 1'
- BE 1'30'', Repos 1'
- BC 1'30'', Repos 1'
- BC 1'30'', Repos 1'



- b) La plaquette rouge est placée sous l'avant-pied.  
La plaquette verte est placée sous l'arrière-pied.

- Exercice :

- BE 1'30'', Repos 1'
- BE 1'30'', Repos 1'
- BC 1'30'', Repos 1'
- BC 1'30'', Repos 1'



#### 4.3.5. Cinquième séance

Travail de l'arrière-pied et de l'avant-pied :

- a) La plaquette jaune est placée sous l'arrière-pied, l'axe des demi-cylindres parallèle à celui du pied.

La plaquette bleue sous l'avant-pied, en orientant les demi-cylindres à 45° par rapport à l'axe du pied.

- Exercice :

- BE 1'30'', Repos 1'
- BC 1'30'', Repos 1'
- BC 1'30'', Repos 1'
- BEYF 1'30'', Repos 1'



- b) La plaquette jaune est placée sous l'arrière-pied, l'axe des demi-cylindres parallèle à celui du pied.

La plaquette bleue sous l'avant-pied, en orientant les demi-cylindres à 45° par rapport à l'axe du pied (*diagonale inversée par rapport à l'exercice précédent*).

- Exercice :

- BE 1'30'', Repos 1'
- BC 1'30'', Repos 1'
- BC 1'30'', Repos 1'
- BEYF 1'30'', Repos 1'



**Les programmes de la sixième, septième, huitième, neuvième et dixième séance sont repris en annexe.**

## **IV. RESULTATS**

# 1. PRESENTATION DES RESULTATS

Le but de notre étude était de rechercher un éventuel effet sur la stabilité articulaire de la cheville après un entraînement sur les plaquettes Propriofoot.

Nous avons dès lors décidé de comparer différents paramètres donnés par la plate-forme de force entre deux populations (la population dite « témoin » et la population « Propriofoot »).

Les paramètres que nous avons jugés pertinents de garder dans le cadre de notre étude sont :

- Pour l'analyse statique : l'évolution des déplacements antéro-postérieurs et latéraux du centre de pression du pied dominant.
- Pour l'analyse dynamique : l'évolution des phases d'appui lors de la décomposition du pas.

## 1.1. ANALYSE STATIQUE

Les déplacements du centre de pression du pied dominant sont reportés par le logiciel FootWork Pro 2.9.3.1. sur deux graphiques.

Le premier représente la variation des amplitudes antéro-postérieures (en cm) du centre de pression du pied en fonction du temps (en s), le deuxième représente la variation des amplitudes latérales (en cm) du centre de pression du pied en fonction du temps (en s).

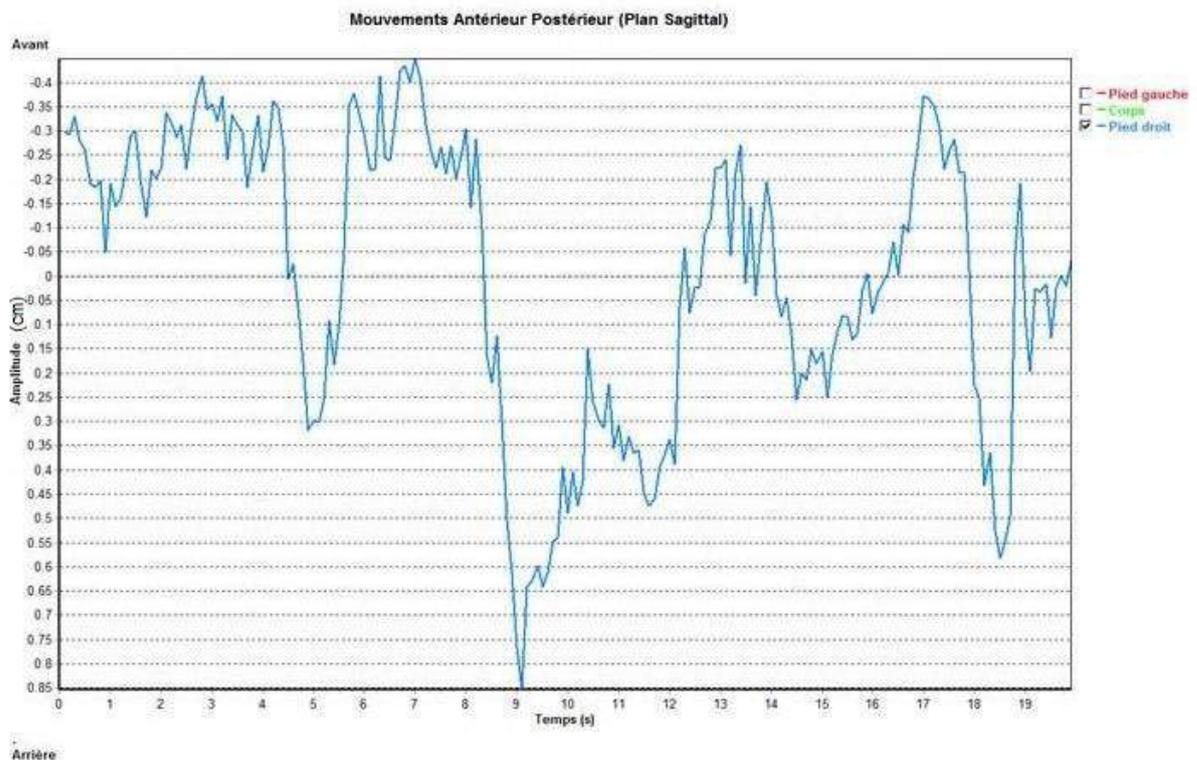
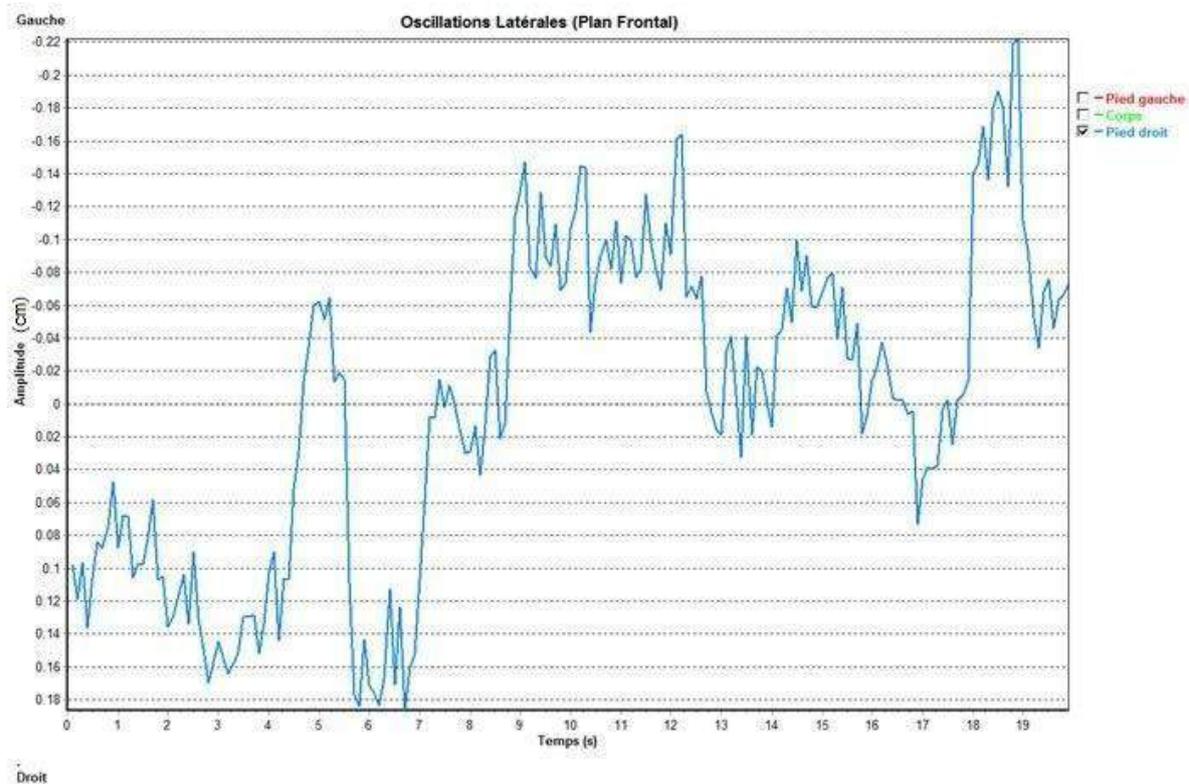


