

**MILLET
INNOVATION**

UFR STAPS Sciences et Techniques
des activités physiques
et sportives

**UNIVERSITÉ DE
FRANCHE-COMTÉ**

Université de Franche-Comté

UFR STAPS Besançon

La plateforme de recherche EPSI (Exercice Performance Santé Innovation)

Mémoire pour l'obtention

du MASTER 2 STAPS

Mention : Activités Physiques Adaptées et Santé (APAS)

Présenté par :

Joan Manuel Quintero Angarita

L'effet d'une semelle sur le retour veineux plantaire

Effect of an insole on plantar venous return.

Soutenu le 24 juin 2022

Tuteur universitaire :

Mr. TORDI Nicolas, professeur des Universités, Université de Franche-Comté
EA4267 PEPITE.

Tuteur professionnel :

Mr. BELIARD Samuel Statut, MD Hôpital Dole, PhD université de Franche-
Comté EA4267 PEPITE.

Directrice USTA :

M. CASTRO Ramirez Cindy Joulieth Statut, Universidad Santo Tomas, Groupe
Cuerpo Sujeto y Educacion.

Codirecteur USTA :

Mr. MENESES Echavez José Francisco Statut, Universidad Santo Tomas,
Groupe Ciencias Aplicadas al Ejercicio, Deporte y Salud GICAEDS.



**MILLET
INNOVATION**

UFR **STAPS** Sciences et techniques
des activités physiques
et sportives

**UNIVERSITÉ DE
FRANCHE-COMTÉ**

**Université de Franche-Comté
UFR STAPS Besançon**

La plateforme de recherche EPSI (Exercice Performance Santé Innovation)

**Mémoire pour l'obtention
du MASTER 2 STAPS**

Mention : Activités Physiques Adaptées et Santé (APAS)

Présenté par :

Joan Manuel Quintero Angarita

L'effet d'une semelle sur le retour veineux plantaire

Effect of an insole on plantar venous return.

Soutenu le 24 juin 2022

Tuteur universitaire :

Mr. TORDI Nicolas, professeur des Universités, Université de Franche-Comté
EA4267 PEPITE.

Tuteur professionnel :

Mr. BELIARD Samuel Statut, MD Hôpital Dole, PhD université de Franche-
Comté EA4267 PEPITE.

Directrice USTA :

M. CASTRO Ramirez Cindy Joulieth Statut, Universidad Santo Tomas, Groupe
Cuerpo Sujeto y Educacion.

Codirecteur USTA :

Mr. MENESES Echavez José Francisco Statut, Universidad Santo Tomas,
Groupe Ciencias Aplicadas al Ejercicio, Deporte y Salud GICAEDS.

ABSTRACT

Effect of an insole on plantar venous return

Introduction:

Blood return from the foot to the heart is commonly thought to be started by the legendary Lejars' sole, a type of foot sponge squeezed by every step, which remains under debate. Indeed, little attention has been devoted to the veins of the foot [1]. In addition, the foot veins are divided into five groups which each have a special function in the plantar venous return. They work with the force between body weight and the force exerted from the ground to the body; they are known as "the foot pump". According to the anatomical disposition, the site of the pump may be identified in the lateral plantar veins, and its middle portion is dilated, acting as a "reservoir" with a volume of 10–33 mL[1,2]. To move more blood from the sole of the foot, it is necessary to increase the pressure exerted on the plantar pump. Therefore, by means of the Millet Innovation insole, Model M15, it is intended to increase the pressure force with different points inside the insole. They are distributed in the heel in a circular shape, in the midfoot area, from the external part towards the center of the foot and in the forefoot. Then when the subject makes a step, the sole should increase the walking pression and the plantar venous return. Usually, the plantar venous return during gait has been measured in human body dead corpses with catheters and other invasive methods. Instead, we use the EC6 plethysmograph to measure the blood flowing through the ankle from the foot as a non-invasive method. We made two protocols to simulate a step with the leg immobilized and the other with the three-step phase.

Materials and Methods:

Ten normal, healthy volunteers (3 men, 2 women; average age 23 years old) were recruited. The subjects were non-smokers and not taking any form of medication during the study. Measurements were carried out on two separate occasions over 1-day periods under identical conditions, at the same time of day. The subjects wore shorts and without ankle socks. Blood flow measurements were carried out in the right ankle with the subjects in the supine position. We have used the plethysmography to measure ankle volume and blood. The plethysmography is a tool to measure the volume of a part of the body (ankle and calf). Two protocols were put into practice 1. The simulated step protocol: a garrot and a gauge are installed before the subject lies on a bed. On the bed, the leg would be raised and immobilized, where it puts a pression of 150N in the talon, middle of the foot and tip of foot 5 times each. At the end of the test, they would then walk for 5 min, and again perform the test. Ten minutes after the same test with the M15 template. 2) The real step protocol (PR): It consists of performing the vascular maneuver, simulating a step in its three parts, under the same conditions described above. For statistical analysis, the data was digitized with LabChart v5.5.3 software (ADInstruments, Colorado Springs, USA). To measure repeatability in manner that can be reproduced, we performed a conventional variance analysis of a day factor (time). Using manual calculations (via the Excel software).

Results:

PS were measured between 4 and 13 ml of total blood. The value between the template and our template was representative, presenting an acceptable and good repeatability and reproducibility. Between 1 and 4 ml of blood were measured for PR, and the reliability was good. We have measured a minimum of 10 mL of blood, as was expected in the literature. However, the articles [3,4,5,6] measuring plantar venous return in dynamics did not consider the different phases of the step.

Discussion:

The study highlights innovative results in this field of scientific research. First, the PS protocol showed better results regarding the measurement of ankle volume during stimulation of the heel and the middle of the foot. They are observed with and without the sole, especially after walking. Beliard [16,17] shows that walking increases the volume of circulating blood. The plethysmograph made it possible to correctly measure the volume of the ankle. Therefore, this method gives us quantifiable results to compare the RVP with and without the sole.

Conclusion:

The Millet Innovation M15 outsole shows an effect in both protocols and in all participants. It increased the amount of blood in the venous return. Plantar venous return is related to the three phases of foot support. This is a parameter to consider when evaluating the effectiveness of the sole. Plethysmograph appears to be a relevant tool in assessing the effectiveness of a footbed on the RVP.

Keywords: Plantar venous return, Plethysmograph, Dynamique, Repeatability.

REMERCIEMENTS

Au terme de ce travail, je tiens à remercier la plateforme EPSI : Mr. TORDI, Mr. BELIARD, Mr. IMBERT. Merci d'avoir pris de votre temps et votre espace afin de me permettre d'avoir la meilleure intervention possible. Merci pour votre accueil, sympathie, temps et conseils prodigués durant la totalité de cette période passée à vos côtés. Je vous remercie de vous être toujours tenue à disposition lorsque j'avais des questions et de m'avoir donné les clés pour la réalisation de mon mémoire. Également, merci pour l'entreprise Millet Innovation de m'avoir permis de travailler sur ce projet.

Je remercie l'université de Franche-Comté, la direction de relation internationale de Franche-Comté, à Santo tomas, Mme Castro Cindy, et Mme Gonzalez Lina, John Fredy Ramirez. Merci pour la bourse Victor Hugo, de m'avoir permis de venir en France réaliser mon projet de vie et de tous les soutiens que j'ai pu recevoir.

Je remercie mes tuteurs universitaires, Mr Tordi, et tuteur professionnel, Mr Beliard et Mme Mougin-Guillaume. Merci pour le temps consacré au suivi de mon mémoire et pour les précieuses informations prodiguées avec intérêt et compréhension.

Je remercie enfin ma famille et mes amis pour m'avoir soutenu dans mes efforts tout au long de la réalisation de mon mémoire et de mon master.