Figure 19: Exemple de graphique de la variation des amplitudes antéro-postérieures en fonction du temps



**Figure 20: Exemple de graphique de la variation des amplitudes latérales en fonction du temps**

L'étude de ces graphiques, enregistrés lors des prises de mesures avant entraînement (en T1) et lors des prises de mesures après entraînement (en T2), nous a permis de calculer une moyenne d'amplitude des oscillations du centre de pression.

C'est-à-dire que pour chacun des sujets des deux groupes, nous avons calculé une moyenne de variation d'amplitude des oscillations antéro-postérieures et une moyenne de variation d'amplitude des oscillations latérales en T1.

Nous avons suivi le même procédé pour l'acquisition effectuée en T2.

Afin d'apprécier une quelconque évolution et d'en faire les analyses statistiques, nous avons fait le rapport des valeurs obtenues en T2 sur les valeurs obtenues en T1 et multiplié le résultat par cent.

L'ensemble des résultats est repris en annexe.

## 1.2. ANALYSE DYNAMIQUE

La décomposition du pas en trois phases est calculée par le logiciel FootWork Pro 2.9.3.1. :

- la première phase est la phase taligrade, elle correspond à l'attaque du sol par le talon.
- la deuxième est la phase plantigrade, elle représente la phase dans laquelle le pied est en contact total avec le sol.
- la troisième et dernière phase est la phase digitigrade, celle-ci commence dès que le pied se décolle du sol et se termine par le décollement total des orteils.

Chacune des phases (dont la valeur est interprétée en pourcent) est reportée par le logiciel sur l'image du pied du sujet.

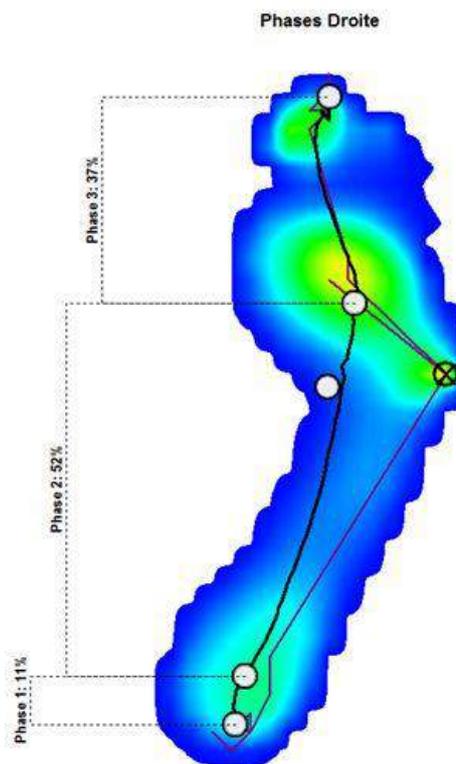


Figure 21: Exemple d'image obtenue lors de l'acquisition dynamique

Dans les deux groupes, pour chacun de nos sujets, nous avons pu obtenir les valeurs des trois phases du pied dominant pour les deux temps d'acquisition (T1 et T2). Afin d'apprécier une éventuelle évolution et d'en faire les analyses statistiques, nous avons fait le rapport des valeurs obtenues en T2 sur les valeurs obtenues en T1 et multiplié le résultat par cent.

L'ensemble des résultats est repris en annexe.

## 2. ANALYSES STATISTIQUES

---

Chacun des graphes reprend les mesures du post-test exprimées en pourcentage des valeurs du pré-test.

### Traitement des mesures

Les paramètres mesurés sur les sujets de nos deux populations ont été traités de la manière suivante :

1. les mesures prises en T1 (ou pré-test) sont les valeurs initiales et donc étalonnées à 100%.
2. les mesures prises en T2 (ou post-test) sont converties en pourcentage des valeurs du pré-test.

De cette manière, pour chaque sujet sur chacun des paramètres des deux tests, nous obtenons le pourcentage d'évolution consécutive à l'entraînement. C'est donc l'évolution des sujets entraînés que nous comparons aux sujets dit « témoins », n'ayant suivi aucun entraînement.

### Tests Statistiques

Afin de pouvoir comparer les différents paramètres mesurés, tant au niveau de l'acquisition statique que de l'acquisition dynamique, nous avons utilisé, à l'aide du logiciel informatique GraphPad Prism 5, un t test si la population suivait une distribution normale et un test de Wilcoxon si la population ne la suivait pas.

Ces tests sont utilisés pour comparer une moyenne à une valeur initiale ou prédéfinie (le 100% représentant la mesure du pré-test pour chacun des sujets sur chaque paramètre) ou bien pour comparer deux moyennes entre elles et d'en étudier la significativité de la différence. Cela va nous permettre d'évaluer l'évolution des sujets de chaque population (par un t test dit « one sample », c'est-à-dire à un échantillon, ou par un test de Wilcoxon), et de comparer ces mêmes paramètres entre la population entraînée sur les plaquettes Propriofoot et celle n'ayant pas suivi d'entraînement (par un t test à deux échantillons).

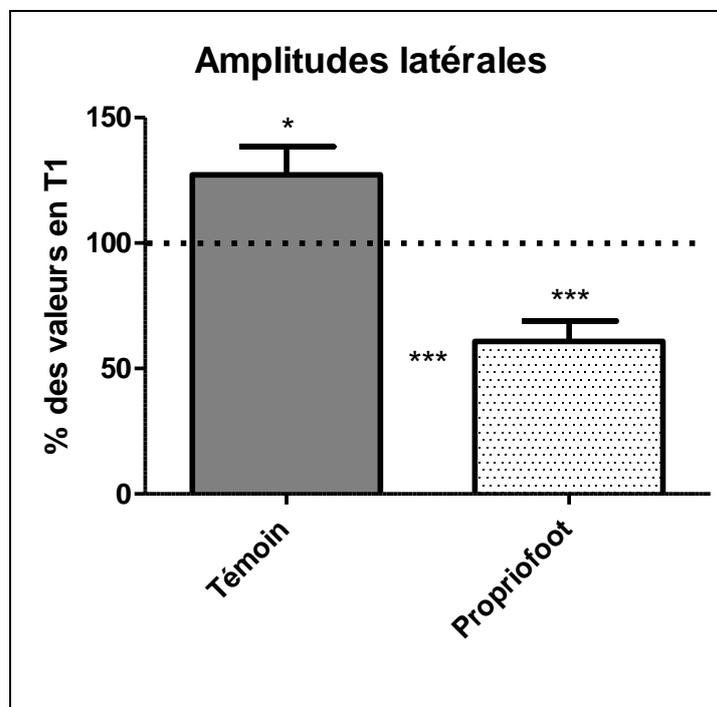
Dans les résultats portant sur les différences significatives, les légendes sont les suivantes :