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Position du garrot au mollet et de la jauge à la cheville	10
Figure 2 : Position du support pour la mesure en pointe de pied	11
Figure 3 : Protocole PS sans semelle REPO - MAR	11
Figure 4 : Maintien de la semelle M15 avec le mi-bas	12
Figure 5 : Protocole PR - REPO et MAR	13

LISTE DES TABLEAUX

Tableau I : Classification des outils de mesure du retour veineux plantaire	6
Tableau II : Valeur ml de la moyenne de chaque mesure pour le protocole PS	15
Tableau III : Répétabilité (intra jour) et reproductibilité (inter jour) pour le protocole pas simulé (PS)	16
Tableau IV : Répétabilité (intra jour) et reproductibilité (inter jour) pour le protocole du pas réel (PR)	17

SOMMAIRE

I.	Introduction.....	1
II.	Matériels et Méthodes.....	8
	2.1 Sujets.....	8
	2.2 Mesures	8
	2.3 Design.....	9
	2.4. Analyse statistique	13
III.	Résultats	15
	3.1 Protocole Pas Simulé.....	15
	3.2 Protocole du Pas Réel	16
IV.	Discussion	18
V.	Conclusion.....	20
VI.	Bibliographie.....	21
VII.	Table des matières.....	23

I. Introduction

Ce travail a pour projet d'évaluer l'efficacité du prototype de semelle M15 de Millet Innovation sur l'amélioration du retour veineux plantaire. Pour répondre à cet objectif, il est essentiel de comprendre et d'analyser la semelle, le retour veineux plantaire, la dynamique de la marche et les différents tests d'évaluation du retour veineux.

La semelle

La semelle constitue la partie inférieure de la chaussure, son objectif est d'isoler le pied du sol. Elle contribue à l'amorti, à la stabilisation du pied et permet un meilleur ancrage de ce dernier au sol. Elle doit être à la fois résistante sans être trop rigide pour ne pas s'opposer au déroulement naturel du pied. [1] La semelle doit s'adapter à la forme du pied et aux propriétés biomécaniques du sujet qui la porte. L'ensemble de ces éléments peuvent contribuer à l'amélioration de la qualité de la marche.

La semelle évaluée dans cette étude est celle créée par l'entreprise Millet Innovations, Le Prototype M15. Cette semelle est composée d'un revêtement en gel de très basse dureté (15 shore A) lui permettant de s'adapter facilement aux pieds de l'utilisateur. En plus de ce gel, elle est dotée de plusieurs picots de différentes tailles. Ils permettent, selon l'anatomie de la pompe plantaire et du réseau veineux plantaire, d'augmenter la pression exercée sur ces vaisseaux et de répartir davantage la force de réaction du sol. Ces éléments semblent améliorer l'efficacité de cette pompe veineuse en réduisant la surface de contact avec le sol pendant la phase du déroulé du pied lors de la marche.

Sur la semelle, la zone du talon est entourée de picots dont la taille augmente progressivement de l'intérieur vers l'extérieur. Ils permettent de soutenir et de générer plus de pression sur le talon lors de son contact avec le sol. La zone centrale est la plus remplie, avec des points de différentes tailles. Ces derniers permettent d'exercer une pression plus importante sur le pied en position médiane absolue. Au niveau de la pointe du pied, il y a une ligne de petits points, sa fonction est d'augmenter la pression dans cette zone lors de la dernière phase du pas.

Par conséquent, la semelle semble avoir un impact sur le retour veineux. Elle permettrait alors d'améliorer la qualité de vie du patient la portant et de réduire les symptômes des maladies liées au retour veineux plantaire.

Hémodynamique du retour veineux plantaire

Le pied, au-delà de son rôle d'appuis et de support du corps en position verticale, joue un rôle physiologique indispensable dans le système veineux des membres inférieurs grâce à sa vascularisation et son impact dans l'innervation de l'hémodynamique veineuse [1]. Effectivement, il est composé de plusieurs éléments qui le rendent essentiel au bon fonctionnement de la circulation sanguine comme : les pompes veineuses, les petites veines, le sang, les os du pied (composés du proximal vers le distal des os du tarse, des métatarses et des phalanges), ainsi que d'autres structures anatomiques tels que les ligaments, les tendons et les muscles.

Le retour veineux plantaire (RVP) est grandement favorisé en station debout par la contraction des muscles des membres inférieurs qui permettent un drainage des veines qui les composent. Lors de la marche, les veines plantaires subissent une compression plus forte, ainsi l'expulsion du sang par ces vaisseaux est plus importante. Ce phénomène se traduit par un blanchiment de la peau sous les zones d'appuis, observable au podoscope [2].

Il existe un système de communication entre les veines plantaires et les veines dorsales du pied, facilitant le retour veineux par le réseau profond. Selon Ricci et al., 2014 pour un sujet debout et dans un état dynamique, le retour du sang veineux jusqu'au cœur est permis par plusieurs compartiments myo-fasciaux distincts et agissant comme des pompes musculaires. Parmi elles, la plus importante pour le retour veineux plantaire est la pompe à pied ou la pompe plantaire.

La pompe plantaire constitue le point de départ du retour veineux. Elle permet la vidange de la semelle veineuse plantaire de Lejars lors de la phase plantigrade du cycle de marche et surtout lors de la contraction des muscles intrinsèques du pied. [3] Le pied est irrigué par deux réseaux veineux. L'un est profond, il se compose de la valve satellite des veines et il draine 90 % du retour veineux. L'autre est superficiel, il se compose principalement de saphènes. Ces deux réseaux sont richement anastomosés entre eux par une dizaine de veines perforantes riches en

valves, qui dirigent le sang de la profondeur vers la superficie. Ainsi, la circulation sanguine du pied (du réseau profond vers le réseau superficiel) s'inverse par rapport à celle du reste des membres inférieurs. [4]

Lors de la marche, la pompe plantaire s'active davantage. Selon Ricci et al., 2014, en plus de sa fonction locomotrice, le pied a un rôle hémodynamique important à la marche. Ce rôle est lié à la biomécanique de la marche, le pied permet l'absorption de l'énergie élastique à partir d'une souplesse initiale du pied qui se transforme en un enraidissement, grâce à la contraction musculaire. Le pied devient raide et forme une plate-forme stable grâce à laquelle le sujet peut libérer l'énergie emmagasinée et se propulser. D'un point de vue vasculaire, la circulation sanguine s'active à la marche. Le contact du pied au sol comprime le bord externe du pied et exerce une pression sur la veine plantaire externe. Également, la flexion de l'hallux sur la veine plantaire interne stimule le RVP. La mécanique de la marche entraîne une succession d'ouvertures et de fermetures des espaces inter métatarsiens et des espaces plantaires.

Gardener et Fox, 1983 rapportent que se tenir debout sur un étroit coussin transversal placé sous la voûte plantaire permettrait de vider les veines seulement au niveau de cette zone, et non à l'ensemble du plexus plantaire des veines, comme c'est le cas lors de la mise en charge au niveau du talon et de la plante de pied. Cela signifie que la position debout avec le poids du corps et la force gravitationnelle du sol génère une pression suffisante pour le retour veineux plantaire? Cependant, une action dynamique comme la marche, permet de le stimuler davantage.

Biomécanique de la marche pendant le Retour Veineux plantaire.