- ns (ou NS) : mesure non significative (P value du t test > 0,05)
- \* : mesure significative (P value du t test < 0,05)
- \*\* : mesure hautement significative (P value du test < 0,01)
- \*\*\* : mesure très hautement significative (P value du t test < 0,001)

## 2.1 : ACQUISITION STATIQUE

- **EVOLUTION PRE/POST-TEST**

- AMPLITUDES LATERALES

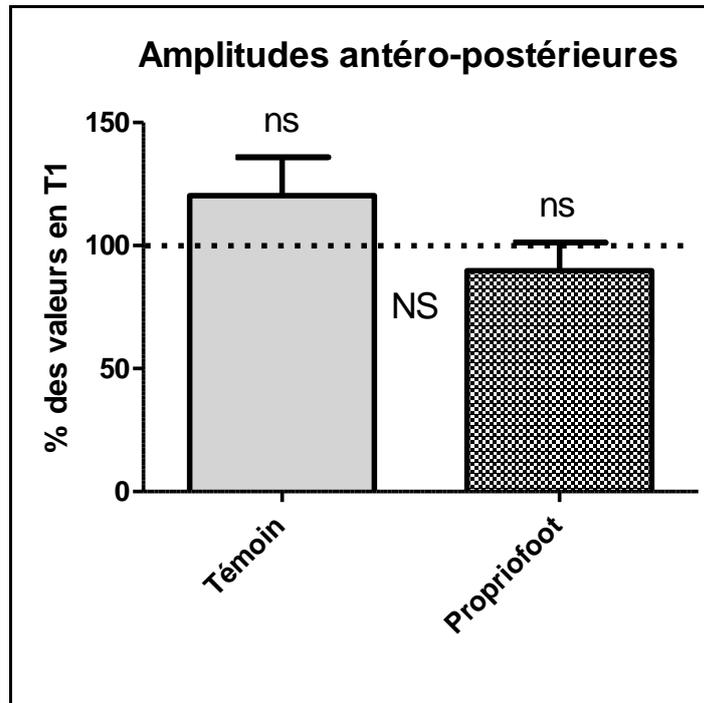


Nous pouvons voir sur ce graphe que l'évolution de la moyenne des amplitudes latérales est significative pour le groupe témoin et très hautement significative pour le groupe Propriofoot. Nous constatons aussi que la comparaison entre les deux populations est très hautement significative.

Ainsi, nous obtenons les résultats suivants :

- une augmentation de 27,2% de la moyenne des amplitudes latérales pour le groupe témoin.
- une diminution de 39,3% de la moyenne des amplitudes latérales pour le groupe Propriofoot.

- AMPLITUDES ANTERO-POSTERIEURES



Sur ce graphe, nous remarquons une augmentation non significative pour le groupe témoin et une diminution non significative pour le groupe Propriofoot de la moyenne des amplitudes antéro-postérieures. Ainsi qu'une comparaison entre les deux populations non significative.

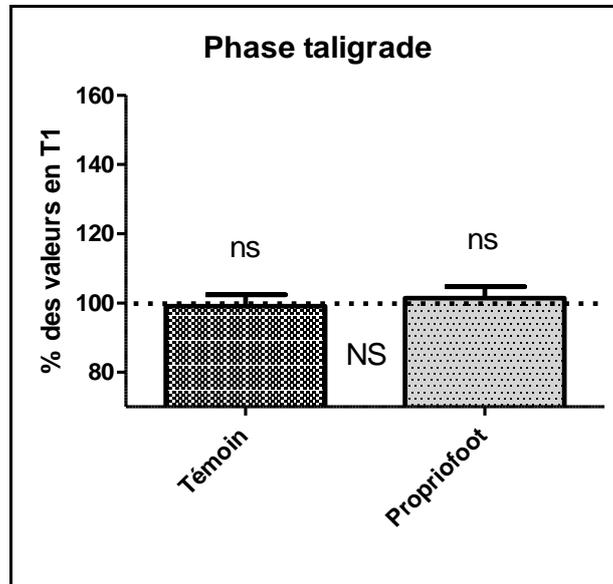
Les résultats obtenus sont les suivants :

- une augmentation de 20,3% de la moyenne des amplitudes antéro-postérieures pour le groupe témoin.
- une diminution de 11,2% de la moyenne des amplitudes antéro-postérieures pour le groupe Propriofoot.

## 2.2 : ACQUISITION DYNAMIQUE

- EVOLUTION PRE/POST-TEST

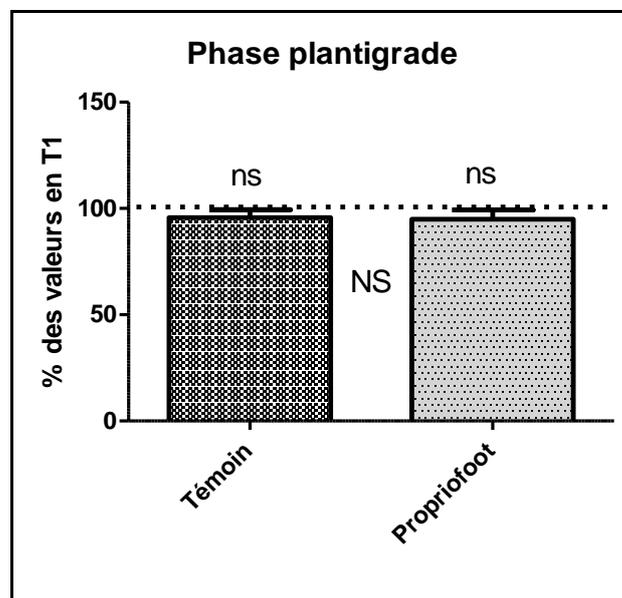
- PHASE TALIGRADE



Ce graphique révèle les évolutions de la phase taligrade pour chacun des deux groupes.

Nous constatons que le groupe Propriofoot voit sa phase taligrade augmenter, que pour le groupe témoin celle-ci diminue et que dans les deux cas c'est de manière non significative (respectivement de 1,3% et de 0,6%). Nous observons aussi que la comparaison de ce paramètre entre les deux groupes est non significative.

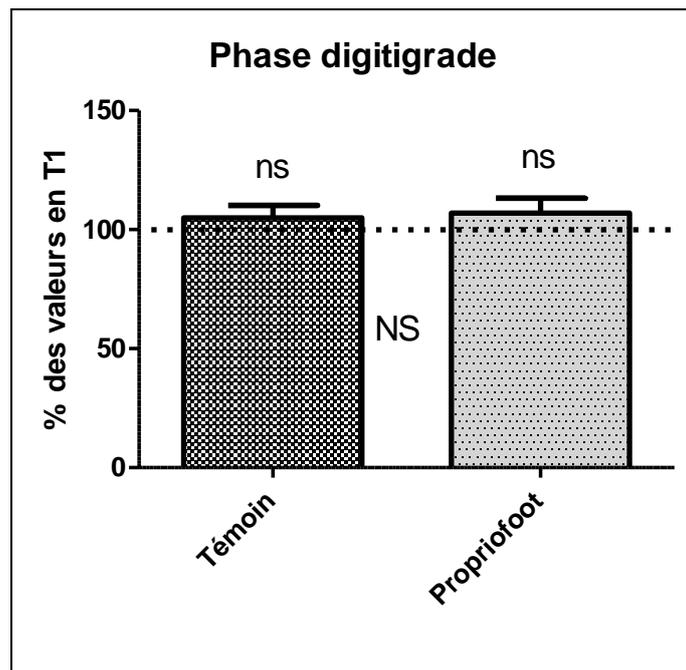
- PHASE PLANTIGRADE



Il est à noter une évolution de la phase plantigrade non significative tant pour le groupe témoin que pour le groupe Propriofoot, avec une diminution de 4,3% pour le premier, et une diminution de 5,1% pour le second.