La marche est une succession d'appuis portants permis par un déroulé plantaire. Pendant la marche, le pied reste 0,60 seconde en contact avec le sol et environ 0,25 seconde pendant une course à 10 km/h. La marche correspond à un cycle se composant de trois phases successives. La première se caractérise par l'attaque du sol par le talon postérieur (temps taligrade). La deuxième se décompose en plusieurs temps, en fonction de la zone d'appui au sol, successivement : le talon postérieur, le talon antérieur puis le bord latéral du pied. Ces étapes constituent le temps plantigrade. Et la troisième, fait référence à l'appui de la plante du pied sur le sol avec libération

progressive de l'appui sur les têtes métatarsiennes de dehors en dedans [2]. A chaque phase du cycle de marche, la zone squelettique portante change ainsi que la morphologie du pied. Le cycle de marche se compose de 3 phases qui peuvent être nommées ainsi, en suivant respectivement l'ordre précédemment décrit : la phase d'appui, la phase d'impulsion et la phase de suspension du pied. Concernant le RVP nous allons nous intéresser plus particulièrement aux phases d'appui et d'impulsion.

La phase d'appui est divisée en deux temps. Le premier correspond au moment où le talon frappe le sol, la compression des veines du coussinet adipeux du talon augmente sous l'influence des forces du vecteur poids du corps produisant des Gravity Forces Reaction (GRF). Ces veines éjectent passivement le sang du talon vers les veines profondes et superficielles du mollet [9][10]. Les veines du médio-pied et de l'avant-pied ne sont pas pompées lors de cette phase de la marche. Les veines du coussinet adipeux sont orientées latéralement en direction des extrémités du talon et des veines superficielles du mollet. Grâce aux GFR que le sol exerce sur les tissus graisseux du talon, une force stimule les veines pour faire passer une quantité plus importante de sang vers le mollet [10].

Le deuxième temps de la phase d'appui correspond au moment pendant lequel le pied est en contact total avec le sol. Il se compose de deux temps, le premier correspond à la Position Médiane Absolue (PMA), c'est le moment où les veines de l'avant-pied et les plexus veineux du talon sont comprimés par la GFR. Cela permet d'envoyer le sang dans les veines superficielles et marginales du pied et du mollet. Ensuite, les muscles intrinsèques du mollet et du pied sont activés, initiant respectivement les pompes actives du mollet et du pied. Lors d'une dorsiflexion excentrique du mollet, le sang est conduit des veines profondes vers la partie proximale de la jambe, aidé par la compression des veines contre les structures osseuses. La circulation veineuse du pied devient une combinaison de mécanismes actifs et passifs faisant remonter le sang dans le mollet grâce à l'expansion du volume de la cheville et du mollet. Cela signifie que le flux veineux augmente d'abord en proximal à travers les veines perforantes vers les veines marginales et superficielles, et à travers les veines profondes de l'avant-pied [7][8].

Ensuite, la phase suivante du cycle est la phase d'impulsion. Elle se caractérise par une propulsion des forces mécaniques au niveau de la plante de pied. Dans cette phase, deux pompes musculaires fonctionnent en même temps : les pompes surale et plantaire. La première, la pompe musculo-veineuse surale est activée par la contraction concentrique des muscles. Elle envoie le sang des veines plantaires vers les veines superficielles et profondes grâce à l'augmentation du volume du mollet qui comprime ces vaisseaux. Puis, la pompe plantaire est activée par la flexion plantaire de la cheville, la compression de l'hallux et la GFR. Le sang est ainsi envoyé directement des veines du pied dans les veines du mollet grâce à l'augmentation du volume de la cheville et du mollet.

En effet, grâce au mécanisme de la marche, la pompe du pied est activée par la compression du poids du corps et/ou la contraction des muscles plantaires à chaque pas. Selon la disposition anatomique, le site de la pompe peut être identifié dans les veines plantaires latérales. La partie médiane est dilatée et agit comme un "réservoir" avec un volume de 20-30 mL [1], c'est-à-dire que 15-25 mL passent du pied au mollet [9]. De plus, il a été démontré que chaque compression du pied porteur conduit au passage 33 mL de sang dans la veine poplitée.[4]

Tout cela nous amène à prendre en compte certains paramètres essentiels et les mesures importantes de la cinématique de marche et du RVP pour évaluer l'effet de la semelle. Ces mesures ont été présentées dans différentes études [5,6,7,8] réalisées à partir de méthodes invasives comme la dissection de cadavres humains [11][12][13], en injectant des produits de contraste (fluoroscopie-liquide, veinographie) [11][12][13][14] et des cathéters [15] et en utilisant de méthodes non-invasives comme la pléthysmographie [3][14] et Doppler Duplex [11][12][13][15]. Seulement deux études ont montré qu'elles étaient capables de mesurer la circulation sanguine du pied ($1,3 \pm 0,5$ ml/sec[15] et $1,9 \pm 0,5$ ml/sec)[12] en utilisant des méthodes invasives (cathéter, Veinographie) et non invasives (Doppler et la pléthysmographie) en même temps.

En revanche, les études qui évaluent le retour veineux plantaire en dynamique sont réalisées en utilisant la technique "tip-toe" ou en générant simplement un stimulus électrique dans les muscles du pied [15], ce qui ne se rapproche pas d'un pas réel. Par ailleurs, ces études

prennent les valeurs du volume du mollet et du sang qui passe à travers les veines du mollet ; mais ne considèrent pas le volume de la cheville ni la quantité de sang qui passe dans les veines de la cheville.

Les outils d'évaluation

La littérature relève plusieurs dispositifs pour mesurer le retour veineux plantaire. Le tableau No 1 classe les différentes méthodes selon des critères précis afin de sélectionner les outils les plus adaptés à cette étude. Le critère "Quantité" fait référence à la quantité de sang que le dispositif est capable de mesurer. Le critère "Mesure en dynamique" relève de la possibilité ou non de la méthode à évaluer le RVP en dynamique. Le critère "Non-invasive" permet de rendre compte du caractère non-invasif de l'outil. Le critère "Manipulation" informe sur la facilité d'utilisation du dispositif. Enfin, le critère "Fiable" fait référence à la validation scientifique de l'outil considéré. Si la méthode répond au critère en question, un "X" est noté dans la case correspondante. Dans la colonne "Total" tous les X sont additionnés, les méthodes les plus adaptées pour l'étude sont celles qui ont le plus grand nombre de X. Les deux appareils les mieux notés sont l'Air Pléthysmographe et le Pléthysmographe.

Tableau 1 : Classification des outils de mesure du retour veineux plantaire

	Quantitative	Mesure en dynamique	Non Invasive	Prix	Manipulation	Fiable	Total
Catheter	x	x				x	3
Venographie		x				x	2
Doppler duplex	x		x			x	3
Fluoroscopie - Liquid		x				x	2
Phlethysmographe	x	x	x	x	x	x	6
Gamma-espectometre					x	x	2
Ergometre		x	x	x	x		4
Air Plethysmographe	x	x	x	x	x	x	6

Ensuite, ces deux outils ont été analysés de manière plus approfondie pour déterminer lequel serait le plus pertinent. La mesure du volume de la cheville est devenue le critère de sélection principal puisqu'il constitue un élément clé du retour veineux plantaire. L'Air Pléthysmographe a donc été écarté car il mesure le volume du mollet, c'est-à-dire de la cheville jusqu'au genou. Finalement, c'est la méthode du Pléthysmographe qui sera utilisée car elle permet de mesurer le volume de la cheville à l'aide des jauges.

L'un des inconvénients de l'utilisation du Pléthysmographe relatif aux erreurs de mesure a été pris en compte. Lors de la prise de mesure un mouvement parasite du pied peut modifier le bruit du signal et altérer la collecte de données fiables. Afin de limiter les biais, deux protocoles ont été mis en place. L'un simule un pas alors que la jambe est immobilisée. Cela permet de contrôler les variables de la force de réaction du sol, la gravité, le bruit du signal et d'éviter la contraction musculaire qui pourrait altérer le résultat mesuré. L'autre protocole utilisé est celui du pas réel, divisé en trois phases de la dynamique du pas réel, dans les mêmes conditions, avec pléthysmographe. Pour ces deux tests, et pour augmenter la quantité de sang à mesurer, un garrot gonflable a été placé sur le mollet pour favoriser la dilatation du pied. Il est gonflé à 50 mmHG au-dessus de la pression artérielle diastolique de référence pour maintenir le sang au niveau du pied.

Nous supposons que, par la pléthysmographie, jusqu'à 10 mL de sang refluant du pied vers le mollet seront mesurés grâce à l'augmentation du volume de la cheville. Ce phénomène serait observé pendant les différentes phases de la marche, de manière statique et dynamique et avec et sans la semelle. Par conséquent, l'objectif de cette étude est de fournir un protocole permettant de mesurer le RVP à la marche, en prenant en compte l'évaluation de la répétabilité et la reproductibilité de ces tests avec et sans la semelle et la comparaison entre le test du pas simulé et celui du pas dynamique.

II. Matériels et Méthodes

2.1 Sujets

Cinq volontaires sains et normaux (3 hommes, 2 femmes ; âge moyen = 23 ans) ont été recrutés. Les sujets sont divisés en deux groupes, deux dans le premier protocole et trois dans le second. Les sujets sont non-fumeurs et ne prennent aucune forme de médicament. Aucun n'a déclaré avoir eu une blessure à la cheville, un problème médical aux pieds ou des troubles de la tension artérielle. Les sujets ne sont pas autorisés à manger ou à boire du café ou autres boissons stimulantes pendant les 12 heures précédant l'évaluation. Ils se sont acclimatés à une température ambiante constante (22°C) pendant une demi-heure au préalable.

2.2 Mesures

2.2.1 Le volume de la cheville

La première étape du protocole est la mesure du volume de la cheville. Pour cela, trois périmètres en centimètres (cm) ont été pris avec un mètre ruban. Le premier périmètre est pris au-dessus de la cheville, sur la malléole. Le deuxième périmètre a été pris 3 centimètres au-dessus, vers la rotule, à partir de la première mesure. Et le dernier a été pris à 6 centimètres de la première mesure. Ces données ont ensuite été saisies dans tableur Excel pour donner la valeur du volume en cm³ de la cheville en utilisant la formule de mesure du volume d'un cylindre. La valeur est ensuite convertie en mL (millilitres).

La circonférence de la cheville est utilisée pour choisir la taille de la jauge du pléthysmographe. En fonction de la valeur en centimètres de la cheville, il faut soustraire 2 à cette valeur pour obtenir la taille de la jauge.

2.2.2 La Pression Artérielle

La Pression Artérielle (PA) a été utilisée pour contrôler et restreindre la circulation sanguine dans le pied. En permettant l'accumulation du sang dans le pied, c'est-à-dire en limitant le retour veineux et l'apport de sang dans le pied, la mesure sera plus fiable. La PA est mesurée à l'aide de l'appareil Omron M2 Tensiomètre Brassard, cette valeur a été prise avant le début de chaque test afin de s'assurer que le patient avait une PA normale.

2.2.3 La quantité de sang (mL) dans le retour veineux plantaire pendant la marche.

Nous avons utilisé un système de pléthysmographie à jauge de contrainte (ou « strain gauge ») de Whitney pour mesurer les variations de circonférence de la cheville. Le modèle utilisé est le pléthysmographe à jauge de contrainte EC6 avec le système d'acquisition Powerlab 8/30 model ML795 (ADInstruments, Colorado Springs, USA). Les données traitées à l'aide du logiciel LabChart v5.5.3 (ADInstruments, Colorado Springs, USA). La valeur de pourcentage de variation de circonférence de la cheville (A) est calculée grâce au logiciel excel. (C) fait référence à la valeur en mL du volume total de la cheville, correspondant à 100% du volume de la cheville. (A) est la variation en mL du volume de la cheville qui est traduit en pourcentage, grâce la méthode du produit en croix et appelé (A %).

2.2.4 Simuler la Gravity Forces Reaction (GRF)

L'utilisation d'un dynamomètre ADINSTRUMENTS model MLT 004/ST permet de simuler et de contrôler la force de réaction, normalement produite par le sol (GRF). Ainsi, une force de 150 Newtons est exercée sur chaque partie du pied pour simuler le pas. Celle-ci sera uniquement mesuré dans le test du pas simulé

2.3 Design

Deux méthodes ont été choisies pour évaluer le RVP : celle du pas simulé et celle du pas réel. Le test du Pas Simulé (PS) utilise la méthode de pléthysmographie avec l'utilisation d'un dynamomètre pour stimuler les zones du pied activées à la marche. Le test du Pas Réel (PR) s'appuie sur la "Vasculab manœuvre"[8], c'est un outil d'évaluation dynamique qui décompose les étapes du cycle de marche. La passation des tests est la même pour tous les sujets. Chacun d'entre eux est testé sur 2 jours. Le jour 1, les tests sont réalisés deux fois, le premier sans semelle et le deuxième avec la semelle. Entre les deux mesures, les sujets sont autorisés à marcher et à s'asseoir pendant 5 minutes. Ce protocole a été répété le jour suivant à la même heure et dans les mêmes conditions afin d'évaluer la répétabilité du test. Afin de limiter les erreurs, il est demandé au sujet de venir en short pour laisser libre l'espace de la cheville au genou.

En amont des deux tests, la pression artérielle (PA) est mesurée pour obtenir une valeur de référence et vérifier la normalité de ce paramètre pour chaque sujet. Ensuite, il se met debout,

sa jambe droite reste une minute pendante, le temps de mesurer le volume de la cheville. Puis, le garrot est installé et gonflé (50 mmHG au-dessus de la TA diastolique mesurée).

2.3.1 Protocole du Pas Simulé (PS)

Le groupe de deux sujets a été testé sur le protocole du PS, chacun à un moment différent. Dans un premier temps, le sujet est installé sur la table en position allongée décubitus dorsal. Dans cette position, la jambe droite est immobilisée et attachée au-dessus du genou (fléchi à 90°) par un support fixé à un bras de levier à 45°. Nous appellerons cette position la position initiale de mesure. C'est à ce moment-là que nous mesurons la valeur de PA de référence et le volume de la cheville du sujet. Une fois le garrot installé, le sujet se replace dans la position initiale de mesure et nous plaçons la jauge sur sa cheville comme le montre la figure No 1.

À ce moment-là, la calibration des outils commencera. Lors de la prise de mesure il faut veiller à ce que les outils soient toujours calibrés pour éviter d'obtenir des valeurs aberrantes qui viendraient fausser les résultats. Si une erreur apparaît dans les mesures, les outils doivent-être recalibrés avant d'enregistrer à nouveau les données.

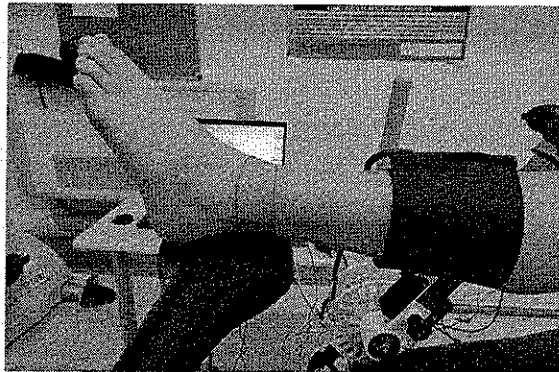
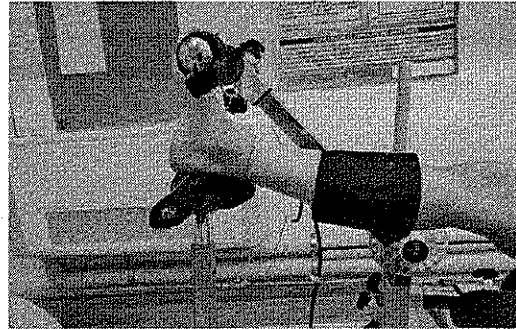