Constatons également une différence non significative entre les sujets du groupe témoin et les sujets entraînés sur Propriofoot.

- PHASE DIGITIGRADE



Sur ce graphe, il apparaît une augmentation non significative de la phase digitigrade tant pour les sujets du groupe témoin que pour les sujets du groupe Propriofoot.

Les résultats obtenus sont respectivement de 4,9% pour les sujets du premier groupe, et de 6,1% pour les sujets du second. Nous constatons aussi que la comparaison de ce paramètre entre les deux groupes est non significative.

## **V. DISCUSSION**

# DISCUSSION

---

## DISCUSSION DES RESULTATS

Les auteurs qui étudient l'impact des entraînements proprioceptifs sur la stabilité articulaire de la cheville utilisent généralement un appareil de mesure isocinétique capable de calculer la force des muscles inverseurs et éverseurs de leurs sujets.

La plate-forme de force quant à elle, détecte la composante verticale de la force appliquée par le corps du sujet examiné. Plusieurs paramètres calculés par celle-ci permettent de déterminer la capacité du sujet à se rééquilibrer.

Dans le cadre de notre étude, nous avons choisi d'utiliser la plate-forme de force FootWork Pro, qui est une plate-forme de force bidimensionnelle calculant des données telles que les oscillations antéro-postérieures et les oscillations latérales du centre de pression du pied, plus en rapport avec le sujet du mémoire.

En effet, MCGUINE et al. cité par BEYNONN<sup>22</sup> précisent qu'une baisse de ces oscillations serait un bon indicateur de la stabilité de la cheville.

Dans un travail effectué par LESAGE B.<sup>23</sup>, ayant pour but de mettre en évidence les améliorations de la stabilité et de la réactivité du pied à la suite d'un entraînement proprioceptif, il a été démontré que la surface (en mm<sup>2</sup>), qui correspond à celle de l'ellipse comprenant 90% des positions du centre de pression au cours du test, diminue significativement.

Une étude prospective de WANG et al.<sup>24</sup> auprès de dix équipes universitaires de basket-ball a démontré que les personnes saines présentant une augmentation des oscillations de leurs centre de pression du pied, en appuis unipodal, ont un risque accru de développer des entorses de cheville.

Les conclusions de ces études nous ont conduit à utiliser la plate-forme de force dont les résultats escomptés paraissaient correspondre à notre attente.

---

<sup>22</sup> BEYNONN et al, « Predictive factors for lateral ankle sprains; a literature review », Journal of athletic training, 2002, 37, pp. 376-380

<sup>23</sup> LESAGE B., « Intérêts de dissocier l'avant de l'arrière-pied lors d'un entraînement proprioceptif de la cheville t du pied », mémoire HEPHO, 2004-2005.

<sup>24</sup> WANG et al, « Risk factor of high school basketball players ankle injuries: a prospective controlled cohort study evaluating postural sway, ankle strength and flexibility », Archive of phys med rehabil, 2006.

L'acquisition statique que nous avons effectuée a mis en jeu l'équilibre postural du sujet. Nous avons donc évalué la capacité du sujet à maintenir son corps en équilibre dans une position particulière, grâce au contrôle neuromusculaire. Nous avons pu mettre en évidence l'incidence d'un entraînement proprioceptif effectué à l'aide d'un outil rééducatif simple, à savoir les plaquettes Propriofoot, sur la stabilité articulaire de la cheville.

De façon comparative, nous nous trouvons face à deux groupes (témoin et Propriofoot) pour lesquels il apparaît une différence très hautement significative au niveau de la stabilité articulaire latérale et une différence non significative au niveau de la stabilité articulaire antéro-postérieure.

La significativité d'une mesure étant basée sur les écart-types et le nombre de sujets par population, nous devons relativiser la non-significativité des résultats obtenus pour la stabilité antéro-postérieure. Si l'on considère l'évolution de ce paramètre, il existe une amélioration pour le groupe Propriofoot de 11,2% par rapport à un groupe témoin qui a régressé de 20,3%. On observe également au niveau de la stabilité latérale, une amélioration pour le groupe Propriofoot équivalente à 39,3% alors que le groupe témoin régresse de 27,2%.

Si, au vu des résultats, nous remarquons que le groupe ayant participé aux entraînements proprioceptifs présente une meilleure stabilité articulaire que le groupe témoin, il est intéressant de noter certaines disparités dans les pourcentages d'évolution. En effet, le groupe témoin, n'ayant participé à aucune rééducation proprioceptive, présente une régression de la stabilité articulaire tant au niveau de la stabilité latérale que de la stabilité antéro-postérieure.

Notre hypothèse de départ étant qu'un entraînement sur les plaquettes Propriofoot améliore la stabilité articulaire de la cheville de personnes saines, nous pourrions nous poser la question de savoir si l'inactivité n'amène pas un effet négatif sur la stabilité articulaire.

Lors de l'acquisition dynamique, nous avons effectué une étude des pressions du pied en mouvement, en évaluant de manière séquentielle les pressions plantaires en appui unipodal, qui s'exercent au moment du passage du pied sur les capteurs de la plate-forme. Ces séquences évaluent les caractéristiques de l'appui du pied pendant le pas, en donnant l'image de son déroulement total (de l'appui du talon jusqu'au moment où la pointe des orteils quitte le sol). Nous avons donc voulu mettre en évidence l'intérêt de pratiquer un entraînement proprioceptif séparant l'avant-pied de l'arrière-pied sur le déroulement du pied au sol lors de la marche.

Dans son mémoire, MARINI P.<sup>25</sup> met en évidence une amélioration significative, chez des sportifs de haut niveau, de l'ensemble des directions imposées par un test, appelé SEBT (Star Excursion Balance Test), après un programme d'entraînement sur les plaquettes Propriofoot. Ce test permet d'évaluer la capacité du sujet à maintenir son équilibre de manière dynamique lorsque l'on déplace le poids du corps autour de la cheville, formant alors le seul point d'appuis du sujet sur le sol.

Ces améliorations peuvent être expliquées par quelques mécanismes décrits dans une étude de RASOOL J. et al.<sup>26</sup>

L'un de ces mécanismes met en évidence une amélioration du contrôle des changements de positions du centre de gravité.

Dans notre étude nous avons choisi de mesurer l'évolution d'une autre variable, à savoir le centre de pression.

Quel rapport existe-t-il entre le centre de gravité et le centre de pression ?

Le centre de gravité se définit comme étant le point où la masse entière d'un sujet peut-être résumée. Le centre de pression correspond au point d'application de la force résultante de réaction au sol. Autrement dit, le centre de pression est un point théorique correspondant à la résultante des forces verticales de réaction, réparties sur l'ensemble de la surface de contact du pied sur le sol<sup>27</sup>. D'après des enregistrements simultanés du centre de gravité et du centre de pression (WINTER et al.)<sup>28</sup>, on sait que pour étudier la stabilité de l'homme il faut d'abord observer les mouvements de son centre de pression, puisque c'est par les mouvements de ce centre de pression qu'il est stabilisé.