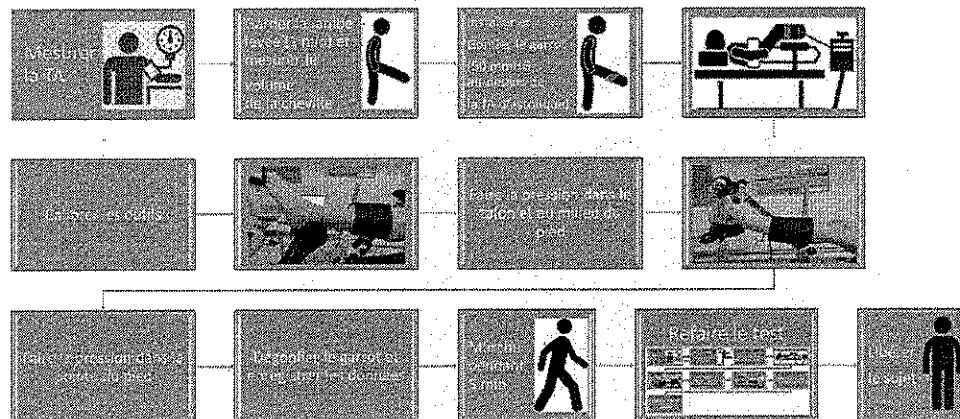
Figure 1 : Position du garrot au mollet et de la jauge à la cheville

Ce premier moment correspond aux mesures de "repos". Dans cette position initiale de mesure, nous allons exercer des pressions à l'aide d'une boîte en bois et du dynamomètre. Le protocole suit un ordre précis : talon, pied complet et pointe du pied car il correspond au déroulé du pied pendant la marche. 5 pressions de 150 Newtons sont réalisées dans le talon pendant 2 secondes avec une pause de 2 secondes entre chaque pression. Ces mêmes pressions sont répétées dans la zone milieu du pied (Pied Complet) et pour la pointe du pied (pour cette

Après la cinquième pression sur la pointe du pied, le logiciel de mesure est arrêté, le garrot est dégonflé, le sujet est libéré et les données sont enregistrées.



La pause de 5 minutes est accordée au sujet afin qu'il puisse marcher avant la deuxième session de mesures. Une fois cette dernière réalisée, le sujet bénéficie d'une pause de 10 minutes.



Le même protocole se répète ensuite avec un premier temps de mesure, une marche de 5 minutes à une vitesse confortable puis un second temps de mesure. Les mêmes tests sont réalisés avec la semelle M15 maintenue par un mi-bas (Figure No 5). Il est nécessaire d'enfiler la chaussette avec la semelle M15 et plier la chaussette comme indiqué sur la Figure n°4 pour laisser la cheville nue afin de ne pas altérer les valeurs.



Figure 4 : Maintien de la semelle M15 avec le mi-bas

2.3.2 Protocole du Pas Réel (PR)

Le groupe de trois sujets a été testé sur le protocole du PR. Il se base sur la manœuvre Vasculab (VA). C'est une manœuvre dynamique, spécifiquement conçue pour étudier la physiopathologie de la pompe musculaire veineuse du mollet [8]. Pour être le plus complet possible, certains éléments ont été ajoutés au test initial: le garrot et la jauge dans la cheville.

Avant la prise de mesure, le sujet réalise la manœuvre VA grâce aux indications et aux directives de l'examineur. La manœuvre est répétée plusieurs fois afin que le sujet maîtrise son exécution pour rendre la prise de mesure plus fiable. Ensuite, les valeurs de références (PA et volume de la cheville) sont enregistrées grâce au protocole précédemment décrit. Une fois le garrot installé et la jauge de cheville placée, nous procédons à la calibration des instruments et la collecte de données peut débuter.

La manœuvre VA correspond à la succession d'étapes précises. Au signal vocal "talon", donné par l'évaluateur, le sujet transfère son poids de corps sur son talon, comme s'il effectuait un pas. Il maintient la position pendant deux secondes. Puis, le sujet revient dans sa position initiale jusqu'au prochain signal. Cet enchaînement est répété 5 fois avec une pause de 2 secondes entre les mouvements. La seconde étape est liée au signal "pied complet" donné par l'évaluateur. Le sujet pose son pied complet au sol tout en basculant son corps vers l'avant, il maintient cette position pendant 2 secondes puis revient à sa position initiale. De la même manière, cette opération est répétée 5 fois. Enfin, au signal "pointe", le sujet s'appuie sur la pointe du pied pendant 2 secondes puis revient dans sa position initiale, de la même manière le

mouvement est effectué 5 fois. Ensuite, le logiciel est arrêté, le garrot dégonflé et le sujet libéré (Figure 5).

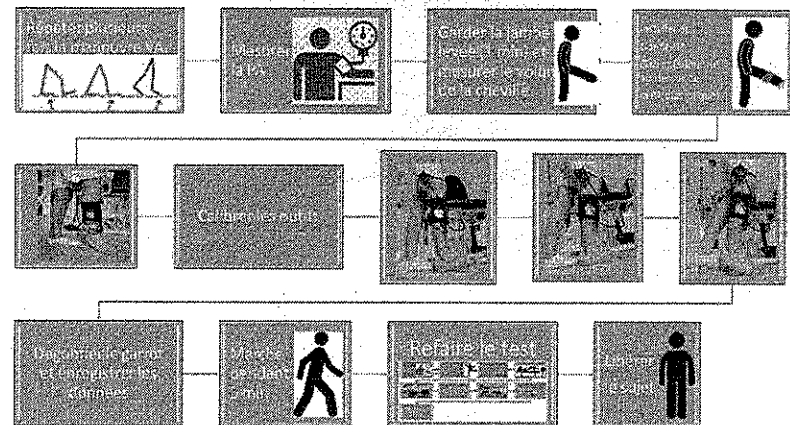


Figure 5 : Protocole PR- REPO et MAR

Une pause de 5 minutes de marche est accordée, puis un second temps de mesure se répète. Lors de la deuxième prise de mesure, le sujet porte un mi-bas et la semelle M15 (Figure 4).

2.4. Analyse statistique

Les données ont été numérisées avec le logiciel LabChart v5.5.3 (ADInstruments, Colorado Springs, USA). Elles prennent en compte la valeur représentée en pourcentage de l'augmentation du volume de la cheville à chaque pression de 100 Newtons. Ces données ont été transférées et compilées dans un tableur Excel, organisées par une feuille pour chaque sujet. Sur chaque feuille, une colonne a été placée avec le nom de la zone du pied testée : talon (Tal), Pied Complet (PC), Point du Pied (PP). Chacun de ces points est indiqué dans les différentes phases du test, 1. sans semelle au Repos (REP); 2. sans semelle après la marche (MAR); 3. avec une semelle au Repos (REPO SEM) et 4. après la marche avec semelle (MAR SEM).

Afin de mesurer la répétabilité et la reproductibilité nous avons procédé à une analyse de variance classique d'un facteur jour (le temps). La répétabilité correspond à la fidélité des mesures effectuées selon les conditions matérielles. Ainsi, ce critère est évalué en fonction des variations des mesures réalisées la même journée. La reproductibilité permet de rendre compte

du caractère reproductible du test. Il est évalué par la variation entre les mesures prises le jour 1 et le jour 2 pour un même sujet. Grâce à des calculs manuels (via le logiciel Excel) nous avons estimé les relations entre les variances et les "carrés moyens" donnés par la liste de l'ANOVA réalisée en amont, c'est-à-dire, le Between Mean Square (BMS) (inter-groupe pour Excel) et le Within Mean Square (WMS) (intra-groupe pour Excel).

Les valeurs sont présentées sous la forme de moyennes +/- écarts-type (SD pour Standard Déviation). Les Coefficients de Variation (CV) sont calculés avec un intervalle de confiance à 95 % (IC 95%). Ainsi, Les données sont présentées Pour les variables biologiques [14] avec un CV <10% est considéré comme bon et <20% est acceptable les annotations sont les suivantes : *** correspond à une "bonne" répétabilité et reproductibilité (CV<10 %); ** à une répétabilité et reproductibilité "acceptable" (CV<20 %). Les CV non indiqués par un symbole indiquent une mauvaise reproductibilité (CV >20 %).

III. Résultats

Toutes les moyennes pour le talon, le pied complet et la pointe du pied ont été additionnées pour mesurer la quantité de sang total du pas pour chaque sujet. Concernant le protocole PS, la mesure totale de quantité de sang allait de 4 à 13mL. Le talon et la pointe du pied possédaient une mesure plus élevée. Dans le pied complet, seul un sujet présentait une donnée négative, plus précisément dans le pied complet et avec la semelle. (Tableau No 2)

Par ailleurs, concernant le pas réel, les données montraient davantage de valeurs négatives et la mesure totale de quantité de sang allait de 1 à 4mL. La pointe de pied et le talon possédaient les mesures de quantité de sang les plus élevées. Aucune différence n'est constatée entre repos sans semelle et repos avec semelle. Il y a par ailleurs une légère différence après la marche sans semelle et après la marche avec semelle (Tableau 2).

Tableau II : Valeur en ml de la moyenne de chaque mesure pour le protocole PS

		Repo	Mar	SEM Repo	Sem Mar	Dif. 1	Dif. 2	Dif. 3	Dif. 4
<i>Protocole Pas Simulée</i>									
ml de sang	SUJET 1	2,3 ± 0,2	6,3 ± 1,1	6,1 ± 1,4	12,9 ± 0,8	4,0	7,0	3,7	6,7
	SUJET 2	4,4 ± 0,3	7,3 ± 0,3	6,9 ± 0,3	10,9 ± 0,4	2,8	4,0	2,5	3,7
<i>Protocole Pas Simulée</i>									
ml de sang	SUJET 1	1,2 ± 0,2	0,9 ± 0,1	0,9 ± 0,2	1,1 ± 0,1	-0,3	0,2	-0,3	0,2
	SUJET 2	3,0 ± 0,6	2,2 ± 0,4	2,2 ± 0,4	2,9 ± 0,6	-0,8	0,7	-0,8	0,7
	SUJET 3	2,8 ± 0,4	2,4 ± 0,4	2,3 ± 0,4	4,0 ± 0,3	-0,4	1,6	-0,4	1,6
Repo = Repos sans semelle; Mar = Après Marche sans semelle; Sem Repo = Repo avec la semelle; Sem Mar = Après Marche avec semelle; C'est la soustraction entre ces deux valeurs; Dif. 1. Repo - Marche; Dif. 2 Sem Repo - Sem Marche; Dif. 3. Repo - Sem Repo; Dif. 4. Marche - Sem Marche									

3.1 Protocole Pas Simulé

Talon (Tal) : Pour les deux sujets testés, nous avons trouvé 5 "bonnes" valeurs. Elles correspondent aux mesures sans semelle, au repos et après la marche pour les deux sujets et avec semelle, uniquement après la marche pour un sujet. Seulement une valeur est "acceptable" pour un sujet après la marche avec semelle.

Pied Complet (PC) : Pour les deux sujets, la valeur est "bonne" sans semelle et après la marche. La valeur est "acceptable" avec semelle après la marche pour les deux sujets.

Pointe du Pied (PP) : Pour les deux sujets, la valeur est "bonne répétable" uniquement pour la mesure de la semelle après la marche et reproductible pour un sujet.

Tableau III : Répétabilité (intra jour) et reproductibilité (inter jour) pour le protocole pas simulé (PS)

	Tal Repo		Tal Mar		Tal Sem Repo		Tal Sem Mar	
	SUJET 1	SUJET 2	SUJET 1	SUJET 2	SUJET 1	SUJET 2	SUJET 1	SUJET 2
CV rep %	7,9*** ± 0,6	1,0*** ± 0,5	8,7*** ± 0,8	8,7*** ± 0,6	60,7 ± 1,6	28,8 ± 0,9	5,4*** ± 0,6	18,6** ± 0,6
CV reprod.%	8,4*** ± 0,4	1,1*** ± 0,3	9,2*** ± 0,6	9,2*** ± 0,4	62,4 ± 1,9	104,4 ± 3,6	5,8*** ± 0,9	34,5 ± 0,7

	PC Repo		PC Mar		PC Sem Repo		PC Sem Mar	
	SUJET 1	SUJET 2	SUJET 1	SUJET 2	SUJET 1	SUJET 2	SUJET 1	SUJET 2
CV rep %	30,6 ± 0,3	36,8 ± 1,6	8,6 ± 0,3	8,6 ± 0,2	21,1 ± 0,9	19,1 ± 0,8	10,7 ± 0,8	11,3 ± 0,3
CV reprod.%	33,1 ± 0,6	95,1 ± 3,6	9,1 ± 0,9	9,1 ± 0,9	23,1 ± 0,6	22,0 ± 0,9	11,3 ± 0,6	24,3 ± 0,5

	PP Repo		PP Mar		PP Sem Repo		PP Sem Mar	
	SUJET 1	SUJET 2	SUJET 1	SUJET 2	SUJET 1	SUJET 2	SUJET 1	SUJET 2
CV rep %	33,6 ± 1,6	35,1 ± 1,5	38,9 ± 1,6	60,2 ± 2,6	23,1 ± 0,6	34,2 ± 2,6	5,7 ± 0,2	6,6 ± 0,6
CV reprod.%	34,6 ± 0,8	36,5 ± 1,7	42,6 ± 2,6	91,5 ± 3,6	24,9 ± 0,8	68,8 ± 2,6	6,2 ± 0,9	40,0 ± 2,6

CV rep = Coefficiente de Variation Repetable; CV reprod = Coefficiente de Variation Reproductible Tal = Talon ; PC = Pied Complet ; PP = Pointe du pied; Repo = Mesure en Repos ; Mar = Mesure après la Marche; Sem = Mesure avec la Semelle; *** correspondent à une "bonne" répétabilité et reproductibilité (CV < 10 %); ** à une répétabilité et reproductibilité "acceptable" (CV < 20 %). Les CV non indiqués par un symbole indiquent une mauvaise reproductibilité (CV > 20 %).

3.2 Protocole du Pas Réel

Talon (Tal): Seulement 4 "bonnes" valeurs ont été trouvées dans la répétabilité des mesures et 2 dans la reproductibilité. Ces valeurs sont réparties dans le test sans semelle au repos pour un sujet, dans le test sans semelle après la marche pour deux sujets et avec la semelle après la marche pour un sujet. Nous comptons 6 valeurs "acceptables" parmi 12 valeurs mesurées. Pour seulement 2 sujets nous notons une variation importante pour les tests sans semelle au repos et après la marche ; et avec semelle après la marche.

Pied Complet (PC) : Parmi le pied complet, peu de mesures montrent des résultats de CV inférieur à 20%. En effet, parmi les trois sujets analysés, un seul présente des valeurs inférieures à 20%.

Pointe du Pied (PP) : Les résultats sont plutôt homogènes avec un CV inférieur à 19% chez tous les sujets. La reproductibilité pour les trois sujets dans les tests sans semelle de repos et avec gabarit après la marche avait des est dans la majorité des cas “acceptable”.