La plate-forme de force est un instrument de choix pour savoir si et comment un homme se stabilise normalement, puisque, précisément, il enregistre la position du centre de pression.

---

<sup>25</sup> MARINI P., « Intérêt de la pratique du PROPRIOFOOT sur la stabilité articulaire de la cheville chez le sportif de haut niveau », mémoire ISEK, 2007-2008.

<sup>26</sup> RASOOL J. et al. « The impact of single-leg dynamic balance training on dynamic stability », *Physical Therapy in Sport*, 2007,8:177-184

<sup>27</sup> BADRANE Z. « Le contrôle postural associé à l'initiation de la marche est-il modifié lors du franchissement d'un obstacle ? Etude dans le plan sagittal », mémoire de recherche, UFR Staps Université de Paris X Nanterre, 2007.

<sup>28</sup> WINTER D.A., PATLA A.E., PRINCE F., ISSHAC M., GIELO-PERCZAK K., "Stiffness control of balance in quiet standing", *J.Neurophysiol.*, 1998, 80: 1211-21

Comme nous l'avons vu dans le chapitre précédent, ni le groupe Propriofoot, ni le groupe témoin n'ont montré une évolution significative du centre de pression dans la décomposition des trois phases d'appui. De plus, dans chacune de ces phases, la comparaison entre les deux groupes ne nous montre pas de différence significative.

Nous pouvons dès lors nous demander si les mécanismes d'adaptation, mis en jeu avec un entraînement sur les plaquettes Propriofoot, permettent de grandes marges de progression.

Et si un tel outil thérapeutique permet réellement de modifier la répartition des appuis entre l'avant-pied et l'arrière-pied, étant donné qu'il dissocie les deux.

## **LIMITES ET POINTS FORTS DE L'ETUDE**

- Le mode d'examen source d'erreurs ?

Le choix du matériel est très important pour réussir une bonne acquisition des données au cours d'une étude. Comme cité précédemment la plate-forme est l'outil qui nous a semblé être le plus approprié et le plus en rapport avec le sujet du mémoire.

Si les plaquettes de proprioception Propriofoot demandent une stabilisation de la part du sujet en appui unipodal, la plate-forme FootWork Pro n'a permis, pour l'acquisition statique, qu'une prise de mesure avec un appui bipodal.

Afin de réduire les sources d'erreurs, il aurait peut-être été plus judicieux de réaliser les mesures à l'aide d'un appareil plus adaptés aux exigences de l'étude (plate-forme de force de Kistler par exemple).

- Une population restreinte ?

Nous avons réalisé cette étude en essayant de répondre aux conditions nécessaires pour une analyse statistique satisfaisante, à savoir un échantillon composé d'un minimum de six sujets ou d'un multiple de six. Ainsi, nous avons pu travailler avec vingt-quatre sujets répartis de manière aléatoire au sein de deux groupes.

Au vu de nos résultats, face à la répartition de cette population autour de la moyenne, et donc face à la valeur élevée des écart-types, il est vraisemblable qu'une population plus importante nous aurait permis de valider plus sûrement notre recherche avec des valeurs significatives.

- Les Propriofoot

Lors de nos entraînements, l'utilisation des plaquettes sur certains sols était délicate. Pour chaque sujet il fallait faire attention à une installation correcte des plaquettes. Même si le travail de la cheville était bien ressenti par tous, plusieurs d'entre eux se sont plaints de la petite taille des Propriofoot, déclarant sentir une gêne, voire une douleur, provoquée par l'appui de la face plantaire du pied sur les bords externes de celles-ci.

D'autres encore, du fait que les Propriofoot demandent une stabilisation de la part du sujet en appui unipodal, ont ressenti, lors de la pratique de plusieurs exercices, une douleur au niveau du muscle moyen fessier, s'exprimant parfois sous forme de crampes.

- L'intérêt d'un travail pluridisciplinaire

Il n'est plus à prouver que dans le milieu médical un travail pluridisciplinaire permet une prise en charge optimale du patient. Il nous a paru évident d'associer les techniques utilisées par le podologue et ce pour interpréter au mieux les résultats de notre étude.

- L'exécution des tests et des séances d'entraînement

La bonne exécution des tests et des séances d'entraînement est reconnue comme étant un facteur pouvant influencer de manière très significative les résultats d'une étude. C'est pour quoi celle-ci a été réalisée par un seul et même expérimentateur, réduisant ainsi les sources d'erreurs.

- La motivation de la part des sujets participant à l'étude

Les sujets du groupe expérimental se sont montrés très motivés et très assidus par rapport à un programme d'étude qui leur a demandé de prendre beaucoup de leur temps libre. Aucun n'a voulu arrêter l'étude. Tous ont déclaré avoir ressenti un travail bien spécifique de la cheville, et tous ont reconnu ressentir une meilleure stabilité de celle-ci.

## **VI. CONCLUSION**

## CONCLUSION

---

Le but de cette étude était de connaître l'intérêt de la pratique d'un entraînement proprioceptif avec les plaquettes Propriofoot sur la stabilité articulaire de la cheville de sujets sains, et d'en objectiver les résultats à l'aide d'une plate-forme de force.

Cet outil de mesure a permis de situer notre étude à deux niveaux, statique et dynamique.

Au plan statique, les résultats obtenus démontrent une amélioration nette, statistiquement significative, pour ce qui concerne la stabilité latérale et toutefois non-significative pour la stabilité antéro-postérieure. En effet, l'écart-type est trop important.

Au plan dynamique, il n'a été remarqué dans aucun des deux groupes, une modification significative d'un point de vue statistique, et ce, quelle que soit la phase d'appui étudiée.

L'utilisation d'une plate-forme de force bidimensionnelle s'est avéré justifiée dans les prises de mesures. Les possibilités qu'elle présente sont nombreuses et son utilisation pourrait être plus largement étendue dans le cadre d'études futures.

Il serait dès lors intéressant de comparer l'effet d'un entraînement proprioceptif entre une population présentant des problèmes de chevilles et une population saine, de voir si il existe une différence à ce niveau entre les sujets de sexe opposés, ou encore de comparer entre eux, les différents outils proposés dans le cadre d'une rééducation proprioceptive.

Les plaquettes Propriofoot représentent un outil thérapeutique intéressant et, même si nous ne pouvons pas affirmer avec certitude que nous avons amélioré la stabilité articulaire de la cheville à la suite d'un entraînement proprioceptif, l'objectif de leurs concepteurs d'avoir une action ciblée au niveau de la cheville est atteint.

Enfin, La complémentarité des disciplines représentées par les deux promoteurs illustre l'intérêt d'études communes. Celles-ci déboucheront sur une approche et une démarche à la fois pluridisciplinaires et bénéfiques pour la rééducation du patient.

## **VII. BIBLIOGRAPHIE**

## ARTICLES SCIENTIFIQUES, LIVRES ET MEMOIRES CONSULTES :

1. BAICRY J., PARIS L., « Rééducation de la cheville et du pied : du nouveau dans la proprioception », FMT Mag, 2004, p.12
2. FRANK H. NETTER, « Atlas d'anatomie humaine », Broché, 2007, p.507
3. B.COUDRET et al, « Traumatisme récent de la cheville » ; Elsevier Masson, 2007.
4. BESNIER J.P, « La cheville », Frison-Roche, Paris, 1992.
5. SIMON.L. « Le pied du sportif », Masson, 1979.
6. WERNER PLATZER, « Appareil Locomoteur », Atlas de poche d'anatomie, Flammarion, 2007, pp.266-267
7. NASHNER L, Mc COLLUM G., “The organization of human postural movements a formal basis and experimental synthesis”, Behav Brain Sci., 1985; 8: 135-172
8. LEPHART SM, PINCIVERO DM, GIRALDO JL, FU FH., “The role of proprioception in the management and rehabilitation of athletic injuries”, Am J Sports Med. 1997; 25(1) : 130-137
9. LATASH M.L, « Bases neurologiques du mouvement », Bruxelles, De Boeck Université 2002.
10. BLOUIN et BERGERON, « Proprioception ou reprogrammation neuro-musculaire de la cheville », Amicale des kinés bourbonnais, 1995.
11. KEVIN D. ALLOWAY, « Neurosciences Médicales », Bruxelles, De Boeck Université 2002.
12. KEVIN D. ALLOWAY, « Neurosciences Médicales », Bruxelles, De Boeck Université 2002.
13. M. F. BEAR, B. W. CONNORS, M. A. PARADISO, « Neurosciences à la découverte du cerveau », Ed. Pradel 2002.
14. E. VIEL, « La marche humaine, la course et le saut », Edition Elsevier Masson, 2000.
15. J. RODINEAU, G SAILLANT, « Les lésions ligamentaires récentes du coup de pied, Conduite pratique de la rééducation proprioceptive » par M Peyre, F Minchin et C. Delong, p. 193-198
16. LOFVENBERG R, KARRHOLM J, SUNDELIN G, AHLGREN O, “Prolonged reaction time in patients with chronic lateral instability of the ankle”, Am. J. Sports. Med., 1995:23(4)
17. L. KONRADSEN, “Sensori-motor control of the uninjured and injured human ankle”, J. Of Electromyography and Kinesiology, 2002: 12, 199-203

18. BEYONN and al., "Predictive Factors for Lateral Ankle Sprains: A Literature Review", *Journal of Athletic Training*, 2002;37(4):376-380
19. ZAKAS A. and al., « Bilateral isokinetic peak torque of quadriceps and hamstring muscles in professional soccer players with dominance on one or both two sides », *J Sports Med Phys Fitness* 2006;46:28-35
20. HOFFMAN M. and al « Unilateral postural control of the functionally dominant and nondominant extremities of healthy subjects », *J Athl Train* 1998 ;33 :319-22
21. VERHAGEN E. and al. « The effect of a balance training programme on centre of pressure excursion in one-leg stance », *Clin Biomech* 2005 ;20 :1094-100
22. BEYONN et al, « Predictive factors for lateral ankle sprains; a literature review », *Journal of athletic training*, 2002, 37, pp. 376-380
23. LESAGE B., « Intérêts de dissocier l'avant de l'arrière-pied lors d'un entraînement proprioceptif de la cheville t du pied », mémoire HEPHO, 2004-2005.
24. WANG et al, « Risk factor of high school basketball players ankle injuries: a prospective controlled cohort study evaluating postural sway, ankle strength and flexibility », *Archive of phys med rehabil*, 2006.
25. MARINI P., « Intérêt de la pratique du PROPRIOFOOT sur la stabilité articulaire de la cheville chez le sportif de haut niveau », mémoire ISEK, 2007-2008.
26. RASOOL J. et al. « The impact of single-leg dynamic balance training on dynamic stability », *Physical Therapy in Sport*, 2007,8:177-184
27. BADRANE Z. « Le contrôle postural associé à l'initiation de la marche est-il modifié lors du franchissement d'un obstacle ? Etude dans le plan sagittal », mémoire de recherche, UFR Staps Université de Paris X Nanterre, 2007.
28. WINTER D.A., PATLA A.E., PRINCE F., ISSHAC M., GIELO-PERCZAK K., "Stiffness control of balance in quiet standing", *J.Neurophysiol.*, 1998, 80: 1211-21
29. CALAIS-GERMAIN B., « Anatomie pour le mouvement : tome 1 », Désirsis, 2005.

## **VIII. ANNEXES**

## **ANNEXE 1**

### **Consentement éclairé**

#### Information concernant l'étude :

nous cherchons à évaluer l'impact de la pratique des plaquettes Propriofoot sur la stabilité de la cheville.

Pour cela, nous vous demandons de réaliser deux protocoles différents répartis sur 30 jours.

Dans le premier cas, vous réaliserez des séances d'entraînement sur les plaquettes de proprioception (Propriofoot). La durée d'un entraînement est d'environ vingt minutes.

Chaque séance est précédée d'un échauffement de dix minutes sur un vélo d'intérieur.

Dans l'autre cas, vous n'effectuerez aucun entraînement. Quelle que soit la condition, vous effectuerez deux prises de mesures sur la plate-forme de force (FootWork Pro) avec une durée d'intervalle de 30 jours. Vous tirerez au sort le groupe dans lequel vous effectuerez l'étude.

Ces tests nécessitent une motivation importante chaque fois que vous ferez les expériences.

La collecte d'informations personnelles vous concernant ne pourra être utilisée à votre insu.

Votre participation est volontaire, non rémunérée et vous pouvez arrêter de participer à l'étude à n'importe quel moment, quel qu'en soit la raison.

#### Questionnaire :

##### *Questions relatives à l'étude*

- Disposez-vous d'assez de temps pour participer activement à cette étude ? oui/non
- Pensez-vous avoir la motivation suffisante pour accomplir de tels efforts ? oui/non

Si vous répondez « oui » à ces deux questions, passez à la partie formulaire médical.

Dans le cas où vous répondriez « non » à l'une de ces questions, vous serez écarté de l'étude.

Nous vous remercions alors de l'intérêt que vous avez porté à cette expérience.

*Formulaire médical*

- Etes-vous une personne de sexe féminin ? oui/non
- Souffrez-vous actuellement d'une atteinte au niveau des chevilles ? oui/non
- Avez-vous déjà eu des problèmes d'ordre neurologique ? oui/non
- Participez-vous déjà à une étude sur les membres inférieurs ? oui/non

Si vous avez répondu « non » à toutes ces questions, veuillez passer à la partie suivante.

Dans le cas où vous répondriez « oui » à l'une de ces questions, vous serez écarté de l'étude.

Nous vous remercions alors de l'intérêt que vous avez porté à cette expérience.

*Informations personnelles*

NOM : .....

Prénom : .....

Age : .....

Poids (en kg) : .....

Je soussigné,....., déclare avoir pris connaissance des termes énoncés ci-dessus et désire participer volontairement à ce travail de fin d'études.

Fait à ....., le.....

Signature

Je soussigné Nicolas VANKERKHOVE, responsable de l'étude, déclare avoir correctement informé le sujet des conditions de l'expérience et confirme que les termes de ce contrat ne pourront être modifiés .

Fait à ....., le.....

Signature

## ANNEXE 2 (suite de la description des séances d'entraînement)

### 4.3.6. Sixième séance

#### Travail de l'arrière-pied et de l'avant-pied :

- a) La plaquette jaune est placée sous l'arrière-pied, en orientant les demi-cylindres à 45° par rapport à l'axe du pied.

La plaquette rouge est placée sous l'avant-pied.

- Exercice :

- BE 1'30'', Repos 1'
- BC 1'30'', Repos 1'
- BC 1'30'', Repos 1'
- BEYF 1'30'', Repos 1'



- b) La plaquette jaune est placée sous l'arrière-pied, l'axe des demi-cylindres 45° par rapport à l'axe du pied (*diagonale inversée par rapport à l'exercice précédent*).