Tableau IV : Répétabilité (intra jour) et reproductibilité (inter jour) pour le protocole du pas réel (PR)

	Tal Repo			Tal Mar			Tal Sem Repo			Tal Sem Mar		
	SUJET 1	SUJET 2	SUJET 3	SUJET 1	SUJET 2	SUJET 3	SUJET 1	SUJET 2	SUJET 3	SUJET 1	SUJET 2	SUJET 3
CV rep %	10,37** ± 0,7	19,37** ± 1,2	6,34*** ± 0,6	9,05*** ± 0,7	11,98** ± 0,4	7,68*** ± 0,3	45,0 ± 0,8	32,9 ± 0,6	11,57*** ± 0,5	16,26** ± 0,8	19,93** ± 0,6	5,80** ± 0,5
CV reprod.%	20,03 ± 0,8	20,6 ± 0,8	6,75*** ± 0,8	9,20** ± 0,6	12,35** ± 0,6	12,81** ± 0,8	48,5 ± 0,5	47,4 ± 0,5	17,23** ± 0,6	18,13** ± 0,4	21,1 ± 1,4	10,54** ± 0,8

	PCRepo			PC Mar			PC Sem Repo			PC Sem Mar		
	SUJET 1	SUJET 2	SUJET 3	SUJET 1	SUJET 2	SUJET 3	SUJET 1	SUJET 2	SUJET 3	SUJET 1	SUJET 2	SUJET 3
CV rep %	27,0 ± 0,8	18,96** ± 0,6	29,9 ± 0,9	28,9 ± 1,8	17,59** ± 0,9	47,5 ± 1,8	18,17** ± 0,6	20,6 ± 0,6	23,9 ± 0,8	20,3 ± 1,2	29,0 ± 0,6	11,03** ± 0,9
CV reprod.%	31,6 ± 0,8	20,2 ± 0,4	32,7 ± 0,4	37,4 ± 1,9	19,24** ± 1,1	48,9 ± 0,8	30,0 ± 0,8	22,2 ± 0,8	25,9 ± 0,5	23,6 ± 1,8	30,8 ± 0,7	11,99** ± 0,8

	PP Repo			PP Mar			PP Sem Repo			PP Sem Mar		
	SUJET 1	SUJET 2	SUJET 3	SUJET 1	SUJET 2	SUJET 3	SUJET 1	SUJET 2	SUJET 3	SUJET 1	SUJET 2	SUJET 3
CV rep %	15,06** ± 0,9	17,11** ± 0,5	8,92*** ± 0,4	12,98** ± 0,8	19,20** ± 0,4	17,80** ± 0,6	13,00** ± 0,4	8,23*** ± 0,8	15,64** ± 0,8	9,97*** ± 0,8	12,78** ± 1,8	3,84*** ± 0,5
CV reprod.%	15,90** ± 0,6	18,10** ± 0,8	9,72*** ± 0,3	14,22** ± 0,8	20,7 ± 0,9	18,48** ± 0,4	14,22** ± 0,3	9,30*** ± 0,6	24,8 ± 1,8	10,77** ± 0,7	15,20** ± 0,6	4,04*** ± 0,5

CV rep = Coefficient de Variation Répétabilité; CV reprod = Coefficient de Variation Reproductibilité; Tal = Talon; PC = Pied Complet; PP = Pointe du pied; Repo = Mesure en Repos; Mar = Mesure après la Marche; Sem = Mesure avec la Semelle; *** correspondent à une "bonne" répétabilité et reproductibilité (CV < 10 %); ** à une répétabilité et reproductibilité "acceptable" (CV < 20 %). Les CV non indiqués par un symbole indiquent une mauvaise reproductibilité (CV > 20 %).

Les résultats montrent que le protocole est plus répétable au repos et après la marche sans semelle. Il l'est également avec la semelle seulement après la marche. La reproductibilité du test est plus significative au niveau du talon après la marche, à la pointe du pied au repos et après la marche avec la semelle.

IV. Discussion

L'étude réalisée met en avant des résultats novateurs dans ce domaine de recherche scientifique. Tout d'abord, le protocole PS a montré des meilleurs résultats concernant la mesure du volume de la cheville lors de la stimulation du talon et du milieu du pied. Ils sont observés avec et sans la semelle, plus particulièrement après la marche. L'étude de Beliard S [17] révèle que la marche augmente le volume de sang circulant, ainsi elle donne des pistes méthodologiques pour permettre d'améliorer la qualité des mesures du sang dans le pied. Effectivement, en plaçant un garrot au niveau du mollet le retour du sang est stoppé. La mesure est effectuée plusieurs fois et celle-ci varie de manière significative. Ainsi, le garrot semble être un outil pertinent dans la mesure du retour veineux.

En revanche, pour le PR, les valeurs ne dépassent pas 4 ml de sang dans la somme totale des 3 phases du pas. Pour autant, la phase en pointe de pied présentait la meilleure répétabilité et des résultats plus significatifs. En se référant aux articles [18] testant la manœuvre "Tip-Toe", il est important de relever que l'utilisation des outils non invasifs comme l'Air-pléthysmographie, permet de mesurer uniquement l'augmentation du volume du mollet et non le retour veineux plantaire.

L'étude menée a également mis en avant une adaptation du protocole du pléthysmographe [17][16] utilisé dans le protocole PS. Cette adaptation a permis de reproduire chacune des phases du pas en diminuant la contraction musculaire, surtout au niveau du milieu du pied et de la pointe du pied. Effectivement, comme le rapporte [12], ces phases d'appui et de propulsion sont particulièrement sensibles à la contraction des muscles intrinsèques du pied dans l'activation de la pompe musculaire du pied et celle du mollet ce qui peut créer des erreurs dans l'enregistrement des valeurs. Le protocole mis en place a permis de diminuer le rapport bruit-signal et ainsi améliorer la fiabilité des résultats.

Le pléthysmographe a permis de mesurer correctement le volume de la cheville, en même temps, cette méthode nous donne des résultats quantifiables afin de comparer le RVP avec et sans la semelle.

D'un point de vue quantitatif, un minimum de 10 ml de sang était attendu selon la littérature, cependant les articles [3, 4, 5] mesurant le retour veineux plantaire en dynamique, ne prenaient pas en compte les différentes phases du pas. Ce manque d'information initial constituait une difficulté pour connaître la quantité de sang attendue à chacune des phases du déroulé du pas. Finalement, le protocole PS a permis de mesurer un maximum de 10 et 13 ml de sang au total pour le pas complet. Par contre, le PR a montré seulement une quantité de 1 à 4 ml de sang alors que nous nous attendions à un volume plus important puisque la pression exercée par la GFR était plus conséquente que celle du dynamomètre avec le PS.

En ce qui concerne l'effet de la semelle, les résultats des deux protocoles montrent une augmentation du volume de sang chez tous les utilisateurs avec la semelle au repos et après la marche. Cela signifie que le port de la semelle peut avoir un effet positif sur le retour veineux plantaire. En revanche, la taille de l'échantillon est trop faible pour pouvoir confirmer significativement cette conclusion.

Le talon et le milieu du pied constituent les zones où la quantité de sang a le plus augmenté. Finalement, ce sont les zones de la semelle qui contiennent le plus de picots et donc qui exercent une pression plus importante. Ce constat prouve l'effet de la semelle sur la diffusion de la GFR dans le pied, plus particulièrement dans le protocole du PS.

La Répétabilité intra-jour et inter-jour [14] du protocole PS avec l'utilisation du pléthysmographe varie "d'acceptable" à "bonne" pour les zones du talon aux différentes conditions de mesure. La répétabilité est "bonne" pour la zone du milieu du pied seulement après la marche avec et sans semelle. Puis, elle est aussi "bonne" au niveau de la pointe du pied seulement après la marche. En revanche, pour le milieu du pied, les "bonnes" valeurs sont faibles, cela peut venir d'une limitation au niveau de la contraction des muscles de la cheville, favorisant le retour veineux plantaire.

La répétabilité intra-jour du protocole PR est "bonne" au niveau de la pointe du pied et du talon dans tous les scénarios. En revanche, en ce qui concerne la répétabilité inter-jours, les résultats répondant à la qualification "bonne" sont très faibles. Cela signifie que dans le protocole PR, les mesures sont plus susceptibles de varier d'un jour à l'autre.