La plaquette rouge sous l'avant-pied.

- Exercice :

- BE 1'30'', Repos 1'
- BC 1'30'', Repos 1'
- BC 1'30'', Repos 1'
- BEYF 1'30'', Repos 1'



#### 4.3.7. Septième séance :

##### Travail de l'arrière-pied et de l'avant-pied :

c) La plaquette bleue est placée sous l'avant-pied, l'axe des demi-cylindres parallèle à celui du pied.

La plaquette jaune sous l'arrière-pied, en orientant les demi-cylindres à 45° par rapport à l'axe du pied.

- Exercice :

- BE 1'30'', Repos 1'
- BC 1'30'', Repos 1'
- BEYF 1'30'', Repos 1'
- BCYF 1'30'', Repos 1'



d) La plaquette bleue est placée sous l'avant-pied, l'axe des demi-cylindres parallèle à celui du pied.

La plaquette jaune sous l'arrière-pied, en orientant les demi-cylindres à 45° par rapport à l'axe du pied (*diagonale inversée par rapport à l'exercice précédent*).

- Exercice :

- BE 1'30'', Repos 1'
- BC 1'30'', Repos 1'
- BEYF 1'30'', Repos 1'
- BCYF 1'30'', Repos 1'



#### 4.3.8. Huitième séance :

##### Travail de l'arrière-pied et de l'avant-pied :

- a) La plaquette bleue est placée sous l'avant-pied, l'axe des demi-cylindres parallèle à celui du pied.

La plaquette jaune est placée sous l'arrière-pied, l'axe des demi-cylindres parallèle à celui du pied.

- Exercice :

- BE 1'30'', Repos 1'
- BC 1'30'', Repos 1'
- BEYF 1'30'', Repos 1'
- BCYF 1'30'', Repos 1'



- b) La plaquette jaune est placée sous l'arrière-pied, l'axe des demis-cylindres parallèle à celui du pied.

La plaquette rouge est placée sous l'avant-pied.

- Exercice :

- BE 1'30'', Repos 1'
- BC 1'30'', Repos 1'
- BEYF 1'30'', Repos 1'
- BCYF 1'30'', Repos 1'



#### 4.3.9. Neuvième séance :

##### Travail de l'arrière-pied et de l'avant-pied :

- a) La plaquette bleue est placée sous l'avant-pied, l'axe des demi-cylindres parallèle à celui du pied.

La plaquette rouge est placée sous l'arrière-pied.

- Exercice :

- BE 1'30'', Repos 1'
- BC 1'30'', Repos 1'
- BEYF 1'30'', Repos 1'
- BCYF 1'30'', Repos 1'



- b) Même exercice

#### 4.3.10. Dixième séance :

##### Travail spécifique des fibulaires :

- a) La plaquette bleue est placée sous l'avant-pied, légèrement décalée vers la gauche. L'axe des demi-cylindres parallèle à l'avant-pied. La plaquette verte est placée sous l'arrière-pied.

- Exercice :

- BE 1'30'', Repos 1'
- BC 1'30'', Repos 1'
- BEYF 1'30'', Repos 1'
- BCYF 1'30'', Repos 1'



- b) Même exercice



Le pied est placé sur les deux plaquettes, la moitié externe de l'avant-pied est dans le « vide ». En essayant de maintenir la plaquette bleue à l'horizontale on doit relever le bord externe du pied en faisant travailler, de manière très sélective, les muscles fibulaires.

### ANNEXE 3

- Tableau reprenant les valeurs de la moyenne d'amplitude antéro-postérieure en T1 et en T2, et les valeurs du rapport  $(T2/T1)*100$

Groupe témoin	Moyenne en T1	Moyenne en T2	% [(T2/T1)*100]
Sujet 1	0,43209877	0,32407407	74,99999826
Sujet 2	0,29049383	0,39045369	134,4103212
Sujet 3	0,29567901	0,31395062	106,1795425
Sujet 4	0,42037037	0,30049383	71,48311381
Sujet 5	0,33456679	0,29246914	87,41726577
Sujet 6	0,14345679	0,16580247	115,5765928
Sujet 7	0,16913579	0,17740741	104,8905202
Sujet 8	0,15481481	0,30061728	194,1786319
Sujet 9	0,29876543	0,24283951	81,28099359
Sujet 10	0,19629631	0,22024691	112,2012482
Sujet 11	0,23888889	0,61493827	257,4160188
Sujet 12	0,26012346	0,26987654	103,7494042

Groupe Propriofoot	Moyenne en T1	Moyenne en T2	% [(T2/T1)*100]
Sujet 1	0,44851852	0,23444444	52,27084937
Sujet 2	0,37925926	0,53333333	140,6249988
Sujet 3	0,22123457	0,27382716	123,77232
Sujet 4	0,21876543	0,37987654	173,6455984
Sujet 5	0,25222222	0,21987654	87,17572078
Sujet 6	0,55148148	0,26604938	48,24266809
Sujet 7	0,47469136	0,43037037	90,6631985
Sujet 8	0,4082716	0,317284	77,71395316
Sujet 9	0,15592593	0,1512346	96,99130863
Sujet 10	0,23604938	0,17851852	75,62761656
Sujet 11	0,33753086	0,14925931	44,22093731
Sujet 12	0,42888889	0,28864198	67,29994351

- Tableau reprenant les valeurs de la moyenne d'amplitude latérale en T1 et en T2, et les valeurs du rapport  $(T2/T1)*100$

Groupe témoin	Moyenne en T1	Moyenne en T2	% [(T2/T1)*100]
Sujet 1	0,05981481	0,11469136	191,7440848
Sujet 2	0,07148148	0,09728395	136,0967204
Sujet 3	0,06209877	0,07222222	116,3021747
Sujet 4	0,06901235	0,11864198	171,9141284
Sujet 5	0,06753086	0,11617284	172,0292619
Sujet 6	0,04938272	0,02691358	54,49999514
Sujet 7	0,02809877	0,0361358	128,6027823
Sujet 8	0,06376543	0,06518519	102,2265356
Sujet 9	0,08814815	0,07222222	81,93276887
Sujet 10	0,04320988	0,04728395	109,4285612
Sujet 11	0,11086421	0,14679012	132,4053272
Sujet 12	0,04876543	0,06283951	128,8607729

Groupe Propriofoot	Moyenne en T1	Moyenne en T2	% [(T2/T1)*100]
Sujet 1	0,09555556	0,03759259	39,34108073
Sujet 2	0,08469136	0,01854321	21,89504337
Sujet 3	0,04585185	0,02802469	61,12008567
Sujet 4	0,11851852	0,06716049	56,66666273
Sujet 5	0,08283951	0,07790123	94,03873828
Sujet 6	0,21283951	0,07370371	34,62877264
Sujet 7	0,14049383	0,09209877	65,55360474
Sujet 8	0,06037037	0,02685185	44,47852481
Sujet 9	0,06296296	0,04444444	70,58823156
Sujet 10	0,10925926	0,03737037	34,20338926
Sujet 11	0,03432099	0,03271606	95,32376543
Sujet 12	0,06925926	0,07759259	112,0320806

- Tableau des valeurs (en pourcent) des phases taligrade, plantigrade et digitigrade en T1 et en T2, et des valeurs du rapport  $(T2/T1)*100$