V. Conclusion

En conclusion, la semelle M15 de Millet Innovation montre un effet dans les deux protocoles et chez tous les participants. Elle a permis d'augmenter la quantité de sang du retour veineux. De plus, cet effet a été plus significatif dans les zones du talon et de la pointe du pied. Le port de semelle semble favoriser le retour veineux et peut être envisagé comme un moyen de réduire les symptômes des personnes atteintes de trouble du retour veineux.

Le retour veineux plantaire est lié aux trois phases de l'appui du pied. C'est un paramètre à prendre en compte pour évaluer l'efficacité de la semelle. Plus précisément, il est important de savoir quelle est la quantité de sang ou la circonférence de la cheville entre les différentes phases de la marche. Ces mesures doivent être prises avec et sans la semelle afin de pouvoir les comparer. A partir de ces éléments, nous pouvons analyser l'effet du modèle sur le RVP. La taille de l'échantillon ayant participé à cette étude n'a pas permis de montrer une valeur d'amélioration significative. En revanche, l'étude met en avant des critères indispensables pour évaluer l'effet d'une semelle chez des personnes atteintes de maladies liées au RVP à la marche.

Le pléthysmographe semble être un outil pertinent dans l'évaluation de l'efficacité d'une semelle sur le RVP. Effectivement, c'est un outil peu coûteux, non invasif, facile à manipuler et approprié pour évaluer et quantifier la quantité de sang remontant lors du RVP. Comme le suggère cette étude, il doit être accompagné d'un garrot pour bloquer le passage du sang et pouvoir mesurer une plus grande quantité de sang. Des études sur l'utilisation du dynamomètre pour contrôler la GFR sont à mener pour l'évaluer avec des variations de pression.

Enfin, le protocole PS semble plus adapté pour des études de longue durée (plusieurs jours) car il est plus reproductible et permet de contrôler la plupart des variables telles que la GFR, les différentes phases d'appui du pied. De plus, il est plus confortable pour le sujet car il nécessite peu d'effort. En revanche le PR peut être utilisé pour des évaluations rapides (une journée) car sa répétabilité inter-jours semble peu favorable. Pourtant, ses résultats dans les différentes zones du pied permettent de se rapprocher de la réalité de la marche. Cela amène à suggérer la combinaison de ce test avec d'autres outils comme des plates-formes de saut, la mesure du pas et de la pression.

VI. Bibliographie

- [1] Ricci S, Moro L, Incalzi RA. The foot venous system: Anatomy, physiology and relevance to clinical practice. *Dermatologic Surgery* 2014;40:225–33. <https://doi.org/10.1111/dsu.12381>.
- [2] Berlin DA, Bakker J. Understanding venous return. *Intensive Care Medicine* 2014;40:1564–6. <https://doi.org/10.1007/s00134-014-3379-4>.
- [3] Corley GJ, Broderick BJ, Nestor SM, Breen PP, Grace PA, Quondamatteo F, et al. The anatomy and physiology of the venous foot pump. *Anatomical Record* 2010;293:370–8. <https://doi.org/10.1002/ar.21085>.
- [4] Horwood A. The biomechanical function of the foot pump in venous return from the lower extremity during the human gait cycle: An expansion of the gait model of the foot pump. *Medical Hypotheses* 2019;129. <https://doi.org/10.1016/j.mehy.2019.05.006>.
- [5] Evaluation pléthysmographique de veines dilatées et refluentes chez le sportif Etude PLETHYSPORT. n.d.
- [6] Fehling P.C. APJ, MCJ, SDL. Reproducibility of Resting Peripheral Blood Flow Using Strain Gauge Plethysmography. Department of Exercise Science and Dance, Skidmore College, Saratoga Springs, NY, USA *IntJ SportsMed* 1999:555–9.
- [7] Lattimer CR, Franceschi C, Kalodiki E. Optimizing calf muscle pump function. *Phlebology* 2018;33:353–60. <https://doi.org/10.1177/0268355517709410>.
- [8] Passariello F, Cappelli M, Ermini S. The Vasculab manoeuvre: simulating walking in venous investigations. *Reviews in Vascular Medicine* 2016;6–7:20–8. <https://doi.org/10.1016/j.rvm.2016.08.002>.
- [9] Olamaei, N. *Reactive Hyperemia as endothelial function determinant using plethysmography methods*. 2009.
- [10] Berlin, D. A., & Bakker, J. Understanding venous return. *Intensive Care Medicine*, 2014 ;40:10-1564–1566. <https://doi.org/10.1007/s00134-014-3379-4>
- [11] Louisy, F., Cauquil, D., Andre-Deshays, C., Schroiff, P., Lazerges, M., Lafaye, C., Camus, A. L., & Fomina, G. Air plethysmography: An alternative method for assessing peripheral circulatory adaptations during spaceflights. *European Journal of Applied Physiology*, 2001. 85(3–4), 383–391. <https://doi.org/10.1007/s004210100426>
- [12] White, J. v, Katz, M. L., Ma, P., Cisek, J., & Kreithen, P. Venous outflow of the leg: Anatomy and physiologic mechanism of the plantar venous plexus. 1996.
- [13] Eberhardt, R. T., & Raffetto, J. D. Chronic venous insufficiency. In *Circulation* 2005, Vol. 111, Issue 18, pp. 2398–2409. <https://doi.org/10.1161/01.CIR.0000164199.72440.08>
- [14] Dick H. J. THIJSEN Michiel W. P. BLEEKER*, P. M. T. E. H. Reproducibility of blood flow and postocclusive reactive hyperaemia as measured. *Clinical Science*, 108, 2005. 151–157

- [15] Padberg, F. T., Johnston, M. v., Sisto, S. A., Burnand, K. G., Wakefield, T. W., & Perkowski, P. (Structured exercise improves calf muscle pump function in chronic venous insufficiency: A randomized trial. *Journal of Vascular Surgery*, 2004. 39- 1, 79–87
<https://doi.org/10.1016/j.jvs.2003.09.036>
- [16] Béliard S, Chauveau M, Cros F, & Tordi N. La pompe veineuse surale garde son efficacité après une course à pied de 40 minutes. *Phlébologie* 2014,67,1, p.53-58
- [17] Foret, T. *Evaluation pléthysmographique de veines dilatées et refluentes chez le sportif Etude PLETHYSPO* 2018 –2019, PARIS SORBONNE
- [18] Louisy, F., Cauquil, D., Andre-Deshays, C., Schroiff, P., Lazerges, M., Lafaye, C., Camus, A. L., & Fomina, G. Air plethysmography: An alternative method for assessing peripheral circulatory adaptations during spaceflights. *European Journal of Applied Physiology*, 2001. 85(3–4), 383–391.
<https://doi.org/10.1007/s004210100426>

VII. Table des matières

I.	Introduction.....	1
II.	Matériels et Méthodes.....	8
	2.1 Sujets.....	8
	2.2 Mesures	8
	2.2.1 Le volume de la cheville	8
	2.2.2 La Pression Artérielle.....	8
	2.2.3 La quantité de sang (mL) dans le retour veineux plantaire pendant la marche. ...	9
	2.2.4 Simuler la Gravity Forces Reaction (GRF)	9
	2.3 Design.....	9
	2.3.1 Protocole du Pas Simulé (PS)	10
	2.3.2 Protocole du Pas Réel (PR)	12
	2.4. Analyse statistique.....	13
III.	Résultats	15
	3.1 Protocole Pas Simulé	15
	3.2 Protocole du Pas Réel	16
IV.	Discussion	18
V.	Conclusion.....	20
VI.	Bibliographie.....	21
VII.	Table des matières.....	233