### Phase taligrade

<b>Groupe témoin</b>	T1	T2	% [(T2/T1)*100]
Sujet 1	9%	8%	88,888889
Sujet 2	7%	7%	100
Sujet 3	9%	10%	111,111111
Sujet 4	13%	14%	107,69231
Sujet 5	4%	4%	100
Sujet 6	12%	9%	75
Sujet 7	7%	7%	100
Sujet 8	8%	8%	100
Sujet 9	4%	4%	100
Sujet 10	8%	9%	112,5
Sujet 11	12%	10%	83,333333
Sujet 12	10%	11%	110
Moyenne	9%	8%	

<b>Groupe Propriofoot</b>	T1	T2	% [(T2/T1)*100]
Sujet 1	9%	8%	88,888889
Sujet 2	11%	12%	109,09091
Sujet 3	12%	11%	91,666667
Sujet 4	7%	8%	114,28571
Sujet 5	10%	10%	100
Sujet 6	12%	12%	100
Sujet 7	12%	10%	83,333333
Sujet 8	9%	10%	111,111111
Sujet 9	5%	6%	120
Sujet 10	11%	11%	100
Sujet 11	11%	12%	109,09091
Sujet 12	9%	8%	88,888889
Moyenne	10%	10%	

### Phase plantigrade

<b>Groupe témoin</b>	T1	T2	% [(T2/T1)*100]
Sujet 1	59%	56%	94,915254
Sujet 2	54%	57%	105,555556
Sujet 3	59%	45%	76,271186
Sujet 4	56%	52%	92,857143
Sujet 5	59%	47%	79,661017
Sujet 6	49%	55%	112,2449
Sujet 7	60%	59%	98,333333
Sujet 8	57%	68%	119,29825
Sujet 9	55%	53%	96,363636
Sujet 10	51%	41%	80,392157
Sujet 11	46%	47%	102,17391
Sujet 12	59%	53%	89,830508
Moyenne	55%	53%	

<b>Groupe Propriofoot</b>	T1	T2	% [(T2/T1)*100]
Sujet 1	60%	56%	93,333333
Sujet 2	52%	46%	88,4615385
Sujet 3	44%	38%	86,363636
Sujet 4	41%	46%	112,19512
Sujet 5	58%	56%	96,551724
Sujet 6	42%	41%	97,619048
Sujet 7	33%	38%	115,15152
Sujet 8	59%	60%	101,69492
Sujet 9	57%	56%	98,245614
Sujet 10	53%	56%	105,66038
Sujet 11	62%	45%	72,580645
Sujet 12	46%	50%	108,69565
Moyenne	51%	49%	

## Phase digitigrade

<b>Groupe témoin</b>	T1	T2	% [(T2/T1)*100]
Sujet 1	32%	36%	112,5
Sujet 2	39%	35%	89,74359
Sujet 3	32%	43%	134,375
Sujet 4	31%	34%	109,67742
Sujet 5	37%	44%	118,91892
Sujet 6	39%	36%	92,307692
Sujet 7	33%	34%	103,0303
Sujet 8	35%	24%	68,571429
Sujet 9	41%	37%	90,243902
Sujet 10	41%	50%	121,95122
Sujet 11	42%	43%	102,38095
Sujet 12	31%	36%	116,12903
Moyenne	37%	38%	

<b>Groupe Propriofoot</b>	T1	T2	% [(T2/T1)*100]
Sujet 1	31%	36%	116,12903
Sujet 2	37%	49%	132,43243
Sujet 3	44%	45%	102,272727
Sujet 4	52%	44%	84,615385
Sujet 5	32%	34%	106,25
Sujet 6	46%	47%	102,17391
Sujet 7	55%	52%	94,545455
Sujet 8	32%	30%	93,75
Sujet 9	38%	44%	115,78947
Sujet 10	36%	33%	91,666667
Sujet 11	27%	43%	159,25926
Sujet 12	45%	38%	84,444444
Moyenne	40%	41%	

## ANNEXE 4 (L'axe de Henke)

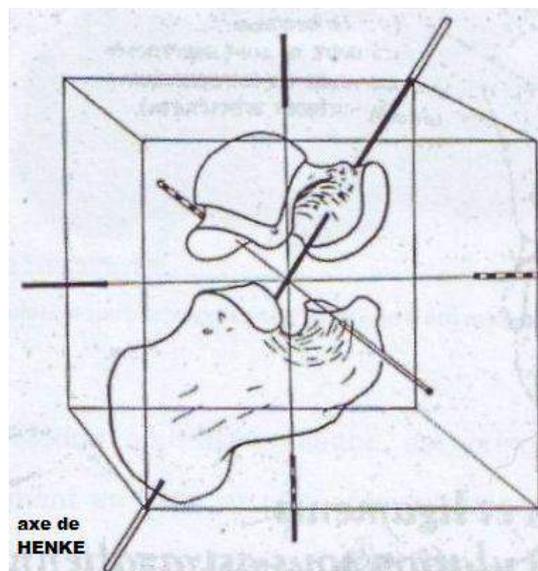


Figure 22 : Représentation de l'axe de Henke (tiré du livre « Anatomie pour le mouvement : tome 1 »<sup>29</sup>).

L'axe de Henke est une ligne virtuelle qui représente l'axe autour duquel se meut l'ensemble de l'arrière-pied depuis l'inversion extrême jusqu'à l'éversion extrême. Il est orienté obliquement en partant de la face externe du calcaneus vers l'avant et vers le dedans.

<sup>29</sup> CALAIS-GERMAIN B., « Anatomie pour le mouvement : tome 1 », Désiris, 2005.



**Travail de fin d'études présenté par**

**NOM : VANKERKHOVE**

**PRENOM : Nicolas**

**2008-2009**

---

**Titre :** Intérêt de la pratique des Propriofoot sur la stabilité articulaire de la cheville chez le sujet sain. Objectivation à l'aide de la plate-forme de force FootWork Pro.

**Objectif :** Nous cherchons à connaître l'intérêt de la pratique d'un entraînement proprioceptif avec les plaquettes Propriofoot sur la stabilité articulaire de la cheville chez le sujet sain, en mesurant différents paramètres à l'aide d'une plate-forme de force.

**Méthodologie :** Nous avons demandé à 24 sujets sains, répartis de manière aléatoire en deux groupes équitables (groupe Propriofoot et groupe témoin), de réaliser deux protocoles différents. Dans le premier groupe, les sujets ont effectué des séances d'entraînement sur les plaquettes de proprioception Propriofoot. Dans l'autre, ils n'ont réalisé aucun entraînement. Quelle que soit la condition, les 24 sujets ont effectué deux prises de mesures sur la plate-forme de force FootWork Pro avec une durée d'intervalle de 30 jours. Les prises de mesures comprenaient une acquisition statique et une acquisition dynamique.

**Résultats :** Pour l'acquisition statique, l'analyse statistique des résultats obtenus nous indique, pour les sujets du groupe Propriofoot, une amélioration significative de la stabilité articulaire latérale de la cheville et une amélioration non significative de la stabilité articulaire antéro-postérieure. Dans l'autre groupe, une régression significative de la stabilité articulaire latérale, ainsi qu'une régression non significative de la stabilité articulaire antéro-postérieure de la cheville ont été observées.

Lors de l'acquisition dynamique, il n'a été remarqué dans aucun des deux groupes une modification significative d'un point de vue statistique, et ce, quelle que soit la phase d'appui étudiée.

**Conclusion :** Les plaquettes Propriofoot représentent un outil thérapeutique intéressant et, même si nous ne pouvons pas affirmer avec certitude que nous avons amélioré la stabilité articulaire de la cheville à la suite d'un entraînement proprioceptif, l'objectif de leurs concepteurs d'avoir une action ciblée au niveau de la cheville est atteint.